

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Е.А. Трущенко

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 150200 «Машиностроительные технологии и оборудование», специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства»

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 621.791.04(075.8)

ББК 30.61я73

T80

Трущенко Е.А.

T80 Сварочные материалы: учебное пособие / Е.А. Трущенко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.

ISBN 978-5-98298-719-8

Учебное пособие содержит сведения о классификации сварки, сварных швов и соединений и их обозначении на чертежах. Рассмотрены вопросы формирования сварных соединений и способов устранения дефектов, основные сведения о сварочных материалах, которые классифицированы в зависимости от состава, назначения и свойств. Представлены рекомендации по выбору сварочных материалов при разработке технологии сварки.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» направления 150200 «Машиностроительные технологии и оборудование».

УДК 621.791.04(075.8)

ББК 30.61я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
директор машиностроительного института ОмГТУ

Е.Н. Еремин

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Технология машиностроения» КузГТУ

В.Ю. Блюменштейн

ISBN 978-5-98298-719-8

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010

© Трущенко Е.А., 2010

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Сварка принадлежит к числу великих русских изобретений. Она чудесно преобразила лицо многих технологических процессов производства машин и механизмов, строительства судов и сооружений, играет важную роль в освоении космоса. По одной из версий происхождение слова «сварка» связывают с именем древнеславянского языческого бога Солнца и огня Сварога.

В настоящее время сварка превратилась в крупный самостоятельный вид производства. Она применяется для создания и возведения принципиально новых конструкций и сооружений, для ремонта машин и аппаратов, для получения изделий со специальными свойствами. Сварные конструкции несут свою службу при сверхвысоких и сверхнизких температурах, при давлениях, значительно превосходящих атмосферное, и в условиях космического вакуума. Современные достижения в области сварки позволяют соединять не только металлы, но и пластмассы, стекло, керамику и другие материалы. При этом свариваемые элементы могут иметь размеры от нескольких микрон в производстве изделий электронной техники до десятков метров в машиностроении и строительстве (рис. 1–7). Сварку используют и для создания скульптур в монументальном искусстве (рис. 8).

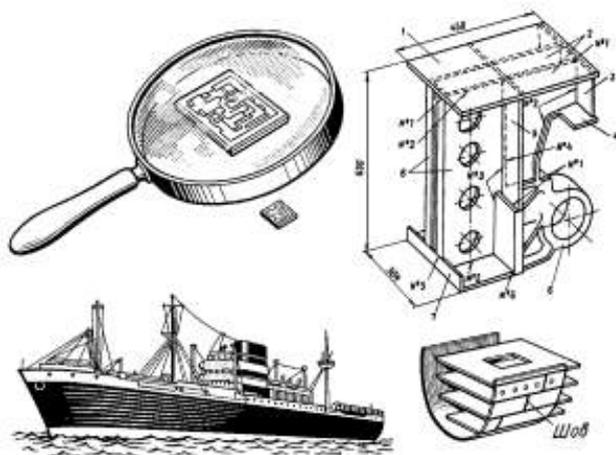
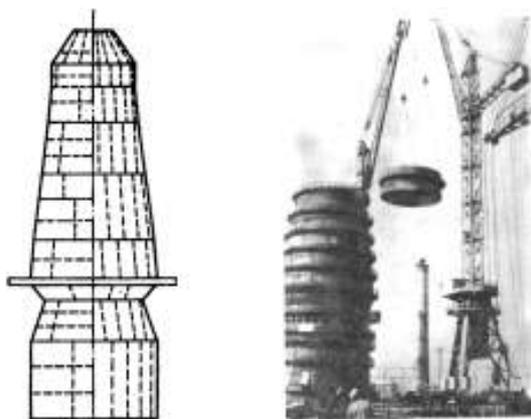


Рис. 1. Примеры выполнения сварных конструкций в технике

в монументальном искусстве (рис. 8).

В настоящее время сварку выполняют на воздухе, под водой, в вакууме (рис. 9). Лётчики-космонавты Г.С. Шонин и В.Н. Кубасов на борту космического корабля «Союз-6» в 1969 г. впервые в мире осуществили сварку в условиях космического вакуума и невесомости. В 1984 г. космонавтами В.А. Джанибековым и С.Е. Савицкой во время полёта орбитального комплекса

в открытом космосе в течение трёх часов производилась сварка, резка и пайка металлов, что показало возможность выполнения различных ремонтных работ космических аппаратов в открытом космосе.



*Рис. 2. Сварная конструкция кожуха доменной печи:
а – схема раскроя листов кожуха;
б – подъём элемента кожуха для сварки кольцевого шва*

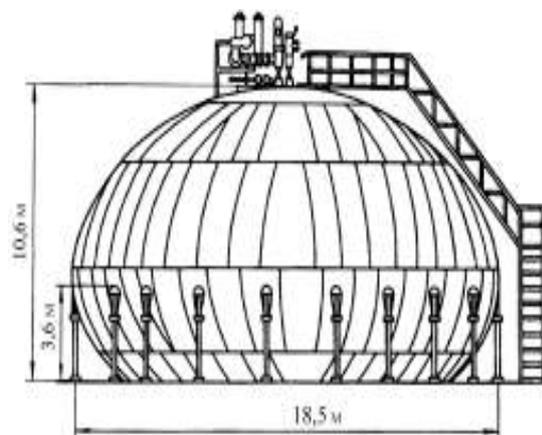
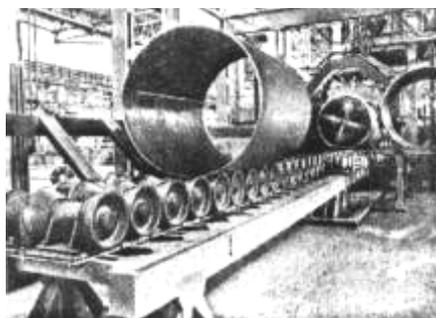


Рис. 3. Сварной резервуар для хранения нефтепродуктов, работающий под давлением



Сварной мост им. Е.О. Патона

Рис. 4. Уникальное сооружение среди цельносварных мостов мира – автомобильный мост имени Е.О. Патона через Днепр в г. Киеве. Длина моста 1542 м, масса – 10 тыс. т, 20 пролётов – по 58 м и 4 пролёта – по 87 м



а



б

*Рис. 5. Сварка труб:
а – сборка и сварка многослойных труб диаметром 1420 мм;
б – машина К-700-1 для сварки стыков трубы в полевых условиях*

К области сварочных технологий относят также резку металлов, наплавку одного металла на другой, напыление и металлизацию. Пайка, хотя и отличается по своей природе от сварки, также традиционно относится к сварочным технологиям.

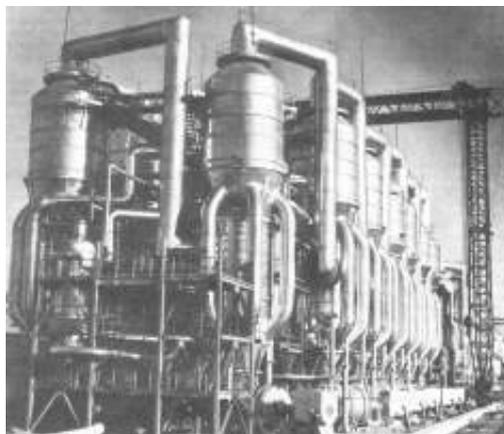


Рис. 6. Сварные конструкции Шевченковского атомного реактора на быстрых нейтронах

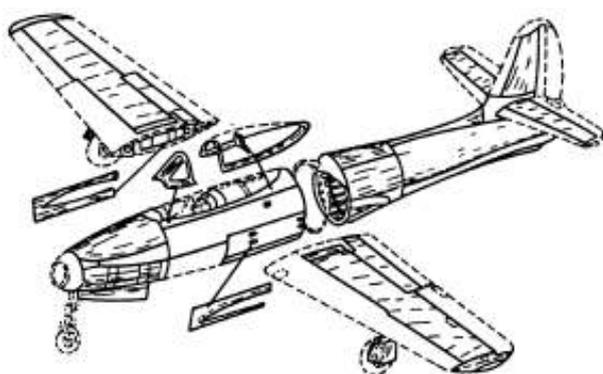
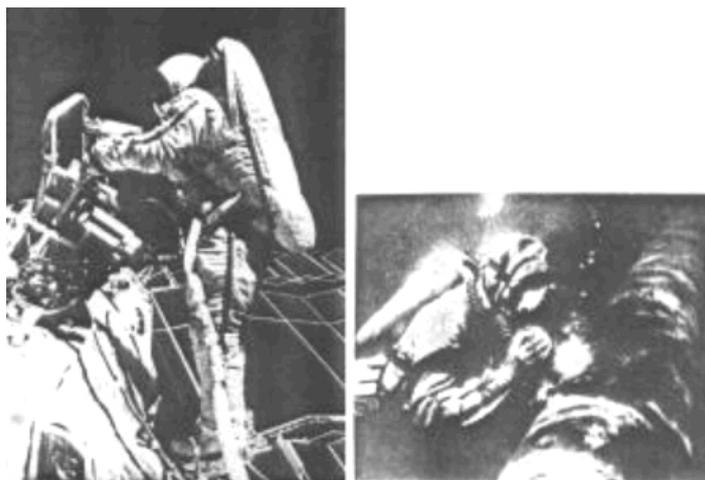


Рис. 7. Схема расположения сварных соединений самолёта «Фиат» – одного из первых в истории авиации с широким применением сварки в ответственных узлах



Рис. 8. Скульптура В.И. Мухиной «Рабочий и колхозница» (а) и фрагмент скульптуры – летящий по ветру шарф, придающий всей скульптуре стремительность (б)

Круг проблем, охватываемых сегодня сваркой, требует обширных знаний в таких областях, как металлофизика, физическая химия, физика высоких энергий, квантовая механика, вычислительная техника и др. Можно уверенно утверждать, что в цепи технического прогресса сварка, как важный научно-технологический процесс, является существенным его звеном. И если отмирание некоторых производств происходит незаметно, безболезненно или с малыми, относительно несущественными последствиями, то гипотетическое удаление сварки из суммы технологий на сегодняшний день однозначно приведёт к полной остановке технических и смежных с ними отраслей промышленности.



а

б

Рис. 9. Сварка в космосе (а) и под водой (б)

Создание и продвижение в жизнь всё новых и новых материалов с всё более ярким спектром их характеристик неразрывно связано с усложнением и постоянным развитием служебных свойств машин и механизмов в самом широком смысле их понятий. И здесь без сварки не обойтись.

Молодость сварки, её широта и универсальность, высокая экономическая эффективность служат залогом дальнейшего плодотворного развития сварочной науки и техники.

Глубоко символичен девиз широко известной германской фирмы «Binzel», выпускающей сварочное оборудование:

«МИР ВРАЩАЕТСЯ ВОКРУГ СВАРКИ».

1. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СВАРКИ

1.1. Сварка в древности

Из недр каменного века берут начало многие достижения человечества, в том числе и в области сварочной технологии.

Еще в глубокой древности при помощи каменного орудия из самородков золота, серебра, меди можно было обковывать пластинки, острые лезвия, скребки и т. п., которые для увеличения размеров соединяли между собой. Нанося удары по сложенным вместе кускам металла, удавалось добиться их соединения. А это был уже один из видов сварки – сварка в холодном состоянии путём приложения деформирующих усилий. Способ холодной сварки совершенствуется до сих пор и находит эффективное применение.

За несколько тысячелетий до нашей эры некоторые племена научились добывать из руды медь. Но техникой литья они ещё не овладели и, чтобы изготовить крупное изделие из меди, им приходилось прибегать к сварке отдельных подогретых кусков металла. Подогрев металла до пластического состояния облегчал схватывание, а процесс соединения напоминал ковку. Поэтому он и называется кузнечной сваркой.

Появление нового материала – бронзы – заставило древних умельцев приняться за разработку новых методов сварки. Дело в том, что бронза имела более высокую прочность, твёрдость, сопротивление истиранию по сравнению с медью. Однако её пластичность была значительно ниже пластичности меди. Поэтому сварка бронзы методом пластической деформации, даже с подогревом, не обеспечивала образования соединения. Вероятно, древние мастера не раз наблюдали, как перегретые капельки расплавленной бронзы, попадая на бронзовые пластины, иногда прочно «схватывались» с ними. Вот этим свойством схватываться, привариваться и воспользовался неизвестный изобретатель литейной сварки, сущность которой заключалась в том, что зазор между соединяемыми заготовками заполнялся расплавленным металлом, и деформирование сварного соединения происходило в твердожидком состоянии. Этим способом, вероятно, были изготовлены бронзовые сосуды высотой 310 мм с толщиной стенок всего 0,5–0,7 мм в Древней Греции.

В III–II тысячелетиях до н. э. в различных районах начали получать железо. При этом в некоторых случаях масса изделий намного превышала то количество металла, которое можно было получить за одну

плавку по существовавшей тогда технологии. Наиболее ярким примером является знаменитый памятник в Индии – колонна (рис. 1.1), выполненная из чистого железа (99,97 % Fe). По народному поверью, будет счастлив каждый, кто, прислонившись к этому столбу, охватит его руками.

Колонна весит около 6,5 т, имеет высоту 7,3 м при диаметрах у основания 416 мм, а в её верхней части – 295 мм. Относят данный памятник археологии к 415 г. н. э. А ведь вплоть до начала XIX века не было известно способов получения температур, достаточных для расплавления железа и литья изделий из него. Горение обыкновенной древесины создаёт температуру 1000–1100 °С, достаточную лишь для плавления меди и её сплавов. Но чтобы выплавить чистое железо, нужна температура порядка 1550 °С. Нет печей и не известны методы создания в то время необходимой температуры, причём понадобятся тысячелетия, прежде чем появятся технические возможности для её достижения.

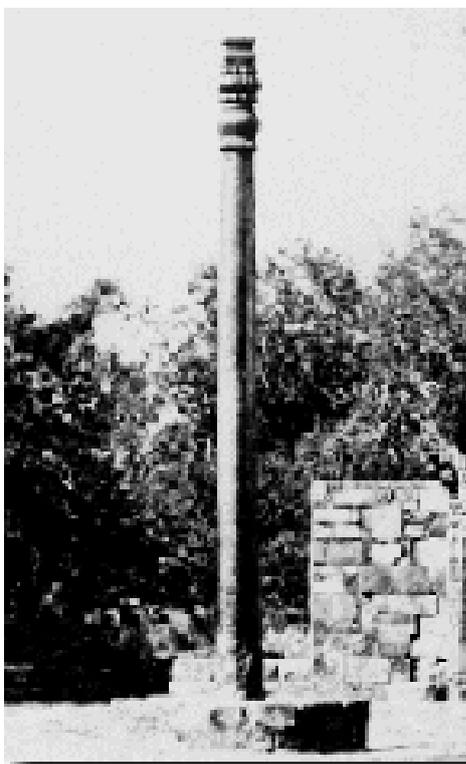


Рис. 1.1. Железный «столб счастья» в г. Дели (Индия)

Одной из гипотез, объясняющей создание этой колонны, является применение кричного метода получения железа с последующей ковкой заготовок (кузнечной сваркой криц) в нагретом состоянии. Сначала в горнах при температурах около 1000 °С восстановлением железной руды древесным углём получали крицу, имеющую вид губчатой массы и состоящую из зёрен чистого железа и шлака. А затем крицу неоднократно проковывали в нагретом состоянии для формирования металлических связей. При этом отдельные частицы железа соединялись – сваривались, образуя плотный металл. Для увеличения массы соединяемого металла, отдельные заготовки разогревали до белого каления, складывали вместе

и проковывали. Без кузнечной сварки железный век начаться не мог.

Высокого мастерства достигли кузнецы-сварщики в изготовлении орудий труда и оружия. Множество железных мечей хранится в различных музеях мира. Удивительны по своей конструкции мечи I–II вв., найденные на местах бывших римских крепостей, поднятые с затонувших

кораблей. Клинки мечей неоднородны по толщине и представляют собой чередующиеся в определённой последовательности слои твёрдой стали и мягкого железа. Такие мечи обладали высокой прочностью и к тому же были самозатачивающимися.

Современными методами металлографии установлено, что один из клинков имел одиннадцать слоёв. Такая работа требовала овладения всеми премудростями кузнечной сварки, огромного опыта, интуиции. Многослойные тонкие клинки с дифференцированными свойствами можно считать вершиной кузнечной сварки.

В античные времена высокого экономического и общественного развития достигла Эллада. Кузнечное ремесло было в таком почёте, что, согласно греческой мифологии, им не погнушался заниматься один из олимпийских богов – Гефест, покровитель искусств и ремёсел.

В железном веке использовалась и такая технология получения неразъёмных соединений, как пайка. Рано или поздно древние ювелиры должны были обнаружить, что для соединения металлов и сплавов методом заливки можно применять такие сплавы, которые плавятся при меньшей температуре, чем основной соединяемый металл. Так, стоило только в золото добавить медь или серебро, как образовывался сплав с меньшей, чем у исходных компонентов, температурой плавления. Спустя тысячи лет металловеды исследуют влияние составов сплавов на температуру их плавления, начертят диаграммы состояния всевозможных комбинаций металлов и, в частности, установят, что сплав 20 % золота и 80 % меди плавится при температуре 886 °С (тогда как температура плавления технически чистого золота 1064 °С, а меди – 1083 °С), сплав 70 % серебра с 30 % меди плавится при 780 °С (температура плавления чистого серебра 961 °С). Это свойство сплавов и было использовано для пайки.



Рис. 1.2. Золотая бляха из Сибирской коллекции Петра I

Ещё в египетских пирамидах археологи неоднократно находили предметы из золота и серебра, спаянные оловом. А в Помпее, погибшей при извержении Везувия, были обнаружены свинцовые водопроводные трубы, спаянные продольным швом.

Многие золотые украшения и предметы быта, найденные в скифских курганах, сделаны с помощью пайки (рис. 1.2).

Своей поразительной красотой шедевры древнего искусства обязаны не только таланту художников, но и мастерству умельцев, осуществлявших пайку. Причём на многих изделиях даже невозможно заметить шов.

Кузнецы аланских племён, владевшие технологией кузнечной сварки стали и железа, в VIII–X вв. использовали для пайки деталей из бронзы, серебра и золота легкоплавкие свинцово-оловянистые припои.

Значительного успеха искусство металлообработки достигло в Киевской Руси в IX–XII вв. Уровень производства и обработки был достаточно высоким, чтобы изготавливать прекрасные ювелирные украшения (рис. 1.3), вооружение и многочисленные орудия труда. Эти изделия отличались высоким качеством и чистотой сварных швов в местах соединений. Для изготовления мечей, наконечников копий применяли сталь и железо различных сортов. Часто из прочной стали делали только режущую кромку и наваривали на неё кузнечным способом сталь помягче. Кузнецы даже клеймили свои изделия, наваривая на металл буквы и знаки.

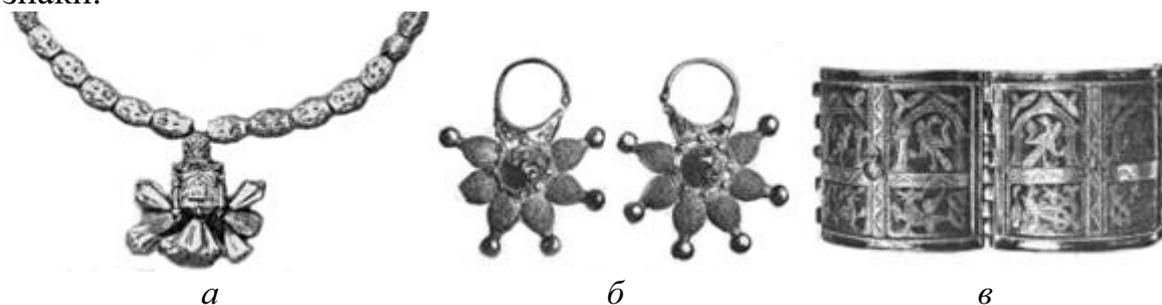


Рис. 1.3. Ювелирные украшения XII века (пайка):
а – ожерелье; б – колты; в – браслет

В романе «Пётр Первый» выдающимся писателем и знатоком русской истории А.Н. Толстым достаточно точно и ярко описан процесс приварки лапы к шестисоткилограммовому якорю.

Для того, чтобы изготовить крупное изделие (вал, длинную полосу), требовалась крупная заготовка. Такие заготовки получали из пакета мелких листов. Пакет, скреплённый оболочкой, нагревали в печи и проковывали-сваривали, придавая форму бруса. При необходимости несколько таких брусков, в свою очередь, сваривали между собой.

В XIX в. в России расширялось применение электрического привода на промышленных предприятиях, наблюдался подъём транспортного строительства, промышленность владела передовой технологией производства паровозов, вагонов, пароходов, резко увеличился выпуск паровых котлов и паровых машин и т. п. В этот период кузнечная сварка достигла своей вершины. Кувалде молотобойца приходит на смену ме-

ханический молот. Крупные детали обжимают мощными гидравлическими прессами. Улучшились конструкции печей для нагрева свариваемых заготовок. Однако во многих отраслях такая сварка сдерживала производство. Она была трудоёмка, малопроизводительна, требовала создания громоздких печей и молотов, но главное – качество сварных швов было нестабильным и не удовлетворяло требованиям развивающейся техники: при большом числе свариваемых заготовок имели место дефекты-непровары, приводившие к расслоению металла и разрушению нагруженных деталей во время работы. Это было обусловлено тем, что основными технологическими параметрами процесса сварки являлись температура свариваемого металла и величина его деформации в зоне сварки (обусловленная ударами молота), которые трудно было выдерживать в требуемом достаточно узком диапазоне.

Широко применяемая в настоящее время сварка плавлением, когда происходит локальное расплавление свариваемых поверхностей, образование общей сварочной ванны с последующей кристаллизацией, требовала мощного источника тепла, способного локально расплавить металл. А такого источника тепла в то время не было.

1.2. Рождение и развитие электродуговой сварки

С электрическими явлениями в природе человек познакомился очень давно. Такими явлениями были: гроза; способность янтаря, натёртого шерстью, притягивать мелкие частички различных веществ. С древних времён были известны людям и некоторые свойства природных магнитов и т. д.

В России интерес к электричеству постоянно возрастал со времён М.В. Ломоносова. И как только стало известно о создании итальянским физиком А. Вольта нового источника, способного давать электрическую энергию в результате химических реакций, русские исследователи начали работать с электрическим током. В начале 1802 года профессор Санкт-Петербургской медико-химической академии В.В. Петров построил самый крупный для того времени источник тока – батарею из 4200 пар медных и цинковых кружков. Именно этой батарее и было суждено стать исторической: на ней была впервые в мире получена электрическая дуга. Её назвали вольтовой, по названию источника тока – вольтова столба. Но современники не сумели по достоинству оценить открытие учёного. От открытия В.В. Петрова до технического применения дугового разряда с целью соединения (сварки) и разъединения (резки) металлов прошло около 80 лет. Открытие В.В. Петрова значительно опередило свой век. Надо было появиться на свет новому русскому умельцу – самородку Николаю Николаевичу Бенардосу, который на основа-

нии дуги Петрова и достижений мировой электротехники создал принципиально новый способ сварки и резки металлов – электродуговой.

Николай Николаевич Бенардос родился 26 июля (7 августа) 1842 года через восемь лет после смерти профессора В.В. Петрова, в деревне Бенардосовка на Херсонщине (ныне село Мостовое Николаевской области). С ранних лет он проявлял интерес к различным ремёслам, особенно к технике. И хотя по настоянию отца, полковника в отставке, ему пришлось поступить на медицинский факультет Киевского университета, до конца он там не доучился и перешёл в Московскую земледельческую и лесную академию (ныне Тимирязевская сельскохозяйственная академия).

В 1869 г. Н.Н. Бенардос поселился в городе Лух Юрьевского уезда Костромской губернии. Он построил в имении матери механические мастерские и занялся воплощением своих изобретений, испытаниями и их усовершенствованием.

Более 120 оригинальных изобретений сделал Н.Н. Бенардос, многие его идеи не потеряли своего значения и сейчас. Диапазон изобретений поразителен: железные бороны и углубители, скороварки и молотильные машины, паровые ножницы и пневматическая поливалка, пароходные колёса с поворотными лопастями и охотничьи лодки, замки и краны, турбины для гидроэлектростанций и пушка для метания канатов на терпящий бедствие пароход, летательные аппараты и станки для обработки металла и дерева, пневматические и вагонные тормоза, ветряной двигатель.

Большинство изобретений сделал он в области электротехники. И самым важным из них, принесшим ему мировую славу, явился разработанный им в 1882 г. способ электродуговой сварки, названный «электрогефестом». Металл расплавлялся дугой, горящей между угольным электродом, закреплённым в специальном держателе (рис. 1.4), и изделием.



Рис. 1.4. Держатель Н.Н. Бенардоса для ручной дуговой сварки угольным электродом

При этом между генератором и дугой подключалась батарея аккумуляторов. Генератор работал непрерывно, заряжая аккумуляторы, и в момент возбуждения дуги между электродом и металлом энергия подавалась в дугу в большом количестве. Однако такой источник питания был, конечно, далёк от совершенства. В результате напряжённого труда к лету 1885 г. Н.Н. Бенардосу удалось полностью, в деталях, разработать технологию сварки стали и чугуна и аппаратуру для сварки,

успешно провести испытания. 6 июля 1885 г. он обратился в Департамент торговли и мануфактур России с прошением о выдаче ему привилегии на «Способ прочного скрепления металлических частей и их разъединения непосредственным воздействием электрического тока». На этот процесс Н.Н. Бенардосу были выданы патенты во Франции, Бельгии, Великобритании, Германии, Швеции, позднее в Италии, США, Австро-Венгрии, Дании и других странах.

В 1886 году в столице России было организовано первое в мире специализированное научно-производственное объединение по электросварке «Электрогефест». Сам Н.Н. Бенардос был здесь одновременно и учёным-исследователем, и конструктором аппаратуры, и рабочим-сварщиком.

С 1886 года началось практическое применение дуговой сварки в мастерских железных дорог и на других предприятиях не только для ремонта, но и для изготовления различных металлических изделий.

НПО «Электрогефест» успешно применяли и за рубежом. К середине 90-х годов XIX века новый технологический процесс был внедрён более чем на 100 заводах Западной Европы и в США. Электросварку начали применять не только для вспомогательных ремонтных работ, но и как основной технологический процесс производства новых металлических изделий.

Создателем нового направления в производстве металлических конструкций стал русский инженер Н.Г. Славянов. Способ электросварки угольным электродом Н.Н. Бенардоса ещё только начинал своё триумфальное шествие по миру, когда на одном из заводов промышленного Урала электрическая дуга загорелась между изделием и стальным стержнем – электродом.

Николай Гаврилович Славянов родился 23 апреля (5 мая) 1854 года в Задонском уезде Воронежской губернии. Закончив с золотой медалью гимназию в Воронеже, он в 1872 г. поступил в Петербургский горный институт. Получив специальность инженера-металлурга в 1877 г., Н.Г. Славянов уехал работать на казённый Воткинский горный завод смотрителем механических фабрик. В 1883 г. он был назначен управляющим оружейных и механических фабрик Пермских пушечных заводов в Мотовилихе. С 1888 г. стал там горным начальником, а с 1891 г. и до конца жизни занимал должность горного начальника (директора) Пермских пушечных заводов.

Славянов критически оценил изобретение Бенардоса и внес в него существенные усовершенствования, касающиеся, в первую очередь, металлургии сварки. Сварка сталей, содержащих легирующие компоненты и примеси, не всегда получалась удачной, потому что в шов попадали оксидные включения, в нем скапливались сера и фосфор. Металл выгорал и становился хрупким в месте сварки.

Н.Г. Славянов заменил неплавящийся угольный электрод металлическим плавящимся электродом-стержнем, сходным по химическому составу со свариваемым изделием. Но самое главное то, что сварочная ванна была защищена слоем шлака – расплавленного металлургического флюса. Такой процесс повышал качество наплавленного металла при сварке.

Н.Г. Славянов разработал специальный сварочный генератор на 1000 А, заменивший аккумуляторную батарею Н.Н. Бенардоса.

К концу 80-х гг. XIX века в европейских странах и США быстрыми темпами развивается машиностроение, судостроение, энергетика. Растёт масса стальных отливок. Всё дороже обходится брак: трещины, раковины, поры. Из-за этого массивные детали идут на переплав. Это происходит повсюду, в том числе и в Перми. Н.Г. Славянов начинает применять свой новый способ для исправления дефектов литья, ремонта деталей паровозов, паровых машин, зубчатых колёс и т. д.

О масштабе решаемых задач в некоторой степени можно судить по архивным сведениям. Только за три с половиной года на Мотовилихинском заводе было выполнено более 1600 работ по сварке и наплавке ответственных изделий.

Способ Славянова получил диплом первой степени и золотую медаль на Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году за удивительный экспонат из России – металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм.



Рис. 1.5. Знаменитый многослойный стакан Н.Г. Славянова, изготовленный методом электрической отливки

Николай Гаврилович наплавил на сталь один за другим электроды из бронзы, томпака (сплав меди с цинком), никеля, стали, чугуна, нейзильбера (сплав меди с цинком и никелем).

Сделанный из этой многослойной заготовки стакан массой 5330 граммов представлял сразу всю гамму конструкционных металлов того времени (рис. 1.5).

Большое внимание Н.Г. Славянов уделял механизации и автоматизации дуговой сварки (рис. 1.6). Он изготовил и опробовал первый в мире сварочный полуавтомат, элементы которого использованы и в современных автоматических сварочных головках. Постоянство длины дуги в определённых пределах оплавления элект-

трода поддерживалось двумя соленоидами, втягивающими железный сердечник и обеспечивающими автоматическую подачу электрода.

Внимание, которое Н.Г. Славянов придавал проблеме автоматического регулирования длины сварочной дуги, свидетельствует о его блестящей технической прозорливости: он предвосхитил применение механизмов для регулирования длины электрической дуги, имеющих большое значение и в современной технике полуавтоматической и автоматической сварки. Объем сварочных работ на Пермском пушечном заводе впечатляет. Об этом говорит даже тот факт, что со всей страны везли на ремонт колокола, а это представляет достаточно сложный процесс.

В 1891 году Н.Г. Славянов запатентовал своё изобретение во Франции, Германии, Великобритании, Австро-Венгрии, Бельгии, а в 1897 году – в США (рис. 1.7).



Рис. 1.6. Полуавтомат Славянова



Рис. 1.7. Патент на способ электрической отливки

В России дальнейшее развитие нового технологического процесса электродуговой сварки столкнулось с существенными трудностями: электротехническая промышленность страны была очень слабо развита. Применение электросварки постепенно сокращалось, а со смертью её создателя практически прекратилось вовсе.

В то же время необходимо отметить, что новый технологический процесс, предложенный Славяновым, не всегда обеспечивал высокое качество соединений, так как плавление стали в дуговом разряде сопровождалось выгоранием углерода, марганца и кремния, при этом сварной шов мог насыщаться кислородом, азотом и водородом. Сварка применялась при изготовлении второстепенных металлоконструкций и неотвечественных изделий.

Сварку поддерживали только отдельные энтузиасты. Удачно найденные решения внедрялись в практику, развивались, служили очередной ступенькой для дальнейшего подъёма сварочного производства.

Среди таких ступеней была и идея шведского инженера Оскара Кельберга (Oskar Kjellberg) (1911 г.). Он предложил покрывать металлические плавящиеся электроды термостойкими неэлектропроводными материалами. И хотя тугоплавкое покрытие нужно было Кельбергу, чтобы выполнить сварку в потолочном положении (предотвратить стекание электродного металла), оказалось, что оно в некоторой степени защищает расплавленный металл от кислорода и азота воздуха. В 1917 году американские учёные О. Андрус и Д. Стреса изобрели новый электрод. Их стальной стержень был обёрнут полосой бумаги, приклеенной силикатом натрия – жидким стеклом. Бумага стала источником дыма, оттеснявшего воздух из зоны сварки. Обнаружилось ещё одно интересное свойство новой обмазки – дуга возбуждалась сразу, с первого касания и не гасла, как обычно, при незначительном удлинении. Сказалось присутствие в обмазке натрия.

Совместными усилиями изобретателей многих стран велись исследования с целью улучшения качества металла шва. И к концу 20-х годов прошлого века электроды с обмазкой уже содержали: специальные газообразующие вещества, оттесняющие воздух из зоны сварки; легирующие вещества, которые улучшали химический состав и структуру металла шва; шлакообразующие компоненты, защищающие расплавленный и кристаллизующийся металл от взаимодействия с воздухом; и, наконец, стабилизирующие вещества с низким потенциалом ионизации. Изменяя состав компонентов покрытия, можно было получать электроды со специальными свойствами.

Первые крупные сварочные работы в России возобновились и были выполнены под руководством В.П. Вологодина. На Дальзаводе (судоремонтный завод) он организовал в 1920 году сварочный участок, на котором ремонтировали детали и узлы судов, изготавливали паровые котлы, буксирные катера. На станции Большой Невер по проекту Вологодина впервые был построен сварной резервуар для хранения нефтепродуктов, начали строить сварные суда (первым было судно «Седов»), крупные доки, морские траулеры и т. п.

В 1928 году заводом им. Г.И. Петровского стали выпускаться серийно покрытые электроды для ручной дуговой сварки.

С началом индустриализации нашей страны значение электросварки проявилось в полной мере. Без неё не удалось бы невиданными темпами построить Магнитку, Кузнецк, Днепрогэс. За эти годы специалист в области мостостроения академик Евгений Оскарович Патон сумел

оценить всё, что может дать сварка. Он организовал в Киеве при Академии наук лабораторию, поставившую перед собой ясную и чёткую цель широкого применения электросварки вместо клёпки в самых различных отраслях промышленности. В январе 1934 года на базе этой электросварочной лаборатории был создан Институт электросварки, который в настоящее время носит имя его организатора – Е.О. Патона.

В тридцатые годы прошлого века ручная дуговая сварка покрытыми электродами внедрялась в производство металлоконструкций. Котлы и корабли, каркасы зданий и детали мостов, автомобили и вагоны и пр. – диапазон сварных конструкций пополнялся, и казалось, что уже ничто не прервёт наступление сварки. Но в 1938–1939 гг. в Западной Европе неожиданно обрушилось несколько мостов. Балки мостов были сварными. В этот период тысячи железнодорожных вагонов в России и других странах были сняты с эксплуатации из-за трещин в сварных рамах и тележках. Начались всесторонние исследования по влиянию процесса сварки на свойства металла шва и околошовной зоны, которые позволили найти способы управлять качеством сварного соединения.

В период с 1934 г. по 1941 г. под руководством Е.О. Патона и при его непосредственном участии был выполнен цикл исследований в области проблем прочности сварных конструкций, их расчёта и надёжности. В результате систематических работ по изучению металлургических и электротехнических процессов дуговой сварки был разработан способ сварки под флюсом. Дальнейшие работы по сварке, выполненные в Институте электросварки им. Е.О. Патона, принесли институту всемирную известность.

1.3. Разработка процесса газовой сварки

Попытки использовать горючие газы для сварки металлов плавлением (безковки) делались многократно. Но необходимые для этого температура пламени и концентрация теплоты достигаются только при сжигании горючих газов (или паров горючих жидкостей) в смеси с кислородом. Поэтому газовая сварка не могла найти применение раньше, чем появилась возможность получать в промышленных масштабах технически чистый кислород.

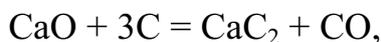
Одновременно с поиском газов велась работа и по созданию надёжной аппаратуры для сварки. В первую очередь необходимо было сконструировать горелку, обеспечивающую хорошее смешение горючего газа с кислородом, высокую концентрацию теплоты на выходе из сопла и взрывобезопасность (ацетилен в 1870 г. считался хорошим взрывчатым газом, что подтвердилось несколькими катастрофическими взрывами). Одной из первых (1847 г.), заслуживающих внимания конструк-

ций была горелка американского изобретателя Р. Хейра для получения водородно-кислородного пламени.

В 1850 г. во Франции С.К. Девиль создал горелку, в которой водород и кислород смешивались ещё до выхода наружу (подобная схема используется в современных сварочных горелках). Температура кислородно-водородного пламени достигала 2600 °С.

Тем временем в поле зрения техников попадает ацетилен – газ, теплота сгорания которого в несколько раз больше теплоты сгорания водорода, а температура пламени в смеси с кислородом достигает 3200 °С.

Ещё в 1836 году ацетилен получали из карбида кальция, разлагавшегося в воде. Но в то время карбид кальция был дорогим химическим соединением, получаемым в лабораторных условиях. И только в 1892 году, когда был разработан процесс электрической выплавки карбида кальция при взаимодействии негашеной извести с коксом:



себестоимость карбида кальция снизилась в тысячу раз, что позволило начать его широкое применение для получения ацетилена.

В 1895 году французский исследователь Анри Ле Шателье отметил, что кислородно-ацетиленовое пламя имеет не только высокую температуру, но и не окисляет расплавленное железо. Именно такое пламя было необходимо для сварки.

Горелки, в которых кислород и ацетилен смешивались снаружи на выходе из сопла, оказались неработоспособными. При горении образовывался твёрдый плотный нагар углерода, засорявший газовый канал. Французский инженер Ш. Пикап рискнул смешать оба газа прямо в горелке, до выхода из мундштука, подобно тому, как это делал Девиль с кислородом и водородом. Такая конструкция требовала подачи ацетилена под давлением, и горелки работали, когда газ подавался из баллонов.

При транспортировке сжиженного ацетилена в баллонах зачастую происходили взрывы, и это тормозило внедрение газовой сварки. Это последнее препятствие преодолел А. Ле Шателье, предложивший помещать раствор газа в ацетоне в пористое тело. Баллоны наполняли губкой, а потом заливали ацетон и накачивали ацетилен.

Для широкого промышленного применения газовой сварки необходимо было найти способ получения дешёвого кислорода. И с этой проблемой справился немецкий физик и инженер К. Линде. В 1885 году он сконструировал и построил первую в мире промышленную установку для получения жидкого воздуха, а в 1902 году создал ректификационный аппарат для разделения воздуха на компоненты. Это открыло дорогу широкому применению кислорода в технике.

Таким образом, к началу XX столетия трудами многих учёных и изобретателей был создан ещё один способ сварки металлов. Ацетилено-кислородная сварка не нуждалась в электрической энергии (правда: для получения карбида кальция и кислорода требовалось электричество); газосварочные установки были автономны, подвижны, несложны в эксплуатации. Серьёзным преимуществом этого способа, по сравнению со способами Н.Н. Бенардоса и Н.Г. Славянова, была возможность просто и эффективно улучшить качество металла шва, защитив пламенем зону сварки от воздействия воздуха.

Особенно много сторонников газовой (автогенной) сварки было во Франции и Германии. Здесь усиленно совершенствовались горелки, газовые генераторы для получения ацетилена, клапаны, редукторы, исследовали причины дефектов, выбирали оптимальные режимы сварки и формы разделки кромок.

В России газовая сварка была освоена в 1906 году. Она применялась для исправления брака литья, для изготовления неотчетливых деталей машин, при ремонте изделий из низкоуглеродистой стали, меди и чугуна, а также в железнодорожных мастерских.

К началу 20-х годов XX века в сварочном производстве преобладала газовая сварка. Работало несколько заводов по производству кислорода. Газовая сварка была применена для сооружения магистральных нефтепроводов в 1926–1935 гг. В 1926 г. было создано Русско-американское акционерное общество «Рагаз», основная задача которого заключалась в развитии газовой сварки. Начался выпуск горелок, резаков, редукторов и ацетиленовых генераторов.

Для полной победы газа над дугой не хватало только увеличить скорость сварки. И тут оказалось, что у газовой сварки почти нет резерва, что из неё больше нечего «выжать». Ни мощность, ни концентрация пламени не желали повышаться. А при дуговой сварке проблема увеличения скорости решалась путём увеличения силы тока (разумеется, до определённого предела, в зависимости от диаметра электрода). Но пластичность металла шва, полученного дуговой сваркой, была пока достаточно низкой, что зачастую сводило на нет все преимущества данного метода перед газовой сваркой.

В настоящее время газовую сварку применяют ограниченно для соединения стальных деталей и узлов небольших толщин. Её можно применять для сварки цветных сплавов с использованием флюсов, которые способствуют растворению образующихся оксидов. Сварка ацетилено-кислородным пламенем эффективна в ремонтных работах. Однако это – малопродуктивный процесс, требующий высокой квалификации сварщика. В промышленности газовая сварка практически вытеснена другими более прогрессивными способами сварки.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ И СПОСОБОВ СВАРКИ

Для получения неразъёмного соединения при сварке плавлением кромки металла свариваемых элементов (основной металл) и дополнительный металл (сварочная проволока и др.) в месте соединения расплавляются, самопроизвольно или принудительно сливаются в общую сварочную ванну, в которой происходят многие физико-химические процессы и устанавливаются металлические связи.

При удалении источника нагрева металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов, который и соединяет свариваемые элементы в одно целое. Металл сварного шва обычно значительно отличается от основного свариваемого металла по химическому составу и структуре, так как металл шва всегда имеет структуру литого металла. Рядом со швом в основном металле под действием термического цикла сварки образуется зона термического влияния различной протяженности. ЗТВ – это участок основного металла, который нагревается в интервале *температура плавления – температура критических точек* и подвергается действию напряжений во время сварки, в результате чего в металле происходят структурные изменения.

Металл шва и основной металл зоны термического влияния, в котором произошли какие-либо структурные изменения, называются сварным соединением. Механические, коррозионные и другие свойства сварного соединения могут существенно отличаться от свойств основного металла. При равенстве показателей механических свойств сварного соединения и исходного металла, сварное соединение должно быть равнопрочно основному металлу.

В качестве источника теплоты при сварке плавлением можно использовать различные источники нагрева: электрическую дугу (электродуговая сварка), теплоту шлаковой ванны (электрошлаковая сварка); энергию струи ионизированных газов «холодной» плазмы (плазменная сварка); теплоту, выделяемую в изделии в результате преобразования кинетической энергии электронов (электронно-лучевая сварка); когерентный световой луч лазера (лазерная сварка); энергию при сжигании горючего газа в кислороде (газовая сварка) и др.

Основной способ сварки плавлением – электродуговая сварка – имеет много разновидностей, связанных со степенью механизации: ручная, механизированная, автоматическая, с применением различных защитных веществ – толстого покрытия на электродах (при ручной сварке), флюсов, защитных газов или порошковой проволоки при механизированной сварке, контролируемой атмосферы (защитных газов или вакуума) при некоторых способах дуговой и электронно-лучевой сварки. Сварка плав-

лением применяется для весьма широкого спектра материалов: углеродистые, высокоуглеродистые, высоколегированные стали, цветные металлы и сплавы, а также неметаллы – стекло, керамика, графит.

Все указанные особенности значительно усложняют задачи, которые стоят перед инженерами-технологами, разрабатывающими технологический процесс сварки плавлением.

Разработанный технологический процесс сварки не только должен обеспечивать получение надёжных сварных соединений и конструкций, отвечающих всем эксплуатационным требованиям, но должен также допускать максимальную степень комплексной механизации и автоматизации всего производственного процесса изготовления изделия, должен также быть экономически обоснованным по расходу энергии, сварочных материалов, затрат человеческого труда.

Такие оптимизационные технологические задачи решаются на основе использования расчётных, аналитических методов проектирования технологического процесса сварки. При разработке технологического процесса изготовления сложной сварной конструкции целесообразен расчёт нескольких вариантов технологии на ЭВМ с последующим отбором оптимального варианта технологическим-сварщиком.

Большое внимание к сварке обусловлено универсальностью этого технологического процесса получения неразъёмных соединений, возможностью экономии до 20 % металла, повышением прочности и непроницаемости соединений, возможностью создания уникальных конструкций, которые при других способах изготовления конструкций создать не представляется возможным или экономически не выгодно.

Сварка классифицируется по техническим, технологическим, физическим признакам (ГОСТ 19521–74). Классификация по физическим признакам представлена на рис. 2.1.

Термический класс сварки включает виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии.

Термомеханический класс включает в себя виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления на свариваемые детали.

Механический класс включает виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления.

Дуговая сварка классифицируется по следующим технологическим признакам:

1) по виду электрода:

- штучный,
- ленточный (сплошного сечения и порошковая),
- проволочный (сплошного сечения и порошковая),

- плавящийся,
- неплавящийся (с применением и без применения присадочной сварочной проволоки);



Рис. 2.1. Классификация по физическим признакам и видам сварки

- по виду дуги:
 - свободная,
 - сжатая;
- по роду и полярности тока:
 - переменный ток (промышленной и повышенной частоты),

- постоянный ток прямой полярности,
 - постоянный ток обратной полярности,
 - пульсирующий ток;
- 4) по характеру воздействия дуги на основной металл:
- прямое действие,
 - косвенное действие,
 - трехфазная дуга;
- 5) по степени погружения дуги:
- нормальная дуга,
 - погружённая дуга;
- 6) по числу дуг с отдельным питанием:
- однодуговая,
 - двухдуговая,
 - многодуговая;
- 7) по числу электродов с общим подводом сварочного тока:
- одноэлектродная,
 - двухэлектродная,
 - многоэлектродная;
- 8) по наличию и направлению колебаний электрода относительно шва:
- без колебаний,
 - продольные колебания,
 - сложные колебания,
 - поперечные колебания;
- 9) по наличию внешнего воздействия при формировании шва:
- свободное формирование,
 - принудительное формирование.

Классификация сварки по техническим признакам представлена на рис. 2.2.

В зависимости от условий проведения сварки её классифицируют по способу защиты сварочной ванны от окружающей среды. Комбинированная защита представляет использование нескольких способов, например – газшлаковая.

Процесс сварки может быть непрерывным. Подразумевается, что параметры режима постоянны во времени. Использование прерывистых (импульсных) процессов позволяет значительно расширить технологические возможности сварки. При использовании импульсных технологий можно уменьшить толщины свариваемых материалов, получить более благоприятную структуру сварного шва вследствие изменения термического цикла сварки, обеспечить управляемый перенос электродного металла при сварке и т. д.



Рис. 2.2. Классификация сварки по техническим признакам

При ручных способах сварки, как правило, подача электродной или присадочной проволоки и перемещение источника нагрева производятся сварщиком. Поэтому ручная сварка остаётся самым сложным по технике исполнения способом. Изменение степени механизации с ручной на механизированную сварку подразумевает подачу электродного материала сварочным оборудованием (механизм подачи электродной проволоки), а перемещение сварочной горелки или головки осуществляется вручную. При автоматической сварке механизуются все операции процесса, включая подачу проволоки и перемещение автомата. При автоматизированной сварке дополнительно производят подачу, перемещение, отвод изделий или оборудования в автоматическом режиме, например автомобильный конвейер по сборке кузова. При этом роль человека сводится к наблюдению за протекающим технологическим процессом и контролю за необходимыми параметрами и показателями.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

Сварным соединением, как конструктивным элементом, называют участок конструкции, в котором отдельные её элементы соединены с помощью сварки. В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла с изменениями структуры и свойств в результате термического действия сварки (зона термического влияния) и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной шов представляет собой закристаллизовавшийся металл, который в процессе сварки находился в расплавленном состоянии.

Разделение этих понятий необходимо потому, что сварной шов как связующая часть соединяемых элементов определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства металла непосредственно в месте сварки. Свойства сварного соединения определяются свойствами металла самого шва и зоны основного металла, прилегающего к шву, с измененной структурой и во многих случаях с изменёнными свойствами зоны термического влияния. Необходимо учитывать и некоторую часть основного металла, прилегающую к зоне термического влияния и определяющую концентрацию напряжений в месте перехода от металла шва к основному металлу и пластических деформаций в зоне термического влияния, что отражается на характере и распределении усилий, действующих в сварном соединении.

3.1. Классификация сварных соединений

Классификация сварных соединений производится по основному признаку – по взаимному расположению свариваемых деталей друг относительно друга. При этом различают следующие типы сварных соединений:

- стыковые соединения,
- угловые соединения,
- тавровые соединения,
- нахлесточные соединения.

Данная классификация соединений подразумевает расположение свариваемых элементов в одной плоскости, под углом 90° и также расположение соединяемых деталей под острыми и тупыми углами.

3.2. Классификация сварных швов

Классификация сварных швов производится по следующим признакам:

1) по форме поперечного сечения:

- стыковые швы,
- угловые швы.

При этом угловыми швами можно выполнить угловые, тавровые и нахлесточные соединения. Угловые и стыковые швы имеют разную геометрию. Угловые швы имеют основной параметр – катет шва, стыковые – высоту усиления и ширину шва;

2) по положению, в котором осуществляется сварка:

- нижнее,
- «в лодочку»,
- горизонтальное,
- вертикальное,
- потолочное,
- полугоризонтальное,
- полувертикальное,
- полупотолочное;

3) по конфигурации сварного шва:

- прямолинейный,
- криволинейный,
- кольцевой;

4) по протяжённости сварного шва:

- сплошной,
- прерывистый.

При этом сплошные швы делятся на короткие – длиной до 250–300 мм, средние – 300–1000 мм и длинные – свыше 1000 мм. Прерывистые, в свою очередь, делят на цепное и шахматное расположение швов на сварном соединении;

5) по применяемому способу сварки:

- швы, выполненные ручной дуговой сваркой плавящимся электродом,
- швы, выполненные сваркой в среде активных газов плавящимся электродом и т. д.

Данный признак классификации может иметь столько пунктов, сколько на настоящее время будет иметься способов сварки;

6) по способу удержания расплавленного металла:

- швы, выполненные без подкладок и подушек,
- швы, выполненные на съёмных стальных и остающихся подкладках,

- швы, выполненные на медных, флюсомедных, керамических и асбестовых подкладках,
 - швы, выполненные на газовых и флюсовых подушках;
- 7) по количеству наложенных слоёв:
- односторонние швы,
 - двухсторонние швы,
 - многослойные швы,
 - многослойные, многопроходные швы;
- 8) по применяемому при сварке металлу:
- швы цветных металлов и сплавов,
 - швы углеродистых и легированных сталей и т. д., в зависимости от используемого материала;
- 9) по расположению шва на сварном соединении:
- под острыми и тупыми углами,
 - под прямым углом,
 - расположенные в одной плоскости;
- 10) по действующему на сварной шов усилию:
- фланговое,
 - лобовое,
 - комбинированное,
 - косое,
 - прорезное;
- 11) по объёму наплавленного металла:
- нормальный,
 - ослабленный,
 - усиленный;
- 12) по расположению на сварной конструкции:
- продольное,
 - поперечное.

3.3. Особенности сварных соединений

По форме сопряжения свариваемых элементов можно выделить следующие основные типы сварных соединений: стыковые (рис. 3.1), тавровые (рис. 3.2), угловые (рис. 3.3), нахлесточные (рис. 3.4). Также можно в отдельную группу отнести торцевые соединения, применение которых весьма ограничено (рис. 3.5).

Сварные швы подразделяют по форме поперечного сечения на стыковые (рис. 3.1) и угловые (рис. 3.2). Разновидностью этих типов являются также электрозаклёпочные и прорезные швы (рис. 3.6), выполняемые в нахлесточных соединениях.

С помощью стыковых швов образуют в основном стыковые соединения (рис. 3.1), с помощью угловых швов формируют угловые, тавровые и нахлесточные соединения (рис. 3.2, 3.3, 3.4), с помощью электрозаклёпочных и прорезных швов могут быть образованы лишь нахлесточные, но иногда можно сформировать тавровые сварные соединения.

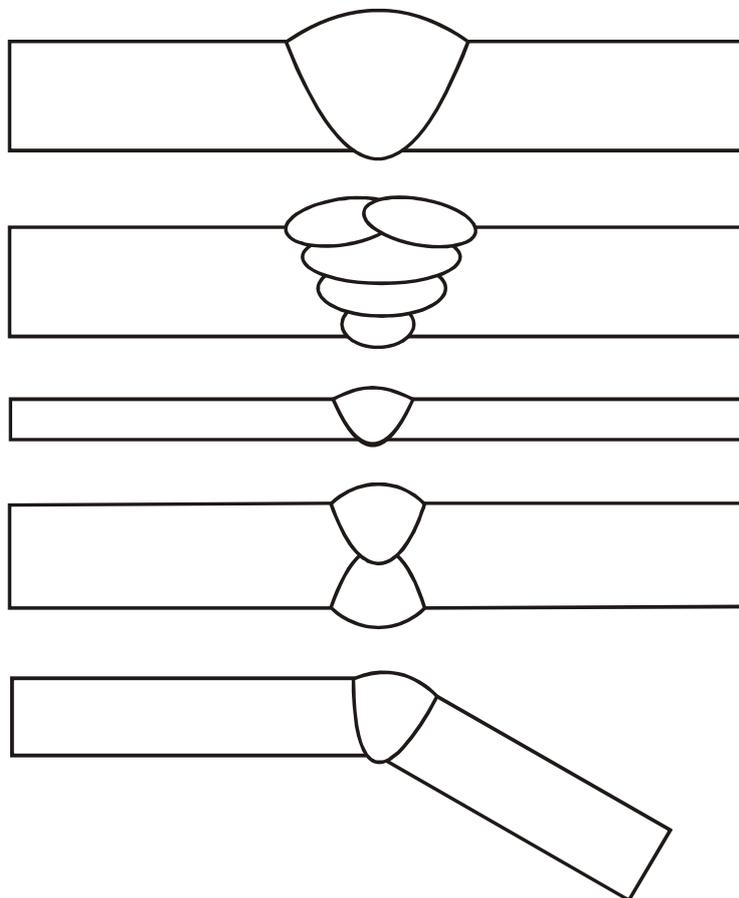


Рис. 3.1. Стыковые сварные соединения

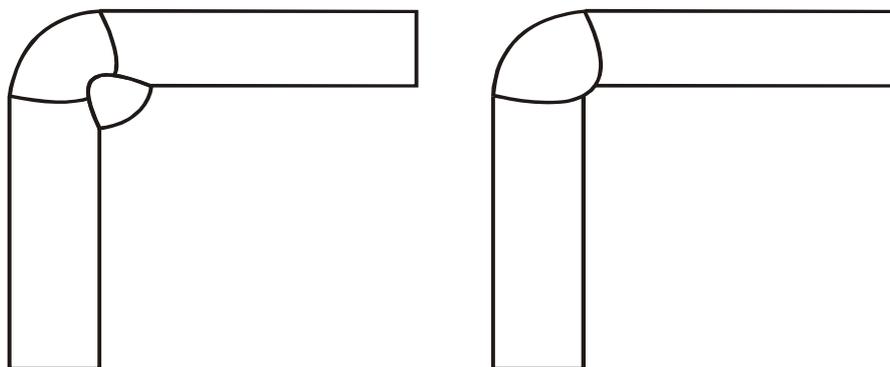


Рис. 3.2. Угловые сварные соединения (двухстороннее и одностороннее)

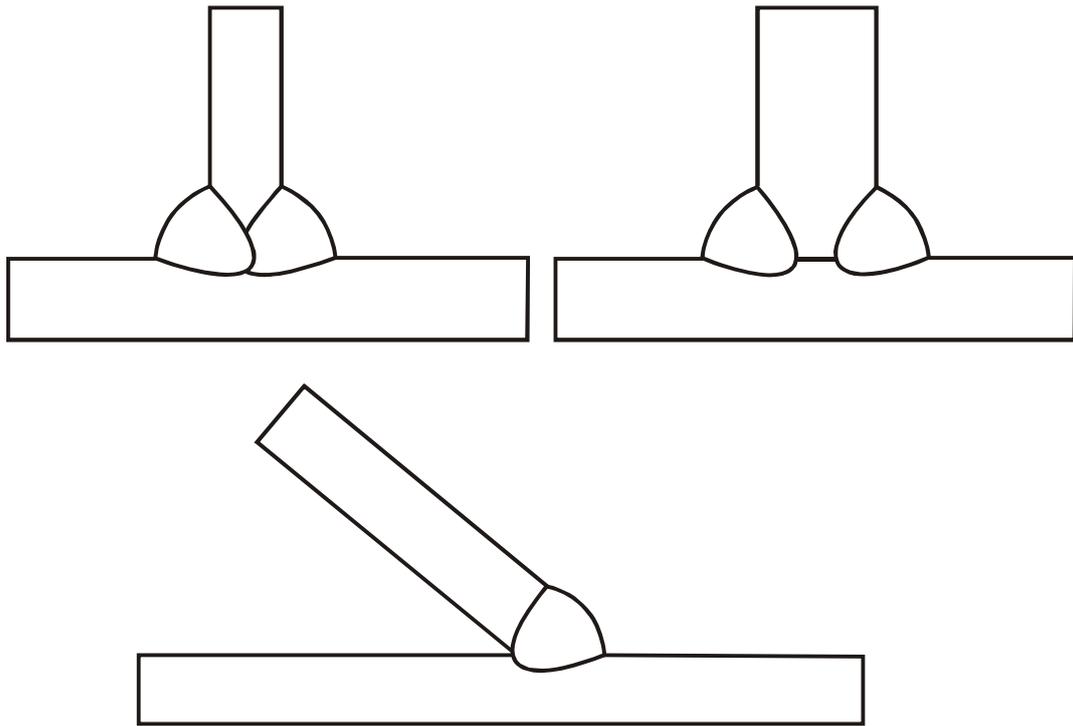


Рис. 3.3. Тавровые сварные соединения и соединение под тупым углом

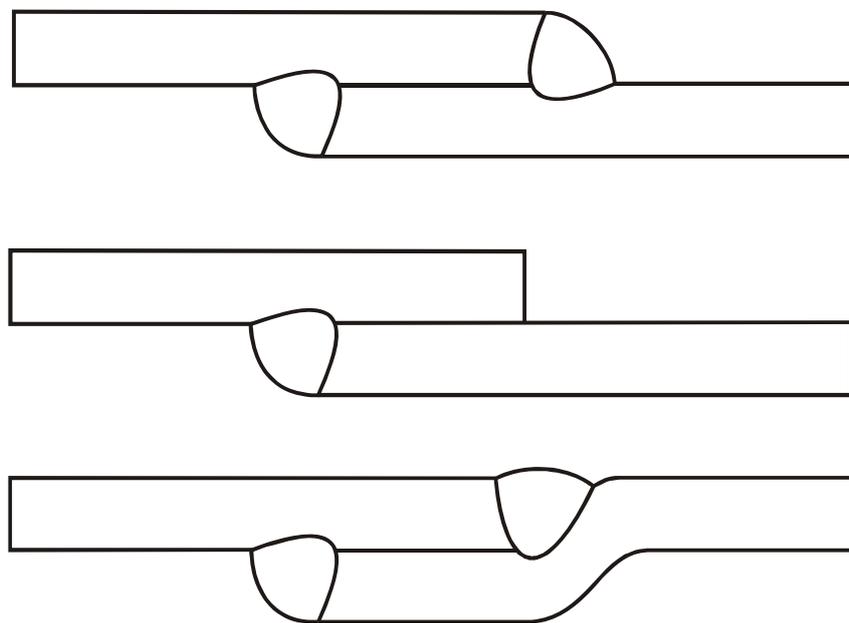
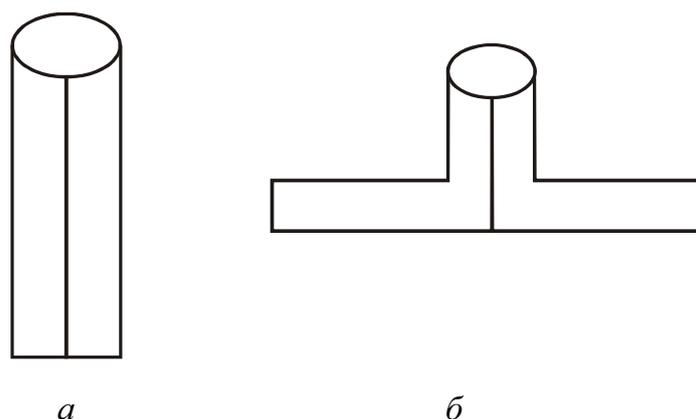


Рис. 3.4. Нахлесточные сварные соединения



*Рис. 3.5. Торцевые сварные соединения:
а – соединение листов; б – соединение уголков или профильного проката*

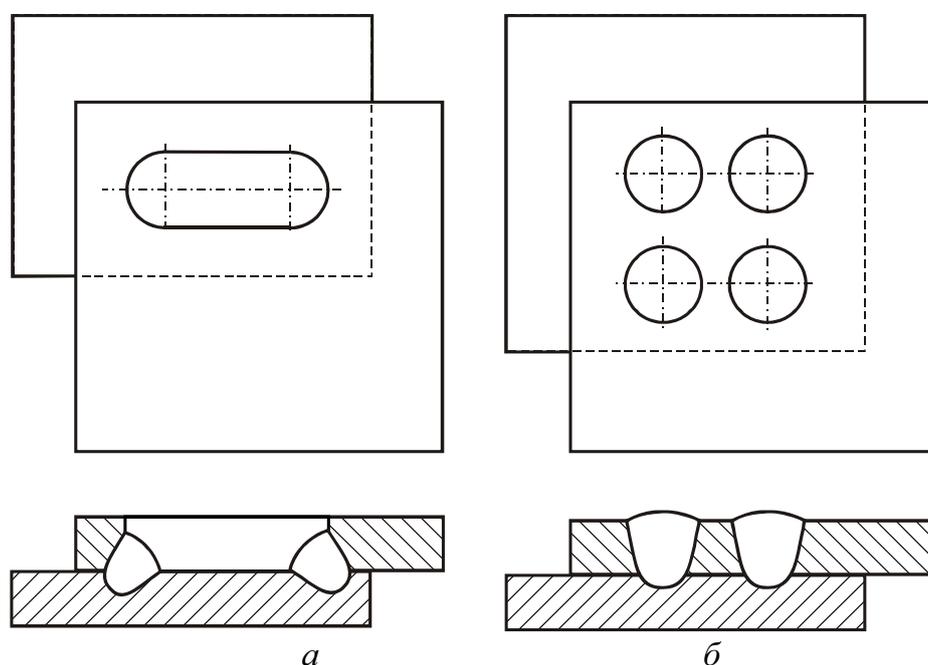


Рис. 3.6. Пререзное и электрозаклёпочное сварное соединение

Стыковые швы, как правило, выполняют непрерывными; отличительным признаком для них обычно служит форма разделки кромок соединяемых деталей в поперечном сечении. По этому признаку различают следующие основные типы стыковых швов (рис. 3.1, 3.7): без разделки кромок – односторонние и двусторонние; с отбортовкой кромок; с разделкой одной кромки – односторонние, двусторонние; с прямолинейной или криволинейной формой разделки; с односторонней разделкой двух кромок; с V-образной разделкой; с двусторонней разделкой двух кромок; с X-образной разделкой. Разделка может быть образована прямыми линиями (скос кромок) либо может иметь криволинейную форму (U-образная разделка).

Угловые швы различают по форме подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении и сплошности шва по длине.

По форме поперечного сечения швы могут быть без разделки кромок, с односторонней разделкой кромок, с двусторонней разделкой кромок. Тавровые, нахлесточные и угловые соединения могут быть выполнены отрезками швов небольшой протяжённости – точечными швами.

Электрозаклёпочные швы по своей форме в плане (вид сверху) обычно имеют круглую форму и получаются в результате полного проплавления верхнего и частичного проплавления нижнего листа (рис. 3.6) – их часто называют электрозаклёпками, либо путём проплавления нижнего листа через предварительно проделанное в верхнем листе отверстие. Прорезные швы, обычно удлиненной формы, получают путём приварки верхнего (накрывающего) листа к нижнему угловым швом по периметру прорези (рис. 3.6). В отдельных случаях прорезь может заполняться и полностью.

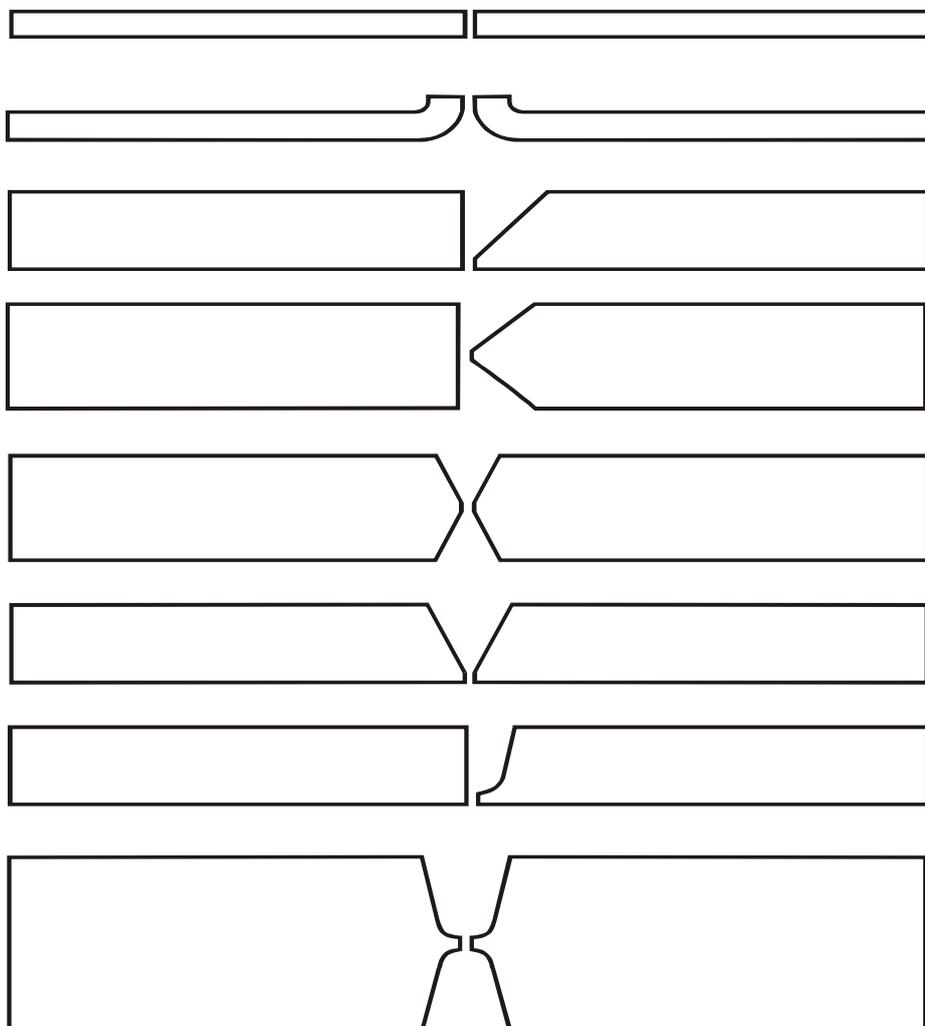


Рис. 3.7. Формы подготовки свариваемых кромок стыковых соединений

Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют четыре основных конструктивных элемента (рис. 3.8): зазор – b , притупление – c , угол скоса кромки – β и угол разделки кромок – α , равный β или 2β . Размеры и предельные отклонения указанных параметров регламентируются стандартами на сварные швы и соединения почти для всех способов сварки, указанными в разделе «Обозначение сварных соединений».

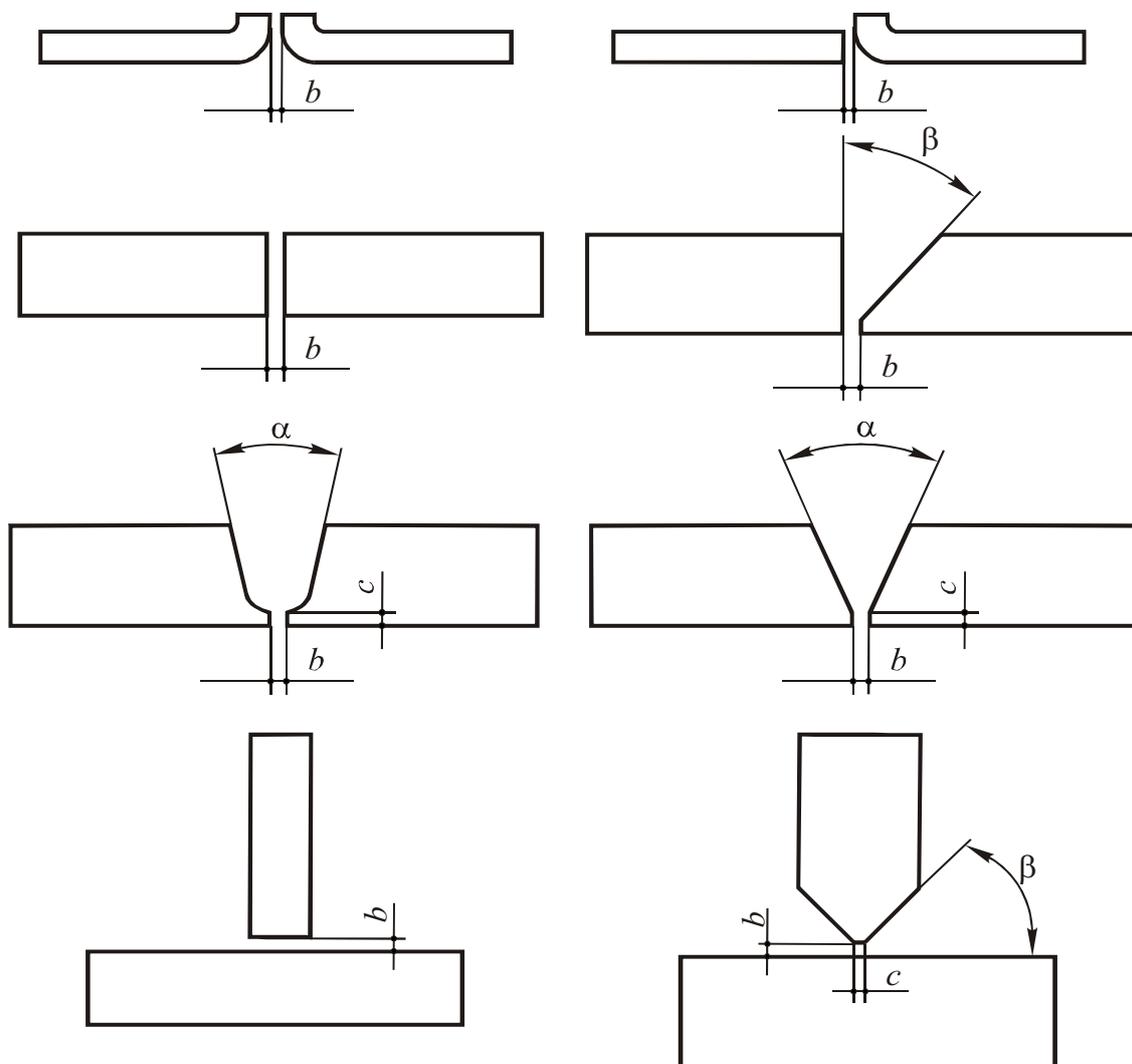


Рис. 3.8. Конструктивные элементы подготовки свариваемых кромок

Существующие способы дуговой сварки без разделки кромок позволяют сваривать металл ограниченной толщины (при односторонней сварке покрытыми электродами – до 5 мм, механизированной под флюсом – до 20 мм). Поэтому при сварке металла большой толщины необходимо разделять кромки. Угол скоса кромки обеспечивает определённую величину угла разделки кромок, что необходимо для доступа дуги в глубь соединения и полного проплавления кромок на всю их толщину.

Стандартный угол разделки кромок в зависимости от способа сварки и типа соединения изменяется в пределах от $60 \pm 5^\circ$ до $20 \pm 5^\circ$. Тип разделки и величина угла разделки кромок определяют количество необходимого дополнительного металла для заполнения разделки, а значит производительность сварки. Так, например, X-образная разделка кромок, по сравнению с V-образной, позволяет уменьшить объём наплавленного металла в 1,7–1,8 раза (рис. 3.9). При этом значительно уменьшается время на обработку свариваемых кромок, обеспечивается более благоприятная ситуация для снижения сварочных деформаций и напряжений. Правда, в этом в ряде случаев возникает необходимость вести сварку с одной стороны шва в более неудобном пространственном положении или кантовать свариваемое изделие. А в ряде случаев двухстороннюю сварку выполнить вообще невозможно.

Притупление c обычно составляет 2 ± 1 мм. Его назначение – обеспечить правильное формирование обратного валика и предотвратить прожоги в корне шва. Зазор b обычно равен 1,5–2,0 мм, так как при принятых углах разделки кромок наличие зазора необходимо для провара корня шва, но в отдельных случаях при той или иной технологии сварки зазор между свариваемыми деталями может быть равным нулю или достигать 8,0 мм и более.

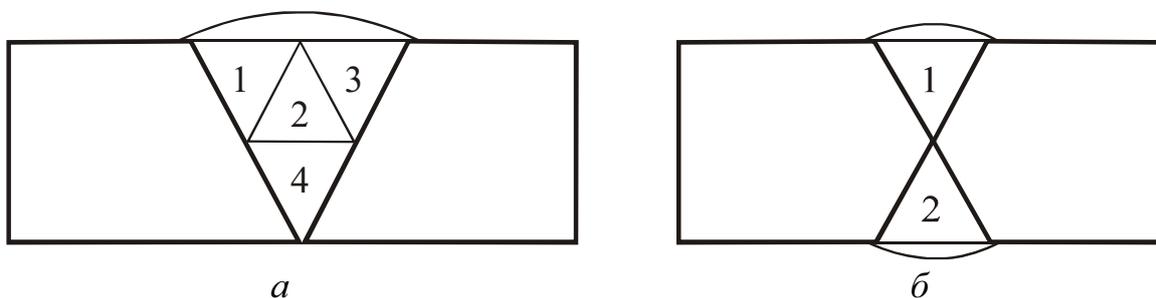


Рис. 3.9. Объём наплавленного металла стыкового соединения:
а – с V-образной разделкой кромок; *б* – с X-образной разделкой кромок

Для всех типов швов важны полный провар кромок соединяемых элементов и внешняя форма шва, как с лицевой стороны (так называемое усиление шва), так и с обратной стороны, форма обратного валика. В стыковых, особенно односторонних, швах трудно проваривать кромки притупления на всю их толщину без специальных приёмов, предупреждающих прожог и обеспечивающих хорошее формирование обратного валика. Для выполнения данного вида работ сварщики должны иметь достаточно высокую квалификацию. В противном случае используют двухстороннюю разделку кромок или закладывают в технологический процесс автоматические способы сварки.

Важное значение также имеет образование плавного перехода металла лицевого и обратного валиков к основному металлу, так как это обеспечивает высокую прочность соединения при действии динамических нагрузок. В угловых швах бывает трудно проварить корень шва на всю его толщину, особенно при сварке наклонным электродом. Для этих швов рекомендуется вогнутая форма поперечного сечения шва с плавным переходом к основному металлу, что снижает концентрацию напряжений в месте перехода и повышает прочность соединения при динамических и знакопеременных нагрузках. При этом действительное значение расчётного катета должно быть не менее допустимого значения. В противном случае шов будет ослаблен и снижена несущая способность сварного соединения.

3.4. Обозначение сварных швов и соединений на чертежах

Обозначение сварного соединения производится на сборочных чертежах и чертежах общего вида. Согласно ГОСТ 2.312–72, сварные швы всех типов изображают сплошными линиями (видимый шов) или штриховыми линиями (невидимый шов). К изображениям сварных швов подводят линии-выноски, оканчивающиеся односторонними стрелками. Линии-выноски предпочтительно проводить от видимого шва (рис. 3.10). Условное обозначение шва наносят над полкой линии-выноски (для шва на лицевой стороне), и под полкой – для шва, выполненного на обратной или невидимой стороне.

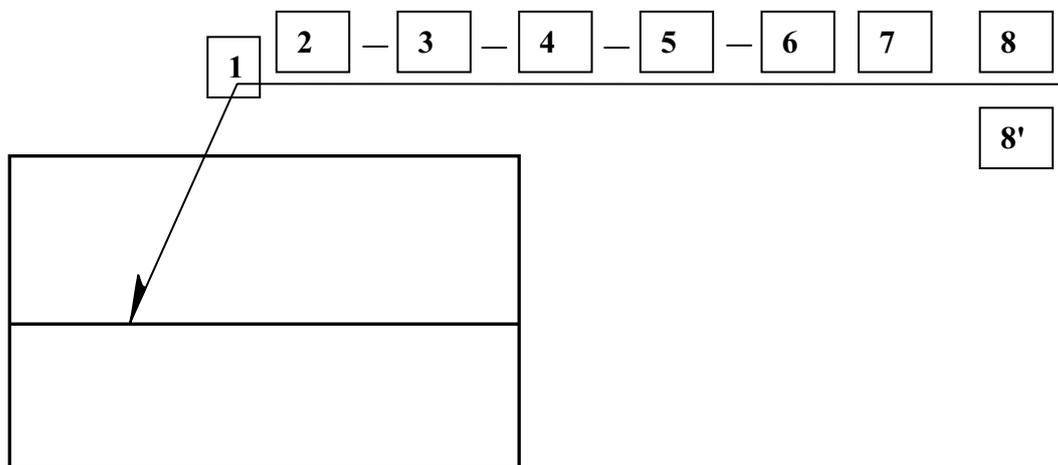
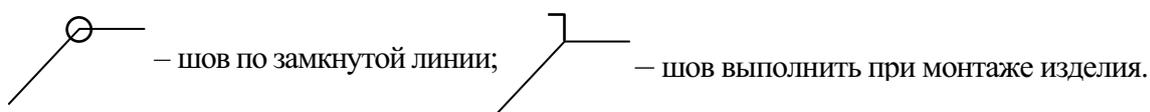


Рис. 3.10. Структура условного обозначение сварного шва

1. Вспомогательные знаки:



2. Обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений:

ГОСТ 5264–80 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

ГОСТ 11534–75 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами под острыми и тупыми углами.

ГОСТ 14771–76 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов.

ГОСТ 23518–79 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов под острыми и тупыми углами.

ГОСТ 16037–80 – стандарт на сварные соединения стальных трубопроводов (основные типы, конструктивные элементы и размеры).

ГОСТ 14806–80 – стандарт на дуговую сварку алюминия и его сплавов толщиной от 0,8 до 60 мм.

ГОСТ 14776–76 – стандарт на сварные электрозаклёпочные соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов и под слоем флюса.

Перечень стандартов, используемых при соединении металлов с помощью сварки, велик, а использование конкретного стандарта определяется исходя из применяемого способа сварки. Не имеют специального стандарта соединения, выполненные газовой сваркой. Однако в стандарте ГОСТ 16037–80 регламентируется использование газовой сварки на стальных трубопроводах.

3. Буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений.

Возможные буквы проставляются по первой букве типа соединения: С, Т, Н, У. После буквы в обязательном порядке должна быть проставлена цифра (порядковый номер шва в стандарте), указывающая конструктивные элементы подготовки свариваемых кромок и конкретные условия выполнения сварного соединения. Так, например С1–С37 и т. д. Существует всего два типа нахлесточных соединений: Н1 – соединение проваривается по одной стороне, указанной на чертеже, Н2 – нахлесточное сварное соединение проваривается по двум сторонам. Величина нахлеста элементов регламентируется стандартом.

4. Условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений.

Данную позицию допускается не проставлять, когда из стандарта понятно, что за способ сварки при этом используется. ГОСТ 5264–80 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, не требует дополнительного обозначения. ГОСТ 14771–76 не раскрывает конкретный способ сварки, т. к. сварка в среде защитных газов включает несколько способов: ИН – в инертном газе неплавящимся электродом, ИНп – в инертном газе неплавящимся электродом с использованием присадочного материала, УП – плавящимся электродом в среде углекислого газа, ИП – плавящимся электродом в среде инертного газа. Поэтому в данном случае обязательно проставлять обозначение способа сварки. Стандарты, требующие дополнения по способу сварки: ГОСТ 8713–79 (в редакции 1993 г.), ГОСТ 14776–79, ГОСТ 16037–80 (в редакции 1991 г.) и др.

5. Для угловых швов в данной позиции проставляется катет шва, например: 14 мм.

6. Для прерывистых швов проставляется длина провариваемого участка, для электрозаклёпочных и точечных соединений проставляется расчётный диаметр сварной точки, для швов, выполненных роликовой сваркой, – ширина шва, мм.

7. Указывается вид прерывистости соединения и шаг проставления швов: / – соединение с цепным расположением швов; Z – соединение с шахматным расположением сварных швов. Стоит обратить внимание на значения величины шага. Шаг – это расстояние от начала шва до начала следующего шва, а не расстояние между провариваемыми участками (такой смысл часто закладывают в этот размер), т. е. никогда не может быть проставлено обозначение 100 / 100. Также стоит задуматься о целесообразности следующего обозначения: 150 / 160. При выполнении сварного соединения гораздо удобнее и быстрее будет проварить шов напроход (от начала до конца стыка), чем проводить разметку для выполнения прерывистых швов. Аналогично и при выполнении сварного соединения с шахматным расположением швов следует рассмотреть необходимость выполнения соединения с указанными параметрами: 150 Z 130.

8. Показывают вспомогательные знаки:

 – усиление сварного шва снять;

 – наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу;

 – чистота обработки поверхности сварного шва;

 – шов по незамкнутой линии (знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа).

8'. Показывают вспомогательные знаки, относящиеся к обратной стороне сварного шва (со стороны корня):

- – усиление сварного шва снять;
- ▽ – чистота обработки поверхности сварного шва;
- ⏟ – наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу.

Если указанные знаки стоят под линией выноски, то они относятся к обратной стороне шва.

Возникают случаи, когда сварной шов видимый, но его необходимо выполнить с невидимой стороны, при этом основная надпись обозначения сварного шва записывается под линией-выноской (рис. 3.11).

Для более удобного чтения чертежа используется ряд упрощений при обозначении сварных швов и соединений.

Применяя при изготовлении сварной конструкции один способ сварки и форму подготовки кромок по одному стандарту, допускается в структуре условного обозначения не проставлять стандарт на основные типы, конструктивные элементы и размеры швов. При этом стандарт на сварку указывают на чертеже в технических требованиях на изготовление данной конструкции. Например, сварка осуществляется по ГОСТ 5264–80 электродами типа Э-50А.

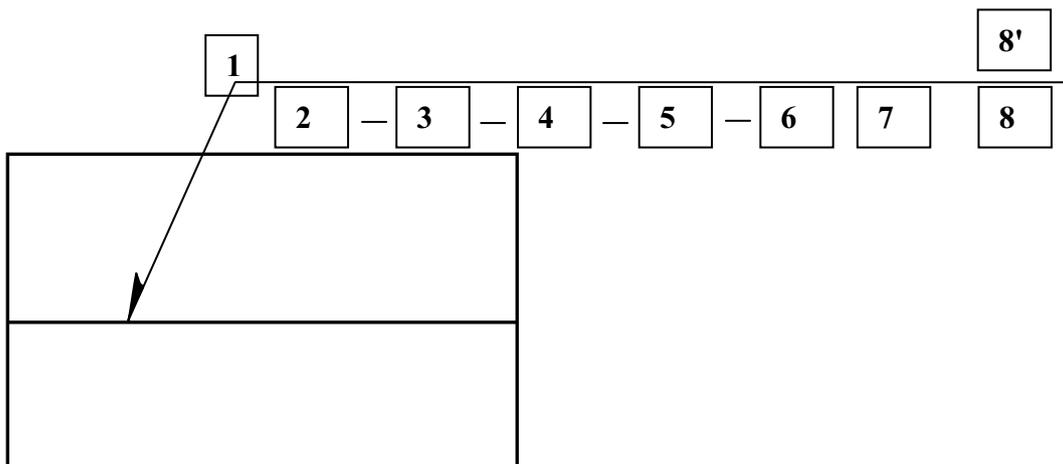


Рис. 3.11. Обозначение сварного шва, выполняемого с невидимой стороны

Может быть ситуация, когда одинаковых сварных швов очень много и обозначение каждого шва загромождает чертёж. Тогда сварные швы группируют и производят полное обозначение одного сварного шва. На наклонной линии полки проставляется количество одинаковых швов и номер группы швов (рис. 3.12, а). У остальных швов проводят линии-выноски (рис. 3.12, б).

На них наносят порядковый номер шва. Если в следующих сварных соединениях меняется стандарт на сварку, используется другая разделка кромок и т. д., то формируют следующую группу сварных соединений. Порядковый номер группы не указывает последовательность сварки или

сборки элементов сварной конструкции. Данную последовательность можно найти лишь в технологической документации.

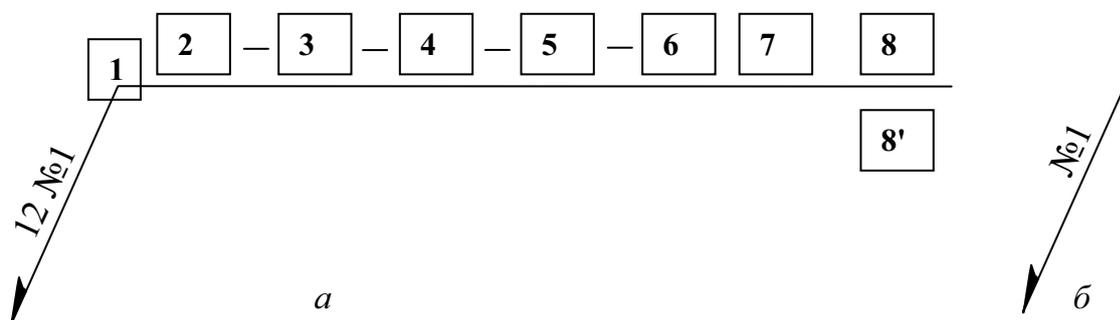


Рис. 3.12. Обозначение одинаковых швов:

а – обозначение одного шва; *б* – обозначение последующих швов

Если все швы одинаковые и изображены с одной стороны (лицевой или оборотной), порядковый номер швам не присваивается, а швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками.

Нестандартный сварной шов изображается с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для его выполнения, причём границы шва проводят сплошными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями (рис. 3.13). В технических требованиях обязательно указывают способ сварки. Например, сварка ручная дуговая покрытыми электродами типа Э-46А.

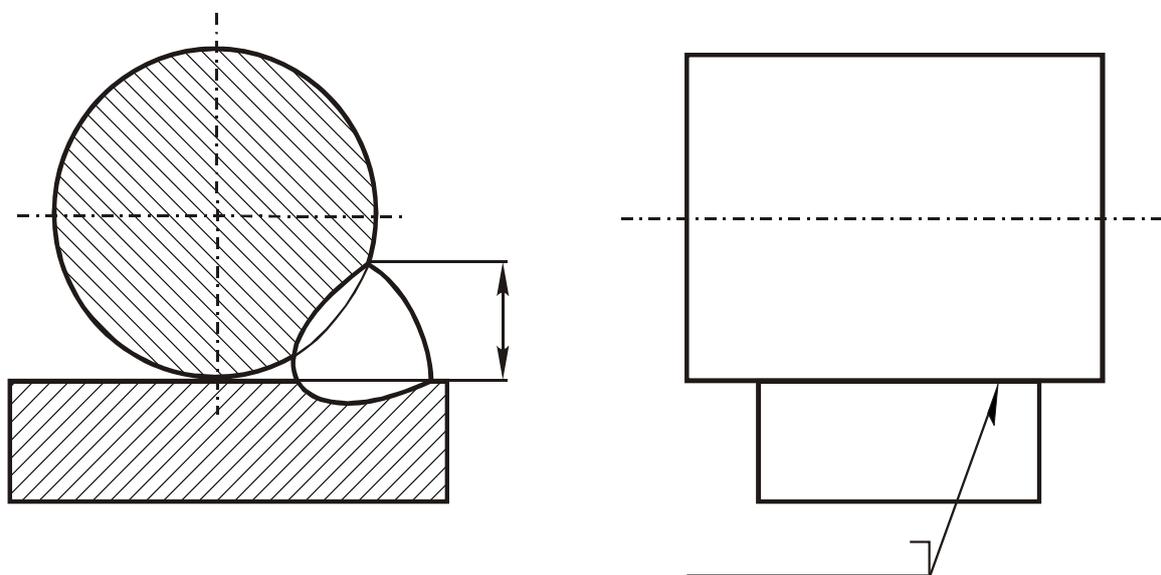


Рис. 3.13. Обозначение нестандартного сварного шва

4. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ИСПРАВЛЕНИЯ

Каждый производственный процесс предполагает определённые отклонения от требований технических норм. Если такие отклонения выходят за пределы установленных допусков для конкретного изделия – это брак, дефект, который должен быть устранён. Если устранение дефекта невозможно, изделие не может быть принято к эксплуатации. В сварных конструкциях, выполненных сваркой, дефекты различаются по месту их расположения и по причинам возникновения.

Причины возникновения дефектов связаны с неправильной подготовкой и сборкой элементов (нарушение технологического процесса сборки и сварки), нарушением режима сварки, неисправностью сварочного оборудования, неправильной подготовкой основного и сварочного материалов, небрежностью и низкой квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся: несоответствие швов расчётным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры.

Причины образования дефектов могут быть связаны с явлениями, происходящими в процессе кристаллизации и формирования сварочной ванны и окончательного формирования шва. В результате этого могут возникать трещины в самом шве и в околошовной зоне, шлаковые включения, поры.

Трещины и поры, выходящие на поверхность металла, непровары, прожоги, подрезы, наплывы – все они относятся к наружным дефектам и могут быть обнаружены наружным осмотром при визуально-измерительном осмотре. К внутренним дефектам относятся те же трещины, непровары, включения и поры, но находящиеся внутри шва и не выходящие на поверхность металла. Их обнаруживают в большинстве случаев методами неразрушающего контроля. При разрушающем методе контроля, при котором из сварного стыка вырезается шлиф для металлографических исследований, дефекты обнаруживаются только в сечении шлифа. Также при данном исследовании можно определить и недопустимые изменения структуры основного металла шва под воздействием сварки.

4.1. Причины возникновения дефектов

Подрезы – это углубления в основном металле (рис. 4.1). Причина их возникновения – большой сварочный ток и длинная дуга.

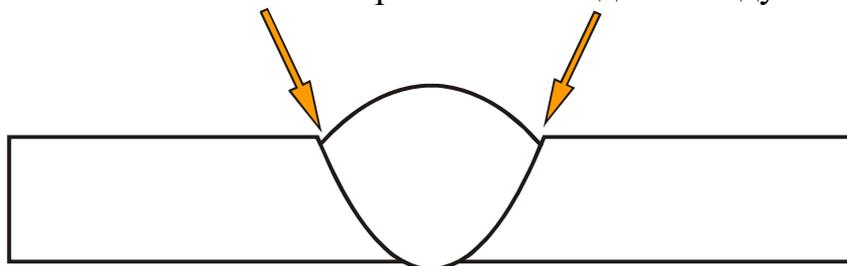


Рис. 4.1. Подрезы на основном металле

При выполнении угловых швов в нижнем положении основной причиной возникновения подреза будет смещение электрода в сторону вертикальной стенки. Суть в том, что при таком смещении возникает сильный разогрев вертикальной стенки, металл там плавится раньше и стекает на горизонтальную полку, образуя при этом подрезы на вертикальной стенке и наплывы на горизонтальной поверхности. При сварке стыковых соединений подрезы, как правило, возникают при высоких значениях сварочного тока и быстром перемещении источника нагрева.

Непровар. Возникновение этого дефекта кроется в малом угле скоса свариваемых кромок и небольшом зазоре между ними. Загрязнение кромок тоже может быть причиной непроваров. При самом процессе сварки непровар может дать недостаточный сварочный ток, завышенная скорость сварки, неточное направление электродной проволоки. Обычно место образования непровара – корень шва (рис. 4.2). Если применялась автоматическая сварка, то непровары образуются обычно в самом начале шва. Поэтому при автоматической сварке начало сварки нужно проводить на специальных входных планках.

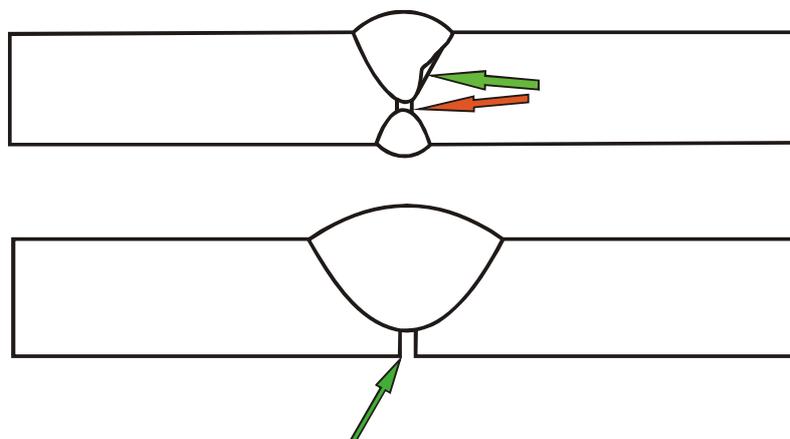


Рис. 4.2. Непровар корня шва, непровар кромки (несплавление)

Несплавление. Это означает, что металл сварного шва не сплавился с ранее наплавленным металлом или не сплавляется с основным металлом (рис. 4.2). Причины – плохая зачистка свариваемых кромок, грязь, большая длина дуги, недостаточная сила тока, большая скорость сварки. Причём несплавления могут быть на различных участках: несплавления кромки (плохой прогрев свариваемых кромок) и межваликовые несплавления (нет сплавления между валиками при многослойной, многопроходной сварке).

Прожог (сквозное проплавление) возникает из-за большого тока при малых скоростях сварки, из-за наличия большого зазора между кромками (рис. 4.3). Наиболее часто прожоги образуются при выполнении первого прохода многослойного шва и при сварке тонкого металла. Если под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка – тоже может возникнуть прожог или протёк.

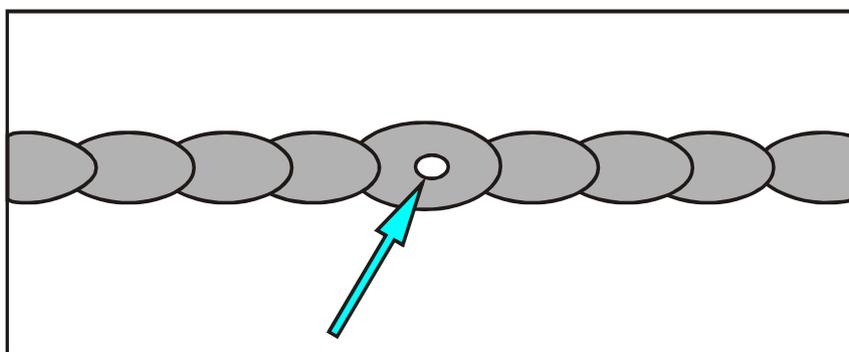


Рис. 4.3. Сквозной прожог металла

Наплыв представляет собой затекание жидкого металла непосредственно из сварочной ванны на кромки холодного основного металла (рис. 4.4). Наиболее часто наплывы возникают при сварке горизонтальных швов на вертикальных плоскостях. Обычные причины наплывов – большой сварочный ток, неправильный наклон электрода, большая длина дуги, неправильные манипуляции электродом.

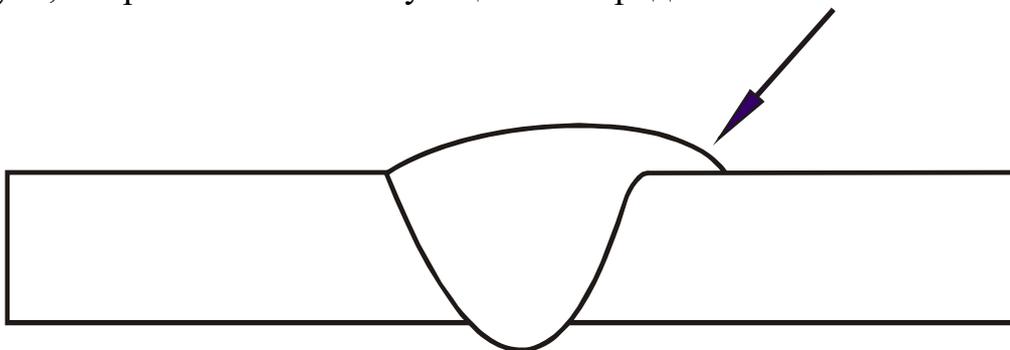


Рис. 4.4. Наплыв электродного металла на основной

Трещины – самые опасные дефекты, так как они создают высокую концентрацию напряжений (рис. 4.5).

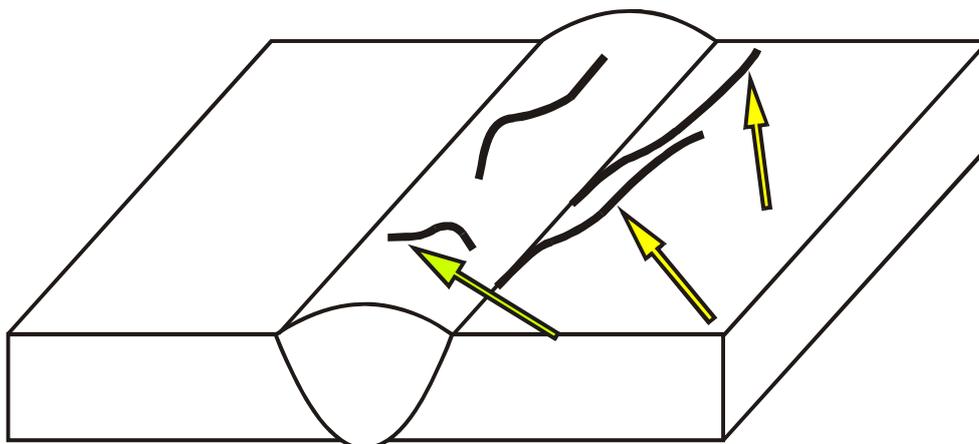


Рис. 4.5. Трещины продольные и поперечные на шве и основном металле

Трещины появляются при сварке высокоуглеродистых и легированных сталей в результате слишком быстрого охлаждения. Часто трещины образуются в сварных соединениях жёсткозакрепленных конструкций.

Иногда трещины возникают при охлаждении сварных конструкций на воздухе. Они могут располагаться вдоль и поперек сварного соединения, а также в основном металле в местах сосредоточения швов. Это приводит к быстрому разрушению сварной конструкции без пластического течения.

Причинами образования трещин являются большие напряжения, возникающие в сварных соединениях при сварке. На образование трещин влияет повышенное содержание серы и фосфора. Сера увеличивает склонность металла шва к образованию горячих трещин, а фосфор – холодных. Горячие трещины возникают в процессе кристаллизации металла шва, т. е. при высоких температурах, а холодные – при относительно низких температурах (ниже 100...300 °С).

Кратеры образуются при обрыве дуги в виде углублений в застывшей сварочной ванне (рис. 4.6).

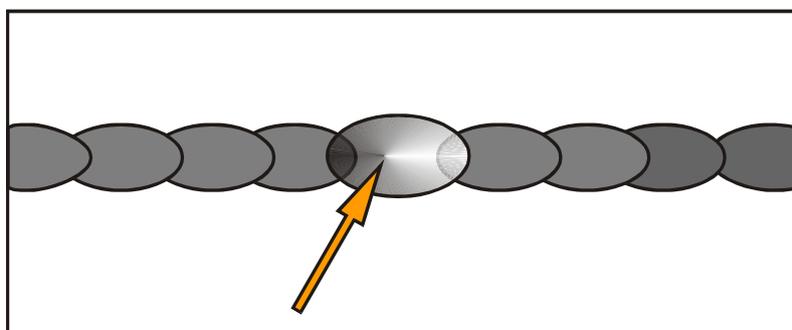


Рис. 4.6. Незаваренный кратер при окончании процесса сварки

Место кратера должно быть обязательно заварено. При автоматической сварке шов обычно заканчивают на выводной планке, где и появляется кратер.

Поры в сварном стыке появляются вследствие того, что газы, растворённые в жидком металле, при быстром охлаждении шва не успевают выйти наружу и остаются в нём в виде пузырьков (рис. 4.7). Размер пор колеблется от нескольких микрометров до нескольких миллиметров.

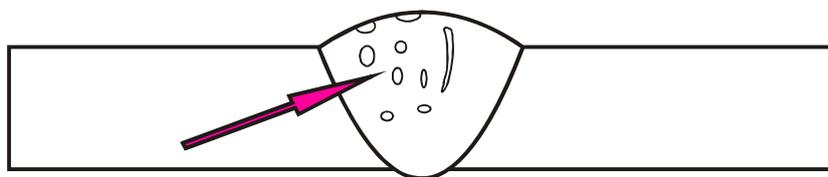


Рис. 4.7. Поры внутренние и выходящие на поверхность сварного шва

Обычная форма возникающих пор – сферическая. Если поры выходят на поверхность – это свищи. Причины образования пор: масло, краска, окалина, ржавчина и всякие другие загрязнения. Причиной может быть и использование сырых и непросушенных электродов. Это же относится и к сырым флюсам, и к примесям в защитных газах. Излишне большая скорость сварки нарушает газовую защиту сварочной ванны, что тоже приводит к появлению пор. Поры появляются и при неверном выборе сварочной проволоки, особенно в том случае, если сварка осуществляется в углекислом газе.

Шлаковые включения. Речь идет о неметаллических включениях (несколько миллиметров) в линиях шва. Формы включений могут быть самые разные (рис. 4.8.) Обычно такие включения располагаются на границе единения основного металла с наплавленным. Причины возникновения шлаковых включений – грязь на кромках, малый сварочный ток и высокая скорость сварки.

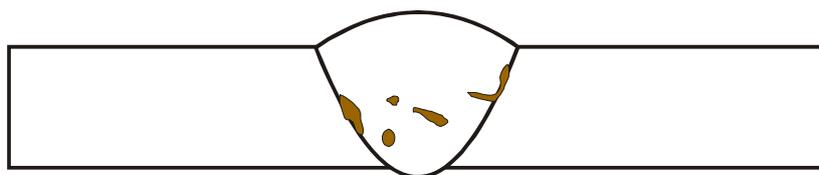


Рис. 4.8. Шлаковые включения в сварном шве

Следующая разновидность дефекта – *неравномерность шва, несоответствие геометрических размеров шва* требуемым (рис. 4.9). Появляется дефект по причине неустойчивого режима сварки, неточного направления электрода. Если это автоматизированная сварка, то причины заключаются в колебании напряжения в сети, проскальзывание проволоки в подающих роликах, протекание жидкого металла в зазоры, неправильный угол наклона электрода и т. д.

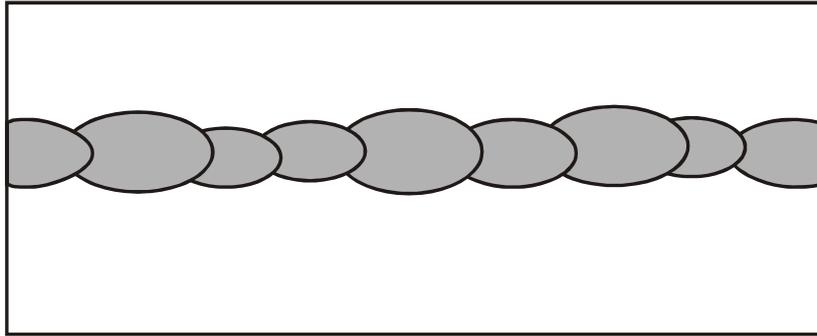


Рис. 4.9. Неравномерность и несоответствие размеров шва, требуемых нормативными документами

Как уже было упомянуто в начале раздела, если допущенные в изделии отклонения не превышают установленных допусков, изделие (сварной шов) может быть принято в эксплуатацию. Здесь важно знать, на что влияет допущенное отклонение, как при этом изменяется характеристика изделия (конструкции). К примеру, усиление шва не снижает прочности при статических нагрузках, но сильно влияет на вибрационную прочность. Чем больше усиление шва и, следовательно, меньше угол перехода от основного металла к наплавленному, тем сильнее оно снижает предел выносливости.

Кратеры, как и прожоги, во всех случаях – недопустимые дефекты и подлежат исправлению. Часто кратер является очагом развития трещин.

Наплывы, резко изменяя очертания швов, образуют концентраторы напряжений и тем самым снижают работоспособность конструкций при действии динамических и знакопеременных нагрузок. Наплывы, имеющие большую протяжённость, следует считать недопустимыми дефектами, так как они нередко сопровождаются непроварами. Небольшие местные наплывы считают допустимыми дефектами.

Опасным дефектом является *подрез*. Он не допускается в конструкциях, работающих в особо опасных условиях. Подрезы небольшой протяженности, ослабляющие сечение шва не более чем на 5 %, в конструкциях, работающих под действием статических нагрузок, можно считать допустимыми. Однако требования могут быть намного жёстче.

Трещины – наиболее опасный дефект сварных швов. Они являются сильными концентраторами напряжений. Выявленные трещины оставлять без исправления (подварки) обычно не разрешается. Сварные швы с трещинами исправляют по специальной технологии, гарантирующей надёжную работу сварного соединения.

Непровары снижают работоспособность сварного соединения за счёт ослабления рабочего сечения, создают концентрацию напряжений в шве. При вибрационных нагрузках мелкие непровары снижают проч-

ность соединения до 40 %. Большие непровары корня шва могут снизить прочность на 70 %.

Поры, газовые и *шлаковые включения*. Этот вид дефекта незначительно влияет на прочность соединения в целом. Но расположенные в виде цепочки поры уже представляют опасность, существенно снижая прочность. Так что здесь очень важно геометрическое расположение пор и включений, чем более они упорядочены, тем большую опасность представляют. Если шлаковые включения расположены в глубине шва, то это тем более опасно.

Очень редко встречаются свищи в виде сквозных дефектов.

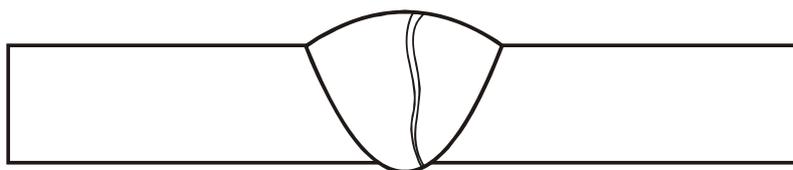


Рис. 4.10. Сквозной дефект – свищ

В заключение следует сказать, что выполнить ряд сварных соединений, не имеющих дефектов, вообще практически невозможно. При этом необходимо обеспечить в шве минимум допустимых дефектов.

4.2. Устранение и исправление дефектов

Все недопустимые дефекты сварного шва подлежат обязательному устранению, а если это невозможно – сварное изделие бракуется.

В конструкциях из стали допускается устранение дефектов плазменно-дуговой или воздушно-дуговой строжкой с последующей обработкой поверхности абразивами. Можно устранять наружные дефекты шлифовкой. Если производится заварка выборок в швах, подлежащих обязательной термической обработке (из легированных и хромистых сталей), то приступать к исправлению дефектов следует только после отпуска сварного соединения (при 450–650 °С).

При удалении дефектных мест целесообразно соблюдать определённые условия. Длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного места плюс 10–20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки должна быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала его двойной ширины до заварки. Форма и размеры подготовленных под заварку выборок должны обеспечивать возможность надёжного 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, выполнить на нём плавные переходы к основному металлу.

Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов следует производить только механическим способом – вышлифовкой абразивным или выборкой режущим инструментом, а также вырубкой с последующей зашлифовкой.

Подрезы принято устранять наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта, но это ведет к повышению расхода сварочных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет «сгладить» дефекты без дополнительной наплавки. Однако производить сварочные работы аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по швам, выполненным другими способами сварки, не рекомендуется из-за возможности нахождения в шве пор, шлака и т. п.

Наплывы и неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине.

Кратеры швов заваривают. Прожоги в швах наблюдаются редко, их зачищают и заваривают.

Заварку дефектного участка производят одним из способов сварки плавлением (ручной дуговой, дуговой в среде инертных газов и др.).

Исправленные швы сварных соединений должны быть повторно проконтролированы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству изделия. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то производят их повторное исправление с соблюдением необходимых требований. Число исправлений одного и того же дефектного участка зависит от марки стали, технологии, принятой для данной стали, и, как правило, не превышает двух, трёх раз. Ограничение связано с изменениями основного металла, происходящими при сварке.

5. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Назначение сварочных материалов

При сварке плавлением монолитное, неразъёмное сварное соединение получается в результате расплавления либо кромок свариваемого металла, либо кромок и дополнительного присадочного металла с образованием общей металлической сварочной ванны и последующей кристаллизацией этой ванны после прекращения действия теплоты источника нагрева. В большинстве случаев сварку проводят с введением присадочного металла в виде проволок, стержней, пластин и т. п., электрически связанных с источником теплоты (дуговая сварка плавящимся электродом, электрошлаковая сварка) или вводимых независимо от источника нагрева (дуговая сварка неплавящимся электродом, электронно-лучевая, плазменная, газовая сварка).

Физико-металлургические процессы, протекающие при сварке (на торце электрода, в дуге, ванне), должны обеспечить металл шва такого химического состава, при котором были бы получены необходимые его свойства: отсутствие дефектов (трещин, пор и др.), равнопрочность с основным металлом и другие свойства, определяемые условиями его работы. Этого можно достичь легированием металла шва присадочным металлом, покрытием, флюсом либо применением особых методов защиты зоны сварки (защитных газов, вакуума) при сварке без дополнительных сварочных материалов.

Присадочный металл и другие вещества, используемые при сварке плавлением с целью получения неразъёмного соединения, удовлетворяющего определённым требованиям качества, принято называть сварочными материалами.

К сварочным материалам относят: сварочную проволоку, присадочные прутки, порошковую проволоку, покрытые электроды, неплавящиеся электроды, различные флюсы, защитные (активные и инертные) и горючие газы, т. е. всё то, без чего невозможно получение качественного сварного шва.

Указанные материалы должны обеспечить требуемые геометрические размеры и свойства сварного шва; хорошие технологические условия ведения процесса сварки; высокую производительность и экономичность процесса; необходимые санитарно-гигиенические условия труда при их производстве и сварке.

Это достигается тем, что сварочные материалы участвуют:

а) в защите расплавленного металла в зоне протекания металлургических процессов, а в некоторых случаях и нагретого твёрдого металла от вредного действия атмосферного воздуха (насыщения его газами атмосферы).

ры) в течение всего процесса сварки – в процессе расплавления, переноса в дуге, пребывания в сварочной ванне и кристаллизации;

б) в регулировании химического состава металла шва путём его легирования и раскисления;

в) в очистке (рафинировании) металла шва – удалении серы, фосфора, включений оксидов и шлаков;

г) в очистке металла шва от водорода и азота;

д) в ряде случаев в модифицировании, измельчении первичной структуры шва.

Присадочный металл (в виде сварочной, электродной или присадочной проволоки, стержня электрода), имеющий определённый химический состав и дополнительные средства (в виде толстого покрытия на электроде, флюса или защитного газа либо порошка в порошковой проволоке) в комплексе обеспечивают газовую, шлаковую или комбинированную газшлаковую защиту зоны сварки от воздуха, стабилизацию горения дуги, раскисление и легирование металла шва, очистку его от вредных примесей и газов и предотвращают образование в нём трещин и т. п.

Следовательно, при сварке осуществляется сложная физико-химическая обработка электродного и основного металла. Все процессы проходят в газовой и шлаковой фазах и завершаются в сварочной ванне при последующей кристаллизации металла, что приводит к образованию шва нужного состава с требуемыми свойствами. Эту обработку обычно называют металлургическими или физико-металлургическими процессами сварки.

Присадочный (дополнительный) металл обычно требуется для получения шва с необходимыми геометрическими размерами, так как в большинстве случаев расплавление только кромок основного металла не обеспечивает получение усиления шва и заполнение зазора и разделки кромок (если она есть). Если дополнительный металл в процессе сварки расплавляется в виде сварочной (электродной) проволоки, стержней и т. д., включённых в сварочную цепь, он обычно называется электродным, а если он не включён в сварочную цепь и подается независимо от источника нагрева – присадочным.

5.2. Сварочная проволока и прутки сплошного сечения

Наиболее часто при сварке в качестве присадочного металла используют сварочную проволоку, полученную либо горячей прокаткой, либо волочением после горячей прокатки. При наплавке, наряду с проволокой, широко применяют металлическую ленту.

При механизированных способах сварки плавлением проволоку используют в виде непрерывного плавящегося электрода, намотанного на специальные кассеты; при ручной дуговой сварке – в виде прутка определённой длины (300–500 мм), т. е. плавящихся штучных электродов.

Если электродная проволока или электроды включены в сварочную цепь, скорость их введения, а следовательно, и доля электродного металла в образовании шва зависят от режима сварки и могут регулироваться только в определённых пределах. При сварке плавлением неплавящимися электродами (вольфрамовым, угольным) присадочный металл в зону сварки подаётся автономно, поэтому его долю в формировании шва можно регулировать в значительно более широких пределах. Дополнительная проволока, прутки или стержень, подаваемые в зону сварки, в этом случае называют присадочным прутом. По условиям удобства использования при ручной сварке прутки имеют длину до 1000 мм, при механизированной подаче специальным подающим механизмом – большую длину и сматывается с кассеты или сразу с бухты проволоки, расположенной на специальном устройстве.

Обычно сварочную проволоку изготавливают из хорошо деформируемых металлов путём многократной протяжки и отжига. Однако если металл шва должен иметь высокую твердость и исходный присадочный металл плохо деформируется в холодном и горячем состояниях, изготовление проволоки прокаткой или волочением невозможно. При этом дополнительный металл изготавливают литьём в виде присадочных прутков.

Используют также специальную порошковую проволоку в виде металлической трубки, внутри которой заложены необходимые сварочные материалы (легирующие, раскисляющие и другие компоненты).

Для электрошлаковой сварки, наряду с проволокой, применяют пластинчатые электроды, изготавливаемые из широкополосной ленты или крупногабаритных листов.

Однако, в основном, в качестве металлических присадочных материалов применяют сварочную проволоку – стальную или из цветных металлов и сплавов. На основании многолетнего опыта сварки разработаны государственные стандарты на сварочные проволоки: для сварки – ГОСТ 2246–70 «Проволока стальная сварочная»; для наплавки – ГОСТ 10543–98 «Проволока стальная наплавочная». На марки сварочных проволок из алюминия используют ГОСТ 7871–75 «Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов». На марки сварочной проволоки и прутков из меди применяют ГОСТ 16130–90 «Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные».

В стандарте (ГОСТ 2246–70) регламентируется химический состав 77 марок сварочных проволок (табл. 5.1). Стандарт регламентирует только химический состав и размеры проволоки, так как механические свойства металла шва зависят от многих других факторов (доли участия основного металла, марки флюса, режима сварки и т. д.). Стандартом регламентированы следующие диаметры проволок (мм): 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; 12,0. При этом масса бухты составляет

от 2 до 40 кг. Из этой номенклатуры проволоки диаметром 1,0–8,0 мм широко применяют для сварки и изготовления стержней покрытых электродов. Необходимость такого количества марок сварочной проволоки и типоразмера продиктована большим распространением стальных конструкций и различной толщиной используемых элементов.

Таблица 5.1

Марки стальной сварочной проволоки по ГОСТ 2246–70

Низкоуглеродистая	Легированная	Высоколегированная
Св-08	Св-08ГС	Св-12Х11НМФ
Св-08А	Св-12ГС	Св-10Х11НВМФ
Св-08АА	Св-08Г2С	Св-12Х13
Св-08ГА	Св-10ГН	Св-20Х13
Св-10ГА	Св-08ГСМТ	Св-06Х14
Св-10Г2	Св-15ГСТЮЦА	Св-08Х14ГНТ
	Св-20ГСТЮА	Св-10Х17Т
	Св-18ХГС	Св-13Х25Т
	Св-10НМА	Св-01Х19Н9
	Св-08МХ	Св-04Х19Н9
	Св-08ХМ	Св-08Х16Н8М2
	Св-18ХМА	Св-08Х18Н8Г2Б
	Св-08ХНМ	Св-07Х18Н9ТЮ
	Св-08ХМФА	Св-06Х19Н9Т
	Св-10ХМФТ	Св-04Х19Н9С2
	Св-08ХГ2С	Св-08Х19Н9Ф2С2
	Св-08ХГСМА	Св-05Х19Н9Ф3С2
	Св-10ХГ2СМА	Св-07Х19Н10Б
	Св-08ХГСМФА	Св-08Х19Н10Г2Б
	Св-04Х2МА	Св-06Х19Н10М3Т
	Св-13Х2МФТ	Св-08Х19Н10М3Б
	Св-08Х3Г2СМ	Св-04Х19Н11М3
	Св-08ХМНФБА	Св-05Х20Н9ФБС
	Св-08ХН2М	Св-06Х20Н11М3ТБ
	Св-10ХН2ГМТ	Св-10Х20Н15
	Св-08ХН2ГМТА	Св-07Х25Н12Г2Т
	Св-08ХН2ГМЮ	Св-06Х25Н12ТЮ
	Св-08ХН2Г2СМЮ	Св-07Х25Н13
	Св-06Н3	Св-08Х25Н13БТЮ
	Св-10Х5М	Св-13Х25Н18
		Св-08Х20Н9Г7Т
		Св-08Х21Н10Г6
		Св-30Х25Н16Г7
		Св-10Х16Н25АМ6
		Св-09Х16Н25М6АФ
		Св-01Х23Н28М3Д3Т
		Св-30Х15Н35В3Б3Т
		Св-08Н50
		Св-05Х15Н60М15

Полное обозначение проволоки осуществляется следующим образом: проволока 1,2 Св-08 ГОСТ 2246–70. Эта запись обозначает: стальная сварочная проволока диаметром 1,2 мм со средним содержанием углерода 0,08 %. В конце обозначения марки проволоки могут проставляться буквы А и АА, например, Св-08А, Св-08АА. Это говорит о более высоком качестве электродной проволоки. Так Св-08 – проволока обыкновенного качества, Св-08А – проволока качественная, Св-08АА – проволока высокого качества. Качество проволоки связывают с количеством вредных примесей, серы и фосфора. После содержания углерода может проставляться буквенно-цифровое обозначение марки, например: Св-08Г2С. Это обозначает, что содержание марганца в проволоке 2 %, кремния до 1 %. В обозначении марок стальных проволок могут встречаться следующие буквы:

Б – ниобий	Д – медь	С – кремний	Х – хром
В – вольфрам	М – молибден	Т – титан	Ц – цирконий
Г – марганец	Н – никель	Ф – ванадий	Ю – алюминий
Р – бор	А – азот	К – кобальт	Е – селен

Для того чтобы не перепутать содержание азота с качеством, в конце обозначения марки проволоки букву «А», указывающую содержание азота, ставят в середину обозначения марки сварочной проволоки, например Св-10Х16Н25АМ6. В конце марки проволоки может проставляться буква «О», например Св-08Г2С-О, что означает омеднённая проволока. Основное назначение омеднения: коррозионная защита от взаимодействия с окружающей средой и обеспечение более лучшего скользкого контакта (токоподвода) при механизированных способах сварки. Содержание меди оговаривается техническими условиями. Часть меди, попавшая в сварной шов, не изменяет свойства наплавленного металла. Толщина наносимого слоя меди должна быть около 6 мкм. При обозначении марки проволоки может проставляться в конце буква, указывающая на способ изготовления сварочной проволоки: Ш – электрошлаковый переплав, ВД – вакуумно-дуговой переплав, ВИ – вакуумно-индукционный переплав. Буква Э в конце марки проволоки, например Св-04Х19Н9-Э, обозначает, что данная проволока специально предназначена для изготовления покрытых электродов.

Сварочная проволока поставляется в бухтах массой до 40 кг, в катушках и кассетах – массой до 20 кг, мерных – до 1000 мм, прутках – в пеналах массой до 5 кг.

Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой без трещин, расслоений, плёнок, закатов, раковин, забоин, окалины, ржавчины, масла, и других загрязнений. На поверхности допускаются риски, царапины, местная рябизна и отдельные вмятины, величина и количество которых строго регламентируется.

Проволока должна поставляться партиями. Каждая партия должна состоять из проволоки одной марки, одной плавки, одного диаметра, одного назначения и одного вида поверхности.

Стальная сварочная проволока, применяемая в сравнительно небольших количествах, изготавливается по техническим условиям. Число марок проволоки может достигать нескольких сотен. Как правило, технические условия регламентируют химический состав и некоторые специальные технические требования, обеспечивающие технологические возможности использования наплавленного металла. Остальные требования регламентируются стандартом ГОСТ 2246–70.

В большинстве случаев использование проволоки сплошного сечения требует применения защитной среды – флюсовой или газовой защиты. Можно встретить рекомендации по использованию проволок марок Св-15ГСТЮЦА и Св-20ГСТЮА без дополнительной газовой защиты, т. е. указанные проволоки относят к самозащитным. Действительно высокое содержание раскисляющих элементов позволит осуществить сварку без дополнительной защиты. Однако при сварке ответственных конструкций применение данных проволок в последнем варианте недопустимо. Швы будут иметь невысокие механические свойства, помимо этого могут образовываться поры, активно проходить окисление металла шва и зоны термического влияния.

ГОСТ 10543–98 регламентирует 30 марок стальной наплавочной проволоки диаметром от 0,3 до 8,0 мм. Ограничение максимального диаметра до 8 мм связано с необходимостью снижения доли участия основного металла в металле шва и более высоких характеристиках наплавленного валика, обеспечиваемых при минимальном количестве слоёв. Масса бухты составляет от 2 до 30 кг. Данным стандартом регламентируются следующие марки проволоки (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Марки наплавочной проволоки по ГОСТ 10543–98

Низкоуглеродистая	Легированная	Высоколегированная
Нп-25	Нп-40Г	Нп-20Х14
Нп-30	Нп-50Г	Нп-30Х13
Нп-35	Нп-65Г	Нп-30Х10Г10Т
Нп-40	Нп-30ХГСА	Нп-40Х13
Нп-45	Нп-30Х5	Нп-45Х4В3Ф
Нп-50	Нп-40Х3Г2МФ	Нп-45Х2В8Т
Нп-65	Нп-40Х2Г2М	Нп-60Х3В10Ф
Нп-80	Нп-55ХНМ	Нп-Г13А
Нп-85	Нп-50ХФА	Нп-Х15Н60
	Нп-50Х6ФМС	Нп-Х20Н80Т
	Нп-105Х	

Обозначается марка проволоки аналогично с ГОСТ 2246–70 и указывает химический состав материала. Обозначение: проволока 1,2 Нп-

30ХГСА ГОСТ 10543–98. Индекс Нп и номер стандарта говорят о том, что проволока предназначена для наплавочных работ.

Буква А в конце марки проволоки показывает пониженное содержание в наплавочной проволоке серы и фосфора.

Наплавочные проволоки используются лишь для получения поверхностей с особыми свойствами (твёрдость, коррозионная стойкость и т. д.) и для изготовления покрытых электродов, предназначенных для выполнения наплавочных работ.

При наплавочных работах, осуществляемых для повышения износостойкости поверхности различных деталей, твёрдость наплавленного металла может находиться от 160–220 НВ до 54–56 НРС.

ГОСТ 7871–75 определяет химический состав 14 марок проволоки (диаметром от 0,8 до 12,5 мм), изготовленной из алюминия и его сплавов. Ряд регламентируемых диаметров, отличающихся от стальной проволоки: 0,8; 0,9; 1,0; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3; 7,1; 8,0; 9,0; 10,0; 11,2; 12,5 мм. Увеличение минимального диаметра алюминиевой проволоки связано с низкой температурой плавления. Марка проволоки показывает процентное содержание алюминия в проволоке 99,97 %, остальное занимают примеси. При обозначении сплавов на основе алюминия используются буквы: Мг, К, Мц, Т, где Мг – магний, К – кремний, Мц – марганец, Т – титан. Стандартом регламентирован химический состав следующих марок сварочной проволоки: СвА99, СвА97, СвА85Т, СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАМг5, Св1557, СвАМг6, СвАМг61, СвАМг63, СвАК5, СвАК10, Св1201. Гарантийный срок хранения проволоки с химически обработанной поверхностью 1 год с момента изготовления.

Обозначение проволоки

Проволока тянутая (В) из алюминиевого сплава марки СвАМц, в нагартованном состоянии (Н), диаметром 5,00 мм, в бухте (БТ):

Проволока В.СвАМц.Н 5,00 х БТ ГОСТ 7871–75.

То же, диаметром 4,00 мм, на катушке (БР):

Проволока В.СвАМц.Н 4,00 х БР ГОСТ 7871–75.

Проволока тянутая (В) из алюминиевого сплава марки СвАМг5 в отожженном состоянии (М), диаметром 4,00 мм, в бухте (БТ):

Проволока В.СвАМг5.М 4,00 х БТ ГОСТ 7871–75.

Проволока прессованная (П) из алюминиевого сплава марки СвАМц, в нагартованном состоянии (Н), диаметром 5,00 мм, в бухте (БТ):

Проволока П.СвАМц.Н 5,00 х БТ ГОСТ 7871–75.

Химический состав сварочной проволоки на основе алюминия представлен в табл. 5.3.

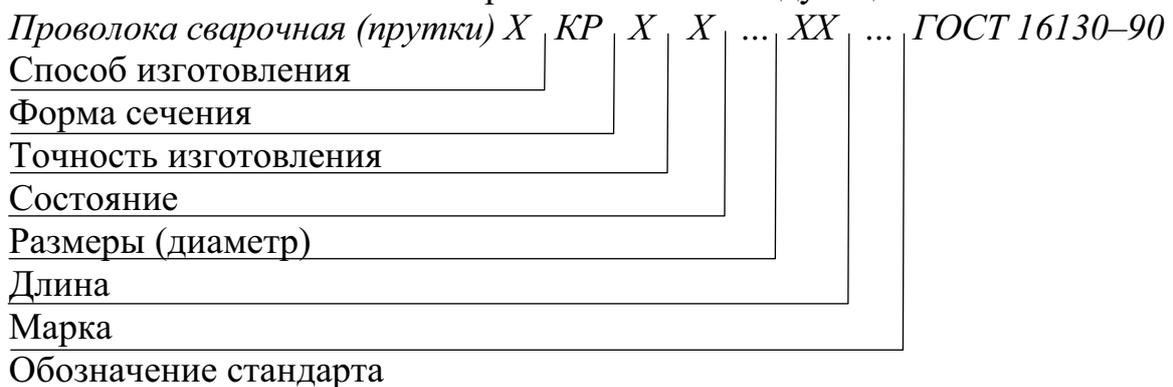
Таблица 5.3

Химический состав проволоки по ГОСТ 7871-75

Марка сплава	Основные компоненты, %									
	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Be	Zr		
СВА99	Не менее 99,99	-	-	0,003	-	-	-	-	-	-
СВА97	Не менее 99,97	-	-	0,015	-	-	-	-	-	-
СВА85Т	Остальное	-	-	0,04	-	0,2-0,5	-	-	-	-
СВА5	Не менее 99,95	-	-	0,2-0,35	0,1-0,25	-	-	-	-	-
СВАМц	Остальное	-	1,0-1,5	0,3-0,5	0,2-0,4	-	-	-	-	-
СВАМг3	Остальное	3,2-3,8	0,3-0,6	0,5	0,5-0,8	-	-	-	-	-
СВАМг5	Остальное	4,8-5,8	0,5-0,8	0,4	-	0,1-0,2	0,002-0,005	-	-	-
Св1557	Остальное	4,5-5,5	0,2-0,6	0,3	-	Хром 0,07-0,15	0,002-0,005	0,2-0,35	-	-
СВАМг6	Остальное	5,8-6,8	0,5-0,8	0,4	-	0,1-0,2	0,002-0,005	-	-	-
СВАМг63	Остальное	5,8-6,8	0,5-0,8	0,05	-	-	0,002-0,005	0,15-0,35	-	-
СВАМг61	Остальное	5,5-6,5	0,8-1,1	0,4	-	-	0,0001-0,0003	0,002-0,12	-	-
СВАК5	Остальное	-	-	0,6	4,5-6,0	0,1-0,2	-	-	-	-
СВАК10	Остальное	-	-	0,6	7,0-10,0	-	-	-	-	-
Св1201	Остальное	Медь 6,0-6,8	0,2-0,4	0,15	Ванадий 0,05-0,15	0,1-0,2	-	0,1-0,25	-	-

ГОСТ 16130–90 определяет химический состав 17 марок сварочных проволок и прутков из меди и сплавов на медной основе (диаметром от 0,8 до 8,0 мм массой от 5 до 20 кг) следующих марок: М1; МСр1; МНЖ5-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1; БрОЦ4-3; БрАМц9-2; БрОФ6,5-0,15; БрАЖМц10-3-1,5; БрХ0,7; БрХНТ; БрНЦр; БрНЦрТ; Л63; ЛО60-1; ЛК62-0,5; ЛКБО62-0,2-0,04-0,5.

Условные обозначения проставляют по следующей схеме:



Ряд регламентируемых стандартом диаметров проволоки: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 мм. Обозначается: проволока М1 ГОСТ 16130–90. Могут быть и медные сплавы в виде сплава железа, бронз и латуни: МНЖКТ5-1-0,2-0,2, БрХ0,7, БрОЦ4-3, Л63, ЛК62-0,5 и т. д.

Сварочные прутки изготавливают 12 марок немерной длины от 1 до 5 м или согласно заказу. Поверхность проволоки и прутков должна быть чистой и гладкой, без трещин и расслоений. В большинстве случаев проволока поставляется мягкой или твёрдой.

В обозначении приняты следующие сокращения:

способ изготовления:

холоднодеформированная (тянутая) – Д;

горячедеформированный (прессованный) – Г;

форма сечения:

круглая – КР;

состояние:

мягкое – М;

твёрдое – Т;

полутвёрдое – Пт;

длина:

мотки (бухты) – БТ;

катушки – КТ;

барабаны – БР;

сердечники – СР;

немерной длины – НД.

Таблица 5.4

Химический состав проволоки по ГОСТ 16130-90

Марка сплава	Основные компоненты, %									
	Cu	Ni	Si	Sn	Zn	Cr	Прочие элементы			
БрНЦр	остальное	0,3-0,6	-	-	-	-	Zr - 0,04-0,08			
БрХ0,7	остальное	-	-	-	-	0,4-1,0	-			
МСр1	остальное	-	-	-	-	-	Ag - 0,8-1,2			
БрХНТ	остальное	0,5-0,8	-	-	-	0,15-0,35	Ti - 0,05-0,15			
ЛК62-0,5	60,05-63,5	-	0,3-0,7	-	остальное	-	-			
ЛКБ062-0,2-0,04-0,5	60,5-63,5	-	0,1-0,3	0,3-0,7	остальное	-	B - 0,03-0,1			
ЛОК59-1-0,3	58,0-60,0	-	0,2-0,4	0,7-1,1	остальное	-	-			

Таблица 5.5

Химический состав проволоки по ГОСТ 859-01

Марка сплава	Компоненты, %													
	примеси													
основа	Bi	Fe	Ni	Zn	Sn	Sb	As	Pb	S	O	P			
основа														
Cu+Ag														
М1	0,001	0,005	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,05	-			
М1р	0,001	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,01	0,002-0,012			
М2р	0,002	0,05	0,2	-	0,05	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005-0,06			

Таблица 5.6

Химический состав проволоки по ГОСТ 18175-78

Марка сплава	Основные компоненты, %				
	Cu	Al	Mn	Si	Fe
БрАМц9-2	остальное	8,0-10,0	1,5-2,5	-	-
БрКМц3-1	остальное	-	1,0-1,5	2,7-3,5	-
БрАЖМц10-3-1,5	остальное	9,0-11,0	1,0-2,0	-	2,0-4,0

Таблица 5.7

Химический состав проволоки по ГОСТ 15527-04

Марка сплава	Компоненты, %							
	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	Sn	Примеси	
Л63	62-65	остальное	-	0-0,2	-	-	0-0,5	
ЛЮ60-1	59-61	остальное	-	0-0,1	-	1,0-1,5	0-1,0	
ЛЖМц59-1-1	57-60	остальное	0,1-0,4	0,5-1,2	0,5-0,8	0,3-0,7	0-0,3	
ЛМц58-2	57-60	остальное	-	0-0,5	1,0-2,0	-	0-1,2	

Таблица 5.8

Химический состав проволоки по ГОСТ 492-06

Марка сплава	Основные компоненты, %							
	Cu	Ni + Co	Fe	Mn	Si	Ti	Примеси	
МНЖ5-1	остальное	5,0-6,5	1,0-1,4	0,3-0,8	0-0,15	-	0-0,7	
МНЖКТ5-1-0,2-0,2	остальное	5,0-6,5	1,0-1,4	0,3-0,8	0,15-0,3	0,1-0,3	0-0,7	

Вместо отсутствующих данных ставится знак «Х».

Примеры условных обозначений.

Проволока сварочная, твердая, диаметром 2,0 мм, в мотках, из сплава марки БрОЦ4-3:

Проволока сварочная ДКРХТ 2,0 БТ БрОЦ 4-3 ГОСТ 16130–90.

Пруток сварочный, прессованный, диаметром 6,0 мм, немерной длины, из сплава марки ЛОК59-1-0,3:

Пруток сварочный ГКРХМ 6,0 НД ЛОК59-1-0,3 ГОСТ 16130–90.

Химический состав сварочной проволоки на основе меди представлен в табл. 5.4.

В ГОСТ 16037–90 представлен химический состав не всех проволок. Химический состав остальных проволок представлен в других стандартах, табл. 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

ГОСТ 27265–87 определяет химический состав 10 марок проволоки (диаметром от 1,0 до 7,0 мм), изготовленной из титана и его сплавов. Ряд регламентируемых диаметров, отличающихся от стальной проволоки: 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 мм.

В зависимости от марки сплава проволоку изготавливают в пределах размеров, приведенных в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Диаметр проволоки по ГОСТ 27265–87

Марка сплава	Диаметр проволоки, мм
Титановая проволока ВТ 1-00св	от 1,0 до 7,0 включ.
Титановая проволока ОТ 4-1св	
Титановая проволока ОТ 4св	
Титановая проволока 2В	от 1,2 до 7,0 включ.
Титановая проволока ПТ-7Мсв	
Титановая проволока ВТ-2св	от 1,6 до 7,0 включ.
Титановая проволока ВТ-6св	
Титановая проволока СПТ-2	
Титановая проволока ВТ 20-1св	от 2,0 до 7,0 включ.
Титановая проволока ВТ 20-2св	

Пример условного обозначения проволоки диаметром 4,0 мм из титанового сплава марки ОТ4-1св.

Титановая проволока ОТ4-1св 4,0 ГОСТ 27265–87

Проволоку изготавливают из титана и титановых сплавов марок, химический состав которых должен удовлетворять требованиям стандарта, табл. 5.10.

Таблица 5.10

Химический состав проволоки по ГОСТ 27265–87

Марка сплава	Основные компоненты, %					
	Ti	Al	Mn	Mo	V	Zr
Титановая проволока ВТ1-00св	основа	не более 0,20	–	–	–	–
Титановая проволока ВТ 2св	основа	2,0–3,0	–	–	–	–
Титановая проволока 2В	основа	1,5–2,5	–	–	1,0–2,0	–
Титановая проволока ПТ-7Мсв	основа	1,8–2,5	–	–	–	2,0–3,0
Титановая проволока ОТ 4св	основа	3,5–5,0	0,8–2,0	–	–	не более 0,30
Титановая проволока ОТ 4-1св	основа	1,5–2,5	0,7–2,0	–	–	не более 0,30
Титановая проволока СПТ-2	основа	3,5–4,5	–	–	2,5–3,5	1,0–2,0
Титановая проволока ВТ6св	основа	3,5–4,5	–	–	2,5–3,5	–
Титановая проволока ВТ20-1св	основа	2,0–3,0	–	0,5–1,5	0,5–1,5	1,0–2,0
Титановая проволока ВТ20-2св	основа	3,5–4,5	–	0,5–1,5	0,5–1,5	1,0–2,0

Механические свойства проволоки должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Механические свойства проволоки по ГОСТ 27265–87

Марка сплава	Диаметр проволоки, мм	Временное сопротивление, МПа (кгс\мм ²)	Относительное удлинение, % не менее
Титановая проволока ВТ 1-00св	от 1,0 до 7,0 вкл.	295–470 (30–48)	30,0
Титановая проволока ВТ2св	от 1,6 до 7,0 вкл.	460–655 (47–67)	13,0
Титановая проволока 2В	1,2	490–635 (50–65)	16,0
	от 1,4 до 7,0 вкл.		20,0
Титановая проволока ПТ-7Мсв	1,2	440–635 (45–65)	16,0
	от 1,4 до 7,0 вкл.		20,0
Титановая проволока ОТ4св	от 1,0 до 1,4 вкл.	590–835 (60–85)	7,0
	св 1,4 до 3,0 вкл.		9,0
	св 3,0 до 7,0 вкл.		10,5
Титановая проволока ОТ4-1св	от 1,0 до 1,4 вкл.	540–785 (55–80)	7,5
	св 1,4 до 3,0 вкл.		9,0
	св 3,0 до 7,0 вкл.		12,0

Марка сплава	Диаметр проволоки, мм	Временное сопротивление, МПа ($\text{кгс}/\text{мм}^2$)	Относительное удлинение, % не менее
Титановая проволока СПТ-2	от 1,6 до 7,0 вкл.	645–845 (66–86)	13,0
Титановая проволока ВТ6св	от 1,6 до 7,0 вкл.	645–845 (68–88)	12,0
Титановая проволока ВТ20-1св	от 2,0 до 7,0 вкл.	645–845 (60–80)	12,0
Титановая проволока ВТ20-2св	от 2,0 до 7,0 вкл.	645–845 (65–85)	10,0

5.3. Порошковые проволоки

5.3.1. Конструкция, классификация и типы

Порошковая проволока – универсальный сварочный материал, пригодный для сварки сталей практически любого легирования и для наплавки слоёв с особыми свойствами, – в ряде случаев начинает успешно конкурировать с такими сварочными материалами, как флюсы и защитные газы. Наиболее широко порошковую проволоку применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей и наплавочных работ, что обусловлено возможностью варьирования химического состава и массы наполнителя – порошкообразной шихты, обеспечивающей высокое качество сварных соединений. В некоторых случаях порошковые проволоки (с наполнителем рутилового и рутил-флюоритного типов) выпускают для сварки с применением дополнительной защиты при сварке.

Идея применения электродов, имеющих прочную токопроводящую оболочку и менее прочную «сердцевину», состав которой можно изменять, была выдвинута в прошлом веке великим русским изобретателем Н.Н. Бенардосом – родоначальником электродуговой сварки. В 30-е годы впервые в истории сварочной техники советский инженер В.Е. Сахнович экспериментально доказал возможность применения электродов, состоящих из тонкостенной стальной трубки и сердечника из сварочного флюса для автоматической сварки открытой дугой, т. е. не имеющей внешней защиты углекислым газом или флюсом. В своих работах В.Е. Сахнович применял электроды, изготовленные из цельнотянутых стальных трубок, в которые засыпан порошкообразный сухой флюс; концы трубок заваривались, и они обжимались на 1,5–2,0 мм с целью уплотнения шихты. Они были названы В.Е. Сахновичем «электродами с внутренней обмазкой». Эксперименты по

автоматической сварке трубчатыми электродами с флюсовым сердечником дали положительные результаты. Качество сварных стыковых швов, полученных таким способом на пластинах 12–20 мм, полностью отвечало требованиям, предъявленным ныне к электродам типов Э-42 и Э-46.

В послевоенные годы вернулись к электродам В.Е. Сахновича, и трубчатая электродная проволока стала применяться для наплавочных работ. В начале 60-х годов в Институте электросварки им. Е.О. Патона была предложена трубчатая электродная проволока, получившая название «порошковая проволока для производства сварочных работ». Сварка порошковой проволокой непрерывно совершенствуется, и этот механизированный способ дуговой сварки находит все большее применение как в нашей стране, так и за рубежом.

ГОСТ 26271–84 регламентирует порошковые проволоки для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 900 МПа. Стандарт регламентирует порошковую проволоку диаметром 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0 мм. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготовление проволоки с промежуточным значением диаметра. Порошковая проволока представляет собой трубчатую, часто сложного внутреннего сечения проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем (рис. 5.1).

Порошкообразный наполнитель имеет состав, обычно соответствующий покрытиям основного типа с отношением его массы к массе металлической оболочки в пределах 15–40 %. Сохраняя технологические преимущества голой проволоки, порошковая проволока позволяет создавать газовую и шлаковую защиту металла сварочной ванны от воздуха, обеспечивать легирование металла шва и его очистку от вредных примесей. Надёжность защиты металла сварочной ванны от атмосферного воздуха можно характеризовать по содержанию азота (попадающего в металл шва именно из воздуха). Так, при сварке порошковой проволокой содержание азота обычно не превышает 0,02–0,025 %.

Порошковая проволока состоит из металлической оболочки и порошкового сердечника. Металлическая оболочка, к которой через поверхность подводится сварочный ток, удерживает порошковый сердечник и позволяет осуществлять непрерывный процесс плавления при малом вылете электрода. Тем самым предотвращается преждевременное термическое разложение компонентов сердечника. Особенности этого сварочного материала позволяют применять большие плотности тока. Этим достигается высокая производительность плавления.

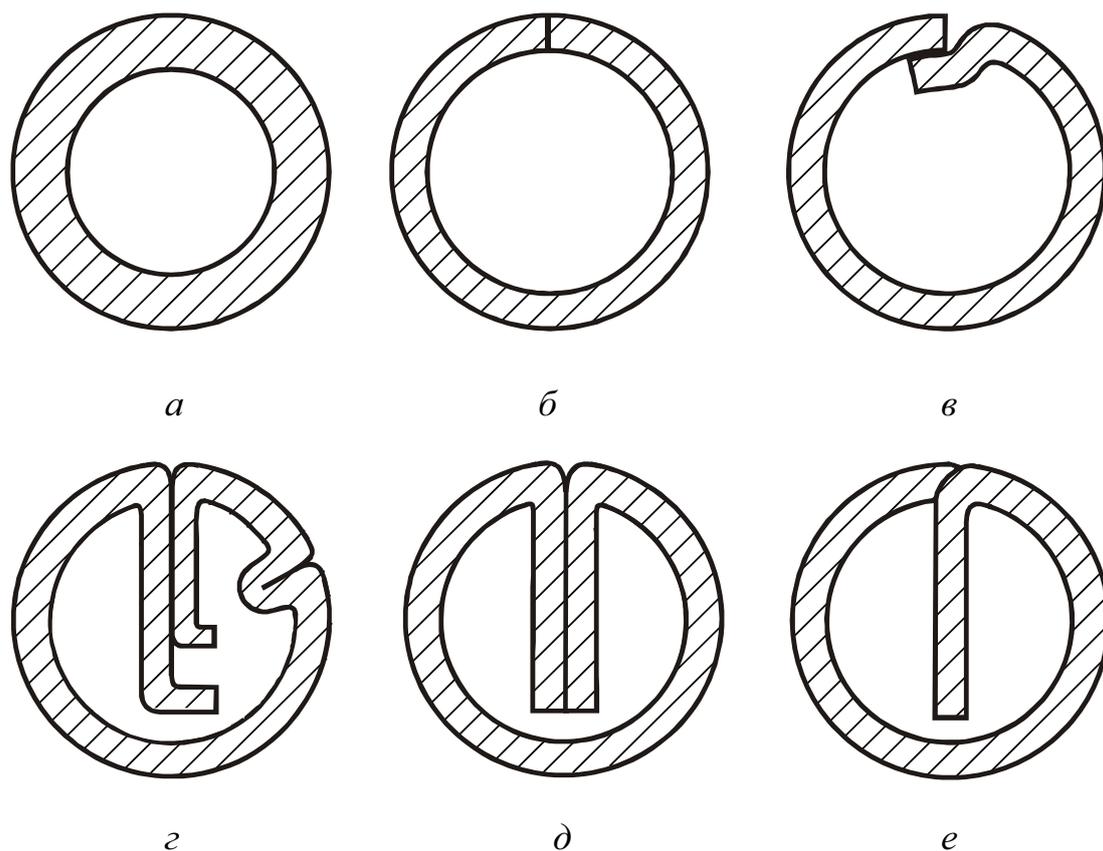


Рис. 5.1. Виды оболочек порошковой проволоки:

а, б – трубчатая однослойная, в – трубчатая однослойная с завальцованной кромкой, г – трубчатая однослойная с повышенной жесткостью, д – трубчатая однослойная двухзагибная, е – трубчатая однослойная однозагибная

Сердечник порошковой проволоки представляет собой смесь порошков минералов, руд, химикатов, ферросплавов и металлических порошков. Он выполняет функции, аналогичные функциям электродного покрытия, – стабилизацию дугового разряда, защиту металла от воздуха, раскисление и легирование металла шва, регулирование процесса переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну, формирование шва и др.

Газообразующие материалы служат для создания защитной газовой среды в зоне плавления. Ими могут быть органические вещества (крахмал, целлюлоза), карбонаты преимущественно щелочноземельных и щелочных металлов (мрамор, магнезит, кальцинированная сода), фториды с низкой температурой диссоциации.

Порошковые проволоки в зависимости от области применения имеют разные системы классификации. Для сварочных порошковых проволок важными классификационными признаками являются способ применяемой защиты, возможность применения для сварки в различных пространствен-

ных положениях, гарантируемые показатели механических свойств, тип сердечника, конфигурация поперечного сечения (конструкция).

Главным техническим показателем, по которому ведется классификация всех видов порошковой проволоки, является её назначение. Назначение сварочной порошковой проволоки определяется, прежде всего, классом свариваемого металла. Наибольшее применение имеют проволоки для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Проволоку для сварки легированных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов применяют пока в небольших объёмах.

Различают проволоки общего и специального назначения. К последним относятся проволоки для дуговой сварки с принудительным или полупринудительным формированием шва, для ванной сварки и др. Некоторые типы порошковой проволоки общего назначения могут быть применены также для специальных работ и целей.

Порошковые проволоки применяют для сварки без защиты и с дополнительной защитой зоны дуги газом или флюсом. Проволоки, не требующие дополнительной защиты, называют самозащитными. При сварке ими газовая и шлаковая защита металла осуществляется за счёт диссоциации газообразующих и расплавления шлакообразующих материалов проволоки. Проволоки, используемые с дополнительной газовой защитой, называются газозащитными. Защитный газ, обычно CO_2 , как и при сварке проволокой сплошного сечения, подается в зону дуги через сопло горелки. Дополнительная шлаковая защита электродного металла и металла сварочной ванны обеспечивается при расплавлении минеральной части сердечника порошковой проволоки.

Гарантийный срок хранения порошковой проволоки в упаковке предприятия изготовителя составляет 8 месяцев со дня изготовления (ГОСТ 26271–84).

По возможности сварки в разных пространственных положениях и условиям формирования сварного шва различают семь основных групп:

- 1) для нижнего положения – Н;
- 2) для нижнего и горизонтального положений – Г;
- 3) для нижнего, горизонтального, вертикального положений – В;
- 4) для всех – У;
- 5) для горизонтального с использованием принудительного формирования – ГП;
- 6) для вертикального положения с использованием принудительного формирования шва – ВП;
- 7) для всех положений с использованием принудительного формирования шва – УП.

Классификация по механическим свойствам металла шва и сварного соединения построена по принципу нахождения минимальных тре-

буемых значений временного сопротивления разрыву, относительного удлинения, ударной вязкости и ряда других показателей механических свойств металла шва и сварного соединения, определяемых при испытании стандартных образцов в состоянии после сварки или термообработки. По гарантируемому значению предела текучести металла шва порошковая проволока подразделяется на следующие типы, табл. 5.12.

Таблица 5.12

Классификация порошковой проволоки на типы по прочностным свойствам металла шва

Условное обозначение типа проволоки	σ_T , МПа, не менее	σ_B , МПа	δ_s , %, не менее
Д	—	—	—
34	340	400...550	16
39	390	450...600	22
44	440	500...650	20
49	490	550...700	20
54	540	600...750	18
59	590	650...850	16
64	640	700...850	14
69	690	750...900	10

Примечание. Величины для типа Д указываются в нормативно-технической документации на конкретные марки проволоки.

При классификации порошковых проволок по ударной вязкости за критерий оценки принимают температуру испытаний, при которой гарантируется ударная вязкость на образцах с острым надрезом (типа Шарпи) выше 35 Дж/см^2 (табл. 5.13). По этой классификации температура испытаний (t_{35}) при переходе от вязкого разрушения к хрупкому называется критической.

Таблица 5.13

Классификация порошковой проволоки по уровням ударной вязкости и температуре испытаний

Условное обозначение уровня проволоки	Температура испытаний, при которой $KCV \geq 35 \text{ Дж/см}^2$, $^{\circ}\text{C}$	KCV при 20°C , Дж/см^2 , не менее
Р	—	—
К	20	35
О	0	50
1	-10	60
2	-20	80
3	-30	80
4	-40	100
5	-50	100
6	-60	120

Примечание. Величины для уровня Р указываются в нормативно-технической документации.

Гарантируемые значения ударной вязкости на образцах типа Ме-наже и относительного удлинения регламентируется технической документацией на каждую марку проволоки.

По химическому составу наплавленного металла в части содержания углерода, серы и фосфора порошковая проволока группируется на категории А, В, С (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Классификация порошковой проволоки на категории по химическому составу наплавленного металла

Категория проволоки	Массовая доля элементов, %, не более		
	С	S	P
А	0,15	0,03	0,03
В	0,15	0,04	0,04
С	0,25	0,03	0,03

Классификация порошковых проволок по типу сердечника позволяет определить условия применения проволоки и технологические особенности процесса. По виду сердечника применяемые в настоящее время сварочные порошковые проволоки можно разделить на пять типов: рутил-органические, карбонатно-флюоритные (основные), флюоритные, рутиловые и рутил-флюоритные. Первые три типа сердечников применяют в самозащитных проволоках, последние два – в проволоках с дополнительной газовой защитой.

Технические характеристики порошковой проволоки в значительной степени определяются её диаметром и конструкцией. Конструкция порошковой проволоки может быть различной в зависимости от назначения проволоки, её композиции, способа защиты металла и т. д.

Соотношение масс оболочки и сердечника оценивают по коэффициенту заполнения проволоки шихтой:

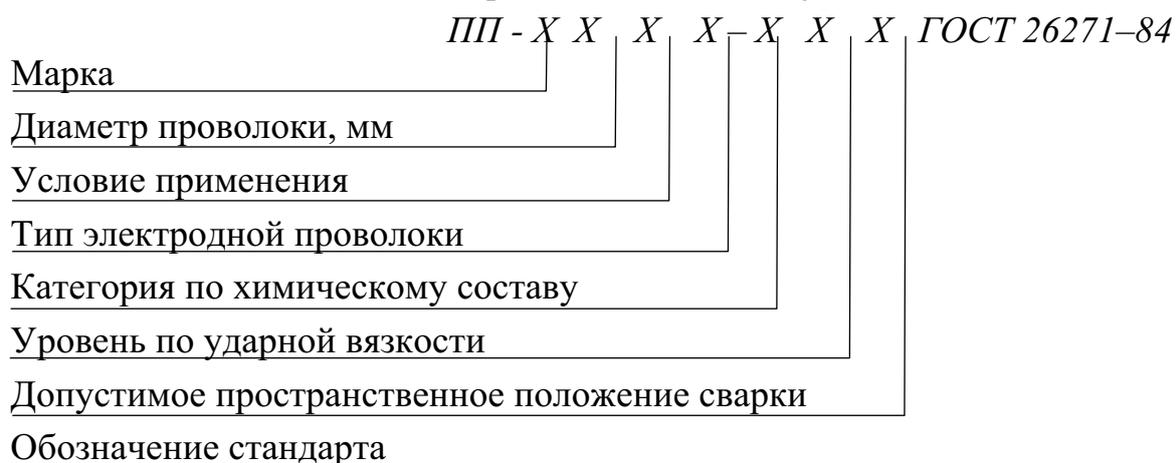
$$K_3 = G_{nop}/G_{пров} = G_{nop}/(G_{об} + G_{nop}), \quad (5.1)$$

где G_{nop} – масса порошкового наполнителя; $G_{пров}$ – общая масса проволоки; $G_{об}$ – масса оболочки.

Значение K_3 для сварочных порошковых проволок обычно не превышает 40 %.

Условное обозначение порошковой проволоки включает первый индекс ПП (порошковая проволока), после которого через дефис ставятся буквенные или цифровые обозначения.

Условные обозначения проставляют по следующей схеме:



Пример условного обозначения порошковой проволоки марки ПП-АНЗ диаметром 3,0 мм, самозащитной (ПС), по пределу текучести металла шва типа 44 ($\sigma_b = 500 \dots 650$ МПа), по химическому составу наплавленного металла категории А (пониженное содержание углерода, серы и фосфора), обеспечивающей ударную вязкость металла шва не ниже 35 Дж/см^2 при температуре до $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ (2), используется для сварки в нижнем положении (Н):

ПП-АНЗ 3,0 ПС44-А2Н ГОСТ 26271-84.

Производительность сварки определяют по массе металла, наплавленного в единицу времени. Сварка порошковой проволокой – один из наиболее производительных процессов. Производительность сварки порошковой проволокой зависит от марки проволоки, типа сердечника, конструкции оболочки и пространственного положения сварки. Так производительность может находиться в пределах 2–13 кг для проволок самозащитных общего назначения и 3–12 кг – для проволок общего назначения при сварке в углекислом газе. Кроме того, такая сварка является процессом с высоким коэффициентом использования электродного материала. Расход проволоки на получение 1 кг наплавленного металла не превышает 1,3 кг и ниже, чем при использовании штучных электродов. При сварке порошковой проволокой рутилового типа в углекислом газе, когда практически отсутствует разбрызгивание электродного металла. Расход проволоки составляет около 1,2 кг.

5.3.2. Характеристика порошковых проволок

5.3.2.1. Самозащитные порошковые проволоки

К самозащитным порошковым проволокам предъявляют ряд требований, степень удовлетворения которых определяет область их практического применения: высокая производительность, широкий диапазон режимов сварки, в пределах которого сохраняются сварочно-техноло-

гические свойства и качество сварных швов, благоприятные гигиенические характеристики и др. В порошковых проволоках, выпускаемых промышленностью, эти требования удовлетворяются путём рационального выбора конструкции проволоки и композиции сердечника.

При сварке проволокой рutil-органического типа металл шва по химическому составу близок к составу низкоуглеродистой полуспокойной стали и содержит значительное количество газов (водорода, азота) и неметаллических включений. Для предупреждения пористости обычно ограничивают силу тока, что вызывает снижение производительности сварки.

Проволоки рutil-органического типа обладают удовлетворительными сварочно-технологическими свойствами и в широком диапазоне рабочих напряжений дуги обеспечивают получение плотных швов. Металл швов, выполненных рutil-органическими проволоками, мало склонен к образованию пористости при увлажнении сердечника или наличии ржавчины и окалины на поверхности свариваемого металла. Небольшой провар основного металла позволяет достигнуть хороших результатов при сварке низкоуглеродистой стали с углеродистой (например, со сталью Ст.5), что даёт возможность применять этот тип проволок для сварки металлоконструкций из углеродистых сталей.

Типичным представителем проволок рutil-органического типа может служить проволока ПП-АН1, предназначенная для сварки низкоуглеродистых сталей. Её применяют взамен электродов с рутиловым и рудно-кислым типом покрытия.

По композиции сердечника проволоки карбонатно-флюоритного типа подобны электродам с покрытием основного типа. Их рекомендуют применять для сварки низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей. В промышленности широко применяют следующие проволоки карбонатно-флюоритного типа: ПП-АН3, ПП-АН11, ПП-АН17, СП-2 и др. Защита металла от азота достигается путём выбора газшлакообразующей части сердечника и конструкции проволоки. Хорошей защите металла способствует двухслойная конструкция проволоки. При сварке этими проволоками металл шва хорошо раскисляется. Механические свойства металла шва аналогичны тем, которые достигаются при сварке электродами с основным покрытием. Проволоки применимы для сварки в монтажных условиях при наличии ветра. Качество швов сохраняется при скорости ветра до 8...10 м/с.

Проволоки карбонатно-флюоритного типа высокопроизводительны и допускают применение высокой плотности тока. Ими выполняют сварку ответственных изделий и металлоконструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей (экскаваторов и подъёмных кра-

нов, горнодобывающих и сельскохозяйственных машин, химической аппаратуры, судовых и строительных металлоконструкций и т. д.).

У проволок флюоритного типа для раскисления металла и предотвращения образования пористости в сердечник вводят алюминий.

5.3.2.2. Порошковые проволоки для сварки в CO_2

Использование CO_2 для дополнительной защиты зоны дуги в сочетании с активным воздействием на металлургические процессы шлака позволяют получить весьма высокое качество металла и сварных соединений. Вместе с тем проволоки чувствительны к наличию в зоне сварки воздушных потоков (ветра), приводящих к нарушению защиты расплавленного металла от воздуха. Это определило преимущественное использование газозащитных проволок в заводских условиях.

Для сварки в CO_2 применяют, как правило, порошковую проволоку трубчатой конструкции (рис. 5.1, б). Проволоки рутилового типа обеспечивают незначительное разбрызгивание. Сварочные шлаки, образующие при плавлении рутиловых порошковых проволок, способствуют получению швов благоприятной формы с отличным внешним видом в широком диапазоне токов и скоростей сварки при выполнении швов в различных пространственных положениях.

Металл, наплавленный порошковой проволокой рутилового типа, при сварке в CO_2 по химическому составу представляет собой хорошо раскисленную сталь. По механическим характеристикам металла шва и сварного соединения проволоки отвечают требованиям, предъявляемым к электродам типа Э50А.

Отличительные особенности проволок рутилового типа (ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН21 и др.) – высокая стабильность процесса горения дуги и равномерное плавление проволоки по её сечению. Эти проволоки нашли широкое применение при изготовлении металлоконструкций различного назначения и особенно таких конструкций, к внешнему виду которых предъявляются повышенные требования. Проволока ПП-АН21 малого диаметра пригодна для сварки швов в горизонтальном и вертикальном положениях. Порошковой проволокой ПП-АН8 возможна сварка на переменном токе.

Наличие в сердечнике порошковой проволоки рутил-флюоритного типа основных оксидов, например оксида кальция или магния, способствуют удалению из наплавленного металла в шлак серы и фосфора. Использование проволоки рутил-флюоритного типа позволяет получить металл с низким содержанием неметаллических включений, высокой пластичностью, ударной вязкостью, низкой склонностью к образованию и распространению трещин.

Степень легирования металла, наплавленного порошковой проволокой этого типа, может быть высокой, что позволяет применять проволоки рутил-флюоритного типа для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, сталей повышенной прочности. По механическим характеристикам металла шва и сварного соединения проволоки соответствует требованиям, предъявляемым к покрытым электродам типа Э50А (марки ПП-АН4, ПП-АН9, ПП-АН18, ПП-АН22), Э60 (ПП-АН20), Э70 (ПП-АН54). Проволоки рутил-флюоритного типа обеспечивают получение швов высокого качества при изменении условий сварки в широких пределах. Их рекомендуется применить при изготовлении металлоконструкций, предназначенных для эксплуатации в сложных условиях, при отрицательных температурах, динамических и знакопеременных нагрузках. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности.

По сварочно-технологическим характеристикам порошковые проволоки рутил-флюоритного типа несколько уступают проволокам рутилового типа.

5.3.2.3. Порошковые проволоки специального назначения

Порошковые проволоки, отнесенные к классу специализированных, обладают особыми свойствами, определяемыми условиями, техникой и технологией сварки. К специализированным относятся также проволоки для сварки в особых условиях среды, в частности под водой.

Наибольшее распространение получила сварка вертикальных, горизонтальных и кольцевых швов с принудительным формированием, подводная сварка. Имеется опыт сварки электрозаклёпками, кольцевых швов малого диаметра с подформовкой и т. п.

Сварка с принудительным формированием поверхности сварочной ванны позволяет использовать при выполнении швов, находящихся в различных пространственных положениях, высокие сварочные токи, а следовательно резко повышать производительность процесса. Поверхность шва формируется специальными приспособлениями (ползунами, подкладками), которые искусственно охлаждают шов и прилегающие зоны, предотвращая вытекание ванны и перегрев металла.

Проволоки для сварки с принудительным формированием должны содержать шлакообразующие материалы в количествах, необходимых для образования слоя шлака между кристаллизующейся металлической ванной и формирующим органом, а также для защиты свободной поверхности ванны.

Для сварки вертикальных и наклонных швов разработаны самозащитные проволоки (ПП-АН15, ПП-АН19, и её модификации, ПП-2ВДСК) и проволоки, используемые с дополнительной защитой углекислым газом (ПП-АН5).

Сварка кольцевых швов с принудительным формированием отличается необходимостью выполнения участков шва во всех пространственных положениях, от потолочного и полупотолочного до нижнего. Такие сложные условия сварки потребовали создания особых типов порошковой проволоки, технологии и техники сварки, а также сварочного оборудования. Самозащитные порошковые проволоки (ПП-АН19, ПП-АН19С, ПП-АН24), используемые для монтажной сварки, обеспечивают получение качественных швов с высокими показателями механических характеристик на сталях при $\sigma_B \geq 600$ МПа.

Проволоки универсального типа (ПП-АН19С, ПП-АН19) позволяют выполнять сварку без дополнительной защиты и с дополнительной защитой CO_2 . При этом обеспечивается получение высоких механических характеристик при выполнении швов неповоротных стыков труб.

При сварке кольцевых швов малого диаметра, например в узлах присоединения труб к трубным решёткам теплообменных аппаратов, требование получения плотных швов дополнено условиями высокой линейной скорости и гарантированного повторного возбуждения дуги. При сварке швов в нижнем положении (горизонтальное положение трубной доски) разработана и применяется самозащитная порошковая проволока ПП-АН6. Порошковая проволока ППС-1 позволяет успешно выполнять качественную сварку в подводных условиях с высокой производительностью при работе на глубинах до 100 м. При этом используют специальные полуавтоматы с дистанционной связью с источником питания.

К специализированным относятся проволоки для сварки чугуна, используемые преимущественно для ремонта чугунных изделий и устранения дефектов в отливках. Порошковые проволоки при плавлении обеспечивают получение чугуна. Сварку выполняют с предварительным подогревом до температур 300–400 °С или с подогревом изделий до 600–700 °С с последующим медленным охлаждением. Применение порошковой проволоки для механизированной ремонтной сварки чугуна позволяет значительно повысить производительность труда по сравнению с ручной сваркой штучными электродами.

Промышленность выпускает проволоки для сварки чугуна с пластинчатым (ПП-АНЧ2) и шаровидным (ПП-АНЧ5) графитом. Для питания дуги используют постоянный ток прямой полярности. При высоких режимах производительность наплавки достигает 9–12 кг/ч и обеспечиваются требуемые механические свойства.

Порошковые проволоки для чугуна применяют для заварки раковин больших размеров, недоливов и отверстий в толстостенных отливках и т. п.

В настоящее время при производстве сварочных работ на магистральных трубопроводах АК «Транснефть» используется самозащитная проволока типа Иннершилд производства фирм «Линкольн Электрик» и «Esab». Проволока марки NR-207 диаметром 1,7 мм применяется для сварки заполняющих и облицовочного слоёв шва неповоротных стыков труб с пределом прочности до 530 МПа (включительно), NR-208XP диаметром 1,7 и 2,0 мм – для сварки заполняющих и облицовочного слоёв шва неповоротных стыков труб с пределом прочности от 539 МПа до 588 МПа. Проволока фирмы «Esab» марки Filarc PX701 диаметром 1,4 мм используется для автоматической сварки заполняющих и облицовочных слоёв шва стыков труб с пределом прочности 510–588 МПа включительно. Также применяются проволоки марок: TS-6, (Thyssen K Nova), Thyssen K Nova Ni, Union Ni Mo 80, K 600 85 Ar/15, Pipeliner Autoweld G70M, Pipeliner Autoweld G80M, Pipeliner Autoweld G90M, ОК Tubrod 15.19, ОК Tubrod 15.09, NR-208S, NR-204H. Необходимость применения той или иной проволоки определяется классом прочности основного материала и условиями, в которых прокладывается трубопровод.

5.3.2.4. Порошковые проволоки для сварки легированных сталей

Металл швов, выполненных на высокопрочных легированных сталях, отличается большой склонностью к кристаллизационным и холодным трещинам. Для повышения стойкости швов против таких дефектов необходимо использовать сварочные материалы, обеспечивающие в металле швов небольшие содержания серы, углерода, водорода, легирование металла шва необходимыми элементами. Для сварки легированных сталей разработаны самозащитные проволоки марок ПП-АНВ1, ПП-АНВ2, ПП-АНВ3 и газозащитная проволока марки ПП-АН-А1, позволяющие интенсивно обрабатывать металл шлаком, а также снизить содержание вредных примесей.

5.3.2.5. Порошковые смеси для наплавки

Для дуговой наплавки неплавящимся электродом износостойкого слоя используют механические смеси порошков по ГОСТ 11546–75.

В зависимости от химического состава смеси порошков для наплавки разделены на марки С-2М, ФБХ6-2, БХ, КБХ. Величина частиц порошков двух типоразмеров 0,45 и 1,0 мм. Влажность смесей порошков не должна превышать 0,3 %.

Стандарт содержит рекомендуемые области применения порошков. С-2М: для наплавки бил дробильных аппаратов, ножей бульдозеров и грейдеров, ковшей экскаваторов и драг, шнеков кирпичных прессов,

лопастей глиномешалок, катков, поддонов и отвалов бегунковых смесителей, коксовыталкивателей и т. п. ФБХ-6-2: для наплавки деталей горнодобывающего и торфоперерабатывающего оборудования, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания с умеренной ударной нагрузкой. БХ: для наплавки лопастей глиномешалок, деталей кирпичных прессов, пресс-форм для брикетирования угля и торфа, лопастей вентиляционных дымососов, деталей земснарядов, колец дезинтеграторов и т. п. КБХ: для наплавки лопастей глиномешалок, деталей кирпичных прессов, пресс-форм для брикетирования угля, зубьев одноковшовых и роторных экскаваторов, ножей бульдозеров и грейдеров, лопастей вентиляционных дымососов, лопаток дробебетонов и т. п.

Для наплавки, работающей в условиях коррозии, эрозии, при повышенных температурах или в агрессивных средах применяются порошки по ГОСТ 21448–75 восьми марок. ПГ-С27 (тип ПН-У40Х28Н2С2ВМ); ПГ-С1 (тип ПН-У30Х28Н4С4); ПГ-УС25 (тип У50Х38Н); ПГ-ФБХ-6-2 (тип ПН-У45Х35ГСР); ПГ-АН1 (тип У25Х30СР); ПГ-СР2 (тип ПН-ХН80С2Р2); ПГ-СР3 (тип ПН-ХН80С3Р3); ПГ-СР4 (тип ПН-ХН80С4Р4). Влажность данных порошков не должна превышать 0,1 %.

5.4. Неплавящиеся электроды

По материалу, из которого они изготовлены, могут быть угольными, графитовыми, вольфрамовыми, циркониевыми, гафниевыми. Все эти материалы относятся к группе тугоплавких. Неплавящиеся электроды служат только для поддержания горения дуги и поэтому должны обладать высокой стойкостью при высоких температурах (расход их должен быть минимальным), обеспечивать хорошее зажигание и стабильное горение сварочной дуги.

5.4.1. Графитовые и угольные электроды

Графитовые и угольные электроды различаются строением углерода. В графитовых электродах углерод имеет кристаллическое строение, в угольных – аморфное. Для угольного электрода электрическое сопротивление кубика с ребром в 1 см составляет 0,0032 Ом, для графитового – 0,0008 Ом. Температура начала окисления на воздухе угольного электрода 500 °С, графитового – 640 °С. Следовательно, по этим показателям предпочтительнее применение графитовых электродов, обеспечивающих более высокую стойкость при нагреве.

Высокая температура кипения углерода (4500 °К) обеспечивает его малый расход за счёт испарения, но при взаимодействии с воздухом

происходит его окисление и угар с возможным науглероживанием сварочной ванны. Уменьшить разогрев электрода можно только за счёт увеличения его сечения. По этой причине угольные и графитовые электроды обычно применяют больших диаметров (6...20 мм и выше), что затрудняет действия сварщика. В настоящее время данные электроды широкого применения не находят. Используются они лишь при воздушно-дуговой резке, строжке угольным электродом, ограниченно – при сварочных и наплавочных работах.

Регламентирует свойства и химический состав угольных и графитовых электродов ГОСТ 10720–75. Стандарт разрешает изготовление омеднённых и неомеднённых угольных электродов при использовании на токах до 580 А. Имеется три марки электродов: ВДК – воздушно-дуговые круглые, ВДП – воздушно-дуговые плоские, СК – сварочные круглые.

Электроды марки ВДК выпускаются с номинальным диаметром 6, 8, 10, 12 мм при длине 300 ± 10 мм. Электроды марки ВДП выпускают сечением 12x5 мм и 18x5 мм при длине 350 ± 10 мм. Электроды марки СК выпускают диаметром 4, 6, 8, 10, 15, 18 мм при длине 250 ± 10 мм. По требованию потребителей электродов СК может достигать 700 ± 35 мм.

Пример условного обозначения воздушно-дугового круглого электрода диаметром 6 мм: электрод ВДК 6 ГОСТ 10720–75.

Неплавящиеся графитовые электроды специально для сварки и резки по государственным стандартам не изготавливаются. В ряде случаев их делают путём разрезки и обтачивания графитизированных электродов по ГОСТ 4426–71.

5.4.2. Вольфрамовые электроды

Уменьшить диаметр электродов, исключить опасность науглероживания металла шва можно при использовании электродов из тугоплавких металлов. Наиболее широкое применение для сварки имеют вольфрамовые электроды диаметрами 1,0–6,0 мм, с высокой механической прочностью и сравнительно небольшим электрическим сопротивлением. Температура плавления вольфрама 3377 °С, температура кипения 4700 °С. Вольфрамовые стержни изготавливают из порошка (чистотой 99,7 %), который прессуют, спекают и проковывают, в результате чего отдельные его частицы свариваются. Заготовки подвергают волочению для получения стержней необходимых диаметров.

Вольфрамовые электроды изготавливают из чистого вольфрама и с присадками окислов лантана, иттрия или тория, а также металлического тантала по ГОСТ 23949–80 в виде прутков и проволоки различного диаметра и длины.

Основные марки вольфрамовых электродов:

ЭВЧ – электрод вольфрамовый чистый, диаметром 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мм, не маркируется.

ЭВЛ – электрод вольфрамовый с добавками оксида лантана La_2O_3 1,1–1,4 %, диаметром 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мм, цвет маркировки – чёрный.

ЭВИ-1 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия Y_2O_3 1,5–2,3 %, диаметром 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мм, цвет маркировки – синий

ЭВИ-2 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия Y_2O_3 2–3 % и 0,01 % тантала, диаметром 2,0; 3,0; 4,0 мм, цвет маркировки – фиолетовый.

ЭВИ-3 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия Y_2O_3 2,5–3,5 % и 0,01 % тантала, диаметром 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мм, цвет маркировки – зелёный.

ЭВТ-15 – электрод вольфрамовый с добавками диоксида тория Th_2O_3 1,5–2,0 %, диаметром 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мм, цвет маркировки – красный.

Пример условного обозначения электрода марки ЭВЛ, диаметром 2 мм, длиной 150 мм: электрод вольфрамовый ЭВЛ-Ø2-150 ГОСТ 23949–80.

Самую низкую стойкость при нагреве имеет электрод марки ЭВЧ. Данный электрод имеет низкую стойкость при нагреве и невысокую допускаемую плотность тока. Введение в вольфрам небольшого количества оксидов иттрия, лантана и тория значительно увеличивает работу выхода электродов с поверхности электрода, эмиссионную способность и, как следствие, повышается стойкость вольфрама при нагреве (способность длительное время сохранять заостренную форму), увеличивается допустимая плотность тока в сравнении с чистым вольфрамовым электродом на 15–20 % и повышается устойчивости сварочной дуги.

Вследствие естественной (незначительной) радиоактивности тория электроды марки ЭВТ находят ограниченное применение для ручной аргонодуговой сварки, однако при использовании данных электродов дуга имеет самую высокую устойчивость, особенно при малых значениях тока.

Все электроды на основе вольфрама требуют при сварке защиты их инертными газами от окисления кислородом воздуха. В противном случае происходит окисление не только основного металла и металла сварочной ванны, но и окисление электрода с формированием на торце электрода желтого налёта – окисленного слоя. По этой причине так тщательно относятся к газовой защите при сварке. Обязательны для исполнения рекомендации по продувке газовых коммуникаций до сварки (удаление из газовых рукавов остатков воздуха), так и после, чтобы из-

бежать окисления не только шва, но и окисления и разрушения вольфрамового электрода.

Несмотря на высокую температуру плавления вольфрама, сварка вольфрамовыми электродами должна осуществляться на постоянном токе прямой полярности (на электроде катод) для большинства материалов. При этом создаются благоприятные условия нагрева электрода при сварке, и он не расплавляется. Исключение составляют сплавы на основе алюминия и магния, при сварке которых рекомендуют применять переменный ток для удаления оксидной пленки с поверхности сварочной ванны. Для использования вольфрамового электрода его необходимо подготовить согласно рис. 5.2.

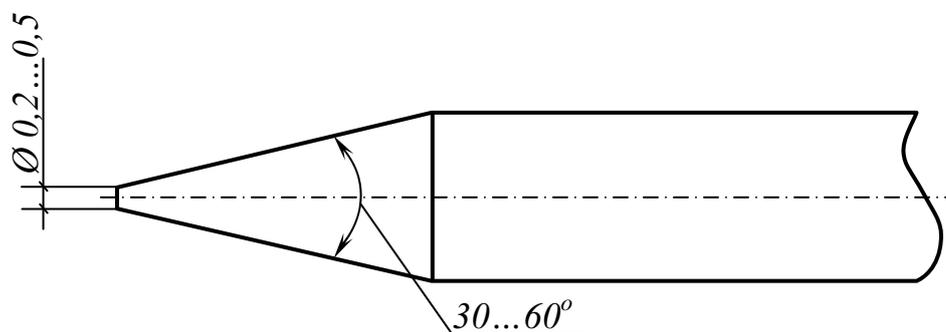


Рис. 5.2. Подготовка вольфрамового электрода перед сваркой

Изменяя угол заточки изменяется проплавляющая способность дуги. Чем меньше угол, тем выше проплавляющая способность сварочной дуги. При подготовке электродов желательно сформировать притупление для обеспечения постоянства геометрии шва, т. к. при отсутствии притупления увеличивается плотность тока и интенсивность разогрева торца. Электрод при этом быстро разрушается, изменяется форма проплавления и геометрия сварного шва. А при зажигании дуги с помощью короткого замыкания увеличивается вероятность скола и перехода вольфрама в сварной шов, что недопустимо.

Вольфрамовые электроды используются также и на переменном токе. При этом вольфрамовый электрод находится в более неблагоприятных условиях, т. к. половину времени на торце электрода располагается катодное пятно, половину – анодное. Разогрев электрода на обратной полярности интенсивнее, чем на прямой. Температура в анодной области превышает температуру плавления вольфрамового электрода. Как правило, при сварке на переменном токе происходит подплавление электрода с формированием на торце полусферы. Поэтому для сварки

на переменном токе торец вольфрамового электрода затачивается как полусфера (рис. 5.3, а, в), или устанавливают неподготовленный вольфрам, на котором в процессе разогрева происходит формирование сферы (рис. 5.3, б).

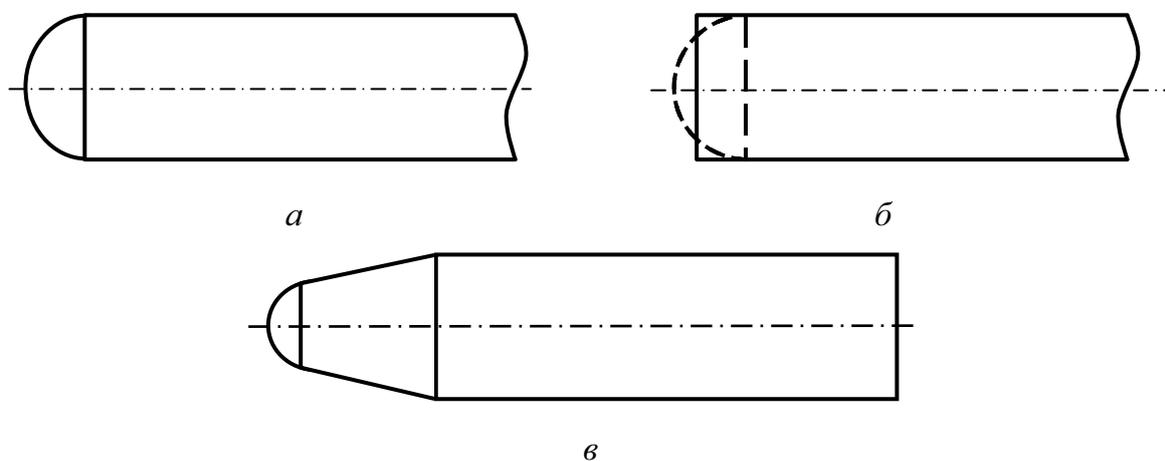


Рис. 5.3. Подготовка вольфрамового электрода для сварки на переменном токе

Использование вольфрамовых электродов позволяет значительно расширить технологические возможности сварочной дуги: расширить спектр свариваемых материалов, применять для малых толщин и т. д.

5.4.3. Электроды для плазменных процессов

Циркониевые и гафниевые электроды используют при формировании плазмы (рис. 5.4). Также в качестве тугоплавкой вставки может использоваться вольфрам, но при условии не воздушного, а водяного охлаждения. При таких условиях работы допускается применение обратной полярности.

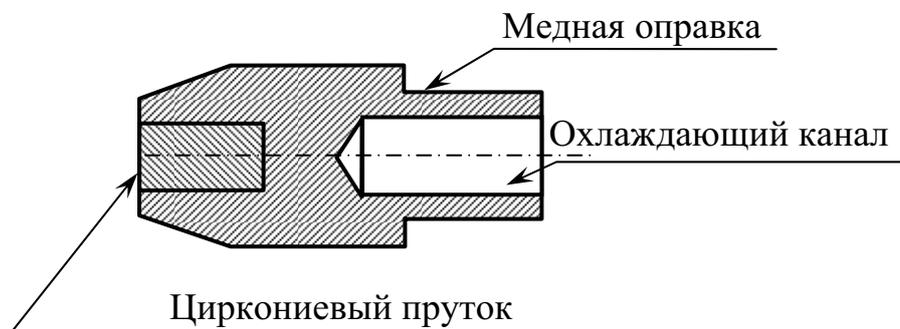


Рис. 5.4. Конструкция катода

Области применения – наплавка, резка металлов и сплавов. Отличительной особенностью от вольфрамовых электродов является высокая стойкость материалов при нагреве до высоких температур на открытом воздухе, что и определяет возможность использования циркониевых электродов при плазменной резке, где в качестве плазмообразующего газа используется сжатый воздух.

Как правило, эти электроды используются в медных оправках. Пруток тугоплавкого материала зачеканивается в медную оправку. Конструкция оправок может отличаться в зависимости от типа установки и принципа охлаждения катода, т. к. оно может быть воздушным или жидкостным.

5.5. Покрытые электроды для дуговой сварки и наплавки

5.5.1. Изготовление электродов

Электроды для ручной дуговой сварки представляют собой стержни длиной до 450 мм, изготовленные из сварочной проволоки, на поверхность которых наносится слой покрытия различной толщины и состава. Один из концов электрода на длине 20–30 мм освобождён от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта. Торец другого конца очищают от покрытия для возможности возбуждения дуги контактным методом. Допускается нанесение специального ионизирующего состава (слой графита) для облегчения первоначального поджига дуги (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Внешний вид покрытого электрода для ручной дуговой сварки

К покрытым электродам предъявляется ряд требований, от которых в конечном итоге зависит качество сварных швов и несущая способность сварной конструкции в целом:

- обеспечение стабильного горения дуги и хорошее формирование шва;
- получение заданного химического состава наплавленного металла;
- спокойное расплавление электродного стержня и покрытия при минимальном разбрызгивании и высокой производительности;
- легкая отделимость шлака и достаточная прочность электродного покрытия;
- сохранение физико-химических свойств в течение определённого промежутка времени (гарантийный срок хранения);
- минимальная токсичность при изготовлении электродов и работе с ними.

При изготовлении электродов используются стержни из сварочной проволоки по соответствующим стандартам или техническим условиям. В настоящее время существует три основных способа производства покрытых электродов: окунанием, опудриванием и опрессовкой.

Пасту для обмакивания следует замешивать примерно до сметанообразного состояния. Сначала смешивают сухие компоненты, а потом их замешивают на растворе связующего вещества, обычно на растворе жидкого стекла. При методе обмакивания электродные стержни погружают в ванну с жидкой обмазочной пастой и медленно вытягивают из нее; стержни при этом покрываются равномерным слоем обмазки. Способ обмакивания сохранился лишь для обмазок, непригодных для нанесения опрессовкой, для тонких обмазок и в мелких электродных мастерских, не располагающих обмазочными прессами.

Окунанием можно изготавливать электроды с тонким и толстым покрытием. Массу для покрытия наливают в цилиндр из водопроводной трубы. Погруженные в сосуд электроды извлекают из обмазочной массы со скоростью, обеспечивающей необходимую толщину покрытия, равномерное его распределение по всей длине прутка; затем электроды устанавливают на стеллажах или подвешивают. Окунать электроды можно по одному или по несколько одновременно.

В процессе извлечения электродов необходимо периодически перемешивать обмазочную массу, чтобы выравнивать ее состав, так как более тяжелые компоненты обычно оседают на дно. В зависимости от толщины, густоты и свойств массы покрытия его наносят в один или два слоя. В последнем случае после первого нанесения покрытия электроды подвергаются воздушной сушке.

Электроды, изготовленные обмакиванием, проходят предварительную сушку при температуре до 40–50 °С. Предварительная сушка необходима для устранения растрескивания слоя обмазки, которое получается при слишком форсированной высокотемпературной сушке. Окончательная сушка или прокалка электродов проводится для удаления по возможности всей влаги из электродов и придания покрытию максимальной механической прочности за счет химических реакций между жидким стеклом и компонентами обмазки.

При опудривании электрод протирается тканью, смоченной в растворе жидкого стекла, после чего обкатывается в сухой шихте. Процесс изготовления таких электродов заканчивается воздушной сушкой в течение 3–4 ч. Этот метод применяют только для электродов с тонким покрытием.

Более совершенный и преобладающий на современных электродных заводах способ нанесения покрытия опрессовкой осуществляется

на специальных электродных прессах, работающих при высоких давлениях, 40–80 МПа (достигается давление до 100 МПа). Обмазочная паста для опрессовки имеет консистенцию влажной земли и при сжатии в руке слипается в комок. Обмазочная паста периодически загружается в цилиндр прессы. Электродные стержни проталкиваются через мундштук цилиндра в количестве от 200 до 600 шт. в минуту и выходят покрытыми плотным слоем обмазки равномерной толщины. По выходе из прессы один конец электрода зачищается для захвата держателем. Современный электродный пресс обеспечивает высокую производительность и качественное нанесение электродного покрытия, отличающегося высокой плотностью и небольшими значениями эксцентриситета.

Принципиальный технологический процесс изготовления покрытых электродов методом опрессовки состоит из следующих операций:

- изготовление электродных стержней путём правки и рубки сварочной проволоки на правильно-рубильных станках;
- переработка твёрдых компонентов покрытия для обеспечения заданного гранулометрического состава и других, предъявляемых к ним требований (промывка, дробление, сушка, измельчение, просев, пассивирование и другие операции, выполняемые в зависимости от вида и состояния поставки компонентов);
- приготовление жидкого стекла (промывка и дробление силикатной глыбы, её варка в воде и охлаждение раствора с последующим фильтрованием или отстаиванием);
- приготовление сухой шихты (взвешивание компонентов по заданной рецептуре и их последующее перемешивание в сухом виде);
- приготовление обмазочной массы (добавление в сухую шихту заданного количества жидкого стекла и пластификаторов, перемешивание и последующее брикетирование);
- изготовление покрытых электродов на электрообмазующем прессе с зачистной машиной;
- сушка и прокалка покрытых электродов;
- упаковка электродов;
- контроль качества готовых к применению электродов, оформление сертификатов и заключений о качестве.

Опрессованные электроды ввиду меньшего содержания влаги, чем при нанесении методом окунания, не нуждаются в предварительной сушке и подвергаются сразу окончательной прокалке. Окончательную сушку можно вести форсированно, при высоких температурах. Для электродов, не содержащих органических веществ, температуру прокалки можно доводить до 300–400 °С, для покрытий с органическими веществами – не

выше 150–180 °С во избежание разложения органических веществ. По окончании прокалки электроды идут на контроль и упаковку. От каждой партии электродов берется проба для выполнения опытной сварки.

5.5.2. Состав электродного покрытия

Покрытие предназначено для повышения устойчивости горения дуги, образования комбинированной газошлаковой защиты, легирования и рафинирования металла. Для изготовления покрытий применяют различные материалы (составляющие). Используется шесть основных составляющих, из которых состоят электродные покрытия.

1. *Газообразующие компоненты.* Назначение: обеспечение газовой защиты сварочной ванны. Для этого применяется крахмал, целлюлоза, пищевая и древесная мука, декстрины либо неорганические вещества, обычно карбонаты (мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , фтористый кальций CaF_2 и др.). При их разложении образуется значительное количество газов для защиты расплавленного металла от взаимодействия с окружающей средой.

2. *Шлакообразующие компоненты.* Составляют основу покрытия. Обычно это руды (марганцовая, титановая), минералы (ильменитовый и рутиловый концентраты, полевошпат, кремнезём, гранит, мрамор, плавленый шпат и др.). Назначение: защищают расплавленный металл от взаимодействия с воздухом (шлаковая защита), частично его рафинируют (снижают содержание вредных примесей в металле шва – образуя с серой и фосфором нерастворимые в основном металле эвтектики и всплывают в шлак), уменьшают скорость охлаждения металла, что способствует выделению из сварочной ванны всех неметаллических включений.

3. *Раскисляющие составляющие.* Элементы-раскислители: кремний, марганец, титан, алюминий, т. е. элементы, обладающие бóльшим сродством к кислороду, чем железо. Алюминий в покрытие вводят в виде порошка-пудры. Вводятся для раскисления расплавленного металла. Продукты раскисления – оксиды – выходят в шлаковую ванну.

4. *Легировующие элементы.* Используются различные легирующие элементы для придания определённых механических и специальных свойств. Так, например, для теплоустойчивых сталей основными легирующими элементами являются молибден, хром, ванадий. Для коррозионно-стойких сталей основу составляют хром, никель и др.

5. *Ионизирующие или стабилизирующие компоненты.* Содержат элементы с низким потенциалом ионизации, а также различные соединения, в состав которых входят калий, натрий, кальций, мел, полевошпат, гранит и др. Обеспечивают стабильное горение дуги на постоянном и переменном токе.

б. Связующие составляющие – водные растворы силикатов натрия и калия, называемые натриевым или калиевым жидким стеклом, а также натриево-калиевым жидким стеклом. Формовочные добавки – вещества, придающие обмазочной массе лучшие пластические свойства, – бентонит, каолин, декстрин, слюда и др. Материалы обеспечивают связывание компонентов покрытия между собой, придают эластичность обмазочной массе при нанесении и обеспечивают покрытие необходимую прочность после сушки прокалки.

Для повышения производительности сварки, увеличения количества дополнительного металла, вводимого в шов, в покрытии электродов может содержаться железный порошок до 60 % массы покрытия. Многие материалы, входящие в состав покрытия, одновременно выполняют несколько функций, обеспечивая и газовую защиту в виде газа CO₂, и шлаковую защиту в виде CaO и т. д.

Изменение состава электродного покрытия недопустимо, т. к. при этом изменяются сварочно-технологические свойства покрытых электродов.

Требования, предъявляемые к электродным покрытиям:

- обеспечение устойчивого горения дуги;
- нормальное формирование шва;
- не должно быть реакций между компонентами покрытия;
- не должно быть реакций между компонентами покрытия и расплавленным металлом, способными вызвать образование дефектов;
- обеспечение санитарно-гигиенических норм.

Конкретный состав покрытия и стержня в электроде определяется маркой электрода. Обозначение марок электродов часто содержит начальные буквы организации, в которых они были разработаны, или назначение данных электродов.

Электроды выпускают различных диаметров и длины. Длина электродов, как правило, зависит от диаметра и материала, из которого они изготовлены. Различные диаметры электродов необходимы для применения на разных толщинах, при различном технологическом назначении сварки. Например, сварка корня шва или наплавка валика на поверхность материала.

5.5.3. Обозначение электродов и классификация

Вся информация об электродах находится в их паспорте, находящемся на пачке. Однако часть сварочно-технологических характеристик можно найти лишь в справочной литературе. В паспорте на электроды имеются следующие сведения: завод-изготовитель, масса в пачке, область применения, номер партии, номер замеса электродного покрытия,

дата изготовления, допустимое содержание влаги в покрытии перед употреблением и режимы прокаливания, допустимые род и полярность тока, рекомендуемые режимы сварки для различных пространственных положений, стандарты государственные или отраслевые, технические условия, по которым изготавливаются данные электроды.

В паспорте содержится зашифрованная информация в виде:

Э50А-УОНИ-13/55-3,0-УД2

ГОСТ 9466–75, ГОСТ 9467–75

Е 51 1 (3)-Б20

1. Э50А – в данной позиции проставляется тип электрода, который показывает предел прочности наплавленного металла (кг/мм^2). При этом тип показывает прочность наплавленного металла не менее 50 кг/мм^2 , а буква А свидетельствует о том, что электроды качественные, т. е. обладают повышенными пластическими свойствами наплавленного металла (более высокие значения коэффициентов относительного удлинения, поперечного сужения и ударной вязкости). Электроды, имеющие в обозначении типа букву «А», рекомендуют применять для сварки ответственных конструкций и узлов.

2. УОНИ-13/55 – марка электрода. Обычно марка электрода не несет никакой информации. В данном случае расшифровать можно так: универсальная обмазка научно-исследовательского института № 13, с получением прочности наплавленного металла 55 кг/мм^2 .

3. 3,0 – диаметр электрода, мм.

4. У – в данной позиции проставляется назначение электродов и могут стоять следующие буквы:

У – электроды, предназначенные для сварки углеродистых сталей с пределом прочности $\leq 590 \text{ МПа}$. Может быть 9 типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60. Тип электрода показывает предел прочности при растяжении наплавленного металла.

Л – электроды для сварки сталей повышенной и высокой прочности с пределом прочности $> 590 \text{ МПа}$. Может быть 5 типов электродов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Тип электрода показывает предел прочности при растяжении наплавленного металла.

Т – электроды для сварки теплоустойчивых сталей (предел прочности не регламентируется). Может быть 9 типов: Э09М, Э09МХ, Э09М1Х, Э05Х2М, Э09Х2М1, Э09Х1МФ, Э10Х1М1НФБ, Э10Х3М1БФ, Э10Х5МФ. Тип электрода показывает типичный химический состав наплавленного металла данными электродами.

В – электроды для сварки высоколегированной стали (предел прочности не регламентируется). Может быть 49 типов, например, Э12Х13, Э07Х20Н9 и др. Тип электрода показывает типичный химический состав наплавленного металла данными электродами.

Н – электроды для наплавки (предел прочности не регламентируется). Может быть 44 типа, например, Э16Г2ХМ, Э10Г2 и др. Тип электрода показывает типичный химический состав наплавленного металла данными электродами. Использовать данные электроды для сварки недопустимо. В зависимости от принятой системы легирования и условий работы получаемого наплавленного металла электроды для наплавки могут быть условно разделены на шесть групп. Это – электроды, обеспечивающие получение:

- низкоуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок;
- среднеуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок при нормальной и повышенных температурах (до 600–650 °С);
- углеродистого, легированного (или высоколегированного) наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок;
- углеродистого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях больших давлений и высоких температур (650–850 °С);
- высоколегированного аустенитного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания и трения металла о металл при повышенных температурах (до 570–600 °С);
- дисперсноупрочняемого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в тяжелых температурно-деформационных условиях (910–1100 °С).

Электроды с назначением У и Л регламентируются типом, по пределу прочности наплавленного металла, с назначением Т, В, Н – по химическому составу наплавленного металла.

5. Д – в данной позиции проставляется толщина электродного покрытия, определяемая по соотношению диаметра покрытия Д к диаметру электродного стержня d. Могут стоять следующие буквы:

М – тонкое покрытие, $D/d \leq 1,2$;

С – среднее покрытие, $1,2 < D/d \leq 1,45$;

Д – толстое покрытие, $1,45 < D/d \leq 1,8$;

Г – особо толстое покрытие, $1,8 < D/d$.

6. 2 – в данной позиции проставляется качество изготовления электродов. Может быть проставлена 1, 2 или 3 группа изготовления. Самое высокое качество у 3-й группы. Относят к той или иной группе качества

изготовления по качеству нанесения электродного покрытия (табл. 5.15.), по чистоте наплавленного металла от вредных примесей – серы и фосфора. Большинство заводов-изготовителей сварочных покрытых электродов не проставляют группу качества. Группу качества изготовления электродов определяет также диаметр электродов и размер партии в тоннах (табл. 5.17).

Таблица 5.15

Допустимые значения величины эксцентриситета в зависимости от группы качества изготовления покрытых электродов

Диаметр электро- да, мм	Допустимое значение эксцентриситета e , мм		
	1 группа	2 группа	3 группа
1,6	0,080	0,075	0,065
2,0	0,100	0,090	0,080
2,5	0,125	0,115	0,100
3,0	0,150	0,135	0,120
4,0	0,200	0,180	0,160
5,0	0,250	0,225	0,200
6,0 и более	0,300	0,270	0,240

7. 1 – индекс минимального значения коэффициента относительного удлинения. Коэффициент определяется совместно с индексами минимального предела прочности при разрыве.

8. 3 – индекс минимальной температуры при которой величина ударной вязкости будет не менее 3,5 МДж/м².

0 – температура не регламентирована; 1 – +20 °С; 2 – 0 °С; 3 – –20 °С; 4 – –30 °С; 5 – –40 °С; 6 – –50 °С; 7 – –60 °С.

В электродах для сварки легированных теплоустойчивых сталей группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, должна включать два индекса. Первый показывает температуру, при величине ударной вязкости будет не менее 3,5 МДж/м² (аналогично пункту 8), второй – указывает максимальную температуру: 0 – не регламентирована или ниже 450 °С; 1 – 450...465 °С; 2 – 470...485 °С; 3 – 490...505 °С; 4 – 510...525 °С; 5 – 530...545 °С; 6 – 550...565 °С; 7 – 570...585 °С; 8 – 590...600 °С; 9 – свыше 600 °С.

9. Б – в данной позиции проставляется тип электродного покрытия.

А – кислое; Б – основное; Р – рутиловое; Ц – целлюлозное; П – прочие; Ж – проставляется в случае, если в электродном покрытии содержится свыше 20 % железного порошка. Например, электроды марки ОЗС–6 имеют покрытие РЖ. Железный порошок, вводимый в электродное покрытие, позволяет компенсировать разбрызгивание и угар металла при сварке. РА, РБ, РЦ – комбинированные покрытия, рудно-кислое, рутил-карбонатное, рутил-целлюлозное покрытие соответственно.

10. 2 – проставляется допускаемое пространственное положение сварки.

- 1 – все пространственные положения;
- 2 – все, кроме вертикального положения сверху вниз;
- 3 – все, кроме вертикального сверху вниз и потолочного положения;
- 4 – нижнее положение или нижнее «в лодочку».

11. 0 – род и полярность тока на источнике питания, проставляется минимальное напряжение холостого хода источника питания при использовании электродов на переменном токе. 0 – переменный ток не применим, сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности (табл. 5.16).

Таблица 5.16

Данные для определения рода, полярности тока

$\sim U_{20}, \text{В}$	Полярность		
	любая	прямая	обратная
$\sim I$ не применим	–	–	0
50 ± 5	1	2	3
70 ± 5	4	5	6
90 ± 5	7	8	9

ГОСТ 9466–75 – стандарт на технические условия изготовления и классификацию электродов;

ГОСТ 9467–75 – «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей», стандарт на химический состав и свойства электродов с назначением У, Л, Т;

ГОСТ 10051–75 – стандарт на химический состав и свойства электродов для наплавочных работ;

ГОСТ 10052–75 – стандарт на химический состав и свойства электродов для сварки высоколегированных сталей.

В указанных стандартах можно найти обозначение всех индексов, содержащихся в условном обозначении электрода (паспортные данные).

В обозначении электродов с назначением В и Н вводятся дополнительные индексы, характеризующие свойства наплавленного металла, например, стойкость наплавленного металла к МКК, содержание ферритной фазы в наплавленном металле, твердость наплавленного металла. При изготовлении могут использоваться отраслевые стандарты или технические условия.

Индексы, стоящие после буквы Е, в зависимости от назначения электрода показывают механические свойства наплавленного металла.

Э-09Х1МФ-ЦЛ-20-3,0-ТД2
Е 27-Б10

ГОСТ 9466–75, ГОСТ 9467–75

У электродов, предназначенных для сварки теплоустойчивых сталей, стоит индекс 27. 2 – индекс минимальной температуры, при которой величина ударной вязкости будет не менее 3,5 МДж/м² – 0 °С; 7 – температура эксплуатации сварной конструкции – 570–585 °С.

Э-10Х25Н13Г2Б-ЦЛ-9-3,0-ВДЗ

Е 2075-Б30

ГОСТ 9466–75, ГОСТ 10052–75

У электродов, предназначенных для сварки высоколегированных сталей, стоит индекс 2075. 2 – стойкость металла против межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМ; 0 – требований по максимальной рабочей температуре наплавленного металла и металла шва нет; 7 – максимальная рабочая температура эксплуатации сварного соединения 910–1000 °С; 5 – содержание ферритной фазы в наплавленном металле 2–10 %.

Э-11Г3-ОЗН-300У-4,0-НД2

Е 300/33-1-Б40

ГОСТ 9466–75, ГОСТ 10051–75

У наплавочных электродов стоит индекс 300/33-1, показывающий, что металл валика обеспечивает среднюю твердость 300 НВ (33 HRC; ≈300 НV) без термической обработки после наплавки (1).

Масса партии электродов, в зависимости от их назначения и группы качества изготовления, не должна превышать величин, указанных в табл. 5.17. По соглашению производителя и потребителя допускается увеличение размеров партии электродов первой группы не более чем в 2 раза (исключение составляют электроды с основным видом покрытия, размер партии которых увеличивать нельзя).

Таблица 5.17

Масса партии покрытых электродов

Назначение электродов	Диаметр электродов, мм	Масса, г		
		Группа качества		
		1	2	3
Для сварки углеродистых легированных конструкционных сталей	< 4,0	10	8	5
	≥ 4,0	20	15	10
Для сварки легированных теплоустойчивых сталей	< 4,0	5	3	2
	≥ 4,0	10	8	5
Для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами	< 4,0	3	2	1
	≥ 4,0	5	3	2

Стандартов на электроды для сварки меди, алюминия и их сплавов не существует ввиду малого объема применения покрытых электродов для ручной сварки меди, алюминия, никеля и их сплавов. Указанные электроды изготавливают по техническим условиям. При этом стержни для медных электродов изготавливают из сварочной проволоки и прут-

ков согласно стандарта ГОСТ 16130–90 или литых стержней другого состава. В состав покрытия могут входить такие же компоненты, как и в покрытия электродов для сварки сталей. Металлические стержни электродов для сварки алюминия и его сплавов изготавливают из сварочной проволоки по ГОСТ 7871–75. Основу покрытия электродов для сварки алюминия составляют галоидные соли щелочных и щелочноземельных металлов и криолит. Сухую шихту замешивают на воде или водном растворе поваренной соли.

Можно привести основные марки электродов, используемые для сварки алюминия: ОЗА-1, ОЗА-2, ОЗАНА-1, ОЗАНА-2; для сварки меди: Комсомолец-100, АНЦ/ОЗМм2, АНЦ/ОЗМ-3, ОЗБм2М, ОЗБм3; для сварки никеля: ОЗЦЛ-32, В-56У.

Электроды для резки также изготавливаются по техническим условиям. Для резки сталей, чугунов, меди, алюминия и их сплавов можно использовать электроды, предназначенные для их сварки, но также и специальные электроды для резки и строжки данных материалов: ОЗР-1, ОЗР-2. У данных электродов техническими характеристиками являются: скорость резки в зависимости от толщины разрезаемых материалов и расход электродов на 1 кг выплавленного металла.

Металлические стержни для сварки чугуна могут быть стальными, из медно-никелевых сплавов, комбинированными (медно-стальными, железоникелевыми). Используются те же компоненты покрытия, что и для сталей. Применяются также электроды, стержень которых изготовлен из чугуна прутка. В качестве легирующих компонентов используют графит, карборунд, ферросилиций, силикокальций, силикомагний и другие, содержащие элементы – графитизаторы.

Зарубежные электроды. В настоящее время достаточно большой объём применяемых электродов составляет продукция зарубежных фирм. Данные электроды отличает высокое качество изготовления и стабильность свойств различных партий материалов. Химический состав наплавленного металла и механические свойства представлены в табл. 5.18 и 5.19. Все свойства покрытых электродов регламентируются стандартами: EN 499 – классификация электродов, ISO 2560 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, DIN 8555 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, ISO 3581 – электроды для сварки высоколегированных сталей, AWS A5.1 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, ISO 3580 – электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей, DIN 1913 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Таблица 5.18

Химический состав наплавленного металла зарубежных электродов,
% (среднее значение по массе)

Марка электрода	Аналог по ГОСТ 9467–75 или ГОСТ 10052–75	C	Si	Mn	Cr	Mo	Другие элементы				
В-17 (Япония)	Э42А	0,08	0,08	0,49	–	–	–				
Е-В121 (Чехия)		0,10	0,20	0,70							
Етопа (Югославия)			0,12	0,45							
Е-В125 (Чехия)	Э50А	0,10	0,50	1,30	–	–	–				
LB-26		0,08	0,43	0,93							
LB-52U			0,64	0,86							
LB-52А (Япония)			0,50	1,08							
OK 48.00		0,07	0,50	1,20							
OK 48.04		0,06		1,20							
OK 48.30 (Швеция)		0,08		1,00							
Garant (Германия)		0,10	0,50	1,00							
Fox Ev 50		Э50А	0,05	0,60				0,90	–	–	–
Fox Ev 55 (Австрия)			0,08	0,35				1,40			
Phoenix K50 R	0,06		0,55	0,90							
Phoenix 120 K (Германия)	0,07		0,40	1,10							
Z-4 (Израиль)	0,10			1,20							
Fox DMo Kb (Австрия)	Э-09М	0,07	0,51	0,80	0,51	0,47	–				
СМВ-86 (Япония)	Э-09МХ			0,81							
SL 19G (США)	Э-09Х1М	0,06	0,40	0,80	1,10	0,50	–				
СМВ-95	Э-09Х1М	0,03	0,90	0,76	1,27	0,54					
СМВ-96 (Япония)		0,07	0,53	0,79	1,20	0,50					
OK 76.18 (Швеция)		0,06	0,30	0,80	1,10						
Сромто 335Kb (Германия)		0,07	0,30	0,70	1,10						
Fox DCMS Kb			0,40	0,70	1,10						
Fox DCMV (Австрия)	Э-09Х1М1Ф	0,13	0,35	0,90	1,35	1,00	0,25·V				
Е-В324 (Чехия)	Э-09ХМ1Ф	0,10	0,40	1,40	0,50	1,20	0,30·V				
Super CrMoV3	Э-09Х1М1Ф	0,06	0,50	1,00	1,10	1,00	0,20·V				
Super CrMoV3/c (Германия)		0,11	0,30	0,90	1,10	1,00	0,20·V				
Arosta 316 L (США)	03Х18Н12М3	0,025	0,80	0,80	18,8	2,70	11,5·Ni				
Fox EASM (Австрия)	03Х19Н12М3	<0,04	0,40	1,30			11,5·Ni				

Марка электрода	Аналог по ГОСТ 9467–75 или ГОСТ 10052–75	C	Si	Mn	Cr	Mo	Другие элементы
Arosta 304 L (США)	03X20H10	0,025	0,80	1,00	20,0	–	10,0·Ni
Z-309 S (Израиль)	03X23H12				24,0	–	12,5·Ni
Фох CN23/12 Мо-А (Австрия)	02X23H12M3	0,02	0,70	0,80	23,0	2,70	12,5·Ni
Z-310 (Израиль)	13X25H20Г2	0,13	0,40	2,10	25,0	–	11,5·Ni
Фох CN20/25М (Австрия)	02X20H25Г2М7	≤ 0,04			20,0	6,50	25,0·Ni 1,40·Cu

Содержание S и P в наплавленном металле всех электродов перлитного класса не более 0,03 % каждого; высоколегированных – не более 0,02 % S, не более 0,03 % P.

Примечание. Если перед обозначением аналога электрода стоит буква «Э», то химический состав наплавленного металла электродов данной марки соответствует приведённому типу отечественных электродов.

Таблица 5.19

Механические свойства наплавленного металла зарубежных электродов

Марка электрода	Режим термообработки	σ_b , МПа	δ_b , %	KCV, Дж/см ² (при 20 °С)	
B-17	без термообработки	440	33	124* ¹	
E-B121		450...550	≥ 22	≥ 130* ³	
Емона			24...30	87,5...125	
E-B125		520...620	≥ 22	≥ 130* ³	
LB-26	без термообработки	540	33	240* ¹	
LB-52U		550	31	135* ¹	
LB-52A		590	30	135* ¹	
OK 48.00		540	29	175* ²	
OK 48.04		560	30	187,5* ²	
OK 48.30		550	30	250	
Garant		500...550	22	147...177	
Фох Ev 50		510...615	25	150...275	
Фох Ev 55		530...650	25...30	≥ 162	
Phoenix K50 R		≥ 510	25...35	150...200	
Phoenix 120 K		≥ 510	25...35	150...225	
Z-4		530...590	25	–	
Фох DMo Kb		560...710	> 22	> 150	
CMB-86		отпуск при 620 °С, 1 ч	677	26	–
SL 19G			≥ 550	≥ 19	100
CMB-95	отпуск при 690 °С, 1 ч	607	28	–	

Марка электрода	Режим термообработки	σ_b , МПа	δ_b , %	KCV, Дж/см ² (при 20 °С)
CMB-96	отпуск при 690 °С, 1 ч	654	25	–
OK 76.18	отпуск при 700 °С, 2 ч	620	20	150
Cromo 335Kb	отпуск при 680 °С, 2 ч	610...710	22...28	140...200
Fox DCMS Kb		590...740	> 22	> 125
Fox DCMV	отпуск при 680 °С, 8 ч	590	> 15	> 59
E-B321	отпуск при 680...730 °С, 2 ч	500...750	≥ 14	≥ 60* ³
E-B324	отпуск при 660...68 °С, 2 ч	650...800	≥ 16	≥ 50* ³
Super CrMoV3	отпуск при 720 °С, 2 ч и далее при 700 °С, 2 ч	680...780	20...25	80...120
Super CrMoV3/c	отпуск при 720°С, 2 ч	720...820	18...24	70...120
Arosta 316 L	без термообработки	≥ 490	≥ 30	87,5
Fox EASM		540...690	> 35	> 59
Arosta 304 L		≥ 520	≥ 35	87,5
Z-309 S		600	35	–
Fox CN23/12 Mo-A		670...810	≥ 25	≥ 59
Z-310		580	30	100
Fox CN20/25M	600...700	≥30	≥ 59	
<i>Примечание.</i>	* ¹ Данные испытаний при температуре 0 °С. * ² Данные испытаний при температуре –20 °С. * ³ Образцы с U-образным надрезом.			

5.5.4. Сварочно-технологические свойства электродов

Все покрытые электроды, предназначенные для сварки, имеют свои типичные для данной марки сварочно-технологические характеристики.

К ним относят:

- производительность наплавки 1,0...1,6 кг/ч,

$$G = \alpha_n \cdot I_{св}/1000; \quad (5.2)$$
- пригодность для сварки в различных пространственных положениях;
- стабильность горения дуги на – и ~ токе;
- форма шва (различная проплавливающая способность);
- допустимая минимальная и максимальная длина дуги: $0,5d_3 \leq l_d \leq 1,5d_3$;
- коэффициенты наплавки и расплавления: $6,5 \leq \alpha_n \leq 12,5$; $7 \leq \alpha_p \leq 13$, г·А/ч;

$$\alpha_n = G_n \cdot 3600 / I_{св} \cdot t, \quad (5.3)$$

$$\alpha_p = G_p \cdot 3600 / I_{св} \cdot t; \quad (5.4)$$

- коэффициент потерь $\varphi_{п} \approx 2,5 \dots 7 \%$,

$$\psi = \frac{\alpha_{р} - \alpha_{н}}{\alpha_{р}} \cdot 100 \% ; \quad (5.5)$$

- суммарный коэффициент потерь с учётом огарка $\sum \varphi \approx 30 \%$;
- коэффициент массы покрытия $k_{п} \approx 30 \dots 50 \%$ достигает 180 %;

$$k_{п} = \frac{q_{эл} - q_{см}}{q_{см}} \cdot 100 \% ; \quad (5.6)$$

- расход электродов может находиться в диапазоне 1,2...1,9 кг

$$g_{эл} = G_{н} \cdot (1,6 \dots 1,8). \quad (5.7)$$

Перед сваркой электроды должны быть прокалены для удаления влаги из покрытия, и её содержание не должно превышать указанного значения в паспорте на данную марку электродов. Самую высокую температуру прокалики имеют электроды с основным покрытием (достигают $400^{\pm 25} \text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение $1,5^{\pm 0,5}$ ч). Самую низкую температуру – электроды с целлюлозным типом покрытия ($80\text{--}100 \text{ }^{\circ}\text{C}$). При этом допускается прокалывать электроды не более двух раз. Если прокаленные электроды по истечении определенного времени, определяемого температурой и условиями хранения, не успели использовать в основном производственном цикле, то они должны быть исключены при сварке ответственных конструкций.

5.5.5. Входной контроль покрытых электродов

Для обеспечения качества сварных соединений необходимо осуществлять входной контроль сварочных материалов – покрытых электродов – непосредственно на предприятии, использующем данный тип материала. Входной контроль включает следующие обязательные пункты, по которым проверяется соответствие электродов.

1. *Проверка правильности заполнения сопроводительных документов на поступившую марку электродов.* На данной стадии проверяются сертификаты, свидетельства и их соответствие содержимому пачки.

2. *Проверка внешнего вида и качества нанесения электродного покрытия.* Покрытие должно быть целым, без вмятин, растрескиваний как продольных, так и поперечных. Величина дефектов регламентируется стандартами на испытание электродов и измеряется с погрешностью 1 мм. Кривизну электродов, протяжённость оголенности стержня, глубину рисок, вмятин, задиров и размеры пор на поверхности покрытия измеряют с погрешностью 0,1 мм. Конец электрода, предназначенный для закрепления в электрододержателе, должен быть свободным от по-

крытия на 20–30 мм. Противоположный конец специально механически обрабатывается для легкого первоначального поджига или наносят ионизирующий графитовый слой. Покрытие электрода должно быть прочным и не разрушаться при свободном падении с высоты 1 м – для электродов менее 3 мм, 0,5 м – для электродов более 4 мм включительно. Допускаемый откол при падении плашмя на стальную плиту составляет не более 5 % от всего покрытия при точности измерения 1 мм. Разность толщины покрытия (эксцентricность) определяется в трёх местах электрода, смещённых относительно друг друга на 50–100 мм по длине и на 120° по окружности. Измерение в каждом месте производят микрометром с погрешностью 0,005 мм.

Содержание влаги в электродном покрытии определяют доведением снятого с каждого контролируемого электрода покрытия до постоянной массы при следующих температурах: 400 ± 10 °С для основного покрытия; 180 ± 10 °С для кислого и рутилового покрытия; 110 ± 5 °С для целлюлозного покрытия. Для других покрытий температура устанавливается согласно паспортным данным на электроды. Содержание влаги определяется с точностью 0,1 %.

Коэффициент массы покрытия вычисляют с погрешностью 0,1 %, при этом погрешность взвешивания должна составлять 0,1 г.

3. *Определение механических характеристик наплавленного металла контролируемыми электродами.* Стыковое сварное соединение стальных пластин выполняется только при проверке электродов, предназначенных для сталей. Для этого сваривают пластины длиной 330 ± 10 мм, толщиной 20 ± 1 мм и шириной согласно табл. 5.20. Сварка происходит с предварительно приваренной стальной подкладкой сечением 30x10 мм (рис. 5.6, а, вариант А).

При проверке электродов для сварки углеродистых конструкционных сталей или углеродистых, низколегированных конструкционных сталей пластины и подкладка должны быть выполнены из стали Ст. 3 по ГОСТ 380.

Таблица 5.20

Геометрические размеры свариваемых пластин при испытании покрытых электродов

Диаметр контролируемых электродов, мм	Ширина пластин, ±10 мм
< 4,0	80
4,0	100
5,0; 6,0	120
8,0	150
10,0; 12,0	180

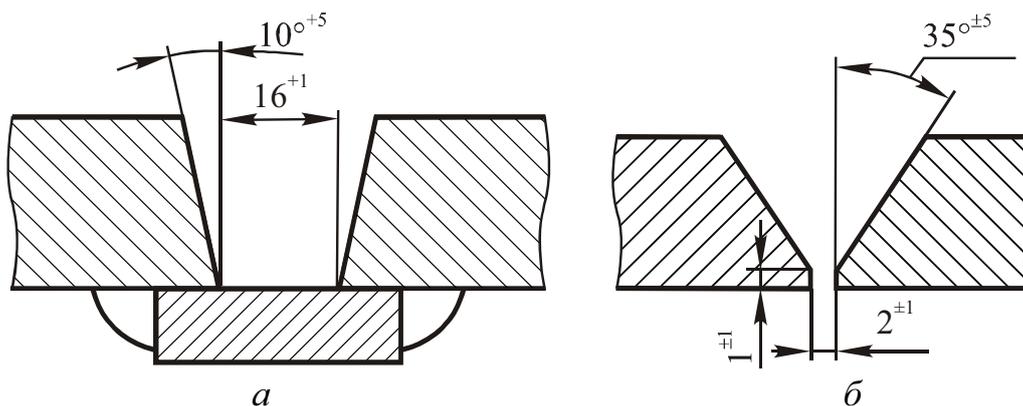


Рис. 5.6. Конструктивные элементы подготовки кромок стальных пластин:
 а – вариант сварки А, б – вариант сварки Б

При проверке электродов для сварки низколегированных, легированных и высоколегированных сталей пластины и подкладка должны быть из стали, для которой предназначены электроды контролируемой марки.

При проверке электродов диаметром до 5 мм допускается выполнять стыковое сварное соединение двух пластин длиной 330 мм, шириной 100 мм и толщиной 14–18 мм с подваркой корня шва электродами контролируемой марки (рис. 5.6, б, вариант Б).

Допускается замена пластин и подкладок на сталь того же структурного класса при условии предварительной наплавки контрольными электродами не менее чем в три слоя на поверхности пластин, подлежащих сборке и сварке. После механической обработки толщина наплавленного слоя должна составлять не менее 2,5 мм. Конструктивные элементы подготовки кромок и геометрия шва должны соответствовать размерам, приведённым на рис. 5.6, 5.7. При этом кромки пластин подготавливают механическим способом, для Ст. 3 допускается применение ацетилено-кислородной резки с последующим удалением следов резки механическим путём.

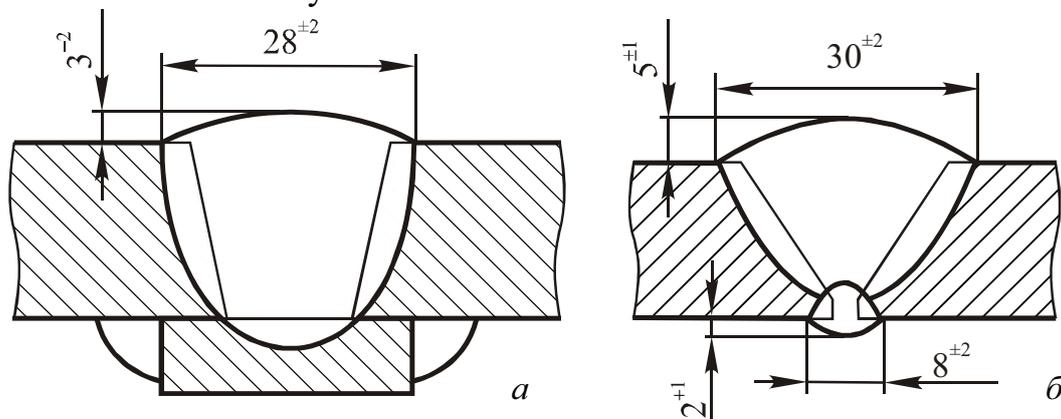


Рис. 5.7. Конструктивные элементы сварных швов:
 а – вариант сварки А, б – вариант сварки Б

Сварка осуществляется с соблюдением режимов и условий сварки согласно паспорту или техническим условиям на данные электроды. Сварочный ток должен составлять 85–95 % от максимального на данный диаметр. Длина остающегося огарка – не более 50 мм. Ширина каждого валика – не более четырёх диаметров электрода, если нет иных требований. При сварке без подогрева температура пластин перед наложением следующего валика не должна превышать 250 °С, при сварке высоколегированных материалов – 80–100 °С. Направление накладываемых валиков по слоям должно изменяться. Удаление шлака и дефектов при сварке контрольного соединения осуществляется зубилом, молотком и металлической щеткой. Выполнение подварочного валика осуществляется после механического удаления корневой части шва на глубину не менее 2 мм. Выполненное сварное соединение подвергается термической обработке, если это регламентирует паспорт или технические условия на электроды.

Образцы для механических испытаний после сварки вырезают механическим методом, для углеродистой стали допускается применение ацетилено-кислородной резки с припуском на обработку не менее 2,5 мм. Схема вырезки образцов при испытании наплавленного металла представлена на рис. 5.8. Края пластины обрезают минимум на 30 мм, т. к. в данных участках шва большая вероятность образования дефектов.

Определение механических характеристик наплавленного металла осуществляют согласно требованиям ГОСТ 6996–66 и паспорту или техническим условиям на контролируемую марку электродов. При наличии соответствующих указаний в паспорте до проведения испытания на растяжение и изгиб образцы или их заготовки выдерживают от 6 до 16 ч в электрической печи при 240–260 °С или в течение 24 ч в кипящей воде для удаления водорода.

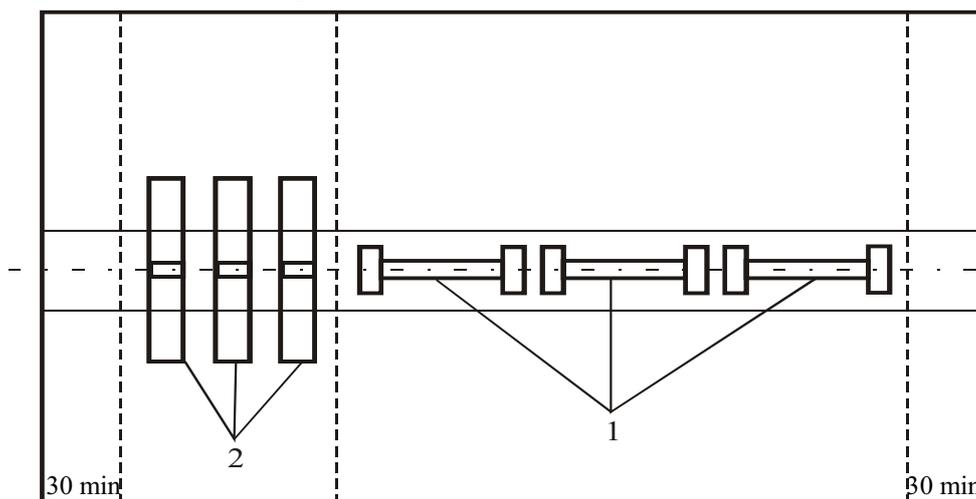


Рис. 5.8. Схема вырезки образцов для механических испытаний наплавленного металла:

1 – образцы на растяжение (гагаринские образцы), 2 – образцы на ударный изгиб (концентратор напряжений располагается с лицевой стороны шва)

При испытаниях определяют основные механические характеристики наплавленного металла: σ_T , МПа; σ_B , МПа; δ_5 , %; ψ , % – на образцах на растяжение; КС, Дж/см², процент волокна в изломе – на образцах на ударный изгиб. По необходимости могут свариваться образцы для определения угла загиба при статическом нагружении, причём как со стороны корня, так и со стороны усиления сварного шва.

При контроле электродов диаметром менее 3 мм, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности менее 60 кг/мм², проверка механических свойств металла шва может быть заменена проверкой механических свойств сварного соединения, выполненного на пластинах 250 × 90 × 3 мм. Пластины должны быть из стали, для которой предназначены покрытые электроды. При этом из сварного соединения вырезают три образца на растяжение и три образца на статический изгиб.

При выполнении сварного соединения электродами для сварки легированных и высоколегированных сталей допускается уменьшение толщины металла до 2 мм, в случаях, предусмотренных паспортом или техническими условиями на электроды, контролируемой марки.

4. *Определение химического состава наплавленного металла.* Используется восьмислойная наплавка на поверхность пластины 20 × 80 × 120 мм. Требования по режимам наплавки на пластину аналогичны с требованиями по п. 3. Для оценки химического состава используется только три верхних слоя, имеющие самую малую долю участия основного металла в металле шва. С наплавленного металла берут стружку и осуществляют контроль. У электродов, предназначенных для сварки углеродистых сталей, осуществляется проверка содержания углерода, кремния, марганца, серы и фосфора. Самый простой способ определения содержания легирующих компонентов является стилоскопирование. Но точность содержания того или иного элемента, полученная с помощью стилоскопа, очень низкая и носит больше качественный характер.

Частая причина несоответствия химического состава наплавленного металла контролируемых электродов типичному составу для данной марки – нарушение температурного режима и уменьшение площади наплавки для сокращения времени на наплавку контрольного образца.

5. *Определение склонности электродов к образованию пор в корне.* Для этого осуществляется сварка таврового соединения пластин 100 × 150 × 8 мм без разделки кромок. После сварки соединение разрушают и под увеличительным стеклом определяют наличие пор в корне шва. Оценка определяет малую или высокую склонность к образованию пор в корне шва.

6. *Определение склонности металла шва к образованию горячих трещин.* Для этого осуществляется сварка таврового соединения, как показано на рис. 5.9. Второй валик наносится сразу, не дожидаясь охлаждения первого валика, отступив от края тавра 15–20 мм.

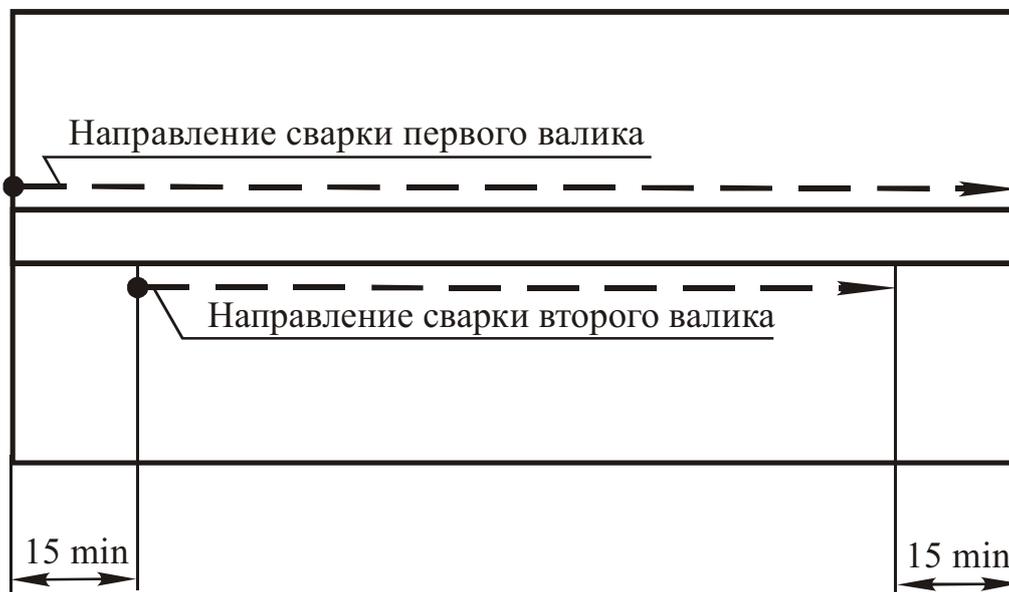


Рис. 5.9. *Схема выполнения сварки при определении склонности металла шва к образованию горячих трещин*

Сварка осуществляется на режимах и требованиях согласно п. 3. После чего производят вырезку механическим методом трех образцов и на оптическом микроскопе при увеличении в 100 раз определяют наличие в сварном соединении горячих трещин.

7. *Электроды для сварки высоколегированных сталей и коррозионно-стойкой наплавки* дополнительно подвергают испытаниям на содержание в наплавленном металле ферритной фазы и склонность металла шва к образованию межкристаллитной коррозии (МКК). Сварка образцов осуществляется на режимах, установленных паспортом или техническими условиями на контрольную партию электродов. Перед наложением последующего валика температура пластин не должна превышать температуру 100 °С.

При неудовлетворительных результатах проверки содержания влаги в покрытии, а также при неудовлетворительных размерах или количестве газовых включений, выявленных в металле шва или наплавленном металле при проверке сварочно-технологических свойств, допускается повторное прокачивание всех электродов контролируемой партии с последующей проверкой соответствующих показателей, как правило, на удвоенном количестве образцов.

5.5.6. Характеристика электродов с различным типом покрытия

Электроды с кислым покрытием

Шлаковая основа: руды, содержащие оксиды железа и марганца (гематит, марганцевая руда); газозащитные составляющие: органические вещества (крахмал, декстрин и др.); добавки: алюмосиликаты (полевой шпат, гранит и др.).

Достоинства: малая чувствительность к образованию пор в металле шва при коррозии и окалине на свариваемых кромках, при сварке удлиненной дугой и на форсированных режимах; хорошая стабильность горения дуги при сварке переменным током, легкое зажигание дуги; высокая производительность процесса; возможность сварки швов во всех пространственных положениях.

Недостатки: склонность металла к образованию горячих трещин при содержании углерода более 0,25 %, плохая отделимость шлаковой корки, повышенное разбрызгивание металла, высокая токсичность газов, большая склонность металла к механическому старению, склонность металла шва к наводороживанию. Не допускаются для сварки материалов с повышенным содержанием углерода, серы и фосфора, т. к. химический состав наплавленного металла представляет собой типичную кипящую сталь.

Область применения: сварка конструкций из низкоуглеродистых сталей в строительстве и машиностроении в заводских и монтажных условиях.

Электроды с рутиловым покрытием

Шлаковая основа: рутил TiO_2 (титановый концентрат, алюмосиликаты (полевой шпат, каолин и др.) или карбонаты (мрамор, магнезит), газозащитные составляющие: органические составляющие и карбонаты.

Достоинства: электроды не склонны к образованию пор в металле шва при коррозии и окалине на свариваемых кромках, при удлинении дуги. Хорошие сварочно-технологические свойства: хорошая стабильность горения дуги при сварке на переменном и постоянном токе, низкое разбрызгивание, лёгкая отделимость шлаковой корки, хорошее формирование шва во всех пространственных положениях, легкое зажигание дуги, пониженная токсичность газов при сварке, в сравнении с электродами с кислым покрытием.

Недостатки: склонность к появлению пор при сварке на форсированных режимах, при сварке угловых швов тавровых соединений с зазорами. Металл швов склонен к деформационному старению и характеризуется низкой длительной пластичностью, высоким содержанием в газах марганцовистых соединений.

Область применения: сварка конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в строительстве и машиностроении. Не рекомендуются для сварки конструкций, работающих при высоких температурах.

Электроды с основным покрытием

Шлаковая основа: мрамор CaCO_3 и плавиковый шпат CaF_2 .

Достоинства: металл шва сравнительно мало насыщается водородом; обеспечивается эффективное раскисление и легирование наплавленного металла, минимальное загрязнение металла шва неметаллическими включениями и вредными примесями серой и фосфором; высокая стойкость металла швов против горячих трещин и высокая сопротивляемость сероводородному растрескиванию; возможность сварки швов во всех пространственных положениях с получением сварных соединений повышенной прочности и пластичности.

Недостатки: низкая стабильность горения дуги по сравнению с электродами других типов покрытия, возможность сварки, как правило, только на постоянном токе, повышенная склонность к образованию пор в швах при сварке удлиненной дугой, при больших зазорах, при наличии окалины и участков коррозии на поверхности свариваемого металла, при увлажнении электродного покрытия и основного металла.

Область применения: сварка конструкций, трубопроводов, сосудов из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей и сплавов в заводских и монтажных условиях.

Электроды с целлюлозным покрытием

Шлаковая основа: основу до 40–45 % составляют органические материалы (электродная целлюлоза), выполняющие роль газообразующего компонента. Шлакообразующие материалы в небольшом количестве: рутил, алюмосиликаты, гематит или марганцевая руда.

Достоинства: высокая проплавливающая способность, хорошая стабильность горения дуги при сварке постоянным и переменным током, возможность сварки швов во всех пространственных положениях, включая вертикальное положение при перемещении электрода сверху вниз.

Недостатки: повышенная склонность металла к холодным трещинам (наводораживание металла) и к горячим трещинам при повышенном содержании углерода и серы; необходимость применения при сварке техники горячего прохода сразу после выполнения корня шва; значительное разбрызгивание металла при сварке и большая чувствительность покрытия к перегреву при прокалке электродов (выгорание органических составляющих).

Область применения: сварка швов трубопроводов и конструкций из низкоуглеродистых сталей, в том числе корневых швов магистральных трубопроводов из низколегированных сталей в монтажных условиях, включая пространственное положение сверху вниз. Заполнение и облицовка, как правило, осуществляются электродами с основным типом покрытия. Не рекомендуются для сварки закаливаемых сплавов и сталей с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов.

Электроды с ильменитовым покрытием смешанного типа РА

Шлаковая основа: минерал – ильменит (ильменитовый концентрат $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$). Шлакообразующие составляющие: марганцевая руда, каолин, полевой шпат и др.

По своим сварочно-технологическим свойствам электроды, например марок ОММ-5, МН-5, с содержанием в покрытии до 50 % оксидов железа, относятся ближе к электродам с кислым покрытием, а электроды марок АНО-6, АНО-6М, АНО-17, содержащие в покрытии до 35 % оксидов железа, – к рутиловым электродам. Поэтому области применения те же, что и для электродов с кислым и рутиловым покрытием.

5.6. Флюсы сварочные

Сварочными флюсами называют специально приготовленные неметаллические гранулированные порошки с размером отдельных зёрен 0,25–4 мм (в зависимости от марки флюса). Флюсы, расплавляясь, создают газовый и шлаковый купол над зоной сварочной дуги, а после химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне образуют на поверхности шва шлаковую корку, в которую выводятся окислы, сера, фосфор, газы.

В зависимости от свариваемых металлов и требований, предъявляемых при этом к металлургическим процессам, флюсы могут иметь различные композиции.

Сварочные флюсы можно разделить на отдельные группы по способу изготовления, химическому составу, по основности, химической активности, назначению, строению и размерам зерна и т. д.

5.6.1. Классификация флюсов

Классификация флюсов по способу изготовления. В зависимости от способа производства флюсы разделяют на плавленые, керамические и плавленно-керамические.

Технология изготовления керамических флюсов сходна с технологией изготовления покрытий электродов. Сухие компоненты шихты замешивают на жидком стекле; полученную массу измельчают путём

продавливания её через сетку на специальном устройстве типа мясорубки, сушат, прокаливают при тех же режимах, что и покрытые электроды, и просеивают для получения частиц зёрен определённого размера. Частицы сухой смеси компонентов могут скрепляться спеканием при повышенных температурах без расплавления. Полученные комки гранулируют до необходимого размера (так называемые спеченные флюсы). Неплавленные флюсы могут быть приготовлены и в виде простой механической смеси (флюсы-смеси). Из группы неплавленных флюсов наибольшее распространение получили керамические флюсы, состав которых близок к составу покрытий основного типа. Легирование металла такими флюсами достигается введением в них необходимых ферросплавов. Флюсы при изготовлении не подвергаются операции расплавления, поэтому количество и сочетание ферросплавов и других легирующих элементов может быть различным, что позволяет легко получать любой требуемый состав наплавленного металла. Указанные флюсы применяют преимущественно при наплавке, поскольку они позволяют легировать наплавленный металл в достаточно широких пределах. Эта особенность флюсов является главным их преимуществом. Однако при использовании таких флюсов химический состав металла шва сильно зависит от режима сварки. Изменение величины сварочного тока, и особенно напряжения дуги, влияет на соотношение масс расплавленного флюса и металла, а следовательно, и состав металла шва, который может быть неоднородным даже по длине шва.

Керамические флюсы обладают и другим серьёзным недостатком – легко разрушаются вследствие малой механической прочности его частиц, что делает его разнородным по размерам. Эти флюсы имеют большую стоимость и при сварке обычных сталей не применяются. Основная область их использования – сварка высоколегированных специальных сталей и наплавочные работы.

Плавленные флюсы представляют собой сплавы окислов и солей металлов. Процесс их изготовления включает следующие стадии: расчёт и подготовку шихты, выплавку флюса, грануляцию, сушку после мокрой грануляции и просеивание. Предварительно измельчённые и взвешенные в заданной пропорции компоненты смешивают и загружают в дуговые или пламенные печи. После расплавления и выдержки, необходимой для завершения реакций, жидкий флюс при температуре около 1400 °С выпускают из печи.

Грануляцию можно осуществлять сухим и мокрым способами. При сухом способе флюс выливают в металлические формы, после остывания отливку дробят в валках до крупки размерами 0,1–3,0 мм, затем просеивают. Сухую грануляцию применяют для гигроскопичных флю-

сов, содержащих большое количество фтористых и хлористых солей. Преимущественно это флюсы для сварки алюминиевых и титановых сплавов. При мокром способе грануляции выпускаемый из печи тонкой струёй жидкий флюс направляют в бак с проточной водой. В некоторых случаях струю флюса дополнительно над поверхностью воды разбивают сильной струёй воды.

Высушенную при температуре 250–350 °С массу дробят и пропускают через два сита с 16 и 400 отверстиями на 1 см². Остаток на втором сите представляет собой готовый флюс. Обычно это неровные зёрна от светло-серого до красно-бурого или коричневого цвета (в зависимости от состава).

Хранят и транспортируют флюсы в стальных бочках, полиэтиленовых мешках и другой герметичной таре.

Принципиальное отличие плавленного флюса от керамического состоит в том, что плавленный флюс не может содержать легирующих элементов в чистом виде, в процессе выплавки они неизбежно окисляются. Легирование плавленными флюсами происходит за счёт восстановления элементов из оксидов, находящихся во флюсе. В настоящее время используют три основные системы.

Плавленно-керамические флюсы включают два метода изготовления с целью повышения сварочно-технологических свойств. В частности, использование плавленного флюса в качестве шлакообразующей основы позволяет улучшить технологические свойства флюса в формировании наплавленного металла, уменьшить газовыделение, повысить стабильность горения дуги, улучшить отделимость шлаковой корки и т. д., поскольку керамические флюсы по сравнению с плавленными обладают худшими сварочно-технологическими свойствами.

Классификация флюсов по химическому составу. В зависимости от химического состава шлаковой основы флюсы подразделяют на три группы.

- *Оксидные* состоят из оксидов металлов и могут содержать до 10 % фтористых соединений. Используются для сварки углеродистых и низколегированных сталей. В основном они построены на системе MnO–SiO₂, хотя имеются оксиды на базе других шлаковых систем.

- *Солевые* состоят из фтористых и хлористых солей металлов, а также других, не содержащих кислород химических соединений. Их применяют для сварки активных металлов: алюминий, титан и др., а также в электрошлаковых процессах.

- *Солеоксидные* состоят из фторидов и оксидов металлов. Эта группа флюсов широко применяется при сварке и наплавке средне- и высоколегированных сталей и сплавов.

По химическому составу, согласно рекомендациям, сварочные флюсы подразделяют на типы, приведенные в табл. 5.21.

Таблица 5.21

Типы и химический состав флюсов

Условное обозначение	Содержание базовых элементов	Тип флюса
MS	$MnO + SiO_2 > 50$	марганцево-силикатный
CS	$CaO + MgO + SiO_2 > 60$	кальциево-силикатный
AR	$Al_2O_3 + TiO_2 > 45$	глиноземно-рутиловый
AB	$Al_2O_3 + CaO + MgO > 45$	глиноземно-основной
FB	$CaO + MgO + MnO + CaF_2 > 50$	фторидно-основной
ST (легирующий)	нет данных	специальный

Приведённая классификация флюса имеет большое значение, т. к. способна характеризовать металлургические свойства флюса.

Классификация флюсов по основности. Химическое воздействие расплавленного флюса-шлака на металл шва в значительной степени определяется соотношением в его составе кислых, основных и амфотерных оксидов.

Физический смысл понятия основности флюса-шлака состоит в оценке активности иона кислорода. Чем выше основность флюса, тем выше активность иона кислорода O^{2-} , т. е. тем больше в нём свободных ионов.

Кислые шлаки, содержащие в незначительном количестве свободные ионы кислорода, обладают меньшей окислительной способностью.

Классификация флюсов по химической активности. Методы оценки химической активности флюса основаны на оценке изменений химического состава наплавленного металла под воздействием защитной среды (флюса).

При оценке активности флюса по изменению химического состава металла шва выполняют несколько сварных швов с изменением одного или нескольких интересующих разработчиков параметров (состав флюса, присадочного металла, режимов сварки и т. д.).

Методика оценки активности флюса по коэффициентам усвоения легирующих элементов заключается в том, что об интенсивности окисления наплавленного металла судят по относительному содержанию легирующих элементов в металле шва, по сравнению с их исходной концентрацией в наплавленном металле.

$$\eta = \frac{C_{\text{ш}}}{C_{\text{и}}}, \quad (5.8)$$

где η – коэффициент усвоения легирующего элемента металлом шва; $C_{\text{ш}}$ – концентрация того же элемента в металле шва; $C_{\text{и}}$ – исходная концентрация легирующего элемента в металле шва.

$$C_{\text{и}} = mC_{\text{п}} + nC_{\text{о}}, \quad (5.9)$$

где $C_{\text{п}}$ и $C_{\text{о}}$ – концентрации легирующего элемента в сварочной проволоке и основном металле; m и n – доли участия электродного и основного металлов в металле шва.

Коэффициент η учитывает общие потери легирующего элемента на окисление и испарение без разделения, как это происходит.

Н.М. Новожилов предложил все применяемые плавные флюсы разделить на три основные группы:

- активные «восстановительные», типа ОСЦ-45, АН-348А, ФЦ-6 и др., при сварке под которыми кремний, марганец и другие элементы-раскислители, восстанавливаясь из оксидов, переходят из флюса в металл;
- пассивные, типа АН-30, 48-ОФ-6, АВ-4, ТКЗ-НЖ и др., под которыми при сварке окислительно-восстановительные процессы протекают вяло;
- активные «окислительные», типа АН-17, АН-43 и др., под которыми при сварке кремний, марганец и другие элементы-раскислители, окисляясь, переходят из металла в шлак.

Преимущество предложенной оценки химической активности в том, что она позволяет показатель химической активности выразить количественно и на этом основании выбирать металлургический вариант (флюс-проволока), что и принято в сварочном производстве.

Классификация флюсов по внешним характеристикам зёрен. По строению частиц плавные флюсы разделяют на стекловидные, пемзовидные и кристаллические. Стекловидный флюс представляет собой прозрачные зёрна различных оттенков (коричневого, зелёного, синего, чёрного и белого цветов). Пемзовидный флюс имеет зёрна пенного материала, а кристаллический флюс характеризуется кристаллическим строением зёрен. Окраска этих флюсов может быть также самой разнообразной.

Объёмная масса пемзовидных флюсов составляет 0,6–1,0 кг/дм³, стекловидных и кристаллических – 1,4–1,8 кг/дм³. Промежуточное положение занимают флюсы полупемзовидного строения.

Согласно стандартам, флюс поставляется с размером зёрен 0,25–4,0 мм, причём при механизированной сварке флюс имеет размеры 0,25–1,6 мм, для автоматической дуговой сварки – 0,25–2,5; 0,25–4,0; 0,35–3,0; 0,35–4,0 мм.

В обозначении марки флюса буквы означают: М – мелкий, С – стекловидный, П – пемзовидный, СП – смешанный. Например, АН-20-С.

В зарубежных флюсах: f – тонкозернистый флюс (пыль до 0,8 мм), k – мелкозернистый флюс (0,1–1,6 мм), m – среднезернистый флюс (0,25–3,0 мм), g – крупнозернистый флюс (0,35–5,0 мм).

Для электрошлаковой сварки применяют флюсы общего назначения (АН-348А, АН-22, 48-ОФ-6, АНФ-5) и флюсы, предназначенные именно для данного процесса (АН-8, АН-25). Содержание в этих флюсах окислов титана обеспечивает высокую электропроводность их в твёрдом состоянии, что важно в начале процесса при возбуждении дуги для создания начального объёма шлаковой ванны.

При механизированной сварке меди и её сплавов успешно используются ОСЦ-45, АН-348А, АН-20, АН-26, т. е. флюсы для сварки сталей. Для сварки алюминия по слою флюса разработаны основные марки бескислородных флюсов: АН-А1 и АН-А4. Эти флюсы изготавливают сплавлением входящих в их состав солей или механическим смешиванием. Флюс АН-А1 пригоден только для сварки алюминия. При сварке алюминево-магниевого сплава натрия, входящий в состав флюса в виде NaCl, попадая в сварочную ванну, восстанавливается магнием, что приводит к пористости шва, а это значительно снижает пластичность металла шва. По указанной причине для алюминиевых сплавов применяют флюс АН-А4, который не содержит солей натрия. Для электрошлаковой сварки алюминия используются специальные флюсы.

При сварке титана и его сплавов используют бескислородные флюсы типа АН-Т1, АН-Т3 и др., в состав которых в основном входят фтористые и хлористые соединения. Фтористые соединения реагируют с окислами титана и растворяют их, но для обеспечения необходимых технологических свойств флюса вводят хлористые соединения.

Классификация флюсов по назначению. Сварочные флюсы по назначению делятся на две группы:

- общего назначения – для механизированной дуговой сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей низкоуглеродистой и низколегированной проволокой;
- специальные – для отдельных видов сварки или сварки высоколегированных сталей.

Определяющими при выборе марки флюса являются состав основного металла и принятый способ сварки.

Обозначение флюсов буквенно-цифровое. В отечественных флюсах марка показывает наименование разработчика и порядковый номер разработки флюса. Некоторые сочетания букв рассмотрены ниже.

- «АН» – флюс разработан в Академии наук в Киеве;
- «ФЦ» – флюс разработан в ЦНИИ тяжёлого машиностроения;
- «ОФ» – основной флюс;
- «КФ» – кислый флюс;
- «НФ» – нейтральный флюс;
- «К» – керамический флюс.

Практика указывать в названии флюса индексы, характеризующие его состав (ОФ, КФ, НФ), не получила должного признания. Цифры в обозначении флюса показывают номер, присвоенный разработанному флюсу.

За рубежом, наряду с марками для обозначения сварочных и металлургических характеристик флюсов, получила распространение унифицированная система символов. Первыми стоят цифры, указывающие количество сотен ампер максимально допустимого сварочного тока, при котором процесс сварки проволокой диаметром 5 мм идёт без затруднений. Если флюс пригоден для сварки со скоростью свыше 60 м/ч, то после цифр в символе стоит буква «s».

Род сварочного тока обозначается буквами «a» (флюс пригоден для сварки на постоянном и переменном токе) и «b» (флюс применяется только на постоянном токе).

Для обозначения рекомендуемого напряжения холостого хода источника питания U_{20} служат буквы «x» ($U_{20} \leq 65$ В), «y» ($U_{20} = 65-80$ В) или «z» ($U_{20} > 80$ В).

Металлургические свойства флюсов указывают последние три цифры: первая цифра обозначает коэффициент изменения содержания углерода, вторая – марганца и третья – кремния. Цифры от 1 до 4 показывают выгорание указанных элементов. При этом минимальное окисление элементов при цифре 4. Цифра 5 показывает, что содержание указанного элемента практически не изменится. Цифры от 6 до 9 свидетельствуют о том, что содержание легирующего элемента увеличится.

Например, флюс марки «10 saz 467». Этот флюс пригоден для сварки на повышенной скорости при питании постоянным и переменным током с напряжением холостого хода не ниже 80 В. Обеспечивается достаточная устойчивость процесса сварки на токе до 1000 А (цифра 10 в начале марки). Содержание в металле углерода несколько снижается, а марганца и кремния повышается.

Флюсы перед сваркой должны быть в обязательном порядке прокалены для снижения содержания паров воды, в большей степени определяющих образование пор в сварном шве. Температура прокалки от 100 °С до 400 °С. Для сушки используются вращающиеся печи или допускается применение на противне с насыпной высотой не более

150 мм. Температура сушки керамических флюсов 40–90 °С. В обязательном порядке температура сушки любого флюса не должна превышать 600 °С.

При использовании флюса образуется шлаковая корка, которая в некоторых случаях допускается к повторному использованию в раздробленном виде до исходной грануляции при смешивании с неиспользованным флюсом в определённом соотношении. Однако рекомендуемых пределов смешивания флюсов не существует. Нередко можно встретить рекомендации, что флюс со шлаковой коркой можно смешивать до тех пор, пока это не приведёт к образованию дефектов.

5.6.2. Физические свойства флюсов

При дуговой сварке флюсы выполняют ряд важных функций: изолируют сварочную ванну от атмосферного воздействия, стабилизируют дугу, формируют поверхность шва и т. д. Качественная сторона названных функций в определённой мере связана с физическими характеристиками флюсов, особенно в расплавленном состоянии.

Одной из наиболее важных физических характеристик флюса-шлака является его вязкость в расплавленном состоянии. От вязкости зависят характер формирования шва, глубина проплавления основного металла, выход газов из зоны плавления и др. Шлаки изменяют вязкость в довольно широком диапазоне температур, поэтому и их температура плавления является как бы условной. В отличие от металлов и солей шлаки не имеют фиксированных температур перехода из жидкого состояния в твёрдое. Этот переход происходит в некотором интервале температур.

Для шлаков, как и для всех аморфных тел, условно установлены границы, определяющие три различных состояния вещества в зависимости от их вязкости: жидкотекучее состояние, когда вязкость шлака $\eta \leq 1$ Па·с; вязкое состояние при $\eta = 10\text{--}10^2$ Па·с; хрупкое состояние, когда $\eta > 10^2$ Па·с.

Соответственно определяются условные температуры плавления, причём под плавлением понимают переход из вязкого состояния в жидкотекучее. Переход из хрупкого состояния в вязкое именуют размягчением. В зависимости от характера изменения вязкости шлаки бывают «длинные» и «короткие».

Если плавление флюса-шлака происходит в широком диапазоне температур, то шлак называют длинным, если в узком – коротким.

В процессе сварки шлаки должны иметь температуру плавления, незначительно отличающуюся от температуры плавления металла.

Обычно наиболее благоприятно такое соотношение температур плавления металла и шлака, при котором шлак переходит в жидкотекучее состояние при температуре несколько ниже температуры плавления металла. Например, при сварке сталей оптимальной считается разница в 200–300 °С.

Другими важными физическими характеристиками флюсов являются их плотность и газопроницаемость. Зная, например, изменение плотности в зависимости от состава и температуры, можно судить о строении веществ в жидком состоянии и о связи жидкого вещества с твёрдым. От плотности в значительной степени зависит скорость удаления неметаллических включений из жидкой металлической сварочной ванны в шлаковую.

Высокими значениями плотности отличаются флюсы, содержащие повышенное количество оксидов марганца и алюминия. Относительно низкими значениями плотности характеризуются флюсы со средним содержанием кремнезёма (АН-20) и солевого типа системы $\text{CaF}_2\text{--NaF}$ (АНФ-5). При меньшей плотности шлак лучше удаляется из металла сварочной ванны, всплывая на её поверхность. Это способствует получению сварных швов, чистых от неметаллических включений экзогенного характера, т. е. запутавшихся в растущих дендритах металла частичек шлака.

От газопроницаемости флюсов зависит количество газов и паров в зоне плавления. С точки зрения защиты сварочной ванны от атмосферного влияния высокая газопроницаемость флюса является отрицательным явлением, но зато способствует лучшему удалению через шлак газов, выделившихся из кристаллизующегося металла, а это, в свою очередь, положительно влияет на качество шва.

Опытами В.В. Подгаецкого установлено, что газопроницаемость флюса влияет не только на содержание газов в металле шва, но и на его форму и формирование.

Газопроницаемость флюсов-шлаков зависит от их плотности, гранулометрического состава и физического состояния зёрен (пемзовидное, стекловидное или стеклопемзовидное состояние).

Лучшей изолирующей способностью от атмосферного влияния обладают флюсы с плотным строением частиц мелкой грануляции (стекловидный флюс), а также смесь с определённым соотношением частиц различного гранулометрического состава, обеспечивающая их плотную укладку.

Достаточно эффективная защита сварочной ванны от атмосферного воздействия обеспечивается лишь при определённой толщине слоя флюса над поверхностью свариваемого металла.

Электропроводимость флюса в жидком состоянии – также одна из важных физических характеристик. Высокая электропроводимость шлака при электрошлаковой сварке является, несомненно, положительным фактором. Что же касается дуговой сварки под флюсом, то повышенная электропроводимость жидкого шлака может стать отрицательным явлением, поскольку значительное шунтирование тока через жидкий шлак может привести к нарушению формирования шва. При дуговой сварке шунтирование тока через жидкий шлак обычно составляет 2–5 %. Если электропроводимость флюса увеличивается, то и эффект шунтирования тока возрастает. При ЭШС устойчивость электрошлакового процесса возрастает с повышением электропроводимости флюса. Поэтому процесс ЭШС следует проводить при более высоком напряжении. Соответственно этому, напряжение сварки при флюсе АНФ-Ш обычно составляет 25–30 В, при флюсе АН-8 – около 40 В, а при флюсе ФЦ-7 – 45–50 В.

5.6.3. Производство плавеных флюсов

Сварочные плавеные флюсы изготовляют в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (НТД) на флюс конкретной марки по технологической инструкции или технологическому процессу, разрабатываемыми предприятием-изготовителем с учётом существующих на этом предприятии условий производства.

Технологический процесс изготовления плавеных флюсов представляет собой комплекс технологических операций, выполняемых в определённой последовательности.

1. Складирование и хранение исходных материалов. Материалы, поступившие на предприятие-изготовитель флюсов, должны храниться отдельно по партиям в условиях, регламентированных НТД на материалы. Условия хранения должны исключать возможность обезличивания, смешивания материалов различных наименований, марок и партий, их загрязнения или изменения физико-химических свойств. Партия материала, находящаяся на хранении, должна иметь сертификат, удостоверяющий его качество и соответствие НТД.

2. Входной контроль материалов. При поступлении каждой новой партии материала на предприятие-изготовитель флюса служба технического контроля должна выполнять входной контроль в следующем объёме: проверить соответствие оформления и содержания сопроводительного сертификата, вида поставки, упаковки и маркировки требованиям НТД на данный материал, проверить визуально его внешний вид и выполнить контрольный химический анализ материала.

Отбор проб, их подготовку и анализ следует проводить в соответствии с требованиями НТД на данный материал. Результаты входного контроля должны регистрироваться службой технического контроля в специальном журнале регистрации продукции. Рекомендуется вести журнал по каждому материалу в отдельности. При отрицательных результатах входного контроля хотя бы по одному показателю качества следует выполнить повторное испытание в соответствии с правилами, регламентированными НТД на данный материал. Обычно повторно проверяют только тот показатель качества материала, который не соответствует требованиям НТД. При отрицательном результате после повторной проверки возможность использования материала в производстве решается в установленном порядке технологической и контрольной службами предприятия-изготовителя флюса.

3. Запуск материалов в производство. Запускать материалы в производство следует строго по партиям. Не рекомендуется начинать расходование следующей партии до полного израсходования предыдущей.

Каждую партию материала данной партии, направляемую в цех-изготовитель флюса, следует сопровождать документом (сопроводительной картой, паспортом или копией сертификата), в котором должно быть указано наименование материала, марка, обозначение НТД, номер сертификата, номер партии (плавки), количество отправляемого материала. Кроме этого, в документе на первую порцию (часть партии материала), отправляемую в цех, должны быть указаны все показатели качества по данным сертификата предприятия-изготовителя материала. Допускается не оформлять документ на последующие порции материала, если на маркировке тары содержатся наименование, марка и номер партии материала в полном соответствии с маркировкой тары первой порции.

Каждая партия (порция партии) исходного сырья должна быть принята службой технического контроля цеха-изготовителя флюса путём проверки сопроводительной документации, соответствия оформления и содержания документации, упаковки, маркировки тары, а также внешнего вида материала требованиям НТД на материалы. Сведения о поступившем материале должны быть внесены планово-диспетчерской службой в журнал регистрации материалов.

В дополнение к этому в соответствии с НТД на данный материал следует сделать отбор проб и выполнить химический анализ на содержание элементов.

Материал может быть допущен в производство службой технического контроля цеха-изготовителя флюса при полном соответствии качества материала требованиям НТД на данный материал. Заключение службы технического контроля цеха по запуску материалов в производство должно быть занесено в журнал.

4. *Подготовка материалов.* Цель подготовки материалов состоит в получении однородной по составу шихты по выплавке флюса.

Влажность материалов, подготовленных к загрузке в расходные бункера, должна быть не более 1 %. Продолжительность сушки материала устанавливается технологической службой в зависимости от типа оборудования.

Для разлома кусковых материалов могут быть использованы мельницы тонкого измельчения любого типа: шаровые и стержневые периодического и непрерывного действия, вибрационные и т. п.

Просев материалов следует выполнять на вибрационных или ротационных ситах через металлические сетки по ГОСТ 3826–82, ГОСТ 3306–70 с размером ячейки 1–10 мм.

Просушенные шихтовые материалы хранят в расходных бункерах дозирочного отделения, причём для каждого из материалов предназначен отдельный бункер.

5. *Составление и подготовка шихты.* Составление шихты предусматривает выполнение следующих операций: расчёт состава шихты; составление рецепта; дозировка компонентов по рецепту; смешение компонентов.

Состав шихты рассчитывают в соответствии с регламентируемым НТД химическим составом флюса конкретной марки и химическим составом компонентов (по результатам контрольного анализа), предназначенных для изготовления данной партии флюса.

Рассчитывать состав шихты следует отдельно на каждую партию флюса. При смене партии какого-либо материала или изменении расчётного состава флюса шихту необходимо рассчитывать заново. При определении расчётного состава флюса должны учитываться требования НТД на конкретную марку флюса, фактический химический состав предыдущих партий и конкретных плавок флюса. При выборе расчётного состава шихты следует учитывать физико-химические процессы, протекающие при выплавке флюса.

Следствием протекания физико-химических процессов являются уменьшение выхода готового флюса и изменение расчётного содержания во флюсе таких соединений, как CaF_2 , Al_2O_3 , MnO , CaO . Содержание SiO_2 , MgO , TiO_2 во флюсе в процессе выплавки обычно остается примерно постоянным. Количественные характеристики потерь массы выхода готового флюса и изменения содержания соединений зависят от типа оборудования, условий проведения плавки, характеристики сырья, состава и массы шихты. Перечисленные выше характеристики следует устанавливать при проведении опытных и контрольных плавок в присутствии технолога цеха и службы ОТК.

Расчёт состава шихты, составление рецепта шихты на одну плавку и одну порцию следует выполнять в специальном рецептурном журнале. Каждый расчёт должен быть подписан технологом с указанием даты, а рецепту присваивают порядковый номер.

Взвешенная по рецепту шихта на одну плавку должна быть перемешана в смесителе, обеспечивающем получение однородной по цвету и внешнему виду шихты.

Смешение компонентов шихты марганцовистых флюсов следует выполнять в отдельных смесителях. Допускается использование одного и того же смесителя при условии тщательной его очистки при переходе на подготовку шихты безмарганцовистых флюсов.

6. *Загрузка шихты в печь.* Подготовленную на каждую плавку шихту загружают в приёмный бункер флюсоплавильной установки, откуда с помощью вибрационных, шнековых устройств или каким-либо другим механическим путём её подают в плавильное пространство. Доза шихты, одновременно подаваемой в печь, определяется в зависимости от количества в шихте материалов, разлагающихся при нагреве с выделением значительного количества газообразных веществ, и от вместимости печи. При правильной загрузке должно обеспечиваться спокойное расплавление шихты без выбросов, выплесков и образования спекшейся корки над расплавом.

7. *Выплавка флюсов.* Плавка флюса является наиболее ответственной операцией в технологическом процессе изготовления плавных флюсов и предусматривает выполнение следующих операций: подготовку печи к работе; пуск печи и подбор режима выплавки; подачу шихты в ванну печи; расплавление шихты; выдержку расплава до готовности; установление готовности расплава к выпуску.

В процессе плавки может быть осуществлено рафинирование расплава с целью снижения в готовом флюсе содержания серы и фосфора.

Повышения окислительного потенциала расплава можно добиться либо за счёт регулирования состава газовой атмосферы при выплавке флюса в газопламенной печи, либо за счёт тщательного перемешивания материалов с большим содержанием серы с материалами, имеющими высокую окислительную способность. Применение указанных мер позволяет снизить содержание серы во флюсе с 1,5 до 0,15 %.

Строение зёрен, получаемых при сливе флюса (стекловидное, пемзовидное, стеклопемзовидное), определяется степенью перегрева флюсового расплава, его раскисленностью и технологией слива расплава в воду. Пемзовидное строение зёрен получается при определённом перегреве расплава флюса, обеспечиваемом либо за счёт применения повышенных параметров режима при выдержке расплава, либо за счёт его дополни-

тельного раскисления. Более интенсивно образование пемзовидного строения зёрен происходит при сливе расплава в подогретую воду.

8. *Выпуск флюса из печи и его грануляция.* Выпускать флюс из печи следует непрерывно равномерной струёй через лётку или верхний сливной носок в зависимости от конструкции печи и в соответствии с указаниями НТД на конкретную марку флюса.

Расплав сливают в приёмную корзину, установленную в грануляционный бассейн и наполненную водой до специальной отметки.

Грануляционный бассейн должен иметь объём, превышающий не менее чем в 5 раз объём флюса после слива расплава одной плавки. В состав грануляционного устройства должны входить напорный насос, обеспечивающий создание давления воды в грануляционной системе не менее $4,9 \cdot 10^5$ Па, насадка для формирования струи воды, гранулирующий флюс и направляющее устройство, обеспечивающее изменение направления струи воды в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Другим способом получения флюсов после выплавки является сухая грануляция, осуществляемая по различным технологическим схемам. Самым простым, но наименее технологичным является слив готового расплава в металлический поддон или специальные толстостенные изложницы-шлаковки с последующим дроблением получаемого слитка, посевом и усреднением частиц флюса. Возможно также принудительное охлаждение расплава вращающейся цилиндрической поверхностью металла.

Наиболее широко применяемый метод сухой грануляции в настоящее время – метод струйного распыления расплава газовой струей, обеспечивающий помимо гранулирования флюса, его эффективное рафинирование. Сущность технологии заключается в том, что струю расплава флюса с температурой не менее 1500°C диспергируют потоком обезвоженного воздуха либо смесью различных газов (например, кислорода и аргона), подаваемых под углом $95\text{--}135^\circ$ к струе флюса при постоянном отношении расхода флюса к давлению газового потока. При сухом способе грануляции во флюсе обеспечивается значительно более низкое содержание водорода, чем при мокром способе. Однако ввиду более сложной технологии и отсутствия возможности получать флюсы пемзовидного строения способ сухой грануляции не нашёл широкого применения при изготовлении сварочных флюсов. Чаще всего названный способ используют при изготовлении высокоосновных высокофтористых флюсов, применяемых при электрошлаковой сварке и переплаве.

9. *Сушка флюсов.* После мокрой грануляции для естественного удаления основной массы воды флюс отстаивается и просушивается в

специализированном оборудовании, обеспечивающем удаление воды до влажности, не превышающей 0,05–0,1 %. Длительность операции отстоя флюса не должна превышать 8 ч.

Сушка флюса может осуществляться в камерных электропечах, во вращающихся барабанных печах или в вибросушилках.

Высота слоя флюса на противнях не должна превышать 100–150 мм. Камерные электропечи должны обеспечивать нагрев стекловидных флюсов до температуры 350–400 °С и удаление паров воды из рабочего пространства. Печи также должны быть оборудованы приборами, регистрирующими температуру и продолжительность сушки флюсов. Недостатком сушки флюсов в камерных электропечах является их низкая производительность.

Сушка во вращающихся барабанных печах, подобных применяемым при сушке шихтовым материалам, более производительна, но вызывает истирание флюса и унос пыли, особенно при производстве пемзовидных флюсов. Поэтому выход готового продукта в последнем случае ниже, чем при сушке в камерных печах.

Просеивают флюсы на вибрационных или ротационных ситах, осуществляющих частичное измельчение и сортировку зёрен по размерам согласно НТД на конкретную марку флюса. Мелкую и крупную фракции, не соответствующие требованиям НТД, возвращают на переуплав или доизмельчение.

5.6.4. Производство керамических флюсов

При производстве неплавленых флюсов используют порошки шлакообразующих компонентов, ферросплавы и другие материалы, применяемые в электродном производстве. Нежелательно применение природных материалов, состав которых может колебаться в пределах одной партии.

Технологический процесс изготовления керамических флюсов включает следующие операции: подготовка шихтовых материалов (среднее и мелкое дробление, сушка, размол и просев) аналогичны подготовке компонентов при изготовлении обмазочной массы покрытых электродов.

Тонкоизмельчённые сухие компоненты взвешивают в рецептурных соотношениях. Для обеспечения однородности состава сухую шихту тщательно перемешивают (усредняют). При промышленном производстве керамических флюсов обычно применяют два способа грануляции: окатывание (окомкование) с помощью дискового гранулятора и агломерацию в процессе мокрого смешения с последующей обработкой сырых гранул в доокатывателе. При первом способе дисковый гранулятор пред-

ставляет собой гладкий диск с бортом, наклоненным под углом к горизонту. На диск из бункера непрерывно подается сухая порошкообразная шихта, на слой которой из форсунки разбрызгивается связующая жидкость – жидкое стекло. Падая на шихту, капельки жидкого стекла силами поверхностного натяжения втягивают в себя частицы порошка и образуют зародыши гранул. При вращении диска они движутся по его днищу, мелкие частицы налипают на их влажную поверхность, в результате чего зародыши гранул прижимаются к дну диска и его борту и поднимаются по поверхности непрерывно подаваемой сухой шихты, доходя до ножа, затем снова скатываются вниз к борту диска, проходя под дождем смачивающей их жидкости. При этом крупницы и мелкие фракции двигаются по различным траекториям, происходит сегрегация гранул по величине и выдача из гранулятора лишь наиболее крупных гранул. Размеры получаемых гранул регулируются изменением угла наклона и скорости вращения диска. В дисковом грануляторе операции смешения сухой шихты со связующим веществом и грануляция совмещены.

Во втором способе грануляции использована склонность сырых флюсовых масс к окомкованию. Округлые гранулы образуются в процессе интенсивного смешения сухой шихты с жидким стеклом. Для этой цели используют смесители периодического действия со специальными насадками либо мокрые ротационные смесители непрерывного действия. При этой операции последовательно осуществляются процессы усреднения сухой шихты, смешения её с жидким стеклом и грануляция. Однако образуемые при этом гранулы получаются рыхлыми, неоднородными по форме и размерам. Для уплотнения гранул, придания им более правильной формы и увеличения выхода гранул заданной фракции последние подвергаются дополнительной обработке – доокатыванию.

Температура сушки и прокалики агломерированных флюсов находится в пределах 400–950 °С. С повышением температуры прокалики улучшаются технологические свойства керамических флюсов и резко снижается их гигроскопичность. Однако повышение температуры прокалики ограничено возможностью протекания во флюсе в процессе термообработки нежелательных реакций окисления легирующих компонентов, разложения карбонатов и высших оксидов элементов. Керамические флюсы, содержащие большое количество легирующих компонентов, например флюсы, предназначенные для износостойкой наплавки, прокаливают обычно при температуре 400–450 °С. Температура прокалики большинства флюсов, применяемых для сварки низколегированных сталей, находится в пределах 550–750 °С. Флюсы алюминатно-рутилового типа часто подвергаются прокалике при более высоких температурах (до 950 °С).

После предварительной сушки и охлаждения флюса необходимы просев и дробление крупных гранул флюса с последующим повторным просевом получающихся гранул. Окончательное упрочение гранул агломерированного флюса достигается после высокотемпературной прокалики. Перед подачей в бункер усреднения партии флюс необходимо подвергнуть окончательному просеву для удаления пылевидной фракции.

5.6.5. Особенности производства спечённых флюсов

Спечённые флюсы изготавливают из тонкоизмельчённых (менее 60 мкм) и смешанных в сухом виде компонентов. Для облегчения последующего формирования брикетов при опрессовке в шихту добавляют воду. Из полученной сырой массы прессуют брикеты, которые затем подвергают термообработке с целью спекания спрессованной смеси. Спекание осуществляют в туннельной печи косвенного нагрева при температуре 1000–1200 °С. Спечённые брикеты механически измельчают, а полученные зёрна рассеивают на фракции. Чрезмерно крупные частицы подвергают дополнительному измельчению, а пылевидную фракцию добавляют к шихте, и вновь проходит описанный выше технологический процесс.

К годной фракции добавляют измельчённые ферросплавы, чистые металлы или углерод в виде ацетиленовой сажи. Размер зёрен указанных металлических порошков менее 0,1 мм. Сначала происходит сухое смешение для надёжного усреднения смеси. Затем в смесь вводят небольшое количество жидкого стекла требуемой концентрации и осуществляют смешивание. После этого флюс прокаливают при температуре 300 °С.

Керамические флюсы спечённого вида в России не используют. Указанный вид керамических флюсов получил применение в Германии. По данной технологии изготавливают, например, флюсы марок: SPC Mn 33\100, SPC Mn 35\100, SPC Mn 40\360, SPC Mn 40\360 и др.

5.6.6. Техничко-экономические аспекты выбора типа сварочного флюса

Основное различие металлургических свойств плавяных и керамических флюсов заключается в физико-химическом состоянии реагирующих с жидким металлом соединений и элементов, входящих в состав флюсов этих типов.

При изготовлении плавяных флюсов в печи образуется однородная стеклообразная масса, которая представляет собой совокупность многочисленных материалов, фиксируемых при грануляции флюса. Поэтому в процессе сварки под плавяными флюсами взаимодействие металла происходит со сложными комплексными соединениями, а не с исходными веществами.

В свою очередь, каждое зерно керамического флюса состоит из прочносоединенных частичек отдельных компонентов сырья в установленном соотношении. Некоторое различие в составе отдельных гранул не проявляется в общей массе флюса, поскольку при такой технологии изготовления флюса отдельные компоненты сырья остаются практически в своём исходном виде. Они более интенсивно участвуют в реакциях с металлом, чем при использовании плавящихся флюсов. Посредством керамических флюсов можно осуществлять легирование металла шва различными элементами в сравнительно широком диапазоне. Это преимущество можно выгодно использовать, в первую очередь, для флюсов, предназначенных для сварки легированных сталей, сталей с особыми свойствами и при выполнении наплавочных работ. Применение легированных керамических флюсов позволяет, используя стандартные сварочные проволоки, обеспечивать различные специальные свойства наплавляемого металла и повышать производительность сварочных и наплавочных работ за счёт введения в его состав большого количества металлических добавок.

Строго нейтральный характер флюсов основного типа позволяет устранить зависимость перехода легирующих элементов от параметров режима сварки и обеспечить постоянный химический состав наплавленного металла, соответствующий составу применяемых присадочных проволок.

В то же время плавящиеся флюсы практически не содержат гигроскопических составляющих, вследствие чего проявляют низкую склонность к гидратации, что определяет меньшую склонность к пористости швов при сварке. Следует отметить также более высокую однородность флюсовых зёрен плавящихся флюсов, их значительную прочность, обуславливающую высокое сопротивление зёрен абразивному изнашиванию. Это приобретает особое значение, когда при сварке используют вакуумное отсасывание и пневмотранспортирование флюса в бункер.

В связи с тем, что у плавящихся флюсов разложение карбонатов, а также диссоциация, дегазация и рафинирование других сырьевых материалов протекают в процессе плавления шихты, количество газовыделений при сварке с их использованием существенно ниже, чем при использовании керамических флюсов. Это определяет более спокойное протекание процесса сварки и способствует улучшению формирования металла шва. Хотя плавящиеся флюсы предоставляют весьма мало возможностей для легирования металла шва, с их помощью можно уменьшить переход легирующих элементов из металла в шлак. Снижение такого перехода некоторых легирующих элементов из металла в шлак можно достигнуть обогащением флюса оксидами легирующего элемента,

окисление которого необходимо снизить. Например, с целью уменьшения потерь хрома во флюс вводят его оксид.

К преимуществу плавящихся флюсов следует также отнести возможность повторного использования шлаковой корки. Эта операция применительно к керамическим флюсам невозможна, так как их шлаковая корка уже не содержит части легирующих составляющих.

При выплавке плавящихся флюсов с помощью дополнительных технологических приёмов можно достичь частичного снижения содержания фосфора и серы.

Таким образом, выбирать тип флюса следует с учётом конкретных производственных задач и класса свариваемых сталей. Керамические флюсы более предпочтительны при антикоррозийной и износостойкой наплавке, сварке легированных и высокопрочных сталей, а также сталей, повышенной и высокой прочности, работающих при низких температурах. Следует отметить ряд специальных свойств керамических флюсов, определивших их применение при особых разновидностях процесса автоматической и механизированной сварки. Так, наличие в составе керамического флюса большого количества железного порошка или ферросплавов придаёт ему ферромагнитные свойства. Это было использовано при разработке способа механизированной сварки с магнитным флюсом, представляющего собой один из вариантов механизированной сварки непрерывным электродом с качественным покрытием.

Экономический анализ производства плавящихся и керамических флюсов показывает, что при сравнении технологических процессов, сопоставимых по уровню механизации, изготовление керамических флюсов более выгодно с точки зрения как производительности, так и расхода электроэнергии.

Время, необходимое для плавки плавящихся флюсов составляет в среднем 1,5–2 ч. Продолжительность изготовления такого же количества керамического флюса меньше. При полностью механизированном производственном цикле требуется и меньшие трудозатраты.

При экономической оценке следует учитывать и то, что керамического флюса расходуется гораздо меньше и расход энергии для его изготовления также меньше в среднем на 30–50 %. Отношение расхода керамического флюса к плавящему составляет 1:1,4. Однако у плавящихся флюсов имеется возможность повторного использования шлаковой корки.

Дополнительной статьёй расхода при производстве керамических флюсов является связующее вещество (жидкое стекло). Количество жидкого стекла колеблется в пределах 15–20 %, что составляет немалую статью расходов.

Большинство современных плавяных флюсов за рубежом используют для сварки низкоуглеродистых или низколегированных сталей. Их применяют для сварки ленточным электродом на форсированных режимах.

Таким образом, следует отметить необходимость применения как одних, так и других флюсов в зависимости от вида сварочных работ и применяемых основных материалов.

Однако в связи с наличием в России отлаженного производства плавяных флюсов для сварки низкоуглеродистых сталей и широкой номенклатуры низколегированных конструкционных сталей, организация нового производства керамических флюсов может быть признана целесообразной только в случае необходимости получения особых свойств сварных соединений и разработки новых высокоэффективных технологических процессов автоматической сварки под флюсом.

В заключение можно представить некоторые марки флюсов, используемые при сварке и наплавке различных материалов.

Флюс плавяный	ГОСТ 9087–81	Тип MS
марки ОСЦ-45	Класс по DIN 8557 12ay477	

Назначение. Для механизированной дуговой сварки и наплавки широкой номенклатуры изделий из углеродистых и низколегированных сталей. Обладает весьма низкой склонностью к образованию пор.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги вполне удовлетворительная, разрывная длина дуги до 7 мм; формирование шва хорошее с плавным переходом к основному металлу в разделке; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая; отделимость шлаковой корки удовлетворительная, затруднённая при сварке корня шва.

Таблица 5.22

Данные для контроля качества. Состав флюса, %

SiO ₂	MnO	MgO	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	P
38...44	38...44	<2,5	6...9	<6,5	<5	<2	<0,15	<0,15

Цвет зёрен – коричневый с оттенками; размер зёрен – 0,25–3 мм; строение зёрен – стекловидное; объёмная масса – 1,3–1,8 кг/дм³.

Металлургические свойства. Относится к группе высококремнистых, высокомарганцовистых оксидных флюсов. При сварке-наплавке под флюсом интенсивно протекают кремне- и марганцевосстановительные процессы. Содержание кислорода в металле шва в виде оксидных мелкодисперсных включений может достигать 0,1 %, особенно при многослойной сварке.

Содержание серы и фосфора в среднем в металле шва составляет до 0,04 % от каждого. Металл швов обладает высокой стойкостью к образованию трещин и пор. Допускается сварка металла по ржавчине.

Ударная вязкость металла швов при 20 °С обычно не превышает 150 Дж/см².

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – ~, =; 1200 А; максимально допустимая скорость сварки – 150 м/ч (два электрода); минимально допустимое напряжение холостого хода источника питания – 70 В; сушка – при температуре 400 °С, 2 ч; рекомендуемые проволоки: Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2.

Метод изготовления. Плавлением в пламенных или дуговых печах, грануляцией мокрым способом.

Имеет модификацию ОСЦ-45М с размером зёрен 0,25–1,6 мм. Не рекомендуется для сварки в замкнутых объёмах ввиду повышенных выделений фтористых соединений.

Флюс плавный
марки АН-348-А

ГОСТ 9087–81
Класс по DIN 8857 9az478

Тип MS

Назначение. Для механизированной дуговой сварки и наплавки изделий широкой номенклатуры из углеродистых и низколегированных сталей.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги хорошая, разрывная длина дуги – 13 мм; формирование шва удовлетворительное; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая; модификация флюса АН-348-АМ требует более тщательной сушки; отделимость шлаковой корки удовлетворительная, затруднённая при сварке корневых валиков.

Таблица 5.23

Данные для контроля качества. Состав флюса, %

SiO ₂	MnO	MgO	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	P
41...44	34...38	5...7,5	4...5,5	< 6,5	< 4,5	< 2	< 0,15	< 0,12

Цвет зёрен – коричневый с оттенками; размер зёрен – 0,35–3 мм; строение зёрен – стекловидное; объёмная масса – 1,3–1,8 кг/дм³.

Металлургические свойства. Относится к группе высококремнистых, высокомарганцовистых оксидных флюсов. При сварке-наплавке под флюсом интенсивно протекают кремне- и марганцевосстановительные процессы. Содержание кислорода в металле шва в виде оксидных дисперсных включений составляет 0,06 % (для однопроходных) и до 0,1 % (для многослойных). Особо интенсивно взаимодействие между флюсом и металлом при сварке проволокой малых диаметров (до 3 мм).

Концентрация серы и фосфора в металле швов в среднем составляет 0,04 % от каждого.

Ударная вязкость металла шва при 20 °С обычно не превышает 120 Дж/см². Не рекомендуется для сварки конструкций, работающих в условиях севера и при температуре ниже –30 °С.

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – ~, =; 1100 А; максимально допустимая скорость сварки – 120 м/ч (два электрода); минимально допустимое напряжение холостого хода источника питания не ограничено; сушка – при температуре 400 °С, 2 ч; рекомендуемые проволоки: Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2.

Технология изготовления. Плавлением в пламенных или дуговых печах, грануляцией мокрым способом.

Флюс имеет модификацию АН-348-АМ, предназначенную для шланговой сварки, с размером зёрен 0,25–1,6 мм.

Флюс плавный марки ФЦ-22	ОСТ 108.948.02–85	Тип СС
-----------------------------	-------------------	--------

Назначение. Для механизированной дуговой сварки низколегированных теплоустойчивых сталей. Хорошо зарекомендовал себя при сварке короткозамкнутых кольцевых швов в энергетическом и атомном машиностроении.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги хорошая, разрывная длина дуги до 9 мм; формирование шва хорошее, без особенностей; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая; отделимость шлаковой корки отличная, особенно с металла шва при высоких (до 500 °С) температурах.

Таблица 5.24

Данные для контроля качества. Состав флюса, %

SiO ₂	MnO	MgO CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂ NaF	Fe ₂ O ₃	S	P
34	4	30	20	15	<1,0	<0,04	<0,03

Цвет зёрен – серый с оттенками; размер зёрен – 0,25–2,5 мм; строение зёрен – стекловидное; объёмная масса – 1–1,4 кг/дм³.

Металлургические свойства. Относится к группе низкокремнистых, низкомарганцовистых солеоксидных флюсов с химической активностью $A_{\phi} = 0,6–0,55$. С известной долей приближения флюс можно отнести к шлаковой системе Mg–Al₂O₃–CaF₂–SiO₂.

Содержание кислорода в металле швов при сварке под флюсом обычно составляет не более 0,05 % (для многослойных). При сварке-наплавке под флюсом вяло протекает кремневосстановительный процесс. Восстановление марганца практически не наблюдается.

Концентрация серы и фосфора в металле швов не превышает 0,025 % от каждого. В среднем значения ударной вязкости находятся на уровне 160–180 Дж/см при 20 °С. Допускается при сварке конструкций, работающих при низких температурах.

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – = (+), 700 А; максимально допустимая скорость сварки – 40 м/ч; минимально допустимое напряжение холостого хода источника питания 60 В; прокатка – при температуре 650 °С, 4 ч; рекомендуемые проволоки: Св-08ГА; Св-08ХМ; Св-08ХМФ; Св-08ХГНМТА.

Флюс плавный
марки АН-26С

ГОСТ 9087–81

Тип СС

Назначение. Для механизированной и шланговой дуговой сварки коррозионно-стойких и жаропрочных хромоникелевых сталей с применением соответствующих электродных проволок.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги удовлетворительная, разрывная длина дуги – до 7 мм; формирование шва хорошее, без особенностей; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая; отделимость шлаковой корки хорошая, при сварке корневых швов в разделке – удовлетворительная.

Таблица 5.25

Данные для контроля. Состав флюса, %

SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P	C
29...33	2,5...4	4...8	15...18	19...23	20...24	<1,5	<0,1	<0,1	0,05

Цвет зёрен – серый, светло-зелёный; размер зёрен – 0,25–2,5 мм; строение зерен – стекловидное; объёмная масса – 1,3–1,8 кг/дм³.

Металлургические свойства. Относится к группе низкокремнистых, низкомарганцовистых солеокисных флюсов с химической активностью $A_{\phi} = 0,45–0,5$. Флюс многокомпонентный, построен на базе шлаковой системы Mg–CaF₂–SiO₂–Al₂O₃ с добавками оксидов марганца и кальция с целью получения определённых сварочно-технологических характеристик.

При механизированной сварке хромоникелевых высоколегированных сталей под флюсом за счёт соответствующего окисления хрома активно протекает кремневосстановительный процесс. В результате наплавленный металл в значительной степени обогащён мелкодисперсными оксидными включениями.

В среднем количество кислорода в металле сварных швов 0,08–0,10 %. Поэтому флюс не рекомендуется для сварки металла толщиной более 40 мм. Одновременно снижается содержание δ-феррита в металле швов. В сочетании с флюсом не рекомендуется использовать

сварочные проволоки с содержанием δ-феррита менее 4 % во избежание образования горячих трещин, особенно при сварке жёсткозакрепленных конструкций.

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – = (+); 800 А; максимально допустимая скорость сварки – 40 м/ч; минимально допустимое напряжение холостого хода источника питания – 60 В; сушка – при температуре 400 °С, 2 ч; рекомендуемые проволоки: Св-06Х19Н9Т, Св-01Х19Н9, Св-08Х19Н10Б.

Технология изготовления. Плавлением в дуговых печах, грануляцией мокрым способом.

Флюс имеет модификации АН-26П с размером зёрен 0,35–3 мм, объёмной массой 0,7–1 кг/дм³ и АН-26СП с размером зёрен 0,25–4 мм.

Флюс плавёный
марки ОФ-6

ОСТ 5.9206–75

Тип FB

Назначение. Механизированная дуговая сварка высоколегированных хромоникелевых аустенитных и аустенитно-ферритных сталей. Рекомендуется к использованию и при электрошлаковой сварке.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги удовлетворительная, разрывная длина – до 7 мм; формирование шва хорошее; склонность металла шва к образованию пор умеренная, трещин низкая; отделимость шлаковой корки удовлетворительная, затрудненная при сварке корня шва и нагреве деталей свыше 300 °С.

Таблица 5.26

Данные для контроля. Состав флюса, %

SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P
3...6	≤ 0,3	16...20	≤ 3,0	20...24	50...60	< 1,5	< 0,05	< 0,05

Цвет зёрен – белый; размер зёрен – 0,3–3,0 мм; строение зёрен – пемзовидное; объёмная масса – 0,5–0,95 кг/дм³.

Металлургические свойства. Относится к группе бескремнистых безмарганцовистых флюсов солеоксидного класса. Флюс предназначен для сварки аустенитных сталей, склонных к образованию горячих трещин, и поэтому имеет минимально возможную химическую активность по отношению к свариваемому металлу.

Так как флюс изготовлен методом вакуумной плавки, то содержание кислорода в металле шва – не более 0,02 %. При указанной низкой химической активности флюс склонен к гидратации, как в процессе мокрой грануляции, так и при хранении в разгерметизированной таре, поэтому перед употреблением требует высокотемпературной прокалки.

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – = (+); 800 А; максимально допустимая скорость сварки – 30–40 м/ч; мини-

мально допустимое напряжение холостого хода источника питания 65 В; сушка – при температуре 880–930 °С, 5 ч; рекомендуемые проволоки: Св-07Х25Н13, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-04Х19Н11М3.

Технология изготовления. Плавлением в дуговых печах, грануляцией мокрым способом в проточную воду.

Флюс керамический
марки АНК-45

ТУ 14–1–2859–80

Тип FB

Назначение. Для механизированной дуговой сварки высоколегированных, преимущественно высокомарганцовистых и азотосодержащих коррозионно-стойких сталей.

Сварочно-технологические свойства. Устойчивость дуги хорошая, разрывная длина дуги – до 10 мм; формирование шва хорошее с гладкой поверхностью наплавленного металла и плавным переходом его к основному; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая; отделимость шлаковой корки хорошая, в том числе в разделке при температуре до 200 °С.

Данные для контроля качества. Цвет зёрен – светло-коричневый с оттенками; размер зёрен – 0,2–2,5 мм; строение зёрен – в виде крупки; объёмная масса – 0,9–1,2 кг/дм³. Химический состав флюса не регламентируется. Осуществляется проверка химического состава наплавленного металла, выполненного конкретной маркой сварочной проволоки.

Металлургические свойства. Относится к группе низкокремнистых безмарганцовистых солеоксидных керамических флюсов с невысокой степенью активности.

Наличие в составе флюса значительного количества термически стойких оксидов практически полностью исключает протекание креновосстановительного процесса. Кроме этого, флюс содержит некоторое количество оксидов железа. Одновременно во флюс введены металлические добавки алюминия и хрома.

В среднем содержание кислорода в металле шва 0,03–0,04 %, что гарантирует стойкость сварных швов против образования горячих трещин при сварке больших толщин (свыше 40 мм).

Применение. Род и значение максимально допустимого тока – (+); 800 А; максимально допустимая скорость сварки – 40 м/ч; минимально допустимое напряжение холостого хода источника питания – 60 В; сушка – при температуре 600–650 °С, 2 ч; рекомендуемые проволоки: Св-03Х19Н18Г10АМ4, Св-03Х19Н15Г6М2АВ2.

Технология изготовления. Агломерированием с применением жидкого калиево-натриевого стекла.

5.7. Газы

Газы, применяемые при сварке, можно разделить на две группы: защитные и горючие (рис. 5.10).

В свою очередь, защитные делятся на активные и инертные газы, горючие газы делятся на газообразные и сжиженные и жидкости.

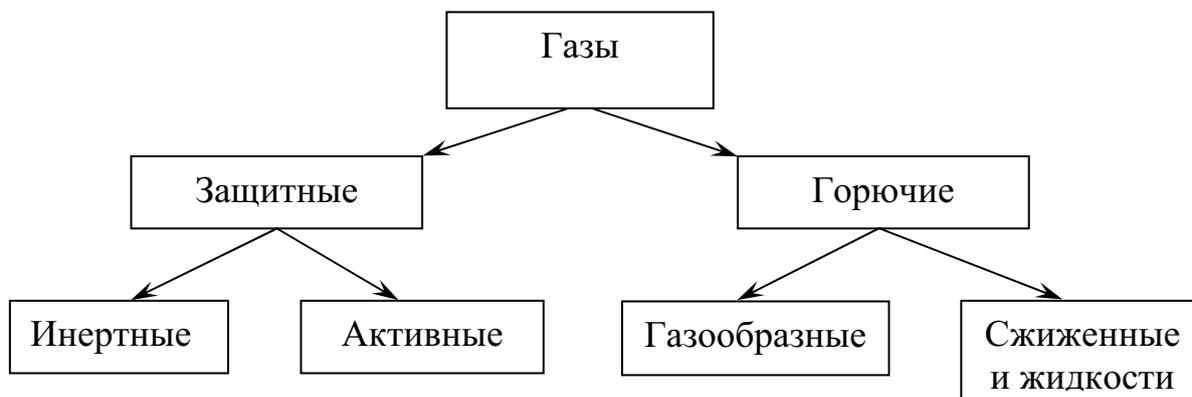


Рис. 5.10. Классификация газов, используемых при сварке плавлением и газопламенной обработке материалов

5.7.1. Свойства защитных газов

Защитные газы, в свою очередь, делятся на две группы: химически инертные и активные. Газы первой группы – с металлом, нагретым и расплавленным, не взаимодействуют и практически не растворяются в них. Газы второй группы защищают зону сварки от воздуха, но сами либо растворяются в жидком металле, либо вступают с ним в химическое взаимодействие.

Ввиду химической активности углекислого газа по отношению к нагретому вольфраму (окисление и разрушение вольфрама) для дуговой сварки в углекислом газе используют плавящиеся электроды или неплавящиеся (угольные или графитовые).

5.7.1.1. Свойства инертных газов

К инертным газам, используемым широко при сварке, относят аргон и гелий.

Аргон – газообразный чистый – поставляется по ГОСТ 10157–79 трех сортов: высший, первый и второй. Содержание аргона, соответственно, равно: 99,99 %; 99,98 %; 99,95 %. Примесями служат кислород, азот и пары воды. Аргон – газ без цвета, запаха и вкуса, в 1,5 раза тяжелее воздуха, не токсичен, не взрывоопасен, а при большой утечке можно почувствовать кислородную недостаточность. Объемная концентрация в воздухе – 0,93 %, плотность газообразного аргона – 1,662 кг/м³.

В настоящее время получают методом низкотемпературной ректификации воздуха с получением основных продуктов – кислорода и азота с попутным извлечением аргона. Производство осуществляется на мощных воздуходелительных установках типа КААр-30, которыми комплектуются кислородные станции заводов черной металлургии. Также получают на специализированных заводах, на жидкостных воздуходелительных установках типа Кж-1Ар, КжАжААр-1,6 и Аж-КжКААрж-2. Дальнейшая очистка осуществляется беспламенным сжиганием водорода в аргоне или другим способом. Хранится и транспортируется аргон в газообразном виде в стальных баллонах под давлением $15 \pm 0,5$ МПа (150 кг/см^2), т. е. в баллоне со стандартной водяной ёмкостью 40 л находится примерно $6,2 \text{ м}^3$ газообразного аргона в пересчёте на температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давление 760 мм рт. ст. Возможна также транспортировка аргона в жидком виде в специальных цистернах или сосудах Дьюара с последующей его газификацией. Жидкий аргон – кипящая при низких температурах жидкость, которая может вызвать обморожение кожи, поражение слизистой оболочки глаза. При газификации жидкого аргона получается в два раза больше газообразного вещества, чем при заправке обычного стандартного баллона в сжатом виде. Баллоны для хранения аргона высшего сорта окрашены в серый цвет, надпись зелёного цвета – «Аргон чистый». Баллоны для аргона первого и второго сорта окрашиваются в черный цвет с надписью «Аргон технический» и «Аргон сырой», соответственно.

В сварочном производстве широко используется в качестве защитной среды при сварке, резке и плавке активных и редкоземельных металлов и сплавов на их основе. Аргон высшего сорта предназначен для сварки коррозионно-стойких сталей и химически активных металлов (титана, циркония, ниобия) и сплавов на их основе. Аргон первого сорта рекомендуется для сварки неплавящимся электродом сплавов алюминия, магния и других металлов, менее чувствительных к примесям кислорода и азота. При сварке ответственных конструкций, подконтрольных Ростехнадзору, рекомендуют для применения аргон высшего и первого сорта в газообразном или жидком виде.

При работе в атмосфере аргона (сварка в контролируемой атмосфере) необходимо пользоваться изолирующим кислородным прибором, шланговым противогазом или скафандром.

Гелий – газообразный чистый – поставляют по техническим условиям. Содержание примесей в гелии высокой частоты не более 0,005 % – сорт А, в техническом до 0,1 % – сорт Б, не более 0,2 % – сорт В (по ТУ 51–689–75). Примеси: азот, водород, влага. Хранят и транспортируют гелий так же, как и аргон, в стальных баллонах водяной ёмкостью 40 л

при давлении 15 МПа (150 кг/см²). Цвет баллона коричневый, надпись белого цвета. Газ без цвета и запаха, легче воздуха, плотность – 0,178 кг/м³. На земле гелия мало, образуется при постоянном распаде α-радиоактивных материалов (α-частицы – это ядра атомов гелия). В воздухе объёмная доля 0,00052 %. В связи с тем, что гелий в 10 раз легче аргона, расход гелия при сварке увеличивается в 1,5–3 раза. Поэтому можно порекомендовать к применению при сварке в потолочном положении или при поддуве в потолочном положении со стороны корня шва.

Газ не ядовит, хорошо диффундирует через твёрдые тела. Гелий не образует химических соединений с большинством элементов. Получают из природных газов, естественно образующихся при распаде горных пород, содержащих уран, методом фракционной конденсации. В малом количестве – при получении кислорода и азота.

Стоимость гелия значительно выше, чем аргона, поэтому его применяют в основном при сварке химически чистых материалов и сплавов, а также сплавов на основе алюминия и магния. Из-за способности обеспечивать высокое проплавление (благодаря высокому значению потенциала ионизации) гелий применяют тогда, когда требуется получить большую глубину проплавления и специальную форму шва.

5.7.1.2. Свойства активных газов

К активным газам, используемым при сварке, относят: углекислый газ, кислород, азот и все другие газы, которые взаимодействуют с расплавленным металлом.

Углекислый газ поставляется по ГОСТ 8050–85. Для сварки используют сварочную углекислоту высшего и I сортов, которые отличаются лишь массовой концентрацией водяных паров (соответственно 0,037 и 0,184 Н₂О). Применяют иногда и пищевую углекислоту, имеющую в баллоне в виде примеси свободную воду, в связи с чем требуется особенно тщательное осушение газа.

Углекислый газ широко распространён в природе, без цвета, имеет слабый кислотный вкус, хорошо растворяется в воде. В воздухе содержится 0,03 % СО₂. При нулевой температуре плотность составляет 0,001976 г/см³.

Жидкая углекислота – бесцветная жидкость. Она существует при комнатной температуре лишь при давлении 5,85 МПа. Плотность жидкой углекислоты 0,771 г/см³ (20 °С). При нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха 20 °С давление в баллоне составляет около 7,5 МПа.

Двуокись углерода термически устойчива, диссоциирует при температуре выше 2000 °С. Согласно стандарту, углекислота не должна содержать сероводород, кислоты, органические кислоты, аммиак, этаноламины и ароматические углеводороды.

Углекислый газ получают несколькими способами:

- 1) из газов, образующихся при брожении спирта, пива, расщепления жиров. Отходящий при этом газ представляет почти чистый углекислый газ и является дешевым побочным продуктом производства;
- 2) из отходящих газов химических производств, аммиака и метанола. Отходящие газы содержат примерно 90 % CO_2 ;
- 3) из дымовых газов промышленных котельных, сжигающих уголь, природный газ и другое топливо. Дымовой газ содержит 12–20 % CO_2 .

Двуокись углерода нетоксична, невзрывоопасна. Однако при концентрациях более 5 % оказывает вредное влияние на здоровье человека, т. к. она тяжелее воздуха в 1,5 раза и может накапливаться в слабопрветриваемых помещениях у пола и в приямках, а также во внутренних объёмах оборудования для получения, хранения и перевозки газообразной, жидкой и твердой двуокиси углерода. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны 0,5 %.

Углекислоту транспортируют и хранят в стальных баллонах или цистернах большой ёмкости в жидком состоянии с последующей газификацией на заводе, с централизованным снабжением сварочных постов через рампы. При испарении 1 кг жидкой углекислоты образуется 509 л газообразного вещества. В баллоне ёмкостью 40 л содержится 25 кг жидкого CO_2 , дающего при испарении 12,5 м³ газа при температуре воздуха 20 °С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. Баллон окрашен в чёрный цвет, надпись «УГЛЕКИСЛОТА» жёлтого цвета.

При применении углекислого газа, вследствие большого количества свободного кислорода в газовой фазе, сварочная проволока должна обязательно содержать дополнительное количество легирующих элементов с большим сродством к кислороду, чаще всего Si и Mn (сверх того количества, которое требуется для легирования металла шва). Наиболее широко применяется проволока Св-08Г2С.

При применении защитных газов следует учитывать технологические свойства газов (например, значительно больший расход гелия, чем аргона), влияние на форму проплавления и шва, стоимость газов.

Стремление уменьшить повышенное разбрызгивание металла и улучшить формирование шва при сварке в углекислом газе дало толчок к применению смесей углекислого газа с кислородом (2–5 %). В этом случае изменяется характер переноса металла, он переходит в мелкокапельный и обеспечивает при этом снижение потерь металла на разбрызгивание на 30–40 %.

При сварке сталей по узкому зазору с целью стабилизации процесса сварки и уменьшения расхода дорогого и дефицитного аргона вполне целесообразно применение двойных смесей (75 % Ar + 25 % CO_2)

и тройных смесей (аргона, углекислого газа и кислорода). Для алюминиевых сплавов весьма эффективно с точки зрения производительности применение смеси, состоящей из 70 % He и 30 % Ar. В этом случае значительно увеличивается толщина металла, свариваемого за один проход, и улучшается формирование шва. Газовые защитные смеси имеют весьма значительные перспективы, но широкое их применение требует организации централизованного снабжения сварочного производства смесями нужного состава. Только в этом случае применение смесей может дать значительный экономический эффект.

Кислород – газ, при нормальных условиях бесцветен, прозрачен, не имеет запаха и вкуса, обладает высокой химической активностью и способен образовывать химические соединения (оксиды) со всеми элементами, кроме инертных газов (аргона, криптона, ксенона, неона и гелия). Скорость реакции окисления резко возрастает при повышении температуры или применении катализаторов. Плотность 1,43 кг/м³ при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст. При глубоком охлаждении превращается в голубоватую жидкость без запаха. Кислород находится в свободном состоянии и составляет 23,15 % массы воздуха. Плотность при нулевой температуре и нормальном давлении 1,42897 г/л.

Реакции окисления органических веществ в кислороде носят экзотермический характер и протекают с выделением большого количества теплоты. Повышение давления и температуры кислорода в зоне реакции, значительно ускоряет её протекание. В сжатом или нагретом кислороде процесс окисления при известных условиях может протекать с быстронарастающей скоростью за счёт теплоты, выделяющейся в зоне реакции и соответствующего повышения температуры. При соприкосновении сжатого газообразного кислорода с органическими веществами (пленкой масел или жиров, угольной пылью, ворсинками органических веществ, горючими пластмассами и т. п.) может произойти их самовоспламенение. Первоначальным источником воспламенения (импульса) в таких случаях может быть теплота, выделяющаяся при быстром сжатии кислорода, при трении и ударе твёрдых частиц о металл, а также электростатический искровой разряд в струе кислорода. При соприкосновении сжатого кислорода, находящегося под давлением свыше 3 МПа, с маслами и жирами происходит их мгновенное окисление с выделением теплоты, что в конечном итоге вызывает взрывы.

Поэтому при использовании кислорода необходимо всегда тщательно следить за тем, чтобы он не находился в контакте с легковоспламеняющимися горючими веществами. К таким веществам относятся также металлические материалы в виде стружки, частиц окалина, железного порошка, тонких пластин и т. д. Воспламенение может наступить

пить за счёт теплоты, выделяющейся, например, при трении движущихся частей машин и механизмов.

Кислород можно получать химическим способом, электролизом воды и разделением воздуха методом глубокого охлаждения. Выпускается трех сортов. I сорт – чистота не ниже 99,7 % (по объёму), II и III сорта – чистота не ниже 99,5 % и 99,2 %, соответственно.

Химические способы получения кислорода малопроизводительны и неэкономичны, их иногда используют в лабораторной практике. В промышленности кислород получают из атмосферного воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации воздуха.

В установках для получения кислорода и азота из воздуха последний очищают от вредных примесей, сжимают в компрессоре до соответствующего давления холодильного цикла 0,6–20 МПа (6–200 кг/см²), охлаждают в теплообменниках до температуры сжижения и в жидком состоянии подвергают разделению (низкотемпературной ректификации) на кислород и азот. Разница в температурах сжижения (кипения) кислорода и азота составляет около 13 °С, что достаточно для их разделения в жидкой фазе.

На крупных воздуходелительных установках попутно с кислородом или азотом из воздуха извлекают также аргон, криптон, ксенон, неонгелиевую смесь, широко используемую в технике. Получаемые кислород и другие газы собирают в газгольдеры и подают в сжатом виде к местам потребления по трубопроводам. Для хранения и перевозки кислород накачивают в баллоны под давлением до 20 МПа (200 кг/см²). Газы в жидком состоянии хранят на складах и доставляют потребителям в цистернах. При потреблении жидкий кислород газифицируется, превращается в газ под необходимым давлением.

Технический кислород является основным компонентом при осуществлении процессов газовой сварки, кислородной резки поверхностной закалки и других процессов газопламенной обработки; в большом количестве жидкий кислород используют в ракетных энергетических установках для интенсификации горения жидкого топлива; широкое применение кислород находит в медицине для лечебных целей.

Для хранения и транспортировки газообразного кислорода под давлением применяют стальные баллоны по ГОСТ 949–73, имеющие следующую характеристику.

Баллоны из углеродистой стали с пределом прочности 650 МПа (65 кг/мм²), пределом текучести 380 кг/мм², относительным удлинением 15 % – типа 100; 150 и 200, рассчитаны, соответственно, на условные рабочие давления P_y : 10; 15 и 20 МПа (100; 150 и 200 кг/см²).

Баллоны из легированной стали с пределом прочности 900 МПа (90 кг/мм²), пределом текучести 700 МПа (70 кг/см²), относительным удлинением 10 % и ударной вязкостью 1 МДж/м² (10 кг·м/см²) типа 150Л и 200Л, рассчитаны, соответственно, на условные рабочие давления P_y: 15 и 20 МПа (150 и 200 кг/см²).

Согласно правилам Ростехнадзора, баллоны следует подвергать проверкам и испытаниям каждые 5 лет. Баллоны для газов, вызывающих коррозию (хлор, сероводород, фосген и др.), испытывают не реже чем через каждые два года. На сферической части баллона выбивают его паспортные данные, а также данные о результатах периодических испытаний: товарный знак завода-изготовителя; номер баллона; фактическую массу (кг); дату (месяц и год) изготовления и год следующего освидетельствования; рабочее давление (P, кг/см²); пробное гидравлическое давление (кг/см²); ёмкость баллона (Л); клеймо ОТК завода-изготовителя (круглое, диаметром 12 мм), производившего очередное освидетельствование; дату произведенного и следующего освидетельствования (в одной строке с клеймом завода-наполнителя).

Баллоны для кислорода окрашивают в голубой цвет, надпись «Кислород» черного цвета. Сжатый газообразный кислород хранится и транспортируется как правило в стальных баллонах под давлением 15 ± 0,5 МПа. Количество кислорода может быть 8 кг или 6 м³. Давление в баллоне в большей степени зависит от температуры окружающей среды (табл. 5.27).

Таблица 5.27

Зависимость давления в баллоне от температуры окружающей среды

Температура, °С	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Давление в баллоне, МПа	9,9	10,7	12,5	12,95	13,45	13,95	14,5	15,0	15,5	16,0	17,2

Используется кислород в качестве окислителя при газовой сварке, пайке, поверхностной закалке и других видах нагрева, а также при дуговой сварке, как составная часть защитной газовой среды. При достаточно высоком содержании элементов раскислителей в переплавляемом дугой металле кислород может вводиться в зону сварки для уменьшения вредного действия водорода, улучшения формирования металла шва и переноса электродного металла. Как поверхностно-активный элемент кислород уменьшает поверхностное натяжение жидкого металла, тем самым способствуя образованию на конце электрода более мелких капель и их более равномерному направлению (струйному переносу) в сварочную ванну. Количество примесей во многом определяет качество выполняемых работ. Так, например, при газовой резке кислородом,

содержащим большое количество примесей, на разрезаемых кромках наблюдается образование большого количества шлака, а производительность резки при этом снижается. При повышении давления режущего кислорода удается незначительно повысить производительность резки, но качество реза остается то же самое – низкое.

Азот – бесцветный газ, не имеющий запаха и вкуса. В воздухе свободный азот (в виде молекул N_2) составляет 78,09 %. Азот немного легче воздуха, плотность при нулевой температуре и нормальном давлении 1,2506 кг/м³, температура кипения – 195,8 °С.

В сварочном производстве азот находит ограниченное применение. Его используют для сварки меди и её сплавов, по отношению к которым азот является инертным газом, часто вредным и его концентрацию в зоне плавления стремятся ограничить.

Поставка технического азота осуществляется в газообразном состоянии в баллонах под давлением $15 \pm 0,5$ МПа или в жидком состоянии в изотермических цистернах.

Азот нетоксичен, невзрывоопасен. Однако накопление газообразного азота вызывает явление кислородной недостаточности и удушья. Жидкий азот может вызвать обморожение кожи и повреждение слизистой оболочки глаз.

Водород – при обычных условиях газ без цвета, запаха и вкуса, в 14,4 раза легче воздуха. Плотность – 0,0899 г/л при нулевой температуре и нормальном атмосферном давлении.

Водород редко используется при сварке, в основном для атомно-водородной сварки и дуговой сварки в среде защитных газов (в смеси Ar–H₂ до 12 %).

В зависимости от способа получения технический водород выпускают четырёх марок: А – водород, получаемый электролизом воды; Б – водород, получаемый железопаровым способом и взаимодействием ферросилиция с раствором щёлочи; В – водород, получаемый электролизом хлористых солей; Г – водород, получаемый при паровой конверсии углеводородных газов. Чистота газа может быть, соответственно: А – 99,8 %, Б – 98 %, В – 98,5–97,5 %, Г – 97,5–95 %.

Водород взрывоопасен. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь, в смеси с кислородом (2:1) – гремучий газ. Пределы взрываемости: с воздухом – 4...75 %, с кислородом – 4,1...96 %. Температура самовоспламенения 510 °С. Водород физически инертен, при высоких концентрациях вызывает удушье. При высоком давлении проявляется наркотическое действие. Хранят и транспортируют в стальных баллонах внутренней ёмкостью 40 и 50 дм³, под давлением $15 \pm 0,5$ МПа, при температуре окружающего воздуха 20 °С.

Водород может быть использован в качестве горючего газа. Чаще всего он является одним из компонентов составного горючего газа.

5.7.2. Свойства горючих газов

Для газопламенных работ необходимо осуществить передачу тепла из пламени в металл в количестве, достаточном для конкретных условий работ. Горючие газы, как правило, сжигают в смеси с кислородом. Интенсивность горения пламени определяется произведением нормальной скорости горения на теплоту сгорания смеси.

Ацетилен. Ацетилен представляет собой углеводород ненасыщенного ряда C_nH_{2n-2} . Его химическая формула C_2H_2 , структурная формула $H-C\equiv C-H$. При атмосферном давлении и нормальной температуре ацетилен – бесцветный газ. Технический ацетилен вследствие присутствия в нём примесей, например фосфористого водорода и сероводорода, имеет резкий специфический запах. При $20\text{ }^\circ\text{C}$ и 760 мм рт. ст. плотность ацетилена $\rho = 1,091\text{ кг/м}^3$. Ацетилен легче воздуха, плотность по сравнению с воздухом – 0,9.

При атмосферном давлении ацетилен сжижается при температуре $-82,4\dots-83,6\text{ }^\circ\text{C}$. При температуре $-85\text{ }^\circ\text{C}$ и ниже ацетилен переходит в твёрдое состояние, образуя кристаллы плотностью $0,76\text{ кг/м}^3$. Жидкий и твёрдый ацетилен легко взрывается от трения, механического или гидравлического удара и действия детонатора.

Полное сгорание ацетилена происходит по реакции:



Из уравнения реакции (5.10) следует, что для полного сгорания одного объёма ацетилена требуется 2,5 объёма кислорода. Высшая теплотворная способность ацетилена при $0\text{ }^\circ\text{C}$ и 760 мм рт. ст. равна $Q_v = 58660\text{ кДж/м}^3$ (14000 ккал/м^3), низшая теплотворная способность при тех же условиях может быть принята: $Q_n = 55890\text{ кДж/м}^3$ (13500 ккал/м^3). Это высокоэнтальпическое соединение, при разложении 1 кг которого выделяется более 2000 ккал, т. е. примерно в 2 раза больше, чем при взрыве 1 кг твердого взрывчатого вещества (ВВ) тротила.

Теплота реакции (5.10) сгорания ацетилена Q складывается из теплоты реакции экзотермического распада ацетилена и суммы энергии первичных реакций сгорания углерода и водорода. Экзотермический распад ацетилена происходит по реакции:



Теплота распада составляет $225,8\text{ кДж/моль}$ или 8686 кДж/кг .

Ацетилен широко используют в химической промышленности в качестве основного исходного вещества для получения ряда важней-

ших продуктов органического синтеза: синтетического каучука, пластмасс, растворителей, уксусной кислоты и т. п.

Ацетилен – универсальное и самое распространённое горючее, используемое в процессах газопламенной обработки. При сгорании с кислородом он даёт пламя с наиболее высокой температурой, равной 3150 °С. Достигнуть столь высокой температуры пламени при использовании других горючих газов не удастся.

При использовании ацетилена необходимо учитывать его взрывные свойства для того, чтобы обеспечить полную безопасность работ. Следует всегда иметь в виду, что ацетилен (как и водород) относится к наиболее взрывоопасным газам.

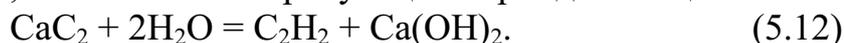
Температура самовоспламенения ацетилена находится в пределах 240–630 °С и зависит от давления и присутствия в нём различных веществ (табл. 5.28).

Таблица 5.28

Температура самовоспламенения ацетилена

Абсолютное давление: МПа	0,2	0,3	0,4	2,2
Температура самовоспламенения, °С	630	530	475	350

Основной способ получения ацетилена основан на реакции взаимодействия карбида кальция с водой. Ацетилен получают путём разложения карбида кальция в воде. При этом теоретически на 1 кг карбида требуется порядка 0,562 кг воды, но на практике – от 5 до 20 кг. С 1 кг карбида можно получить теоретически 372 л, а на самом деле лишь 235–285 л ацетилена, что зависит от грануляции карбида кальция.



При этом получается: карбид, вода → газ, гашёная известь; соответственно, 1 кг; 0,562 кг → 0,406 кг; 1,156 кг.

Технический карбид кальция содержит 70–75 % химически чистого CaC_2 , 17–24 % CaO и различные примеси: окислы магния, алюминия, железа, соединения серы, фосфора, ферросилиций, углерод и др.

Карбид кальция чрезвычайно активно вступает во взаимодействие с водой, разлагаясь при этом с образованием газообразного ацетилена и гидрата окиси кальция (гашеной извести).

Хранение и транспортировка ацетилена осуществляются под давлением в баллонах, заполненных специальной пористой массой, пропитанной ацетоном – хорошим растворителем ацетилена. Это позволяет существенно увеличить количество ацетилена, накачиваемого в баллон. Кроме того, ацетон снижает взрывоопасность ацетилена. Ацетон удерживается в порах массы и распределяется по всему объёму баллона. Это увеличивает поверхность его контакта с ацетиленом при растворении и выделении из раствора.

Ацетилен, отпускаемый потребителям в баллонах белого цвета с красной надписью «АЦЕТИЛЕН», называется растворенным ацетиленом (ГОСТ 5457). Максимальное давление ацетилена при заполнении баллона составляет 2,5 МПа. При отстое и охлаждении баллона до 20 °С оно снижается до 1,9 МПа. При этом давлении в 40-литровый баллон вмещается 5–5,8 кг ацетилена по массе (4,6–5,3 м³ газа при 20 °С и 760 мм рт. ст.).

Количество ацетилена в баллоне определяют следующим способом: наполненный баллон взвешивают с точностью до 0,1 кг и выдерживают при температуре не ниже 15 °С в течение 8 ч. После отбирают ацетилен со скоростью не более 0,8 м³/ч. Остаточное давление в баллоне после отбора должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кг/см²). После окончания отбора газа баллон вновь взвешивают. Разность между массой наполненного баллона и массой баллона после отбора из него газа представляют собой массу содержащегося в нём ацетилена.

Давление ацетилена в полностью наполненном баллоне меняется при изменении температуры следующим образом, табл. 5.29.

Таблица 5.29

Давление ацетилена в баллоне

Температура окружающей среды, °С	-5	0	5	10	15	20	30	40
Давление в баллоне, МПа	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,4	3,0

Ацетон (СН₃СОСН₃) – растворитель, имеющий температуру кипения 56,2 °С при атмосферном давлении 760 мм рт. ст., температуру замерзания 178,7 °К (-94,3 °С).

При абсолютном давлении 0,1 МПа и 20 °С в 1 кг ацетона растворяется 27,9 кг ацетилена или в 1 л ацетона растворяется 20 л ацетилена. Растворимость ацетилена возрастает в ацетоне примерно прямо пропорционально давлению. С понижением температуры растворимость ацетилена в ацетоне растёт. При понижении температуры до -20 °С можно растворить до 52 л ацетилена.

Для более полного использования ёмкости баллона порожние ацетиленовые баллоны следует хранить в горизонтальном положении, что способствует равномерному распределению ацетона по всему объёму баллона. Наполнять баллоны ацетиленом необходимо медленно (с учётом скорости растворения его в ацетоне) в два приёма: сначала в течение 6–9 ч до давления 2,2–2,3 МПа. Затем после отстаивания вторично до давления 2,3–2,5 МПа, так чтобы после охлаждения до температуры 20 °С давление в них составило 1,9 МПа. Для ускорения накачки балло-

нов иногда их снаружи охлаждают водой, что повышает коэффициент растворимости ацетилена в ацетоне.

При расходе газа из баллона ацетилен уносит часть ацетона в виде паров. Для уменьшения потерь ацетона отбор ацетилена из баллона следует производить со скоростью не более $1700 \text{ дм}^3/\text{м}$, соединяя в случае необходимости несколько баллонов в батарею. По этой же причине нельзя отбирать газ из баллона, в котором давление менее $0,05 \text{ МПа}$ ($0,5 \text{ кг/см}^2$), при температуре ниже $0 \text{ }^\circ\text{C}$, менее $0,1 \text{ МПа}$ (1 кг/см^2) при температуре $15\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$, менее $0,3 \text{ МПа}$ (3 кг/см^2) при температуре $25\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$. Периодически в баллон добавляют ацетон (ацетируют баллоны) для возмещения потерь растворителя.

Пористые массы для ацетиленовых баллонов должны удовлетворять следующим требованиям: надёжно локализовать взрывной распад ацетилена в баллоне при давлении до 3 МПа ; не взаимодействовать с ацетиленом, ацетоном и металлом баллона; обладать достаточной механической прочностью и не разрушаться при толчках и ударах, неизбежных в процессе эксплуатации баллона; не оседать и не образовывать пустот в баллоне; масса должна быть легкой и пористой, чтобы не уменьшать полезного объёма и не увеличивать веса тары баллона; не должна выгорать и осмоляться при обратном ударе пламени; должна обеспечивать равномерное распределение ацетона по всему объёму баллона и предотвращать стекание раствора на дно баллона; обеспечивать быстрое выделение ацетилена из раствора для возможности отбора газа без сильного охлаждения баллона.

В качестве пористых масс применяют такие высокопористые вещества как: инфузорную землю (кизельгур, диатомит), пемзу, асбест, древесный и активированный уголь, силикат кальция, углекислый магний и др. Наибольшее применение имеют зернистые трамбованные массы и монолитные.

Метан (CH_4). Метан имеет широкий предел взрываемости. Получают из природного или коксового газа методом глубокого охлаждения. Температура воспламенения метана $340 \text{ }^\circ\text{C}$. Для полного сгорания метана необходимо двойное количество кислорода. В чистом виде метан для газопламенной обработки применяют редко. Он является основным компонентом природных газов и входит в состав других сжимаемых горючих газов. Температура пламени при сжигании его в кислороде составляет $2400\text{--}2700 \text{ }^\circ\text{C}$. Природный газ, в основном, состоит из метана (степень чистоты 98%), остальное примеси – в небольших количествах. Газ имеет слабый чесночный запах, поэтому, чтобы обнаружить утечку, добавляют специальные пахнущие вещества. Чаще всего используют газ при резке металлов.

Коксовый газ. Это смесь газообразных продуктов сухой переработки каменного угля. Коксовый газ может содержать 40–60 % H_2 , 20–30 % CH_4 , 5–12 % CO , 1,5–4 % тяжёлых углеводородов, 2–3 % CO_2 , 0,4–1,0 % O_2 . Коксовый газ имеет сравнительно низкую температуру пламени, однако находит широкое применение на металлургических заводах, где он является побочным продуктом. Температура пламени при сжигании его в кислороде составляет 2100–2300 °С. При использовании коксового газа мундштуки следует изготавливать из латуни или чугуна. Для полного сгорания 1 м³ газа необходимо обеспечить подачу 0,9 м³ кислорода. Транспортируют в баллонах под давлением 15 МПа или по газопроводу низкого давления 30–50 мм вод. ст.

В качестве горючих газов используют также метан, природные и городские газы, нефтяные газы, сланцевый и пиролизный газ. Используются также сжиженные газы: пропан и пропан-бутановые смеси, МАПП- и МАФ-газы.

Пропан (C_3H_8). Это горючий газ, который получают при добыче природных газов и при переработке нефтепродуктов. Обычно получают не чистый пропан, а с примесью бутана до 5–30 %. Такая смесь именуется пропан-бутановая смесь. При производстве газопламенных работ пропан-бутановая смесь доставляется потребителю в сжиженном виде в специальных баллонах красного цвета с надписью белого цвета «ПРОПАН». Давление в баллоне 1,6 МПа. В жидкой фазе сжиженные газы отличаются большим коэффициентом объёмного расширения, что требует особой осторожности и соблюдения мер безопасности при работе с ними. В баллоне внутренней ёмкостью 55 л содержится около 24 кг газа. При испарении 1 кг жидкого пропана получается 0,535 м³ паров, а при испарении того же количества бутана – 0,406 м³. Температура пламени составляет около 2700–2850 °С. Переход из жидкого состояния в газообразное происходит самопроизвольно в верхней части баллона из-за меньшей удельной плотности по сравнению с жидкостью. Технический пропан тяжелее воздуха и имеет неприятный резкий специфичный запах за счёт ввода одорантов, т. к. сама пропан-бутановая смесь без запаха. Поэтому при утечке его можно легко обнаружить. В результате одоризации запах газов должен ощущаться при их содержании в воздухе в количествах, не превышающих допустимых санитарных норм (примерно 1/5 концентрации газа, соответствующая нижнему пределу взрываемости).

Требования, предъявляемые к одорантам, используемым для горючих газов, имеющих слабый запах:

- иметь неприятный запах, отличный от всех возможных запахов;

- быть физиологически безвредными, не раздражать слизистых оболочек и не вызывать тошноту;
- в смеси с газом не повышать коррозионную способность газа и его продуктов сгорания;
- при обычной температуре не реагировать с какими-либо примесями газа, включая кислород и сероводород;
- кипеть в узких пределах температур и быть достаточно летучими.

При этом расход составляет 16 г на 1000 м³ газа. В основном используют при кислородной резке для подогревающего пламени. В зимнее время необходимо следить, чтобы в смеси было не менее 70 % пропана, в противном случае пропан испаряется первым, а бутан не обеспечивает высокой температуры нагрева, и газ в коммуникациях может замерзнуть.

Метилацетилен-пропадиен (C₃H₄), МАПП – смесь горючих газов, по физическим признакам близок к пропану и относится к числу сжиженных газов. Данная смесь термодинамически не стойка, поэтому в состав вводят стабилизатор. Распад газа аналогичен ацетилену с температурой пламени 2800–2900 °С. МАПП используют для кислородной резки и других газопламенных процессов. Температура пламени составляет около 2900–2950 °С, самая близкая к температуре пламени ацетилена. Пределы взрываемости с воздухом 3,4–10,8 %, с кислородом 2,5–60 %.

МАФ – метилацетиленовая пропадиеновая фракция является отходом олифинового производства, а также при производстве этилена и моновинилацетилена. Эта фракция содержит 48–75 % смеси метилацетилена и пропадиена и стабилизаторы: 3 % пропилена, 15 % пропана, 7 % других углеводородов. Смесь инертна до температуры 215 °С и давления 2,0 МПа. При соприкосновении с медью образуются взрывоопасные соединения. Скорость распространения пламени 470 см/с. Температура пламени составляет 2930 °С. По теплотехническим свойствам газ МАФ занимает промежуточное положение между ацетиленом и пропан-бутановой смесью. Самое важное свойство МАФ-газа – передача большей теплоты, чем с пламенем ацетилена, и его эффективная мощность в 1,7 раза больше, чем у пламени ацетилена. Условия работы, хранения и транспортировки аналогичны общим правилам для сжиженных газов.

На основе испытаний установлено, что газ пригоден для сварки деталей из углеродистых сталей толщиной до 6 мм с применением присадочной проволоки, для газовой сварки чугуновых, а также латунных деталей толщиной до 10 мм, но при условии использования присадочной проволоки, легированной кремнием и оловом, и порошковых флюсов.

Кроме этого, МАФ может применяться для кислородной резки, пайки, наплавки и напыления металлов. Технология газопламенной обработки аналогична использованию ацетилена. По сравнению с пропан-бутановой смесью, при сварке стали газом МАФ расход кислорода в 1,5 раза меньше.

Используются также и жидкие горючие. Наибольшее применение имеют **бензин и керосин**. Их используют в виде паров при давлении до 0,3 МПа. Температура пламени 2400–2500 °С. Пары бензина и керосина используют для сварки легкосвариваемых металлов, пайки и кислородной резки.

Коэффициент замены ацетилена

По технологическим данным конкретного газопламенного процесса известен необходимый расход ацетилена V_a . При замене ацетилена другим горючим газом следует провести расчёт расхода горючего V_2 с учётом получения оптимальной производительности процесса. С учётом этого газопламенную обработку металлов можно разделить на две группы.

К первой группе относят кислородную разделительную резку, пайку, нагрев металла с целью правки, для которых количество горючего газа выбирают по эффективной тепловой мощности движущегося пламени, равной эффективной мощности движущегося ацетилено-кислородного пламени, используемого при этих процессах.

Отношение количества горючего газа – заменителя ацетилена к количеству ацетилена для указанной выше группы процессов называется коэффициентом замены первого рода:

$$\psi_1 = \frac{V_2}{V_a}. \quad (5.12)$$

Ко второй группе относят поверхностную кислородную резку, закалку, сварку, для которых количество горючего газа выбирают из расчёта равенства времени нагрева металла до определённой температуры пламенем газа – заменителя ацетилена и ацетилено-кислородным пламенем. В этом случае устанавливается коэффициент замены второго рода ψ_2 .

Пределы воспламенения горючего газа

Нижним (или верхним) концентрационным пределом воспламенения называется низшая (или высшая) концентрация горючих компонентов в смеси горючего газа с воздухом или с кислородом, за пределами которой невозможна реакция горения (табл. 5.30).

У всех горючих газов пределы воспламенения с изменением температуры газа изменяются. С повышением температуры газа нижний предел воспламенения снижается, а верхний предел взрываемости повышается. Так, например, при температуре 17 °С пределы взрываемости CH_4 – 6,3 % и 12,9 % – нижний и верхний, соответственно, при температуре 400 °С – 4,8 % и 16,6 %, соответственно.

Таблица 5.30

Пределы воспламенения – объёмное процентное содержание горючего газа в смеси

Предел воспламенения с воздухом, %	Горючий газ	Предел воспламенения с кислородом, %
2,0...82	Ацетилен C_2H_2	2,8...93
1,9...9,0	Н-Бутан C_4H_{10}	1,8...49
1,8...8,5	Изобутан C_4H_{10}	1,8...48
1,6...9,9	Н-Бутилен C_4H_8	
1,8...8,9	Изобутилен C_4H_8	
4,0...75	Водород H_2	4,5...95
4,9...16	Метан CH_4	5,0...61
12,5...75	Окись углерода CO	13...96
2,1...9,5	Пропан C_3H_8	2,3...57
2,0...11,1	Пропилен C_3H_6	2,1...53
4,3...46	Сероводород H_2S	
2,5...15	Этан C_2H_6	3,9...66
2,7...34	Этилен C_2H_4	3,0...80

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварочные материалы для дуговой сварки. Т. 1: справочник / под ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение. 1989. – 544 с.
2. Сварка в машиностроении. Т. 2: справочник / под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение. 1978. – 462 с.
3. Акулов А.И., Алехин В.П., Ермаков С.И., Полевой Г.В., Рыбачук А.М., Чернышов Г.Г., Якушин Б.Ф. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
4. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. – М.: Машиностроение, 2003. – 416 с.
5. Тархов Н.А., Сидлин З.А., Разманов А.Д. Производство металлических электродов. – М.: Высшая школа. – 288 с.
6. Чекмарев А.А., Осипов В.К. Справочник по машиностроительному черчению. – М.: Высшая школа, 2008. – 493 с.
7. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СВАРКИ.....	7
1.1. Сварка в древности.....	7
1.2. Рождение и развитие электродуговой сварки	11
1.3. Разработка процесса газовой сварки	17
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ И СПОСОБОВ СВАРКИ.....	20
3. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ	25
3.1. Классификация сварных соединений.....	25
3.2. Классификация сварных швов	26
3.3. Особенности сварных соединений	27
3.4. Обозначение сварных швов и соединений на чертежах	34
4. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ИСПРАВЛЕНИЯ	39
4.1. Причины возникновения дефектов	40
4.2. Устранение и исправление дефектов	45
5. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	47
5.1. Назначение сварочных материалов	47
5.2. Сварочная проволока и прутки сплошного сечения.....	48
5.3. Порошковые проволоки.....	60
5.3.1. Конструкция, классификация и типы	60
5.3.2. Характеристика порошковых проволок	66
5.3.2.2. Порошковые проволоки для сварки в CO ₂	68
5.3.2.3. Порошковые проволоки специального назначения.....	69
5.3.2.4. Порошковые проволоки для сварки легированных сталей.....	71
5.3.2.5. Порошковые смеси для наплавки	71
5.4. Неплавящиеся электроды	72
5.4.1. Графитовые и угольные электроды	72
5.4.2. Вольфрамовые электроды.....	73
5.4.3. Электроды для плазменных процессов	76
5.5. Покрытые электроды для дуговой сварки и наплавки	77
5.5.1. Изготовление электродов.....	77
5.5.2. Состав электродного покрытия	80
5.5.3. Обозначение электродов и классификация.....	81
5.5.4. Сварочно-технологические свойства электродов	90
5.5.5. Входной контроль покрытых электродов	91
5.5.6. Характеристика электродов с различным типом покрытия	97

5.6. Флюсы сварочные	99
5.6.1. Классификация флюсов.....	99
5.6.2. Физические свойства флюсов.....	106
5.6.3. Производство плавяных флюсов.....	108
5.6.4. Производство керамических флюсов	113
5.6.5. Особенности производства спечённых флюсов	115
5.6.6. Техничко-экономические аспекты выбора типа сварочного флюса	115
5.7. Газы.....	124
5.7.1. Свойства защитных газов.....	124
5.7.1.1. Свойства инертных газов.....	124
5.7.1.2. Свойства активных газов.....	126
5.7.2. Свойства горючих газов	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	140

Учебное издание

ТРУЩЕНКО Евгений Анатольевич

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебное пособие

Научный редактор *доцент,*
кандидат технических наук Р.И. Дедюх

Выпускающий редактор *Т.С. Савенкова*

Редактор *С.П. Барей*

Компьютерная верстка *В.П. Аршинова*

Дизайн обложки *Т.А. Фатеева*

Подписано к печати 06.12.2010. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. 8,26. Уч.-изд. л. 7,47.

Заказ 0000-10. Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru