

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В. Д. Проскурин

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

Оренбург
2016

УДК 621.791
ББК 30.61я73
П82

Рецензент – кандидат технических наук В. И. Юршев

П82 **Проскурин, В. Д.**
Технология сборочно-сварочных работ в производстве летательных аппаратов: учебное пособие / В. Д. Проскурин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 137 с.
ISBN 978-5-7410-1651-0

В учебном пособии изложены сведения о процессах и способах электродуговой сварки, применяемых в производстве летательных аппаратов, представлены методики расчета режимов сварки, приведена информация о применяемом технологическом оборудовании, о свариваемости металлов и сплавов, используемых в конструкции летательных аппаратов, даны рекомендации по составу и правилам оформления технологической документации на сварочные процессы в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

УДК 621.791
ББК 30.61я73

ISBN 978-5-7410-1651-0

© Проскурин В. Д., 2016
© ОГУ, 2016

Содержание

Введение	5
1 Стандартные определения в области сварки металлов.....	8
1.1 Классификация видов сварки	8
1.2 Классификация сварных соединений и швов.....	11
1.3 Условное обозначение сварных соединений в чертежах и конструкторских документах.....	20
2 Ручная дуговая сварка.....	27
2.1 Технология дуговой сварки.....	27
2.2 Электроды для ручной дуговой сварки	28
2.3 Расчет режимов ручной дуговой сварки	37
2.4 Технологическое оборудование для ручной дуговой сварки	46
3 Автоматическая сварка под флюсом	51
3.1 Сущность процесса сварки под флюсом	51
3.2 Состав сварочных флюсов.....	53
3.3 Расчет режимов сварки под флюсом.....	57
3.4 Оборудование для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом	63
4 Электродуговая сварка в защитном газе	74
4.1 Способы сварки в защитном газе	74
4.2 Характеристики защитных газов для сварки.....	76
4.3 Оборудование для сварки в защитных газах	80
4.3.1 Оборудование для ручной сварки в защитном газе.....	80
4.3.2 Оборудование для механизированной сварки в защитном газе.....	85
4.3.3 Сварочные автоматы.....	89
4.4 Расчет режимов сварки в защитном газе	95
5 Свариваемость металлов и сплавов, применяемых в конструкции летательных аппаратов	102
5.1 Сварка алюминиевых сплавов	102

5.2 Сварка титановых сплавов	105
5.3 Сварка конструкционных сталей.....	112
5.3.1 Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей.....	112
5.3.2 Сварка среднеуглеродистых низко- и среднелегированных сталей.....	113
5.3.3 Сварка высоколегированных сталей.....	116
3.4 Сварка высокопрочных мартенситно-старяющих сталей.....	118
6 Разработка комплектов технологических документов на процессы сварки...	120
Список использованных источников.....	135

Введение

Технологические процессы сварки применяются для получения неразъемных соединений деталей машин. Применение сварки в производстве летательных аппаратов обусловлено рядом преимуществ перед другими видами соединений.

Сварные соединения имеют лучшие массо-габаритные характеристики по сравнению с клепаными, болтовыми, клеевыми. Применение сварки обеспечивает возможность создания равнопрочных конструкций, в которых форма и размеры сечений элементов соответствуют действующим в них напряжениям. Благодаря этому сварные конструкции в среднем на 15 % – 20 % легче клепаных и на 25 % – 30 % легче литых.

Сварные соединения имеют более высокие прочностные и усталостные характеристики. Прочность сварных швов составляет до 90 % прочности основного материала деталей. В сварных соединениях отсутствуют концентраторы напряжений типа отверстий под заклепки и болты, благодаря чему повышается ресурс конструкции.

Сварка позволяет получать герметичные соединения без применения дополнительных средств и материалов, что снижает трудоемкость и повышает надежность конструкции.

Контролируемость процессов сварки и полученных сварных соединений обеспечивает возможность изготовления ответственных конструкций. Разработаны разнообразные методы контроля качества сварных швов, позволяющие обнаруживать характерные дефекты: пористость, включения, непровары и др. В большинстве случаев дефекты сварных швов являются устранимыми.

Достоинством сварочных процессов является широкая возможность их механизации и автоматизации с использованием выпускаемых серийно сварочных автоматов и унифицированной технологической оснастки для закрепления и перемещения свариваемых изделий. Автоматизация процессов позволяет повысить качество сварного соединения за счет исключения влияния субъективного фактора - квалификации сварщика.

Применение сварных соединений позволяет создавать конструктивно сложные узлы и агрегаты, характерные для производства летательных аппаратов. Различные способы сварки применяются в авиастроении для изготовления обшивки фюзеляжей, панелей крыла, элементов двигателей, топливных баков, трубопроводов, узлов шасси, деталей приборов и радиоаппаратуры самолетов и вертолетов.

В ракетостроении технологические процессы сварки незаменимы для получения прочных герметичных соединений при изготовлении большинства ответственных конструкций и агрегатов: баки для горючего и окислителя, шар-баллоны высокого давления, камеры сгорания и сопла жидкостных ракетных двигателей, корпуса и роторы турбонасосных агрегатов, трубопроводы, корпуса твердотопливных и прямоточных воздушно-реактивных двигателей, крылья и оперение крылатых ракет, кронштейны и рамы для крепления внутрифюзеляжного оборудования, ферменные конструкции отсеков и устройств крепления двигателей.

Применение сварочных технологий способствует сокращению сроков работ и уменьшению стоимости изготовления конструкций за счет снижения расхода металла и уменьшения трудоемкости технологических процессов.

При проектировании сварных конструкций и разработке технологических процессов сварки следует учитывать и присущие им недостатки. Прежде всего это ограничения по свариваемости сталей и сплавов, применяемых в высоконагруженных конструкциях узлов и агрегатов летательных аппаратов. Как правило высокопрочные и высоколегированные стали и сплавы имеют ограниченную свариваемость, которая заключается в необходимости применения специальных способов сварки и технологических мероприятий для получения качественного сварного соединения: предварительный и сопутствующий нагрев зоны сварки, защита зоны сварки от взаимодействия с воздухом, силовое воздействие на сварное соединение в процессе сварки и после него, обязательный контроль качества сварного шва инструментальными методами, включая использование разрушаемых образцов-свидетелей. Все это приводит к усложнению процесса и повышению производственных затрат. Недостатком сварки плавлением является возникновение в изделии сварочных деформаций и остаточных напряжений, обусловленных процессами кри-

сталлизации металла, структурными и фазовыми превращениями в сварном шве и околошовной зоне при охлаждении. Для исправления геометрических параметров и формы сварного изделия в технологических процессах необходимо предусматривать операции правки и контроля.

В меньшей степени эти недостатки присущи для термомеханических способов сварки давлением. В конструкции летательных аппаратов чаще всего используются электрическая контактная сварка. Стыковая контактная сварка применяется для соединения отсеков фюзеляжа, изготовления шпангоутов, соединения обшивки с элементами силового набора. Точечной контактной сваркой приваривают к обшивке стрингеры, несилловые шпангоуты, заполнители трехслойных оболочек. Для изготовления тонкостенных корпусов, герметичных баков и сосудов применяется шовная контактная сварка.

Для решения задач технологической подготовки производства летательных аппаратов с использованием сварочных процессов необходимо обладать комплексом знаний и навыков в следующих вопросах:

- формирование структуры сборочно-сварочных процессов, составление последовательности операций сборки, сварки, правки, контроля в соответствии с техническими требованиями к изделию;
- определение рациональных режимов сварки, обеспечивающих заданное качество соединения и приемлемую производительность процесса;
- выбор типа и модели сварочного оборудования, средств механизации и автоматизации, унифицированного оборудования для установки и перемещения сварочной головки и изделия;
- разработка компоновочной схемы и проектирование сборочно-сварочной оснастки для типовых конструкций узлов и агрегатов летательных аппаратов;
- разработка мероприятий по обеспечению безопасности при выполнении сварочных работ.

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования технологических процессов сварки, нашедших наиболее широкое применение в производстве летательных аппаратов: электродуговой и электрической контактной сварки.

1 Стандартные определения в области сварки металлов

1.1 Классификация видов сварки

Термины и определения основных понятий в области сварки металлов, применяемые в науке, технике и производстве, установлены стандартом ГОСТ 2601-84 [1].

Сварка – получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Классификация способов сварки металлов определена стандартом ГОСТ 19521-74 [2].

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, все способы сварки разделены на классы. В каждом классе выделяются виды сварки в зависимости от источника энергии, непосредственно используемого для образования сварного соединения.

К термическому классу относятся разнообразные виды и способы сварки плавлением, осуществляемые местным сплавлением соединяемых частей без приложения давления с использованием тепловой энергии от различных источников. Часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии, называется сварочной ванной.

Наименования видов и способов сварки плавлением соответствуют применяемым источникам тепла:

- дуговая;
- электрошлаковая;
- электронно-лучевая;
- плазменно-лучевая;
- ионно-лучевая;
- тлеющим разрядом;
- световая;
- индукционная;

- газовая;
- термитная;
- литейная.

К термомеханическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления. Наименования видов сварки отражают происходящие при сварке процессы:

- контактная;
- диффузионная;
- индукционнопрессовая;
- газопрессовая;
- термокомпрессионная;
- дугопрессовая;
- шлакопрессовая;
- термитнопрессовая;
- печная.

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления. Наименования видов сварки характеризуют условия образования соединения:

- холодная;
- взрывом;
- ультразвуковая;
- трением;
- магнитоимпульсная.

Способы сварки, относящиеся к отдельным видам, различаются по техническим и технологическим признакам, определяющим уровень механизации применяемого оборудования, непрерывность процесса, средства защиты металла в зоне сварки от неблагоприятного влияния атмосферы.

Ручная сварка – сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника.

Механизированная сварка – сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.

Автоматическая сварка – сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе без непосредственного участия человека.

В зависимости от применяемых средств защиты металла в зоне сварки различают способы сварки в воздухе, в вакууме, в защитном инертном или активном газе, сварку под флюсом или по флюсу, сварку в пене.

При сварке плавлением источнику тепла сообщается движение вдоль продольной оси сварного соединения и соответственно происходит перемещение образующейся сварочной ванны. Сварочная ванна – это часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

Направление сварки совпадает с направлением движения источника тепла. От направления сварки и от последовательности наложения участков сварного шва зависят качественные и прочностные характеристики соединения. В связи с этим стандартом предусмотрены следующие определения:

- проход при сварке – однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке наплавке;

- сварка на проход – сварка, при которой направление сварки неизменно;

- обратноступенчатая сварка – сварка, при которой сварной шов выполняется следующими один за другим участками в направлении, обратном общему приращению длины шва (рисунок 1);

- сварка вразброс – сварка, при которой сварной шов выполняется участками, расположенными в разных местах по его длине;

- сварка сверху вниз – сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз;

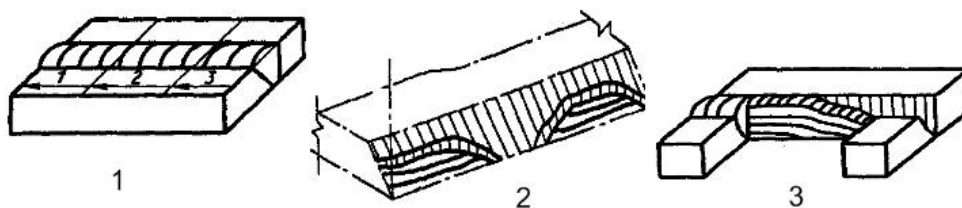
- сварка снизу вверх – сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх;

- сварка на спуск – сварка плавлением в наклонном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз;

– сварка на подъем – сварка плавлением в наклонном положении, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх;

– сварка блоками (рисунок 1) – обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них;

– сварка каскадом (рисунок 1) – сварка, при которой каждый последующий участок многослойного шва перекрывает весь предыдущий участок или его часть.



1 – обратноступенчатая сварка; 2 – сварка блоками; 3 – сварка каскадом.

Рисунок 1 – Способы формирования сварных швов

1.2 Классификация сварных соединений и швов


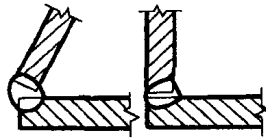
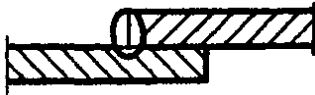
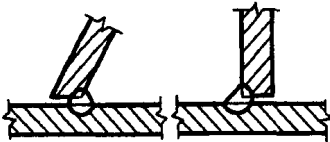
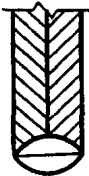
Сварное соединение – это неразъемное соединение деталей, выполненное сваркой. Вид сварного соединения зависит от пространственного расположения соединяемых деталей, от применяемого способа сварки, от параметров сварных швов, образующих соединение (таблица 1).

Непосредственное соединение деталей при варке осуществляется посредством сварных швов.

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

Сварные швы различаются по форме и геометрическим параметрам поперечного сечения, по протяженности, по количеству слоев, по назначению и прочим признакам.

Таблица 1 – Виды сварных соединений по ГОСТ 2601-84

Наименование соединения	Определение	Эскиз соединения
Стыковое	Сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями	
Угловое	Сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев	
Нахлесточное	Сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга	
Тавровое	Сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента	
Торцовое	Сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу	

В стандарте ГОСТ 2601-84 приведены следующие определения сварных швов:

- стыковой шов – сварной шов стыкового соединения;
- угловой шов – сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединений;

– точечный шов – сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками;

– прихватка – короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей.

Стыковые и угловые швы могут быть непрерывными по длине, или прерывистыми, имеющие промежутки.

Сварные соединения могут выполняться односторонними и двухсторонними швами. Двухсторонние прерывистые швы бывают цепными и шахматными (рисунок 2).

Цепным называют двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого.

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

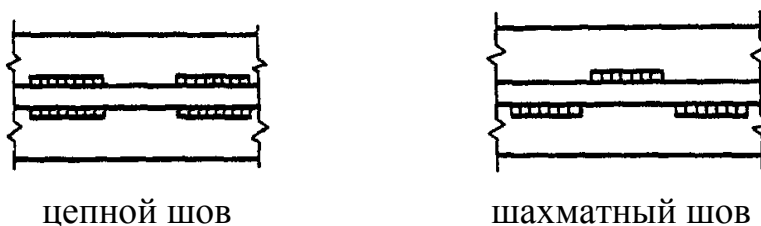


Рисунок 2 – Двухсторонние прерывистые швы

По назначению и характеру работы в конструкции сварного соединения различают швы рабочие и соединительные, прочные, плотные и прочно-плотные.

Рабочие швы воспринимают механические силы и моменты, действующие в сварном соединении и подлежат расчету на прочность. Соединительные швы применяются для фиксации свариваемых деталей, расчет прочности соединительных швов не предусмотрен.

Прочные швы являются рабочими, их основным назначением является обеспечение заданной прочности сварного соединения. Характеристики прочных швов при конструировании сварного соединения определяются на основе прочностного

расчета. В технологические процессы сварки необходимо включать операции контроля качества прочных швов и проведение испытаний на прочность образцов-свидетелей.

Плотными называют сварные швы, обеспечивающие герметичность соединения. В технологические процессы сварки плотных швов включаются операции технического контроля герметичности.

Прочноплотные сварные швы обеспечивают одновременно прочность и герметичность соединения. Прочноплотные швы применяются в сосудах высокого давления.

По расположению относительно действующих усилий различают швы фланговые (боковые), лобовые, косые и комбинированные (рисунок 10).

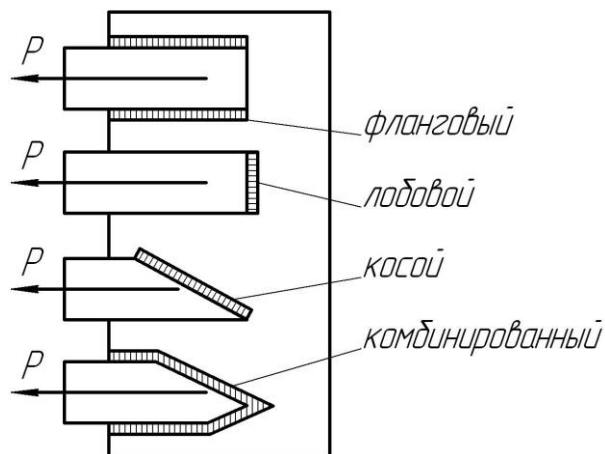


Рисунок 3 – Виды сварных швов по расположению относительно действующих сил.

По положению в процессе сварки относительно линии горизонта (рисунок 4) различают швы:

- нижние – швы, выполняемые на поверхностях, имеющих угол наклона от 0° до 60° к горизонту;
- горизонтальные – швы, имеющие наклон от 0° до 45° , расположенные на поверхностях, расположенных с углом от 60° до 120° к горизонтали;
- вертикальные – швы, имеющие наклон от 45° до 90° , расположенные на поверхностях, расположенных с углом от 60° до 120° к горизонтали;

- потолочные – швы, выполняемые на поверхностях, имеющих угол наклона от 120° до 180° к горизонту.

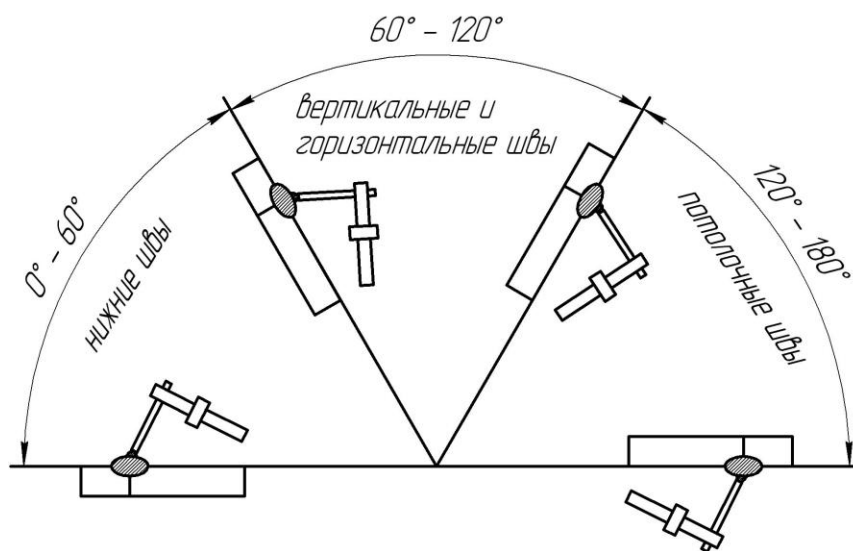


Рисунок 4 – Пространственное положение сварных швов

По расположению на изделии относительно его осей различают швы продольные, поперечные, кольцевые, спиральные, криволинейные.

В зависимости от толщины свариваемых деталей сварка может выполняться за один или за несколько проходов. Металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход, называется валиком. В связи с этим различают однослойные и многослойные швы. Многослойный шов состоит из нескольких валиков.

Часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности называется корнем шва (рисунок 5)

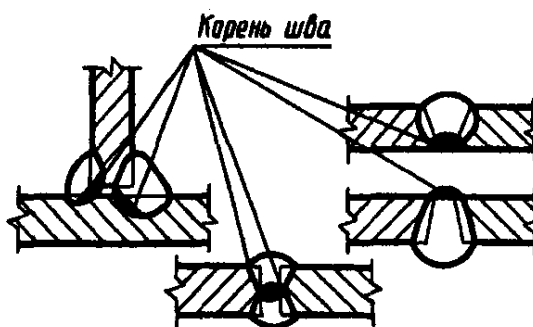
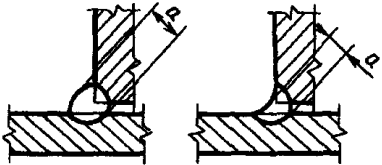
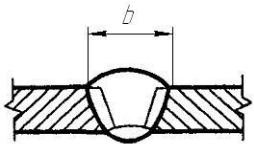
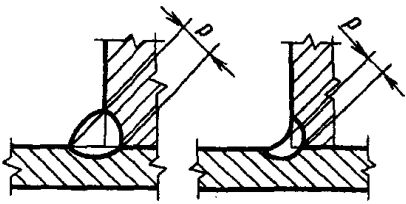
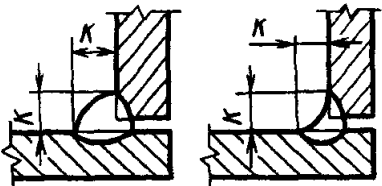


Рисунок 5 – Положение корня шва в сварных соединениях

Прочность сварного шва зависит от геометрических параметров его поперечного сечения. Основные определения геометрических параметров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Геометрические параметры поперечного сечения сварных швов

Наименование параметра	Определение	Эскиз поперечного сечения шва
Толщина углового шва	Наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла	
Ширина сварного шва	Расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением	
Коэффициент формы сварного шва	Коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине	$K = \frac{a}{b}$
Расчетная высота углового шва	Длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника	
Катет углового шва	Кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части	

Продолжение таблицы 2

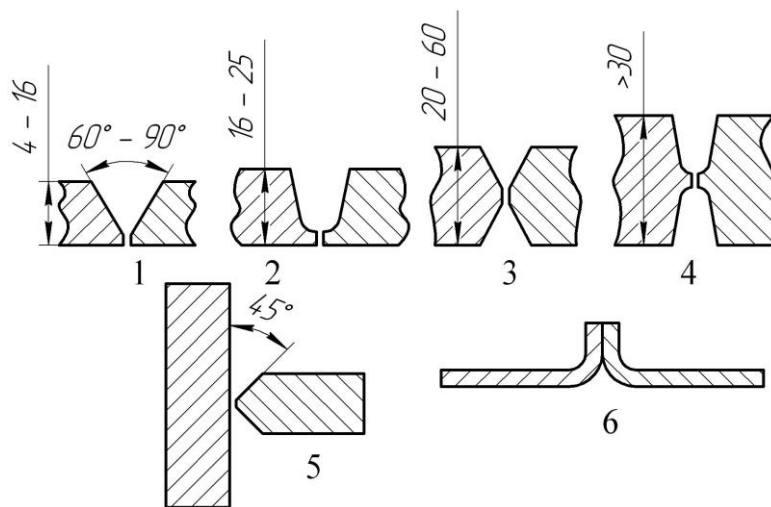
Наименование параметра	Определение	Эскиз поперечного сечения шва
Выпуклость сварного шва	Расстояние между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости	
Вогнутость углового шва	Расстояние между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости	

На качество сварного соединения влияет подготовка свариваемых кромок деталей. Для улучшения заполнения сварочной ванны присадочным металлом и формирования сечения шва выполняют разделку кромок – придание свариваемым кромкам необходимой формы. Одним из видов разделки является скос кромок – прямолинейный наклонный срез. Угол скоса кромок - острый угол между плоскостью скоса кромок и плоскостью торца. Угол между скошенными кромками свариваемых деталей называют углом разделки. В зависимости от вида сварного соединения и толщины свариваемых деталей выбирают различные формы разделки кромок (рисунок 6).

Основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные обозначения сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах регламентированы стандартами.

Типы сварных соединений, выполняемых ручной дуговой сваркой устанавливает стандарт ГОСТ 5264-80 [3], выполняемых электродуговой сваркой в защитном






газе - ГОСТ 14771-76 [4], выполняемых дуговой сваркой под флюсом – ГОСТ 8713-79 [5] и ГОСТ 11533-75 [6]. Некоторые типы сварных соединений, предусмотренные стандартами, приведены в таблице 3.





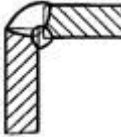
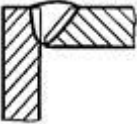
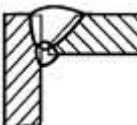
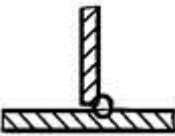
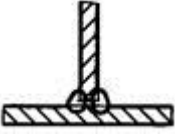


1 – V-образная; 2 – U-образная; 3 – X-образная; 4 – U-образная двухсторонняя;
5 – К-образная; 6 – отбортовка кромок.

Рисунок 6 – Виды разделки свариваемых кромок



Таблица 3 – Условное обозначение типов сварных соединений в соответствии со стандартами (выборочно)

Эскиз соединения	Условное обозначение	Примечание
Стыковые соединения		
	C1	с отбортовкой кромок
	C2	без разделки кромок
	C7	двухсторонний шов без разделки кромок
	C17	сварка по ГОСТ 5264-80 и 14771-76 с разделкой кромок
	C18	сварка по ГОСТ 8713-79 под флюсом с разделкой кромок
	C25	двухсторонний шов с разделкой кромок

Продолжение таблицы 3

Эскиз соединения	Условное обозначение	Примечание
	С23	односторонний шов с разделкой кромок при толщине деталей от 15 до 160 мм
Угловые соединения		
	У4	сварка по ГОСТ 5264-80 и 14771-76 без разделки кромок
	У5	сварка по ГОСТ 5264-80 и ГОСТ 8713-79 шов двухсторонний
	У6	сварка по ГОСТ 5264-80 и 14771-76 с разделкой кромок
	У7	сварка по ГОСТ 5264-80 и ГОСТ 8713-79 шов двухсторонний с разделкой
Тавровые соединения		
	Т1	односторонний шов без разделки
	Т3	двухсторонний шов без разделки
	Т6	сварка по ГОСТ 5264-80 и 14771-76, односторонний шов со скосом одной кромки
	Т7	сварка по ГОСТ 8713-79, двухсторонний шов со скосом одной кромки

Продолжение таблицы 3

Эскиз соединения	Условное обозначение	Примечание
Нахлесточное соединение		
	Н1	односторонний угловой шов
	Н2	двухсторонний шов

1.3 Условное обозначение сварных соединений в чертежах и конструкторских документах

Информация, содержащаяся в условном обозначении сварного соединения, предназначена для использования при разработке технологического процесса. Дополнительные сведения о сварном соединении, условиях его выполнения, методе контроля и ссылки на технологические инструкции записываются в технических требованиях.

По ГОСТ 2.312-72 [8] сварные швы изображаются на чертежах и других конструкторских документах основной линией, если на чертежной проекции шов видимый, и штриховой линией, если шов невидимый. Видимую одиночную сварную точку, независимо от способа сварки, условно изображают знаком «+», невидимые одиночные точки не изображают.

Шов обозначается односторонней стрелкой с выносной полкой для записи условного обозначения характеристик сварного соединения. Условное обозначение видимого шва располагается над полкой, невидимого шва – под полкой (рисунок 7).

Условное обозначение сварного шва содержит следующую информацию:

- номер ГОСТа, по которому определяется тип сварного соединения, конструктивные элементы и размеры сварного шва (ГОСТ 5264-80 [3], ГОСТ 14771-76 [4], ГОСТ 8713-79 [5], ГОСТ 11533-75 [6], ГОСТ 14806-80 [7] и др.);

- условное буквенно-цифровое обозначение типа шва по стандарту (С2, У5, Т3, Н2 и др.);

- условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы сварных швов (таблица 4, допускается не указывать);
- размер катета углового шва со знаком Δ ;
- размерные характеристики прерывистого, точечного или электрозаклепочного шва;
- вспомогательные знаки, отражающие особенности выполнения и последующей обработки сварного шва (таблица 5).

Общая структура условного обозначения сварного шва представлена на рисунке 8. Примеры условного обозначения сварных соединений приведены в таблице 6.

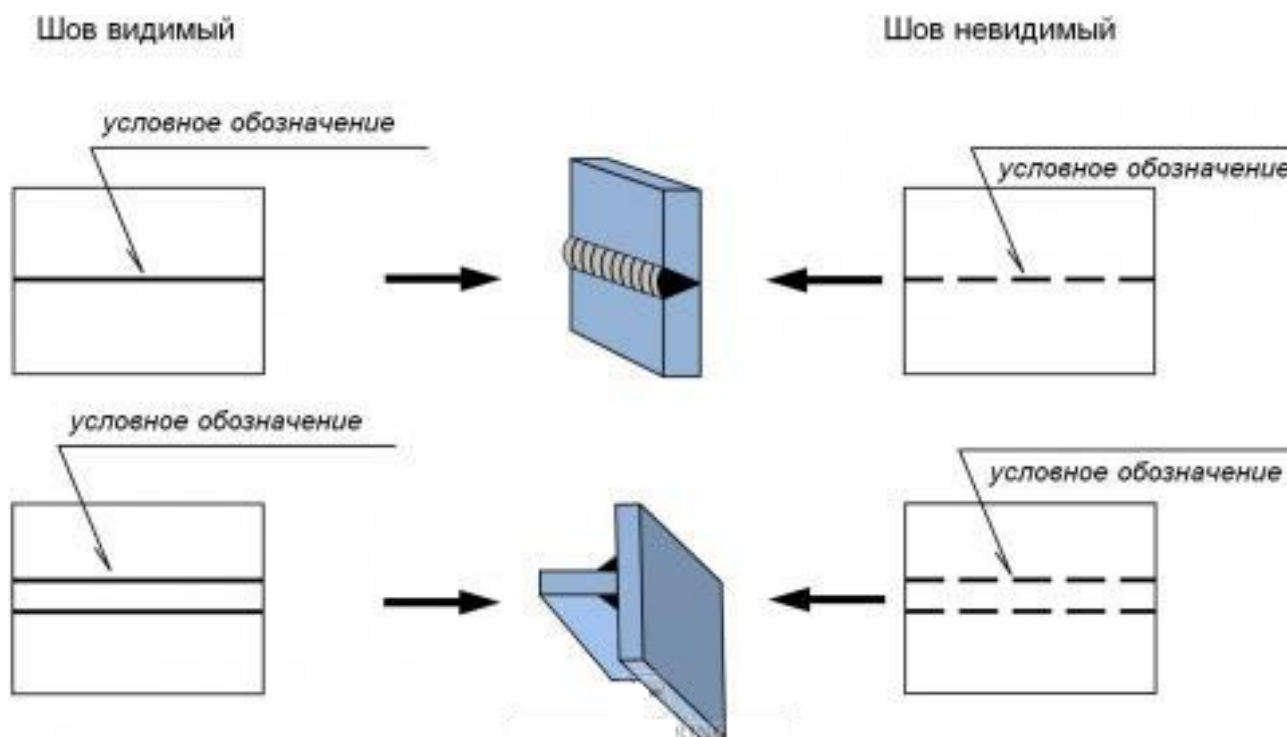


Рисунок 7 – Расположение условного обозначения сварных швов

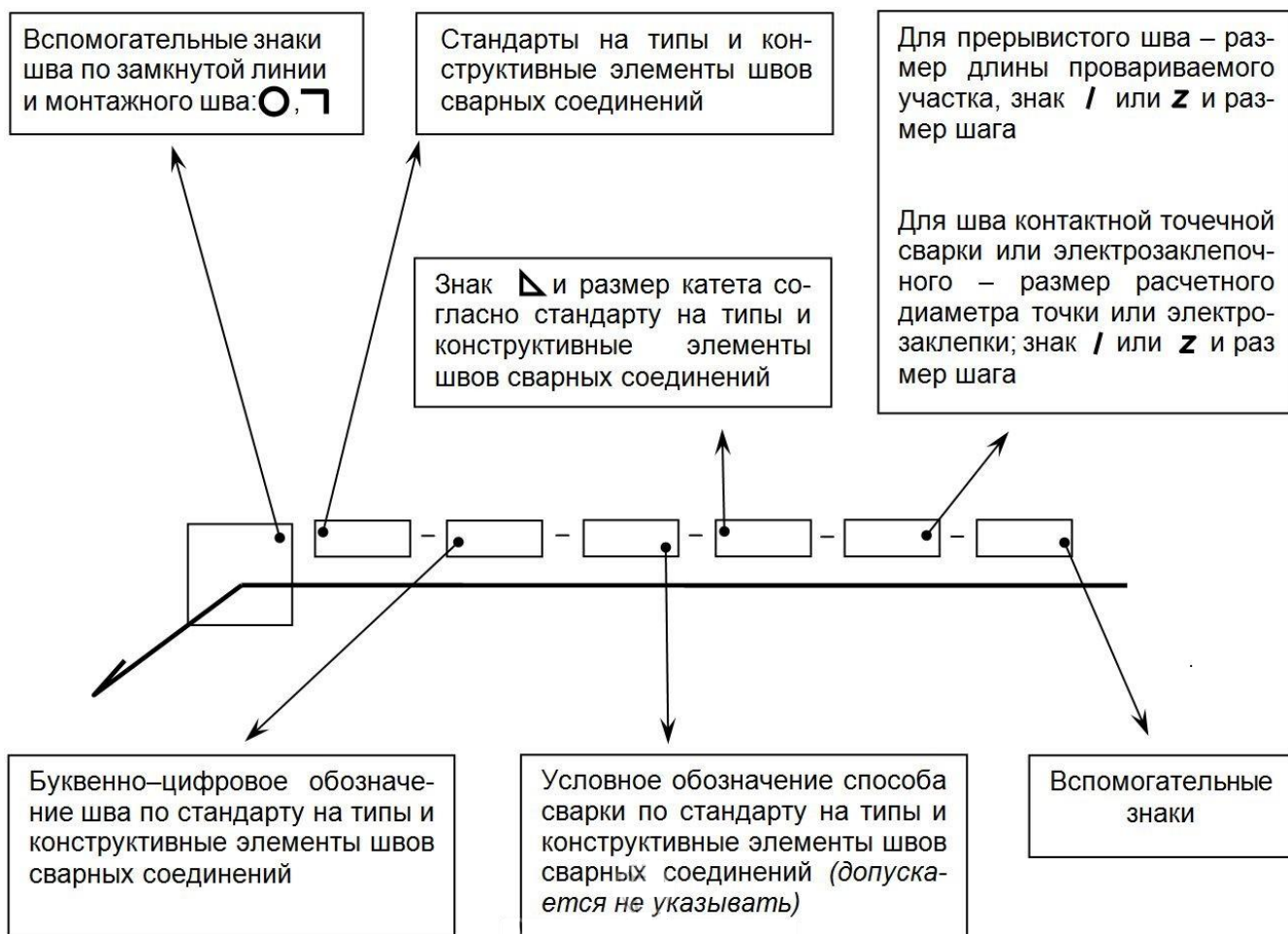


Рисунок 8 – Структура условного обозначения сварного шва

Таблица 4 - Условные обозначения способа сварки

Условное обозначение	Описание способа сварки
по ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе	
ИН	в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла
ИНп	в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом
ИП	в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом
УП	в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом

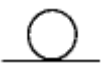




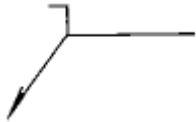


Продолжение таблицы 4

Условное обозначение	Описание способа сварки
по ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом	
АФ	автоматическая на весу
АФф	автоматическая на флюсовой подушке
АФм	автоматическая на флюсомедной подкладке
АФо	автоматическая на остающейся подкладке
АФп	автоматическая на медном ползуне
АФш	автоматическая с предварительным наложением подварочного шва
АФк	автоматическая с предварительной подваркой корня шва
МФ	механизированная на весу
МФо	механизированная на остающейся подкладке
МФш	механизированная с предварительным наложением подварочного шва
МФк	механизированная с предварительной подваркой корня шва
по ГОСТ 1533-75	
А	автоматическая дуговая сварка под флюсом
Ас	автоматическая дуговая сварка под флюсом на стальной подкладке
Апш	автоматическая дуговая сварка под флюсом с предварительным наложением подварочного шва
П	полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом
Пс	полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом на стальной подкладке
Ппш	полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом с предварительным наложением подварочного шва
по ГОСТ 14806-80	
РИНп	ручная неплавящимся электродом с присадочным металлом


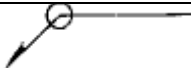
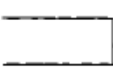
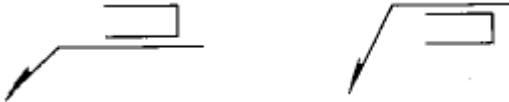

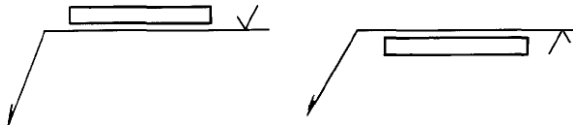
Продолжение таблицы 4

Условное обозначение	Описание способа сварки
АИНп	автоматическая неплавящимся электродом с присадочным металлом
АИНп-3	автоматическая неплавящимся электродом с присадочным металлом - трехфазная
АИП	автоматическая плавящимся электродом - однодуговая
ПИП	полуавтоматическая плавящимся электродом

Таблица 5 – Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

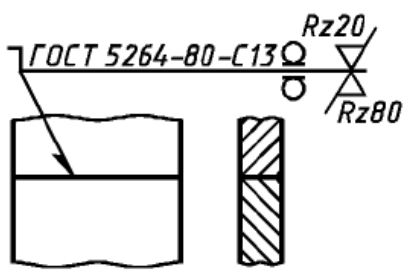
Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака*
	Усиление шва снять	
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу	
	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения	
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением	

Продолжение таблицы 5

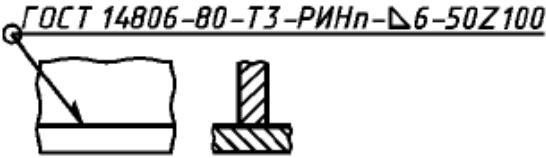
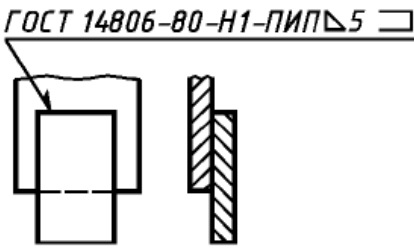
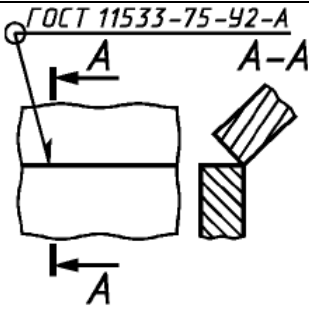
Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака*
Z	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением	
○	Шов по замкнутой линии	
	Шов по незамкнутой линии	
	Параметр шероховатости механически обработанной поверхности шва	

* Знак, относящийся к лицевой стороне шва, располагается над выносной линией, относящийся к обратной стороне шва – под выносной линией

Таблица 6 – Примеры условного обозначения сварных соединений

Условное обозначение соединения	Характеристика сварного соединения
	Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний (С13), выполняемый дуговой ручной сваркой при монтаже изделия. Усиление снято с обеих сторон. Шероховатость поверхности шва с лицевой стороны – Rz=20 мкм, с обратной стороны Rz=80 мкм

Продолжение таблицы 6

Условное обозначение соединения	Характеристика сварного соединения
	<p>Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний, прерывистый с шахматным расположением, выполняемый ручной дуговой сваркой в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом по замкнутой линии, катет шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 100 мм</p>
	<p>Шов соединения внахлестку без скоса кромок, односторонний, выполняемый дуговой полуавтоматической сваркой в инертных газах плавящимся электродом, шов по незамкнутой линии, катет шва 5 мм</p>
	<p>Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, выполняемый автоматической дуговой сваркой под флюсом по замкнутой линии</p>

2 Ручная дуговая сварка

2.1 Технология дуговой сварки

Дуговая сварка – это разновидность сварки плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой. Дуговая сварка получила широкое применение в машиностроении, в промышленном и гражданском строительстве, в ремонтно-восстановительных работах благодаря высокой производительности процесса, возможности получения соединений с различным пространственным положением сварных швов, простоте и мобильности применяемого оборудования, доступности источников энергии, минимального количества расходных материалов, относительной безопасности процесса.

В большинстве способов сварки используется дуга прямого действия, при которой объект сварки включен в цепь сварочного тока, иными словами, электрическая дуга возбуждается между электродом и свариваемым изделием.

При сварке применяются плавящиеся и неплавящиеся электроды. Для изготовления неплавящихся электродов используют тугоплавкие материалы: вольфрам [9], синтетический графит или электротехнический уголь. Плавящиеся электроды изготавливают из углеродистой, легированной и высоколегированной сварочной проволоки [10], а также из алюминиевых сплавов, меди, никеля и других металлов.

В зависимости от типа источника питания сварочный ток может быть переменным или постоянным (выпрямленным). При сварке на постоянном токе различают прямую и обратную полярность сварочной дуги. От рода и полярности сварочного тока зависят устойчивость горения дуги, распределение температуры в столбе дуги, потери металла на разбрызгивание и другие характеристики процесса. При сварке на переменном токе значительно уменьшается нежелательное явление магнитного дутья, которое заключается в отклонении столба дуги под действием магнитных полей от сварочного тока или от ферромагнитных масс. Дуга на постоянном токе имеет более высокую тепловую эффективность и горит более устойчиво.

При прямой полярности электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки - к положительному, т. е. электрод является катодом. Температура катодного пятна на поверхности электрода составляет около 3000 °С, а в анодном пятне на поверхности изделия – 4000 °С. Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом выполняется на прямой полярности, чтобы температура на его поверхности не превышала температуру плавления вольфрама.

При обратной полярности электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к отрицательному. Электрод при этом является анодом, а изделие – катодом. В этом случае температура на свариваемых поверхностях уменьшается до 3000 °С, благодаря чему снижается вероятность сквозного проплавления при сварке тонкостенных изделий. При обратной полярности возникает эффект катодного распыления, или ионной бомбардировки, который заключается в том, что тяжелые положительные ионы, разгоняющиеся в электростатическом поле между электродом и изделием, соударяются с поверхностью свариваемых деталей и очищают ее от оксидов и других наслоений, препятствующих образованию межатомных связей.

Ручная дуговая сварка выполняется чаще всего плавящимся электродом, который, расплавляясь под действием высокой температуры электрической дуги, служит присадочным металлом для образования сварного шва.

2.2 Электроды для ручной дуговой сварки

Для ручной дуговой сварки применяются плавящиеся покрытые электроды и неплавящиеся электроды из вольфрама, графита или электротехнического угля. Плавящиеся покрытые электроды [11] представляют собой металлический стержень, имеющий на поверхности покрытие, адгезионно связанное с металлом электрода. Материалы, входящие в состав покрытия, обеспечивают устойчивое горение дуги, защиту зоны сварки от воздействия кислорода воздуха и влияют на металлургиче-

ские процессы в сварочной ванне. При сварке неплавящимся электродом необходимы дополнительные меры по защите зоны сварки и подаче присадочного металла.

Классификация покрытых металлических сварочных электродов дана в ГОСТ 9466-75 [11] и представлена в таблице 7. Стандартные электроды имеют диаметр стержня от 1,6 до 12 мм и длину от 200 до 450 мм.

Электроды подразделяются на типы по ГОСТ 9467-75 [12], ГОСТ 10051-75 [13], ГОСТ 10052-75 [14], и на марки по стандартам и техническим условиям. Типы электродов отличаются по свойствам и составу материала стержня. Марки представляют собой условные наименования в закодированном виде, присваиваемые электродам организацией-разработчиком. Марки различаются по составу покрытия, по назначению. Каждому типу электродов может соответствовать одна или несколько марок. Технологические свойства сварочных электродов зависят от состава покрытий.

Руднокислые электродные покрытия содержат окислы железа и марганца, кремнезём, большое количество ферромарганца, раскисляющего и легирующего сварочную ванну. Расплавленные оксиды образуют шлаковую корочку на поверхности сварного шва, защищающую металл от окисления. Газовую защиту зоны сварки обеспечивают органические компоненты покрытия, разлагающиеся при высокой температуре с образованием бескислородной атмосферы: целлюлоза, древесная мука, крахмал.

Рутиловые электродные покрытия состоят из диоксида титана TiO_2 , содержащегося в минерале с названием «рутил». Кроме этого в состав покрытия входят кремнезём, ферромарганец, карбонаты кальция или магния, создающие надёжную шлаковую защиту и поддерживающие устойчивое горение дуги.

Фтористо-кальциевые электродные покрытия содержат карбонатов кальция и магния, плавиковый шпат и ферросплавы.

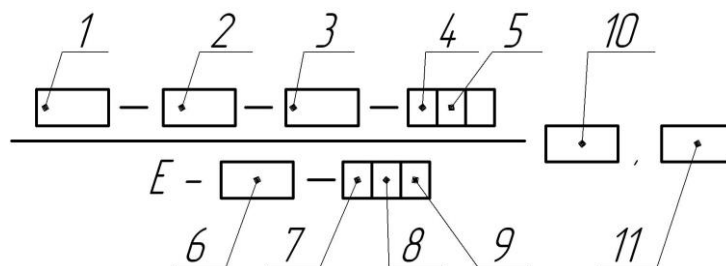
Органические электродные покрытия состоят из оксицеллюлозы, к которой добавлены шлакообразующие материалы, диоксид титана, силикаты и ферромарганец в качестве раскислителя и легирующей присадки.

Таблица 7 – Классификация покрытых электродов по ГОСТ 9466-75.

Признак классификации	Характеристика электродов	Условное обозначение
Назначение электродов	для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа	У
	для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа	Л
	для сварки легированных теплоустойчивых сталей	Т
	для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами	В
	для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами	Н
Толщина покрытия	с тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$, D – диаметр покрытия, d – диаметр металлического стержня)	М
	со средним покрытием ($1,20 < D/d \leq 1,45$)	С
	с толстым покрытием ($1,45 < D/d \leq 1,80$)	Д
	с особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$)	Г
Вид покрытия	кислое	А
	основное	Б
	рутиловое	Р
	целлюлозное	Ц
	кисло-рутиловое	АР
	рутилово-основное	РБ
	рутилово-целлюлозное	РЦ
	прочие (смешанные)	П
рутиловое с железным порошком	РЖ	

Продолжение таблицы 7

Признак классификации	Характеристика электродов	Условное обозначение
Допустимое пространственное положение сварки или наплавки	для всех положений	1
	для всех положений, кроме вертикального сверху вниз	2
	для положений нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх	3
	для нижнего и нижнего в лодочку	4
Род и полярность тока	переменный ток при напряжении холостого хода источника питания соответственно $U_{xx} = 50 \text{ В} / 70 \text{ В} / 90 \text{ В}$	1 / 4 / 7
	постоянный ток прямой полярности соответственно при $U_{xx} = 50 \text{ В} / 70 \text{ В} / 90 \text{ В}$	2 / 4 / 6
	постоянный ток обратной полярности соответственно при $U_{xx} = 50 \text{ В} / 70 \text{ В} / 90 \text{ В}$ или при любом напряжении	3 / 7 / 9 или 0



1 – тип электрода, 2 – марка, 3 – диаметр стержня, 4 – назначения электрода (по таблице 1), 5 – толщина покрытия (по таблице 1), 6 – группа индексов по ГОСТ 9467-75, 10051-75 или 10052-75, указывающие характеристики металла шва, 7 – вид покрытия (по таблице 1), 8 – допустимые пространственные положения сварки (по таблице 1), 9 – род и полярность тока (по таблице 1), 10 – стандарт на электроды ГОСТ 9466-75, 11 – стандарт на тип электрода (ГОСТ 9467-75, или 10051-75, или 10052-75)

Рисунок 7 – Структура условного обозначения покрытых электродов

Основные характеристики электродов содержатся в условном обозначении, которое указывается на этикетках, или в маркировках пачек и коробок с электродами. Структура условного обозначения приведена на рисунке 7, пример условного обозначения – на рисунке 8.

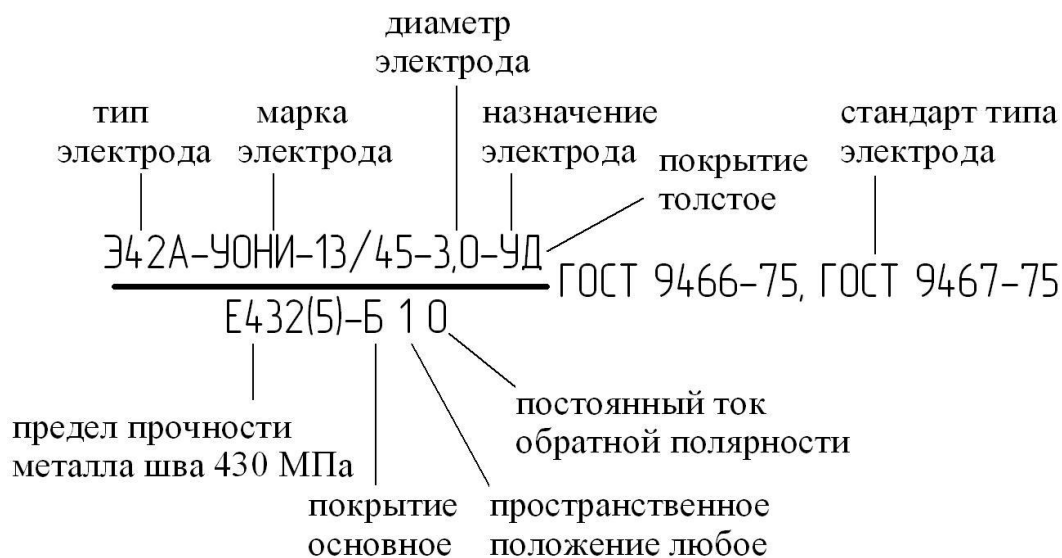


Рисунок 8 – Пример условного обозначения покрытых электродов

Стандартные типы и марки покрытых электродов различного назначения, а также условия их использования приведены в таблицах 8 – 12.

Таблица 8 – Типы и марки покрытых электродов по ГОСТ 9467-75

Назначение электродов	Типы электродов	Марки электродов
Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 500 МПа	Э38, Э42, Э46 и Э50 по ГОСТ 9467-75	MP-3, АНО-4, АНО-6, АНО-21, АНГ-1, ОМА-2, ВСЦ-4М, АНО-24, АНО-13, АНО-32, ОЗС-4, ОЗС-6, ОЗС-12, ОЗС-21, ВСЦ-4, ОЗС-23, ОЗС-30, ОЗС-32, ОЗС-41, АНО-29М, ОЗС-42, ВН-02-00, MP-3С, MP-3М, АНО-36

Продолжение таблицы 8

Назначение электродов	Типы электродов	Марки электродов
Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 500 МПа с повышенными требованиями к металлу шва	Э42А, Э46А и Э50А по ГОСТ 9467-75	УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, АНО-Д, ОЗС/ВНИИСТ-26, МТГ-01К, АНО-11, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, ВП-6, МТГ-02, ОЗС-18, ОЗС-25, ВН-48, ВН-48У, ОЗС-28, ОЗС-29, ДСК-50У, ИТС-4С, ОЗС-33, ТМУ-21У, ЦУ-4, ЦУ-5
Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности от 500 МПа до 600 МПа	Э55 и Э60 по ГОСТ 9467-75	УОНИ-13/65, АНО-ТМ60, ВИ-10-6, ВСФ-65У, ОЗС-24М, ОЗС/ВНИИСТ-27, МТГ-03
Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности выше 600 МПа	Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 по ГОСТ 9467-75	УОНИ-13/85, ВСЦ-60, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, НИАТ-3М, АНП-2, ОЗС-3, ВСФ-75У, ОЗШ-1, ВСФ-85, 48ХН-5
Сварка легированных теплоустойчивых сталей	Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ	ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ОЗС-11, ЦЛ-20, ЦЛ-17, ЦЛ-25, ЦЛ-39, ЦУ-2М, ЦЛ-55, ЦУ-2ХМ, ЦУ-5

Таблица 9 – Типы покрытых электродов для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами по ГОСТ 10052-75

Э-12Х13	Э-08Х19Н10Г2Б	Э-28Х24Н16Г6
Э-06Х13Н	Э-08Х20Н9Г2Б	Э-02Х19Н15Г4АМ3В2
Э-10Х17Т	Э-10Х17Н13С4	Э-02Х19Н18Г5АМ3
Э-12Х11НМФ	Э-08Х19Н10Г2МБ	Э-11Х15Н25М6АГ2
Э-12Х11НВМФ	Э-09Х19Н10Г2М2Б	Э-09Х15Н25М6Г2Ф
Э-14Х11НВМФ	Э-08Х19Н9Ф2С2	Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т
Э-10Х16Н4Б	Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ	Э-04Х16Н35Г6М7Б
Э-08Х24Н6ТАФМ	Э-09Х16Н8Г3М3Ф	Э-06Х25Н40М7Г2
Э-04Х20Н9	Э-09Х19Н11Г3М2Ф	Э-08Н60Г7М7Т
Э-07Х20Н9	Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Э-08Х25Н60М10Г2
Э-02Х21Н10Г2	Э-08Х24Н12Г3СТ	Э-02Х20Н60М15В3
Э-06Х22Н9	Э-10Х25Н13Г2	Э-04Х10Н60М24
Э-08Х16Н8М2	Э-12Х24Н14С2	Э-08Х14Н65М15В4Г2
Э-08Х17Н8М2	Э-10Х25Н13Г2Б	Э-10Х20Н70Г2М2В
Э-6Х19Н11Г2М2	Э-10Х28Н12Г2	Э-10Х20Н70Г2М2Б2В
Э-2Х20Н14Г2М2	Э-03Х15Н9АГ4	
Э-02Х19Н9Б	Э-10Х20Н9Г6С	

Таблица 10 – Типы покрытых электродов для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами по ГОСТ 10051-75

Э-10Г2	Э-35Х12В3СФ	Э-200Х29Н6Г2
Э-11Г3	Э-100Х12М	Э-30В8Х3
Э-12Г4	Э-120Х12Г2СФ	Э-80В18Х4Ф
Э-15Г5	Э-300Х28Н4С4	Э-90В10Х5Ф2
Э-16Г2ХМ	Э-320Х23С2ГРТ	Э-30Х5В2Г2СМ
Э-30Г2ХМ	Э-320Х25С2ГР	Э-65Х25Г13Н3
Э-35Г6	Э-350Х26Г2Р2СТ	Э-105В6Х5М3Ф3

Продолжение таблицы 10

Э-37Х9С2	Э-225Х10Г10С	Э-90Х4М4ВФ
Э-70Х3СМТ	Э-08Х17Н8С6Г	Э-10М9Н8К8Х2СФ
Э-80Х4С	Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	Э-10К15В7М5Х3СФ
Э-95Х7Г5С	Э-09Х31Н8АМ2	Э-10К18В11М10Х3СФ
Э-65Х11Н3	Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	Э-110Х14В13Ф2
Э-24Х12	Э-15Х15Н10С5М3Г	Э-175Б8Х6СТ
Э-20Х13	Э-15Х28Н10С3ГТ	Э-190К62Х29В5С2
Э-35Х12Г2С2	Э-15Х28Н10С3М2ГТ	

Таблица 11 – Марки электродов для цветных сплавов и чугунов

Назначение электродов	Марки электродов
Электроды для сварки и наплавки конструкционных чугунов по ГОСТ 30430-96	ЭЧ-1, ЭЧ-2, ЭВЧ-1, ЦЧ-5, ЦЧ-4, МНЧ-2, ОЗЖН-1, ОЗЧ-2, ОЗЧ-6, ОЗЖН-2, ОЗЧ-3, ОЗЧ-4, ОР-601
Электроды для сварки алюминия и его сплавов	ОЗА-1, ОЗА-2, ОЗАНА-1, ОЗАНА-2, УАНА-1, УАНА-6
Электроды для сварки меди и ее сплавов	ОЗБ-2М, ОЗБ-3, АНЦ/ОЗМ-2, АНЦ/ОЗМ-3, АНЦ/ОЗМ-4, Комсомолец-100
Электроды для сварки никеля и его сплавов	ОЗЛ-32, В-56У
Электроды для резки и строжки металлов	ОЗР-1, ОЗР-2
Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся по ГОСТ 23949-80	ЭВЧ, ЭВЛ, ЭВИ-1, ЭВИ-2, ЭВИ-3, ЭВТ-15
Электроды угольные сварочные	ВДК, ВДЦ, СК

Таблица 12 – Условия сварки с использованием некоторых типов и марок покрытых электродов

Тип электрода	Марки электродов	Род тока, полярность	Пространственное положение
Э-42	АНО-5, АНО-6	Постоянный, любая полярность;	Любое
Э-42	УОНИ 13-45	Постоянный, обратная полярность;	Любое
	СМ-11, УП 1/45	Постоянный, обратная полярность; переменный	
Э-46	АНО-3, АНО-4	Постоянный, любая полярность; переменный	Нижнее
	МР-3, ОЗС-4	Постоянный, обратная полярность; переменный	Нижнее
Э-46А	АНО-8	Постоянный, обратная полярность; переменный	Нижнее
Э-50А	УОНИ 13/55	Постоянный, обратная полярность;	Любое
	ДСК-50, УП-2/55Ц	Постоянный, обратная полярность	
Э-60	УОНИ 13/65	Постоянный, обратная полярность;	Любое
Э-70	ЛКЗ-70	Постоянный, обратная полярность; переменный	Нижнее

2.3 Расчет режимов ручной дуговой сварки

Режим ручной дуговой сварки характеризуется следующими параметрами:

- диаметр электрода;
- сварочный ток;
- напряжение дуги;
- скорость сварки;
- количество проходов при сварке многослойных швов.

Исходными данными для определения режимов сварки являются:

- группа и марка свариваемого материала;
- толщина свариваемых деталей;
- тип сварного соединения;
- тип и размеры сварного шва по конструкторской документации;
- положение шва в пространстве;
- форма разделки свариваемых кромок.

Диаметр электрода $d_э$ мм, рассчитывается по формуле

$$d_э = h_p^{0,7} + K_d^{III}, \quad (1)$$

где h_p – расчетная глубина проплавления, мм;

K_d^{III} – коэффициент, учитывающий пространственное положение шва.

Расчетная глубина проплавления h_p , мм, рассчитывается в зависимости от толщины свариваемых деталей S , мм, и вида шва:

- $h_p = 1,2 \cdot S$ – для углового шва;
- $h_p = S$ – для стыкового шва без разделки кромок;
- $h_p = 0,8 \cdot S$ – для стыкового двухстороннего шва без разделки кромок;
- $h_p = 0,7 \cdot S$ – для стыкового шва с V-образной или U-образной разделкой;

- $h_p = 0,5 \cdot S$ – для стыкового шва с X-образной или U-образной двухсторонней разделкой кромок.

Коэффициент, учитывающий пространственное положение шва, принимается:

- $K_d^{III} = 1$ – при сварке в нижнем положении;

- $K_d^{III} = 0,5$ – для вертикальных, горизонтальных и потолочных швов.

Рассчитанный диаметр электрода округляется до стандартного значения из следующего ряда: 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6 мм.

При определении диаметра электрода для ручной дуговой сварки следует придерживаться рекомендаций:

- при сварке вертикальных швов $d_э \leq 4..5$ мм;

- при сварке горизонтальных и потолочных швов $d_э \leq 4$ мм;

- при подварке корня шва $d_э \leq 3..4$ мм.

Род и полярность сварочного тока назначается с учетом характеристик свариваемости материала изделия и типа имеющихся источников питания сварочной дуги. Сварочный ток $I_{св}$, А, зависит от диаметра и типа электрода, состава покрытия, положения шва и рассчитывается по формуле

$$I_{св} = K_I^{ТП} \cdot K_I^{III} \cdot d_э^{1,4}, \quad (2)$$

где $K_I^{ТП}$ – коэффициент типа покрытия;

K_I^{III} – коэффициент положения шва;

$d_э$ – диаметр электрода, мм.

Коэффициент типа покрытия принимается:

- $K_I^{ТП} = 20 \pm 3$ – для основного покрытия;

- $K_I^{ТП} = 25 \pm 5$ – для рутилового покрытия.

Коэффициент положения шва принимается:

- $K_I^{III} = 1,00$ – для швов в нижнем положении;

- $K_I^{III} = 0,76...0,78$ - для вертикальных швов;

- $K_I^{III} = 0,85...0,92$ - для горизонтальных и потолочных швов.

В таблице 9 приведены рекомендации отраслевого стандарта [16] по назначению величины сварочного тока в зависимости от марки и диаметра электрода в различных пространственных положениях.

Таблица 13 – Величина сварочного тока при ручной дуговой сварке

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А, при ручной дуговой сварке		
		в нижнем положении	вертикальных швов	потолочных швов
АНО-6	3	100-150	90-120	90-120
	4	160-210	150-180	130-180
	5	180-270	150-180	-
	6	280-350	-	-
АНО-5	4	160-230	130-160	130-160
	5	190-300	130-170	-
	6	270-380	-	-
УОНИ 13-45 УОНИ 13/55	3	80-100	60-80	70-90
	4	130-160	100-130	120-140
	5	170-200	140-160	-
	6	210-240	-	-
СМ-11 ДСК-50	3	100-130	90-130	90-110
	4	160-200	140-180	140-180
	5	220-240	180-220	-
УП-1/45	3	100-130	100-130	90-110
	4	140-160	140-160	140-160
	5	160-250	160-210	-

Продолжение таблицы 13

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А, при ручной дуговой сварке		
		в нижнем положении	вертикальных швов	потолочных швов
АНО-3	3	100-140	90-110	100-120
АНО-4	4	170-200	140-160	140-170
	5	200-270	150-170	-
	6	270-320	-	-
МР-3	4	160-200	140-180	140-180
	5	180-260	160-200	-
	6	280-320	-	-
ОЗС-4	3	90-100	80-90	80-90
	4	100-180	150-160	150-160
	5	200-250	170-180	-
УП-2/55Ц	3	90-120	90-120	90-120
	4	140-160	140-160	140-160
	5	160-250	120-160	-
	6	250-300	-	-
УОНИ 13/65	3	80-100	60-80	60-80
	4	130-150	90-100	100-120
	5	170-200	-	-
	6	210-240	-	-
ЛКЗ-70	3	80-100	-	-
	4	130-160	-	-
	5	170-200	-	-

Напряжение дуги зависит от длины дуги, характеристик покрытия и стержня электрода, от пространственного положения шва. Приближенный расчет напряжения дуги U_0 , В, выполняется по формулам:

- для электродов с основным покрытием

$$U_{\partial} = 12 + 0,36 \cdot \frac{I_{св}}{d_{\partial}}, \quad (3)$$

- для электродов с рутиловым покрытием

$$U_{\partial} = 12 + 1,7 \cdot \frac{I_{св}}{d_{\partial}^2}, \quad (4)$$

где $I_{св}$ – сварочный ток, А;

d_{∂} – диаметр электрода, мм.

2.3.4 Количество проходов n_{np} при сварке многопроходных швов равно отношению

$$n_{np} = \frac{F_{шв}}{F_{np}}, \quad (5)$$

где $F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва, мм²;

F_{np} – площадь поперечного сечения валика, накладываемого за один проход, мм².

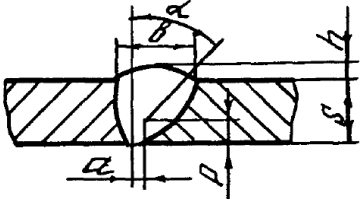
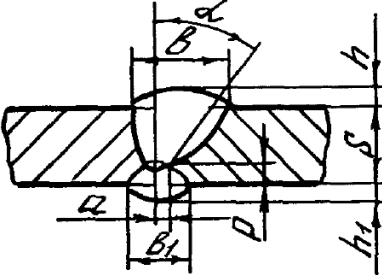
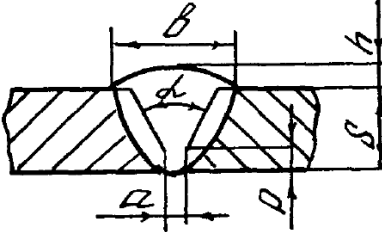
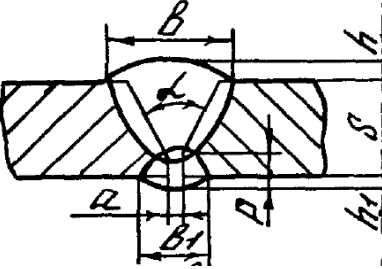
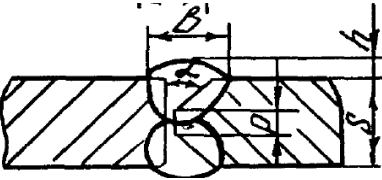
Площадь сечения одного валика F_{np} , мм², приближенно вычисляется по формуле

$$F_{np} = (8...10) \cdot d_{\partial}, \quad (6)$$

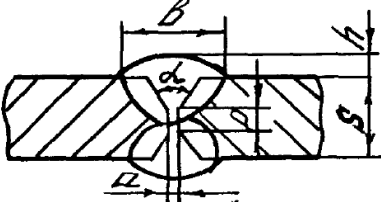
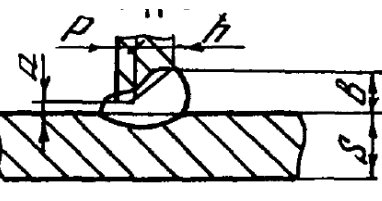
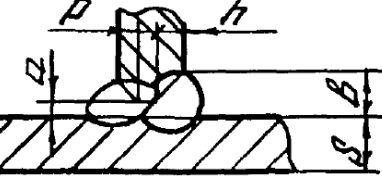
где d_{∂} – диаметр электрода, мм.

Расчет площади поперечного сечения шва $F_{шв}$ может быть выполнен по формулам, приведенным в таблице 14 [16].

Таблица 14 – Расчет площади поперечного сечения сварных швов

Тип сварного соединения	Условное обозначение соединения	Формула для расчета площади поперечного сечения
	C8	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot b \cdot h$
	C12	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot (b \cdot h + b_1 \cdot h_1)$
	C17	$F = S \cdot a + (S - p)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 0,75 \cdot b \cdot h$
	C21	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 0,75 \cdot (b \cdot h + b_1 \cdot h_1)$
	C15	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \alpha + 1,5 \cdot b \cdot h$

Продолжение таблицы 14

Тип сварного соединения	Условное обозначение соединения	Формула для расчета площади поперечного сечения
	С25	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 1,5 \cdot b \cdot h$
	Т6, Т7	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot b \cdot h + 7,65$
	Т8	$F = S \cdot a + \frac{(S - p)^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \alpha + 1,56 \cdot h$

Скорость перемещения дуги вдоль шва называется скоростью сварки. Скорость сварки $V_{св}$, м/ч, вычисляется по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\rho \cdot F_{шв}}, \quad (7)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч;

$I_{св}$ – сварочный ток, А;

ρ – плотность металла шва, г/см³;

$F_{шв}$ – площадь поперечного сечения одного валика, мм².

Коэффициент наплавки α_n определяется по результатам испытаний электродов и указывается на упаковке. Значения коэффициента наплавки для некоторых марок электродов приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики покрытых электродов

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, α_n , г/А·ч	Коэффициент расхода электродов K_3
Э42	ОМА	10...11	1,45
Э42А	УОНИИ 13/45	8,5	1,6
Э46	АНО-3	8,5	1,6
Э46	МР-3	7,8	1,7
Э46	ОЗС-6	10,5	1,6
Э50	ДСК-50	10,0...11,0	1,4
Э50А	АНО-9	10,0	1,7
Э50А	УОНИИ 13/55	8,5...9,0	1,7

Масса наплавленного при ручной дуговой сварке металла m_n , г, вычисляется по формуле

$$m_n = \frac{F_{ув} \cdot l \cdot \rho}{1000}, \quad (8)$$

где $F_{ув}$ – площадь поперечного сечения шва, мм²;

l – длина шва, мм;

ρ – плотность металла шва, г/см³.

Основное время сварки t_o , мин, равное времени горения дуги, рассчитывается по формуле

$$t_o = \frac{60 \cdot l}{1000 \cdot V_{св}} = \frac{60 \cdot m_n}{I_{св} \cdot \alpha_n}, \quad (9)$$

где l – длина шва, мм;
 $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч;
 m_n – масса наплавленного металла, г;
 $I_{св}$ – сварочный ток, А;
 α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Полное операционное время сварки T_{on} , мин, приближенно определяется по формуле

$$T_{on} = \frac{t_o}{K_n}, \quad (10)$$

где t_o – основное время сварки, мин;

$K_n \approx 0,5 \dots 0,55$ – коэффициент использования сварочного поста для ручной дуговой сварки, учитывающий увеличение времени на подготовку рабочего места, настройку оборудования, смену электродов и т. п.

Расход электродов на выполнение сварного шва $m_э$, кг, определяется по формуле

$$m_э = \frac{m_n \cdot K_э}{1000}, \quad (11)$$

где $K_э$ – коэффициент расхода электродов по таблице 8.

Расход электроэнергии A , кВт·ч, на выполнение сварного шва рассчитывается по формуле

$$A = \frac{U_d \cdot I_{св} \cdot t_o}{1000 \cdot \eta} + W_o \cdot \frac{T_{on} - t_o}{60}, \quad (12)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги;

W_o - мощность, потребляемая источником питания на холостом ходу при отсутствии сварочной дуги, кВт

T_{on} - полное время сварки, мин;

t_o - основное время сварки, мин.

Сварочные источники переменного тока имеют высокий КПД и потребляют небольшую мощность на холостом ходу:

$$\eta = 0,8 \dots 0,9, \quad W_o = 0,2 \dots 0,4 \text{ кВт.}$$

Сварочные выпрямители постоянного тока имеют пониженный КПД и более высокую мощность на холостом ходу из-за нагрева выпрямительных диодов и необходимости их охлаждения вентиляторами с электродвигателями:

$$\eta = 0,6 \dots 0,7, \quad W_o = 2,0 \dots 3,0 \text{ кВт.}$$

2.4 Технологическое оборудование для ручной дуговой сварки

Выбор технологического оборудования является одной из задач технологической подготовки производства.

Для ручной дуговой сварки применяются сварочные аппараты переменного тока, сварочные выпрямители и инверторные источники питания для питания сварочной дуги постоянным током прямой или обратной полярности. Источники питания, предназначенные для ручной дуговой сварки, должны удовлетворять следующим требованиям:

- безопасный уровень напряжения холостого хода;
- возможность работы с частыми короткими замыканиями без нарушения работоспособности, ток короткого замыкания ограничивается величиной $1,5 \cdot I_{св \text{ max}}$;

- падающая вольтамперная характеристика, обеспечивающая стабильное горение сварочной дуги;

- мощность, достаточная для нагрева и плавления электрода и свариваемых кромок с достаточной производительностью.

Основные характеристики промышленных источников питания для ручной дуговой сварки приведены в таблицах 16 – 18.

Таблица 16 – Характеристики сварочных аппаратов переменного тока

Тип источника питания	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	Напряжение холостого хода, В	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность нагрузки (ПН), %
ТДМ-166	160	4-160	70	8,5	25
ТДМ-253Т	250	30-250	70	12	40
ТДМ-306	315	70-320	70	18	60
ТДМ-506	500	100-500	70	35	100
СТЭ-24У	500	100-500	65	23	65
СТЭ-34У	700	150-700	60	30	65
ТС-300	300	110-385	68	30	65
ТС-500	500	165-650	60	32	65
СТШ-300	300	110-405	63	20	60

Таблица 17 – Характеристики сварочных выпрямителей для ручной дуговой сварки

Тип источника питания	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	Напряжение холостого хода, В	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность нагрузки (ПН), %
Однопостовые					
ВД-201	200	30-200	70	15	60
ВД-306	315	45-315	70	21	60
ВД-401	400	50-450	80	28	60
ВД-502	500	50-500	80	42	60
Тиристорные с регулируемой вольтамперной характеристикой					
ВДУ-305	315	20-315	70	23	60
ВДУ-504-1	500	60-500	80	40	60
Многопостовые с балластными реостатами РБ-301, РБ-501					
ВДМ-1001УЗ	1000	-	60	89	60
ВДМ-1601	1600	-	60	122	60

Таблица 18 – Характеристики инверторных сварочных аппаратов для ручной дуговой сварки

Тип источника питания	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	Напряжение холостого хода, В	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность нагрузки (ПН), %
ИТС-200	200	10-205	12	6,6	60
CST-280	280	5-280	77	10,2	35
Энергия САИ-220	220	30-220	68	6,5	60

Продолжение таблицы 18

Тип источника питания	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	Напряжение холостого хода, В	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность нагрузки (ПН), %
Форсаж-161	160	15-160	55-70	5,5	50
ИНЭУМ-180Т	180	10-180	85	5,5	100
ИНЭУМ-220	220	10-220	24	7,0	70
ИНЭУМ-240Т	240	5-240	55	8,0	70
Техно-трон ДС 250.33	250	5-250	12	12	70

Источники питания сварочной дуги комплектуются электрическим кабелем с электрододержателем и кабелем с зажимом для присоединения к свариваемому изделию. Электрододержатель является основным инструментом сварщика. Конструкция электрододержателя должна обеспечивать замену электрода в течение не более 4 с, надежное закрепление электрода и присоединение кабеля. Выпускаются серии электрододержателей ЭД, ЭП, ЭДС, ЭДУ, различающиеся по конструкции. На рисунке 9 представлена конструкция электрододержателя пассатижного типа серии ЭП. В эту серию входят два типоразмера электрододержателей: ЭП-2 для электродов диаметром 5 мм и менее, с номинальным сварочным током 250 А и ЭП-3 для электродов диаметром 6-8 мм с номинальным током 500 А.

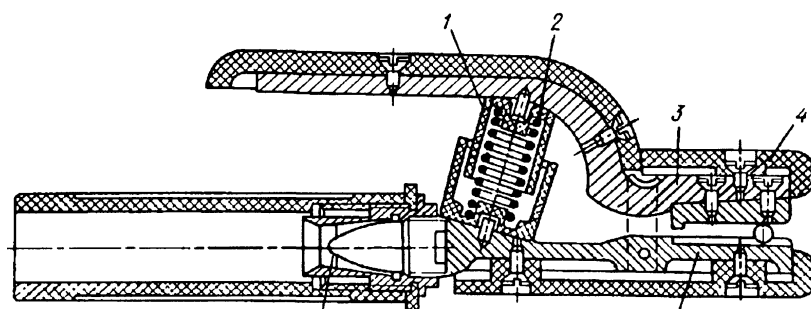


Рисунок 9 – Конструкция электрододержателя серии ЭП

Для индивидуальной защиты сварщика от брызг расплавленного металла и ультрафиолетового излучения дуги служат щитки защитные лицевые, изготовленные из диэлектрического негорючего материала, снабженные светофильтром (рисунок 10). Требования к ним определены стандартом ГОСТ 12.4.035-78 «Щитки защитные лицевые для электросварщиков».



Рисунок 10 – Защитный щиток для электросварщика

3 Автоматическая сварка под флюсом

3.1 Сущность процесса сварки под флюсом

Автоматическая дуговая сварка под флюсом выполняется плавящимся электродом, в качестве которого используется сварочная проволока сплошного сечения, порошковая проволока, а в некоторых случаях лента толщиной 2 мм и шириной до 40 мм. Электрическая дуга горит между электродом и свариваемым под слоем флюса. Сварочный ток может быть переменным и постоянным, прямой и обратной полярности.

Сварочный флюс представляет собой гранулированное сыпучее вещество с размером частиц от 0,25 до 3 мм, предназначенное для защиты зоны сварки от воздействия кислорода и других атмосферных газов. При автоматической сварке флюс подается из бункера по трубопроводу перед электродом на свариваемые кромки и образует на поверхности изделия слой толщиной до 40-80 мм и шириной до 40-100 мм (рисунок 11). Под действием высокой температуры дуги происходит плавление, частичное испарение и разложение флюса, в результате чего образуется газовое ионизированное облако, поддерживающие стабильное горение дуги, и слой расплавленного шлака на поверхности сварочной ванны. При перемещении сварочной дуги вдоль шва происходит охлаждение кристаллизация металла сварочной ванны и расплавленного флюса, который образует на поверхности сварного шва хрупкую легко удаляемую шлаковую корку. Нерасплавившаяся часть флюса на расстоянии 250-300 мм от дуги собирается с поверхности изделия пневмовакуумным устройством и возвращается в бункер.

Благодаря давлению жидкого слоя флюса на расплавленный металл сварочной ванны улучшается формирование шва, уменьшаются потери на разбрызгивание и угар. Повышение тока при сварке открытой дугой более 500-600 А приводит к резкому увеличению разбрызгивания и ухудшению формирования шва. Сварка под флюсом позволяет увеличить сварочный ток до 3000-4000 А с минимальными потерями металла и получением качественного шва.

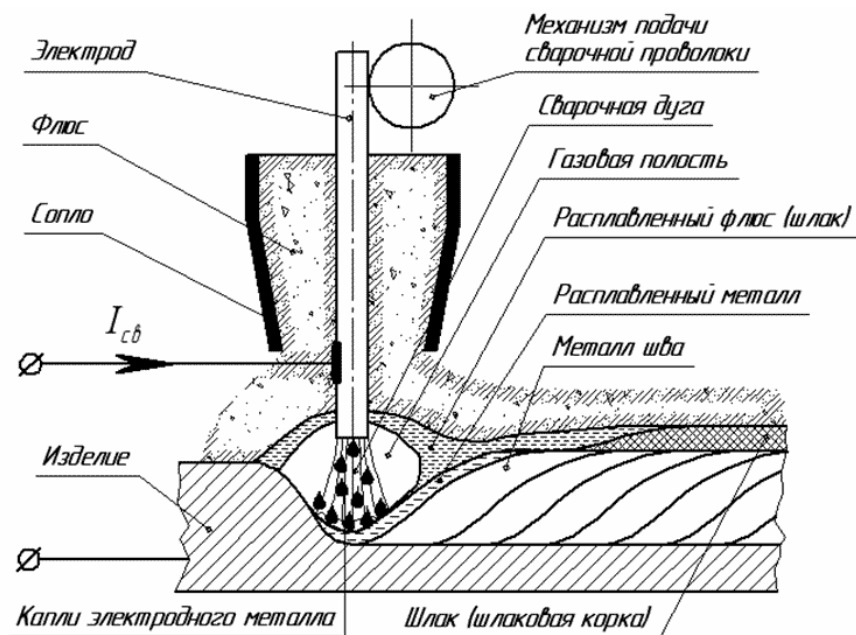


Рисунок 11 – Схема сварки под флюсом

Компоненты сварочного флюса при расплавлении смешиваются с металлом сварочной ванны, что позволяет использовать их в качестве раскислителей и легирующих добавок.

Таким образом, сварочный флюс выполняет следующие функции:

- защита расплавленного металла сварочной ванны и зоны сварки от действия атмосферных газов;
- защита от окисления поверхности остывающего
- стабилизация горения сварочной дуги;
- улучшение условий формирования шва;
- уменьшение потерь тепла и повышение эффективного КПД сварочной дуги;
- уменьшение потерь электродного металла на угар и разбрызгивание;
- раскисление расплавленного металла сварочной ванны;
- легирование металла шва.

Преимущества сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой:

- высокий тепловой КПД;
- высокий коэффициент наплавки;

- высокая производительность процесса благодаря применению больших сварочных токов;
- минимальные потери металла на угар и разбрызгивание.

Недостатком процесса сварки под флюсом является возможность сварки швов только в нижнем положении с допустимым наклоном свариваемой поверхности не более 15°.

3.2 Состав сварочных флюсов

Сварочные флюсы по способу изготовления делятся на плавленные и неплавляемые.

Плавленные флюсы получают сплавлением компонентов и грануляцией в процессе охлаждения. Основу плавляемых флюсов составляют шлакообразующие и раскисляющие компоненты – оксиды кремния, марганца, кальция, алюминия. Исходными материалами являются марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем. Производство флюса включает размалывание компонентов до порошкообразного состояния, смешивание в заданных соотношениях, плавление в газовых или электродуговых печах и грануляцию. Основным способом грануляции является слив расплавленного флюса в проточную воду, в результате чего он охлаждается с высокой скоростью и растрескивается на мелкие частицы. Полученные гранулы отделяют от воды, сушат и просеивают через сита для разделения на фракции по размерам зерен.

Флюсы сварочные плавляемые выпускаются по ГОСТ 9087-81 [15] и применяются главным образом в процессах автоматической сварки. Марки стандартных плавляемых флюсов: АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-8, АН-15М, АН-17М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-22, АН-42, АН-26С, АН-26СП, АН-26П, АН-43, АН-47, АН-60, ФЦ-9, АН-65, ОСЦ-45П. Буква М в конце обозначения марки флюса означает «мелкозернистый» с размером частиц менее 1 мм.

Состав стандартных плавяных флюсов представлен в таблице 19.

Таблица 19 - Состав сварочных плавяных флюсов, %

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O и K ₂ O	CaF ₂	Fe ₂ O ₃
АН-348-А	41 - 44	34 - 38	6,5	5 - 7,5	4,5	-	4 - 5,5	2
ОСЦ-45	38 - 44	38 - 44	6,5	2,5	5	-	6 - 9	2
АН-348-АМ	41 - 44	34 - 38	6,5	4,5	4,5	-	3,5 - 4,5	2
ОСЦ-45М	38 - 44	38 - 44	6,5	2,5	5,0	-	6 - 9	2
АН-60	42,5 - 46,5	36 - 41	3 - 11	0,8 - 3	5,0	-	5 - 8	1,5
ФЦ-9	38 - 41	38 - 41	6,5	2,5	10 - 13	-	2 - 3	2
АН-8	33 - 36	21 - 26	1 - 7	5 - 7,5	11 - 15	-	13 - 19	1,5 - 3,5
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П	19 - 24	0,5	3 - 9	9 - 13	27 - 32	2-3	25 - 33	1
АН-22	18 - 21,5	7 - 9	12 - 15	11,5 - 15	19 - 23	1-2	20 - 24	1
АН-26С, АН-26СП, АН-26П	29 - 33	2,5 - 4	4 - 8	15 - 18	19 - 23	-	20 - 24	1,5

Флюсы марок АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, АН-8, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60 и ФЦ-9 предназначены для механизированной сварки и наплавки конструкционных нелегированных и низколегированных сталей низкоуглеродистой

и низколегированной сварочной проволокой. Флюс марки АН-8 применим также для электрошлаковой сварки сталей. Флюсы марок АН-15М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ и АН-20П применяются для автоматической сварки и наплавки среднелегированных и высоколегированных сталей. Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей. Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и полуавтоматической сварке коррозионностойких и жаропрочных сталей. Флюсы марок АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности. Буквой М в конце маркировки обозначаются флюсы мелкой грануляции, размер частиц которых составляет от 0,25 до 1 мм.

При расплавлении флюса происходит диссоциация его компонентов. Входящий в состав флюса марганец восстанавливает железо из оксидов, связывает серу, образуя сульфиды MnS , уходящие в шлак, и повышает прочность металла шва за счет легирования. Кремний является хорошим раскислителем и способствует снижению пористости шва благодаря подавлению процесса образования оксида углерода.

Неплавленные флюсы изготавливаются из смеси порошкообразных компонентов с водным раствором жидкого стекла в качестве связующего. Из пастообразной смеси в специальных грануляторах изготавливаются шарообразные гранулы, поступающие затем на сушку и прокалку. В состав исходных материалов входят кремнезем, марганцевая руда, плавиковый шпат, а также ферросплавы, порошки металлов, легирующие элементы (таблица 20). Преимуществом неплавленных флюсов является лучшее раскисление и легирование металла шва благодаря более сложному составу по сравнению с плавными. Это позволяет использовать сварочную проволоку из низкоуглеродистой стали простого состава.

К неплавленным относятся магнитные флюсы, содержащие железный порошок. Гранулы магнитного флюса притягиваются магнитным полем сварочного тока дуги. Это способствует уплотнению и удержанию слоя флюса на наклонных поверхностях, обеспечивает возможность качественной сварки вертикальных швов. Часть

железного порошка плавится и переходит в сварочную ванну, что повышает производительность процесса.

Недостатком неплавленных флюсов является их гигроскопичность, требующая герметичности упаковки и просушки перед использованием. Для получения качественного легирования металла шва необходимо точное соблюдение режима сварки.

Таблица 20 - Состав неплавленных (керамических) флюсов

Компоненты	Марка флюса			
	К-2	КС-1	КВС-9	К-11
Алюминиевая пудра	-	-	2 %	-
Диоксид титана	-	15 %	-	-
Жидкое стекло	13 %	15 %	15-17 %	17 %
Кварцевый песок	-	-	30 %	20 %
Марганцевая руда	-	-	54 %	60 %
Мрамор	-	57,7 %	-	-
Плавленый шпат	10 %	20 %	7 %	10 %
Полевой шпат	13 %	-	-	-
Титановый концентрат	55 %	-	-	-
Ферромарганец	14 %	0,5 %	-	-
Ферросилиций	8 %	0,8 %	7 %	10 %
Ферротитан	-	6 %	-	-

3.3 Расчет режимов сварки под флюсом

Сварка низкоуглеродистых сталей под флюсом выполняется постоянным током обратной полярности или переменным током. Диаметр электродной проволоки $d_э$ выбирается в зависимости от толщины свариваемых изделий, сила сварочного тока $I_{св}$ зависит от типа соединения (таблица 21). Вылет электродной проволоки принимается от 30 до 60 мм, при этом более высокие его значения соответствуют большему диаметру проволоки и силе тока.

Таблица 21 – Режимы сварки под флюсом низкоуглеродистых сталей

Тип соединения	Толщина металла или катет шва	Диаметр сварочной проволоки $d_э$, мм	Сварочный ток $I_{св}$, А	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч
Стыковое без разделки	4	3	700	70
Стыковое одностороннее	8	4	850	55
Стыковое на подкладке	12	5	1000	40
Стыковое двухстороннее	8	4	500	60
	12	5	700	45
	16	5	900	30
Угловое	6	2	350	45
Угловое в «лодочку»	8	2	450	35
	10	2	500	30
	12	3	600	25
Угловое «в угол»	4	4	500	60
	6	4	650	50
	8	4	700	35

Приведенные в таблице 21 параметры режимов сварки являются ориентировочными. Для настройки автоматического сварочного оборудования необходимо определять режимы сварки расчетным путем.

Сварочный ток $I_{св}$, А, рассчитывается по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2 \cdot i}{4}, \quad (13)$$

где $d_э$ - диаметр электродной проволоки, мм;

i – плотность сварочного тока, А/мм².

При сварке под флюсом выбирается плотность тока i от 40 до 50 А/мм², обеспечивающая глубокое проплавление.

При сварке постоянным током обратной полярности глубина проплавления примерно на 40 % - 50 % больше, чем при сварке постоянным током прямой полярности. При сварке переменным током глубина проплавления на 15 % - 20 % меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности. Влияние рода и полярности тока объясняется выделением различного количества теплоты на аноде и катоде. Влияние силы тока и диаметра электродной проволоки на проплавление при сварке низкоуглеродистой стали под флюсом АН-348А представлено в таблице 22.

Таблица 22 – Выбор силы и плотности сварочного тока при сварке под флюсом в зависимости от глубины проплавления (флюс АН348А, сварочная проволока Св-08)

Параметры режима	Диаметр электродной проволоки, мм	Глубина проплавления, мм						
		3	4	5	6	8	10	12
Плотность сварочного тока, А/мм ²	2	64	104	127	143	157	200	224
	3	43	50	57	71	89	107	127
	4	29	35	40	44	53	64	73
	5	23	26	28	31	37	42	47

Продолжение таблицы 22

Параметры режима	Диаметр электродной проволоки, мм	Глубина проплавления, мм						
		3	4	5	6	8	10	12
Сварочный ток, А	2	200	300	350	400	500	600	700
	3	300	350	400	500	625	750	875
	4	375	425	500	550	675	800	925
	5	450	500	550	600	725	825	930

Расчет скорости подачи электродной проволоки V_{np} , м/ч, выполняется по формуле

$$V_{np} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2 \cdot \rho}, \quad (14)$$

где α_p – коэффициент расплавления металла, г/А·ч;

$I_{св}$ - сварочный ток, А;

$d_э$ - диаметр электродной проволоки, мм;

ρ - плотность металла электродной проволоки, г/см³.

Коэффициент расплавления α_p , г/А·ч, при сварке под флюсом зависит от рода сварочного тока и вычисляется по формулам:

для переменного тока

$$\alpha_p = 7,0 + 0,04 \cdot \frac{I_{св}}{d_э}, \quad (15)$$

для постоянного тока прямой полярности

$$\alpha_p = 2,0 + \sqrt{\frac{I_{св}}{d_э}}, \quad (16)$$

для постоянного тока обратной полярности

$$\alpha_p = 11...12 \text{ г/А}\cdot\text{ч}. \quad (17)$$

Скорость сварки $V_{св}$, м/ч, вычисляется по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_{шв} \cdot \rho}, \quad (18)$$

где α_n – коэффициент наплавки металла, г/А·ч;

$F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва, определяемая по таблице 10, или площадь поперечного сечения валика, укладываемого за один проход при сварке многослойных швов, мм²;

ρ – плотность металла сварного шва, г/см³.

Коэффициент наплавки металла α_n , г/А·ч, вычисляется по формуле

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi), \quad (19)$$

где $\Psi = 0,02 \dots 0,03$ – коэффициент потерь металла на разбрызгивание и угар при сварке под флюсом.

Масса наплавленного при сварке под флюсом металла m_n , г, вычисляется по формуле

$$m_n = \frac{F_{шв} \cdot l \cdot \rho}{1000}, \quad (20)$$

где $F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва, мм²;

l – длина шва, мм;

ρ – плотность металла шва, г/см³.

Расход сварочной проволоки на выполнение сварного шва $m_э$, кг, определяется по формуле

$$m_э = \frac{m_n \cdot (1 + \Psi)}{1000}, \quad (21)$$

где m_n – масса наплавленного металла, г;

Ψ – коэффициент потерь металла.

Расход флюса на 1 метр сварного шва, $m_ф$, г/пог. м, определяется по формуле

$$m_ф = \frac{(U_d - 1,8) \cdot 780}{V_{св}}, \quad (22)$$

где U_d – напряжение дуги, В;

$V_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

Напряжение на дуге при сварке под флюсом устанавливается в зависимости от величины сварочного тока, диаметра электродной проволоки и других параметров. Ориентировочные значения напряжения дуги приведены в таблице 23.

Основное время сварки t_o , мин, равное времени горения дуги, определяется по формуле

$$t_o = \frac{60 \cdot l}{1000 \cdot V_{св}} = \frac{60 \cdot m_n}{I_{св} \cdot \alpha_n}, \quad (23)$$

где l – длина шва, мм;
 $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч;
 m_n – масса наплавленного металла, г;
 $I_{св}$ – сварочный ток, А;
 α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Таблица 23 - Напряжение дуги при сварке под флюсом

Сварочный ток $I_{св}$, А	Напряжение дуги U_d , В	
	при диаметре электрода $d_э = 2$ мм	при диаметре электрода $d_э = 5$ мм
180-300	32-34	-
300-400	32-34	-
500-600	36-40	-
600-700	-	38-40
700-850	-	40-42
850-1000	-	40-43
1000-1200	-	40-44

Полное операционное время сварки под флюсом $T_{он}$, мин, определяется по формуле

$$T_{он} = \frac{t_o}{K_n}, \quad (24)$$

где t_o – основное время сварки, мин;

$K_n \approx 0,6 \dots 0,7$ – коэффициент использования сварочного оборудования для дуговой сварки под флюсом, учитывающий время на подготовку рабочего места, настройку оборудования, смену расходных материалов и т. п.

Расход электроэнергии А, кВт·ч, на выполнение сварного шва рассчитывается по формуле

$$A = \frac{U_{\partial} \cdot I_{cs} \cdot t_o}{1000 \cdot \eta} + W_o \cdot \frac{T_{on} - t_o}{60}, \quad (25)$$

где η - КПД источника питания сварочной дуги;

W_o - мощность, потребляемая источником питания на холостом ходу без сварочной дуги, кВт;

T_{on} - полное время сварки, мин;

t_o - основное время сварки, мин.

КПД источников питания постоянного тока составляет от 0,6 до 0,7; источников переменного тока – от 0,8 до 0,9. Мощность холостого хода источника постоянного тока приблизительно равна от 2 до 3 кВт, источника переменного тока – от 0,2 до 0,4 кВт.

3.4 Оборудование для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом

Сварка под флюсом выполняется в автоматическом режиме с применением сварочных автоматов. Сварочные автоматы обеспечивают выполнение без участия человека следующих действий:

- возбуждение дуги в начале шва;
- подача электродной проволоки с поддержанием определенной длины дуги по мере оплавления плавящегося электрода;
- подача флюса в зону сварки;
- перемещение дуги вдоль линии шва с заданной скоростью сварки;
- прекращение процесса сварки с заваркой кратера в конце шва;
- удаление нерасплавленного флюса с поверхности изделия после сварки.

В сварочных автоматах реализуются различные способы регулирования скорости подачи электродной проволоки и поддержания длины дуги. Скорость подачи электродной проволоки может регулироваться независимо от напряжения на дуге и

в зависимости от напряжения на дуге. Регулирование может осуществляться плавно, ступенчато, или плавно-ступенчато.

Сварочные автоматы различаются по конструктивно-компоновочному исполнению и по способу перемещения вдоль свариваемых кромок. По данным признакам к сварочным автоматам относятся:

- подвесные сварочные головки;
- самоходные сварочные головки;
- сварочные автоматы тракторного типа – сварочные тракторы рельсовые и безрельсовые.

Подвесные и самоходные сварочные головки устанавливаются над свариваемыми изделиями с использованием подъемно-поворотных колонн, колонн, сварочных тележек гусеничного и велосипедного типа и других унифицированных средств механизации. [17, 18]. В конструкцию самоходных сварочных головок входят устройства в виде тележки с регулируемым электроприводом для перемещения всего автомата по монорельсу или иным направляющим.

Сварочные тракторы перемещаются по рельсам, или непосредственно по поверхности свариваемых изделий. Во втором случае сварочный трактор должен иметь следящее устройство для направления электрода по линии шва. Сварочный шов может располагаться как внутри колеи сварочного трактора, так и вне ее.

На сварочных автоматах могут использоваться различные виды плавящихся электродов: проволочные, ленточные и штучные электроды в форме стержней.

Общие технические требования к сварочным автоматам регламентированы ГОСТ 8213-75 [19].

В состав сварочных автоматов входят:

- сварочный мундштук, подводящий ток к электродной проволоке;
- механизм подачи плавящегося электрода;
- механизм перемещения вдоль линии сварного шва;
- механизмы настроечных, вспомогательных и корректировочных перемещений;
- устройства для размещения сварочной проволоки (кассета, бобина);

- флюсовая аппаратура;
- система управления;
- источник сварочного тока;
- средства техники безопасности.

С учетом технического уровня сварочные автоматы разделены на три класса:

- 1-й класс - с программным микропроцессорным управлением
- 2-й класс - с плавным или плавно-ступенчатым регулированием скоростей подачи и сварки, ручным управлением по цикловой программе;
- 3-й класс - со ступенчатым регулированием скорости подачи проволоки, ручным управлением циклом работы; допускается ручная уборка флюса.

Конструкции и внешний вид сварочных автоматов для сварки под флюсом представлены на рисунках 12-15, технические характеристики даны в таблице 24.

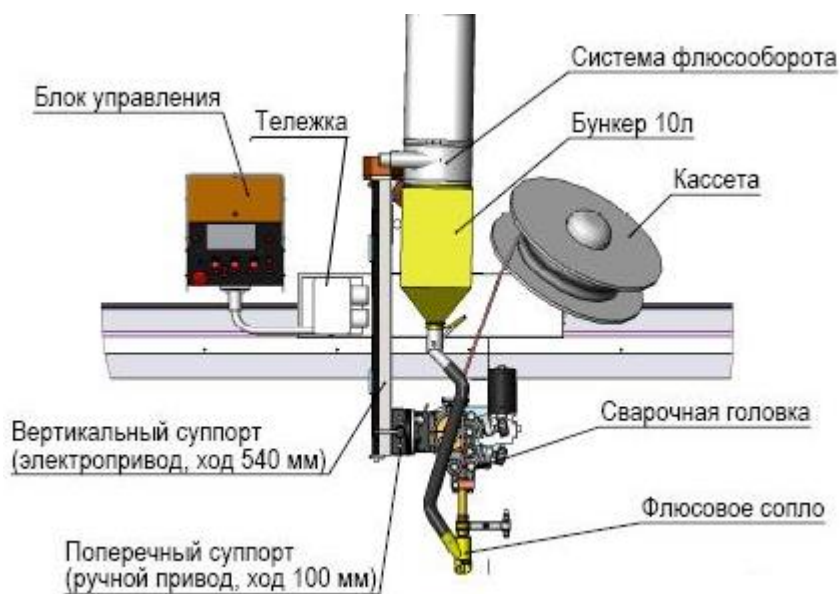


Рисунок 12 – Конструкция самоходного сварочного автомата



Рисунок 13 – Подвесной самоходный сварочный автомат на монорельсе

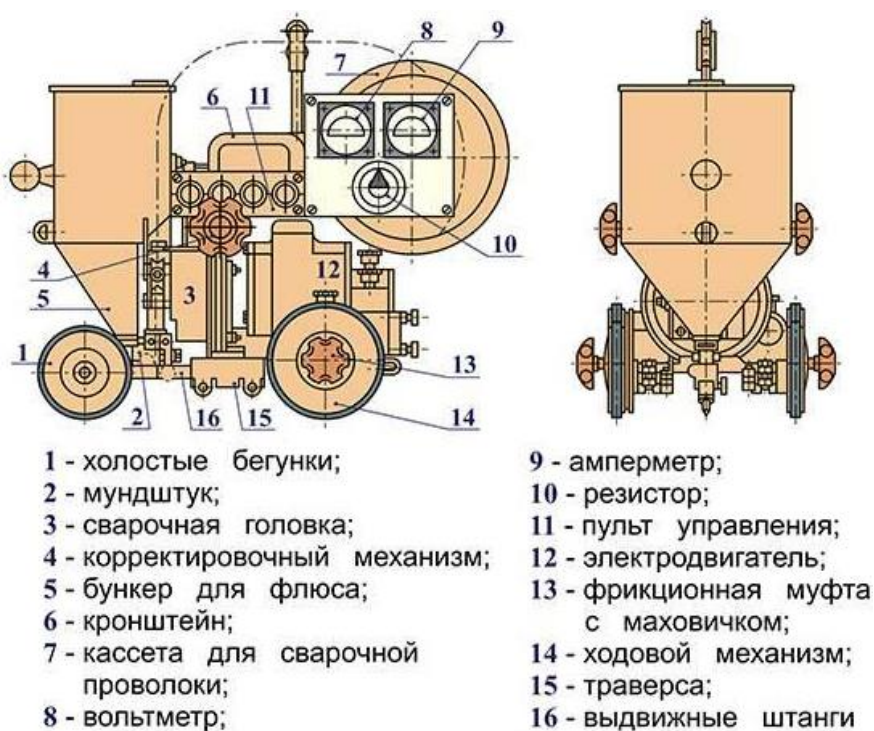


Рисунок 14 – Конструкция сварочного трактора для сварки под флюсом



Рисунок 15 – Сварочный трактор АДФ-1250

Таблица 24 – Технические характеристики сварочных автоматов для сварки под флюсом

Тип	Конструкция	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
ТС-16	трактор	1000	2,0...5,0	52...403	16...126
2-ТС-16	трактор двухдуговой	500	1,6...2,0	52...403	16...126
АДФ-630	трактор	630	1,6...3,0	120...720	12...120
АДФ-800	трактор	800	2,0...5,0	24...360	12...120
АДФ-1000	трактор	1000	2,0...5,0	26...360	0...170
АДФ-1250	трактор	1250	2,0...5,0	12...360	15...100
АСУ-5	трактор	630	2,0...3,0	120...720	12...60
КА 001	трактор	1000	3,0...5,0	49...404	17...110
КА 002-1	трактор	1000	3,0...5,0	30...330	10...100

Продолжение таблицы 24

Тип	Конструкция	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
АД-231	подвесной	1250	3,6...6,0	10...460	-
А-1412	подвесной самоходный двухдуговой	1250	3,0...6,0	14,9...538	12...250
А-1406	подвесной	1250	1,2...5,0	17...553	-
А-1416	подвесной самоходный	1250	3,0...5,0	47-509	12...120

Для сварки под флюсом в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также в труднодоступных местах применяются сварочные шланговые полуавтоматы. В зону сварки флюс поступает из укрепленного на держателе бункера либо подается по гибкому резиновому шлангу со струей сжатого воздуха из отдельной емкости. Перемещение держателя и сварочной дуги вдоль шва выполняется вручную.

В состав шлангового полуавтомата входят следующие элементы (рисунки 16, 17):

- сварочный держатель с токоподводящим мундштуком и бункером для флюса;
- гибкий шланг с каналами для подачи сварочной проволоки, флюса и электрическим кабелем;
- механизм подачи электродной проволоки;
- кассета катушка или другое устройств для электродной проволоки;
- шкаф или блок управления;

- источник питания;
- устройство для подачи флюса по шлангу при соответствующей конструкции полуавтомата.



Рисунок 16 – Состав сварочного шлангового полуавтомата для сварки под флюсом

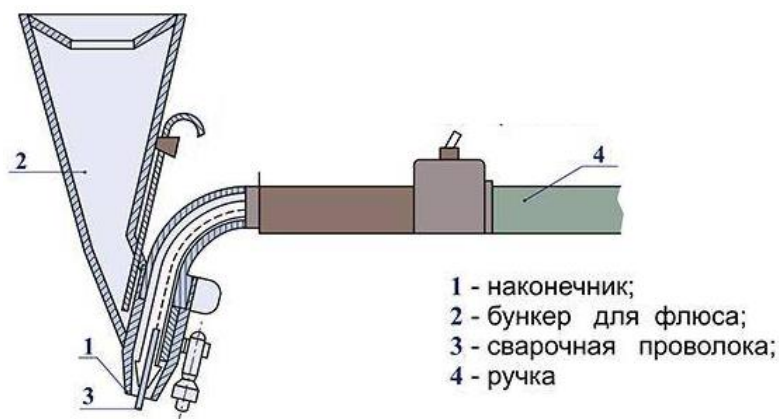


Рисунок 17 – Держатель сварочного полуавтомата для сварки под флюсом

Основные параметры полуавтоматов для дуговой сварки плавящимся электродом регламентированы ГОСТ 18130-79 [20]. Номинальный сварочный ток составляет от 100 до 630 А. Используется сварочная электродная проволока диаметром до 3 мм.

Технические характеристики сварочных полуавтоматов представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Технические характеристики сварочных полуавтоматов для сварки под флюсом

Тип сварочного полуавтомата	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч
ПДФ-501	500	1,6...2,0	118...782
ПДФ-502	500	1,6...2,5	120...750

При сварке под флюсом для питания дуги применяются источники переменного постоянного тока с падающей и жесткой вольтамперной характеристикой.

Сварочные трансформаторы для сварки под флюсом должны соответствовать ГОСТ 7012-77 [21]. Условное обозначение сварочного трансформатора включает буквы ТДФ, букву Ж, или П, или У в зависимости от вида вольтамперной характеристики (жесткая, падающая или универсальный трансформатор с переключаемой характеристикой), число, соответствующее номинальному току в сотнях ампер, номер модификации и обозначение климатического исполнения (таблица 262).

Пример – ТДФЖ-1002У3 – трансформатор дуговой для сварки под флюсом с жесткой вольтамперной характеристикой, номинальный ток 1000 А, модификация 02, климатическое исполнение У3 - для эксплуатации в районах с умеренным климатом с размещением в закрытых помещениях с естественной вентиляцией.

Для питания дуги постоянным током при автоматической сварке под флюсом используются сварочные выпрямители с жесткой вольтамперной характеристикой, при механизированной сварке шланговым полуавтоматом – с падающей характеристикой. Универсальные выпрямители типа ВДУ с тиристорным выпрямительным блоком обладают двумя видами вольтамперных характеристик и применимы для автоматической и механизированной сварки (таблица 27).

Таблица 26 – Характеристики сварочных трансформаторов для автоматической сварки под флюсом

Параметры	ТДФ-1001УЗ	ТДФ-1601УЗ	ТДФЖ-1002УЗ	ТДФЖ-2002УЗ
Номинальный сварочный ток, А	1000	1600	1000	2000
Номинальное рабочее напряжение, В	44	60	56	76
Номинальный режим работы, ПВ, %	100			
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	36-44	54-60	30-56	32-76
Пределы регулирования сварочного тока, А	400-1200	600-1800	300-1200	600-2200
Коэффициент полезного действия, %, не менее	87	88	86	88
Масса, кг, не более	720	1000	550	850

Для питания автоматических установок при сварке под слоем флюса применяются многопостовые сварочные выпрямители типов ВКСМ, ВДМ, ВДМГ, ИДГМ. Выпрямители имеют жесткую внешнюю вольтамперную характеристику и комплектуются балластными реостатами, например РБ-302-У2, обеспечивающими регулирование сварочного тока на каждом рабочем месте (таблица 28). Применение многопостовых источников сварочного тока позволяет снизить расход электроэнергии благодаря высокому КПД и уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Таблица 27 – Характеристики сварочных выпрямителей для автоматической сварки под флюсом

Характеристики	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201	ВДУ-1601
Напряжение питающей сети, В	3 x 380	3 x 380	3 x 380	3 x 380
Номинальный сварочный ток при ПВ = 60 %, А	315	500	1250	1600
Пределы регулирования сварочного тока, А	20 – 315	70– 500	300 – 1250	500 – 1600
Пределы регулирования напряжения, В	16 - 38	18 - 50	24 - 66	26 - 66
Напряжение холостого хода, В,	70	80	100	100
Потребляемая мощность, кВа,	23	40	120	155
Масса, кг,	240	380	850	950

Таблица 28 – Характеристики многопостовых сварочных выпрямителей

Тип выпрямителя	Напряжение, В		Сварочный ток, А		Число постов	Режим работы ПН, %	Мощность, кВт	КПД, %
	рабочее	холодного хода	номинальный	одного поста				
ВДМ-1601	60	70	1600	300	9	65	122	90
ВДМ-3001	60	70	3000	300	18	65	230	88
ВДГМ-1001	26	24 - 28	1000	200	9	100	78	70
ВДГМ-1601	40	34 - 43	1600	360	9	100	114	81
ВДГМ-1602	-	-	1600	120 – 250	9	100	114	-

Продолжение таблицы 28

Тип выпрямите- ля	Напряжение, В		Сварочный ток, А		Число постов	Режим работы ПН, %	Мощ- ность, кВт	КПД, %
	рабо- чее	холо- стого хода	номи- наль- ный	одного поста				
ВДГМ- 1602-1	30 - 60	-	1600	200 – 400	5	100	114	-
ВДГМ- 1602-2	-	-	1600	400 – 630	3	100	138	-
ВКСМ-1000	70	70	1000	300	6	65	76	86
ВКСМ- 1000-1	60	70	1000	300	6	100	76	88
ВКСМ- 1000-1-1	60	-	1000	315	6	100	73	90
ИДГМ-1001	-	96	1000	300	18	60	78	78
ИДГМ-1601	40	-	1600	300	18	60	120	81
ВМГ-5000	30 – 60	60	5000	480	30	100	317	94

4 Электродуговая сварка в защитном газе

4.1 Способы сварки в защитном газе

Электродуговая сварка в защитных газах объединяет ряд способов сварки, в которых защита присадочного металла в дуге, расплава сварочной ванны, металла шва и свариваемых кромок осуществляется подачей в зону сварки инертного или активного газа, вытесняющего кислород и другие атмосферные газы.

Способы сварки в защитных газах классифицируются по следующим признакам:

1) по типу защитного газа:

- сварка в инертном газе (Ar, He и смеси Ar + He);
- сварка в активном газе (CO₂, H₂, N₂);
- сварка в смеси активных и инертных газов (Ar + O₂, Ar + N₂, Ar + CO₂);

2) по характеру защиты в зоне сварки:

- с подачей газа через сопло газоэлектрической горелки;
- с дополнительной подачей газа на обратную сторону сварного шва;
- в сварочной камере с контролируемой атмосферой, заполненной инертным газом;

3) по роду тока:

- на переменном токе;
- на постоянном токе прямой или обратной полярности;

4) по типу электрода:

- плавящимся электродом;
- неплавящимся электродом;

5) по формированию сварного шва:

- с присадочным металлом;
- без присадочного металла;

6) по изменению сварочного тока во времени:

- сварка постоянной дугой;

- сварка импульсной дугой;

7) по степени механизации и применяемому оборудованию:

- ручная сварка в защитном газе;
- полуавтоматическая сварка в защитном газе;
- автоматическая сварка в защитном газе.

Схема ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в защитном газе представлена на рисунке 18.

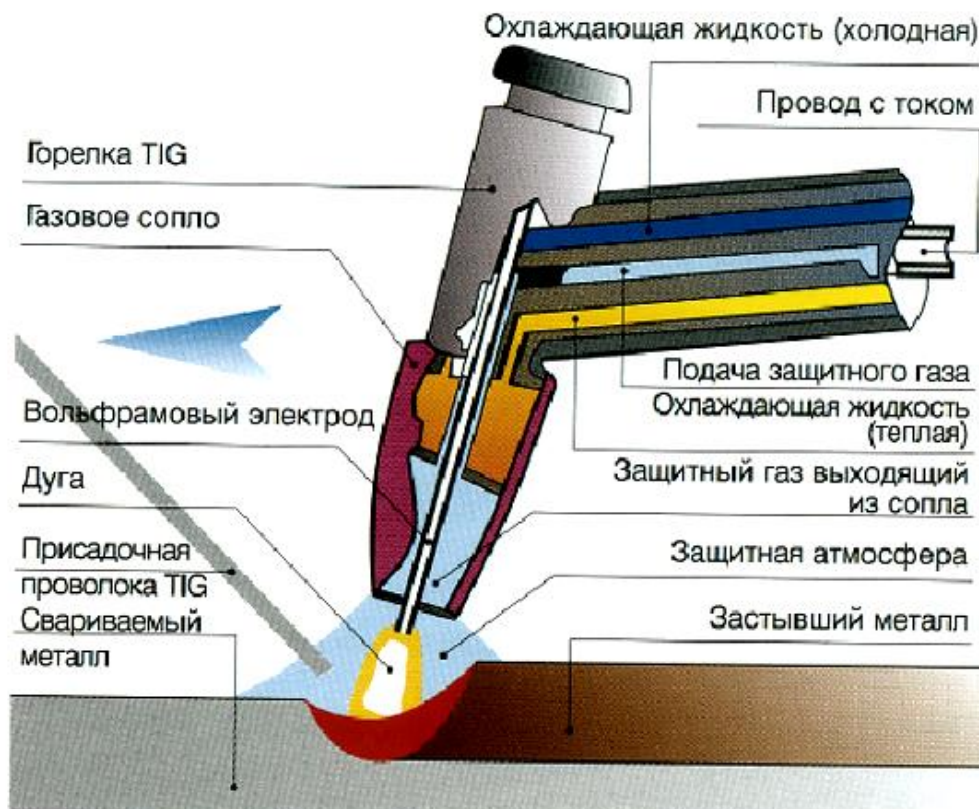


Рисунок 18 - Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном газе

Надежная защита зоны сварки от взаимодействия с воздухом и разнообразие способов обеспечивает следующие преимущества сварки в защитных газах:

- высокое качество соединения при работе с разными металлами и сплавами вне зависимости от пространственного положения сварных швов;

- широкий диапазон толщин свариваемого металла: от десятых долей до нескольких десятков миллиметров;
- возможность визуального контроля сварочной дуги и процесса образования сварочного шва;
- высокая плотность тепловой мощности и узкая зона термического воздействия;
- возможность механизации и автоматизации процесса;
- отсутствие шлака и необходимости зачистки швов при многослойной сварке;
- высокая производительность сварочных работ.

К недостаткам этого вида сварки следует отнести необходимость защиты от ультрафиолетового излучения и дополнительные затраты на расходуемый газ.

4.2 Характеристики защитных газов для сварки

Инертный газ аргон получают из воздуха методом низкотемпературной ректификации одновременно с производством кислорода и азота. Аргон не вступает в химическое взаимодействие с расплавленным металлом. Вследствие более высокой плотности аргон вытесняет воздух из зоны сварки и надежно изолирует сварочную ванну от контакта с атмосферными газами. Аргон способствует повышению температуры сварочной дуги и концентрации плотности теплового потока вдоль ее оси. Благодаря этому улучшается проплавление сварного шва при сварке толстостенных изделий. «Кинжальная» форма проплавления позволяет уменьшить разделку кромок, способствует сужению зоны термического влияния и минимизации выгорания активных легирующих элементов. Напряжение сварочной дуги в аргоне составляет 10 - 20 В, что почти в два раза меньше по сравнению с другими способами электродуговой сварки. Из-за этого для получения необходимой тепловой мощности требуется повышение сварочного тока.

Аргон выпускается по ГОСТ 10157-79 высшего и первого сорта. Аргон высшего сорта (99,993 % Ar) используется для сварки и плавки титановых, цирконие-

вых, ниобиевых сплавов и ответственных изделий из других материалов. Аргон первого сорта (99,987 % Ar) используется для сварки высоколегированных сталей, алюминиевых, магниевых и никелевых сплавов.

Гелий – легкий инертный газ, добываемый из природного газа процессом низкотемпературного разделения. При охлаждении природного газа метан, этан и другие углеводороды переходят в жидкое состояние, а гелий остается в газообразном состоянии, так как имеет очень низкую температуру сжижения $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из-за низкой концентрации в природном газе гелий имеет более высокую стоимость по сравнению с другими газами. Гелий выпускается по ТУ 0271-135-31323949-2005 с разной степенью чистоты. Гелий марки А содержит 99,995 % He, марки Б - 99,99 % He. Расплавленный в гелиевой среде металл имеет высокую жидкотекучесть и хорошо смачивает свариваемые кромки. Благодаря этому образуется сварной шов с гладкой поверхностью и плавным переходом в околошовной зоне к основному металлу.

Гелий применяется как и аргон, для сварки высоколегированных сталей, алюминиевых, магниевых, никелевых, титановых и других сплавов.

При выборе инертного защитного газа учитывается его влияние на процесс сварки, на качество сварного шва и принимаются во внимание другие факторы. Аргон имеет меньшую стоимость по сравнению с гелием, а его расход на 30 % - 35 % ниже благодаря более высокой плотности. Сварочная дуга в аргоне более стабильна, изменение длины дуги почти не влияет на проплавление металла. Это упрощает управление процессом при ручной сварке.

Сварочная дуга в гелии имеет более высокое напряжение по сравнению с дугой в аргоне при одинаковых токах, и соответственно более высокую мощность. Гелий имеет более высокую теплопроводность, благодаря чему обеспечивается большая проплавляющая способность с равномерным проплавлением. Для аргонодуговой сварки характерно неравномерное проплавление: более глубокое в центре сварочной ванны и меньшее по краям.

Для сварки цветных сплавов эффективно применение смесей газов. При сварке в смеси 65 % аргона и 35 % гелия обеспечивается глубокое проплавление основного металла, хорошее формирование шва и снижение разбрызгивания.

При сварке аустенитных и ферритных сталей в смеси аргона с 1 % – 5 % кислорода уменьшается разбрызгивание, повышается стабильность дуги и качество формирования сварного шва.

Для сварки низкоуглеродистых сталей применимы смеси аргона с 15 % - 30 % углекислого газа и 5 % кислорода. Такая смесь оказывает химическое воздействие на сварочную ванну, но не вызывает науглероживания металла шва.

Аргоно-водородная смесь, содержащая до 2 % водорода, повышает концентрацию энергии благодаря сжатию столба дуги, создает восстановительную атмосферу и применяется при микроплазменной сварке.

Аргон и гелий хранятся и транспортируются в стандартных баллонах (ГОСТ 949-73) при давлении 15 МПа. В баллоне номинальной емкостью 40 л помещается около 6 м³ газа (отнесенного к 20 °С и 760 мм рт. ст.).

Баллон для хранения аргона окрашивается в серый цвет с зеленой полосой. На верхней части баллона наносится зеленая надпись «Аргон чистый».

Баллон для хранения гелия окрашивается в коричневый цвет и снабжается надписью «Гелий», выполняемой белой краской.

Для регулирования давления и расхода защитного газа на баллон устанавливается редуктор с ротаметром (рисунок 19). Манометр высокого давления предназначен для контроля остатка газа в баллоне. Редуктор понижает давление газа до 0,4 МПа. Расход газа регулируется вентилем и контролируется поплавковым ротаметром.



Рисунок 19 – Газовый редуктор с ротаметром

Углекислый газ выпускается по ГОСТ 8050-85 трех сортов в зависимости от содержания примесей:

высший сорт - 99,8 % CO₂;

первый сорт - 99,5 % CO₂;

второй сорт - 98,8 % CO₂.

Плотность углекислого газа больше плотности воздуха, он не имеет цвета и запаха, гигроскопичен. Водяной пар, содержащийся в углекислом газе, вызывает снижение качества металла шва и образование пористости. В связи с этим при сварке углекислый газ необходимо пропускать через осушители, заполненные сульфатом меди CuSO₄.

Углекислый газ оказывает на металл сварочной ванны окисляющее и науглероживающее действие. Наиболее сильно окисляются легирующие элементы алюминий, титан и цирконий. В меньшей степени окисляются кремний, марганец, хром, ванадий. Основной проблемой применения углекислого газа является порообразование в металле шва вследствие выделения окиси углерода и его недостаточная раскисленность. Этот недостаток устраняется применением сварочной проволоки с повышенным содержанием кремния.

Углекислый газ хранится и транспортируется в стандартных баллонах ГОСТ 949-73 при давлении 7,5 МПа в жидком состоянии. В баллоне емкостью 40 л помещается 25 кг жидкого CO₂, при испарении которого в нормальных условиях (20° С, 760 мм рт. ст.) образуется 12750 литров газа. Баллоны окрашиваются в черный цвет и снабжаются желтой надписью «Углекислота». Схема хранения углекислоты в баллоне приведена на рисунке 20.

Для регулирования давления и расхода углекислого газа применяется редуктор с подогревателем и ротаметром. При переходе из жидкого состояния в газообразное углекислый газ охлаждается до отрицательных температур. Содержащаяся в газе вода замерзает, возникающие кристаллы перекрывают внутренние каналы редуктора и нарушают подачу газа. Применение подогревателя выходящего из баллона газа устраняет это явление.

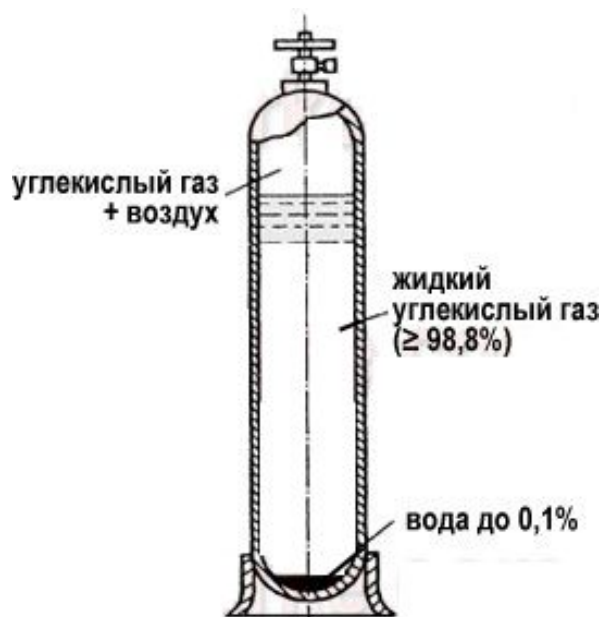


Рисунок 20 - Схема хранения углекислого газа в баллоне

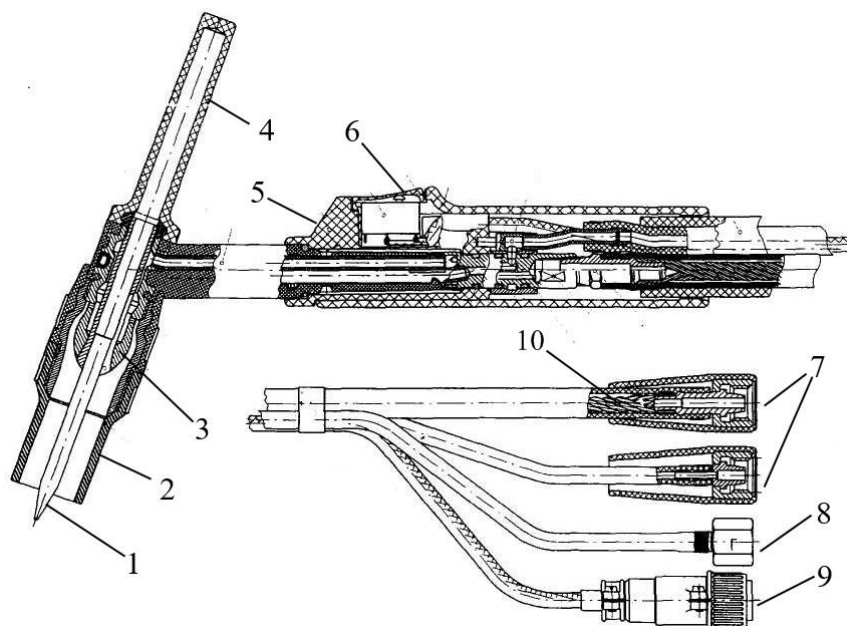
Для снижения содержания влаги в защитном газе пользуются осушителями, которые представляют собой сосуды, содержащие влагопоглощающие вещества. Существуют осушители высокого и низкого давления, устанавливаемые соответственно перед редуктором или после него. Влагопоглощителями служат силикагель (диоксид кремния), алюмогель, сульфат меди или хлористый кальций.

Влагопоглотитель перед загрузкой в осушитель прокаливается в течение нескольких часов при температуре 250 °С - 300 °С для удаления влаги.

4.3 Оборудование для сварки в защитных газах

4.3.1 Оборудование для ручной сварки в защитном газе

Основным инструментом для ручной дуговой сварки в защитном газе является газоэлектрическая горелка, подключаемая электрическим проводом к источнику сварочного тока и шлангом к аппаратуре для подачи защитного газа. Схема газоэлектрической горелки для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в защитном газе представлена на рисунке 20.



1 – электрод; 2 – сопло; 3 – цанга; 4 – защитный колпачок; 5 – корпус с рукояткой; 6 – кнопка включения тока; 7 – водяные шланги системы охлаждения; 8 – газовый шланг; 9 – электрический кабель управления; 10 – сварочный провод.

Рисунок 20 - Схема газэлектрической горелки АГНИ-25 для сварки неплавящимся электродом в защитном газе

Неплавящийся вольфрамовый электрод 1 установлен по оси сменного керамического сопла 2 и закреплен цангой 3. Рабочий конец электрода имеет коническую форму, приобретаемую в процессе заточки. Обратный конец электрода защищается колпачком 4. Корпус горелки 5 снабжен кнопкой 6 для включения сварочного тока. Рукоятка корпуса охлаждается проточной водой. К рукоятке присоединены трубки для подвода и отвода охлаждающей воды 7, трубка для подачи защитного газа 8 и электрический кабель цепи управления 9. Предусмотрено охлаждение сварочного провода 10, проложенного внутри трубки отвода охлаждающей воды.

В комплект газэлектрической горелки АГНИ-25 входят сменные цанги для установки электродов диаметром 2, 3, 4, 5 и 6 мм, а также сменные сопла с внутренним диаметром 12,5, 16 и 20 мм. Максимальный сварочный ток равен 500 А для постоянного и 400 А для переменного.

Сварка неплавящимся электродом выполняется на минимально короткой дуге от 1,5 до 3 мм. Электрод устанавливается в газэлектрической горелке с учетом

обеспечения надежной защиты зоны сварки. Вылет электрода от торца сопла при сварке стыковых швов должен быть от 3 до 5 мм, при сварке угловых швов - от 5 до 8 мм.

Вольфрамовые электроды выпускаются по ГОСТ 23949-80 [9] под марками:

- ЭВЧ – из чистого вольфрама;
- ЭВТ-15 – из вольфрама с присадками двуокиси тория около 2 %;
- ЭВЛ – из вольфрама с присадками оксида лантана около 2 %;
- ЭВИ-1, ЭВИ-2, ЭВИ-3 - из вольфрама, легированного оксидом иттрия в количестве от 1,5 до 3,5 %.

Чистый вольфрам имеет высокий уровень энергии выхода электрона, вследствие чего затрудняется возбуждение дуги и повышается температура электрода. В результате увеличивается интенсивность износа и сокращается срок службы электрода. Электроды марки ЭВЧ рекомендуется использовать для сварки переменным током,

Вольфрамовые электроды, легированные двуокисью тория, имеет низкую энергию выхода электрона, имеют высокую стойкость даже при сварке на предельных токах. Электроды марки ЭВТ-15 используются для сварки постоянным током. Торий относится к слаборадиоактивным элементам, поэтому при заточке электродов из торированного вольфрама необходимы меры предосторожности и защита органов дыхания от пыли. При сварке торий выделяется в воздух, но в значительно меньшем количестве.

Вольфрамовые электроды с присадками оксида лантана самую низкую температуру рабочего конца благодаря малой энергии выхода электрона, что способствует увеличению срока службы. Они используются для сварки постоянным и переменным током. Перегрузки по току приводят к снижению стойкости этих электродов по сравнению с электродами из торированного вольфрама.

Вольфрамовые электроды, легированные оксидом иттрия, выдерживают большие токи, не загрязняют металл шва вольфрамом. Используются для сварки особо ответственных соединений постоянным током.

При сварке вольфрамовым электродом питание дуги осуществляется постоянным током прямой полярности, или переменным током. При прямой полярности сварочного тока температура катодного пятна на электроде ниже температуры плавления вольфрама, что обеспечивает достаточно большую стойкость электрода. Вместе с тем при сварке алюминиевых, бериллиевых, магниевых сплавов желательно включение обратной полярности для очистки свариваемых поверхностей и разрушения тугоплавких оксидных пленок за счет ионной бомбардировки. Но при этом вольфрамовый электрод становится анодом, а температура анодного пятна превышает 4000 °С, что приводит к плавлению вольфрама и быстрому износу электрода. Питание дуги переменным током позволяет снизить температуру электрода при частичном сохранении эффекта катодного распыления свариваемых поверхностей положительными ионами.

Диаметр неплавящегося электрода и величина сварочного тока выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла (таблица 29)

Таблица 29 – Выбор диаметра неплавящегося вольфрамового электрода

Толщина металла, мм		Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	
при сварке сталей и жаропрочных сплавов	при сварке цветных сплавов		постоянный прямой полярности	переменный
0,5		1	10-70	10-15
1	1	1,6	40-130	30-90
2	2	2	65-160	50-100
3	4	3	140-180	100-160
4	5-6	4	250-340	140-220
	7 и более	5	300-400	200-280
5 и более		6	350-450	250-300

Современные сварочные аппараты для сварки неплавящимся электродом в защитном газе снабжаются следующими функциями:

- продувка газового тракта в течение заданного времени с последующим включением выходного напряжения;
- бесконтактное возбуждение сварочной дуги;
- осуществление сварки с регулируемым начальным током;
- регулирование времени плавного нарастания тока в начале сварки продолжительностью до 10 с;
- плавное регулирование величины сварочного тока;
- импульсный режим сварки с заданием длительности импульсов и величины сварочного тока;
- регулирование плавного снижения тока в конце сварки для заварки кратера в течение заданного времени до 30 с;
- дистанционное управление величиной сварочного тока с помощью подключаемого выносного пульта.

Основные характеристики аппаратов для сварки неплавящимся электродом в защитном газе представлены в таблице 30.

Таблица 30 - Технические характеристики аппаратов для сварки неплавящимся электродом в защитном газе

Параметры	Модели аппаратов				
	УДГ-180	УДГУ-251	УДГУ-351	УДГУ-501	ТИР-300Д
Напряжение питающей сети, В	220	380	380	380	380
Род сварочного тока	перем.	пост./перем.	пост./перем.	пост./перем.	пост./перем.
Номинальный сварочный ток, А	170	250/275	350	500	300

Продолжение таблицы 30

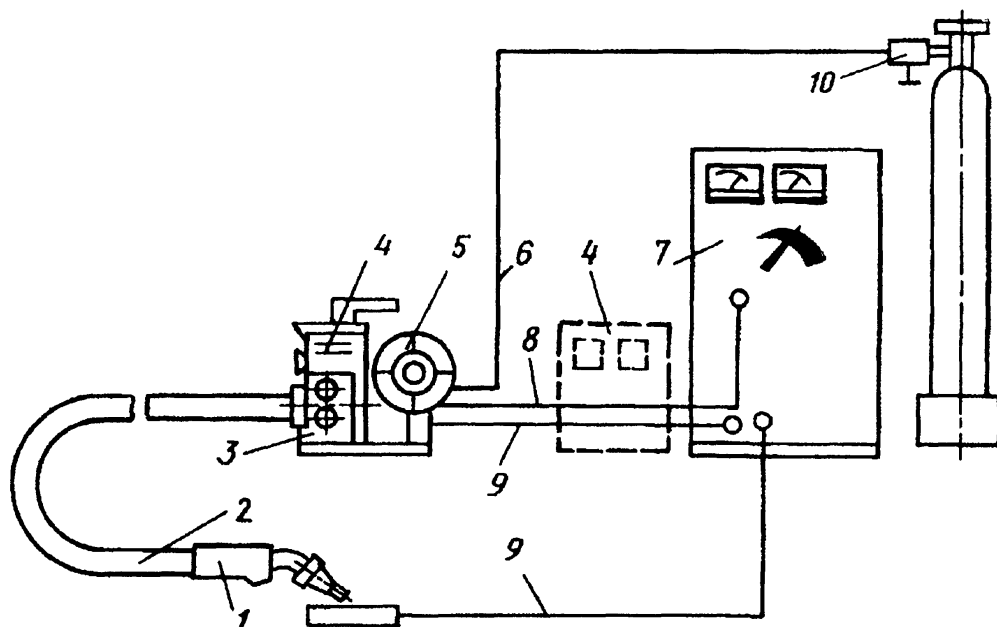
Параметры	Модели аппаратов				
	УДГ-180	УДГУ-251	УДГУ-351	УДГУ-501	ТИР-300Д
Номинальный режим работы (ПН), %	35	35/25	60	60	60
Пределы регулирования сварочного тока, А	35 - 180	10 - 250 / 10 - 275	10 - 350	10 - 500	10 - 300
Напряжение холостого хода, В	70	100/80	100/70	100/70	65
Рабочее напряжение, В	12 - 17	20/21	10 - 24	10 - 30	30
Потребляемая мощность, кВт	13	21	37	37	25

4.3.2 Оборудование для механизированной сварки в защитном газе

Механизированная сварка в защитном газе выполняется плавящимся электродом и заключается в том, что газоэлектрическая горелка перемещается вдоль шва вручную, а сварочная проволока, являющаяся плавящимся электродом и присадочным металлом, подается в зону сварки через сопло горелки специальным устройством с регулируемой скоростью. Для механизированной сварки применяются сварочные автоматы шлангового типа (рисунок 21).

Основным элементом полуавтомата является устройство подачи сварочной проволоки, соединенное с газоэлектрической горелкой гибким шлангом. Шланги для сварки на малых токах представляют собой резиновую трубку, в которой раз-

мещены канал для сварочной проволоки, токоведущий провод, провода от кнопки «Пуск» на горелке, трубка для подачи защитного газа.



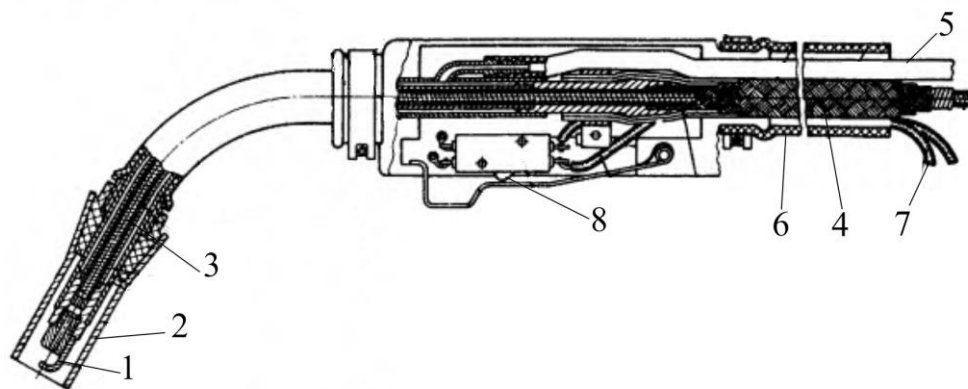
- 1 – газоподогревательная горелка; 2 – гибкий шланг; 3 – устройство подачи сварочной проволоки; 4 – блок управления; 5 – кассета с проволокой; 6 – газовый шланг; 7 – источник сварочного тока; 8 – кабель управления; 9 – кабель сварочный; 10 – газовый редуктор с ротаметром.

Рисунок 21 – Схема шлангового полуавтомата для сварки в защитном газе

Канал для подачи стальной сварочной проволоки изготавливается из стальной пружинной проволоки, для подачи алюминиевой сварочной проволоки - из фторопластовой трубки.

Шланги для сварки на токах более 300 А для повышения гибкости делают составными из нескольких параллельных трубок, связанных бандажами. В сварочных полуавтоматах с водоохлаждаемой газоподогревательной горелкой токоведущий провод помещается в трубке для отвода охлаждающей жидкости, что позволяет уменьшить поперечное сечение провода.

Схема газоподогревательной горелки для сварки плавящимся электродом в защитном газе представлена на рисунке 22, технические характеристики унифицированных газоподогревательных горелок приведены в таблице 31.



- 1 – токоподводящий мундштук; 2 – сопло; 3 – канал для проволоки;
 4 – токоведущий провод; 5 – трубка для защитного газа; 6 – резиновый шланг;
 7 – провода управления; 8 – кнопка «Пуск».

Рисунок 22 – Схема газэлектрической горелки для сварки плавящимся электродом
 в защитном газе

Таблица 31 - Технические характеристики унифицированных газэлектрических
 горелок для шланговых полуавтоматов

Тип горелки	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Длина шланга, м
ДПГ-101-8УЗ	160	0,8 - 1,2	2
ГДПГ-101-9УЗ	160	0,8 - 1,2	1
ГДПГ-Ю1-10УЗ	160	0,8 - 1,2	2
ГДПГ-102-УЗ	160	1,2 - 1,6	2
ГДПГ-301-6У4	315	1,2 - 1,4	3
ГДПГ-301-7У4	315	0,8 - 1,4	1
ГДПГ-301-8У4	315	1,2 - 1,4	3
ГДПГ-302-У4	315	1,6 - 2,0	2
ГДПГ-501-4У4	500	1,6 - 2,0	3
ГДПГ-603-У4	630	1,6 - 2,5	3

Устройство подачи сварочной проволоки к горелке по каналу шланга состоит из электродвигателя постоянного или переменного тока, редуктора и роликов, сжимающих и протягивающих проволоку. Существует три вида устройств, отличающихся по конструкции и по способу продвижения проволоки.

Толкающий механизм располагается в корпусе сварочной установки или в отдельном корпусе, к которому присоединяется гибкий шланг. Такая конструкция не утяжеляет горелку, поэтому применяется наиболее часто, однако могут возникать трудности при проталкивании тонкой проволоки из мягкого металла.

Тянущий механизм размещается непосредственно в рабочей горелке и осуществляет протягивание проволоки по каналу шланга независимо от ее жесткости. Недостатком такой конструкции является увеличение массы горелки.

Комбинированная схема механизма подачи, оснащенная толкающим и тянущим приводом, применяется в редких случаях.

В соответствии с ГОСТ 18130-79 [20] длина проводов и шлангов между механизмом подачи электродной проволоки толкающего типа и горелкой должна быть не менее:

- для стальной проволоки диаметром до 1,0 мм – 1,5 м; от 1,0 до 1,4 мм – 2,5 м; от 1,4 до 3,0 мм – 3,0 м;

- для проволоки из алюминия и алюминиевых сплавов всех диаметров – 1,5 м;

- для проволоки всех видов и диаметров в полуавтоматах с подающими устройствами ранцевого типа – 0,8 м.

Для механизмов тянуще-толкающего типа длина проводов и шлангов до горелки должна быть не менее 6 м.

Управление механизмом и регулирование скорости подачи проволоки осуществляется электронным устройством. Системы управления современных сварочных полуавтоматов обеспечивают выполнение следующих функций:

- непрерывную подачу проволоки при сварке протяженных швов и подачу в режиме сварки короткими швами;

- плавную регулировку и стабилизацию скорости подачи проволоки;

- продувку горелки газом перед возбуждением дуги и после ее выключения;

- хранение в памяти нескольких программ сварочных режимов.

Технические характеристики сварочных полуавтоматов для сварки в защитном газе представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Технические характеристики полуавтоматов для сварки в защитном газе

Тип полуавтомата	Номинальный сварочный ток, А (ПВ = 60 %)	Пределы регулирования сварочного тока, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Пределы скорости подачи проволоки, м/ч
ПДГ-200	200	35 - 200	0,6 – 1,0	60 - 720
ПДГ-252	250	40 - 250	0,8 - 1,2	100 - 850
ПДГ-351	315	60 - 315	0,8 - 1,2	60 - 1200
ПДГ-516М	500	60 - 500	1,2 - 2,0	100 - 1200
ПДГО-601	630	150 - 1000	1,2 – 3,2	60 - 820
PRO MIG 160	124	30 - 160	0,6 – 1,0	90 - 840
PRO MIG 200	155	30 - 200	0,6 – 1,0	90- 960

4.3.3 Сварочные автоматы

Общие технические требования к сварочным автоматам регламентированы ГОСТ 8213-75 [19]

Конструкции и типы сварочных автоматов для сварки в защитном газе аналогичны сварочным автоматам для сварки под флюсом. Отличие заключается в том, что сварка в защитном газе выполняется как плавящимся, так и неплавящимся электродом, с присадочным металлом, или без него. В связи с этим сварочные автоматы для сварки в защитном газе снабжаются газозлектрическими горелками различных конструкций, источниками сварочного тока с регулируемой вольтамперной характеристикой и устройствами для подготовки и подачи защитного газа.

Сварочные автоматы обрабатывают запрограммированный цикл сварки шва, включающий следующие операции:

- включение подачи защитного газа с предварительной продувкой системы;
- возбуждение дуги с плавным увеличением тока («мягкий старт»);
- поддержание заданных режимов сварки – величины сварочного тока, скорости подачи электродной или присадочной проволоки, скорости перемещения дуги вдоль шва;
- слежение за положением дуги относительно свариваемых кромок;
- прекращение процесса сварки с плавным уменьшением сварочного тока, заваркой кратера, и выключением подачи газа после охлаждения конечного участка шва.

В состав сварочных дуговых автоматов входят:

- сварочный инструмент - сварочные мундштуки или горелки; механизм подачи электродного или присадочного материала;
- механизм перемещения вдоль линии сварного соединения;
- механизм настроечных, вспомогательных и корректировочных перемещений;
- устройства для размещения электродного или присадочного материала;
- газовая аппаратура – баллон, редуктор, ротаметр, осушитель смеситель газов;
- аппаратура системы управления;
- источники сварочного тока;
- средства техники безопасности.

Автоматы для сварки в защитном газе различаются по следующим признакам:

- по конструкции – автоматы тракторного типа, автоматы подвесные самоходные и несамоходные;
- по способу сварки – плавящимся и неплавящимся электродом, с присадочным металлом или без него;
- по роду сварочного тока – с постоянным или переменным током;
- по способу регулирования скорости подачи электродной проволоки – с плавным, плавно-ступенчатым или ступенчатым регулированием;

- по способу регулирования скорости сварки – с плавным, плавно-ступенчатым или ступенчатым регулированием;
- по способу управления подачей электродной проволоки – с независимой от напряжения дуги подачей и с зависимой от напряжения дуги подачей;
- по способу охлаждения сварочной головки – без принудительного охлаждения, с воздушным или жидкостным (водяным) охлаждением;
- по расположению автомата тракторного типа относительно свариваемого шва – для сварки внутри колеи, для сварки внутри и вне колеи.

Для направления движения автомата вдоль свариваемого стыка применяются указатели положения сварочной головки, копирные ролики и системы слежения за стыком. Указатели, жестко связанные с горелкой, располагаются по ходу движения перед электродом и позволяют определить отклонение дуги от середины стыка для ручной корректировки. Ручные корректоры применимы при скоростях сварки до 60 м/ч.

Копирные ролики применяются на безрельсовых автоматах тракторного типа. В процессе сварки ролики следуют по разделке свариваемых кромок или по шаблону, копирующему форму стыка. Для их применения необходима достаточно глубокая разделка кромок, или приспособление с устройством для крепления шаблона, а также специальные выездные площадки в начале и конце стыка.

Системы слежения за стыком основаны на применении бесконтактных фотоэлектрических и индуктивных датчиков, определяющих положение середины стыка относительно электрода. Индуктивные датчики располагаются непосредственно над стыком и определяют его середину по равенству высокочастотных магнитных потоков, индуцируемых в соединяемых кромках. Слежение фотоэлектрическими датчиками осуществляется по опорной линии, предварительно нанесенной контрастной краской параллельно свариваемому стыку.

Конструкции различных сварочных автоматов основаны на применении унифицированных узлов, к которым относятся:

- тележка для перемещения вдоль стыка, снабженная электродвигателем и редуктором;

- механизм вертикального перемещения сварочной головки;
- привод и механизм подачи электродной проволоки;
- кассетные устройства для электродной проволоки.

Сварочный автомат АДГ-630 (рисунок 23), предназначенный для сварки плавящимся электродом на постоянном токе в защитном газе, является типичным представителем автоматов тракторного типа. АДГ-630 используется при сварке стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, нахлесточных и угловых соединений, внутри и вне колеи автомата, а так же при сварке угловых соединений «в лодочку». Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе сварки может перемещаться непосредственно по свариваемому изделию или рядом с изделием, а так же может передвигаться по направляющей профильной линейке. Автомат имеет плавную регулировку скорости подачи электродной проволоки и скорости движения тележки вдоль свариваемого стыка, штатно комплектуется водоохлаждаемой горелкой. Система управления автомата снабжена цифровыми индикаторами для отображения параметров процесса сварки. Технические характеристики автомата АДГ-630 и других сварочных автоматов представлены в таблице 33.

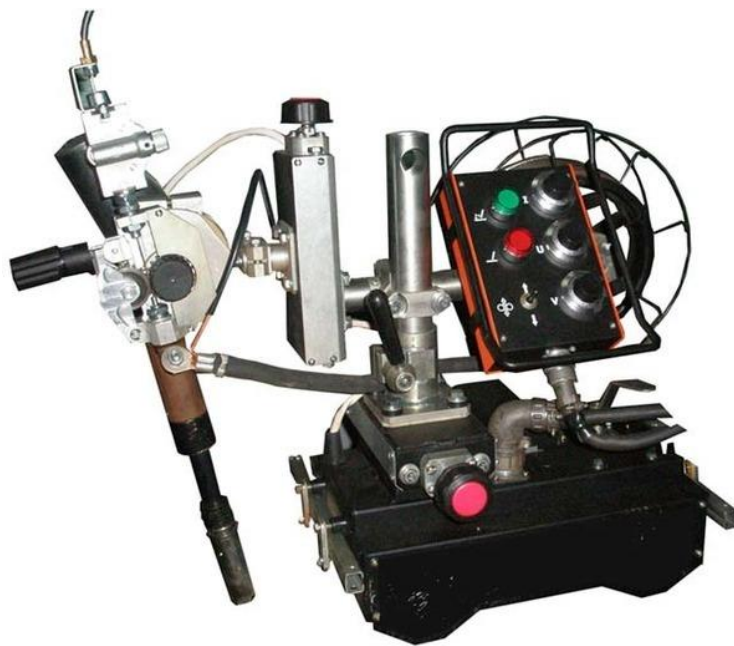
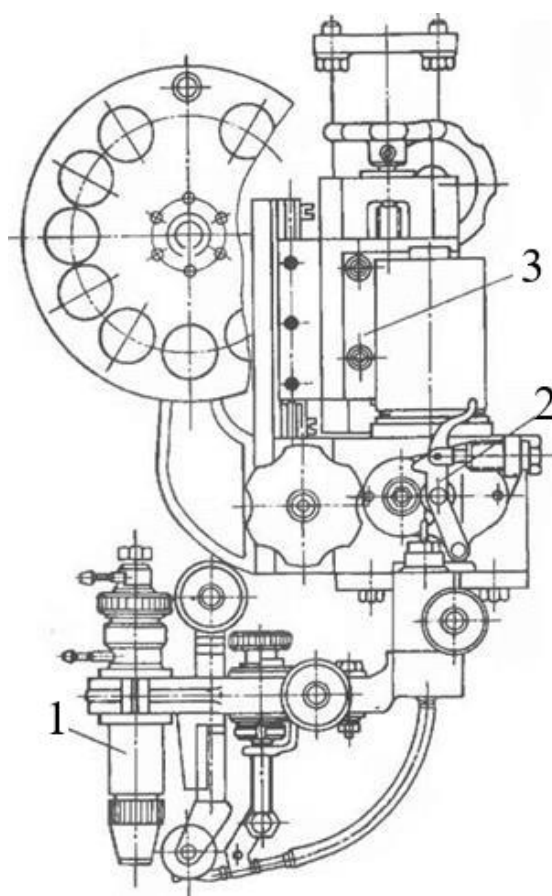


Рисунок 23 – Сварочный автомат АДГ-630

Сварочная головка АГВ-4 (рисунок 24) применяется для сварки в инертном защитном газе неплавящимся вольфрамовым электродом. Головка состоит из токоподвода, электрододержателя и подающего механизма для автоматической подачи присадочной проволоки. Головка может устанавливаться на подвеске кареточного типа, или самоходной тележке тракторного типа. По такой схеме комплектуются тракторы типа АДСВ-5 или АДСВ-6 для автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом.



1 - горелка, 2 - механизм подачи проволоки, 3—корректирующий механизм

Рисунок 24 – Сварочная головка для сварки вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки

Таблица 33 – Технические характеристики автоматов для сварки в защитном газе

Параметры	Модели сварочных автоматов			
	АДГ-630	А-1418	АДСВ-6М	АСВГ-5
Конструкция автомата	трактор	трактор	трактор	подвесной самоходный
Тип электрода	плавящийся	плавящийся	неплавящийся	неплавящийся
Номинальный сварочный ток, А	600	1000	315	315
Диаметр электрода, мм			1,0 - 5,0	1,0 - 5,0
Диаметр электродной или присадочной проволоки, мм	1,6 - 3,0	2,0-5,0	0,8 - 2,0	0,8 - 2,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	120 - 720	47 - 508		
Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч			8 - 108	8 - 108
Скорость сварки, м/ч	12 - 120	12 - 120	5 - 80	
Угол поворота сварочной головки относительно вертикальной оси, град.	± 90 град	± 90 град		
Угол поворота сварочной головки вокруг горизонтальной оси, град.	± 45	± 45	± 90	± 90
Ход вертикального суппорта, мм	100	250		100
Ход горизонтального суппорта, мм	100	150		100

Продолжение таблицы 33

Параметры	Модели сварочных автоматов			
	АДГ-630	А-1418	АДСВ-6М	АСВГ-5
Межосевое расстояние колес, мм	240			
Колесная колея, мм	206			
Вместимость кассеты для сварочной проволоки, кг	15			

4.4 Расчет режимов сварки в защитном газе

Режим сварки в защитном газе определяется следующими параметрами:

- род, полярность и величина сварочного тока;
- напряжение при сварке;
- диаметр неплавящегося электрода или плавящейся электродной проволоки;
- скорость подачи электродной проволоки;
- скорость подачи присадочной проволоки при сварке неплавящимся электродом;
- состав и расход защитного газа;
- вылет, наклон и амплитуда колебаний электрода.

Сварка неплавящимся электродом в инертном газе выполняется постоянным током прямой полярности. Обратная полярность неприменима вследствие увеличения температуры электрода выше температуры плавления вольфрама. Переменный ток применяется при сварке алюминиевых, магниевых и бериллиевых сплавов.

Величина сварочного тока при сварке неплавящимся электродом зависит от диаметра электрода, свариваемого металла, а также от рода и полярности тока. Рекомендуемые значения сварочного тока приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин
Алюминиевые сплавы				
1 - 2	2	1 - 2	50 - 70	5 - 8
2 - 4	3	2 - 3	100 - 130	10 - 12
4 - 6	4	3	160 - 180	12 - 16
6 - 10	5	3 - 4	220 - 300	16 - 22
11 - 15	6	4	280 - 360	22 - 24
Титановые сплавы				
0,8	1,0	0,8-2,0	30 - 50	8 - 12
1,0	1,0 - 1,6	1 - 2	40 - 60	8 - 12
1,5	1,6	1 - 2	60 - 80	8 - 12
2,0	1,6 - 2,0	2,0	90 - 100	10 - 12
3,0	2,0	2,5 - 3,0	120 - 140	12 - 14
4,0	2,0	2,5 - 3,0	120 - 140	12 - 14
Низколегированная сталь				
1	1	1,5	40 - 60	3
1,5	1,6	1,5	50 - 90	4
2	2	2	80 - 100	4
3	2 - 3	2-3	90 - 140	5
4-5	3 - 4	3-4	110 - 180	5
Высоколегированные стали				
2	2	1,6 - 2	40	6 - 8
3	2 - 2,5	1,6 - 2	50 - 60	6 - 8
4	2 - 2,5	1,6 - 2	60	8 - 10
5	2,5 - 3	2 - 3	70 - 100	10 - 15
6	2,5 - 3	2 - 3	100 - 120	10 - 20

Напряжение на дуге зависит от ее длины. При сварке неплавящимся электродом для того, чтобы уменьшить ширину шва и сварочные деформации, увеличить глубину проплавления и гарантировать надежную защиту сварочной зоны газом рекомендуется применять дугу длиной от 1,5 до 3 мм. Напряжение на дуге такой длины в среде аргона составляет 11-14 В.

При сварке плавящимся электродом диаметр электродной проволоки выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла (таблица 35).

Таблица 35 – Выбор диаметра электродной проволоки для сварки в защитном газе

Толщина свариваемого металла, мм	1	2	3	4	6	8	10	12	16
Диаметр электродной проволоки $d_э$, мм	0,8	1,0	1,6	1,6 - 2,0	2,0 - 2,5	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	2,5 - 3,0	3,0

Величина сварочного тока, А, при сварке проволокой сплошного сечения рассчитывается по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2 \cdot i}{4}, \quad (26)$$

где $d_э$ - диаметр электродной проволоки, мм;

i – плотность сварочного тока, А/мм².

При сварке в защитных газах благодаря малой длине вылета электрода плотность тока i составляет от 100 до 150 А/мм².

Расход защитного газа выбирается в зависимости от сварочного тока. Примерные величины расхода представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Расход защитного газа при сварке

Сварочный ток, А	50 - 60	90 - 100	150 - 160	220 - 240	280- 300	360- 380	430 - 450
Расход защитного газа, л/мин	8 - 10	8 - 10	9 - 10	15 - 16	15 - 16	18 - 20	18 - 20

Скорость подачи электродной проволоки, V_{np} , м/ч, при сварке плавящимся электродом рассчитывается по формуле

$$V_{np} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2 \cdot \rho}, \quad (27)$$

где α_p – коэффициент расплавления металла, г/А·ч;

$I_{св}$ - сварочный ток, А;

$d_э$ - диаметр электродной проволоки, мм;

ρ - плотность металла электродной проволоки, г/см³.

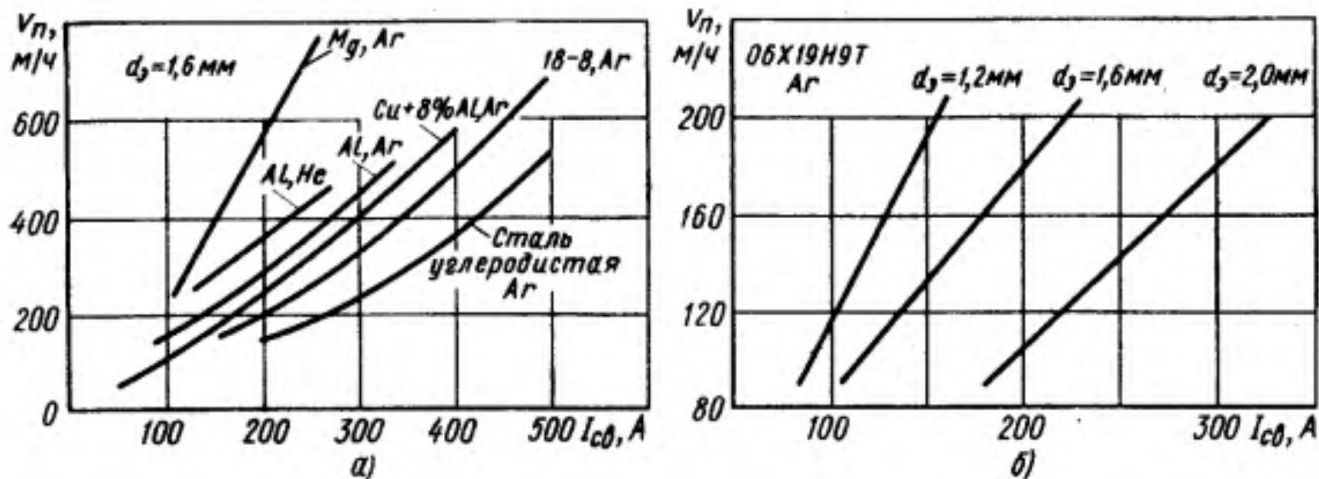
Коэффициент расплавления α_p , г/А·ч, при сварке в защитном газе постоянным током прямой полярности вычисляется по формуле

$$\alpha_p = 3,0 + 0,09 \cdot \frac{I_{св}}{d_э}. \quad (28)$$

При обратной полярности сварочного тока коэффициент расплавления α_p понижается примерно в 1,5 раза и может быть вычислен по формуле

$$\alpha_p = 2,0 + 0,06 \cdot \frac{I_{св}}{d_э}. \quad (29)$$

Зависимость скорости подачи электродной проволоки от сварочного тока для различных металлов при сварке стационарной и импульсной дугой представлена на рисунке 25.



а) сварка стационарной дугой; б) импульсно-дуговая сварка

Рисунок 25 – Зависимость скорости подачи электродной проволоки от сварочного тока при аргонодуговой сварке плавящимся электродом

Скорость сварки $V_{св}$, м/ч, вычисляется по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_{ув} \cdot \rho}, \quad (30)$$

где α_n – коэффициент наплавки металла, г/А·ч;

$F_{ув}$ – площадь поперечного сечения шва, определяемая по таблице 10, или площадь поперечного сечения валика, укладываемого за один проход при сварке многослойных швов, мм²;

ρ – плотность металла сварного шва, г/см³.

Коэффициент наплавки металла α_n , г/А·ч, вычисляется по формуле

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi), \quad (31)$$

где $\Psi = 0,1 \dots 0,15$ – коэффициент потерь металла на разбрызгивание и угар при сварке в защитном газе.

Площадь поперечного сечения валика, выполняемого за один проход, при сварке в защитном газе составляет обычно $30 - 70 \text{ мм}^2$.

Масса наплавленного при сварке в защитном газе металла m_n , г, вычисляется по формуле

$$m_n = \frac{F_{шв} \cdot l \cdot \rho}{1000}, \quad (32)$$

где $F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва, мм^2 ;

l – длина шва, мм;

ρ – плотность металла шва, г/см^3 .

Расход сварочной проволоки на выполнение сварного шва $m_э$, кг, определяется по формуле

$$m_э = \frac{m_n \cdot (1 + \Psi)}{1000}, \quad (33)$$

где m_n – масса наплавленного металла, г;

Ψ – коэффициент потерь металла.

Основное время сварки t_o , мин, равное времени горения дуги, определяется по формуле

$$t_o = \frac{60 \cdot l}{1000 \cdot V_{св}} = \frac{60 \cdot m_n}{I_{св} \cdot \alpha_n}, \quad (34)$$

где l – длина шва, мм;

$V_{св}$ – скорость сварки, м/ч;

m_n – масса наплавленного металла, г;

I_{cs} – сварочный ток, А;

α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Полное операционное время сварки под флюсом T_{on} , мин, определяется по формуле

$$T_{on} = \frac{t_o}{K_n}, \quad (35)$$

где t_o - основное время сварки, мин;

$K_n \approx 0,57 \dots 0,6$ – коэффициент использования сварочного оборудования для дуговой сварки в защитном газе, учитывающий время на подготовку рабочего места, настройку оборудования, смену расходных материалов и т. п.

Расход электроэнергии A , кВт·ч, на выполнение сварного шва рассчитывается по формуле

$$A = \frac{U_d \cdot I_{cs} \cdot t_o}{1000 \cdot \eta} + W_o \cdot \frac{T_{on} - t_o}{60}, \quad (36)$$

где η - КПД источника питания сварочной дуги;

W_o - мощность, потребляемая источником питания на холостом ходу без сварочной дуги, кВт;

T_{on} - полное время сварки, мин;

t_o - основное время сварки, мин.

КПД источников питания постоянного тока составляет от 0,6 до 0,7; источников переменного тока – от 0,8 до 0,9. Мощность холостого хода источника постоянного тока приблизительно равна от 2 до 3 кВт, источника переменного тока – от 0,2 до 0,4 кВт.

5 Свариваемость металлов и сплавов, применяемых в конструкции летательных аппаратов

5.1 Сварка алюминиевых сплавов

Для изготовления сварных узлов и агрегатов в конструкциях летательных аппаратов применяются деформируемые алюминиевые сплавы системы Al–Mg, Al–Mn, Al–Mg–Li, Al–Cu–Li, Al–Mg–Zn. Хорошей свариваемостью обладают технический алюминий АД, АД1 и алюминиевые сплавы марок АМц, АМг, АМгЗ, АМг5В, АМг6, АВ, АД31, АД33, АД35, М40, Д20, ВАД1, В92Ц, 1201. Удовлетворительную свариваемость имеют термически упрочняемые алюминиево-литевые сплавы 1420, 1424, 1440, 1460, 1464, 1469.

Основной проблемой при сварке алюминиевых сплавов является наличие прочной тугоплавкой оксидной пленки на поверхности свариваемых кромок, температура плавления которой 2050 °С в три раза превышает температуру плавления алюминия. Фрагменты оксидной пленки препятствуют образованию общей сварочной ванны и являются причиной возникновения дефектов типа включений, непроваров и несплавлений.

Разрушение и удаление оксидной пленки в процессе сварки осуществляется различными способами. При сварке под флюсом оксидная пленка частично растворяется расплавленным флюсом, отделяется от поверхности металла и удаляется в шлак. При сварке в инертных защитных газах на постоянном токе обратной полярности разрушение оксидной пленки происходит в результате катодного распыления в условиях бомбардировки положительными ионами. Для предупреждения дополнительного окисления и засорения ванны окислами необходимо применять защитный газ высокой чистоты.

Для уменьшения толщины оксидной пленки перед сваркой алюминиевых сплавов выполняют зачистку свариваемых кромок металлическими щетками. Время между зачисткой и сваркой не должно превышать 2 – 3 часа. Затем детали подвергают травлению по следующей технологии:

- 1) обезжиривание в органическом растворителе, ацетоне, уайт-спирите;
- 2) травление в 5 %-ном растворе едкого натра NaOH при температуре 50 – 70 °С в течение 3 – 5 минут;
- 3) промывка в проточной горячей воде при 60 – 80 °С, затем в холодной воде;
- 4) пассивирование и осветление в 10%-ном растворе HNO₃ при 50 – 60 °С в течение 2 – 3 минут или в 15%-ном водном растворе HNO₃ при 60 °С в течение 2 мин;
- 5) промывка в горячей воде при 60 – 70 °С, затем в холодной проточной воде;
- 6) сушка горячим воздухом при 80 – 90 °С.

В результате травления на поверхности образуется тонкая гидроксидная пленка, которая удаляется непосредственно в процессе сварки под действием температуры сварочной дуги.

По такой же технологии обрабатывается алюминиевая сварочная проволока. Присадочную проволоку из сплавов типа AMg после травления рекомендуется подвергать электрохимическому полированию в электролите на основе ортофосфорной и серной кислоты с добавками окиси хрома, глицерина, спирта. Температура электролита при полировании поддерживается в пределах 95 – 100 °С. Качество подготовки проволоки контролируют наплавкой технологических валиков с последующей оценкой пористости металла шва путем взвешивания.

Подготовленные таким образом детали сварной конструкции и сварочная проволока допускается хранить перед сваркой в течение 12 – 16 часов. При хранении проволоки в герметичной упаковке (в вакуумированных полиэтиленовых пакетах) время увеличивается до 36 часов.

Ручная дуговая сварка алюминиевых сплавов выполняется покрытыми электродами, имеющими стержни из сварочной алюминиевой проволоки по ГОСТ 7871-75 [23] и покрытие, содержащее смеси хлористых и фтористых солей металлов.

Электроды марок ОЗА-1 со стержнем из проволоки СвА1 применяют для сварки алюминия, электроды ОЗА-2 со стержнем из проволоки марки СвАК5 – для заварки брака отливок. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности с предварительным нагревом деталей до 150 – 350 °С, который необходим из-за высокой теплопроводности алюминия.

Рекомендуемые марки электродов для сварки алюминиевых сплавов приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Марки электродов для сварки алюминиевых сплавов [24]

Марка электрода	Марка проволоки	Свариваемые сплавы	Температура подогрева. °С
ОЗА-1, ОЗАНА-1, УАНА-1	Св-А5	АД00, АД0, АД1, АД	350
ОЗА-2, ОЗАНА-2, УАНА-2	Св-АК5	АД31, АД33, АД35, АВ, АК7, АК8, АЛ32	200
УАНА-3	Св-АК10	АК9ч, АЛ4, АК12, АЛ2	200
УАНА-4	Св-АМц	АМц, ММ, АМцС	250
УАНА-5	Св-Мг5	АМг2, АМг3, АМг4	150
УАНА-6	Св-Мг6	АМг5Мц, АМг6Л, АМг7, АЛ28, АЛ23, АЛ29	200

Для соединения деталей из алюминиевых сплавов используется автоматическая электродуговая сварка плавящимся электродом под флюсом. Питание дуги осуществляется постоянным током обратной полярности. Наилучшие результаты достигаются при сварке деталей толщиной более 4 мм. Применяются неплавленные флюсы, содержащие 30–40 криолита, 48 – 38 % хлористого калия, 19 – 15 % хлористого натрия, 3 – 3,5 % кварцевого песка. Толщина слоя флюса при сварке составляет от 10 до 35 мм. После сварки необходимо тщательное удаление остатков флюса.

В производстве летательных аппаратов наиболее широко применяется дуговая сварка алюминиевых сплавов в защитных газах. При сварке неплавящимся электро-

дом используется аргон высшего и первого сорта, или смеси аргона с гелием для улучшения формирования шва. При сварке плавящимся электродом для уменьшения разбрызгивания применяют смесь аргона с кислородом (до 5 % O₂).

Основным преимуществом процесса дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде защитного газа является высокая устойчивость горения дуги, что позволяет сваривать тонкие листы.

При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом питание дуги осуществляется переменным током от источника с падающей вольтамперной характеристикой. Сварка тонких листов толщиной от 0,2 мм выполняется импульсной дугой, в связи с чем необходимы специализированные источники переменного тока.

Для соединения изделий с большой толщиной применяется способ дуговой сварки вольфрамовым электродом погруженной дугой, позволяющий за один проход сваривать листы толщиной до 20 мм.

Изделия толщиной более 3 мм свариваются в защитном инертном газе плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. В этом случае в полной мере используется эффект катодного распыления для очистки свариваемых поверхностей. Питание дуги осуществляется источником с жесткой вольтамперной характеристикой. Преимуществом процесса сварки плавящимся электродом является высокая производительность.

Для сварки швов в различных пространственных положениях применяются шланговые полуавтоматы с механизмом подачи проволоки тянущего типа. При этом для улучшения условий переноса металла и формирования шва рекомендуется выполнять сварку импульсной дугой.

5.2 Сварка титановых сплавов

Свариваемость титановых сплавов зависит от состава и концентрации легирующих элементов, влияющих на структуру и способность к упрочнению при термической обработке. Хорошей свариваемостью обладают технический титан ВТ1 и

α -сплавы, к которым относятся сплавы ВТ2, ВТ5 и ВТ5-1, а также псевдо- α -сплавы ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ОТ4-2, ВТ20, ВТ18У, ВТ38. Сварка этих сплавов производится без подогрева и без последующей термообработки.

Двухфазные ($\alpha+\beta$)-сплавы по свариваемости уступают α -сплавам, так как тепловой цикл сварки вызывает структурные превращения, приводящие к снижению пластичности. Необходимый уровень свойств сварных швов достигается термической обработкой после сварки и соответствующим выбором присадочных материалов. Но и в этой группе имеются сплавы, имеющие хорошую свариваемость и применяемые для изготовления сварных изделий. К ним относятся сплавы ВТ6, ВТС, ВТ14, ВТ16, ВТ23, ВТ23М, ВТ43.

Ограниченную свариваемость имеет сплав ВТ3-1, сварка возможна при подогреве до 100-120 °С, для обеспечения прочности сварного шва необходимо проведение последующей термообработки.

Не применяются для изготовления сварных изделий сплавы ($\alpha+\beta$)-сплавы ВТ8, ВТ9, ВТ22, а также псевдо- β -сплав ВТ15.

В качестве присадочного металла и плавящихся электродов при электродуговой сварке титана используется сварочная проволока марок ВТ1-00св, ВТ2св, ОТ4св, ОТ4-1св, ВТ6св, ВТ20-1св, В20-2св, ПТ-7Мсв.

При выборе способа сварки титановых сплавов необходимо принимать во внимание высокую химическую активность титана при нагреве и расплавлении по отношению к кислороду, азоту, водороду и другим газам.

Даже при нормальной температуре титан взаимодействует с кислородом воздуха, в результате чего на изделиях образуется поверхностный слой высокотвердого оксида TiO_2 , который защищает титан от дальнейшего окисления. При нагреве до температуры 350°С и выше титан активно поглощает кислород, образуя оксиды различного состава от Ti_6O до TiO_2 с высокими твердостью, прочностью и низкой пластичностью. В зависимости от степени окисления цвет оксидной пленки меняется от желто-золотистого до темно-фиолетового. По цвету поверхности околошовной зоны можно судить о качестве защиты металла в процессе сварки.

При температуре выше 500°C титан активно взаимодействует с азотом, в результате чего образуются нитриды титана, повышающие твердость и прочность и понижающие пластичность сплава. Поверхностный слой титана, насыщенный кислородом и азотом, получил название альфированного слоя, так как образование оксидов способствует стабилизации альфа-титана. Наличие альфированного слоя вызывает охрупчивание сварного шва и приводит к образованию холодных трещин. Допустимое содержание азота в титане составляет до 0,05%, кислорода – до 0,15%. Перед сваркой альфированный слой необходимо удалять травлением.

Водород активно поглощается титаном при температуре 200 – 400 °С с образованием гидридов TiH_2 . Наличие гидридов в структуре сплава способствует возникновению трещин в холодном состоянии спустя длительное время после сварки. Допустимое содержание водорода в титане составляет до 0,01%.

В связи с этим при сварке титановых сплавов необходима качественная защита зоны сварки, расплавленной сварочной ванны, а также твердого металла шва с лицевой и обратной стороны, нагретого выше 400 °С. Изоляция зоны сварки и нагретого сварного шва от контакта с воздухом осуществляется применением флюсов, флюсовых подкладок и защитных газов.

Перед сваркой необходима подготовка свариваемых кромок и присадочного металла. Сварочная проволока подвергается вакуумному отжигу в течение 4 ч при температуре 900 – 1000 °С для удаления водорода. Разделка свариваемых кромок выполняется фрезерованием, плазменной или газокислородной резкой. Альфированный слой удаляется механической обработкой или травлением. Состав реактивов и режим химической обработки приведен в таблице 38.

Таблица 38 – Химическая обработка титановых сплавов перед сваркой

№ операции	Состав реактива	Назначение реактива	Время обработки
1	Смесь водных растворов $NaNO_3$ (концентрация 150 – 250 г/л) и Na_2CO_3 или $NaOH$ (500 – 700 г/л)	Разрыхление оксидной пленки	до 2 часов

Продолжение таблицы 38

№ операции	Состав реактива	Назначение реактива	Время обработки
2	Смесь водных растворов HF (плотность 1,13, концентрация 220 – 300 г/л) и HNO ₃ (480 – 550 г/л)	Травление	от 1 до 20 часов
3	Смесь водных растворов HNO ₃ (концентрация 600 – 750 г/л) и HF (плотность 1,13, 85 – 100 г/л)	Осветление	от 3 до 10 минут

Ручная и механизированная дуговая сварка титановых сплавов в защитном газе выполняется неплавящимся электродом с присадочным металлом или без него. Используются вольфрамовые электроды типа ЭВИ или ЭВЛ. Автоматическая и полуавтоматическая сварка производится плавящимся электродом, в качестве которого используется сварочная проволока из титанового сплава соответствующего состава.

Для защиты зоны сварки используются инертные газы: аргон высшего сорта, гелий высокой чистоты, или смеси аргона с гелием. Применяются следующие способы защиты:

- сварка с подачей защитного газа через сопло газоэлектрической горелки с протяженной вдоль шва насадкой и с подачей газа на обратную сторону шва через специальные подкладки;

- сварка в защитной атмосфере внутри местной камеры-насадки, устанавливаемой на свариваемое изделие, при этом обратная сторона шва защищается подачей газа через подкладки;

- сварка в герметичной камере с контролируемой инертной атмосферой, в которой помещается все сварное изделие и сварочные инструменты (горелка, приспособление и др.).

Камеры для сварки небольших изделий имеют иллюминаторы для наблюдения за процессом и встроенные резиновые перчатки для рук сварщика. Для крупных ответственных изделий используются камеры большого размера, оборудованные необходимыми устройствами и предназначенные для работы внутри них сварщиков в скафандрах.

Сварка титановых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне выполняется на постоянном токе прямой полярности стационарной или импульсной дугой. Газоэлектрическая горелка снабжается специальной насадкой для подвода защитного газа к участкам металла, нагретым до температуры 250 °С и более. К обратной стороне шва также необходимо подавать защитный газ.

Сварка титановых деталей толщиной до 1,5 мм выполняется встык без разделки и без присадочного металла, толщиной более 1,5 мм – с присадочным металлом. При толщине более 4 мм выполняется V-образная, X-образная или U-образная разделка кромок. По окончании сварки подача аргона должна продолжаться до уменьшения температуры деталей ниже 400 °С. Рекомендуемые режимы сварки приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Режимы аргонодуговой сварки титановых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом

Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, л/мин.
0,3 – 0,7	1,6	–	40	55	13
0,8 – 1,2	1,6	–	60 – 80	40 – 50	15
1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	80 – 120	35 – 40	18
2,5 – 3,5	3,0	2,0 – 2,5	150 – 200	35 – 40	20

Автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимся электродом применяется при толщине титановых деталей более 3 мм. Сварка осуществляется на постоянном токе обратной полярности. Рекомендуется подбирать режимы сварки, обеспечивающие мелкокапельный перенос металла от электрода к свариваемым кромкам (таблица 40). Для уменьшения пористости и увеличения ширины сварного шва применяют смесь аргона с гелием (20% аргона и 80% гелия) или чистый гелий.

Таблица 40 – Режимы сварки титановых сплавов плавящимся электродом в инертных газах

Толщина свариваемых деталей (без разделки), мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
Сварка в аргоне						
4–8	0,6–0,8	150–250	22–24	30–40	10–14	20–30
5–10	1,0–1,2	280–320	24–28	30–40	17–20	25–35
8–12	1,6–2,0	340–520	30–34	20–25	20–25	35–45
14–34	3,0	480–750	32–34	18–22	30–35	40–50
16–36	4,0	680–980	32–36	16–18	35–40	50–60
16–36	5,0	780–1200	34–38	14–16	40–45	50–60
Сварка в гелии						
4–6	0,6–0,8	150–250	28–32	30–40	10–14	30–40
4–8	1,0–1,2	280–320	32–36	30–40	17–20	35–45
5–10	1,6–2,0	340–520	38–40	20–25	20–25	70–90
10–28	3,0	480–750	42–48	18–22	30–35	80–100
12–32	4,0	680–980	46–50	16–18	40–50	100–120
12–32	5,0	780–1200	46–52	14–16	45–55	100–120

Сварка титановых сплавов под флюсом выполняется на постоянном токе обратной полярности с применением сварочных автоматов. Для защиты зоны сварки и нагретого металла используются бескислородные флюсы марок АНТ-1, АНТ-3, АНТ-7, прокаливаемые перед сваркой при температуре 200–400 °С для удаления влаги. Сварка под флюсом эффективна для изделий толщиной более 6 – 8 мм. Прочность сварных швов приближается к прочности основного металла, а структура имеет более мелкозернистую структуру по сравнению со сваркой в защитном газе.

Режимы сварки титановых сплавов под флюсом приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Режимы сварки титановых сплавов плавящимся электродом под флюсом при скорости сварки 50 м/ч

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
односторонняя сварка на остающейся подкладке				
2–2,5	2	190–220	34–36	167–175
4–4,5	2	300–320	34–38	221–239
4–5	3	310–340	30–32	95–111
двусторонняя сварка				
8	3	310–370	30–32	135–140
10	3	340–360	30–32	150–155
12	3	350–400	30–32	160–165
15	3	390–420	30–32	175–180

5.3 Сварка конструкционных сталей

Свариваемость сталей зависит от их состава и в первую очередь от содержания углерода. Хорошую свариваемость имеют низкоуглеродистые, низколегированные и высоколегированные, не склонные к образованию хрупких мартенситных структур при охлаждении. Прочность сварных швов, близкая к прочности основного металла, обеспечивается без дополнительных технологических мероприятий.

Стали, при сварке которых необходимы специальные технологические приемы для получения швов с высокими механическими характеристиками, относятся к удовлетворительно свариваемым. Это среднеуглеродистые, низко- и среднелегированные, некоторые высоколегированные стали. Для них характерны пониженная пластичность, малая ударная вязкость, хладноломкость и склонность к трещинообразованию металла шва, обусловленные образованием закалочных структур при охлаждении. Равнопрочность металла шва и основного металла может быть достигнута предварительным нагревом перед сваркой, сопутствующим нагревом в процессе сварки, термической обработкой швов и околошовной зоны после сварки.

Плохо свариваются стали с высоким содержанием углерода, средне- и высоколегированные стали, для которых не удастся получить приемлемые характеристики сварных швов.

5.3.1 Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

В производстве летательных аппаратов для изготовления сварных конструкций используются низкоуглеродистые и низколегированные стали Ст3, 10, 20, 10Г2, 12Г2А, 15ХА, 20ХМА и другие.

Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяются способы с различными видами защиты зоны дуги и расплавленного металла:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- автоматическая сварка плавящимся электродом под флюсом;
- полуавтоматическая (механизированная) и автоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах.

При изготовлении сложных сварных конструкций в условиях машиностроительного производства наиболее часто применяется полуавтоматическая и автоматическая сварка в углекислом газе. Рациональный подбор параметров режима сварки и материала электродной проволоки обеспечивает получение высококачественных соединений.

В отдельных случаях для теплоустойчивых сталей применяется ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом с присадочным металлом.

Характеристики применяемых материалов, режимы сварки и оборудование представлены в разделах 2, 3, 4.

5.3.2 Сварка среднеуглеродистых низко- и среднелегированных сталей

К среднеуглеродистым легированным сталям, применяемым в конструкциях летательных аппаратов, относятся стали 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСН2А, 30Х2ГСН2ВМ, 38ХА, 35ХМФА, 40ХФА, 40ХН2СВЛ.

Основной проблемой сварки среднеуглеродистых сталей является образование хрупких закалочных структур, в которых под действием остаточных сварочных напряжений возникают трещины, резко снижающие прочность шва.

Для устранения этого явления применяются специальные технологические мероприятия, направленные на формирование благоприятной структуры, повышение пластичности металла шва и околошовной зоны, снижение уровня остаточных сварочных напряжений.

Предварительный подогрев свариваемых кромок – один из способов регулирования термического цикла сварки. Температура предварительного подогрева определяется таким образом, чтобы скорость охлаждения шва после сварки не превышала критическую скорость, вызывающую закалку с образованием мартенсита. При недостаточности предварительного используют сопутствующий подогрев.

Температура предварительного подогрева (таблица 42) зависит от состава стали, содержания углерода и легирующих элементов, состава присадочного металла и толщины свариваемых кромок.

Таблица 42 – Рекомендуемые температуры предварительного нагрева при сварке сталей, °С

Свариваемая сталь	Толщина металла, мм	Присадочный металл				
		Низколегированная сталь	Среднелегированная сталь	Хромистая сталь	Хромоникелевая аустенитная сталь	Марганцовистая сталь
Нелегированная, < 0,3 % С	до 20	-	-	-	-	-
	от 20 до 60	-	-	100	-	-
	более 60	100	125	200	-	-
Низколегированная, 0,3-0,6 % С _{экв}	до 20	100	100	150	-	-
	от 20 до 60	150	125	200	100	-
	более 60	180	180	250	150	-
Среднелегированная, 0,6-0,8 % С _{экв}	до 20	150	180	200	-	-
	от 20 до 60	200	250	275	125	100
	более 60	250	300	350	200	100
Хромистая, 5-12 % Cr	до 20	150	200	200	-	используется редко
	от 20 до 60	250	250	300	150	
	более 60	300	350	375	250	
Хромистая, > 12 % Cr	до 20	100	100	150	-	используется редко
	от 20 до 60	200	200	200	200	
	более 60	200	250	250	200	
Коррозионностойкая, 18 % Cr, 8 % Ni	до 20	-	-	-	-	-
	от 20 до 60	-	-	150	-	-
	более 60	-	-	200	100	-

Продолжение таблицы 42

Свариваемая сталь	Толщина металла, мм	Присадочный металл				
		Низколегированная сталь	Среднелегированная сталь	Хромистая сталь	Хромоникелевая аустенитная сталь	Марганцовистая сталь
Марганцовистая, до 14 % Mn	до 20	-	-	использу-	-	-
	от 20 до 60	-	-	ется	-	-
	более 60	-	-	редко	-	-

Для предотвращения образования холодных трещин в сварном соединении необходимо снижать уровень остаточных сварочных напряжений. Это достигается с помощью следующих технологических приемов:

- выполнение сварки без жесткого закрепления деталей в приспособлении при условии, что возникающие при этом деформации сварной конструкции не превысят допустимых величин;
- технологическая отработка и корректировка конструкции свариваемого изделия для компенсации сварочных напряжений конструктивными средствами;
- рациональная последовательность наложения сварных швов;
- проковка, прокатка или опрессовка сварного соединения с целью создания сжимающих напряжений в металле шва и околошовной зоны.

Термическая обработка сварной конструкции по режиму высокого отпуска снижает уровень остаточных напряжений, улучшает структуру металла сварного шва, снижает твердость и повышает пластичность, что значительно уменьшает вероятность образования холодных трещин. Термическая обработка имеет достаточно высокую стоимость, в связи с чем проводится для ответственных изделий.

Для ручной дуговой сварки среднелегированных сталей используются электроды типа Э70, Э85, Э100, Э150 с основными покрытиями.

Автоматическая и механизированная сварка среднелегированных сталей в защитном газе производится с использованием аргона, углекислого газа и их смесей. Ручная сварка неплавящимся электродом выполняется в аргоне с присадочным металлом в виде проволоки марок Св08Г2С, Св18ХМА, Св18ХГС, Св10ХГ2СМЛ, Св20Х2ГСНВМ, Св20ХСНВФАВД. Эти же материалы используются как электродная проволока при сварке плавящимся электродом.

При автоматической сварке под флюсом для среднелегированных сталей используются флюсы марок АН-15, АН-15М, АН-17М, АН-22.

5.3.3 Сварка высоколегированных сталей

В конструкциях летательных аппаратов применяются коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные высоколегированные стали, содержащие более 10 % легирующих элементов и не более 0,25 % углерода. В зависимости от структура высоколегированные стали разделяются на аустенитные, аустенитно-ферритные, аустенитно-мартенситные, мартенситно-ферритные и мартенситные.

Высокохромистые стали мартенситного и мартенситно-ферритного класса, к которым относятся 10Х12НД, 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ, 12Х12ВМФБР, 12Х13, 20Х13, 14Х17Н2, 10Х12НДЛ, характеризуются пониженной свариваемостью из-за склонности к образованию холодных трещин вследствие мартенситного превращения при охлаждении сварочной ванны. Предотвращение трещинообразования достигается с помощью технологических мероприятий и приемов, аналогичных применяемым при сварке среднеуглеродистых сталей.

Большая группа высоколегированных сталей, содержащих более 16 % хрома и более 7 % никеля, относится к аустенитным. Основными представителями этой группы являются: 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 10Х17Н13М3Т, 03Х16Н15М3, 20Х23Н13, 08Х20Н14С2 и др. Теплопроводность аустенитных сталей в 4 раза ниже, а коэффициент линейного расширения в 1,5 раза выше и электрическое сопротивление в 3 – 5 раз больше по сравнению с низкоуглеродистыми сталями. Это приводит к повышению градиента температур в околошовной зоне при сварке и увеличению сварочных деформаций и напряжений. Особенностью аусте-

нитных сталей является повышенная склонность к образованию кристаллизационных трещин в металле сварного шва, которая обусловлена:

- образованием крупнокристаллической однофазной структуры;
- увеличенной линейной усадкой при охлаждении после кристаллизации;
- повышенным уровнем растягивающих напряжений из-за неравномерности распределения температур в околошовной зоне.

Для уменьшения вероятности появления кристаллизационных трещин применяют сварочную проволоку, легированную титаном и ниобием, которые образуют мелкодисперсные карбиды, препятствующие росту аустенитных кристаллов. Возникающая благодаря этому мелкозернистая структура шва имеет повышенную вязкость и устойчивость против трещинообразования.

Повышению качества сварного шва способствует электромагнитное перемешивание сварочной ванны при автоматической сварке. Для этого на расплавленный металл воздействуют переменным магнитным полем, вызывающем непрерывное движение металла в процессе кристаллизации. В результате этого затрудняется беспрепятственный рост кристаллов аустенита и сварной шов приобретает мелкозернистую структуру.

При разработке процессов сварки аустенитных сталей следует учитывать возможность потери коррозионной стойкости сварных швов вследствие уменьшения концентрации хрома ниже 12 %. При температуре 600 – 750 °С хром интенсивно взаимодействует с углеродом, в результате чего образуются карбиды хрома, а содержание хрома в твердом растворе снижается. Для предотвращения этого явления необходимо:

- применять сварочную проволоку с карбидообразующими элементами – титаном, ванадием, ниобием;
- обеспечить высокую скорость охлаждения шва в интервале от 800 до 600 °С, например, с помощью водоохлаждаемых сварочных подкладок;
- выполнять после сварки термическую обработку швов – закалку или отжиг при температуре более 800 °С, в результате чего происходит распад карбидов хрома

и растворение хрома в железе с восстановлением обеспечивающей коррозионную стойкость концентрации.

Аустенитные стали свариваются ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, автоматической сваркой под флюсом, всеми видами сварки в защитных газах – в аргоне, углекислом газе и в смесях газов [26].

5.3.4 Сварка высокопрочных мартенситно-старееющих сталей

Высокая прочность мартенситно-старееющих сталей обеспечивается образованием мелкодисперсной интерметаллидной фазы в процессе термической обработки – старения пересыщенного твердого раствора при температуре 400 – 550 °С. Мартенситно-старееющие стали делятся на группы, отличающиеся системой легирования:

- стали на основе железоникелевого сплава с добавками молибдена, кобальта, титана, алюминия (Н18К9М5Т, Н18К8М5ТЮ, Н18К12М5Т и др.);

- хромоникелевые стали с добавками молибдена, кобальта, титана, алюминия (Х11Н10М2ТЮ, Х12Н9К4МВТ, 03Х12К14Н5М5Т и др.);

- стали, содержащие до 12% никеля с дополнительным легированием медью, марганцем, ванадием и другими элементами (Н12М2Д2ТЮ, 03Н12Х5М3, Н8Г4Ф3Д2);

- среднеуглеродистые (0,2—0,4 % С) никелькобальтовые стали, содержащие карбидообразующие элементы и имеющие смешанный карбидно-интерметаллидный механизм упрочнения (30Н8К4ХМФ).

Мартенситно-старееющие стали имеют хорошую свариваемость. Они не склонны к образованию горячих и холодных трещин. Сварные швы имеют повышенные механические свойства без дополнительной обработки и достигают равнопрочности с основным металлом после проведения термической обработки старением. Старение происходит и в зоне термического влияния в местах, где температура достигала 480 – 540 °С.

Для мартенситно-старееющих сталей могут применяться все виды сварки плавлением, в том числе, ручная дуговая сварка покрытыми электродами, сварка под

флюсом плавящимся электродом, ручная, механизированная и автоматическая сварка в защитных газах. Технологические процессы сварки этих сталей отличаются простотой. Благодаря дисперсионному механизму упрочнения не требуется предварительный подогрев, а обработка старением выполняется при относительно невысокой температуре.

На предприятиях для мартенситно-старящихся сталей наиболее часто применяется аргодуговая сварка неплавящимся электродом с присадочным металлом – проволокой, имеющей состав, близкий к составу свариваемой стали.

6 Разработка комплектов технологических документов на процессы сварки

Маршрутное и операционное описание технологических процессов сварки выполняют на бланках маршрутных карт (МК). Для указания дополнительной информации, необходимой для выполнения отдельных операций и технологических переходов составляют карты технологической информации (КТИ).

В условиях серийного производства для технологических процессов сварки составляют операционное описание с использованием бланков маршрутных карт. При этом в маршрутную карту включают строку для указания режимов сварки, обозначаемую служебным символом Р. Условные обозначения параметров режимов сварки в графах маршрутной карты, предусмотренные стандартом ГОСТ 3.1407-86 [27], приведены в таблице 43. Типовые блоки режимов для различных видов сварки приведены в таблице 44. Размеры граф, входящих в блоки режимов, устанавливает разработчик документов.

При введении в формы документов блоков режимов в строке со служебным символом Р следует указывать сокращенное обозначение блока режимов по таблицам 22 и 23, например РС3 - блок режимов газовой сварки. На последующих строках форм документов следует указывать только служебный символ Р.

Таблица 43 – Условные обозначения параметров режимов сварки в технологических документах

Номер графы	Условное обозначение графы	Номер блока режимов сварки	Содержание графы
1	<i>ПС</i>	РС1, РС3	Обозначение пространственного положения сварного шва по ГОСТ 11969-93
2	<i>НП</i>	РС1, РС3	Номер прохода для многослойных сварных швов

Продолжение таблицы 43

Номер графы	Условное обозначение графы	Номер блока режимов сварки	Содержание графы
3	<i>DC</i>	PC1	Диаметр сопла для сварки в защитных газах со струйной защитой
4	<i>lc</i>	PC1	Расстояние от торца сопла до поверхности свариваемых деталей для дуговой сварки в защитных газах со струйной защитой
5	<i>lэ</i>	PC1	Вылет электрода (расстояние от точки токоподвода до конца электрода, на котором горит дуга)
6	<i>Пл</i>	PC1	Обозначение полярности (П - прямая, О - обратная)
7	<i>U</i>	PC1	Напряжение при электрошлаковой сварке. Напряжение дуги при остальных способах сварки
		PC2	Ускоряющее напряжение
		PC4, PC5	Вторичное напряжение холостого хода или ступень регулирования контактной машины. Зарядное напряжение при сварке на конденсаторной машине
8	<i>I</i>	PC1, PC2	Сила сварочного тока (при сварке трехфазной дугой - в цепи электрод - изделие)
9	<i>Vс</i>	PC1, PC2, PC4, PC8	Скорость сварки
10	<i>Vн</i>	PC1, PC2	Скорость подачи присадочного металла
11	<i>qо3</i>	PC1, PC8	Расход защитного (плазмообразующего) газа для основной защиты в единицу времени

Продолжение таблицы 43

Номер графы	Условное обозначение графы	Номер блока режимов сварки	Содержание графы
12	$q_{дз}$	PC1, PC8	Расход защитного (плазмообразующего) газа для дополнительной защиты в единицу времени
13	q_k	PC1	Расход защитного газа для защиты корня шва в единицу времени
14	T_u	PC1, PC2, PC8	Длительность импульса сварочного тока
15	T_n	PC1, PC4, PC8	Длительность паузы между импульсами сварочного тока
16	-	PC1-PC8	Резервная графа для указания дополнительной информации по режимам сварки. Заполняется по усмотрению разработчика
17	l_n	PC2	Расстояние от среза электронной пушки до поверхности свариваемых деталей
18	I_{ϕ}	PC2	Сила тока фокусирующей катушки
19	f	PC2	Частота импульсов
20	HM	PC3	Номер мундштука
21	P_k	PC3	Давление кислорода
22	P_g	PC3	Давление горючего газа
23	F_{np}	PC4, PC7	Предварительное усилие сжатия
24	T_{np}	PC4	Длительность приложения предварительного усилия сжатия
25	I_1	PC4, PC5	Сила тока первого импульса (подогрева)
26	F_1	PC4, PC5	Сварочное усилие сжатия при первом импульсе (подогреве)
		PC6	Усилие сжатия в стадии нагрева заготовок

Продолжение таблицы 43

Номер графы	Условное обозначение графы	Номер блока режимов сварки	Содержание графы
27	T_1	PC4, PC5	Длительность первого импульса (подогрева)
		PC6	Длительность нагрева заготовок
28	I_2	PC4, PC5	Сила тока второго импульса (сварки)
29	F_2	PC4, PC5	Сварочное усилие сжатия при втором импульсе тока
		PC6	Усилие сжатия в стадии осадки
		PC7	Рабочее усилие сжатия
30	T_2	PC4, PC5	Длительность второго импульса
		PC6	Длительность осадки
		PC7	Длительность приложения рабочего усилия сжатия
31	F_k	PC4, PC5	Ковочное усилие сжатия
32	T_k	PC4, PC5	Длительность приложения ковочного усилия
33	E	PC4	Электрическая емкость конденсаторов (для конденсаторной сварки)
34	l_{yc}	PC5, PC6	Установочная длина заготовки. Если установочные длины для двух заготовок различны, то следует записывать через запятую оба их значения с указанием в скобках номера позиции по конструкторскому документу или эскизу
35	Pr	PC5, PC6	Общий припуск
36	Pr_1	PC5	Припуск на оплавление
		PC6	Припуск на осадку при нагреве заготовок
37	$F_{зж}$	PC5	Усилие зажатия стыковой машины
38	V_o	PC5	Скорость оплавления

Продолжение таблицы 39

Номер графы	Условное обозначение графы	Номер блока режимов сварки	Содержание графы
39	n	PC6	Частота или угловая скорость относительного вращения заготовок
40	$Pв$	PC7	Давление в камере после вакуумирования
41	$T-ра$	PC7	Температура сварки
42	$Vн$	PC7	Скорость нагрева
43	$Voх$	PC7	Скорость охлаждения
44	N	PC8	Мощность излучения
45	<i>Расходим.</i>	PC8	Расходимость луча
46	$Dл$	PC8	Диаметр луча
47	$lф$	PC8	Фокусное расстояние
48	$lз$	PC8	Заглубление фокуса относительно поверхности свариваемого изделия

Таблица 44 - Типовые блоки режимов для сварочных операций
(нумерация обозначений граф – по таблице 43)

PC1 - для дуговой, электрошлаковой и плазменной сварки															
PC	HP	DC	lc	$lэ$	$Пл$	U	I	Vc	$Vн$	$qоз$	$qдз$	$qк$	Tu	Tn	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

PC2 – для электронно-лучевой сварки								
ln	U	I	$Iф$	Tu	f	Vc	$Vн$	
17	7	8	18	14	19	9	10	16

PC3 - Для газовой сварки					
<i>PC</i>	<i>НП</i>	<i>HM</i>	<i>P_к</i>	<i>P₂</i>	
1	2	20	21	22	16

PC4 – для контактной точечной, рельефной и шовной сварки (кроме стыковой)														
<i>U</i>	<i>F_{np}</i>	<i>T_{np}</i>	<i>I₁</i>	<i>F₁</i>	<i>T₁</i>	<i>T_n</i>	<i>I₂</i>	<i>F₂</i>	<i>T₂</i>	<i>F_к</i>	<i>T_к</i>	<i>V_с</i>	<i>E</i>	
7	23	24	25	26	27	15	28	29	30	31	32	9	33	16

PC5 - Для контактной стыковой сварки														
<i>l_{yc}</i>	<i>Пр</i>	<i>Пр₁</i>	<i>F_{заж}</i>	<i>U</i>	<i>I₁</i>	<i>F₁</i>	<i>T₁</i>	<i>V_о</i>	<i>I₂</i>	<i>F₂</i>	<i>T₂</i>	<i>F_к</i>	<i>T_к</i>	
34	35	36	37	7	25	26	27	38	28	29	30	31	32	16

PC6 – для сварки трением								
<i>l_{yc}</i>	<i>Пр</i>	<i>Пр₁</i>	<i>n</i>	<i>F₁</i>	<i>T₁</i>	<i>F₂</i>	<i>T₂</i>	
34	35	36	39	26	27	29	30	16

PC7 - Для диффузионной сварки							
<i>P_в</i>	<i>T-ра</i>	<i>F_{np}</i>	<i>F₂</i>	<i>T₂</i>	<i>V_н</i>	<i>V_{ox}</i>	
40	41	23	29	30	42	43	16

PC8 - Для лазерной сварки										
<i>N</i>	<i>Расходим.</i>	<i>Дл</i>	<i>lφ</i>	<i>l_з</i>	<i>V_с</i>	<i>q_{оз}</i>	<i>q_{дз}</i>	<i>T_и</i>	<i>T_n</i>	
44	45	46	47	48	9	11	12	14	15	16

Для описания технологических операций и переходов сварки в комплектах документов на технологические процессы изготовления деталей и сборочных единиц стандартом ГОСТ 3.1705-81 установлены следующие формы записи наименования операции:

- краткая;

- полная;
- кодовое обозначение по классификатору технологических операций.

Краткой записью наименования операции является слово «Сварка».

Кодовое обозначение применяют при обработке данных техническими средствами, совместно с полной или краткой записью наименования операции или без них.

В полной записи наименования операции отражается способ и вид сварки с характерными особенностями ее выполнения. Полную запись наименования операции следует применять в маршрутной карте при маршрутном описании технологического процесса, если входящие в операцию переходы соответствуют определенному способу и виду сварки. При необходимости в наименование операции включают указания о выполнении сварки прихватками, степени механизации сварки и другие дополнительные сведения.

Примеры

1 Ручная дуговая сварка прихватками

2 Автоматическая аргодуговая сварка плавящимся электродом

Список полных наименований операций сварки, выполняемых различными способами:

- 1) Газовая сварка
- 2) Газопрессовая сварка
- 3) Диффузионная сварка
- 4) Диффузионная сварка в активных газах
- 5) Диффузионная сварка в вакууме
- 6) Диффузионная сварка в инертных газах
- 7) Дуговая сварка
- 8) Дуговая сварка в азоте неплавящимся электродом без присадочного металла
- 9) Дуговая сварка в азоте неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 10) Дуговая сварка в азоте плавящимся электродом

- 11) Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом без присадочного металла
- 12) Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 13) Дуговая сварка в вакууме плавящимся электродом
- 14) Дуговая сварка в водяном паре
- 15) Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла
- 16) Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 17) Дуговая сварка в инертных газах плавящимся электродом
- 18) Дуговая сварка в концентрических потоках инертного и активного газов неплавящимся электродом без присадочного металла
- 19) Дуговая сварка в концентрических потоках инертного и активного газов неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 20) Дуговая сварка в концентрических потоках инертного и активного газов плавящимся электродом
- 21) Дуговая сварка в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом
- 22) Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом без присадочного металла
- 23) Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 24) Дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой
- 25) Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой
- 26) Дуговая сварка под флюсом
- 27) Дуговая сварка порошковой проволокой
- 28) Дуговая сварка по флюсу неплавящимся электродом без присадочного металла

- 29) Дуговая сварка по флюсу неплавящимся электродом с присадочным металлом
- 30) Дуговая сварка по флюсу плавящимся электродом
- 31) Дуговая сварка покрытыми электродами
- 32) Дуговая сварка пучком покрытых электродов
- 33) Дуговая сварка самозащитной проволокой
- 34) Дугопрессовая сварка
- 35) Индукционная сварка
- 36) Индукционно-прессовая сварка
- 37) Ионно-лучевая сварка
- 38) Контактная сварка
- 39) Контактная рельефная сварка
- 40) Контактная стыковая сварка
- 41) Контактная точечная сварка
- 42) Контактная шовная сварка
- 43) Контактная шовно-стыковая сварка
- 44) Литейная сварка
- 45) Магнитно-импульсная сварка
- 46) Печная сварка
- 47) Плазменная сварка
- 48) Сварка взрывом
- 49) Сварка тлеющим разрядом
- 50) Сварка трением
- 51) Световая сварка
- 52) Термитная сварка
- 53) Термитно-прессовая сварка
- 54) Термокомпрессионная сварка
- 55) Ультразвуковая сварка
- 56) Ультразвуковая стыковая сварка
- 57) Ультразвуковая точечная сварка

- 58) Ультразвуковая шовная сварка
- 59) Холодная сварка
- 60) Холодная стыковая сварка
- 61) Холодная точечная сварка
- 62) Холодная шовная сварка
- 63) Шлакопрессовая сварка
- 64) Электронно-лучевая сварка
- 65) Электрошлаковая сварка

Описание содержания операции или технологического перехода должна включать следующие части:

- ключевое слово в виде глагола в неопределенной форме: «Сварить», «Прихватить», «Приварить», «Подварить», «Заварить» или «Выполнить»;

- наименование вида или способа сварки, если в документе применена краткая запись наименования операции или соответствующее ей кодовое обозначение;

- информацию о прихватках для переходов с ключевым словом «Прихватить», содержащую данные об их размерах, количестве и расположении, если такая информация отсутствует на эскизе или не указана в соответствующих графах документа;

- указание на свариваемые детали, выполняемые швы или другие объекты.

При необходимости в запись содержания операции или технологического перехода включают:

- особые условия сварки: положение сварки, последовательность ее выполнения и т.п.;

- ссылку на документы, эскиз, чертеж, технологическую инструкцию, содержащую информацию, которая дополняет или разъясняет текстовую запись.

Примеры записи содержания операций и технологических переходов сварки:

- 1) Сварить детали поз. 24 и 27
- 2) Сварить дуговой сваркой в углекислом газе порошковой проволокой в положении «в лодочку» детали 6 и 10 согласно эскизу
- 3) Сварить образцы-свидетели

- 4) Сварить дуговой сваркой в инертных газах плавящимся электродом детали 16 и 17
- 5) Прихватить детали согласно эскизу
- 6) Прихватить $50 \pm 5/200 \pm 10$ днище и обечайку
- 7) Прихватить $5^{+1}/25 \pm 2$ детали 5 и 8
- 8) Прихватить контактной точечной сваркой $5^{+1}/25 \pm 2$ детали 3 и 14
- 9) Прихватить контактной точечной сваркой $d = 5^{+1}$ в трех равноудаленных местах детали 7 и 8.
- 10) Прихватить дуговой сваркой в углекислом газе порошковой проволокой швами $K6^{+1}$, $30 \pm 5/150 \pm 10$ детали 5 и 8
- 11) Прихватить швами $\triangle 8^{+1.5}$ длиной 30 ± 5 в четырех диаметрально противоположных местах детали 4 и 9
- 12) Приварить технологические пластины
- 13) Подварить корень шва
- 14) Заварить технологическое отверстие
- 15) Выполнить замыкающий шов
- 16) Выполнить одновременно швы 5 и 6

Особые условия сварки записывают в конце записи содержания технологического перехода (операции), на эскизе или в графе «Особые указания» отдельными предложениями.

Пример - Сварку производить после остывания до температуры ниже 473 К и зачистки каждого предыдущего валика

Технологические переходы зачистки, сборки, правки, выполняемые на том же рабочем месте, где производится сварка, указывают в описании операции в технологической последовательности.

В записи операций и технологических переходов допускается применять сокращения отдельных слов и словосочетаний, если при этом исключается возможность различного понимания.

Маршрутное и операционное описание технологических процессов пайки выполняют аналогично технологическим операциям сварки с использованием бланков

маршрутных карт, дополненных строками для указания режимов пайки по ГОСТ 3.1407-86. Наименование операций пайки может быть записано в краткой или полной форме. Полное наименование операций применяется при маршрутном описании процесса. При операционном описании наименование операций записывают в краткой форме. К технологическим операциям пайки относятся собственно пайка и лужение – покрытие поверхности детали слоем припоя. Краткие наименования операций записываются соответственно словами «пайка», или «лужение».

В полном наименовании операции пайки записывают:

- слово «Пайка»;
- метод получения припоя;
- способ удаления окисной пленки с паяемой поверхности;
- вид источника нагрева.

Допускается в полном наименовании отражать степень механизации и автоматизации процесса и другие признаки процесса, приведенные в таблице 45.

Примеры

1 Пайка композиционным припоем в печи автоматическая.

2 Пайка контактно-реактивная электросопротивлением под давлением.

3 Пайка готовым полностью расплавляемым припоем в активной газовой среде волной припоя капиллярная одновременная.

Таблица 45 – Наименования способов пайки по основным признакам процесса

Вид признака	Наименование способа пайки
По получению припоя	Готовым полностью расплавляемым припоем Композиционным припоем Контактно-реактивный Реактивно-флюсовый Контактно-твердогазовый

Продолжение таблицы 45

Вид признака	Наименование способа пайки
По удалению окисной пленки	Флюсовый Ультразвуковой В активной газовой среде В нейтральной газовой среде В вакууме Абразивный
По источнику нагрева	Паяльником Нагретыми штампами Нагретыми блоками Нагревательными матами Нагретым газом Погружением в расплавленную соль Погружением в расплавленный припой Волной припоя Экзотермический Электролитный В печи Газопламенный Световыми лучами Инфракрасными лучами Лазерный Электронно-лучевой Плазменный Дуговой Тлеющим разрядом Индукционный Электросопротивлением Дуговым разрядом в вакууме

Продолжение таблицы 45

Вид признака	Наименование способа пайки
По заполнению зазора припоем	Капиллярный Некапиллярный
По наличию давления	Под давлением Без давления
По одновременности выполнения паяных соединений	Одновременный Неодновременный (ступенчатый)

В описание содержания операций или технологических переходов пайки должны входить:

- ключевое слово в виде глагола в неопределенной форме «паять» или «лудить»;
- наименование способа пайки или лужения;
- наименование объектов пайки или лужения.

Дополнительно в содержание операции (перехода) включаются наименование способа заполнения зазора припоем и ссылка на конструкторские документы, эскизы, технологические инструкции, необходимые для выполнения операции.

Примеры

1 Паять готовым полностью расплавленным припоем с кристаллизацией при охлаждении с одновременной электромагнитной пайкой сборочные единицы 2 и 3 согласно чертежу.

2 Лудить абразивно-кристаллической лужением детали позиции 1 и 2 согласно эскизу.

3 Паять контактно-реактивной диффузионной одновременной пайкой детали позиции 1 и 2.

Технологические переходы подготовки деталей, сборки, очистки поверхностей, контроля и другие, выполняемые на том же рабочем месте, где выполняется пайка, включаются в содержание операции в последовательности их выполнения.

При необходимости указываются необходимые требования и средства, обеспечивающие качество пайки.

Примеры

1 Протереть ацетоном поверхности, подлежащие пайке.

2 Контроль ОТК сборки под пайку.

3 При выполнении пайки обеспечить заполнение паяльного зазора на всю глубину.

При разработке документов на технологический процесс следует отражать все необходимые требования и средства, обеспечивающие безопасность труда во время пайки. Запись информации и оформление документа следует выполнять в соответствии с требованиями нормативно-технических документов системы стандартов безопасности труда.

Список использованных источников

1. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1985–07–1, с Изменениями № 1, 2.– Москва : Изд-во стандартов, 2001. – 36 с.
2. ГОСТ 19521-74. Сварка металлов. Классификация. – Введ. 1974–02–18. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 11 с.
3. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1981–07–01. – Москва : Стандартиформ, 2010.
4. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. . – Введ. 1977–07–01. – Москва : Стандартиформ, 2007.
5. ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1981–01–01. – Москва : Стандартиформ, 2007.
6. ГОСТ 11533-75 Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1981–01–01. – Москва : Стандартиформ, 2007.
7. ГОСТ 14806-80 Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1977–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 1993.
8. ГОСТ 2.312-72 Условные изображения и обозначения сварных швов. – Введ. 1973–01–01, с Изменением № 1. – Москва : Стандартиформ, 2007.
9. ГОСТ 23949-80 Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия. – Введ. 1981–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
10. ГОСТ 2246—70 Проволока стальная сварочная. Технические условия. – Введ. 1973–01–01. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 19 с.

11. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия. – Введ. 1976-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 25 с.
12. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. – Введ. 1977-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 27 с.
13. ГОСТ 10051-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы (с Изменением N 1). Введ. 1977-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 13 с.
14. ГОСТ 10052-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы. – Введ. 1977-01-01, с Изменением № 1. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 14 с.
15. ГОСТ 9087-81. Флюсы сварочные плавные. Технические условия. – Введ. 1982-01-01, с Изменениями № 1, 2. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.
16. ОСТ 36-58-81. Конструкции строительные стальные. Сварка. Основные требования. Утв. 1981.05.11.
17. Гитлевич, А. Д. Альбом механического оборудования сварочного производства [Текст] : учеб. пособие для курсов инструкторов по внедрению в нар. хоз-во передовых методов сварки и наплавки металлов / А. Д. Гитлевич, Л. А. Животинский, А. И. Клейнер. - М. : Высш. шк., 1974. - 160 с. : черт., табл.
18. Севбо, П. И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования [Текст] / П. И. Севбо. - Киев : Наук. думка, 1978. – 400 с.
19. ГОСТ 8213-75 Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия. – Введ. 1977-01-01, с Изменениями № 1, 2, 3, 4. – М. : Издательство стандартов, 1993.
20. ГОСТ 18130-79. Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия. – Введ. 1980-01-01, с Изменениями № 1, 2, 3. – М. : Издательство стандартов, 1990.

21. ГОСТ 7012-77 Трансформаторы однофазные однопостовые для автоматической дуговой сварки под флюсом. Общие технические условия. – Введ. 1977-01-01, с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1988.

22. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом [Текст] / А. Г. Потапьевский. - М. : Машиностроение, 1974. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 234-238.

23. ГОСТ 7871-75 Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – Введ. 1976-07-01, с Изменениями № 1, 2. – Москва : Изд-во стандартов, 1990.

24. Машиностроение [Текст] : энциклопедия в 40 т. / под ред. К. В. Фролова . - М. : Машиностроение, [1994-200?]. Раздел III: Технология производства машин. Т. III-4: Технология сварки, пайки и резки / под ред. Б. Е. Патона. - 2006. - 768 с.: ил. - ISBN 5-217-02421-6. - ISBN 5-217-02419-2.

25. Машиностроение [Текст] : энциклопедия в 40 т. / под ред. К. В. Фролова . - М. : Машиностроение, [1994-200?]. Раздел IV : Расчет и конструирование машин Т. IV-6: Оборудование для сварки / под ред. Б. Е. Патона. - 2-е изд, испр 2002. - 496 с.: ил. - ISBN 5-217-03114-X. - ISBN 5-217-02419-4.

26. Фролов, В. А. Технология сварки плавлением и термической резки металлов [Текст] : учебное пособие / В. А.Фролов, В. Р. Петренко, А. В. Пешков, А. Б. Коломенский, В. А. Казаков ; под ред. В. А. Фролова. – М. : Альфа-М, Инфра-М, 2013. – 448 с. : ил.

27. ГОСТ 3.1407-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки [Текст]. – Введ. 1988-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988 – 46 с.

Учебное пособие

Владимир Дмитриевич Проскурин

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ISBN 978-5-7410-1651-0

