

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Ю.А. ВАШУКОВ

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ШТУЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлениям подготовки 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение, 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.04.04 Авиастроение

© Самарский университет, 2019

ISBN 978-5-7883-1444-0

САМАРА

Издательство Самарского университета

2019

УДК 621.791(075)
ББК 30.61я7
В 234

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. С.В. Коновалов;
заместитель технического директора АО «Металлист-Самара»
А.М. Уржунцев

Вашуков, Юрий Александрович

В 234 Ручная дуговая сварка штучными электродами: учеб. пособие
Ю.А. Вашуков – Электрон. текст. дан. (1,6 Мб). – Самара:
Издательство Самарского университета, 2019. – 1 опт. компакт-диск
(CD-ROM). – Систем. требования: PC, процессор Pentium, 160 МГц ;
оперативная память 32 Мб ; на винчестере 16 Мб ; Microsoft Windows
XP/Vista/7; разрешение экрана 1024x768 с глубиной цвета 16 бит ; DVD-ROM
2-х и выше, мышь; Adobe Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7883-1444-0

Составлено в соответствии с рабочими программами курсов, связанных со сборочно-сварочными процессами в производстве летательных аппаратов, для обучающихся институтов авиационной и ракетно-космической техники Самарского университета.

Данная работа содержит краткие теоретические сведения и указания для выполнения лабораторных работ и контрольные вопросы.

Рассматриваются процессы ручной дуговой сварки штучными электродами, а также последовательность разработки технологических процессов сварки и выбора оборудования.

Предназначено для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальностям 24.05.07 Самолето-и вертолетостроение при изучении дисциплины «Технология сборочно-сварочных процессов» в 9 семестре; 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов при изучении дисциплины «Технология сборочно-сварочных процессов» в 9 семестре; по направлениям подготовки 27.03.02 Управление качеством при изучении дисциплины «Технология и оборудование машиностроительного производства» в 6 семестре; 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств при изучении дисциплины «Основы теории сварочных процессов» в 6 семестре, а также для подготовки магистров по направлению 24.04.04 Авиастроение при изучении дисциплины «Технология производства самолетов».

Может быть полезно молодым специалистам авиационной и ракетно-космической отраслей.

Подготовлено на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении Самарского университета.

УДК 621.791(075)
ББК 30.61я7

Редактор И.П. Ведмидская
Компьютерная вёрстка И.П. Ведмидской

Подписано для тиражирования 30.09.2019.

Объем издания 1,6 Мб.

Количество носителей 1 диск.

Тираж 10 дисков.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Изд-во Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ	7
1.1. Сущность сварки покрытым электродом	7
1.2. Сварочная проволока.....	8
1.3. Назначение электродных покрытий.....	10
1.4. Классификация электродов.....	11
1.5. Виды покрытий электродов	11
1.6. Типы электродов	13
1.7. Маркировка электродов	14
1.8. Определение технологических характеристик электрода	15
1.9. Порядок выполнения работы.....	16
1.10. Содержание отчета.....	17
1.11. Контрольные вопросы	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ЕЕ СВОЙСТВ	18
2.1. Сварочная дуга и источники сварочного тока	18
2.2. Требования к источникам питания для ручной дуговой сварки.....	23
2.3. Сварочные трансформаторы.....	24
2.4. Сварочные выпрямители.....	29
2.5. Инверторное оборудование	30
2.6. Порядок выполнения работы.....	34
2.7. Содержание отчета.....	36
2.8. Контрольные вопросы	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.	
ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ШТУЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ	38
3.1. Расчет режимов ручной дуговой сварки.....	38
3.2. Технология ручной дуговой сварки	42
3.3. Обозначение сварных соединений на чертежах	48
3.4. Порядок выполнения работы.....	53
3.5. Содержание отчета.....	53
3.6. Контрольные вопросы	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	54

ВВЕДЕНИЕ

Сложные конструкции, как правило, получают в результате объединения между собой отдельных элементов (деталей, агрегатов, узлов). Такие объединения могут выполняться с помощью разъемных или неразъемных соединений.

В соответствии с ГОСТ 2601-74 сварка определяется как процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого. Неразъемные соединения, выполненные с помощью сварки, называют сварными соединениями. Чаще всего с помощью сварки соединяют детали из металлов. Однако сварные соединения применяют и для деталей из неметаллов-пластмасс, керамик или их сочетаний.

Для получения сварных соединений не требуется применения каких-либо специальных соединительных элементов (заклепок, накладок и т.п.). Образование неразъемного соединения в них обеспечивается за счет проявления действия внутренних сил системы. При этом происходит образование связей между атомами металла соединяемых деталей. Для сварных соединений характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных электронов.

В развитие современной науки о сварке и разработке передовой сварочной техники большой вклад внесли советские ученые, инженеры, изобретатели и рационализаторы сварочного производства. Благодаря их труду создано большое количество типов сварочного оборудования, марок электродов, разработаны новые высокопроизводительные механизированные и автоматизированные сварочные процессы, предложены способы сварки многих металлов и сплавов, а также пластмасс.

Сварные соединения обладают рядом очень важных преимуществ, а именно:

- возможность получения герметичных соединений, способных работать в различных средах;
- по прочности сварные соединения не уступают применяемому металлу и способны выдерживать высокие статические и динамические нагрузки в условиях разной температуры и оказываемого давления;
- отсутствие ослабления сечений деталей отверстиями;
- сравнительно низкая трудоемкость выполнения. Трудоемкость получения сварных соединений часто ниже трудоемкости болтовых и клепаных соединений;
- широкие возможности механизации и автоматизации работ, что обеспечивает стабильность качества соединений.

Данное учебное пособие посвящено наиболее простому и доступному виду сварки – ручной дуговой сварке штучными электродами. Учебный ма-

териал базируется на сведениях по химии, физике, технологии материалов и конструкционных материалов, электротехнике и др.

Пособие состоит из трех работ, в которых рассмотрены общие сведения о сварке, основы теории сварки плавлением, последовательность выбора и характеристики электродов, исследование внешних статических характеристик источников питания электрической сварочной дуги и ее свойств, вопросы технологии ручной дуговой сварки. Завершает работу список использованной и рекомендуемой для самостоятельного изучения дополнительной литературы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ

Цель работы:

1. Практическое определение основных технологических характеристик электродов для ручной дуговой сварки.
2. Ознакомиться с особенностями выбора электродов для сварки, а также с химическим составом электродных проволок и с назначением электродных покрытий.
3. Изучить классификацию и маркировку электродов.

1.1. Сущность сварки покрытым электродом

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в осевом направлении в сварочную дугу и перемещают вдоль свариваемых заготовок. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 1.1) дуга **8** горит между стержнем **7** электрода и основным металлом **1**.

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями **5** стекает в сварочную ванну **9**. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода **6**, образуя защитную газовую атмосферу **8** вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну **4** на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов **3**. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку **2**.

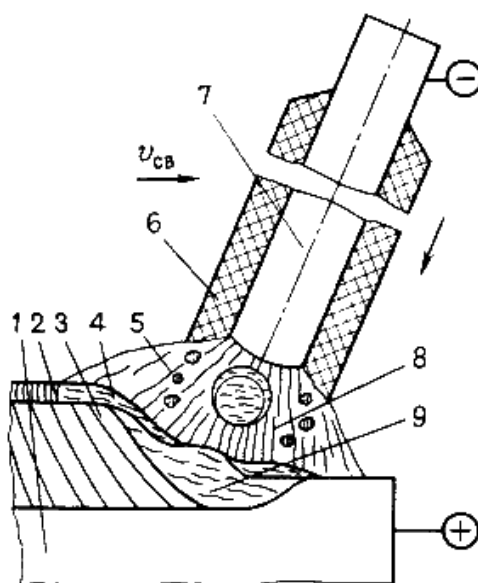


Рис. 1.1. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Электродом для дуговой сварки называют стержень, предназначенный для подвода тока к сварочной дуге. Для ручной дуговой сварки применяют электроды (рис. 1.2), состоящие из металлического стержня и нанесенного на него специального покрытия.

Стержни сварочных электродов изготавливаются из стали, алюминиевых сплавов, меди и сплавов на основе меди, чугуна и используются для изготовления электродов для сварки соответствующих металлов и сплавов.

Стержень электрода для сварки стальных изделий изготавливают из сварочной проволоки из сталей с пониженным содержанием вредных примесей (фосфора, серы и др.).



Рис. 1.2. Электрод для ручной дуговой сварки:
1 – стержень; 2 – участок перехода; 3 – марка электрода; 4 – покрытие

1.2. Сварочная проволока

Для сварки сталей применяется холоднотянутая гладкая проволока диаметром от 0,3 до 12 мм из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной сталей. Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами применяется проволока диаметром от 1,6 до 6,0 мм.

Стандартом ГОСТ 9467-75 предусмотрено 75 марок сварочной проволоки различного химического состава. Выпускается шесть марок низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2), 30 марок легированной проволоки (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, Св-15ГСТЮЦА и др.) и 39 марок высоколегированной проволоки (Св-12Х13, Св-12Х11НМФ и др.).

Буквы и цифры в написании марок проволоки, например, Св.-08ГА означают: Св – сварочная; 08-0,08% углерода (первые две цифры обозначают номинальное содержание углерода в сотых долях %); далее следует маркировка химического состава сплава с условными обозначениями легирующих добавок (марганец – Г, кремний – С и т.д.), процентное содержание обозначается цифровым индексом; в конце маркировки ставится буква А – означающая пониженное или АА – еще более низкое содержание серы и фосфора.

В таблице 1.1 приведены примеры химического состава стальной сварочной проволоки.

Таблица 1.1. Химический состав сварочной проволоки (ГОСТ), %

Марка стали	С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S не более	P не более
Низкоуглеродистая проволока									
Св-08	≤0,1	<0,03	0,35-0,60	<0,15	<0,3	—	—	0,04	0,04
Св-08А	≤0,1	<0,03	0,35-0,60	<0,12	<0,25	—	—	0,03	0,03
Св-08АА	≤0,1	<0,03	0,35-0,60	<0,12	<0,25	—	—	0,02	0,02
Легированная проволока									
Св-10Г2С	0,12	0,70-0,95	1,80-2,10	<0,20	<0,25	—	—	0,025	0,03
Св-08ГСМТ	0,06-0,11	0,40-0,70	1,00-1,30	<0,30	<0,3	0,2-0,4	0,05-0,12	0,025	0,03
Высоколегированная проволока									
Св-12Х11НМФ	0,08-0,15	0,25-0,55	0,35-0,65	10,5-12,0	0,60-0,90	0,60-0,90	—	0,025	0,03

Условные обозначения легирующих элементов следующие: С – кремний, Н – никель, М – молибден, Т – титан, Ю – алюминий, Ц – цирконий, Х – хром, Ф – ванадий, Б – ниобий, В – вольфрам, Д – медь, Г – марганец и др.

Требования, предъявляемые к сварочной проволоке:

1. Жесткие допуски по диаметру. Поверхность должна быть чистой, свободной от ржавчины и других загрязнений.

2. Ограниченное содержание серы и фосфора – не более 0,04 % (эти элементы вызывают образование трещин в сварном шве).

1.3. Назначение электродных покрытий

Покрытие наносят на стержень окунанием или опрессовкой. Оно состоит из минералов (в основном используют марганцевые и железные руды, мрамор, кварц), а также органических веществ (крахмал, целлюлоза и др.) и специальных ферросплавов.

Электродное покрытие (обмазка) включает в себя ряд компонентов и обеспечивает:

1) стабильное горение дуги за счет присутствия в обмазке соединений щелочных и щелочноземельных металлов с низким потенциалом ионизации (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 , NaF , т.е. поташ, мел, мрамор, полевой шпат и т.п.);

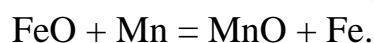
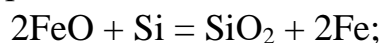
2) защиту металла сварочной ванны от взаимодействия с кислородом и азотом воздухом за счет:

3) создание газовой атмосферы, оттесняющей воздух. К газообразующим веществам относятся органические вещества (крахмал, целлюлоза и др.). Под действием тепла дуги газообразующие вещества сгорают, создавая собственную газовую атмосферу, которая защищает сварочную ванну от газов воздуха;

4) образование шлака на поверхностях сварочной ванны и капель металла.

К шлакообразующим компонентам относятся марганцевая руда, рутил (TiO_2), плавиковый шпат (CaF_2), мрамор (CaCO_3) и др. Шлакообразующие компоненты это минеральные вещества, которые расплавляются под действием тепла дуги, обволакивают каплю расплавленного электродного металла и вместе с ней попадают в сварочную ванну. Имея удельный вес меньший, чем у расплавленного металла, шлакообразующие вещества всплывают на поверхность расплава, обеспечивают защиту сварочной ванны от кислорода воздуха и замедляют ее охлаждение. Это способствует удалению газов из расплавленного металла, уменьшает вероятность образования закалочных структур в шве и околошовной зоне при сварке сталей с повышенным содержанием углерода.

5) раскисление металла сварочной ванны путем введения химических элементов более активных к кислороду, чем железо. В качестве раскислителя в обмазку вводят ферромарганец, ферросилиций, алюминий и др. Раскисление проходит по следующим реакциям:



Образующиеся при этом нерастворимые окислы всплывают на поверхность сварочной ванны и уходят в шлак.

6) легирование металла шва за счет введения в покрытие легирующих компонентов – ферросплавов или чистых металлов, которые при сварке переходят в металл шва, изменяя его химический состав. Легирующие компоненты вводятся в состав покрытия для восполнения выгоревших в процессе

нагрева легирующих элементов основного металла, а также для придания металлу сварного шва заданных физико-механических свойств (повышения прочности, твердости, жаростойкости, коррозионной стойкости и т.д.).

Для связывания компонентов обмазки между собой и со стержнем электрода используются связующие вещества. Одним из вариантов связующих веществ является натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_m$.

1.4. Классификация электродов

В соответствии с ГОСТ 9466-75 существует следующая классификация электродов.

По назначению электроды подразделяются для сварки:

У – углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_{\text{в}} \leq 600$ МПа;

Л – легированных конструкционных сталей с $\sigma_{\text{в}} \leq 600$ МПа;

Т – легированных теплоустойчивых сталей;

В – высоколегированных сталей с особыми свойствами.

По толщине покрытия в зависимости от отношения $D/d_{\text{э}}$ (D – диаметр покрытия, $d_{\text{э}}$ – диаметр электрода, определяемый диаметром стержня) электроды подразделяют:

- М – с тонким ($D/d_{\text{э}} \leq 1,20$);

- С – со средним ($D/d_{\text{э}} = 1,20 - 1,45$);

- Д – с толстым ($D/d_{\text{э}} = 1,45 - 1,80$);

- Г – с особо толстым ($D/d_{\text{э}} > 1,80$) покрытием.

В зависимости от покрытия электроды подразделяют на виды:

А (кислое покрытие); Б (основное покрытие); Ц (целлюлозное); Р (рутиловое); П (покрытия прочих видов).

При покрытии смешанного вида используют соответствующее двойное обозначение. При наличии в покрытии железного порошка в количестве $>20\%$ к обозначению вида покрытия добавляется буква Ж.

По допустимым пространственным положениям сварочные электроды подразделяют на группы:

1 – для всех положений;

2 – для всех положений, кроме сварки вертикальной «сверху вниз»;

3 – для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального «снизу вверх»;

4 – для нижнего и нижнего «в лодочку».

Электроды также классифицируются по роду и полярности применяемого тока сварки $I_{\text{св}}$, а также по номинальному напряжению $U_{\text{х.х}}$ используемого источника питания сварочной дуги.

1.5. Виды покрытий электродов

Электроды с кислым покрытием. Отличаются наличием в своем составе оксидов кремния, алюминия и ферромарганца, крахмала, декстрина, обеспечивающих газовую защиту. Используются при работе с конструкциями, по-

раженными коррозией. При этом швы получаются достаточно прочными – пористость исключается. При сварке такими электродами происходит эффективная дегазация металла в ванне расплава.

Такие электроды пригодны для сваривания длинной дугой в любых пространственных положениях постоянным либо переменным током. Но газы, которые при этом испаряются, являются высокотоксичными – из-за значительной концентрации марганца.

Электроды с основным покрытием. Электродное покрытие содержит мел, мрамор (карбонат кальция), плавленый шпат и ферросплавы. Большое содержание карбонатов вызывает выделение необходимого количества защитного углекислого газа при разрушении покрытия. Чаще всего электроды с основным покрытием используются для проведения сварочных работ постоянным током, имеющим обратную полярность.

Благодаря низкой окислительной способности компонентов покрытия основных электродов, при сварке происходит преобразование фосфора и серы в шлак – поэтому швы получаются эластичными и чистыми. Кремниевомарганцевые добавки придают им прочность. Пористость металла сварной ванны возрастает в том случае, если работы проводятся длинной дугой, поверхность недостаточно хорошо очищена или применяются электроды с толстым покрытием.

Электроды обладают повышенной чувствительностью к влажной среде, поэтому их необходимо прокалить и сушить перед применением даже тогда, когда они «пролежали» совсем немного времени. Электроды с основным покрытием повсеместно применяются для сварки углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей – в том числе – для сварки ответственных швов.

Электроды с целлюлозным покрытием. Данная разновидность покрытия содержит до пятидесяти процентов органических компонентов (целлюлозы), а также марганец, рутил и другие неорганические составляющие. Электроды с целлюлозным покрытием используются для сваривания металлоконструкций в любых пространственных положениях посредством переменного тока. Предварительной обработки рабочих поверхностей не требуется. Кроме того, целлюлозные электроды позволяют проварить вертикальный шов сверху вниз – что очень удобно при определенных условиях. Основным недостатком электродов с целлюлозным покрытием в том, что качество соединения снижается в результате чрезмерного насыщения водородом металлического шва.

Электроды с рутиловым покрытием. Основу покрытия рутиловых электродов составляет двуокись титана (минерал рутил), а также – магнезит, мрамор, каолин, полевой шпат и ряд других органических и минеральных компонентов. Данная разновидность электродов почти по всем показателям превосходит основные и кислые. Состав обмазки обеспечивает минимальную пористость при сваривании даже необработанных поверхностей как длинной,

так и короткой дугой. Металл шовного соединения более устойчив к возникновению кристаллизационных трещин, чем при использовании электродов с основным покрытием, и «горячих» трещин при применении «кислых» электродов.

Электроды с рутиловым покрытием выделяют при плавлении газы соединения малой токсичности и образуют легко отслаивающийся шлаковый слой. Кроме того, они создают стабильную дугу и зажигаются легче, чем другие электроды. Еще одно достоинство рутила – минимальное разбрызгивание металла сварной ванны. Рутиловые электроды обеспечивают хорошее сопротивление усталости в конструкциях, несущих значительные нагрузки. Возможность работать в различных пространственных положениях и степень производительности зависит от концентрации железа в рутиловой обмазке.

1.6. Типы электродов

Согласно ГОСТ 9467-75 электроды для сварки мало-, среднеуглеродистых и низколегированных сталей (Ст3, сталь45, 30ХГСА и др.) подразделяют на типы Э34, Э42, Э42А, ..., Э145. Цифры в обозначении типа электрода означают прочность наплавленного металла в МПа, буква А – повышенную пластичность металла сварного шва. Свойства наплавленного металла должны быть равны или несколько выше соответствующих свойств свариваемого металла.

Электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей (типа 12ХМ, 20ХМБФ и др.) подразделяют на типы Э-ХМ, Э-МХ, Э-ХМБФ и др. в зависимости от химического состава наплавленного металла. Буквы Х, М, Б, Ф означают легирование металла стержня соответственно хромом, молибденом, ванадием, ниобием, повышающим теплоустойчивость сварного шва.

Для сварки сталей ферритного класса (нержавеющих хромистых типа Х13, Х17, Х25, Х28) используют электроды типа ЭФ-Х13, ЭФ-Х17, ЭФ-Х25, ЭФ-Х28. Здесь цифры указывают содержание хрома в % в металле шва, буква Ф – класс свариваемой стали.

Для сварки сталей аустенитного класса (нержавеющих хромоникелевых типа 12Х18Н9, 17Х18Н9, 04Х18Н10Т, 12Х18Н10Т) выбор типа электрода зависит от условий работы сварной конструкции. Для работы в слабой, сильной агрессивной среде, при отрицательной температуре, высокой температуре к сварным швам предъявляются различные требования, которые могут быть выполнены только с помощью специальных электродов. Для этих целей существует 34 различных типов электродов. Для слабой агрессивной среды применяют тип электрода ЭА-1а, для сильной агрессивной среды – ЭА-1б. Здесь буква А указывает на аустенитный класс сталей.

Таблица 1.2. Типы и назначение некоторых электродов

Типы электродов	Назначение
Э 38, Э 42, Э 46, Э 50	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_b < 500$ МПа
Э 42А, Э 46А, Э 50А	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_b < 500$ МПа, когда к металлу шва предъявляют повышенные требования пластичности ($\delta, \%$) и ударной вязкости (КСУ, МДж/м ²)
Э 55, Э 60	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей с σ_b от 500 до 600 МПа
Э 70, Э 85, Э 100, Э 120, Э 150	Для сварки легированных конструкционных сталей с $\sigma_b > 600$ МПа

1.7. Маркировка электродов

Структура условного обозначения электродов представлена на рисунке 1.3.

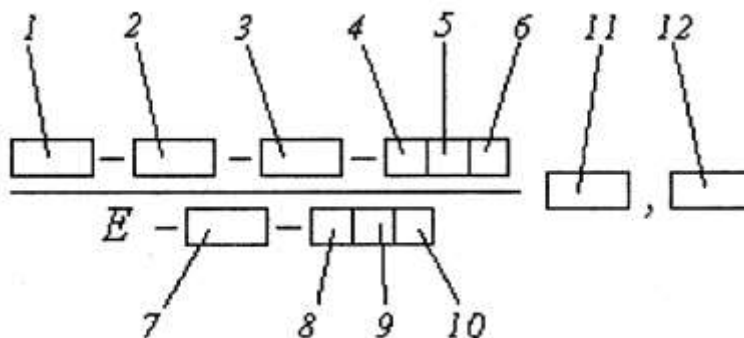


Рис. 1.3. Структура условного обозначения электродов:

- 1 – тип; 2 – марка; 3 – диаметр, мм; 4 – обозначение назначения электродов;
- 5 – обозначение толщины покрытия; 6 – группа электродов;
- 7 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва по ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 или ГОСТ 10052-75;
- 8 – обозначение вида покрытия; 9 – обозначение допустимых пространственных положений сварки; 10 – обозначение рода применяемого при сварке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого ток источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; 11 – обозначение стандарта (ГОСТ 9466-75); 12 – обозначение стандарта на типы электродов

Условное обозначение электродов указывается на этикетках, расположенных на пачке или на коробке (ящике) с электродами.

В качестве примера рассмотрим следующую маркировку:

$$\frac{\text{Э42А} - \text{УОНИ13145} - 3.0 - \text{УД2}}{\text{Е432(5)} - \text{Б10}}$$

Здесь: Э42А – тип электрода, 42 – характеризует минимальный предел прочности наплавленного металла при нормальной температуре (т.е. 490 МПа); А – электрод обеспечивает повышенные пластические свойства наплавленного металла; УОНИ-13145 – марка электрода; 3.0 – диаметр проволоки электрода, мм; У – электрод применим для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Д2 – толстый слой смазки электрода (покрытие) второй группы качества; Е 432(5) – группа индексов, указывающих на прочностные характеристики наплавленного металла и металла шва по ГОСТ 9467-75; 43 – временное сопротивление разрыву; 2 – относительное удлинение; 5 – ударная вязкость при нормальной температуре; Б – основное покрытие; 1 – предназначен для сварки в любых пространственных положениях; 0 – постоянный ток обратной полярности.

1.8. Определение технологических характеристик электрода

Выполнение требований, предъявляемых к электроду, во многом зависит от количества покрытия на электродном стержне, характеризуемого коэффициентом массы покрытия

$$K_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100,$$

где m_1 – масса покрытой части электрода;

m_2 – масса стержня этой же части электрода;

Как известно стержень плавящегося электрода служит присадочным материалом, расходуемым на заполнение разделки и образование усиления шва. Поэтому важной технологической характеристикой электрода является производительность наплавки данной марки электрода, зависящая от производительности расплавления и величины потерь электродного материала. В свою очередь, производительность расплавления электрода определяется соответствующей долей полной мощности дуги.

Производительность процесса расплавления и наплавки данной марки электрода оценивается коэффициентами расплавления α_p и коэффициентом наплавки α_h . Эти коэффициенты показывают какое количество электродного материала расплавляется и наплавляется на единицу количества электричества, проходящего через дугу и вычисляются по формулам

$$\alpha_p = \frac{G_p}{J_g \tau}; \alpha_h = \frac{G_H}{J_g \tau};$$

где G_p и G_H – масса соответственно расплавленного и наплавленного электродного металла; τ – время горения дуги; I_d – ток в дуге.

В сварочной технике принято числовое значение коэффициентов α_p и α_H выражать в граммах на один ампер-час горения дуги.

Коэффициент потерь Ψ , характеризующий относительные потери электродного материала на угар и разбрызгивание выражают в процентах и определяют по формуле

$$\Psi = \frac{G_p - G_H}{G_p} \cdot 100.$$

Номинальное напряжение на дуге U_d определяют при сварке на рекомендуемых для данной марки электрода токах и длине дуги, равной диаметру электрода.

1.9. Порядок выполнения работы

1. Взвешиванием определить массу покрытой части электрода m_1 , массу стержня этой же части электрода m_2 , массу образца до сварки m_3 .

2. Вычислить коэффициент массы покрытия по формуле

$$K_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$$

3. На рекомендуемом для данной марки и диаметра электрода токе произвести наплавку валика на образец. Род и полярность тока должны соответствовать паспорту на электрод. При наплавке замерить силу сварочного тока I_{CB} , напряжение на дуге U_d и время горения дуги t_{CB} , выдерживая длину дуги примерно равной диаметру электрода. Время горения дуги t_{CB} определяется по электросекундомеру.

4. После сварки огарок электрода и образец охлаждают. Взвешиванием определяется:

- масса огарка электрода m_4 ;
- масса образца с наплавленным валиком m_5 .

5. По вычисленным параметрам определяются:

- масса расплавленного металла по формуле

$$G_p = (m_1 - m_4) \frac{100}{K_{II} + 100};$$

- масса наплавленного металла по формуле

$$G_H = m_5 - m_3;$$

6. Определяется коэффициент потерь Ψ

$$\Psi = \frac{G_p - G_H}{G_p} \cdot 100$$

7. Вычислить коэффициенты расплавления α_p и коэффициент наплавки α_h .

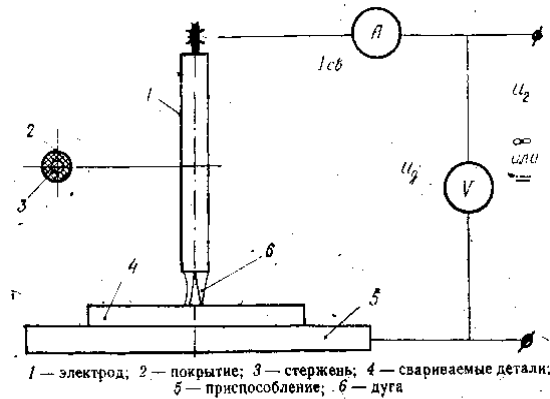
$$\alpha_p = \frac{G_p}{J_g \tau}; \alpha_h = \frac{G_H}{J_g \tau};$$

8. Занести все табличные и фактические данные в бланк отчета.

Марка электрода	d, мм	D, мм	l, мм	m ₁ , г	m ₂ , г	m ₃ , г	m ₄ , г	m ₅ , г	J _г , А	U _г , В	τ _{св} , сек	K _{лп} , %	G _p	G _H	α _p	α _h	ψ%

1.10. Содержание отчета

1. Расшифрованная марка электрода, которую выдал преподаватель.
2. Перечень оборудования, приспособлений, приборов.



3. Эскиз электрода с обозначением его основных геометрических характеристик.
4. Расчетные формулы для определения основных характеристик электродов.
5. Краткие выводы по работе, в которых необходимо отметить влияние состава и массы покрытия на технологические характеристики электродов.

1.11. Контрольные вопросы

1. Назовите причины нестабильности качества соединения.
2. Какие виды проволоки применяются при изготовлении электродов?
3. Какие компоненты входят в состав покрытия электродов?
4. Назовите функции, выполняемые электродным покрытием.
5. По каким признакам классифицируются электроды?
6. Какие виды покрытий имеют электроды? В чем их особенность?
7. Назовите типы и назначения электродов.
8. Назовите основные технологические характеристики электродов.
9. По каким показателям оценивается производительность процесса расплавления и наплавки данной марки электрода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ЕЕ СВОЙСТВ

Цель работы:

1. Изучение электрических схем и основных характеристик источников питания сварочной дуги постоянного и переменного тока.
2. Практическое определение внешней характеристики источника тока и вольт-амперной характеристики дуги.

Ручная дуговая сварка (РДС) относится к термическому классу. Источником тепла служит электрическая дуга, возникающая между электродом и свариваемым изделием при протекании постоянного или переменного тока. В процессе сварки перемещение вдоль линии стыка и подачу электрода в зону дуги при оплавлении осуществляют вручную. При этом возникают трудности, связанные с поддержанием постоянства длины дуги. Колебания дугового промежутка отражаются на сварочном токе и напряжении и, как следствие этого, на размере сварочной ванны и механических характеристиках соединения. Поэтому большое внимание уделяется правильному выбору источника питания (переменного, постоянного тока) и стабильности горения сварочной дуги.

2.1. Сварочная дуга и источники сварочного тока

Источником теплоты при дуговой сварке служит электрическая дуга, обладающая высокой концентрацией выделяемого тепла и которая горит между электродом и заготовкой или между двумя электродами. Электрическая дуга представляет собой один из видов электрических разрядов в газах, при котором наблюдается прохождение электрического тока через газовый промежуток под воздействием электрического поля. Электрическую дугу, используемую для сварки металлов, называют сварочной дугой. Сварочная дуга характеризуется большой плотностью тока в газовом промежутке (столбе дуги) – сотни A/cm^2 и на электродах (тысячи A/cm^2), а также высокой температурой газа в проводящем канале (тысячи градусов).

Дуга является частью электрической сварочной цепи, и на ней происходит падение напряжения. При сварке на постоянном токе электрод, подсоединенный к положительному полюсу источника питания дуги, называют анодом, а к отрицательному – катодом. Если сварка ведется на переменном токе, каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом. Промежуток между электродами называют областью дугового разряда или дуговым промежутком. Длину дугового промежутка называют длиной дуги.

В дуге, как и во всяком самостоятельном газовом разряде, наблюдается неравномерное распределение потенциала электрического поля в межэлектродном пространстве (рис. 2.1). Рассматривая электрическую дугу, разли-

чают следующие три области – анодную, катодную, столб дуги, находящийся в состоянии плазмы. Напряжение на дуге складывается из падения напряжения на ее отдельных участках

$$U_d = U_k + U_{ст} + U_a \quad (2.1)$$

где U_k , U_a и $U_{ст}$ – падение напряжения на катодном, анодном участках и в столбе дуги соответственно.

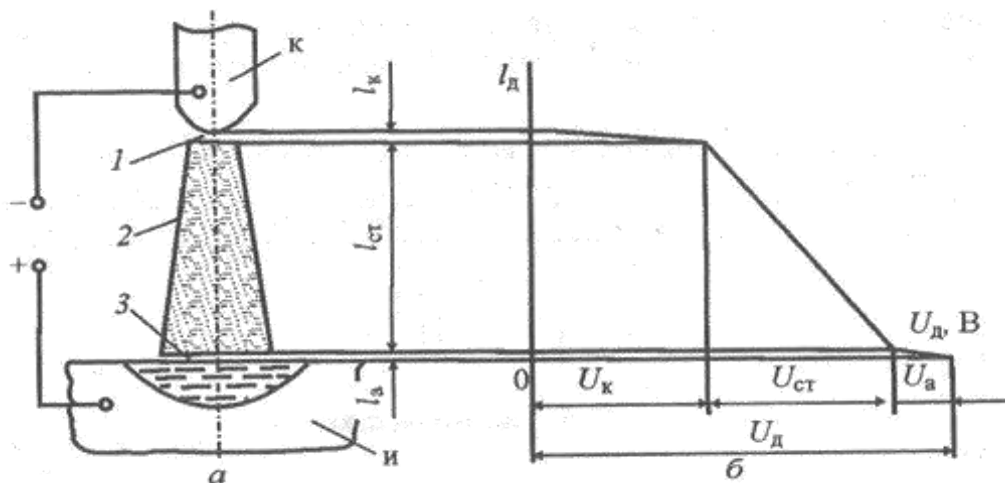


Рис. 2.1. Строение дуги постоянного тока (а) и распределение потенциалов по длине дугового промежутка (б):

1 – катодная область; 2 – столб дуги; 3 – анодная область

Катодная область включает в себя нагретую поверхность катода, называемую катодным пятном, и часть дугового промежутка, примыкающую к ней. Протяженность катодной области мала и составляет около 10-5 см, но она характеризуется повышенной напряженностью и протекающими в ней процессами получения электронов, являющимися необходимым условием для существования дугового разряда. Температура катодного пятна для стальных электродов достигает 2400-2700 °С. На нем выделяется до 38 % общей теплоты дуги. Основным физическим процессом в этой области является электронная эмиссия и разгон электронов. Падение напряжения в катодной области U_k составляет порядка 12-17 В. Анодная область состоит из анодного пятна на поверхности анода и части дугового промежутка, примыкающего к нему. Длина анодной зоны l_a значительно больше катодной (~ 10-3 см), поскольку падение напряжения в анодной зоне не зависит от материала электродов и составляет $U_a = 2,5 \pm 0,5$. Ток в анодной области определяется потоком электронов, идущих из столба дуги. Анодное пятно является местом входа и нейтрализации свободных электронов в материале анода. Оно имеет примерно такую же температуру, как и катодное пятно, но в результате бомбардировки электронами на нем выделяется больше теплоты, чем на катоде. Анодная область характеризуется повышенной напряженностью. Падение напряжения в ней U_a составляет порядка 2-11 В. Протяженность этой области также мала.

Учитывая сказанное, можно принять, что сумма $U_K + U_a = a$, где a величина постоянная. Тогда, выражая U_{CT} через градиент напряжения $U_{CT} = (dU_{CT}/dl)$ и принимая $(dU_{CT}/dl) = b$, получим выражение для напряжения на дуге в виде

$$U_D = a + b \cdot l_{CT}. \quad (2.2)$$

Выражение (2.2) известно как формула Г. Айртона, которое показывает зависимость напряжения от длины столба дуги. Так как длины катодной и анодной зон незначительны по сравнению с длиной столба дуги, то можно принять, что длина столба дуги l_{CT} равна общей длине газового промежутка между электродами, т.е. $l_{CT} = l_D$.

В обычных условиях при низких температурах газы состоят из нейтральных атомов и молекул и не обладают электрической проводимостью. Прохождение электрического тока через газ возможно только при наличии в нем заряженных частиц – электронов и ионов. Процесс образования заряженных частиц газа называют ионизацией, а сам газ – ионизованным. Возникновение заряженных частиц в дуговом промежутке обуславливается эмиссией (испусканием) электронов с поверхности отрицательного электрода (катода) и ионизацией находящихся в промежутке газов и паров. Ионизация газов происходит под влиянием внешних воздействий (внешних ионизаторов): сильного нагревания (плазмотрон), высокочастотного электромагнитного излучения (сварка неплавящимся электродом) или при бомбардировке атомов (молекул) газов быстрыми электронами (дуговая сварка). Для ионизации атома (молекулы) необходимо совершить работу ионизации АИ против сил взаимодействия между вырываемым электроном и остальной частью атома (молекулы). Величина АИ зависит от химической природы газа и энергетического состояния вырываемого электрона. Характеристикой работы ионизации может служить потенциал ионизации. Например, потенциал ионизации атома азота (N) равен 14,5 эВ (электрон-Вольт), железа (Fe) 7,8 эВ, калия (K) – 4,3 эВ, натрия (Na) – 5,1 эВ, кальция (Ca) – 6,1 эВ, бария (Ba) – 5,19 эВ.

Возбудить дугу можно кратковременным касанием изделия 2 сварочным электродом 1 (рис. 2.2а), подключенными к источнику питания. В момент короткого замыкания (рис. 2.2а) по цепи протекает электрический ток, который нагревает торец электрода. Нагрев конца электрода 1 (катода) и металла изделия 2 при коротком замыкании сопровождается образованием легко ионизирующихся паров металла и компонентов покрытия электрода. После отвода электрода от места контакта, с поверхности разогретого катода 1 происходит отрыв электронов 3, которые обладают кинетической энергией, до-

статочной для перехода через границу раздела «твердое тело – газ». Это явление называется термоэлектронной эмиссией (рис. 2.2б).

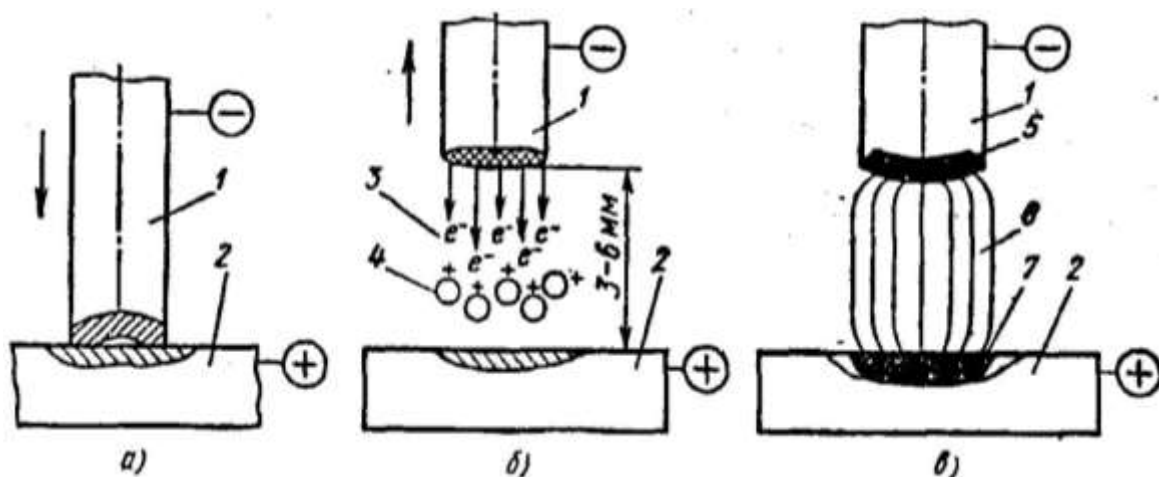


Рис. 2.2. Схема процесса зажигания дуги

Под действием электрического поля – разности потенциалов, которая создается источником питания между электродами, электроны устремляются к изделию 2 (аноду). Скорость электронов достигает 1,5-2 км/с, то есть они обладают достаточной кинетической энергией, чтобы при столкновении с нейтральным атомом произвести его ионизацию 4 (рис. 2.2б). В результате такого неупругого столкновения вместо одной заряженной частицы получаются три заряженные частицы, которые движутся в электрическом поле (рис. 2.3). Процесс ионизации приобретает лавинообразный характер, что и обеспечивает возбуждение дуги при разведении электродов после их соприкосновения. Для обеспечения устойчивого горения сварочной дуги необходимо, чтобы положительные ионы также успевали набрать энергию, достаточную для поддержания рабочей температуры поверхности катода при соударении ионов с катодом.

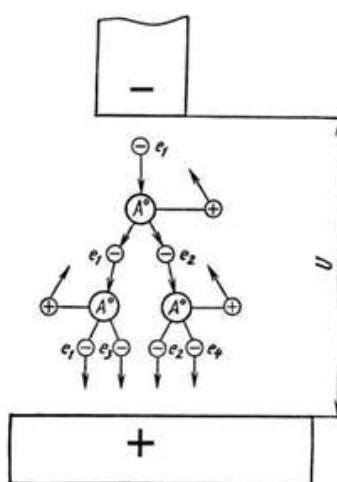


Рис. 2.3. Процесс ионизации дугового промежутка

Электрическая дуга – источник теплоты с очень высокой температурой. Температура столба (рис. 2.2в) дуги б при прямой полярности подключения

достигает 6000°C , а температура катодного 5 и анодного 7 пятен электродов достигает соответственно 2400°C и 3000°C .

Основной характеристикой сварочной дуги является зависимость напряжения на дуге (U_d) от силы тока (I_d) и от длины дуги (L). Эту зависимость $U_d=f(I_d, L)$ называют статической вольт-амперной характеристикой дуги (рис. 2.4). Характеристика состоит из трех участков: I, II, III, каждому из которых присущи свои особенности. Объяснение им можно дать, если рассматривать дуговой промежуток как цилиндрический газовый проводник, проводимость которого зависит от количества находящихся в нем ионов и электронов. Так при увеличении тока до 100А (участок I) соответственно возрастает количество ионов и электронов в дуговом промежутке, при этом его проводимость увеличивается, а, следовательно, напряжение на дуге уменьшается (падающая характеристика). При токе в 100 А наступает полная ионизация дугового промежутка. Если же продолжать увеличивать ток до 1000А, то происходит увеличение площади поперечного сечения дуги (пропорционально увеличению тока) и поэтому напряжение на дуге практически постоянно (участок II, жесткая характеристика). При дальнейшем увеличении тока (участок III) площадь поперечного сечения дуги изменяется мало, дуговой промежуток ионизирован полностью и его проводимость остается постоянной, следовательно, напряжение на дуге увеличивается (возрастающая характеристика).

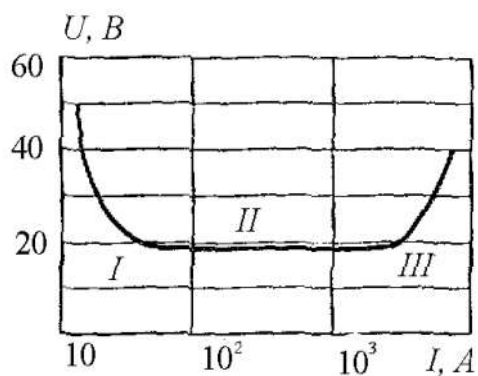


Рис. 2.4. Статистическая вольт-амперная характеристика дуги

Источники тока для конкретного способа сварки выбирают по их внешней характеристике, выражающей зависимость напряжения на клеммах источника от нагрузки (силы тока). Обычно источники питания могут иметь либо крутопадающую характеристику (рис. 2.5, кривая 1), либо пологопадающую (рис. 2.5, кривая 2). Точка А соответствует установившемуся режиму сварки (напряжение дуги равно напряжению источника тока). Точка В характеризует напряжение, необходимое для обеспечения ионизации промежутка между электродом и деталью.

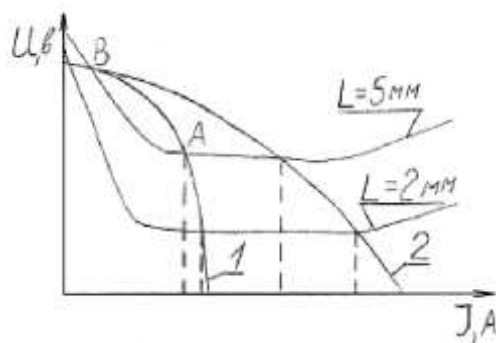


Рис. 2.5. Вольт-амперные характеристики дуг различной длины и внешние характеристики источников питания с крутопадающей (1) и пологопадающей (2) характеристиками

Из рисунка видно, что внешняя характеристика источника тока при ручной дуговой сварке должна быть крутопадающей. В этом случае небольшое изменение длины дуги не вызывает существенного изменения значения сварочного тока и дуга горит устойчиво. Кроме того, при крутопадающей характеристике облегчается зажигание дуги за счет повышенного напряжения холостого хода и ограничивается ток короткого замыкания. В случае пологопадающей характеристики изменение длины приводит к более значительному изменению силы тока и нестабильности дуги.

2.2. Требования к источникам питания для ручной дуговой сварки

К источникам тока для ручной дуговой сварки предъявляются следующие требования:

1. Напряжение холостого хода должно быть в 2-3 раза выше напряжения дуги для облегчения зажигания дуги. В то же время оно должно быть безопасным для сварщика и не должно превышать 80 В для источников питания переменного тока и 90 В – постоянного тока.

2. Ограничение тока короткого замыкания. Отношение тока короткого замыкания к сварочному току находится в интервале $1,1 \div 1,5$.

3. Сохранение постоянной проплавляющей способности дуги (т.е. колебания длины и напряжения дуги не должны приводить к значительным изменениям сварочного тока).

4. Время восстановления напряжения от короткого замыкания до зажигания дуги должно быть коротким (сотые доли секунды).

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и постоянного тока (сварочные генераторы и выпрямители).

Сварочные трансформаторы применяют чаще, так как они проще в эксплуатации, долговечнее и обладают более высоким К.П.Д. Однако постоянный ток предпочтительнее в технологическом отношении – при его применении повышается устойчивость дуги, улучшаются условия сварки и т.д.

2.3. Сварочные трансформаторы

2.3.1. Выбор трансформатора.

Принцип работы сварочных трансформаторов

Трансформатор состоит из двух обмоток – первичной и понижающей вторичной, намотанных на сердечник. Принцип работы сварочного трансформатора заключается в преобразовании входящего напряжения 220 или 380 Вольт в более низкое, порядка 30-60 Вольт. В тоже время сила тока может достигать 700 Ампер, что позволяет плавить и сваривать между собой металлические изделия. По этому принципу работают все виды сварочных трансформаторов.

На рисунке 2.6 приведена схема сварочного трансформатора СТЭ, состоящего из двух отдельных частей: понижающего сварочного трансформатора (1) и дросселя (2). Первичная обмотка (7) трансформатора включается в сеть; один конец его вторичной обмотки (8) подключается к сварочному столу (6) или к свариваемой детали, второй конец к обмотке (9) дросселя (2), а она, в свою очередь, подключается к электрододержателю (4). Трансформатор (1) снижает напряжение сети до 60-70 В, а дроссель (2) служит для получения падающей характеристики и регулирования величины сварочного тока. При прохождении переменного тока через обмотку дросселя в ней возникает ЭДС самоиндукции, направленная противоположно основному напряжению. В результате падения напряжения на дросселе сварочный трансформатор получает падающую внешнюю характеристику. Сердечник дросселя имеет подвижную часть, которая при вращении рукоятки (3) перемещается, изменяя величину регулируемого воздушного зазора $\delta_{др}$. Увеличение зазора уменьшает индуктивное сопротивление дросселя, тем самым, увеличивая значение сварочного тока.

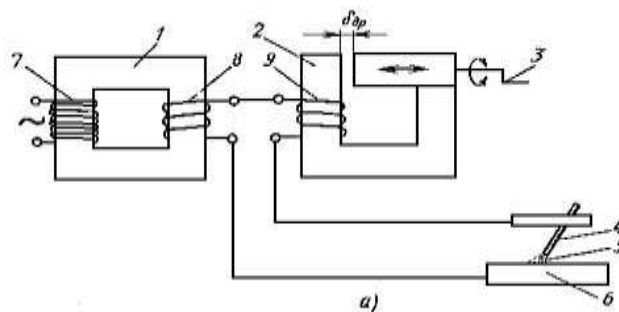


Рис. 2.6. Схема сварочного поста трансформатора СТЭ

Более совершенной является конструкция сварочного трансформатора с повышенным магнитным рассеянием (тип ТДМ) (рис. 2.7). В трансформаторах данного типа на стальном сердечнике 3 установлены две пары обмоток: неподвижная первичная 1 и подвижная вторичная 2. Обе первичные обмотки, также как и вторичные электрически связаны между собой параллельно. Первичная обмотка подключается к сети с напряжением 220/380 В, а вторич-

ная к электрододержателю 5 и сварочному столу 6. Вращением винта 4 вторичная обмотка может быть приближена к неподвижной первичной обмотке или удалена от нее.

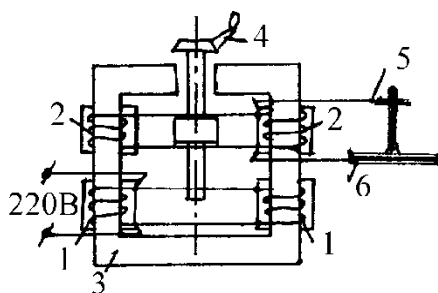


Рис. 2.7. Принцип работы сварочного трансформатора

Сварочный ток регулируется изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При удалении вторичной обмотки от первичной (рис. 2.8а) магнитный поток рассеяния растет (индуктивное сопротивление увеличивается) и сварочный ток уменьшается. Минимальный сварочный ток соответствует наибольшему расстоянию между обмотками. При сближении обмоток (рис. 2.8б) магнитный поток рассеяния и индуктивное сопротивление уменьшаются, то есть происходит частичное взаимное уничтожение противоположно направленных потоков рассеяния Φ_{S1} и Φ_{S2} , что приводит к уменьшению индуктивного сопротивления вторичной обмотки и увеличению сварочного тока. Для создания падающей внешней характеристики используют увеличенное магнитное рассеяние вокруг обмоток трансформатора. При работе трансформатора основной магнитный поток Φ_0 , создаваемый обмотками 1 и 2, замыкается через железный сердечник 3 (рис. 2.8).

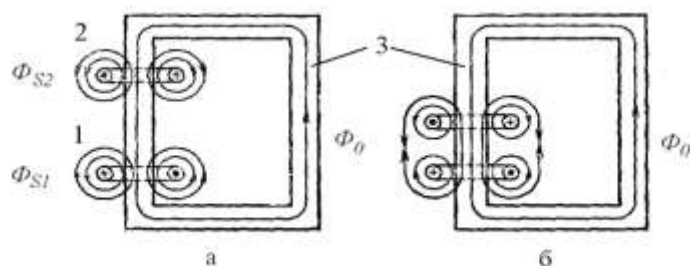


Рис. 2.8. Схема магнитных потоков Φ_{S1} и Φ_{S2} сварочного трансформатора ТДМ при удалении (а) и сближении (б) вторичной (2) и первичной (1) обмоток

2.3.2. Классификация сварочных трансформаторов

На сегодняшний день выделяют три основных вида сварочных трансформаторов:

А) Трансформаторы с минимальным и нормальным магнитным рассеянием.

Регулировка силы тока производится винтовым механизмом дросселя, который вынесен отдельно. Такая схема сварочного трансформатора приме-

няется в моделях СТЭ-85 и СТЭ-24У. Трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием похожи по своей конструктивной схеме на трансформаторы типа СТЭ. Разница заключается в наличии дополнительной реактивной катушки, расположенной на основных стержнях магнитного сердечника первичной и вторичной обмоток, а также на дополнительной обмотке дросселя. Сам дроссель установлен на магнитный сердечник. Регулировка силы тока производится аналогичным образом, как и у трансформаторов СТЭ. Сварочные трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием представлены моделями типа СТН и ТСД. Модели СТЭ, СТН и ТСД используются для ручной дуговой сварки, они просты и безотказны в работе. Но, несмотря на свою простую и надежную конструкцию, эти трансформаторы имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, вибрация сердечника дросселя сбивает настройку силы тока при работе. Во-вторых, у сварочных трансформаторов с нормальным и низким магнитным рассеянием высокая потребляемая мощность от 25 кВт до 78 кВт. В-третьих, большая масса – более 120 кг. Также среди этих трансформаторов есть модели, такие как ТСД-1000-4 и ТСД-2000-2, способные выдавать номинальный сварочный ток в 1000 А и 2000 А. Но масса этих трансформаторов от 220 кг до 675 кг, что делает их очень неудобными для частного использования.

Б) Трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием.

Принципиальным отличием трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием от сварочных трансформаторов с низким и нормальным рассеянием является подвижная конструкция обмоток или шунтов. Такой подход позволил добиться более высоких рабочих характеристик при относительно небольшой массе самого трансформатора. К ним относятся сварочные трансформаторы марок ТС-500, ТСК-300, ТД-300, СТШ-250, ТДМ-317. Сварочные трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием применяются для дуговой и автоматической сварки, а также для сварки под флюсом.

В) Тиристорные трансформаторы.

Тиристорные сварочные трансформаторы это относительно новый тип сварочного оборудования. В основу его работы положен принцип фазового регулирования силы тока при помощи тиристоров, которые преобразуют поступающий переменный ток в знакопеременные импульсы. Они широко применяются как для ручной дуговой сварки, так и для точечной и шлаковой сварок. Примером тиристорного трансформатора может служить Deltapower 400E.

В независимости от вида сварочного трансформатора любой сварочный аппарат обладает рядом определенных характеристик, которые и определяют его рабочую эффективность и удобство использования. При выборе сварочного трансформатора важно знать и понимать, за что отвечает каждая характеристика и на какие из них следует обращать внимание в первую очередь.

2.3.3. Маркировка сварочных трансформаторов

В марки трансформаторов (рис. 2.9) зашифрованы базовые характеристики. Это сделано для того, чтобы без техпаспорта можно было определить, что за аппарат, как он устроен и какова его номинальная сила тока.



Рис. 2.9. Маркировка сварочного трансформатора

Сегодня в единой системе обозначения и классификации источников питания для сварки заложены следующие правила:

а) *тип источника питания*: Т – трансформатор, Г – генератор, А – агрегат, В – выпрямитель, У – специализированный источник–установка;

б) *вид сварки*: Д – дуговая, П – плазменная;

в) *способ сварки*: Г – в защитных газах, Ф – под флюсом, У – универсальный. Если всего две буквы, значит, сварка проводится покрытыми электродами;

г) *вид внешней характеристики*: Ж – жесткая, П – падающая;

д) *количество постов сварки*: М – многопостовой, без обозначения говорит об одном poste;

е) *номинальная сила тока* обозначается одной или двумя цифрами, округленными до десятков или сотен Ампер.

ж) *последние одна или две цифры* обозначают регистрационный номер в разработке;

з) *после цифр идет буквенное обозначение* допустимого климатического использования: ХЛ – холодный климат, У – умеренный, Т – тропический;

и) *завершающая цифра* обозначает допустимое размещение: 1 – на открытом воздухе, 2 – под навесом, 3 – в неотапливаемом помещении, 4 – в отапливаемом помещении.

Например, трансформатор сварочный ТДМ-401 говорит нам о том, что это трансформатор дуговой сварки с механическим регулированием и одним постом сварки, с номинальной силой тока в 400 А. Также в техпаспорте сварочного трансформатора указывается класс защиты по международной системе IP.

2.3.4. Параметры, учитываемые для выбора трансформатора

Пределы регулирования сварочного тока, А (min-max) является основной для любого сварочного трансформатора. Регулировка силы сварочного тока указывает сразу на два важных момента. Во-первых, на то, что регули-

ровка вообще возможна, а это значит, что можно использовать электроды различного диаметра. Во-вторых, можно увидеть максимально возможную силу тока, которая позволит использовать электроды большого диаметра, что в свою очередь влияет на производительность труда.

Диаметр электрода. В приведенной таблице 2.1 указаны основные диаметры электродов в зависимости от силы тока сварочного трансформатора.

Таблица 2.1. Основные диаметры электродов в зависимости от силы тока сварочного трансформатора

Толщина металла, мм	Электрод, мм	Ток, А
1-2	1.6	25-50
2-3	2	40-80
2-3	2.5	60-100
3-4	3	80-160
4-6	4	120-200
6-8	5	180-250
10-24	5-6	220-320
30-60	6-8	300-400

Необходимо отметить такой важный момент как то, что следует использовать электроды несколько меньшего диаметра, несмотря на приведенные показатели. Как показывает практика, электрод, подобранный по максимуму под свою силу тока, будет недостаточно качественно проваривать шов.

Напряжение сети и количество фаз. Эта характеристика указывает на требуемое напряжение в сети для нормальной работы сварочного трансформатора. Необходимо заранее знать о том, какое напряжение будет в месте работы сварочного трансформатора, чтобы подобрать подходящий. Также от этого зависит количество фаз самого трансформатора. Так для однофазного сварочного трансформатора будет требоваться ток в 220 В, для двухфазного 380 В, а вот сварочный трансформатор ТД-500, работающий как от сети на 220 В, так и от сети на 380 В, является трехфазным.

Номинальный сварочный ток трансформатора. Данный параметр указывает на максимальное значение сварочного тока, который способен выдать трансформатор. От его величины зависит, как возможность плавки и резки металла, так и используемые для работы электроды.

Номинальное рабочее напряжение. Данный параметр указывает на выходное напряжение с вторичной обмотки, которое необходимо для поддержания стабильной сварочной дуги. Это напряжение находится в диапазоне 30-60 Вольт. Чем ниже номинальное значение, тем тоньше металлические элементы можно сварить между собой.

Номинальный режим работы ПН%. От этой характеристики зависит сохранность сварочного трансформатора во время работы. Номинальный режим работы или как его еще называют – продолжительность включения – указывает на то, сколько времени трансформатор может находиться в режиме сварки. Так, например, трансформатор сварочный ТД-300 имеет номиналь-

ный режим работы 40%. Это говорит о том, что из 10 минут 4 минуты можно работать без перерыва и 6 минут отдыхать, давая трансформатору остыть.

Мощность потребления и выходная (КПД). Этот показатель указывает, сколько энергии потребуется для часа работы трансформатора. Чем ниже этот показатель, тем лучше. Но при этом необходимо знать выходную мощность при сварке. Чем больше разница между ними, тем хуже.

Напряжение холостого хода. Данная характеристика отвечает за появление сварочной дуги. Чем выше эта характеристика, тем легче создать дугу. Но существуют определенные ограничения по безопасности для оператора. Так, для сети с постоянным током порог составляет 100В, для переменного – 80В.

Количество обслуживаемых рабочих мест. Параметр указывает на количество одновременно работающих от трансформатора сварщиков.

Тип охлаждения. Существуют сварочные трансформаторы с естественным охлаждением и принудительным. По сути, принудительное охлаждение лучше, так как позволяет более эффективно избавляться от излишка тепла во время работы. Но не все трансформаторы оснащены вентиляторами.

Масса и размеры сварочного трансформатора. От массы и габаритов трансформатора зависит, будет ли он передвижным или стационарным, будет он на колесах или же с ручками для переноски.

2.4. Сварочные выпрямители

Сварочный выпрямитель (СВ) преобразует переменный ток в постоянный в трехфазной сети. Он обеспечивает более устойчивую дугу без прерываний и скачков во время работы. СВ схожи по принципу действия со сварочными трансформаторами, но при этом способны подавать постоянный ток на сварочный стержень. Достигается это введением в конструкцию выпрямителя специальных селеновых либо кремниевых блоков.

Сварочный выпрямитель (рис. 2.10) состоит из понижающего трехфазного трансформатора с подвижными катушками, выпрямительного блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры, смонтированных в кожухе.

Понижающий трехфазный трансформатор снижает напряжение сети до необходимого рабочего, а также служит для регулирования сварочного тока путем изменения расстояния между первичной 10 и вторичной 7 обмотками. Катушки вторичной обмотки неподвижны и закреплены у верхнего ярма. Катушки первичной обмотки подвижны. Сердечник 8 трансформатора собран из пластин электротехнической стали. Внутри сердечника проходит ходовой винт 9 с закрепленным внизу подпятником. В верхнюю планку крепления первичной обмотки запрессована ходовая гайка. При вращении рукоятки 4 ходового винта вертикально перемещается ходовая гайка, а следовательно, и катушки первичной обмотки.

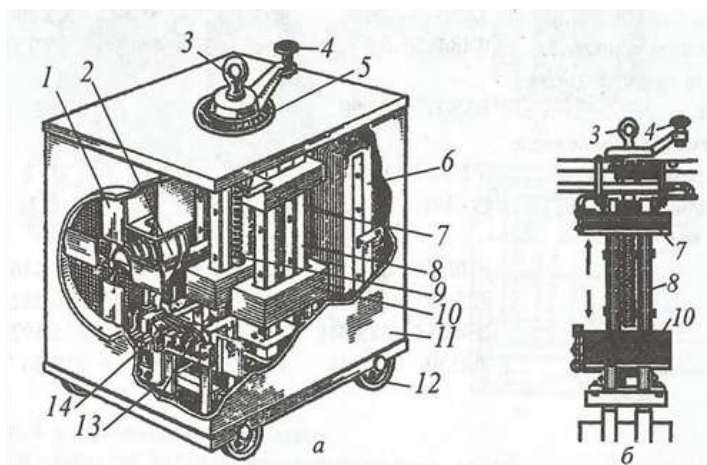


Рис. 2.10. Сварочный выпрямитель:
а – внешний вид; б – схема регулирования сварочного тока

Выпрямительные блоки 6 собраны по трехфазной мостовой схеме. Для охлаждения выпрямительных блоков служит вентилятор 1, приводимый во вращение от асинхронного электродвигателя 2. Охлаждающий воздух засасывается внутрь кожуха, проходит через блок, омывает трансформатор и выбрасывается с другой стороны.

Ключевые достоинства СВ:

- новички могут использовать сварочное оборудование без особых затруднений;
- возможность эффективной сварки цветных металлов, теплоустойчивых металлических сплавов и чугуна;
- получение шва достойного качества;
- незначительное разбрызгивание материала, используемого в качестве присадочного;
- меньшая масса, чем у трансформаторов.

Недостатки СВ:

- малый КПД (в районе 80 %);
- трудности с запиткой сварочного агрегата от обычной электросети (наиболее рациональные показатели тока для сварки гарантированы исключительно при подключении выпрямителя к 380-вольтной сети);
- высокая стоимость;
- сложность конструкции СВ. В аппарат обычно добавляют дополнительные элементы – сложные пускорегулирующие устройства: дроссели, измерительные и предохраняющие узлы, плавиковые предохранители, термостаты, которые существенно усложняют процесс ремонта оборудования.

2.5. Инверторное оборудование

2.5.1. Конструкция сварочных инверторов и их технические характеристики

Инверторное оборудование, так же часто именуемое как импульсное оборудование – это современное направление в развитии сварочной техники на базе полупроводников (IGBT модулей или MOSFET транзисторов). Сва-

рочные инверторы обладают теми же возможностями что и сварочные выпрямители постоянного тока, но при этом обладают рядом существенных преимуществ.

Инвертор состоит из двух частей: силовой и блока управления с обратной связью. Преобразование промышленного или бытового тока в сварочный (в силовой части) производится благодаря наличию в нем следующих обязательных компонентов:

- 1) Первичного выпрямителя, преобразующего переменный ток в постоянный пульсирующий, и фильтра, сглаживающего пульсацию;
- 2) Инвертора на основе IGBT или MOSFET транзисторов, в котором происходит преобразование постоянного тока в переменный – высокой частоты;
- 3) Трансформатора тока, с помощью которого через блок управления контролируются его параметры на первичной обмотке силового трансформатора;
- 4) Силового трансформатора, преобразующего напряжение и ток инвертора в соответствии с параметрами, необходимыми для сварки металла;
- 5) Вторичного выпрямителя, на выходе которого мы получаем постоянный сварочный ток высокой частоты. Именно этот ток идет на электроды, используемые для сварки;
- б) Дросселя для подавления пульсаций.

В зависимости от модели, сварочные инверторы могут быть оснащены дополнительными фильтрами, обеспечивающими «плавный пуск», фильтрами ЕМС, которые обеспечивают защиту сети от возникновения электромагнитных помех.

Блоки управления имеют различное устройство, но главное их свойство – контроль параметров сварочного тока в ручном или автоматическом режиме, а также возможность получения дополнительных функций, существенно облегчающих процесс сварки.

Конкретные технические характеристики инверторов могут быть разными. Они колеблются в следующих пределах:

- сварочный ток – от 5 до 200 ампер;
- продолжительность включения – от 20 до 100 процентов. Аппараты, используемые на промышленных объектах, например, российский Сварог ARC 205 или инвертор SSVA 160-2, способны выдавать показатель продолжительности включения до 100 процентов на сравнительно высоких величинах сварочного тока (до 180 ампер);
- напряжение холостого хода – от 40 до 80 вольт;
- напряжение электрической сети – от 140 до 260 вольт.

2.5.2. Применение инверторного сварочного оборудования. Их преимущества и недостатки

Практически все инверторы способны выполнять следующие виды сварки:
- полуавтоматическая сварка, MIG/ MAG;

- ручная дуговая сварка ММА (используются электроды, процесс ведется на постоянном токе);
- аргонодуговой процесс TIG (применяется инертный аргон и неплавящиеся электроды).

Для повышения эффективности работы в режиме TIG-операции инверторы могут оснащаться рядом функций. Среди них можно выделить такие: плавное уменьшение силы тока на финальной стадии сварочного процесса, бесконтактный розжиг сварочной дуги, сварка в импульсном режиме, регулировка продолжительности обдува поверхности газом, баланс полярности (повышение чистоты шва посредством снижения глубины провара изделия). Ручной электродуговой процесс становится более удобным благодаря наличию в инверторах сварочных функций форсажа дуги, розжига ее легким касанием о поверхность свариваемых деталей, антиприлипания (электроды никогда не привариваются к заготовке), а также снижения в авторежиме величины напряжения, горячего старта (снижение риска получения бракованного шва, брызг при сварке).

Существуют и дополнительные функции для инверторов, с помощью которых может выполняться MIG-сварка. К их распространенным видам относят:

- «Мягкий финиш»: после того, как подача проволоки приостанавливается, она автоматически дожигается;
- «Синергетика»: технические характеристики оборудования самостоятельно «подстраиваются» под запрограммированные сварщиком показатели непосредственно во время сваривания;
- «2/4 такта»: проволока подается либо автоматически, либо по требованию пользователя;
- «Мягкий старт»: при розжиге электродуги аппарат повышает ток;
- «Индуктивность»: специальная функция (ей оснащаются дорогостоящие установки), обеспечивающая снижение уровня разбрызгивания металла, контроль ширины сварочного соединения и максимальную стабильность дуги.

Преимущества инверторного сварочного аппарата

1. Малый вес и габаритные размеры в сравнении с традиционным трансформатором. Дело в том, что высокочастотные трансформаторы существенно меньше по своим габаритам и весу. Так что инвертор практически в 5 раз легче и, соответственно, компактней.

2. Высокий КПД, достигающий 90% и более, в отличие от 70% у традиционного. Это объясняется тем, что в трансформаторе высокочастотного вида потери тока являются минимальными.

3. Небольшая нагрузка на сеть и низкое энергопотребление в 2 раза ниже, чем у сварочных трансформаторов и выпрямителей.

4. Возможность стабильной работы при пониженном питающем напряжении при сохранении всех основных сварочных параметров и достоинств выпрямителей.

5. Широкий диапазон регулировок и плавная регулировка тока, что позволяет достигать оптимальных параметров сварочного шва вне зависимости от минимального диаметра электродов, условий и расположения свариваемых поверхностей.

6. Система обратной связи. Она позволяет производить качественную сварку людям, не имеющим специальной подготовки за счет контроля параметров дуги во время работы.

7. Малое разбрызгивание.

8. Наличие дополнительных функций, таких как HotStart, Anti-Stick и ArcForce. Эти функции, как правило, присутствуют у всех моделей инверторных сварочных аппаратов и позволяют облегчать поджиг дуги, отключают ток при приваривании электрода и увеличивают ток для разрушения «моستиков» при металлопереносе, предшествующих залипанию.

Недостатки инверторного оборудования

1. Стоимость выше традиционных сварочных трансформаторов.

2. Критичность к наличию влаги, пыли и низким температурам. Этот недостаток связан с тем, что высокочастотные трансформаторы генерируют соответствующее магнитное поле, которое притягивает пыль. Этому способствует и наличие вентиляторов.

2.5.3. Показатели сварочного инвертора, характеризующие его работу

1. *Категория оборудования.* В зависимости от условий работы и требованиям к качеству сварки деление производится по трем категориям:

- бытовая, когда требуется непродолжительная работа и аппарат находится в личном использовании для производства небольших работ в условиях домашней мастерской;

- профессиональная, предъявляющая повышенные требования к качеству сварных соединений при использовании в различных организациях, мастерских, обслуживающих цехах;

- промышленная. В этом случае должна обеспечиваться большая продолжительность работы на протяжении длительного времени, способствующая непрерывности производственного цикла с высоким качеством.

2. *Максимальный сварочный ток.* Данный критерий определяется тем, с какой толщиной материала придется работать и, соответственно, с каким диаметром электродов. Например, можно сварить детали сантиметровой толщины, используя электрод диаметром в 3 мм, применяя методы многослойной сварки, однако в этом случае качество шва оставит желать лучшего, так как не произойдет достаточного прогрева свариваемых деталей и проникновения металла электрода. При определении этой характеристики сварочного инвертора необходимо отталкиваться от максимальной толщины металла, с которым придется работать.

3. *Продолжительность включения.* Эта характеристика обозначается аббревиатурой ПВ и значение ее указывается в процентах. Например, если указано, что ПВ – 60%, то это означает, что в течение 10 минут работы сам

процесс сварки должен занимать 6 минут, а 4 минуты аппарат должен «отдыхать».

4. *Элементная база.* Сварочные аппараты инверторного типа производятся на базе двух типов транзисторов:

- MOSFET – мощные полевые транзисторы с изолированным затвором;
- IGBT – биполярные транзисторы с изолированным затвором.

Первые значительно дешевле, но транзисторы IGBT имеют значительные преимущества:

А) Более компактный размер и меньшее количество для полноценного функционирования. Так, для изготовления среднего по характеристикам инвертора требуется от 2 до 4 IGBT транзисторов против 10-12 MOSFET;

Б) Вес и габаритные размеры, так как требуется большой отвод тепла и большие радиаторы. Поэтому, как правило, аппараты с MOSFET транзисторами имеют элементную базу на трех платах;

В) Более высокий КПД;

Г) Более высокий предел рабочей температуры, достигающий 90оС, тогда как работоспособность MOSFET не превышает 60оС.

2.6. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с процессом зажигания и строением электрической сварочной дуги.

2. Изучить устройства и принцип работы сварочного трансформатора, выпрямителя и инвертора, привести их электрическую схему.

3. Снять вольт-амперную характеристику дуги. Для снятия характеристики дуги необходимо используя штатив (рис. 2.11) для крепления и перемещения угольных электродов в вертикальном направлении:

А) Установить длину дуги $l_d=3$ мм. Возбудить дугу прямой полярности на минимально возможном токе. Затем постепенно увеличивать ток, измеряя через каждые 20 А напряжение на дуге (не менее 5 точек). Повторить эксперимент при длине дуги 5 и 10 мм.

Б) Повторить эксперименты на обратной полярности. Результаты экспериментов заносят в таблицу 2.2.

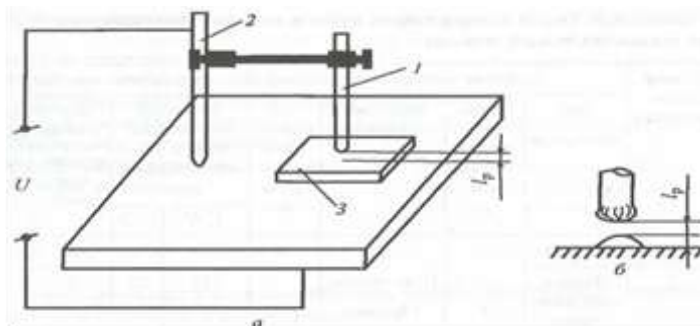


Рис. 2.11. Схема измерения длины дуги: общий вид (а) и замер разрывной длины дуги l_p (б)

Таблица 2.2. Параметры дуги при изменении значений тока

Номер замера	Род тока и полярность	Длина дуги, мм	Ток, А	Напряжение, В	Примечание
--------------	-----------------------	----------------	--------	---------------	------------

В) На основании результатов экспериментов построить вольтамперную характеристику дуги для различных значений длины и полярности $U_d = f(I)$.

4. Снять внешнюю характеристику источника тока.

Чтобы построить внешнюю характеристику, необходимо получить три характерные точки (рис. 2.12), которые соответствуют режимам холостого хода, рабочему режиму, режиму короткого замыкания. Для получения точки, соответствующей напряжению холостого хода, необходимо при включенном источнике питания и разомкнутой цепи снять показания амперметра и вольтметра. Для получения точки, соответствующей току короткого замыкания, необходимо сварочную цепь замкнуть накоротко и определить ток короткого замыкания по амперметру. Для получения точки, соответствующей рабочему режиму, необходимо в процессе сварки снять показания амперметра и вольтметра. Результаты измерений занести в таблицу 2.3. и по этим данным построить внешнюю характеристику источника питания (рис. 2.13).

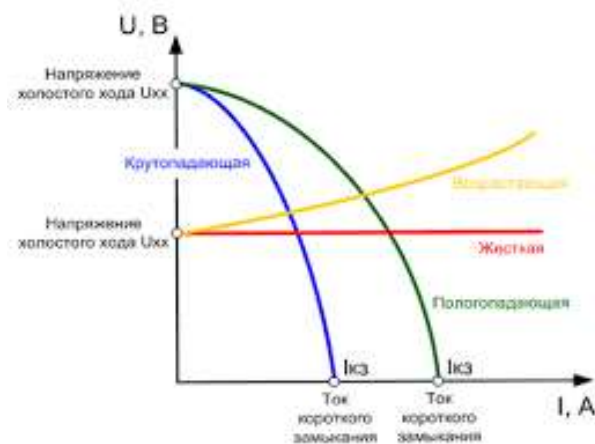


Рис. 2.12. Внешняя характеристика источника тока

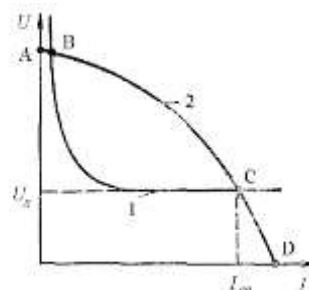


Рис. 2.13. Совмещенная вольтамперная характеристика дуги – 1 и источника тока – 2

5. Определение коэффициентов уравнения электрической дуги.

Возбудить дугу прямой полярности (первоначальная длина 3 мм). Увеличивая длину дуги и поддерживая постоянным значение тока, измерить напряжение на дуге при длине 3, 5, 10, 15 мм до ее угасания. Длина дуги из-

меряется на приспособлении для перемещения электрода. Эксперимент повторить не менее трех раз.

Повторить эксперимент для дуги обратной полярности. Результаты экспериментов записываются в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Параметры дуги при изменении значений ее длины

Номер замера	Длина дуги, мм	Род тока, полярность и величина тока, А	Напряжение на дуге, В	Примечание (отмечают замеченные особенности)
--------------	----------------	---	-----------------------	--

На основе результатов опытов построить график (рис. 2.14) и определить графически значения коэффициентов a и b уравнения (2.2). Записать уравнения дуги с полученными коэффициентами.

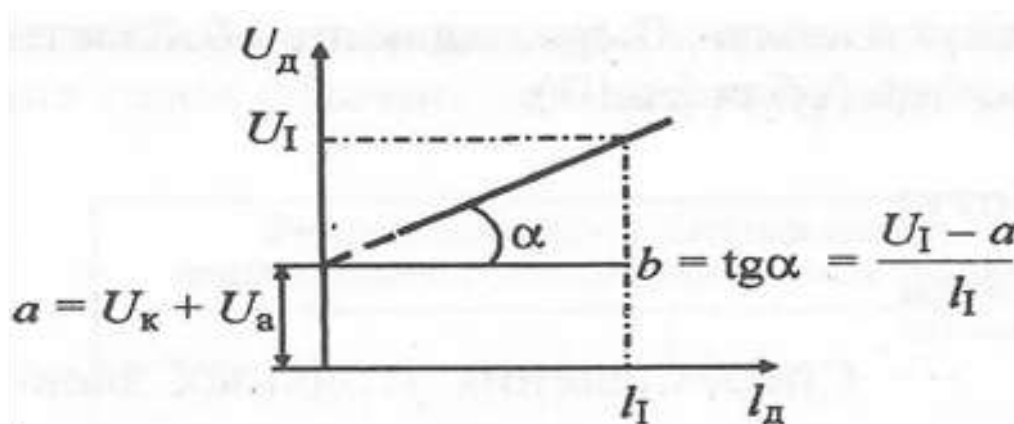


Рис. 2.14. Графическое определение коэффициентов a и b

По полученному уравнению дуги оценить:

А) падение напряжения в катодной (U_k) и анодной (U_a) областях, в столбе дуги ($U_{ст}$);

Б) градиент напряжения в столбе дуги ($dU_{ст}/dl_d$).

2.7. Содержание отчета

1. Схема и краткое описание строения электрической дуги.
2. Схема сварочного поста трансформатора СТЭ.
3. Схема измерения длины дуги.
4. Внешняя характеристика источника питания.
5. Результаты экспериментальных исследований.
6. Выводы по результатам экспериментальных исследований.

2.8. Контрольные вопросы

1. Преимущества и недостатки ручной дуговой сварки.
2. Назовите основное оборудование сварочного поста.
3. Какие виды источников питания применяют в сварочном производстве?
4. Как распределяется температура в столбе электрической дуги?
5. Как осуществляется процесс зажигания дуги?
6. Какие процессы протекают в различных зонах дугового разряда?

7. Какова особенность дугового разряда как проводника электрического тока по сравнению с проводимостью в металлическом проводнике?
8. Какие факторы влияют на устойчивость горения дуги?
9. Объясните характер полученной вольтамперной характеристики дуги.
10. Как изменяется напряжение на дуге при изменении ее длины?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ШТУЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Цели работы:

1. Ознакомление с основными положениями технологии выполнения сварочных работ.
2. Овладение практическими навыками ручной дуговой сварки металлическими электродами.
3. Приобретение практических навыков в расчете режимов ручной дуговой сварки.
4. Изучение влияния режимов сварки на геометрические размеры и механические свойства сварного соединения.

3.1. Расчет режимов ручной дуговой сварки

При ручной дуговой сварке параметрам режима сварки относятся:

- сила сварочного тока;
- напряжение сварки;
- скорость перемещения электрода вдоль шва (скорость сварки);
- род и полярность тока.

Определение основных режимов РДС производится в следующей последовательности.

1. *Диаметр электрода* выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения и положения шва в пространстве.

При выборе диаметра электрода для сварки можно использовать следующие ориентировочные данные (табл. 3.1).

Таблица 3.1. **Определение диаметра электрода в зависимости от толщины соединения**

Толщина листа, мм	1- 2	3	4-5	6-10	10-15	> 15
Диаметр электрода, мм	1,6-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0	> 5,0

В многослойных стыковых швах первый слой выполняют электродом 3-4 мм, последующие слои выполняют электродами большего диаметра.

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

При наплавке изношенной поверхности должна быть компенсирована толщина изношенного слоя плюс 1-1,5 мм на обработку поверхности после наплавки.

2. Сила сварочного тока, A , рассчитывается по формуле

$$I_{св} = K \cdot d_{э} \quad (3.1)$$

где K – коэффициент, равный 25-60 А/мм; $d_{э}$ – диаметр электрода, мм.

Коэффициент K в зависимости от диаметра электрода $d_{э}$ определяется по таблице 3.2.

Таблица 3.2. Определение коэффициента K в зависимости от диаметра электрода

$d_{э}$, мм	1-2	3-4	5-6
K , А/мм	25-30	30-45	45-60

Силу сварочного тока, рассчитанную по формуле (3.1), следует откорректировать с учетом толщины свариваемых элементов, типа соединения и положения шва в пространстве.

Если толщина металла $S \geq 3d_{э}$, то значение $I_{св}$ следует увеличить на 10-15%. Если же $S \leq 1,5d_{э}$, то сварочный ток уменьшают на 10-15%. При сварке угловых швов и наплавке, значение тока должно быть повышено на 10-15%.

При сварке в вертикальном или потолочном положении значение сварочного тока должно быть уменьшено на 10-15%. Допустимая плотность тока зависит от диаметра электрода и вида покрытия: чем больше диаметр электрода, тем меньше допустимая плотность тока, так как ухудшаются условия охлаждения (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Допустимая плотность тока в электроде при ручной дуговой сварке

Вид покрытия	Диаметр стержня электрода, мм				
	2	3	4	5	6 и более
Основное	15,0-20,0	13,0-18,5	10,0-14,5	9,0-12,5	8,5-12,0
Кислое, рутиловое	14,0-20,0	13,5-19,0	11,5-15,0	10,0-13,5	9,5-12,5

3. Длину дуги выбирают в зависимости от диаметра электрода

$$l_{д} = 0,5 (d_{э} + 2),$$

чем короче дуга, тем выше качество наплавленного металла.

4. Напряжение горения дуги ($U_{д}$, В) пропорционально длине дуги $l_{д}$

$$U_{д} = \alpha + \beta \cdot l_{д},$$

где α , β – опытные коэффициенты. Для стальных электродов $\alpha=10В$, $\beta= 2 В/мм$.

Для большинства марок электродов, используемых при сварке углеродистых и легированных конструкционных сталей, напряжение дуги $U_{д} = 22 \div 28$ В.

5. Площадь наплавки S (см²) определяется в зависимости от вида сварного соединения по ГОСТ 5264-80, учитывая конструктивные параметры: s – толщина стенки свариваемых деталей; b – зазор между кромками свариваемых деталей (примерно равен 1,0мм); e – ширина сварочного шва; g – усиление сварного шва. (рис. 3.1).

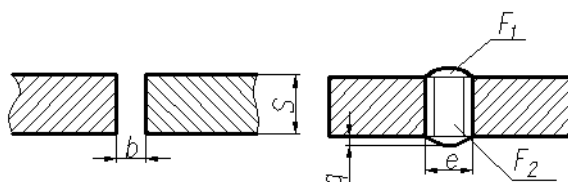


Рис. 3.1. Геометрические параметры для определения площадей элементарных геометрических фигур при сварке

6. Количество проходов при сварке устанавливают в зависимости от толщины свариваемых кромок и вида сварного соединения (табл. 3.4 и 3.5).

Таблица 3.4. Количество проходов при сварке стыковых соединений

Толщина металла, мм	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
Количество проходов, n	1	1	1	1	2	2-3	4	4	4-5	5-6	5-6

Таблица 3.5. Количество проходов при сварке угловых и тавровых соединений

Толщина металла, мм	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Количество проходов, n	1	1	1	1	2	2-3	3-4	5	5-6	5-6	6-7

7. Скорость сварки, м/ч определяются по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{100 \cdot F_{шв} \cdot \rho},$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч (принимают из характеристики выбранного электрода по таблице 3.6); $F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва при однопроходной сварке ($F_{шв} = S/n$), см²; ρ – плотность металла электрода, г/см³ (для стали $\rho = 7,8$ г/см³).

Таблица 3.6. Коэффициенты наплавки для различных марок электродов

Марка электрода	Ток и полярность	Напряжение на дуге, В	Коэффициент наплавки α_n , г/А·ч
УОНИИ 13/45	Постоянный прямой полярности	20 – 25	8,0
УОНИИ 13/55		22 – 26	7,0 – 8,0
ЦМ – 7		27 – 30	10,0

8. Масса наплавленного металла, g , для ручной дуговой сварки рассчитывается по формуле

$$G_H = F_{шв} \cdot l \cdot \rho,$$

где l – длина шва, см.

9. Время горения дуги, $ч$, (основное время) определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{св} \cdot \alpha_n}.$$

10. Полное время сварки, $ч$, приближенно определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{k_n},$$

где t_0 – время горения дуги (основное время), $ч$; k_n – коэффициент использования сварочного поста, который принимается для ручной сварки $0,5 \div 0,55$.

11. Расход электроэнергии, $кВт \cdot ч$, определяется по формуле

$$A = \frac{U_d \cdot I_{св}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0),$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги; W_0 – мощность, расходуемая источником питания сварочной дуги при холостом ходе, кВт; T – полное время сварки, $ч$.

Значения η источника питания сварочной дуги и W_0 можно принять по таблице 3.7.

Таблица 3.7. Определение значения η и W_0 в зависимости от рода тока

Род тока	η	W_0
Переменный	0,8 - 0,9	0,2 - 0,4
Постоянный	0,6 - 0,7	2,0 - 3,0

3.2. Технология ручной дуговой сварки

Подготовка свариваемых кромок. Качественная подготовка свариваемых кромок влияет на качество, экономичность, прочность и работоспособность сварного соединения. Для обеспечения равномерного проплавления свариваемых кромок в зависимости от толщины основного металла и способа сварки им придают наиболее оптимальную форму, выполняя предварительно подготовку кромок. На рисунке 3.2. приведены применяемые формы подготовки кромок для различных типов сварных соединений. Основными параметрами формы подготовленных кромок и собранных под сварку соединений являются e , R , b , a , c – высота отбортовки, радиус закруглений, зазор, угол скоса, притупления кромок.

Отбортовку кромок применяют при сварке тонкостенных деталей. Для толстостенных деталей применяют разделку кромок за счет их скоса, т.е. выполнение прямолинейного или криволинейного наклонного скоса кромки, подлежащей сварке. Нескошенная часть кромки с носит название притупления кромки, а расстояние b между кромками при сборке – зазором. Острый угол a между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца называют углом скоса кромки, угол a между скошенными кромками – углом разделки кромок.

Значения параметров формы подготовки кромок и их сборки регламентируются ГОСТ 5264-80. В зависимости от типов сварных соединений различают стыковые и угловые сварные швы. Первый вид швов используется при получении стыковых сварных соединений. Второй вид швов используется в угловых, тавровых и нахлесточных соединениях.

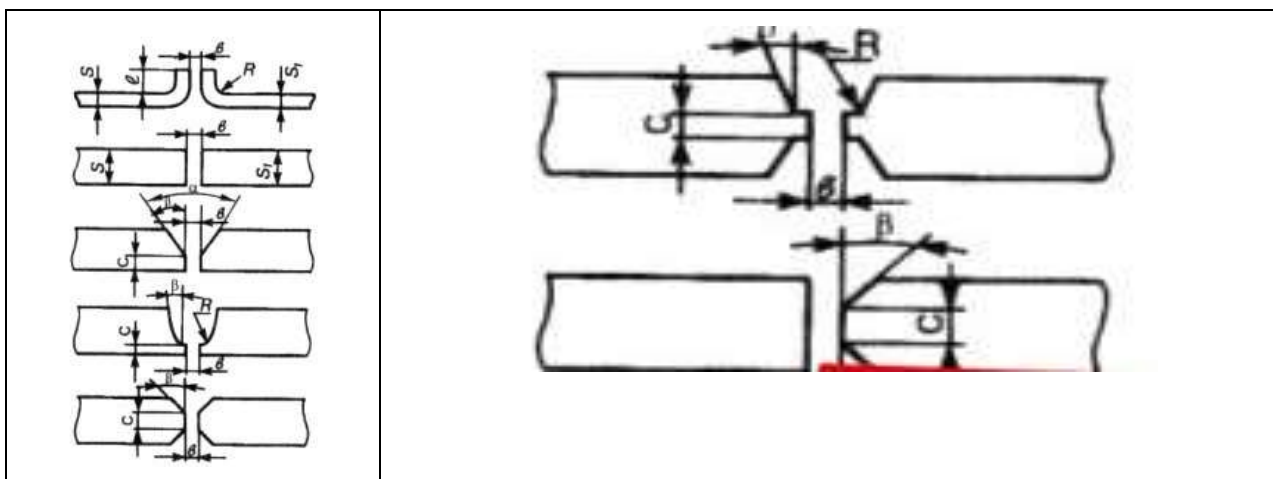


Рис. 3.2. Примеры подготовки кромок в стыковом соединении

Способы зажигания дуги при ручной дуговой сварке. Процесс возбуждения дуги при сварке плавящимся электродом начинается с короткого замыкания, т.е. соприкосновения электрода с изделием. В момент короткого замыкания, из-за шероховатости поверхности торца электрода и изделия, касание происходит в отдельных выступающих участках, которые под действием тока короткого замыкания мгновенно расплавляются, в результате чего образуется жидкая перемычка. При отводе электрода от изделия, эта перемычка

растягивается, плотность тока увеличивается, металл перегревается и достигает температуры кипения. При этом пары металла и газы между электродами ионизируются – возбуждается дуга.

Обычно зажигание дуги осуществляется либо прямым отрывом электрода после короткого замыкания (рис. 3.3А), либо скользящим движением конца электрода (рис. 3.3Б).

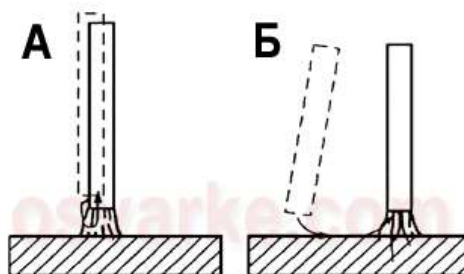


Рис. 3.3. Способы зажигания дуги при ручной дуговой сварке

Техника выполнения ручной дуговой сварки. Техника выполнения ручной дуговой сварки во многом зависит от пространственного положения сварного шва. При сварке различают нижнее ($0-60^\circ$), вертикальное ($60-120^\circ$) и потолочное ($120-180^\circ$) положения (рис. 3.4).

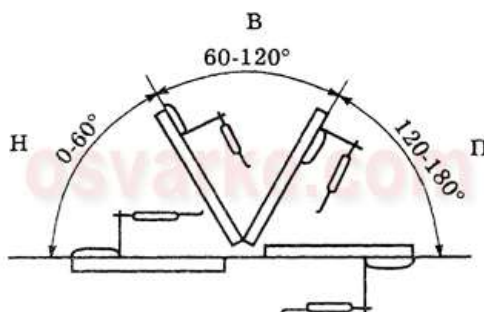


Рис. 3.4. Положения изделия при ручной дуговой сварке

В процессе сварки электроду сообщается движение в трех направлениях.

Первое движение – поступательное, направлено по оси электрода. Этим движением поддерживается постоянная длина дуги в зависимости от скорости плавления электрода. Длина дуги при ручной сварке в зависимости от условий сварки и марки электрода должна быть в пределах $(0,5-1,2)$ дэл. Чрезмерное уменьшение длины дуги ухудшает формирование шва и может привести к короткому замыканию. Чрезмерное увеличение длины дуги приводит к снижению глубины провара, увеличению разбрызгивания электродного металла и ухудшению качества шва как по форме, так и по механическим свойствам, а при сварке электродами с покрытием основного вида – и к порообразованию.

Второе движение – перемещение электрода вдоль оси валика для образования шва. Скорость этого движения устанавливается в зависимости от силы тока, диаметра электрода, скорости его плавления, вида шва и других факторов. При отсутствии поперечных движений электрода получается узкий шов (ниточный валик) шириной примерно $1,5$ диаметра электрода. Такие

швы применяют при сварке тонких листов и при наложении первого (корневого) слоя многослойного шва.

Третье движение – перемещение электрода поперек шва для получения требуемых ширины шва и глубины проплавления. Поперечные колебательные движения конца электрода определяются формой разделки, размерами и положением шва, свойствами свариваемого материала, навыком сварщика (см. рисунок ниже). Ширина швов, получаемых с поперечными колебаниями, обычно составляет 1,5-5 диаметров электрода.

Все три движения накладываются друг на друга, создавая сложную траекторию перемещения электрода. Траекторию перемещения дуги (рис 3.5) выбирают таким образом, чтобы кромки свариваемых деталей проплавились с образованием требуемого количества наплавленного металла и заданной формы шва.

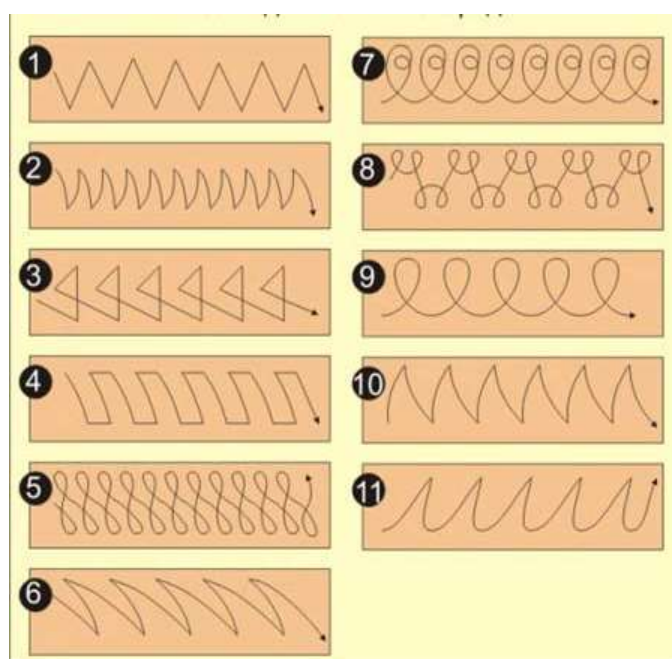


Рис. 3.5. Схемы движения электрода при ручной дуговой сварке

Ручная дуговая сварка в нижнем положении. При ручной сварке в нижнем положении основная проблема состоит в том, чтобы обеспечить полное проплавление сечения без образования прожогов.

Швы различают: короткие – длина которых не превышает 300 мм, средние – длиной 300 – 1000 мм и длинные – свыше 1000 мм. В зависимости от длины шва его заполнение может выполняться по различным схемам сварочного заполнения. (рис. 3.6). При этом короткие швы заполняют за один проход – от начала шва до его конца. Швы средней длины могут заполняться обратноступенчатым методом или от середины к концам. Для выполнения обратноступенчатого метода заполнения шов разбивают на участки, длина которых равна 100-300 мм. На каждом из этих участков заполнение шва выполняют в направлении, обратном общему направлению сварки. Если для нормального заполнения шва одного прохода сварочной дуги мало, накладывают многослойные швы. При этом, если число накладываемых слоев равно числу проходов, шов называют многослойным. Если же некоторые слои вы-

полняют за несколько проходов, такие швы называют многослойно-проходными. Схематически такие швы отражены на рисунке 3.7.

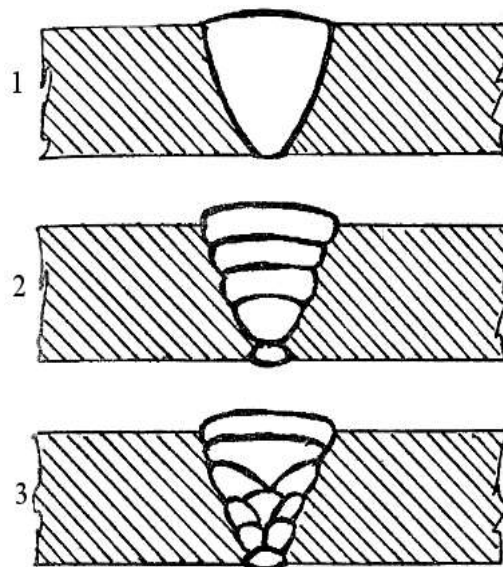
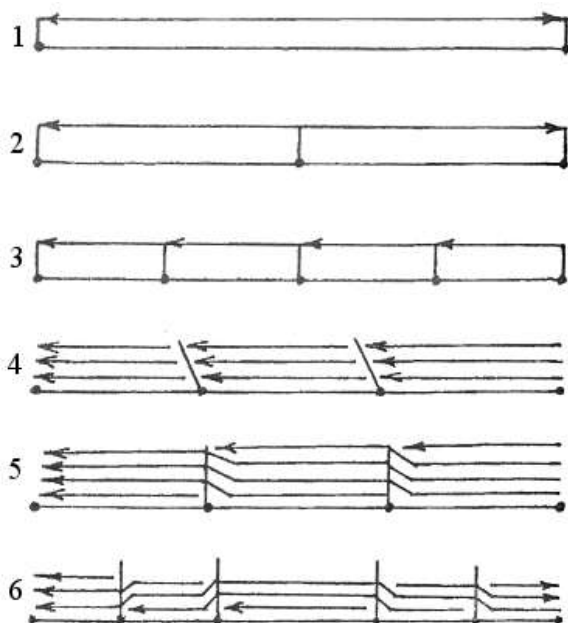


Рис. 3.6. Схемы дуговой сварки:

- 1 – сварка напроход;
- 2 – сварка от середины к краям;
- 3 – сварка обратноступенчатым способом;
- 4 – сварка блоками; 5 – сварка каскадом;
- 6 – сварка горкой

Рис. 3.7. Виды швов:

- 1 – однослойный;
- 2 – многопроходной;
- 3 – многослойный, многопроходной

С точки зрения производительности труда наиболее целесообразными являются однопроходные швы, которым отдают предпочтение при сварке металлов небольших (до 8-10 мм) толщин с предварительной разделкой кромок.

Для ответственных конструкций (сосуды, работающие под давлением, несущие конструкции и т.д.) применяют сварку многослойными швами, наложение швов «каскадными методами» или «горкой», принудительное охлаждение или подогрев. Преимущество сварки «горкой» и «каскадного метода» состоит в том, что зона сварки все время находится в подогретом состоянии, что способствует улучшению физико-механических качества шва, так как внутренние напряжения получаются минимальными и предупреждаются. На рисунке 3.8 приведены различные варианты выполнения швов в нижнем положении. При сварке односторонних швов на весу (рис. 3.8А), как правило, очень трудно избежать непроваров или прожогов, поэтому для односторонних швов обычно применяют способы удержания сварочной ванны:

- сварка на съемной медной подкладке (рис. 3.8Б);
- сварка на остающейся стальной подкладке (рис. 3.8В);
- наложение подварочного шва (рис. 3.8Г);
- вырубка непровара с последующей заваркой корня шва (рис. 3.8Д).

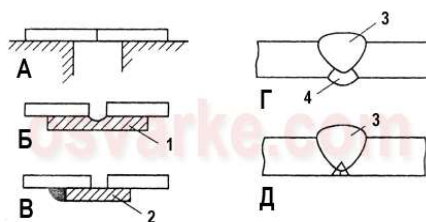


Рис. 3.8. Способы удержания сварочной ванны
 1 – съемная медная подкладка; 2 – остающаяся стальная подкладка;
 3 – основной шов; 4 – подварочный шов

При сварке стыковых соединений используют траектории перемещения электрода, указанные на рисунке 3.9.



Рис. 3.9. Схемы движения электрода при сварке стыковых и нахлесточных соединений

Сварку угловых швов в нижнем положении можно выполнять двумя способами:

- при повороте изделия на 45° (сварка «в лодочку»);
- наклонным электродом.

Сварка «в лодочку» (рис. 3.10) более предпочтительна, так как при сварке наклонным электродом из-за отека расплавленного металла трудно предупредить подрез по вертикальной плоскости и обеспечить провар по нижней плоскости.

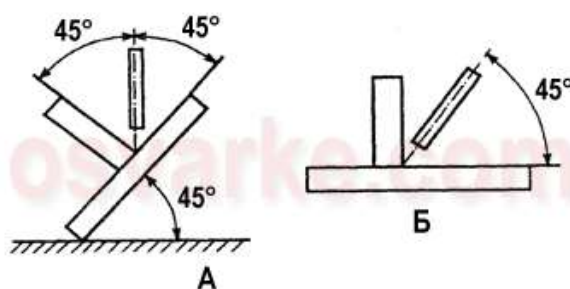


Рис. 3.10. Техника выполнения угловых швов при ручной дуговой сварке:
 А – «в лодочку»; Б – наклонным электродом

При сварке угловых соединений используют траектории перемещения электрода, указанные на рисунке 3.11.

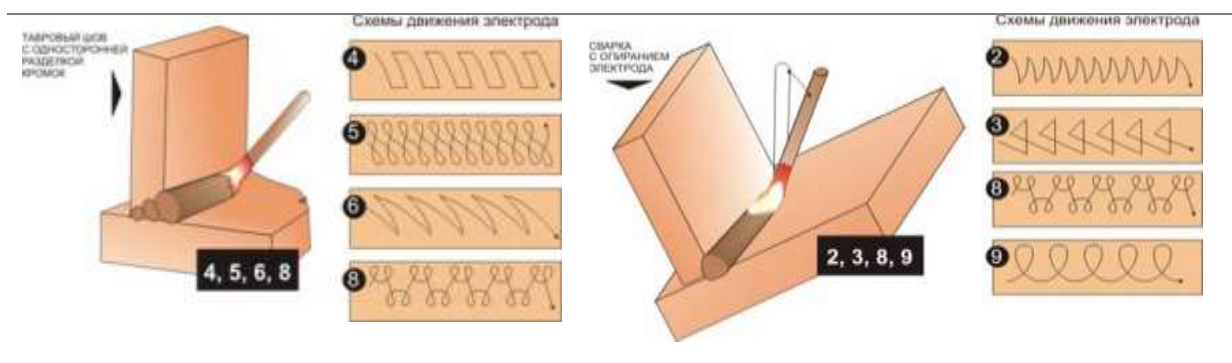


Рис. 3.11. Схемы движения электрода при сварке угловых соединений

При ручной сварке в вертикальном положении стекание расплавленного металла оказывает существенное влияние на формирование шва и глубину проплавления. Вертикальные швы обычно выполняют на подъем (рис. 3.12А). В этом случае удастся обеспечить требуемый провар и поддерживать расплавленный металл на кромках. Однако производительность сварки низкая и увеличивается при сварке на спуск (рис. 3.12Б). Однако из-за малой глубины проплавления это возможно только для тонкого металла и при применении специальных электродов.

Особенно неблагоприятные условия формирования шва наблюдаются при выполнении на вертикальной плоскости горизонтальных швов, так как расплавленный металл натекает на нижнюю свариваемую деталь.

При сварке вертикальных и горизонтальных швов используют траектории перемещения электрода, указанные на рисунке 3.13.

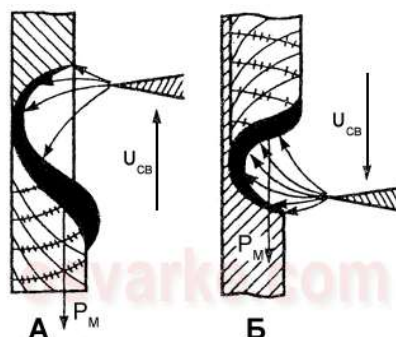


Рис. 3.12. Ручная дуговая сварка швов в вертикальном положении

При сварке в потолочном положении расплавленный металл в сварочной ванне удерживается от вытекания силой поверхностного натяжения (рис. 3.14). Поэтому необходимо, чтобы вес расплавленного металла не превысил эту силу. Для этого стремятся уменьшить размеры сварочной ванны, выполняя сварку периодическими короткими замыканиями, давая возможность металлу шва частично закристаллизоваться. Применяют также уменьшенные диаметры электродов, снижают силу сварочного тока, используют специальные электроды, обеспечивающие получение вязкой сварочной ванны.

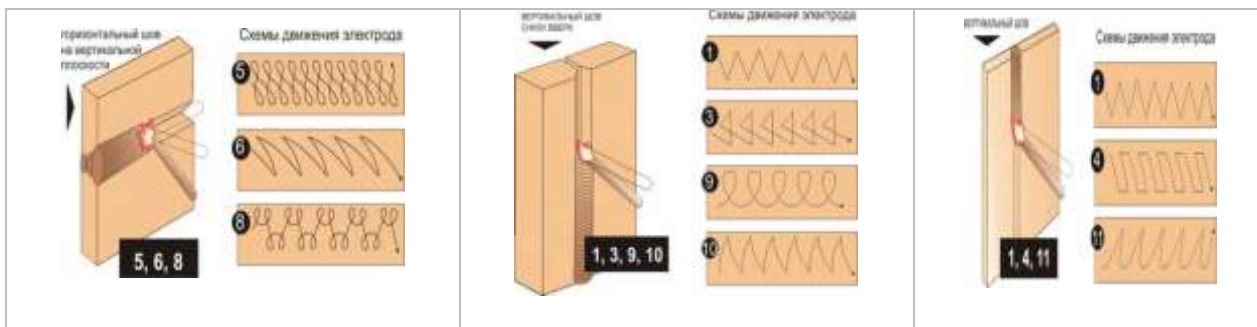


Рис. 3.13. Схемы движения электрода при сварке горизонтальных и вертикальных швов

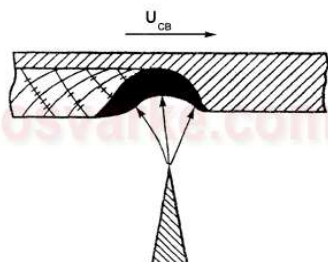


Рис. 3.14. Формирование ванны и шва при ручной дуговой сварке в потолочном положении

При сварке потолочных швов используют траектории перемещения электрода, указанные на рисунке 3.15.

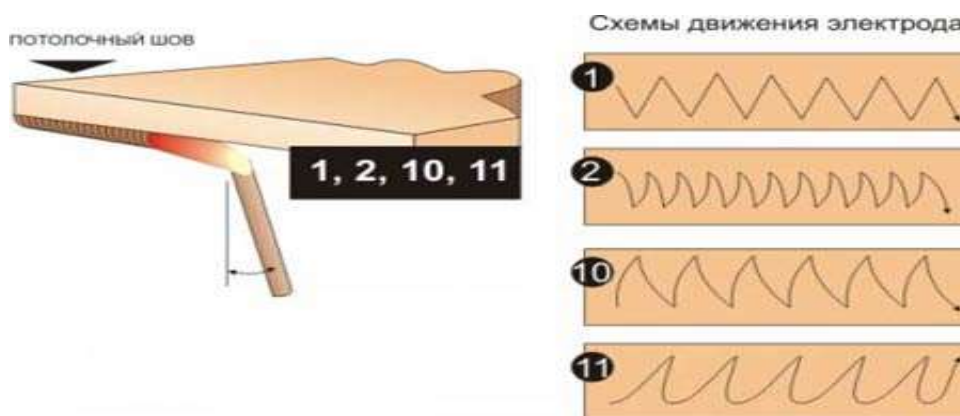


Рис. 3.15. Схемы движения электрода при сварке потолочных швов

3.3. Обозначение сварных соединений на чертежах

Согласно ГОСТу 2.312-72 условные обозначения швов сварных соединений выполняются по четко установленным международным стандартам для всей конструкторской документации.

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают: видимый – сплошной основной линией; невидимый – штриховой линией. От изображения шва или одиночной точки проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой (рис. 3.16).

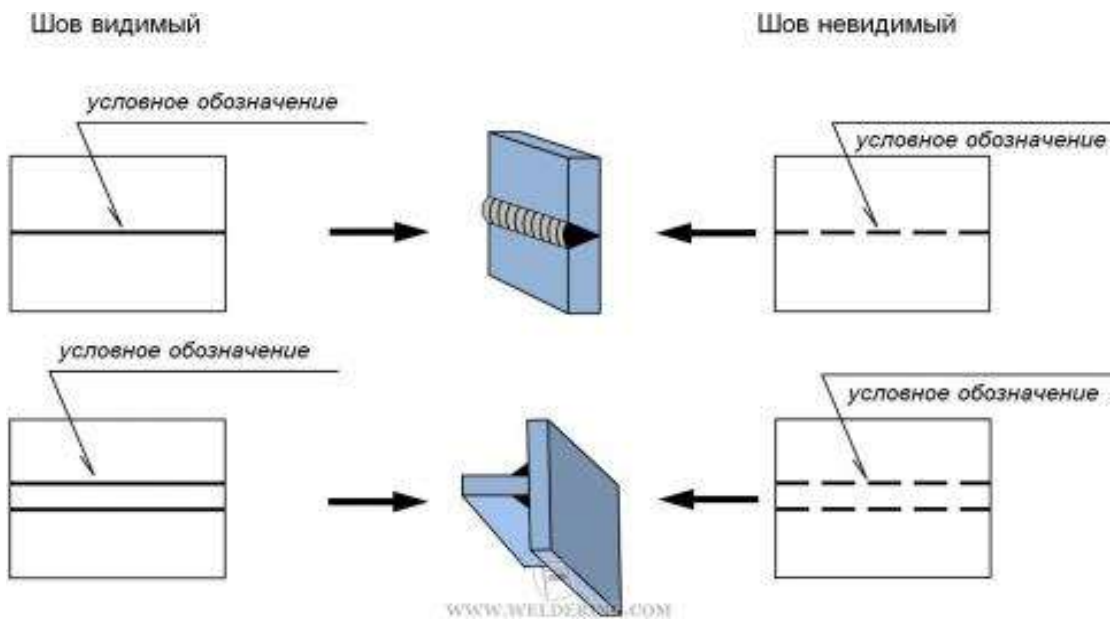


Рис. 3.16. Условное изображение видимого и невидимого сварного шва

Условное обозначение видимых швов проводится над полкой (рис. 3.17а), а невидимых под полкой (рис. 3.17б)

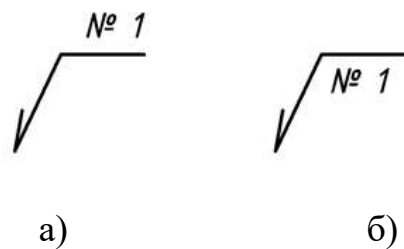


Рис. 3.17. Места обозначения сварных швов

Видимую одиночную сварную точку, независимо от способа сварки, условно изображают знаком «+» (рис. 3.18), который выполняют сплошными линиями. Невидимые одиночные точки не изображают.

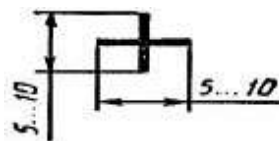


Рис. 3.18. Обозначение одиночной сварочной точки

На рисунке 3.19 указана структура условного обозначения сварного шва.

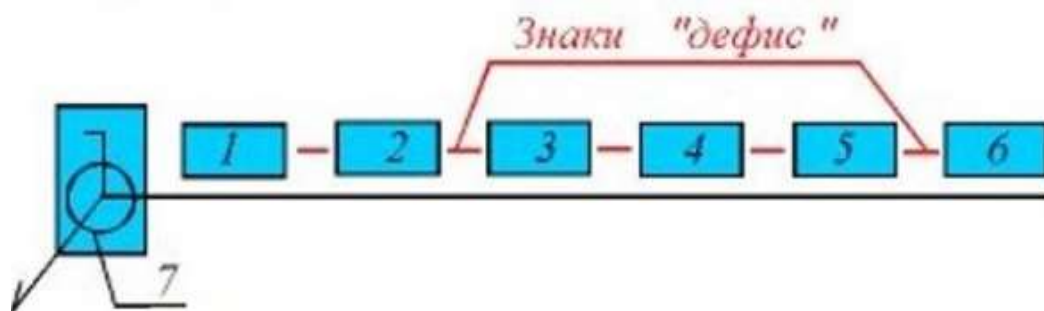


Рис. 3.19. Структура условного обозначения сварного шва

Согласно рисунку 3.19:

№ 1 – Обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (рис. 3.20).

СТАНДАРТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ГОСТ	НАИМЕНОВАНИЕ
5264-80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные
8713-79	Сварка под слоем флюса. Соединения сварные
11533-75	Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом Соединения сварные под острыми и тупыми углами
11534-75	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами.
13518-79	Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами.
14771-76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные.
14806-80	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные.
15164-78	Электрошлаковая сварка. Соединения сварные.
15878-79	Контактная сварка. Соединения сварные.
16310-80	Соединения сварные из полиэтилена, полипропилена и винилпласта.
23792-79	Соединения контактные электрические сварные.

Рис. 3.20. Стандарты на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений

№ 2 – Буквенно-цифровое обозначение шва на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений.

Буквенно-цифровое обозначение шва по соответствующему стандарту представляет собой комбинацию состоящую из буквы определяющей тип сварного соединения и цифры, указывающей вид соединения и шва, а также форму разделки кромок. Например: С1, Т4, Н3.

Для обозначения сварных соединений используются следующие буквы:
С – стыковое, У – угловое, Т – тавровое, Н – нахлесточное.


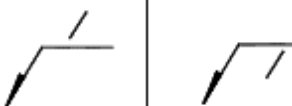
№ 3 – Условное обозначение способа сварки.

Обозначения способа сварки (А, Г, УП и другие) указывается в стандарте, по которому выполняется указанный на чертеже процесс сварки. Условные обозначения некоторых способов сварки представлены ниже, например: А – автоматическая сварка под флюсом без применения подкладок и подушек и подварочного шва; Аф – автоматическая сварка под флюсом на флюсовой подушке; ИН – сварка в инертных газах вольфрамовым электродом без присадочного металла; ИНп – сварка в инертных газах вольфрамовым электродом, но с присадочным металлом; ИП – сварка в инертных газах плавящимся электродом; УП – сварка в углекислом газе плавящимся электродом; электродуговая – Э; газовая – Г; контактная – Кт; в среде защитных газов – З.

№ 4 – Размер швов в сечении, длина катета.

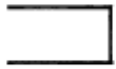
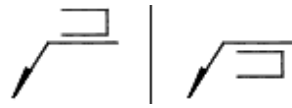

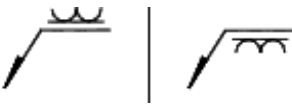


№ 5 – Знак углового шва с указанием длины участка (табл. 3.8).

Таблица 3.8. Знаки углового шва и их расположение

Знак	Значение знака	Расположение знака
Z	Прерывистый шов, шахматный шов	
/	прерывистый или точечный с цепным расположением	


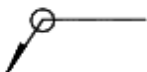

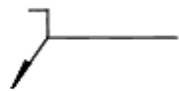
№ 6 – Вспомогательный знак для обозначения обработки (табл. 3.9).

Таблица 3.9. Вспомогательные знаки для обозначения обработки

Знак	Значение знака	Расположение знака
	по не замкнутой линии	
	Наплывы и неровности обработать с плавным переходом к основному металлу	
	Выпуклость снять	

№ 7 – Обозначение для вспомогательного шва (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Обозначение для вспомогательного шва

Знак	Значение знака	Расположение знака
	по замкнутой линии	
	исполняется при монтаже изделия	

Примеры обозначения сварных швов указаны в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Примеры обозначения сварных швов

		<p>Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний выполняемый дуговой ручной сваркой (С13 по ГОСТ 5264 - 80)</p> <p>при монтаже изделия ().</p> <p>Усиление снято с обеих сторон (). Параметр шероховатости поверхности шва: с лицевой стороны – Rz 20 мкм; с оборотной стороны – Rz 80 мкм.</p>
		<p>Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний прерывистый с шахматным расположением (Т3 по ГОСТ 14806-80) выполняемый дуговой ручной сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом (РИНп по ГОСТ 14806-80). Катет шва 6 мм (Δ6), длина провариваемого участка 50 мм, шаг 100 мм (Z).</p>

Если для шва сварного соединения установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то их обозначение допускается помещать под линией выноской (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Обозначение контрольного комплекса шва на чертеже

Обозначение чистоты механически обработанной поверхности шва (шероховатости) наносят после условного обозначения шва, или приводят в технических требованиях чертежа.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Расшифровать марку стали, выданную преподавателем.
3. По заданию преподавателя рассчитать и выбрать параметры ручной электродуговой сварки (силу сварочного тока, напряжение, диаметр, тип и марку электрода) сварного шва в зависимости от свариваемого материала.
4. Произвести сварку образцов на выбранном режиме сварки.
5. Оценить влияние режимов ручной электродуговой сварки на геометрические параметры сварного шва и качество сварного соединения.

3.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Описание оборудования сварочного поста и схема сварки.
3. Эскиз свариваемого образца.
4. Таблица с параметрами процесса сварки.

Марка материала	Диаметр электрода	Сила тока, А	Напряжение, В	Площадь сварки,	Скорость сварки	Масса наплавл. металла	Время горения дуги	Полное время сварки	Расход электроэнергии

5. Условное обозначение сварного шва, выданного преподавателем, и его полная расшифровка.

3.6. Контрольные вопросы

1. Назовите виды сварных соединений и швов.
2. Назовите основные технологические параметры ручной дуговой сварки.
3. В зависимости от чего выбирается диаметр электрода для сварки?
4. Как осуществляется процесс зажигания дуги?
5. Назовите особенности ручной дуговой сварки в нижнем, горизонтальном, вертикальном, потолочном положениях.
6. Какая информация содержится в условном обозначении сварного шва?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов (УМО) / В.Б. Арзамасов, А.Н. Волчков, В.А. Головин [и др.]; под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепихина. 2-е изд., М., 2009. 448 с.
2. Технология и оборудование сварки плавлением; под ред. А.И. Акулова. М.: Машиностроение, 2003. 501 с.
3. Технология металлов и сварка: учебник для вузов / П.И. Полухин, Б.Г. Гринберг, В.Т. Жадан [и др.]; под ред. П.И. Полухина. М., ЭКОЛИТ, 2011. 464 с.
4. Чернышов Г.Г., Шашин Д.М. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2013. <https://e.lanbook.com/book/12938>
5. Алешин Н.П., Лысак В.И., Лукьянов В.Ф. Современные способы сварки [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Москва: 2011. <https://e.lanbook.com/book/106437>
6. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.