

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

А.П. Слива, П.Ю. Петров, И.Е. Жмурко

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Практикум

по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Технология конструкционных материалов»
для студентов Института энергомашиностроения и механики
и Института тепловой и атомной энергетики,
обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата:

13.03.03 – Энергетическое машиностроение

14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика

15.03.01 – Машиностроение

Москва
Издательство МЭИ
2020

УДК 620
ББК 34.5
С 47

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре технологии металлов

Слива, А.П.

С 47 Технология конструкционных материалов: практикум / А.П. Слива, П.Ю. Петров, И.Е. Жмурко. – М.: Издательство МЭИ, 2020. – 72 с.

ISBN 978-5-7046-2353-3

Практикум содержит описание девяти лабораторных работ, в том числе теорию по каждой лабораторной работе, основные характеристики изучаемого оборудования, последовательность выполнения лабораторной работы и контрольные вопросы.

Практикум предназначен для обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата: 13.03.03 – Энергетическое машиностроение, 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, 15.03.01 – Машиностроение.

**УДК 620
ББК 34.5**

ISBN 978-5-7046-2353-3

© Национальный исследовательский
университет «МЭИ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| Лабораторная работа № 1. Ручная дуговая сварка..... | 5 |
| Лабораторная работа № 2. Автоматическая сварка под флюсом..... | 13 |
| Лабораторная работа № 3. Аргонодуговая сварка..... | 23 |
| Лабораторная работа № 4. Механизированная (полуавтоматическая) сварка плавящимся электродом в среде защитных газов..... | 30 |
| Лабораторная работа № 5. Контактная сварка..... | 37 |
| Лабораторная работа № 6. Плазменная резка..... | 43 |
| Лабораторная работа № 7. Снятие внешней характеристики источника питания сварочной дуги переменного тока..... | 51 |
| Лабораторная работа № 8. Снятие внешней характеристики инверторного источника питания для дуговой сварки..... | 58 |
| Лабораторная работа № 9. Определение коэффициентов наплавки и расплавления при ручной и автоматической дуговой сварке..... | 65 |
| Список рекомендуемой литературы..... | 70 |

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по дисциплине «Технология конструкционных материалов» выполняются студентами в соответствии с рабочей программой дисциплины. Выполнение лабораторных работ осуществляется для достижения следующих результатов обучения – студент должен:

знать: основные технологические процессы обработки изделий в энергетическом машиностроении; принципы работы и основные технические характеристики сварочного оборудования;

уметь: производить выбор наиболее приемлемых способов изготовления сварных конструкций в энергетическом машиностроении; подбирать технологические параметры режима сварки и устанавливать их на сварочном оборудовании.

Для понимания сущности изучаемых технологических операций, перед выполнением лабораторной работы студенту необходимо ознакомиться с теорией к соответствующей лабораторной работе. Выполнение лабораторной работы представляет собой осуществление расчётов параметров режимов сварки (если необходимо), проведение лабораторных испытаний с измерением исследуемых параметров, систематизацию полученных результатов, в том числе формулировку выводов по работе. Основные сведения по работе заносятся в бланк лабораторной работы. Бланки работ в электронном виде предоставляет преподаватель (лаборант), который ведет занятия по лабораторным работам.

К защите работы допускается студент, присутствовавший на занятии и имеющий полностью заполненный бланк лабораторной работы. Для успешной защиты рекомендуется повторить теорию, изложенную на лекциях по дисциплине и в рекомендуемых учебниках. Для каждой лабораторной работы существует свой бланк, который должен быть у студента в наличии на занятии по этой лабораторной работе. Защита каждой лабораторной работы является контрольным мероприятием текущего контроля успеваемости по дисциплине, ее результаты заносятся в электронную ведомость балльно-рейтинговой системы дисциплины «Технология конструкционных материалов».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Ручная дуговая сварка

Цель работы – ознакомление с сущностью процесса, оборудованием, средствами защиты и техникой ручной дуговой сварки, овладение методикой определения параметров режима сварки.

Содержание работы

Сущность процесса ручной дуговой сварки

Сварка – процесс создания неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями за счет локального термического воздействия, пластического деформирования или того и другого.

Наиболее распространенными в сварочном производстве являются различные способы сварки плавлением, когда соединение образуется при локальном нагреве (например, сварочной дуги) и формировании некоторого объема расплавленного материала. Для описания этих и многих других способов используются следующие основные термины.

Сварочная ванна – локальный объем жидкого металла, формирующийся при сварке, при охлаждении и кристаллизации которого формируется сварной шов.

Сварной шов – часть сварного соединения, образовавшаяся при кристаллизации жидкого металла сварочной ванны.

Сварочная дуга – устойчивый электрический разряд между электродом и изделием в ионизированной смеси газон, паров металлов и материалов электродных покрытий. Электрические свойства дуги описываются статической вольтамперной характеристикой, представляющей зависимость между напряжением дуги U_d и сварочным током $I_{св}$ (см. лабораторные работы №7 и №8).

Одним из дуговых способов сварки, по-прежнему широко используемой, является **ручная дуговая сварка** (далее – РДС) – сварка плавящимся электродом, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную. Этот способ широко применяется для изготовления сварных соединений практически всех типов из различных металлов толщиной от 2 до 60 мм. Этим способом можно выполнять швы любой конфигурации во всех пространственных положениях. РДС используется во всех областях металлообрабатывающей промышленности и строительства, в том числе и в энергетическом машиностроении.

К электроду и свариваемому изделию от источника питания (ИП) подводится переменный или постоянный ток (рис. 1.1). Сварочная дуга (7) горит между электродом (стержнем) (5) и основным металлом (12).

При этом электрод и основной металл плавятся за счет теплоты сварочной дуги, образуя общую сварочную ванну (13). Капли жидкого металла с торца расплавленного электродного стержня переносятся в жидкую ванну через дуговой промежуток, одновременно плавится покрытие электрода, образуя газовое облако вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности сварочной ванны.

По мере движения дуги металл сварочной ванны затвердевает, образуя сварной шов (11), при этом жидкий шлак по мере остывания образует на лицевой поверхности шва твердую шлаковую корку (10), которая защищает горячий металл шва от окисления газами атмосферы и легко удаляется после остывания шва.

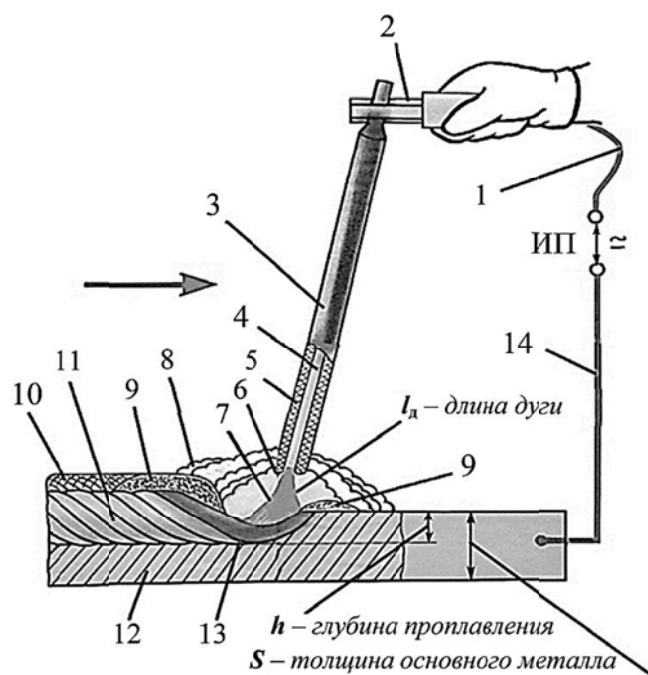


Рис. 1.1. Схема процесса ручной дуговой сварки:

- 1 – провод к держателю; 2 – держатель электрода; 3 – электрод;
- 4 – металлический стержень электрода; 5 – покрытие электрода;
- 6 – жидкие капли расплавленного электрода; 7 – электрическая сварочная дуга;
- 8 – защитный газ; 9 – жидкий шлак (шлаковая ванна); 10 – шлаковая корка;
- 11 – металл шва; 12 – основной металл; 13 – сварочная ванна;
- 14 – провод к изделию

В качестве источника питания (ИП) для ручной дуговой сварки могут быть использованы сварочные трансформаторы (сварка на переменном токе), сварочные генераторы и выпрямители (сварка на постоянном токе), в том числе инверторные источники (см. лабораторные работы №7 и №8). В лабораторной работе используют источник Master MLS 2500, который является сварочным инвертором для сварки штучными электродами различных классов и назначений.

Плавающие электроды для РДС представляют собой металлические стержни диаметром 1,6–8 мм и длиной 225–450 мм, на которые наносится

покрытие толщиной от 0,5 до 2–3 мм. Для изготовления электродов используется проволока: низкоуглеродистая (Св-08, Св-08А, Св-10ГА и др.), легированная (Св-08Г2СА, Св-10ГНМА и др.) и высоколегированная (Св-12Х13, Св-08Х18Н10Т и др.). В состав качественного покрытия электродов вводят вещества, которые в соответствии с их назначением можно разбить на группы:

- ионизирующие (мел, двуокись титана и др.), содержащие материалы с малым потенциалом ионизации, предназначенные для поддержания устойчивого горения дуги;
- газообразующие (крахмал, декстрин, целлюлоза и др.), предназначенные для защиты расплавленного металла средой газов, образующихся при сгорании органических веществ;
- шлакообразующие (полевой и плавиковый шпат), предназначенные для образования шлаковой корки, защищающей кристаллизованный шов от доступа воздуха;
- легирующие и раскисляющие (ферросплавы Mn, Ti, Si и др.), вводятся для изменения химического состава шва;
- связующие (жидкое стекло) предназначенные для закрепления покрытия на металлическом стержне электрода.

Возбуждение дугового разряда и виды поперечных перемещений электрода

Сущность всех способов возбуждения дугового разряда заключается в создании электропроводной плазмы в промежутке между электродом и изделием.

Способ возбуждения, как правило, зависит от способа сварки: при РДС обычно используют дугу размыкания (рис. 1.2), а при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом – высокочастотный вспомогательный разряд от осциллятора.

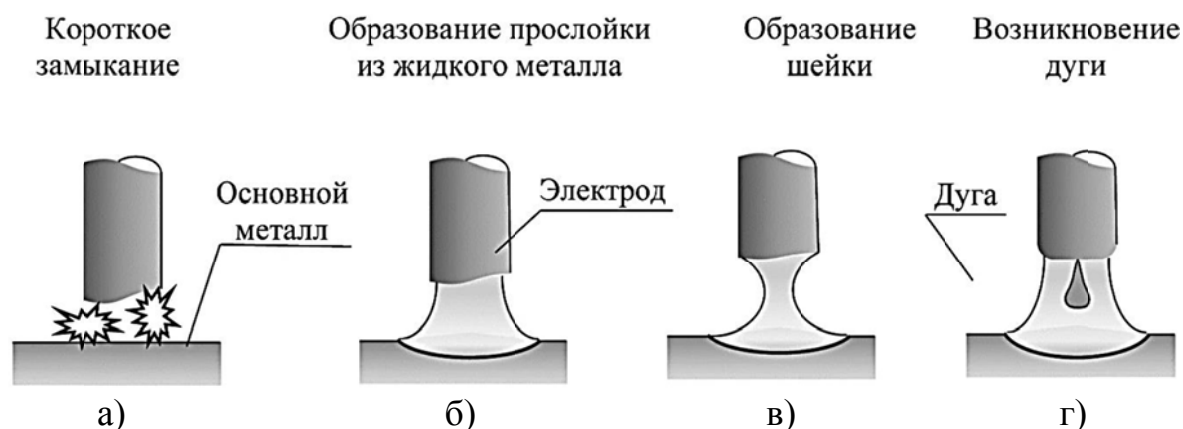


Рис. 1.2. Схема возбуждения дугового разряда методом касания

При касании торцом электрода поверхности сварного материала происходит короткое замыкание электрической цепи (рис. 1.2а), так как торец электрода имеет неровности, то ток течет через отдельные выступы.

Так как сечение, через которое проходит ток, мало, то плотность тока в данном случае велика, следовательно, происходит местное расплавление металла в данных точках. Далее количество расплавленного металла увеличивается и между электродом и свариваемым материалом образуется тонкая прослойка жидкого металла (рис. 1.2б). При этом электрод отводится от поверхности металла вверх и в жидком металле образуется узкая шейка (рис. 1.2в), в которой плотность тока и температура резко возрастают. Жидкий металл шейки испаряется, образуя между электродом и металлом ионизированные пары металла и газов, и происходит разрыв шейки и возникает электрическая дуга (рис. 1.2г).

Возбуждение сварочной дуги осуществляется двумя способами:

- *касанием* – опускают электрод вертикально вниз и отводят в сторону (а);
- *чирканьем*, как спичкой (б).

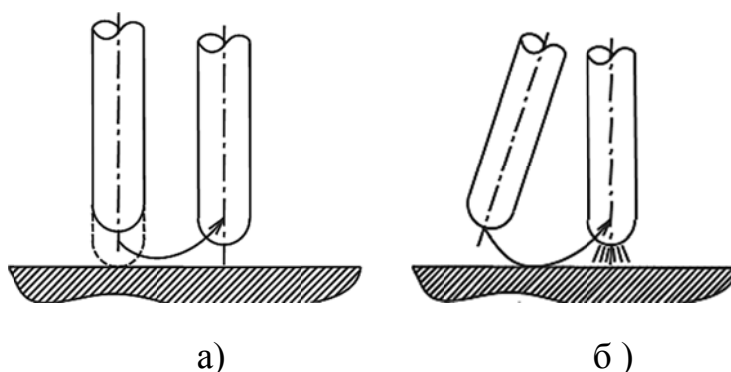


Рис. 1.3. Приемы возбуждения дуги при сварке:

а – касанием впритык, б – чирканием

Для осуществления процесса сварки необходимо перемещать сварочную дугу вдоль направления сварки, поддерживая при этом ее постоянную длину. При оптимальной длине (l_d), дуга горит устойчиво и обеспечивает получение качественного сварного шва. Увеличение l_d снижает стабильность ее горения, поэтому длинная дуга часто гаснет и приводит к чрезмерному разбрызгиванию металла, малая длина – к недостаточной освещенности зоны сварки, что приводит к плохой видимости процесса

В процессе сварки электроду сообщается движение в трех направлениях: поступательное (вдоль оси электрода) обеспечивает постоянство длины дуги (l_d), зависит от скорости плавления электрода, следовательно, от его диаметра и тока сварки;

прямолинейное (вдоль оси шва) со скоростью сварки; зависит от режима сварки, вида шва, и других факторов;

колебательное (поперечное) – перемещение электрода поперек оси шва для прогрева кромок; получают швы шириной до $4d$ (без колебания – до $1,5 d$); исключается при сварке тонких листов и при выполнении первого (корневого) шва в многослойных швах.

Ниточные валики без поперечных колебаний (ширина шва $(0,8+1,5)d_э$) используются для сварки тонкого металла, заварки первого слоя в многослойном шве, подварки дефектов. Перемещение электрода по одной из приведенных на рис. 1.4 траекторий используют для увеличения ширины шва. Перемещение электрода необходимо осуществлять так, чтобы конец электрода постоянно находился над поверхностью сварочной ванны.

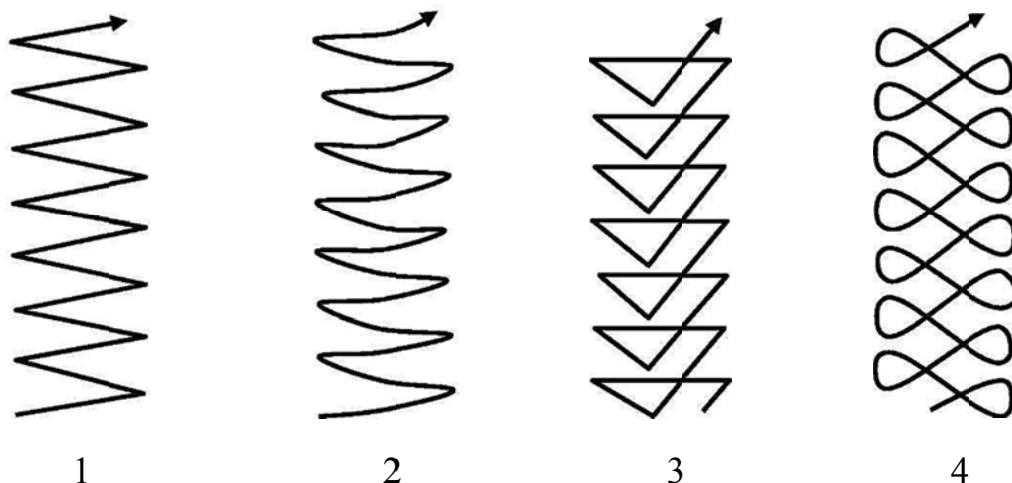


Рис. 1.4. Виды поперечных перемещений конца электрода:

1 и 2 – для равномерного прогрева кромок (используются наиболее часто);
3 – для увеличенного нагрева корня шва; 4 – при увеличенном нагреве кромок

При сварке разнотолщинных соединений, из различных материалов и т.д. могут применяться и иные траектории движения электрода.

Режимы ручной дуговой сварки

Для получения качественного сварного соединения нужно прежде всего определить подходящий режим сварки, в зависимости от размеров и расположения свариваемых деталей и материала, из которого они изготовлены. Условно параметры режима ручной дуговой электросварки можно разделить на основные и дополнительные. К основным параметрам относятся: диаметр электрода, вид (постоянный, переменный) и величина сварочного тока, напряжение дуги. К дополнительным параметрам относят: положение шва на изделии, состав и толщину металла, скорость соединения изделия и покрытие электрода.

Диаметр электрода ($d_э$) выбирают в зависимости от *толщины S* свариваемого изделия при сварке в нижнем положении по данным, представленным в табл. 1. При сварке в *других пространственных положениях* используют электроды $d_э \leq 4$ мм независимо от толщины стыка. При *многослойной сварке* корневой валик выполняют электродам $d_э = 3-4$ мм без поперечных колебаний.

**Рекомендации по выбору диаметра электрода
при сварке стыковых швов**

| Толщина металла, мм | 1–2 | 3 | 4–8 | 9–12 | 13–15 | 16 и более |
|-----------------------|-------|---|-----|------|-------|---------------|
| Диаметр электрода, мм | 1,6–2 | 3 | 3–4 | 4–5 | 5 | 6 |

Величина сварочного тока зависит от многих параметров: состава и толщины свариваемого металла, положения шва в пространстве, диаметра электрода и др. На практике чаще всего использует постоянный ток прямой полярности («+» на электроде). Из обобщения практических данных установлена следующая эмпирическая зависимость для определения величины сварочного тока:

$$I_{св} = k d_э, \quad (1)$$

где k – опытный коэффициент; $k = 40–60$ А/мм для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали, $k = 35–40$ А/мм – из высоколегированной стали; $d_э$ – диаметр электрода, мм.

Длина дуги существенно влияет на качество шва. Из опытных данных длина дуги (мм):

$$l_d = 0,5 (d_э + 2). \quad (2)$$

Напряжение горения дуги при величине сварочного тока более 100 А практически зависит лишь от длины дуги.

Величина напряжения определяется так:

$$U_d = \alpha + \beta l_d, \quad (3)$$

где α – коэффициент, характеризующий падение напряжения на электродах; $\alpha = 10–12$ В для стальных электродов; β – коэффициент, характеризующий падение напряжения на 1 мм длины столба дуги; $\beta = 2,0–2,5$ В/мм в зависимости от марки свариваемого металла, состава газа в дуговом промежутке и других факторов.

Параметры режима сварки оказывают существенное влияние на геометрические параметры сварного шва (см. лабораторную работу № 9).

Размеры шва (рис. 1.5, табл. 2) и его конфигурация определяются типом шва и режимом сварки. Форма и размеры шва оказывают существенное влияние на прочность и работоспособность сварного соединения и в значительной степени определяют его стойкость против образования различного рода дефектов.

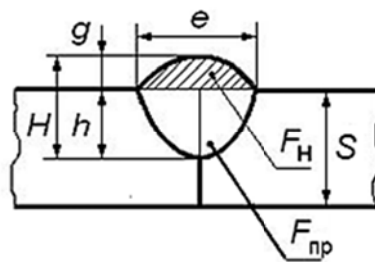


Рис. 1.5. Основные размеры шва:

h – глубина проплавления, e – ширина шва; g – высота валика,
 $F_{\text{н}}$ – площадь наплавленной части шва, $F_{\text{пр}}$ – площадь проплавления

Таблица 2

**Влияние основных параметров режима сварки
на размеры и форму шва
(увеличение одного параметра режима сварки при постоянстве других)**

| Размер шва \ Параметры режима сварки | Сила тока | Напряжение дуги | Скорость сварки | Диаметр электрода |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Глубина проплавления | Интенсивно увеличивается | Незначительно увеличивается | Уменьшается | Уменьшается |
| Ширина шва | Незначительно увеличивается | Увеличивается | Уменьшается | Увеличивается |
| Высота усиления | Интенсивно увеличивается | Уменьшается | Незначительно увеличивается | Уменьшается |

Оборудование и материалы

1. Оборудование поста для РДС: источник питания, подводящие провода, стол с электроизолированным рожком для электрододержателя, электрододержатель, вентиляция, защитное ограждение
2. Индивидуальные защитные средства (спецодежда, щиток, перчатки).
3. Металлическая пластина для возбуждения дуги и наплавки сварочных валиков.
4. Электроды с качественным покрытием.
5. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы.
2. Для указанных преподавателем характеристик сварного соединения определить параметры режима сварки.
3. Надеть индивидуальные средства защиты.
4. Зажать зачищенный конец электрода выбранного диаметра в электрододержателе.

5. Дать команду окружающим «закрыться» и закрыть свое лицо щитком.
6. Одним из приведенных приемов (см. рис. 1.3) возбудить дуговой разряд.
7. После отработки приемов возбуждения и поддержания дугового разряда, перемещая электрод, наплавить валики на пластину.
8. Записать в бланк отчета показания приборов (U_{xx} , U_d , $I_{св}$) и время, затраченное на наплавку валика.
9. После окончания сварки измерить длину l_v и ширину e и высоту валика g , длину огарка электрода, определить скорость сварки, занести все данные в бланк отчета.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Схему процесса РДС.
2. Данные по диаметру и длине электрода до начала наплавления, по длине огарка после завершения сварки.
3. Параметры режима сварки (U_{xx} , U_d , $I_{св}$).
4. Время наплавки валика, его размеры (l_v , b g) и скорость сварки $V_{св}$.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое сварка? Назовите определение ручной дуговой сварки.
2. Что такое сварочная дуга?
3. От чего зависит и на что влияет длина сварочной дуги?
4. Что собой представляет плавящийся электрод для ручной дуговой сварки? Какие группы компонентов входят в состав электродного покрытия?
5. На что влияют поперечные перемещения конца электрода?
6. Что относится к основным параметрам режима ручной дуговой сварки? Как они определяются?
7. Как влияют параметры режима сварки на геометрические параметры сварного шва.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Автоматическая сварка под флюсом

Цель работы – изучение процесса автоматической сварки под флюсом и определение влияния параметров режимов сварки на формирование сварных соединений.

Содержание работы

Схема процесса и его сущность

В начале 1940-х годов учеными Института электросварки АН УССР под руководством Е.О. Патона разработан новый способ механизированной сварки – автоматическая сварка под флюсом. Благодаря увеличению мощности сварочной дуги, надежной защите плавильного пространства от воздуха удалось в несколько раз повысить производительность процесса, обеспечить высокое качество сварного шва, улучшить условия труда и значительно снизить расходы электродных материалов и электроэнергии. Схема автоматической сварки под флюсом приведена на рис. 2.1.

Дуговая сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса. При сварке под флюсом дуга 1 горит между свариваемыми деталями 2 и плавящимся электродом 15 (электродной проволокой). Из бункера 4 перед дугой насыпают слой флюса 3. Под ним образуется сварочная ванна 14 и формируется шов 13. Под действием теплоты дуги часть флюса расплавляется, слой жидкого шлака 9 оттесняется давлением разогретых газов и паров металла и в виде газофлюсового пузыря закрывает зону сварки, образуя плавильное пространство 10. Электродная проволока 15 из бобины 6 подающим механизмом 7 через снабженный токоподводом мундштук 8 непрерывно подается в плавильное пространство 10. Все устройства смонтированы на тележке 5, называемой сварочным трактором перемещающейся по направляющим вдоль свариваемого стыка. При сварке кольцевых или круговых стыков тележка может быть неподвижной, а вращается изделие.

После кристаллизации шва 13 на его поверхности образуется шлаковая корка 12, которая легко удаляется. Не расплавившийся флюс может во время сварки удаляться флюсоотсосом 11 и использоваться повторно. Слой флюса и шлака защищает зону сварки и остывающий шов от воздействия с газами атмосферы. Неметаллические включения переходят в шлак, металл становится более чистым. Шлак плотно облегает

плавильное пространство, в нем повышается давление, дуга обжимается, возрастают ее эффективный КПД и проплавляющая способность. Отсутствует разбрызгивание электродного металла. Потери электродного металла не превышают 2–4%.

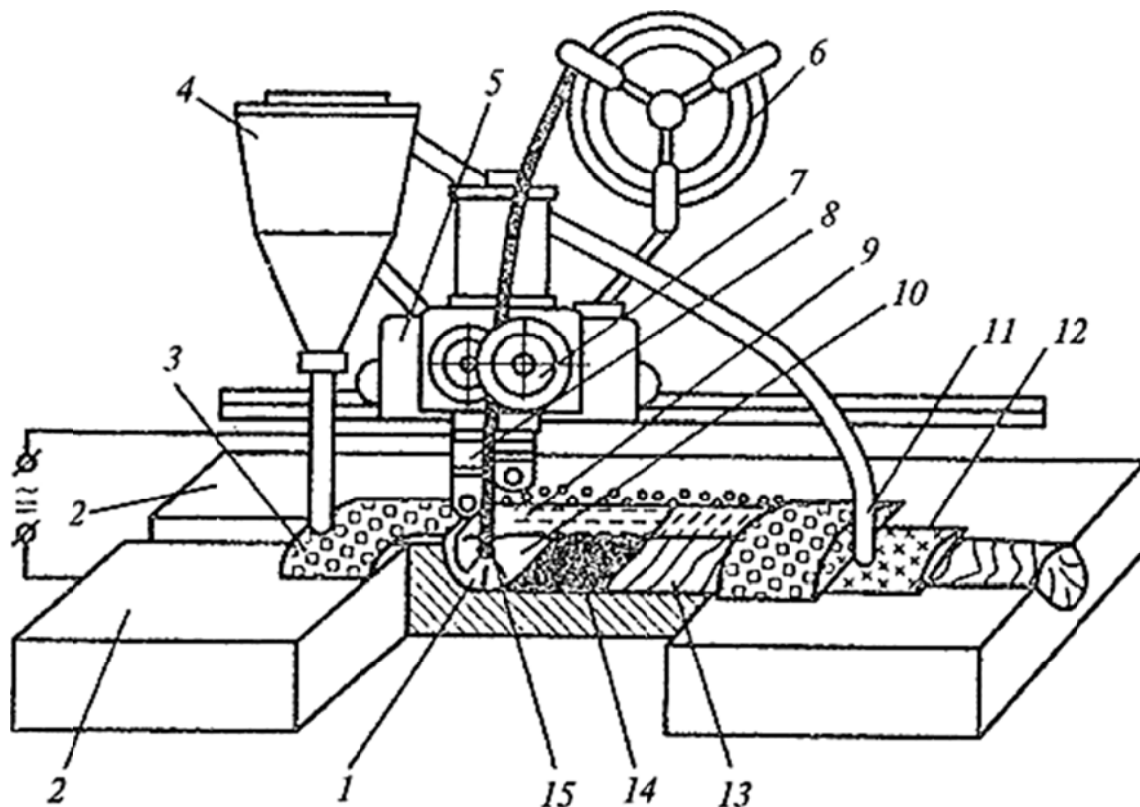


Рис. 2.1. Схема автоматической сварки под флюсом:

1 – дуга; 2 – свариваемые детали; 3 – слой флюса; 4 – бункер с флюсом;
 5 – сварочный трактор; 6 – кассета с проволокой; 7 – подающий механизм;
 8 – мундштук; 9 – слой жидкого шлака; 10 – плавильное пространство; 11 – флюсоотсос;
 12 – шлаковая корка; 13 – сварочный шов; 14 – сварочная ванна; 15 – электродная проволока

Процесс более экологически чистый, чем РДС: выделяется лишь немного газа, пыли и паров флюса. Производительность возрастает в 5–10 раз за счет использования силы тока (до 1500–2000 А), больших значений, чем при ручной дуговой сварке (350–400 А). Это позволяет увеличить проплавляющее действие дуги и сваривать металл толщиной до 15–16 мм с одной стороны без разделки кромок, вследствие чего доля основного металла в шве возрастает до 70%, а наличие газофлюсового пузыря сводит до 1–3% расход металла на угар, разбрызгивание и испарение. За счёт автоматического управления процессом сварки сварной шов имеет постоянные размеры в поперечном и продольном сечениях, его состав и свойства по всей длине постоянные.

В качестве источников питания для автоматической сварки под флюсом используют сварочные источники переменного тока с плогопадающей внешней характеристикой, генераторы и выпрямители постоянного тока с плогопадающей или жесткой внешней характеристикой. При сварке на постоянном токе процесс преимущественно ведется на обратной полярности (минус на изделии). Возможна сварка на прямой полярности (плюс на изделии).

Преимущества автоматической сварки под флюсом

1. Производительность существенно (в 5–10 раз) выше, чем при ручной сварке, что достигается:

а) увеличением плотности тока на электроде, возможным вследствие подвода тока к электродной проволоке в непосредственной близости (50–100 мм) от дуги;

б) лучшим использованием теплоты дугового разряда, вследствие хорошей тепловой изоляции зоны сварки флюсом.

2. Качество сварочного шва выше, чем при ручной сварке, вследствие:

а) лучшего поддержания постоянства параметров режима;

б) более совершенной защиты расплавленного металла от воздуха;

в) более продолжительного пребывания металла в жидком состоянии (более полно происходит процесс дегазации).

3. Экономится электродный металл благодаря:

а) уменьшению потерь на угар и разбрызгивание;

б) малой величине потерь на огарки;

в) уменьшение количества наплавленного электродного металла из-за увеличения доли основного металла в шве.

4. Экономится электроэнергия благодаря лучшему использованию теплоты дуги.

5. Улучшаются условия труда, устраняется необходимость защиты оператора от излучения дуги.

Назначения и технические характеристики автомата

При выполнении лабораторной работы используется автомат для дуговой сварки под флюсом АДС-1000-4УЗ (рис. 2.2).

Автомат АДС-1000-4УЗ предназначен для автоматической дуговой сварки под флюсом стыковых, угловых и нахлестанных швов, расположенных на горизонтальных и наклонных к горизонту под углом от 0 до 15 градусов поверхностях. Швы могут быть прямолинейными или кольцевыми.

Установка для автоматической сварки под флюсом состоит из автомата типа АДС-1000-4УЗ, блока управления в одном корпусе с источником питания, источника питания типа ТФД-1001-1УЗ и сварочного стола. В автомате АДС-1000-4УЗ применяется система автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД), управляющая скоростью подачи электродной проволоки.

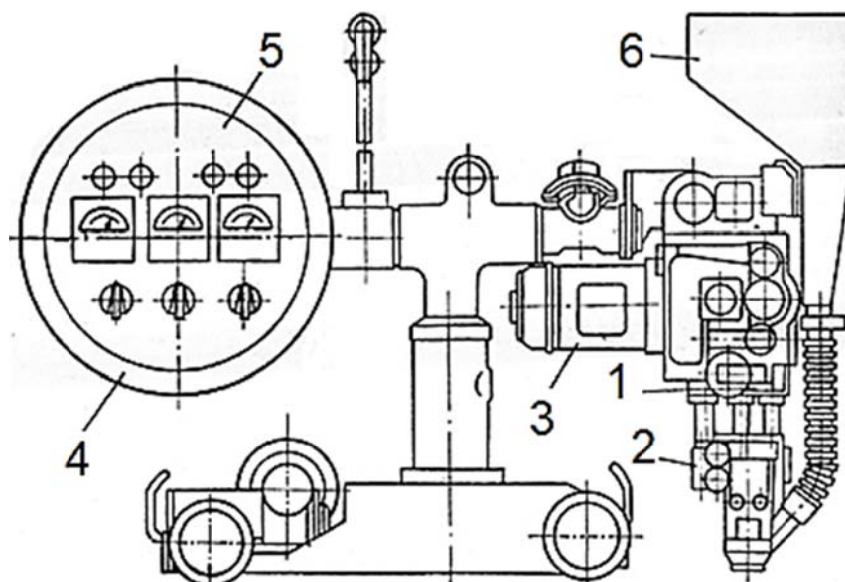


Рис. 2.2. Общая схема сварочного трактора АДС-1000-4:

1 – сварочная головка; 2 – токоподвод; 3 – электродвигатель для подачи проволоки;
4 – кассета с проволокой; 5 – пульт управления, 6 – бункер для флюса

Основные характеристики автомата для дуговой сварки:

- пределы регулирования сварочного тока – от 400 до 1200 А;
- диаметр используемой электродной проволоки обычно от 3,0 до 5,0 мм;
- скорость подачи электродной проволоки изменяется плавно – от 60 до 360 м/ч;
- скорость сварки изменяется плавно – от 12 до 150 м/ч.

Система управления процессом сварки

Установка параметров режима сварки и управление автоматом осуществляются с пульта управления (рис. 2.3) и панелей блока управления трансформатора (рис. 2.4), на которые вынесены отдельные элементы электрической схемы автомата. На пульте управления находятся кнопки подачи электродной проволоки на холостом ходу к изделию (1) и от изделия (2); переключатель направления движения (3) и режима (автоматического или ручного) работы (4); кнопки «Сварка включена» (5) и «Сварка выключена» (6); регуляторы напряжения дуги (7), тока (8), скорости сварки (9) и приборы их контроля.

На левую панель блока управления вынесены амперметр (10), сигнальная лампочка (11), ручка местного регулирования сварочного тока (12), переключатель – места регулирования сварочного тока (13), кнопки «ПУСК» и «СТОП» (14) и кнопки общего включения «ВКЛ» и выключения «ВЫК» (15).

На правую панель блока управления вынесены переключатели диапазона работы автомата (16) для изменения напряжения дуги в диапазонах 30–40 В или 40–50 В (17) для изменения величины тока сварки в диапазонах 400–700 А или 700–1200 А, разъем (18) и предохранители (19).

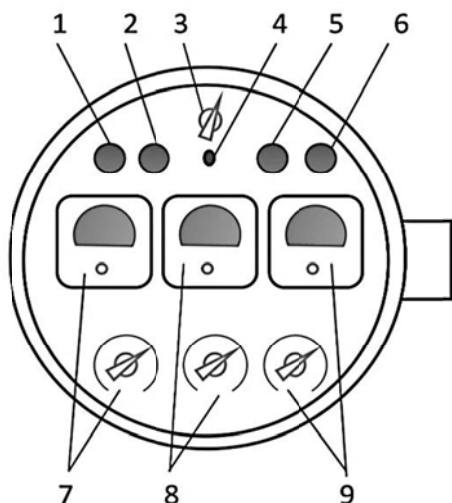


Рис. 2.3. Схема пульта управления автомата АДС-1000-4УЗ

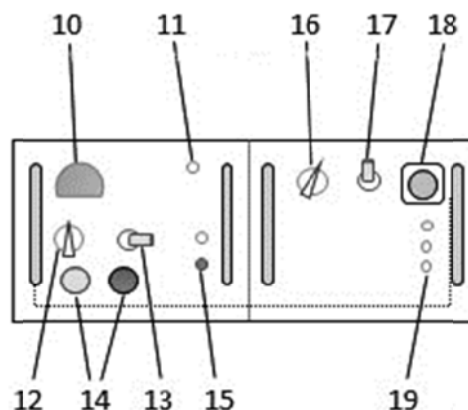


Рис. 2.4. Схема передних панелей блока управления на трансформаторе

Принцип работы системы автоматического регулирования напряжения дуги (далее – АРНД)

Назначение системы АРНД (рис. 2.5) – принудительное изменение скорости подачи электродной проволоки V_n в зависимости от напряжения дуги U_q . При работе автомата напряжение дуги через выпрямитель и регулируемый потенциометр R_2 подается на обмотку $G_1 - OB_2$ генератора G_1 и в ней создается магнитный поток Φ_2 . Независимый магнитной поток Φ_1 обмотки $G_1 - OB_1$ задается при настройке режима с помощью потенциометра R_1 и не меняется во время работы. Направление потока Φ_1 встречно направлению потока Φ_2 . Общий магнитный поток генератора определяется разницей магнитных потоков $\Phi_2 - \Phi_1$.

При нормальной работе автомата, когда скорость подачи проволоки V_n равна скорости ее плавления $V_s / V_n = 1$, магнитный поток генератора равен $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 > 0$, напряжение на якоре генератора равно напряжению на двигателе $U_{дв} / U_v = 1$ и достаточно для преодоления механических сопротивлений системы перемещения проволоки.

Если произойдет увеличение длины дуги, то напряжение дуги возрастет на величину ΔU_q увеличится магнитный поток Φ_2 и разность магнитных потоков $\Delta\Phi$, что увеличит напряжение на якоре генератора и двигателя $U_{дв}$ и повысит скорость подачи электродной проволоки на V_n . Скорость подачи проволоки станет больше скорости плавления электрода. Торце электрода будет приближаться к изделию, будет уменьшаться длина дуги и величина ΔU_q .

При уменьшении длины дуги напряжение понизится на величину U_q снизится величина Φ_2 и разность $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, что приведет к снижению напряжения на якоре генератора G_1 и двигателя M и уменьшению скорости подачи проволоки. Скорость подачи проволоки станет меньше скорости плавления электрода. Торце электрода будет удаляться от изделия, будет увеличиваться длина дуги и величина напряжения на дуге.

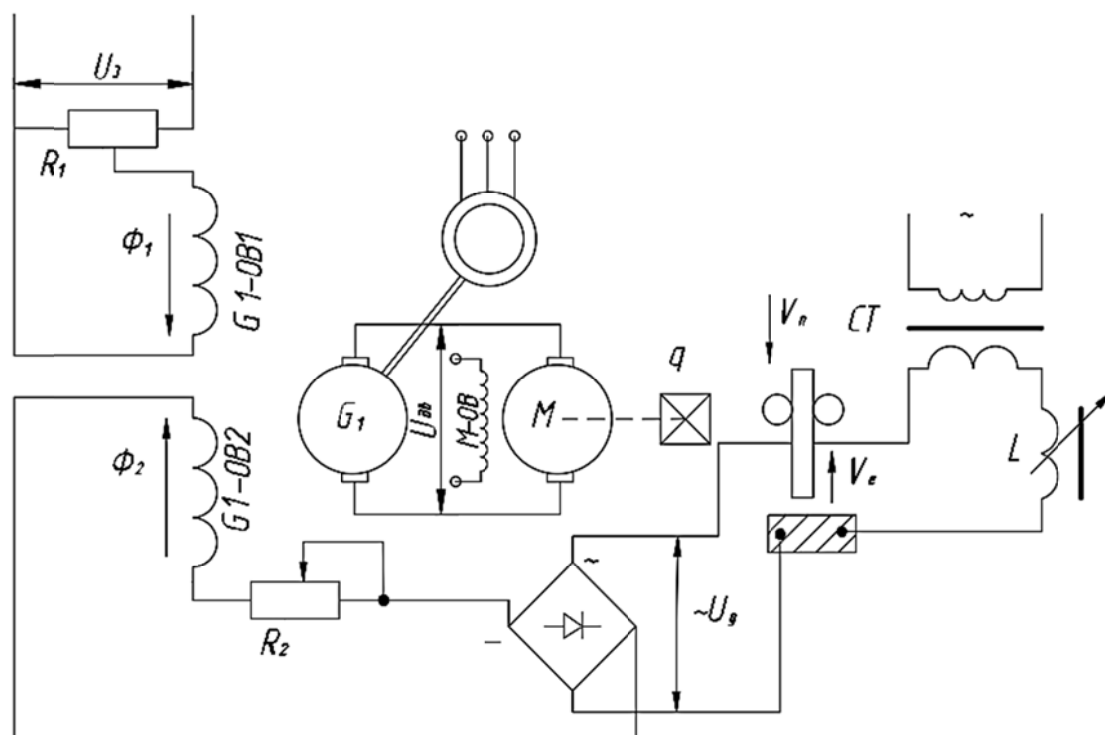


Рис. 2.5. Принципиальная электрическая схема системы АРНД

Сварочные материалы

К сварочным материалам относятся флюс и сварочная проволока.

Флюс — один из важнейших компонентов, определяющих качество металла шва и условия протекания сварки. Выполняет следующие функции: физическую изоляцию сварочной ванны от окружающей среды; поддержание стабильного дугового разряда; химическое взаимодействие с жидким металлом шва и легирование металла шва; снижение потерь электродного металла на угар и разбрызгивание.

От состава флюса зависит состав жидкого шлака и газовой атмосферы; взаимодействие расплавленного флюса с металлом сварочной ванны; химический состав металла шва, его структуру и свойства. Флюсы делятся по способу изготовления на *плавленные* и *неплавленные*.

Плавленные флюсы получают сплавлением его составляющих компонентов. Изготовление флюса включает следующие процессы: размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевой песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.); перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах; грануляция с целью получения флюса определенных размеров зерен. Грануляция производится выпуском расплава флюса в воду, где он остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или сушильных шкафах и просеивают через сито на фракции.

Неплавленные флюсы представляют собой механическую смесь составляющих его материалов. Исходные материалы (кремнезем, марганцевую руду, плавиковый шпат, ферросплавы и др.) дробят, измельчают, дозируют и полученную смесь тщательно усредняют. Затем замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла и, пропустив через гранулятор, получают шарообразные гранулы. Сырые гранулы поступают на сушку и прокалку.

Состав металла шва определяется химическим составом флюса и составом сварочной проволоки, поэтому для сварки выбирают систему «флюс – сварочная проволока». Например, для сварки углеродистых и низколегированных сталей выбирают систему «флюс – сварочная проволока» так, чтобы металл шва содержал 0,2–0,4 Si и Mn, отсюда различают три системы:

1) флюс – высокомарганцевый (35–45% MnO), высококремнистый (40–45% SiO₂), сварочная проволока – низкоуглеродистая (Св-08, Св-08А и др.);

2) флюс – высококремнистый (40–45% SiO₂) с содержанием MnO < 15%, сварочная проволока – низкоуглеродистая легированная Mn (Св-08Г2, Св-08А и др.);

3) флюс – среднемарганцевый (MnO ≈ 30%), кремнистый флюсы, сварочная проволока со средним содержанием марганца (≈1% Mn).

Режимы автоматической сварки под флюсом

Режимы сварки под флюсом имеют основные и дополнительные параметры. К основным относят: ток, его род и полярность, напряжение дуги, диаметр электродной проволоки, скорость сварки. Дополнительные параметры режима – вылет электродной проволоки, состав и строение флюса (плотность, размеры частиц), положение изделия и электродной проволоки при сварке.

Параметры режима сварки зависят от толщины и свойств свариваемого металла и обычно приводятся в технических условиях на сварку конкретного изделия и корректируются при сварке опытных образцов. При отсутствии таких данных режимы подбирают экспериментально. Основным условием для успешного ведения процесса сварки является поддержание стабильного горения дуги. Для этого определенной силе сварочного тока должна соответствовать своя скорость подачи электродной проволоки. Скорость подачи должна повышаться с увеличением вылета электрода. При его постоянном вылете увеличение скорости подачи уменьшает напряжение дуги. При использовании легированных проволок, имеющих повышенное электросопротивление, скорость подачи должна возрасти.

Расчет параметров режимов сварки начинается с определения требований к разделке кромок и геометрическим параметрам сварного шва в соответствии с нормативной документацией. Затем необходимо определиться с требуемой глубиной проплавления ($h_{пр}$). При выполнении одностороннего шва без разделки кромок требуемая глубина проплавления должна быть равна толщине пластины (S).

Допускаемая плотность тока зависит от диаметра электрода. Значения допустимой плотности тока приведены в таблице 3. После выбора значения сварочного тока и диаметра электрода определяют напряжение на дуге в зависимости от принятого диаметра электрода и силы сварочного тока:

$$U_d = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_э}} \cdot I_{св}. \quad (4)$$

Таблица 3

**Значения допустимой плотности токи
и сварочного тока при сварке под флюсом**

| Диаметр электродной проволоки $d_э$, мм | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 |
|---|---------|---------|---------|----------|----------|
| Допустимая плотность тока j , А/мм ² | 65–200 | 45–90 | 35–60 | 30–50 | 25–45 |
| Сварочный ток $I_{св}$, А | 200–600 | 300–700 | 400–800 | 600–1000 | 700–1200 |

Подготовка автомата к работе и порядок работы

Для осуществления процесса сварки необходимо выполнить следующее:

- 1) установить в приспособление свариваемые пластины;
- 2) установить на левой панели блока управления переключатель 12 в положение дистанционной регулировки сварочного тока. Установить на пульте управления автомата параметры режима сварки. Необходимо учитывать, что при использовании трансформатора ТДФ-1001-1УЗ. следует выдерживать соотношение тока и напряжения, определяемое формулой $U_2 = U_{д.}$. Поэтому на правой панели блока управления переключатели 16 и 17 следует установить в положения, соответствующие режиму сварки;
- 3) на левой панели блока управления включить кнопку 15 «ВКЛ»;
- 4) в режиме «НАЛАДКА» переключателем 4 на пульте управления с помощью кнопок привести сварочную проволоку в контакт с изделием;
- 5) установить переключатель 4 в положение автоматического режима работы;
- 6) установить переключатель 3 в положение желаемого направления движения автомата;
- 7) включить муфту механизма каретки двигателя перемещения сварочного трактора 7;
- 8) открыть заслонку бункера 6, обеспечив свободный доступ флюса в зону сварки;
- 9) на левой панели блока управления нажать кнопку 14 «ПУСК»;
- 10) нажать на пульте управления кнопку 5 «Сварка включена».

Начинается процесс сварки.

- 11) для прекращения сварки нужно нажать кнопку 6 «Сварка выключена». В цепи управления происходят переключения, которые необходимы для прекращения процесса. Двигатели сварочной головки и каретки останавливаются. Происходит заварка кратера растяжкой дуги, за счет задержки отключения реле К2, определяемой емкостью конденсатора C_1 ;
- 12) на левой панели блока управления нажать кнопку 14 «СТОП»;
- 13) закрыть заслонку бункера 6 подачи флюса;
- 14) выключить муфту механизма перемещения каретки 7 и отвести автомат в исходное положение;
- 15) убрать с пластины флюс;
- 16) на левой панели блока управления нажать кнопку 15 «ВЫКЛ».

Оборудование и материалы

1. Автомат для сварки под флюсом АДС-1000-4УЗ.
2. Источник питания ТДФ-1001-1УЗ.
3. Свариваемая пластина.
4. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы.
2. Изучить устройство автомата АДС-1000-4УЗ.
3. Для указанных преподавателем характеристик сварного соединения определить параметры режима сварки.
4. Подготовить автомат к работе (привести электродную проволоку в контакт со свариваемыми пластинами; засыпать место начала сварки флюсом, открыть заслонку бункера 6 рис. 2.2).
5. Наплавить валик на пластину.
6. Записать в бланк отчета показания приборов (U_{xx} , U_d , $I_{св}$) и время, затраченное на наплавку валика.
7. После окончания сварки измерить длину l_v , ширину b и высоту h валика, длину израсходованной проволоки, определить скорость сварки, занести все данные в бланк отчета.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) краткое описание автомата АДС-1000-4УЗ;
- 2) схему АРНД;
- 3) результаты проведенных экспериментов;
- 4) выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит автомат для сварки под флюсом?
2. Как изменяются размеры шва при изменении параметров режима автоматической сварки?
- 3) Каковы основные преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой?
- 4) Каков принцип работы системы АРНД?
- 5) За счет чего в системе управления работой автомата АДС-1000-4УЗ поддерживается постоянное напряжение дуги?
6. Почему в качестве объекта регулирования для автоматической стабилизации процесса сварки выбрана длина дугового промежутка?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Аргонодуговая сварка

Цель работы – ознакомление с сущностью процесса аргонодуговой сварки на постоянном и переменном токе и изучение влияния режимов аргонодуговой сварки на геометрические размеры наплавляемых валиков.

Содержание работы

Сварка в среде защитных газов

Идея газовой защиты расплавленного металла при дуговой сварке впервые была предложена Н.Н. Бенардосом в 1863 г. При сварке в среде защитных газов удается получить сварные соединения с высокими механическими свойствами из нержавеющей, конструкционных и жаропрочных сталей, алюминиевых, титановых и магниевых сплавов. Поэтому в современном сварочном производстве сварка в среде защитных газов широко используется при изготовлении конструкций ответственного назначения с толщиной стенки от 0,5 мм и больше.

Для получения качественных сварных соединений при дуговой сварке необходима защита расплавленного металла от вредного воздействия газов окружающей атмосферы. Одним из способов защиты может являться струя защитного газа, подаваемого под небольшим давлением в зону сварки.

Дуговая сварка в защитном газе – сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях и остывающий шов, обдуваются защитным газом, непрерывно вытекающим из сопла сварочной горелки. Способы дуговой сварки в защитных газах классифицируются по: *применяемому защитному газу* (аргон, гелий, азот, углекислый газ); *типу электродов* (плавящийся, неплавящийся); *способу подачи на сварочную дугу электроэнергии* (непрерывный, импульсный); *степени механизации* (ручная, полуавтоматическая, автоматическая) и по другим признакам.

Защитный газ (ЗГ) выбирают с учетом особенностей свариваемого металла, а также требований, предъявляемых к сварным швам. По отношению к свариваемому металлу ЗГ могут быть активными или нейтральными. Например, N_2 – активный по отношению к Fe и Cr, но нейтральный к Cu и Co. Практически полностью нейтральными по отношению ко всем металлам являются инертные одноатомные газы.

Инертные газы (Ar, He) применяют для сварки химически активных металлов, а также во всех случаях, когда необходимо получать сварные швы, однородные по составу с основным и присадочным металлом.

Активные газы (CO_2 , N_2 , H_2 и др.) применяют, когда заданные свойства металла можно обеспечить металлургической обработкой: окислением, восстановлением, азотированием и др.

Часто целесообразно применять смесь инертных газов с активными, чтобы повысить устойчивость дуги, увеличить глубину проплавления, уменьшить разбрызгивание, повысить плотность металла шва, воздействовать на перенос металла в дуге, повысить производительность.

При сварке в среде защитных газов применяются плавящиеся и неплавящиеся электроды. Плавящиеся электроды – сварочная проволока состав проволоки должен быть близок к химическому составу основного металла, или содержать повышенное количество Si и Mn (при сварке в CO_2). Неплавящиеся электроды – вольфрамовые электроды (диаметром от 0,2 до 10 мм), редко угольные или графитовые (при сварке в CO_2).

Сущность аргонодуговой сварки

Аргонодуговая сварка (далее – АрДС) – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон. АрДС является одной из распространенных способов сварки в среде защитных газов с неплавящимся электродом (рис. 3.1).

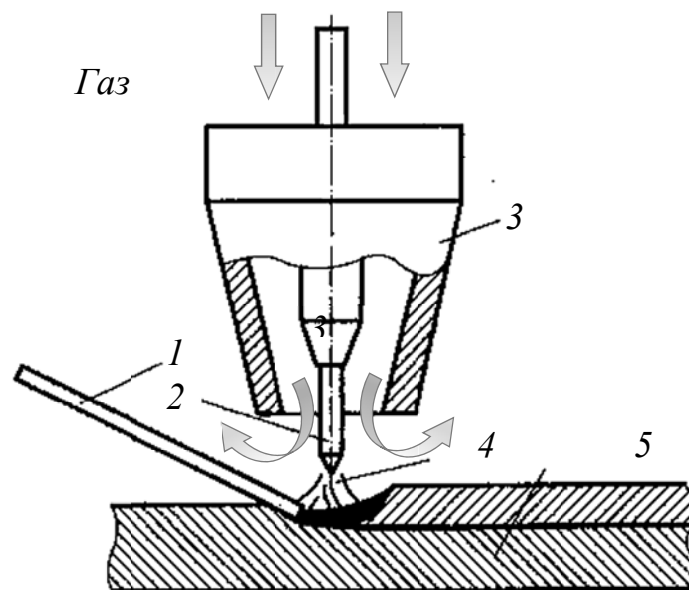


Рис. 3.1. Схема дуговой сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом:

- 1 – присадочный материал; 2 – неплавящийся (вольфрамовый) электрод;
3 – сопло горелки; 4 – дуга; 5 – свариваемая деталь

Вольфрамовые (W) электроды при рабочей температуре характеризуются высокой активностью к O_2 , поэтому в качестве ЗГ применяют Ar, He и N_2 , являющиеся по отношению к W инертными. Для АрДС приме-

няются электроды Ø 0,2–10 мм из чистого W (ЭВЧ), с присадками – выдерживают большую токовую нагрузку и имеют повышенную эрозионную стойкость: диоксида тория (ЭВТ), оксидов лантана (ЭВЛ) и иттрия (ЭВИ). Диаметр вольфрамового электрода выбирается в зависимости от величины сварочного тока. Вольфрамовые электроды используются с заточкой под углом 20–90°.

Дуга возбуждается между W -электродом и изделием и защищается струей $3Г$, выходящей из сопла горелки. W -электрод находится внутри горелки, что обеспечивает его охлаждение струей $3Г$ и повышает стойкость против разрушения. Дуга возбуждается кратковременными разрядами тока высокой частоты (~ 3 МГц) и напряжения (~ 15 кВ) с помощью осциллятора, $3Г$ подается за 1–15 с до сварки. По окончании сварки дугу обрывают, постепенно понижая значения сварочного тока, при этом подачу $3Г$ прекращают через 3–15 с. Сварка выполняется при определенном ориентировании электрода и присадочной проволоки относительно стыка.

Большинство металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности, сварку активных металлов и некоторых высоколегированных сталей ведут на переменном токе.

Сварка постоянным током прямой полярности характеризуется лучшими условиями для термоэлектронной эмиссии, повышенной стойкостью вольфрамового электрода. Используются большие значения тока сварки. Дуга легко возбуждается и устойчиво горит при $U_d = 10–30$ В.

Доля тепловой мощности, вводимой в изделие, составляет 40–85%, потери на нагрев W -электрода 4–6%, а лучевые потери от столба дуги 7–30%.

При сварке постоянным током обратной полярности требуются повышенные значения U_d (так как хуже условия для эмиссии электронов, происходит интенсивный разогрев вольфрамового электрода и его оплавление, что делает этот процесс малоприменимым для практического применения. Потери на нагрев неплавящегося электрода-анода составляют >50% общей мощности дуги, т.е. энергетически сварка током обратной полярности невыгодна. Перегрев анода связан с характером теплового баланса. Однако сварочная дуга при этом обладает особыми технологическими свойствами: с поверхности свариваемого изделия удаляются окислы и загрязнения, так как поверхность металла бомбардируется положительными ионами аргона, и разрушают оксидную пленку, а выходящие отрицательные электроны с поверхности изделия способствуют удалению частичек оксидной пленки. Это процесс называется «катодным распылением». Из-за низкой стойкости W -электрода сварку (Al, Mg, Be) чаще ведут на переменном токе.

Сварка переменным током является наиболее распространенным процессом при изготовлении конструкций из алюминиевых и магниевых сплавов. Разрушение оксидной пленки происходит в полупериод обратной полярности, когда основной металл является катодом.

Основные преимуществами аргонодуговой сварки:

1) минимальное взаимодействие металла сварочной ванны с кислородом, азотом и водородом, содержащимися в атмосфере, что позволяет получать сварные соединения высокого качества;

2) возможность выполнения сварки алюминия и его сплавов без флюсов и электродных покрытий, что исключает необходимость последующей очистки шва от остатков флюса и шлака;

3) высокая концентрация источника тепла и широкий диапазон его регулирования позволяют сваривать металлы и сплавы толщиной от десятых долей до нескольких десятков миллиметров;

4) сварка открытой дугой значительно облегчает наблюдение за процессом и управление им;

5) широкие возможности механизации и автоматизации сварочного процесса.

Указанные достоинства АрДС вполне можно распространить и для сварки в защитных газах в целом.

Оборудование аргонодуговой сварки на постоянном токе

Оборудование для АрДС включает: источник питания дуги – сварочный выпрямитель, баллон с аргоном, газовый редуктор, расходомер (ратаметр), газо-электро-подводящий шланг, специальная сварочная горелка, вольфрамовые электроды (рис. 3.2).

При выполнении лабораторной работы используются: источник MasterTig MLS 2300ACDC; охладитель MasterCool 20.

Принципиальная схема горелки изображена на рис. 3.3. Вольфрамовый электрод 1 фиксируется цанговым зажимом 3, через который обеспечивается токоподвод к электроду. Чтобы не было утечки газа, электрод сверху закрывается колпачком 5. В зону сварки газ направляется керамическим соплом 2.

Для аргонодуговой сварки постоянным током прямой полярности применяются вольфрамовые электроды, покрытые тонкой пленкой окислов лантана, иттрия и тория. Это увеличивает стойкость электродов при сварке на больших токах. Вольфрамовые электроды маркируются следующими буквами: ЭВЛ – электрод вольфрамовый лантанированный; ЭВИ – электрод вольфрамовый иттрированный; ЭВТ – электрод вольфрамовый торированный.

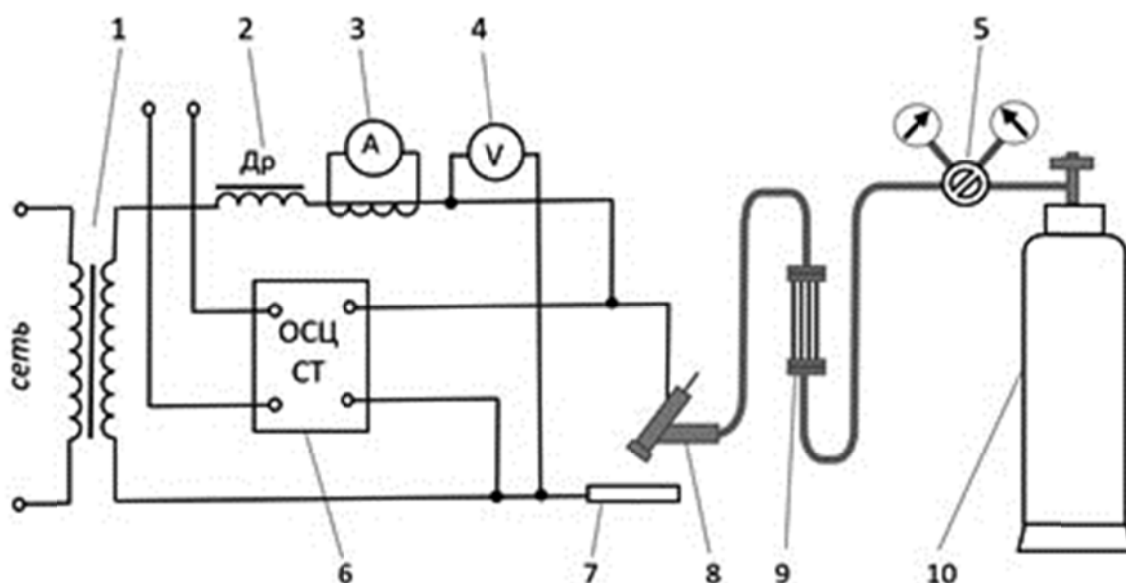


Рис. 3.2. Схема соединения оборудования поста

для сварки неплавящимся электродом на переменном токе:

- 1 – сварочный трансформатор; 2 – дроссель (Др); 3 – амперметр с трансформатором тока;
 4 – вольтметр; 5 – редуктор газовый; 6 – осциллятор (ОСЦ) и стабилизатор дуги (СТ);
 7 – свариваемая / наплавляемая деталь; 8 – сварочная горелка;
 9 – расходомер (ротаметр); 10 – баллон с аргоном (гелием)

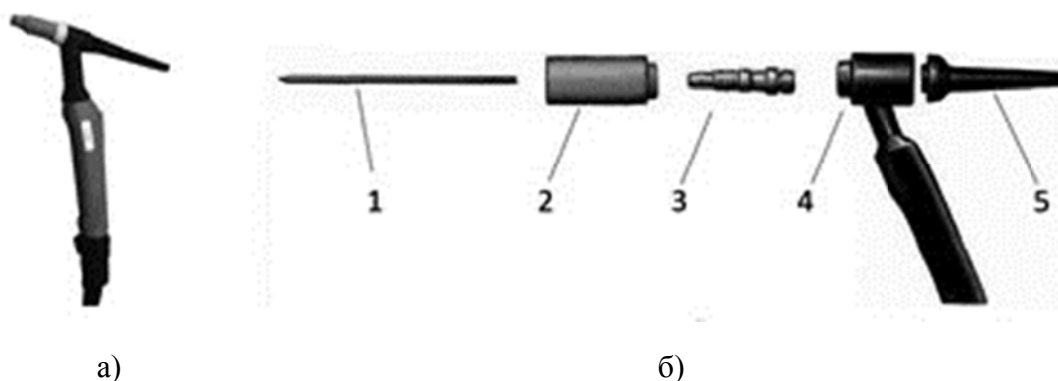


Рис. 3.3. Аргоновая горелка:

а) общий вид горелки; б) составляющие детали:

- 1 – вольфрамовый электрод; 2 – сопло; 3 – цанговый зажим; 3 – электрод;
 4 – корпус; 5 – тыльный колпачок

Довольно сильное влияние на качество сварки оказывает заточка электрода. Заточка вольфрамовых электродов производится твердыми дисками с мелким зерном для избегания образования бороздок. Круг, на котором затачиваются вольфрамовые электроды, не должен применяться для других металлов.

Электроды затачиваются на конус длиной 2–3 диаметра электрода. Угол заточки 15–90°. При меньших углах снижается ресурс работы электрода, а при углах свыше 90° возможно неустойчивое горение дуги из-за блуждания катодного пятна на торцевой поверхности электрода.

Изменение угла заточки приводит к изменению формы и размеров столба дуги. При углах заточки 15–75° столб имеет коническую форму, при больших углах форма столба дуги приближается к цилиндрической, а пятно нагрева сокращается.

Чтобы избежать попадания вольфрама в шов, острый конец конуса притупляется. Диаметр притупления электрода и угол заточки влияют на проплавляющую способность дуги.

Сварка нержавеющей стали

Аргонодуговую сварку целесообразно применять для сварки нержавеющей стали толщиной менее 2 мм. Другие способы дуговой сварки тонкой нержавеющей стали такого качества обеспечить не могут.

Перед сваркой поверхность кромок зачищается до блеска стальной щеткой, промывается для удаления загрязнений (жир, масляные пятна и др.), следы которых вызывают пористость шва и снижают устойчивость горения дуги. Отличительная особенность аргонодуговой сварки – возможность защиты обратной стороны шва, для чего используются специальные поддувки.

Сварку ведут справа налево. Поперечные движения прутком и электродом делать не рекомендуется, так как при этом в зону сварки может попасть воздух и окислить металл шва. Присадочная проволока обычно имеет тот же или близкий химический состав, что и свариваемые детали. Необходимые режимы тока можно подобрать по табл. 4.

Таблица 4

Режимы аргонодуговой сварки

| Вид соединения | Толщина свариваемого металла, мм | Ток, А | Расход аргона, л / мин |
|-----------------------|---|---------------|-------------------------------|
| Встык | 1,0 | 30–60 | 2,5–3,0 |
| | 1,5 | 40–75 | 2,5–3,0 |
| | 4,0 | 85–130 | 3,0–7,0 |
| Угловое | 1,5 | 45 | 2,5–3,0 |

Оборудование и материалы

1. Пост для аргонодуговой сварки.
2. Источник питания.
3. Свариваемые пластины.
4. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы и «Инструкцией по технике безопасности при выполнении электросварочных работ».
2. Изучить особенности дуговой сварки в защитных газах неплавящимся электродом.
3. Надеть индивидуальные средства защиты.
4. Дать команду окружающим «закрыться» и закрыть свое лицо щитком.
5. Наплавить сварочный валик.
6. При выполнении сварки зафиксировать параметры режима сварки (сварочный ток $I_{св}$, напряжение холостого хода $U_{хх}$, напряжение дуги $U_{д}$, диаметр вольфрамового электрода $d_{э}$, диаметр присадочной проволоки $d_{пп}$).
7. Сделать вывод о влиянии параметров режима сварки на геометрические размеры сварного шва.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Описание и схему процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.
2. Схему рабочего поста для аргонодуговой сварки.
3. Параметры режимов сварки ($I_{св}$, $U_{хх}$, $U_{д}$, $d_{э}$, $d_{пп}$).
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность процесса аргонодуговой сварки?
2. Как влияет полярность сварочного тока на стойкость вольфрамового электрода?
3. В чем состоит сущность катодного распыления?
4. Почему сплавы на основе алюминия, как правило, сваривают на переменном токе, а нержавеющие стали на постоянном?
5. Каковы преимущества дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах по сравнению с ручной дуговой сварки покрытыми электродами?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Механизированная (полуавтоматическая) сварка плавящимся электродом в среде защитных газов

Цель работы – ознакомление с оборудованием и техникой полуавтоматической сварки в защитных газах, изучение влияния режимов сварки на геометрические размеры наплавляемых валиков.

Содержание работы

Сущность сварки плавящимся электродом в защитных газах

Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитного газа – это разновидность электрической дуговой сварки, при которой электродная проволока подается автоматически с постоянной скоростью, а сварочная горелка перемещается вдоль шва вручную.

При *сварке плавящимся электродом в защитных газах* (рис. 4.1) дуговой разряд находится между концом непрерывно расплавляемой проволоки (5) и изделием (2). Проволока подается в зону дуги (3) из кассеты с помощью механизма подачи (6) со скоростью, равной средней скорости ее плавления, этим поддерживается постоянство длины дугового промежутка. Сварочный ток подводится к электродной проволоке с помощью скользящего контакта (7), защитный газ подается в зону сварки через сварочное сопло (1). Расплавленный металл электродной проволоки переходит в сварочную ванну и участвует в формировании металла шва (4).

Преимущества способа сварки плавящимся электродом в защитных газах:

- высокая плотность мощности, обеспечивающая относительно узкую зону термического влияния;
- возможность металлургического воздействия на металл шва за счет регулирования состава проволоки и защитного газа;
- широкие возможности механизации и автоматизации процесса сварки;
- высокая производительность сварочного процесса.

Различают сварку плавящимся электродом в защитных газах короткой дугой и длинной дугой.

Сварка короткой дугой является естественным импульсным процессом и осуществляется с постоянной скоростью подачи электрода. Особенностью этого процесса являются частые периодические замыкания дугового

промежутка (до 150–300 замыканий в секунду), что определяется такими факторами, как напряжение между электродами, скоростью подачи и диаметром электродной проволоки, индуктивностью сварочной цепи, свойствами защитной среды. При сварке короткой дугой имеет место в основном мелкокапельный перенос электродного металла с частотой, равной частоте коротких замыканий. Сварка короткой дугой осуществляется при низких значениях тока, обеспечивает высокую стабильность процесса и малые потери металла на разбрызгивание во всех пространственных положениях.

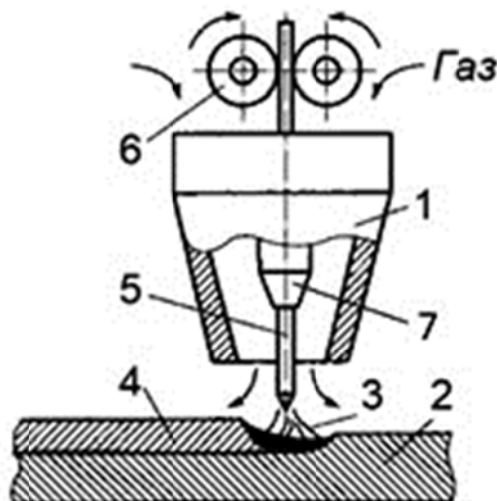


Рис. 4.1. Схема дуговой сварки в среде защитных газов плавящимися электродами:

- 1 — сопло горелки; 2 — свариваемая деталь; 3 — дуга; 4 — сварной шов;
5 — плавящийся электрод; 6 — подающий механизм; 7 — скользящий контакт

Сварка длинной дугой — это процесс с редкими случайными замыканиями дугового промежутка (3–10 замыканий в секунду). В зависимости от режима сварки, защитного газа и применяемых сварочных материалов наблюдаются разные формы переноса металла: крупнокапельный, мелкокапельный, струйный и струйно-вращательный (см. лабораторную работу №9, рис. 9.1).

При *сварке плавящимся электродом в защитных газах* значительная часть тепловой энергии переносится в свариваемый металл электродным металлом, сварку обычно выполняют на токе обратной полярности. При прямой полярности скорость расплавления металла в 1,4–1,6 раза выше, чем при обратной, однако дуга горит менее стабильно, с интенсивным разбрызгиванием.

Вылет электрода благодаря высокой плотности тока оказывает существенное влияние как на энергетический баланс, так и на стабильность процесса сварки.

Описание лабораторного оборудования

При выполнении лабораторной работы используются: механизм подачи проволоки FastMig MXF, источник питания FastMigT Pulse 350, а также блок водяного охлаждения FastCool.

FastMig™ Pulse 350 – это сварочный источник питания стабилизированного постоянного тока (CC) / стабилизированного постоянного напряжения (CV), предназначенные для профессиональной сварки в сложных условиях (рис. 4.2).

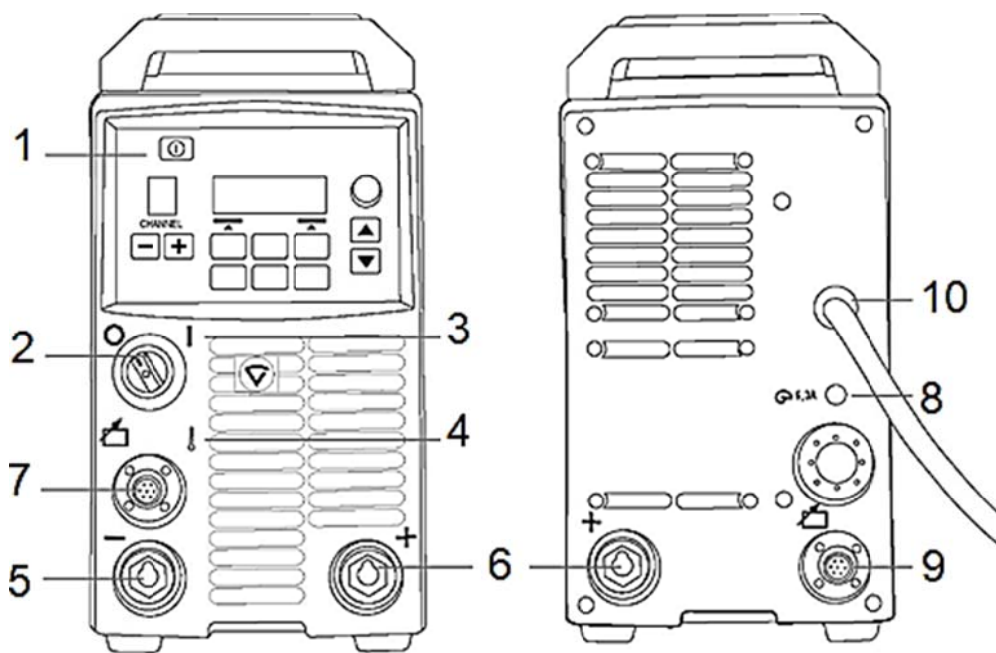


Рис. 4.2. Внешний вид источника питания FastMig Pulse

Входящая в комплект поставки панель настройки «Arc Wizard P65» (1) предназначена для выбора, регулирования и управления сварочной системой до начала и во время эксплуатации системы. На передней стенке также расположены: главный выключатель (2), сигнальная лампа I/O (3), индикаторная лампа термозащиты (4), разъем сварочного кабеля «-» отрицательный полюс (5), разъем сварочного кабеля «+» положительный полюс (6) и разъем кабеля управления (7). На задней стенке: предохранитель на 6,3 А (8), разъем кабеля управления (9) и силовой кабель (10).

Панель управления (рис. 4.3) представляет собой набор тумблеров и индикаторов с помощью которых можно устанавливать и контролировать основные параметры режима сварки. Включение/выключение панели управления выполняется длительным нажатием (приблизительно 5 с) на кнопку 1.

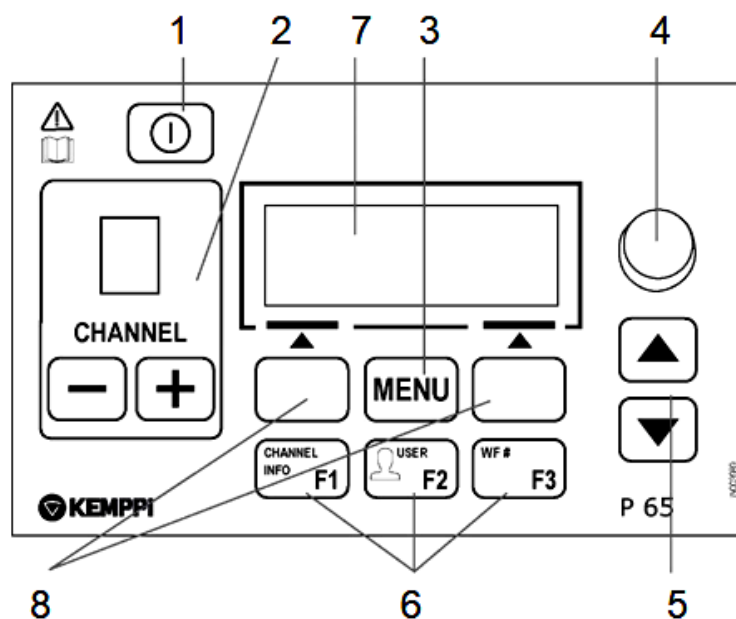


Рис. 4.3. Панель управления

Также кратковременным нажатием этой кнопки можно вернуть отображение сведений о канале. Выбор канала сварки (операции) осуществляется нажатием клавиш «-» и «+» на панели 2. Предлагается 10 каналов памяти, максимальное количество пользователей – 10. Если канал свободен, можно создать новый канал (операцию), нажав кнопку под текстом NEW на ЖК-экране. Кнопка MENU (3) предназначена для входа в список главного меню. Выполняются указания, отображаемые в меню на ЖК-экране. На панели управления также расположены: потенциометр для настройки выбранных значений (4), клавиши со стрелками «вверх-вниз» (5) для вертикального перемещения по структуре меню, предварительно запрограммированные клавиши быстрого выбора команд меню (6), меню жидкокристаллического дисплея (7) и multifunctional кнопки (8), которые выполняют функцию в зависимости от положения меню.

Kemppi FastMig™ MXF 63 – это механизм подачи проволоки, предназначенный для профессиональной сварки в различных условиях. Для модели MXF 63 используются бобины сварочной проволоки диаметром 200 мм. На передней стенке механизма подачи проволоки расположены (рис. 4.4): функциональная панель управления (1), разъем пульта дистанционного управления (2), разъем блока синхронизации вспомогательного механизма подачи проволоки (дополнительный комплект) (3), соединители водяных шлангов горелки (дополнительная система охлаждения) (4), соединитель горелки Euro (5).

К основным параметрам режима сварки относятся: ток ($I_{св}$) и его полярность, напряжение дуги (U_d), диаметр (d_s) и скорость подачи (V_n) электродной проволоки, скорость сварки ($V_{св}$), расход и состав защитного газа.

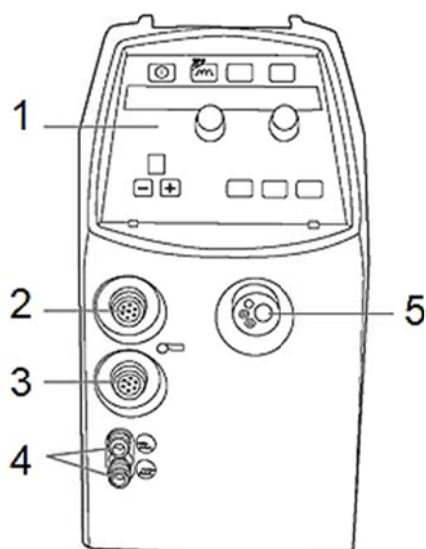


Рис. 4.4. Внешний механизма подачи проволоки

Режимы сварки плавящимся электродом в защитных газах

Сварочный ток определяет размеры шва и производительность, зависит от диаметра $d_э$ и состава проволоки и устанавливается в соответствии со скоростью ее подачи. В зависимости от $d_э$ рекомендуются определенные пределы $I_{св}$, при которых обеспечивается стабильность процесса сварки. Сварку плавящимся электродом обычно выполняют на *токе обратной полярности*.

Напряжение на дуге устанавливается в соответствии с величиной тока, с учетом формирования шва и разбрызгивания металла. Скорость сварки выбирают в зависимости от стабильности и качества формирования шва как правило в пределах 15–80 м/ч.

Допускаемая плотность тока зависит от диаметра электрода. Значения допустимой плотности тока приведены в табл. 5. После выбора значения сварочного тока и диаметра электрода определяют напряжение на дуге в зависимости от принятого диаметра электрода и силы сварочного тока по формуле (4) (см. Лабораторную работу № 2).

Таблица 5

Значения некоторых параметров сварке в среде защитных газов в зависимости от диаметра электрода

| Диаметр электродной проволоки $d_э$, мм | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2,0 |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Допустимая плотность тока j , А/мм ² | 120–300 | 100–230 | 70–260 | 65–220 | 60–175 | 60–160 |
| Сварочный ток $I_{св}$, А | 60–150 | 80–180 | 90–300 | 100–340 | 120–350 | 200–500 |
| Вылет электрода В, мм | 8–12 | 8–14 | 10–15 | 12–18 | 14–20 | 15–25 |

При автоматической и полуавтоматической сварке плавящимся электродом качественные соединения получают на металле толщиной более 1,0 мм. Металлы толщиной 4–12 мм сваривают за два прохода с двух сторон, металлы толщиной 15–20 мм сваривают за два-три прохода при V-образной разделке кромок с углом 60° и притуплением 2–4 мм. При толщине 20–30 мм применяют двухстороннюю разделку кромок с углом 60° и притуплением 2–4 мм. Металлы большей толщины целесообразно сваривать при узкой щелевой разделке кромок за несколько проходов.

При сварке в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях используется проволока $\varnothing 0,8 - 1,2$ мм, при сварке в нижнем положении – проволока $\varnothing 1,2 - 3,0$ мм.

Оборудование и материалы

1. Механизм подачи проволоки MXF.
2. Источник питания FastMig Pulse.
3. Блок водяного охлаждения FastCool.
4. Свариваемые пластины.
5. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип работы оборудования для сварки плавящимся электродом в защитных газах.
2. С помощью учебного мастера выбрать режим сварки.
3. Надеть индивидуальные средства защиты.
4. Дать команду окружающим «закрыться» и закрыть свое лицо щитком.
5. Осуществить сварку несколько раз при различных скоростях сварки. При выполнении сварки зафиксировать параметры режима сварки (сварочный ток $I_{св}$ напряжение холостого хода $U_{хх}$, напряжение дуги $U_{д}$, диаметр электродной проволоки d_3).
6. Осуществить замеры геометрических параметров наплавленных валиков. Сделать выводы о влиянии параметров режима сварки на геометрические параметры сварного шва.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Описание и схему процесса сварки плавящимся электродом.
2. Расчет параметров сварки плавящимся электродом.
3. Параметры режимов сварки ($I_{св}$, U_{xx} , U_d , $d_э$).
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность процесса сварки плавящимся электродом в среде защитных газов? Достоинства и недостатки этого вида сварки.
2. Какое оборудование используется для сварки плавящимся электродом в защитных газах? Какое предназначение блока водяного охлаждения? Какой вид источника питания используется при сварке плавящимся электродом в защитных газах?
3. Как осуществляется управление подачей проволоки и газа при сварки плавящимся электродом в среде защитных газов?
4. Какие основные параметры режима сварки плавящимся электродом в защитных газах? Как выбираются параметры режима сварки плавящимся электродом в защитных газах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Контактная сварка

Цель работы – ознакомление с сущностью процесса точечной контактной сварки, изучение влияния режимов сварки на прочность сварного соединения.

Содержание работы

Самым распространенным видом термомеханического класса сварки является контактная сварка. **Контактная сварка** (далее - КС) – сварка с применением давления, при которой используется тепло, выделяющееся в контакте свариваемых частей при прохождении электрического тока.

Контактная сварка находит широкое распространение в современной промышленности: около 30% всех сварных соединений выполняется КС. Сущность процесса контактной сварки заключается в сжатии заготовок двумя медными электродами с определенным усилием P и прохождении электрического тока через них. Ток нагревает заготовки, причем наибольшее количество тепла выделяется в месте их контакта (согласно закону Джоуля–Ленца), так как сопротивление контакта является наибольшим во вторичной цепи.

Подвидами контактной сварки являются точечная, стыковая и шовная сварка. Одним из видов контактной сварки является электро-контактная наварка.

Точечная сварка

Точечная сварка – способ контактной сварки, при котором детали соединяются по отдельным ограниченным участкам касания обычно несколькими точками с определенным шагом.

Контактная точечная сварка применяется для получения рам крепления электрических двигателей, корпусных конструкций транспортной техники и т.д. Точечная сварка применяется преимущественно при соединении листовых заготовок относительно небольшой толщины. С увеличением толщины свариваемых изделий качество сварного соединения заметно ухудшается.

Свариваемые заготовки 1 (рис. 5.1а) собирают внахлестку, сжимают между двумя медными электродами 2 с усилием P_n и пропускают электрический ток (от сварочного трансформатора 3).

При протекании тока выделяется теплота в заготовках и электродах. В связи с тем, что наибольшим электрическим сопротивлением обладает контакт между заготовками и электроды отводят теплоту с поверхности заготовок, интенсивный нагрев металла происходит только в месте контакта. Здесь металл расплавляется и появляется жидкое ядро (4). После образования жидкого ядра ток выключают и создают усилие осадки $P_{ос}$.

Размеры ядра характеризуются его *диаметром* и *высотой* (глубиной проплавления). Номинальный диаметр ядра выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей.

Рекомендуемая глубина проплавления при сварке деталей одинаковой толщины составляет 30–80%. Расплавленный металл удерживается в *ядре* от выплеска и надежно защищается от взаимодействия с окружающей атмосферой *уплотняющим пояском*, формирующимся в результате интенсивной пластической деформации металла, примыкающего к ядру.

После выключения тока металл ядра быстро охлаждается и кристаллизуется. Усилие после выключения тока сохраняется некоторое время, для того чтобы кристаллизация металла происходила под давлением. Тем самым предотвращается образование дефектов усадочного происхождения – трещин, рыхлости и т.п.

Таким образом, для осуществления точечной контактной сварки необходимо чтобы оборудование обеспечивало сжатие свариваемых деталей и пропускание через них электрического тока в определенной последовательности. Стадии цикла и циклограмма точечной сварки с проковкой показаны на рис. 5.1б.

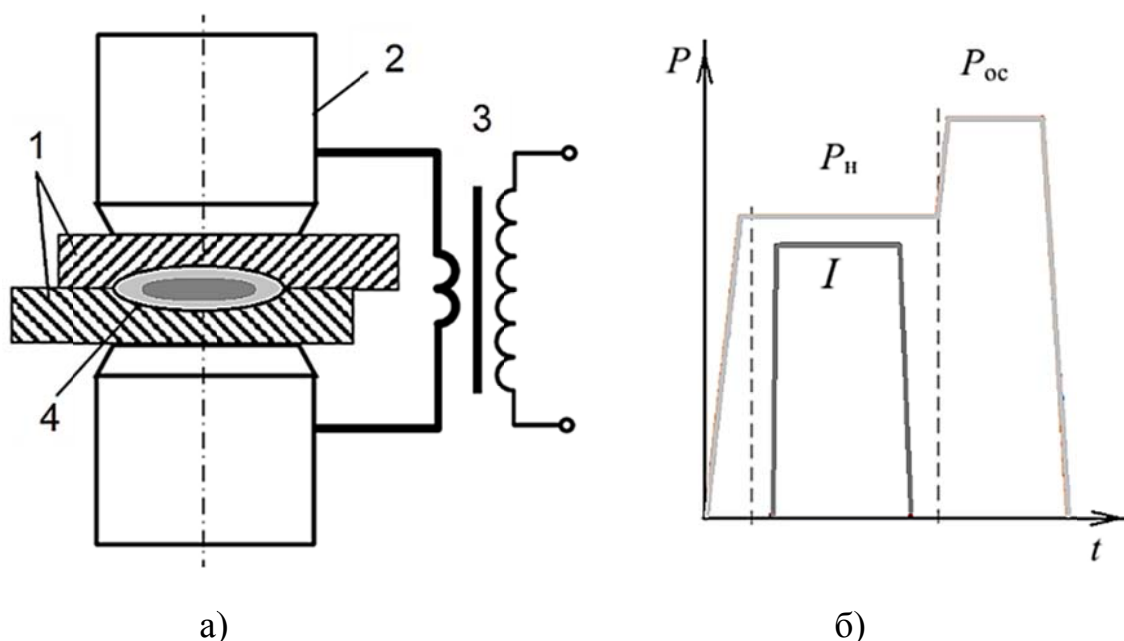


Рис. 5.1. Точечная контактная сварка:
а – схема сварки; б – циклограмма

Перед сваркой контактные поверхности деталей зачищают металлической щеткой, пескоструйной обработкой или травлением и обезжиривают растворителями. Это необходимо для получения высоких прочностных свойств соединения посредством обеспечения стабильного процесса, который зависит от постоянства контактного сопротивления.

Точечная сварка относится к одним из немногих видов сварки, которая может быть легко роботизирована, что является особенно актуальным при массовом производстве.

Машины для точечной контактной сварки

Все машины для контактной сварки состоят из двух основных частей: электрической и механической. Конструкция этих частей и их компоновка в зависимости от вида сварки и назначения машины могут меняться в широких пределах. Принципиальное устройство современной машины для контактной сварки представлено на рис. 5.2.

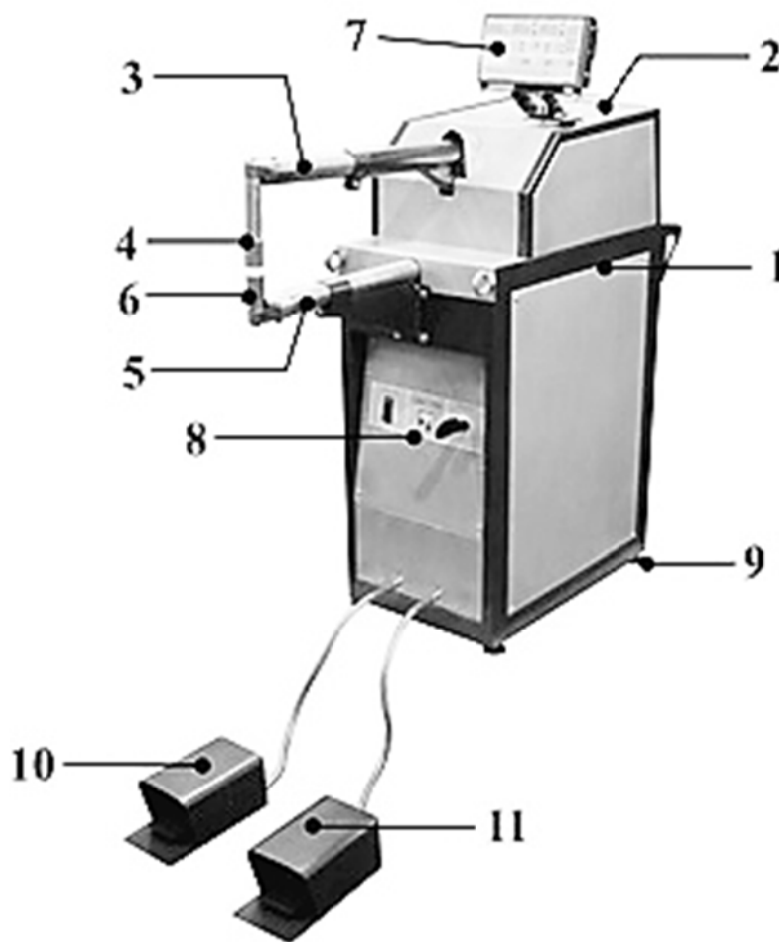


Рис. 5.2. Внешний вид машины для контактной точечной сварки

Машина состоит из корпуса 1, внутри которого находятся системы, обеспечивающие её работу: сварочный трансформатор, привод сжатия электродов, система охлаждения, тиристорный контактор, силовая электрика, часть электроники, автоматические выключатели, переключатель сварочного тока, регуляторы, клеммники и т.д. Задняя верхняя панель 2 откидывается и открывает доступ к регулировкам величин вылета электродов и усилия их сжатия.

На корпусе установлены: верхнее подвижное плечо 3, с электродом 4, нижнее неподвижное плечо 5, с электродом 6, блок управления 7, панель автоматов 8, регулируемые ножки 9. Блок управления установлен на амортизаторах, а также может поворачиваться в любую сторону на 180° и наклоняться. В работе машины используются педали управления: левая 10 – вспомогательная, правая 11 – основная.

В лабораторной работе используется машина контактной точечной сварки МТР-1601, которая предназначена для точечной сварки деталей из низкоуглеродистых и нержавеющей сталей и крестообразных соединений стержней арматуры с гладким и периодическим профилем.

Широкие возможности по сварке изделий различной конфигурации достигаются:

- радиальным ходом верхнего электрода;
- регулируемым вылетом электродов;
- возможностью крепления электродов вертикально или наклонно;
- использованием педального (пружинного) привода давления.

Технические характеристики машины:

- напряжение питания: 380 В;
- наибольшая мощность при коротком замыкании: 75 кВА;
- мощность при продолжительности включения = 50%: 53 кВА;
- наибольший вторичный ток (при наименьшем вылете): 16 кА;
- номинальный длительный ток: 3,6 кА.

Режимы контактной точечной сварки

Режим точечной сварки устанавливается следующими основными параметрами: силой или плотностью тока, временем нагрева, давлением, диаметром рабочей части электрода. Кроме того, часто задается время предварительного сжатия электродов $t_{сж}$, время проковки $t_{пр}$ форма рабочей части электрода и материал для его изготовления. Режимы специальных видов точечной сварки имеют еще некоторые дополнительные параметры.

При выборе параметров режима контактной точечной сварки необходимо учитывать материал и размеры изделия, способ сварки и тип машины.

Диаметр электрода $d_э$, мм, выбирают в зависимости от толщины S и материала свариваемых деталей. Для низколегированных сталей:

$$d_э = (5 \dots 6) \sqrt{S}. \quad (5)$$

Давление электрода на детали должно составлять 60–80 МПа. Усилие, кН, может быть рассчитано по формуле:

$$F = (1,5 \dots 2,0) S. \quad (6)$$

Для получения качественного сварного соединения определяющее значение имеет величина сварного тока $I_{св}$ и время (период) его протекания $t_{св}$. Малое значение одного из этих параметров может привести к непровару, а чрезмерно большое – к выплеску металла. Поэтому при назначении режима сварки расчетный режим всегда проверяют опытным путем и при необходимости корректируют.

При сварке низкоуглеродистых сталей приближенное значение сварочного тока и длительности импульса определяют по следующим выражениям:

$$I_{св} = (8 \dots 10) 1000 S, \quad (7)$$

$$t_{св} = (0,12 \dots 0,16) S, \quad (8)$$

где ток $I_{св}$ измеряется в амперах, а длительность импульса – в секундах.

Величина нахлестки должна составлять не менее 0,5 S . Расстояние, мм, между точками в одном ряду:

$$L = (2-3) d_э. \quad (9)$$

Оборудование и материалы

1. Машина контактной точечной сварки МТР-1601.
2. Свариваемые пластины.
3. Разрывной инструмент.
4. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы и «Инструкцией по технике безопасности при выполнении электросварочных работ».

2. Изучить физические основы осуществления точечной контактной сварки и принципиальную схему работы машины контактной сварки.

3. Рассмотреть продольные сечения сварных соединений, выполненный контактной точечной сваркой пластин различных толщин (1,0 + 1,0 мм; 3,0 + 3,0 мм; 5,0 + 5,0 мм) на одном режиме. Замерить размеры литого ядра, сделать выводы о влиянии толщины свариваемых пластин на параметры сварного шва.

4. Рассчитать параметры сварки для толщин, указанных мастером, осуществить сварку, провести измерения отпечатка электрода, оторвать пластины одну от другой, измерить диаметр и толщину литого ядра, результаты измерений записать в бланк отчета.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание способов контактной сварки (схемы, циклограммы и образцы сварных изделий).
2. Расчет режима сварки для заготовок из листовой стали на машине точечной контактной сварки.
3. Описание размеров литых ядер, полученных при сварке.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Почему теплота при контактной сварке интенсивнее выделяется между заготовками, чем между электродом и заготовкой?
2. Для сварки каких изделий используют точечную сварку?
3. Назовите способы повышения производительности точечной сварки.
4. Что относится к параметрам режима точечной сварки? Как они определяются?
5. Как параметры режима контактной сварки влияют на геометрические размеры сварного шва?
6. Какие факторы могут повлиять на прочность сварного соединения при контактной сварке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Плазменная резка

Цель работы – ознакомление с сущностью процесса плазменной резки, изучение влияния режимов резки на геометрические размеры и качество реза.

Содержание работы

Теория плазменной резки

В плазменной резке основным источником энергии для нагрева материала служит плазма – значительно ионизированный и нагретый газ, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов равны.

Плазма представляет собой смесь электрически нейтральных молекул газа и электрически заряженных частиц, электронов и положительных ионов, иногда еще и тяжелых отрицательных ионов. Наличие электрически заряженных частиц делает плазму чувствительной к воздействию электрических полей. Плазма электропроводна, и при действии электрических полей в ней возникают электрические токи. При высоких степенях ионизации электропроводность плазмы может быть очень высокой. Токи в плазме могут отклоняться под действием магнитных полей. Ускорения, сообщаемые заряженным частицам действием электрических и магнитных полей путем соударений, передаются нейтральным частицам газа, и весь объем плазмы может получать направленное движение, образуя струю (поток) или факел горячего газа. Электрические поля, воздействуя на плазму, передают энергию заряженным частицам, а через них и всей плазме и могут повышать ее температуру примерно до 20000–30000°С.

Технологически струя плазмы близка к газосварочному пламени, отличаясь более высокой температурой. Плазменной струей или факелом можно осуществлять различные виды обработки: сварку, резку, напыление, пайку, термообработку и т.д., причем можно обрабатывать как металл, так и неметаллические материалы: стекло, керамику и пр.

Так как температура плазмы достигает десятков тысяч градусов, это позволяет резать любые металлы и их сплавы, в том числе углеродистую, нержавеющей и высоколегированную стали, чугун, медь, латунь, бронзу, алюминий, титан, а также биметаллы. Вследствие такой высокой температуры скорость резки в несколько раз выше, чем при газокислородной резке, а сам процесс начинается без предварительного разогрева

металла. При этом металл практически не коробится и не деформируется, а грат, образующийся на краях реза, легко удаляется, после чего остается ровная кромка. Кроме этого, потери металла минимальны из-за малой ширины реза.

Плазменная резка может применяться для металла толщиной от долей до десятков миллиметров. Для резки толстых листов из алюминия и его сплавов, нержавеющей сталей и других сталей и сплавов целесообразно применять процесс со сжатой дугой прямого действия, т. е. дугой, горячей между электродом плазменной горелки и разрезаемым листом (рис. 1а). Для резки тонких материалов используют схему с плазменной струей косвенного действия – с плазмой, выделенной из столба дуги (рис. 1б). Для резки применяют аргон, смеси аргона с водородом, а также смеси азота с водородом, водовоздушные смеси либо просто воздух.

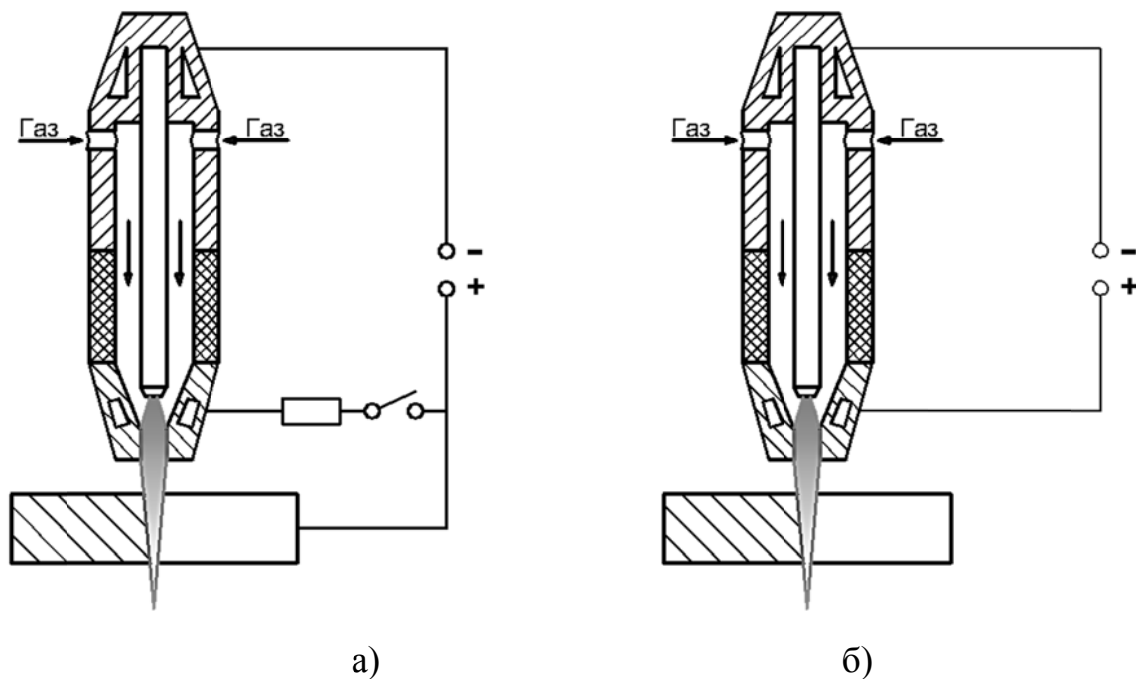


Рис. 6.1. Схема плазменных горелок для резки:
а – с прямой дугой, б – с косвенной плазменной струей

Мощными плазменными горелками, работающими при напряжении дуги до 200 В, можно разрезать листы толщиной до 150 мм и более со скоростью до 1 м/мин, а листы толщиной до 66 мм – при скорости до 5 м/мин и более. Плазменная резка алюминиевых сплавов и других цветных металлов и легированных сталей позволяет получать резы с высоким качеством (по чистоте и точности) и отличается наибольшей экономичностью по сравнению со всеми другими методами резки. Для низкоуглеродистых сталей плазменная резка особенно эффективна при обработке листов толщиной до 30 мм.

Плазмотрон – главное устройство для получения плазмы при нормальном давлении было разработано еще 100 лет назад. Одно из самых распространенных применений этого изобретения – разработанные в 60-е годы прошлого века аппараты воздушно-плазменной резки металлов. Важно отметить, что сразу после появления оборудования для воздушно-плазменной резки металлов, оно получило широкое распространение на предприятиях ВПК, авиапрома, атомной энергетики и в других высокотехнологичных областях народного хозяйства.

С момента появления первых образцов оборудования источники образования плазмы стали меньше, легче, надежнее; плазмотроны тоже уменьшились в размерах, стали намного проще и совершеннее.

Для работы аппаратов воздушно-плазменной резки требуются только электроэнергия и сжатый воздух, а при наличии компрессора только электроэнергия. По сравнению со сложностями, возникающими при использовании оборудования для газокислородной резки, такими как: заправка, переаттестация и доставка громоздких баллонов, взрывопожароопасность, использование присадок при необходимости работать с цветными металлами и сплавами, аппараты воздушно-плазменной резки требуют только замены расходных материалов (электродов и сопел).

Аппарат воздушно-плазменной резки

Аппарат воздушно-плазменной резки предназначен для ручной качественной и высокопроизводительной резки любых металлов и их сплавов (любых токопроводящих материалов). Аппарат можно использовать в производственных процессах, для резки металлолома, ремонтных работ, и т.д.

Скорость резки и максимальная толщина разрезаемого металла зависит от напряжения сети, тока резки, давления и чистоты сжатого воздуха, износа сменных материалов, состояния насадки, диффузора и уплотнительного кольца плазмотрона, температуры окружающей среды, квалификации резчика и марки металла.

При нажатии кнопки плазмотрона включается система управления, силовая часть аппарата и осциллятор. В результате серии высоковольтных разрядов осциллятора в плазмотроне происходит электрический пробой промежутка катод–сопло, возбуждается дежурная дуга, которая воздушным потоком выдувается из отверстия сопла до касания с металлом. Происходит переход из дежурной дуги в основную между катодом и изделием. Начинается процесс резки.

В лабораторной работе используется аппарат плазменной резки АПР-91 отечественного производства, который отличает простота конструкции, пониженное энергопотребление (применение энергосберегающих технологий), небольшой расход воздуха, использование резаков итальянского производства, в которых применяются самые оптимальные по соотношению цена/ качество/стойкость расходные материалы.

АПР-91 предназначен для ручной и автоматической резки чёрных, цветных металлов и их сплавов с высокой производительностью, точностью и качеством реза.

Может использоваться с автоматическим плазмотроном P141 в составе портальной, компактной и консольной машины с ЧПУ, а так же с газорезательными машинами.

Технические характеристики АПР-91:

- напряжение питания: 380 В;
- потребляемая мощность: 14 кВт;
- максимальная толщина разрезаемого металла: 35 мм;
- качественный рез (с минимумом грата и окалины): 25–30 мм;
- ток резки: 60 А;
- продолжительность включения: 75%;
- давление воздуха: 5–6 атм;
- расход воздуха: 180 л/мин;
- плазмотрон: Trafimet, A101.

Аппарат выполнен в виде базового блока, размещенного на четырехколесной тележке.

Электрическая схема аппарата включает силовую и управляющую схемы, блок фильтров и осциллятор. Силовая часть блока включает три силовых многообмоточных трансформатора, неуправляемые силовые вентили, магнитные пускатели.

Система управления обеспечивает заданный алгоритм включения силовой части и осциллятора, а также отключение аппарата в случае перегрева или падения давления воздуха при резке. Осциллятор служит для бесконтактного инициирования дуги при поджиге.

На лицевой панели аппарата (рис. 6.2) размещены: переключатель «вкл.–откл.», со встроенной световой сигнализацией «сеть» 1, переключатель режимов 2, лампа индикационная «перегрев» 3, манометр типовой, со световой сигнализацией 4, разъем для подключения плазмотрона 5, клемма для подключения кабеля «к изделию» 6.

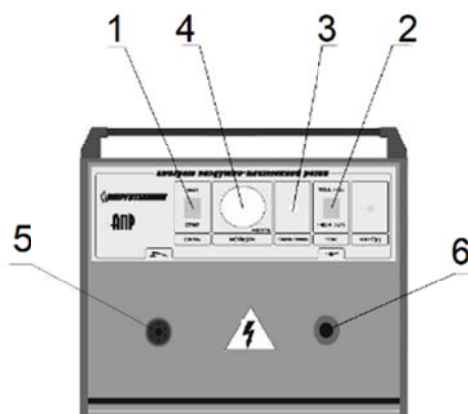


Рис. 6.2. Лицевая панель аппарата плазменной резки АПР-91

Работа с аппаратом плазменной резки осуществляется в следующей последовательности.

1. Поднести плазмотрон к обрабатываемому изделию и установить его головку перпендикулярно к поверхности, оперев на дистанционную пружину (или роликовую каретку).

2. Нажать на кнопку плазмотрона. При этом произойдет зажигание сначала дежурной дуги, а затем основной и начнется процесс резки. Процесс резки будет продолжаться до тех пор, пока кнопка плазмотрона будет нажата.

3. При окончании работ следует выключить аппарат переключателем «1», и не ранее чем спустя 1 мин отключить подачу воздуха (для охлаждения рабочих частей плазмотрона).

4. При длительных перерывах в работе рекомендуется отсоединить сетевой кабель аппарата от сети.

Режимы воздушно-плазменной резки

Для обеспечения нормального процесса необходим рациональный выбор параметров режима. Параметрами режима являются: диаметр сопла, сила тока, напряжение дуги, скорость резки, расстояние между торцом сопла и изделием и расход воздуха. Форма и размеры соплового канала обуславливают свойства и параметры дуги. С уменьшением диаметра и увеличением длины канала возрастают скорость потока плазмы, концентрация энергии в дуге, её напряжение и режущая способность. Срок службы сопла и катода зависят от интенсивности их охлаждения (водой или воздухом), рациональных энергетических, технологических параметров и величины расхода воздуха.

При воздушно-плазменной резке сталей диапазон разрезаемых толщин может быть разделён на два – до 50 мм и выше. В первом диапазоне, когда необходима надёжность процесса при небольших скоростях резки, рекомендуемый ток 200–250 А. Увеличение силы тока до 300 А и выше приводит к возрастанию скорости резки в 1,5–2 раза. Повышение силы тока до 400 А не даёт существенного прироста скоростей резки металла толщиной до 50 мм. При резке металла толщиной более 50 мм следует применять силу тока от 400 А и выше. С увеличением толщины разрезаемого металла скорость резки быстро падает. Максимальные скорости резки и сила тока для различных материалов и толщины, выполненные на 400 амперной установке приведены в таблице ниже.

Таблица 6

Режимы плазменной резки

| Разрезаемый материал | Толщина, мм | Диаметр сопла, мм | Сила тока, А | Скорость резки, м/мин | Ширина реза (средняя), мм |
|----------------------|-------------|-------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| сталь | 1–6 | 1,1 | 25–50 | 1,5–3 | 1,6–2,5 |
| | 7–12 | <1,4 | 50–70 | 1–2 | 1,8–3 |
| | 8–15 | 1,7 | 70–110 | 0,6–1,5 | 2,5–4 |
| | 15–45 | 1,9 | 110–150 | 0,2–0,5 | 3,5–5 |
| алюминий | 5–15 | 1,4 | 60 | 2–1 | 3 |
| | 30–50 | 1,7–1,9 | 100 | 1,2–0,6 | 7 |

Для достижения качественного реза необходимо перемещать плазмотрон равномерно, выдерживая одинаковое расстояние между соплом и обрабатываемым изделием (оптимальная величина зазора около 2 мм). Наилучшие результаты резки получаются, как правило, при скоростях перемещения плазмотрона близких к максимальным (рис. 6.3, рис. 6.4).

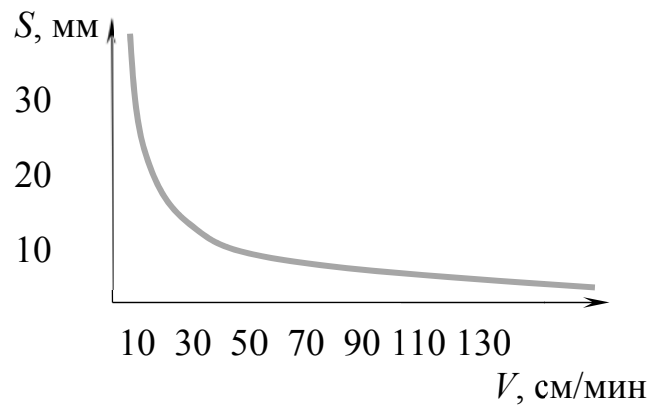


Рис. 6.3. График зависимости скорости реза от толщины металла

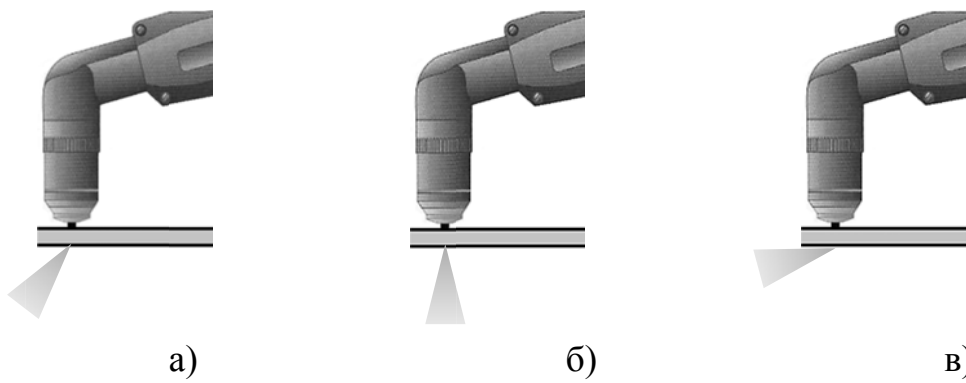


Рис. 6.4. Выбор оптимальной скорости реза:

а) оптимальная скорость реза; б) маленькая скорость реза; в) большая скорость реза

Оборудование и материалы

1. Аппарат воздушно-плазменной резки АПР-91.
2. Пластины для резки.
3. Измерительный инструмент.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы и «Инструкцией по технике безопасности при воздушно-плазменной резке».
2. Изучить особенности воздушно-плазменной резки.
3. Для заданного вида материала и толщины пластины, определить параметры плазменной резки.

4. Провести резку стальной пластины толщиной 10 мм на трех режимах ($I_{св\ 1} = 40\text{ А}$, $I_{св\ 2} = 70\text{ А}$, $I_{св\ 3} = 100\text{ А}$) с помощью Аппарата плазменной резки АПР-91.

5. При выполнении резки зафиксировать параметры режима резки, измерить ширину реза, описать качество полученного реза.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание способа воздушно-плазменной резки.
2. Определение параметров режима резки.
3. Результаты измерений параметров резки. Описание влияния режимов резки на качество реза.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое «плазма»? Как создается и используется плазма для сварки и резки.
2. В чем заключаются конструктивные особенности оборудования и режимов для различных видов плазменной резки металла?
3. Опишите принцип действия плазмотрона.
4. Назовите области применения воздушно-плазменной резки металла.
5. Перечислите достоинства и недостатки воздушно-плазменной резки металла.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Снятие внешней характеристики источника питания сварочной дуги переменного тока

Цель работы – ознакомление с источником питания сварочной дуги переменного тока и снятие его внешней вольтамперной характеристики.

Содержание работы

Требования к источникам питания для дуговой электросварки

Получение качественного сварного соединения при дуговых способах сварки обеспечивается стабильным горением дуги, что во многом зависит от характеристик сварочного оборудования, в том числе – источника питания (ИП).

Источник тока и электрическая сварочная дуга представляют собой *энергетическую систему*, которая в процессе сварки должна обладать достаточной *устойчивостью*. Под устойчивостью системы подразумевается такое состояние, когда ток и напряжение дуги ($I_{св}$ и U_d) не изменяют своей величины в течении достаточно длительного времени. Причем, если в результате каких-либо внешних причин произойдет изменение этих параметров, что в свою очередь будет приводить к отклонению от устойчивого равновесия, то энергетическая система должна возвращаться к устойчивости.

Источник питания может иметь один из видов внешней вольт-амперной характеристики (далее – ВАХ), показанных на рис. 7.1:

- Крутопадающую 1;
- Пологопадающую 2;
- Жесткую 3;
- Возрастающую 4.

Источники питания для сварки выбирают по их внешней характеристике. Источник питания для ручной и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом должен быть с крутопадающей внешней характеристикой, так как в этом случае достигается устойчивое горение дуги при различной ее длине, что очень важно при ручном перемещении электрода. При полуавтоматической сварке плавящимся электродом в защитном газе источник питания должен иметь жесткую или пологопадающую внешнюю характеристику. Источник питания с возрастающей характеристикой применяют в основном для автоматической сварки и наплавки под флюсом.

Устойчивость горения дуги зависит от соответствия формы внешней характеристики источника питания заданной форме статической вольт-амперной характеристики дуги. Чтобы горение дуги было стабильным,

характеристика сварочной дуги должна пересекаться с внешней характеристикой источника питания (рис. 7.2). Положение ВАХ дуги на графике зависит от длины дуги (l_d), её вид при этом остается неизменным.

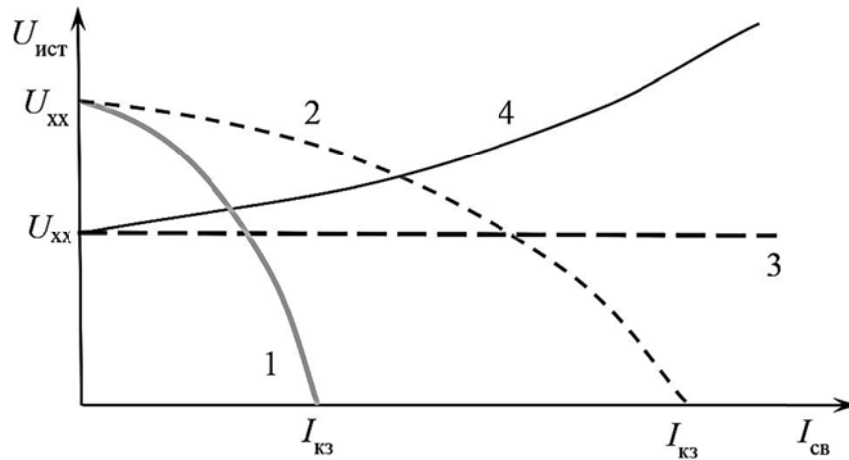


Рис. 7.1. Виды внешних вольтамперных характеристик источников питания дуги:
1 – крутопадающая; 2 – пологопадающая; 3 – жесткая; 4 – возрастающая

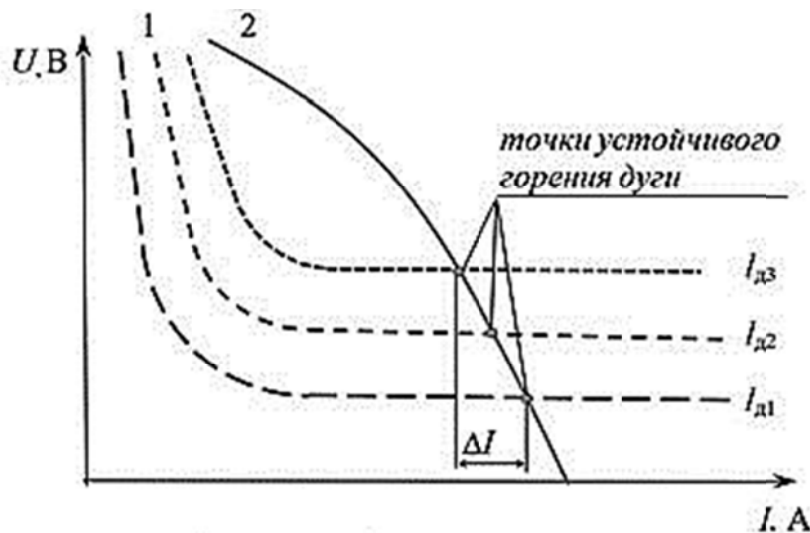


Рис. 7.2. Область устойчивого горения дуги:
1 – ВАХ дуги ($l_{д3} > l_{д2} > l_{д1}$); 2 – ВАХ источника питания;
 ΔI – диапазон изменения величины тока сварки при изменении длины дуги

Длина дуги в процессе сварки не постоянна и может изменяться (условно от $l_{д1}$ до $l_{д3}$). При этом будет изменяться и сварочный ток на величину ΔI .

Исходя из особенностей процесса сварки, существуют следующие требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги:

- напряжение холостого хода ($U_{хх}$) должно быть достаточно для легкого возбуждения дуги и устойчивого ее горения и не превышать 80–90 В;
- обладать достаточной мощностью для выполнения сварочных работ;

- обеспечивать ток короткого замыкания $I_{кз} = (1,2-1,5)I_{св}$, чтобы источник питания выдерживал продолжительные короткие замыкания сварочной цепи без нагрева и повреждения его узлов;
- обеспечивать плавную регулировку силы сварочного тока;
- обладать хорошими динамическими свойствами, т.е. обеспечивать быстрое восстановление U_d после короткого замыкания;
- иметь требуемую внешнюю характеристику.

Источник питания сварочной дуги должен обеспечивать возможность регулировки различных режимов сварки, т.е. установление оптимальной величины силы тока при заданном напряжении дуги. Для этой цели источник питания должен обеспечивать получение в определенном диапазоне регулирования нескольких внешних характеристик, необходимых для устойчивого горения дуги.

Основные параметры источников питания дуги

Источники питания дуги по современным стандартам характеризуются рядом параметров, получаемых при работе на установившихся режимах. К установившимся режимам относят работу источников при холостом ходе, рабочей нагрузке и коротком замыкании.

Холостой ход – режим работы ИП при котором в сварочной цепи отсутствует ток, т.е. сварочная цепь разомкнута, характеризуется напряжением холостого хода U_{xx} (см. рис. 7.1).

Напряжение холостого хода в значительной мере определяет условия зажигания и повторного возбуждения дуги и регулируется на клеммах источника при отсутствии нагрузки в сварочной цепи. В зависимости от назначения источника напряжение холостого хода может изменяться от 30 до 120 В.

Рабочая нагрузка – режим работы ИП под нагрузкой, при котором наблюдается стабильное горение дуги и производится процесс сварки, характеризуется номинальным рабочим напряжением и номинальным током. Каждый источник питания рассчитывают на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше допустимых норм. Силу тока и напряжение источника питания в этом случае называют *номинальными*. Номинальная величина силы тока различна при различных режимах работы.

Номинальное рабочее напряжение отражает напряжение на зажимах источника под нагрузкой. Условно определяется линейной функцией от значения сварочного тока. Для источников питания дуги с номинальным сварочным током до 600 А:

$$U_d = 20 + 0,04 I_{св}. \quad (10)$$

Для более мощных источников питания условное рабочее напряжение принимают равным 44 В и выше.

Номинальный ток (I_n) определяет расчетное значение сварочного тока источника. Номинальные токи источников питания дуги соответствуют параметрическому ряду, установленному для источников электрического тока. Номинальные токи большинства выпускаемых источников питания находятся в пределах 50–1000 А.

Короткое замыкание – режим работы ИП под нагрузкой, при котором наблюдается замыкание сварочного электрода на свариваемое изделие, при этом напряжение дуги равно нулю. Характеризуется током короткого замыкания. Ток короткого замыкания ($I_{к.з.}$) практически возникает при возбуждении дуги методом касания или чирканья, а также может периодически возникать в процессе сварки. Ток короткого замыкания обычно лежит в пределах: $I_{к.з.} = (1,2 \dots 1,5) I_n$, так как более высокие токи могут приводить к выходу из строя ИП.

Продолжительность работы источника при заданной мощности определяет возможность его перегрева. Различают два режима работы: *продолжительность нагрузки* и *повторно-кратковременный*. Они характеризуются чередованием времени работы τ_p со временем паузы $\tau_{п.}$. При *работе в режиме продолжительности нагрузки* во время паузы источник находится под напряжением сети; при *повторно-кратковременном* сеть отключается.

Относительная продолжительность работы (ПР или ПН) определяется как отношение продолжительности рабочего периода источника питания τ_p к длительности полного цикла работы $\tau_{ц}$ и выражается в процентах:

$$ПР = ПН = \frac{\tau_p}{\tau_{ц}} 100\% = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{xx}} 100\%. \quad (11)$$

Величина *ПН* источников для РДС обычно равна 60%, продолжительность цикла источников переменного тока – трансформаторов – 300 с, источников постоянного тока 300 с и 600 с. За время холостого хода происходит охлаждение источника, нагретого за время работы.

Работа в *повторно кратковременном* режиме характеризуется *продолжительностью включения ПВ*

$$ПВ = \frac{\tau_p}{\tau_{ц}} 100\% = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{п.}} 100\%, \quad (12)$$

где $\tau_{п.}$ – время паузы, при котором отсутствуют потери энергии, имеющиеся при холостом ходе τ_{xx} .

Устройство и принцип работы сварочного поста переменного тока

Для питания сварочной дуги используют источники переменного тока – *сварочные трансформаторы (СТ)* и источники постоянного тока – *сварочные выпрямители (СВ)*, *сварочные генераторы (СГ)*.

Сварочные трансформаторы имеют преимущества по сравнению с источниками постоянного тока: проще в эксплуатации, долговечнее, имеют более высокий КПД, сам процесс сварки дешевле. Источники постоянного тока предпочтительнее в технологическом отношении: выше устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях и др.

Сварочные трансформаторы (СТ) – это специальные понижающие трансформаторы, имеющие как правило падающую характеристику; их используют для РДС и АДСФ. Трансформаторы с жесткой внешней вольтамперной характеристикой используют для ЭШС.

Устройство и принцип работы сварочного поста рассмотрим на примере сварочного трансформатора типа СТЭ-24У с отдельным дросселем (рис. 7.3).

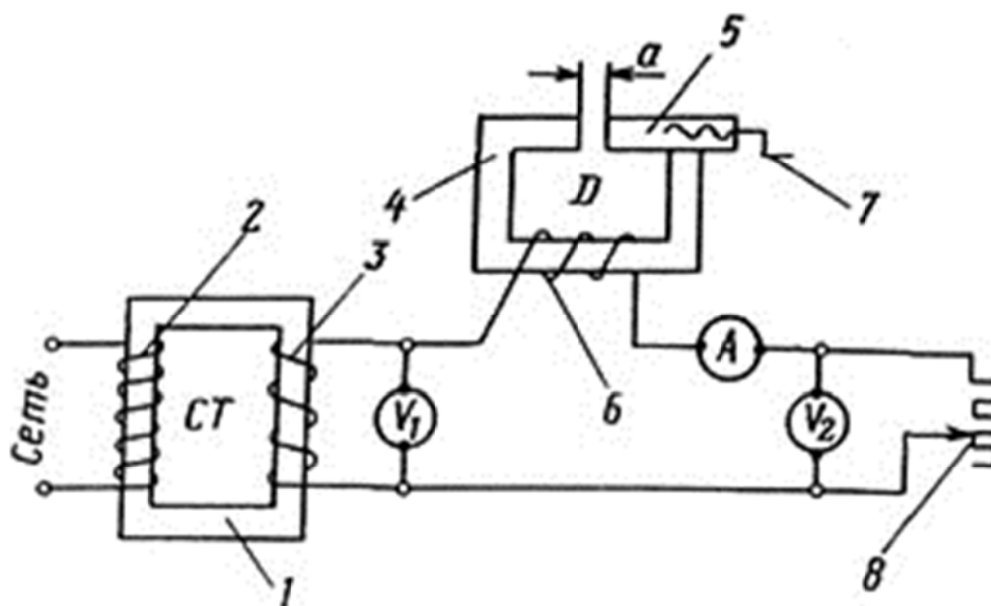


Рис. 7.3. Схема сварочного трансформатора с отдельным дросселем:

СТ – сварочный трансформатор; D – дроссель; 1 – магнитопровод трансформатора;
2 – первичная обмотка трансформатора, 3 – вторичная обмотка трансформатора;
4 – магнитопровод дросселя (неподвижная часть);
5 – магнитопровод дросселя (подвижная часть); 6 – обмотка дросселя;
7 – рукоятка регулятора; 8 – реостат

Сварочный трансформатор представляет собой замкнутый магнитопровод 1 состоящий из отдельных пластин, изготовленных из трансформаторной стали и покрытых лаком, на котором помещены обмотки 2 и 3. Обмотка 2, подключаемая к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В, называется первичной, а обмотка 3, подающая ток в сварочную цепь, – вторичной. Напряжение на вторичной обмотке при отсутствии тока в сварочной цепи называется напряжением холостого хода U_{xx} , и обычно составляет 60–65 В. Катушки первичной и вторичной обмоток размещаются симметрично на обоих стержнях трансформатора (см. макет сварочного трансформатора). Обмотка 3 имеет меньше витков, чем обмотка 2, и изготавливается из материала большего сечения. Это связано с тем, что возникающий в ней ток имеет более низкое напряжение, но большую величину, чем в обмотке 2. Для лучшего охлаждения вторичная обмотка выполняется без изоляции и помещается поверх первичной.

Сам трансформатор имеет жесткую внешнюю характеристику, т.е. с изменением нагрузки напряжение на клеммах вторичной обмотки остается постоянным.

Для получения падающей внешней характеристики в сварочную цепь последовательно включают дроссель. Дроссель состоит из магнитопровода 4, собранного из листовой трансформаторной стали, на котором помещена обмотка 6, включенная в сварочную цепь последовательно с дугой.

Эта обмотка выполняется из толстой медной шины, рассчитанной на максимальные токи короткого замыкания. Магнитопровод имеет подвижную часть 5, которую можно передвигать с помощью винта, вращаемого рукояткой 7. При этом воздушный промежуток a между неподвижной и подвижной частями магнитопровода будет увеличиваться или уменьшаться.

Когда по обмотке 6 проходит переменный ток, то в сердечнике появляется переменный магнитный поток. Этот поток будет тем меньше, чем больше величина воздушного промежутка a , так как он создает значительное сопротивление для прохождения магнитного потока по контуру сердечника дросселя. Магнитный поток, пересекая витки обмотки дросселя, в свою очередь индуцирует в них электродвижущую силу, которая будет действовать против направления движения тока в обмотке, образуя тем самым дополнительное сопротивление прохождению тока в сварочной цепи. Это дополнительное сопротивление принято называть индуктивным, так как оно вызвано явлением самоиндукции. Оно будет тем выше, чем больше циркулирующий в сердечнике магнитный поток, т.е. чем меньше промежуток a .

Следовательно, уменьшая величину воздушного промежутка a путем вращения ручки дросселя против часовой стрелки, увеличиваем индуктивное сопротивление сварочной цепи и тем самым уменьшаем сварочный ток. При увеличении воздушного зазора a вращением ручки дросселя по часовой стрелке магнитный поток уменьшается, что вызывает уменьшение индуктивного сопротивления, вследствие чего сварочный ток в цепи возрастает.

Оборудование и материалы

1. Трансформатор сварочный типа СТЭ-24У.
2. Вольтметр, амперметр.
3. Реостат.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы и «Инструкцией по технике безопасности при выполнении электросварочных работ».
2. Собрать схему (см. рис. 8.3), подключив измерительные приборы (V_2 и A).
3. Замкнув сварочную цепь накоротко, установить ток короткого замыкания $I_{кз1} = 100$ А.
4. Записать шесть - семь показаний приборов схемы при нагружении трансформатора (изменении сопротивления реостата), начиная с режима холостого хода и кончая режимом короткого замыкания.
5. Повторить опыт для токов короткого замыкания $I_{кз2} = 200$ А; $I_{кз3} = 300$ А.
6. По полученным результатам построить семейство внешних характеристик.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Описание трансформатора и дросселя.
2. Схему эксперимента.
3. Таблицу замеров.
4. Графики внешних характеристик.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к источникам питания сварочной дуги?
2. Какие основные характеристики источников питания для сварки?
3. Каково назначение сварочного трансформатора, дросселя?
4. Как регулируется сварочный ток при использовании трансформаторов с отдельным дросселем?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Снятие внешней характеристики инверторного источника питания для дуговой сварки

Цель работы – ознакомление со сварочным инверторным источником питания и снятие его внешней вольтамперной характеристики.

Содержание работы

Особенности инверторных источников питания

Сварочные инверторы сегодня являются одними из основных источников питания, применяемых в сварочном производстве. Основной принцип всех сварочных инверторов – обеспечивать стабильное горение сварочной дуги и ее быстрый поджиг.

Особенностью высокочастотных инверторов являются высокая стабильность и качество сварки различных материалов в широком диапазоне толщин с минимальным разбрызгиванием металла. Такое оборудование в ряде случаев обеспечивает получение высококачественных сварных соединений покрытыми электродами с разными видами покрытий. При импульсной сварке плавящимся электродом в смеси газов появляется возможность получения импульсов тока различной частоты и формы. При достаточной технологической проработке это свойство может улучшить качество сварных соединений. Например, введение функции двойного импульса улучшило очистку металла при сварке алюминия, в результате чего сварной шов формируется того же вида, что и при сварке вольфрамовым электродом.

Инверторным источником питания называется электротехнический аппарат для дуговой сварки, одним из основных узлов которого служит инвертор. *Инвертор* – электронный блок, преобразующий постоянный ток в переменный ток повышенной частоты.

Принцип действия инвертора: переменный ток промышленной частоты 50 Гц ($220^{\pm 15}$ В) поступает на низкочастотный выпрямитель (НВ) (рис. 8.1). Полученный постоянный ток принудительно инвертируется (преобразуется) инвертором (ИН) в переменный, но уже частоты 20–50 кГц, после чего трансформатором (Тр) достигаются величины, необходимые для сварки. Высокочастотный выпрямитель (ВВ) выпрямляет переменный ток.

Внешняя статическая характеристика формируется путем заведения обратных связей (ОС) по току и напряжению через блок управления (БУ).

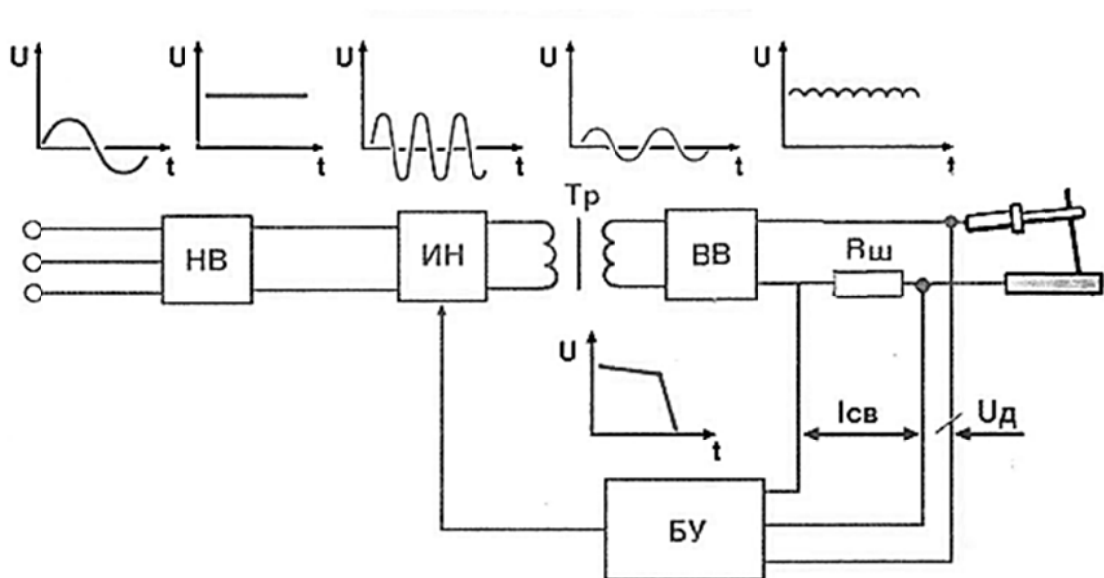


Рис. 8.1. Схема инверторного источника питания

Характеристика делится на несколько характерных участков (рис. 8.2):

- 1 – обеспечивает высокое напряжение холостого хода, что способствует стабильному зажиганию дуги;
- 2 – позволяет вести полуавтоматическую или механизированную сварку;
- 3 – (падающий) реализует процесс сварки покрытым электродом или неплавящимся электродом в аргоне;
- 4 – обеспечивает бросок тока короткого замыкания, что исключает «примерзание» электрода при окончании сварки и заварке кратера.

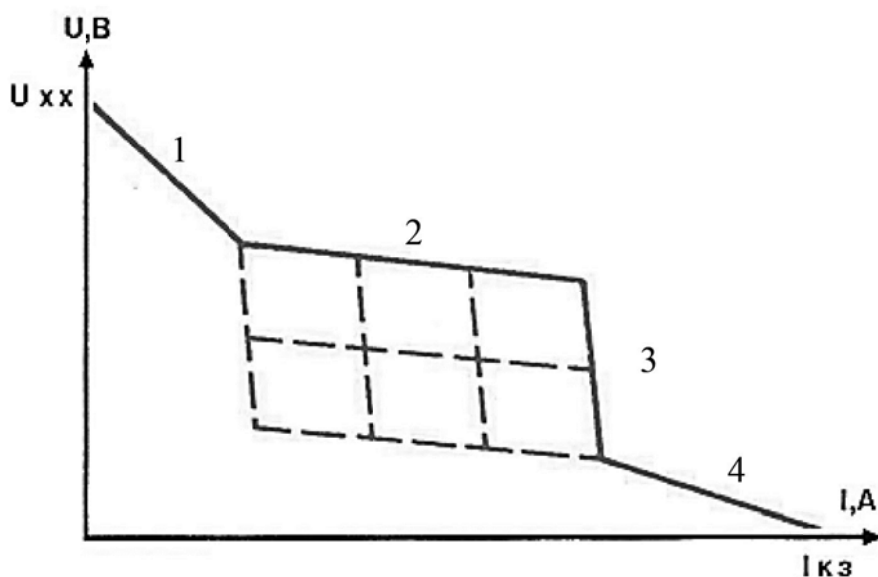


Рис. 8.2. Вольтамперная характеристика инверторного источника питания

Один из возможных вариантов электрической схемы инверторного источника питания представлен на рис. 8.3.

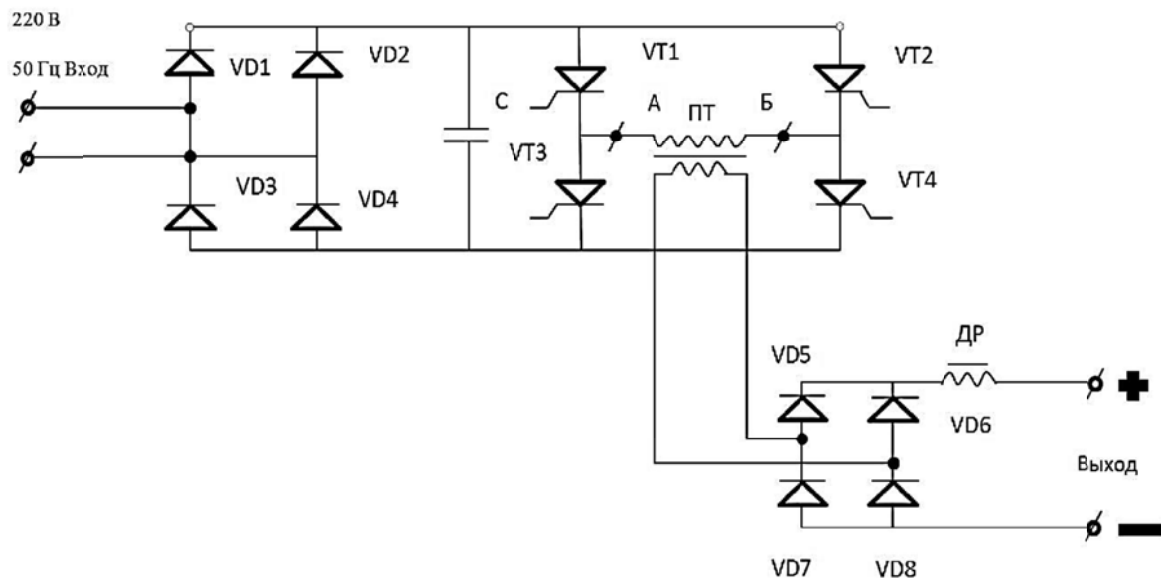


Рис. 8.3. Упрощенная схема силовой части инверторного источника питания

Входное однофазное напряжение (220 или 380 В) выпрямляется мостовым выпрямителем (диоды VD1, VD2, VD3, VD4) и сглаживается фильтром, роль которого выполняет конденсатор С. Это напряжение подается на вход инвертора, основными элементами которого служат тиристоры (VT1, VT2, VT3, VT4). Тиристоры работают (т.е. отпираются и запираются) попарно: (VT1–VT4, VT2–VT3).

Когда открыты тиристоры (VT1–VT4), по первичной обмотке трансформатора (ПТ) проходит ток в направлении от А к Б. При запираии тиристоров (VT1–VT4) и отпираии тиристоров (VT2–VT3) направление тока в первичной обмотке трансформатора (ПТ) меняется на обратное. Этот цикл повторяется частотой, определяемой схемой управления тиристорами (до 25 кГц). Таким образом, инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное повышенной частоты. В трансформаторе (ПТ) это напряжение понижается до 50–60 В и выпрямляется выходным выпрямителем (диоды VD5, VD6, VD7, VD8). Дроссель (ДР) служит фильтром, сглаживая выпрямленное напряжение на входе источника питания.

Необходимая форма внешних вольт-амперных характеристик и настройка на нужный режим сварки обеспечивается схемой управления тиристорами инвертора.

Преимущества инверторных источников питания

Технические преимущества:

- высокий КПД – 85–95%;
- минимальный расход дефицитных электротехнических материалов;
- ПН источников питания в рабочем диапазоне режимов сварки – до 80%;
- возможность параллельной работы источников на единую нагрузку;
- плавная регулировка сварочного режима;
- дистанционное управление источником;
- небольшие габариты и масса;
- высокий уровень электробезопасности.

Технологические преимущества:

- сварка покрытыми электродами любых марок на постоянном и переменном токе;
- универсальность ВАХ;
- стабильность зажигания дуги за счет высокого U_{xx} и осцилляции;
- возможность сварки короткой дугой, уменьшающей энергопотери и улучшающей качество сварного соединения благодаря уменьшению зоны термического влияния;
- качественное формирование шва во всех пространственных положениях;
- минимальное разбрызгивание при сварке.

Устройство и принцип работы инверторного источника питания NEON ВД

При выполнении лабораторной работы используется инверторный источник питания NEON ВД 221.

Выпрямитель предназначен для ручной дуговой сварки металлов штучными электродами любых типов и марок (ММА-сварка). Выпрямитель обеспечивает устойчивую работу при питании, как от сети промышленной частоты, так и от автономной электростанции, мощность которой в 1,5 раза больше мощности выпрямителя (для ВД-221 > 10,8 кВт).

Корпус выпрямителя изготовлен из металла и состоит из крышки (1), лицевой (2) и задней панели (рис. 8.4). Лицевая панель имеет профилированные отверстия для охлаждающего воздуха (4). Для удобства переноса на крышке находится пластиковая ручка (5). В верхней части лицевой панели расположены: регулятор тока сварки (6), позволяющий плавно регулировать значение сварочного тока, трехразрядный цифровой индикатор (7), отображающий значение выходного тока или напряжения,

переключатель (8) V/A, служащий для выбора отображаемой цифровым индикатором величины, переключатель (9) 12/70, позволяющий выбирать напряжение холостого хода выпрямителя 12 или 70 Вольт. В нижней части лицевой панели находятся токовые разъемы с соответствующей маркировкой «+» (10) и «-» (11) для подсоединения сварочных кабелей и розетка для подключения пульта дистанционного управления (розетка ПДУ) (12). Подключение к сети осуществляется сетевым кабелем (3) с вилкой (13).

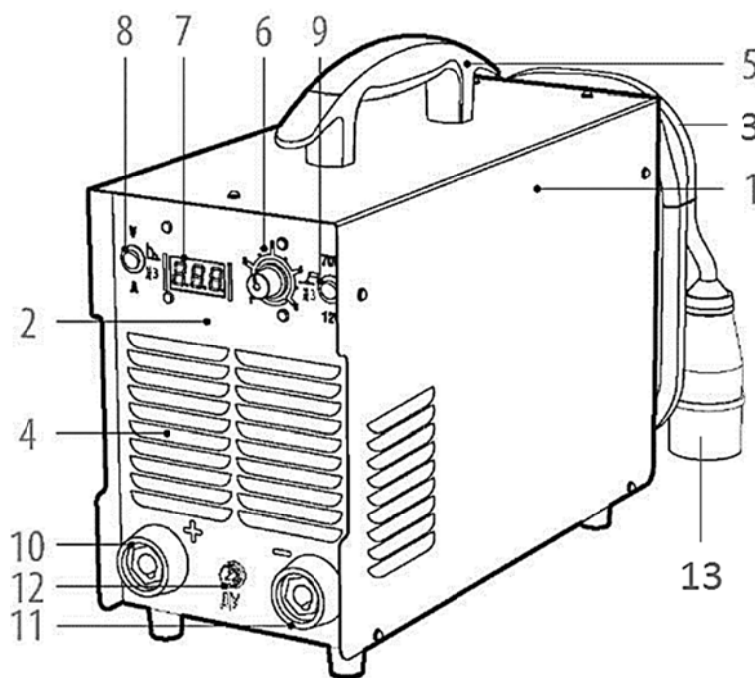


Рис. 8.4. Внешний вид инверторного источника питания NEON ВД 221:

- 1 – корпус выпрямителя; 2 – лицевая панель; 3 – сетевой кабель;
- 4 – воздухозаборная решётка; 5 – ручка для переноски; 6 – регулятор тока сварки;
- 7 – индикатор тока/напряжения;
- 8 – переключатель режима индикации цифрового индикатора;
- 9 – переключатель режима холостого хода; 10 – токовый разъем «+»;
- 11 – токовый разъем «-»; 12 – розетка ПДУ; 13 – сетевая вилка.

Ток сварки устанавливают предварительно с помощью регулятора тока сварки. При этом на цифровом индикаторе отображается величина уставки тока в амперах, а непосредственно при сварке и в течении 3 сек. после окончания, пока мигает точка младшего разряда, цифровой индикатор отображает измеряемую величину тока сварки, переключатель (8) должен быть установлен в положение А. Для отображения цифровым индикатором напряжения, необходимо переключатель (8) перевести в положение V.

Технические характеристики:

- продолжительность нагрузки при макс. сварочном токе: 75%;
- диапазон рабочего напряжения (U): 160...250 В;
- максимальный потребляемый ток: 38 А;
- максимальная потребляемая мощность: < 7,2 кВт;
- напряжение холостого хода: < 70 В;
- мин./макс. сварочный ток: 30 /220 А;
- диапазон рабочего напряжения: 18-29 В.

Режимы работы выпрямителя NEON ВД

Длина проводов для подключения к сетевому щитку с учетом удлинителя по нормам не должна превышать 15 метров. Нормативная длина сварочных проводов составляет не менее 3 м, потому что в противном случае выпрямитель оказывается на опасном расстоянии к сварочной дуге. Возможно засасывание вентилятором паров металла, газа, повреждающих детали внутри корпуса. Необходимо помнить, что дополнительно 1 м сетевого кабеля приводит к снижению выходного тока на 1А.

Перед использованием выпрямителя устанавливается режим для сварки. В таблице 7 приведены ориентировочные данные по диапазону тока для соответствующего диаметра электрода.

Таблица 7

Диапазоны сварочного тока

| Диаметр электрода, мм | Минимальный ток, А | Максимальный ток, А |
|-----------------------|--------------------|---------------------|
| 1,0 | 25 | 50 |
| 2 | 40 | 70 |
| 2,5 | 60 | 110 |
| 3 | 80 | 150 |
| 4 | 100 | 180 |
| 5 | 140 | 250 |
| 6 | 190 | 340 |
| 7 | 240 | 430 |

При подключении сварочного провода от держателя электрода к клемме выпрямителя необходимо учитывать рекомендуемую полярность («+» или «-») для применяемого электрода. Эта информация указывается на упаковке завода-изготовителя электродов.

Выбор диаметра электрода определяется толщиной свариваемой детали – диаметр примерно равен толщине.

Оборудование и материалы

1. Выпрямитель сварочный типа NEON ВД.
2. Вольтметр, амперметр.

Порядок выполнения работы

В ходе лабораторной работы необходимо выполнить следующее.

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия инверторного источника питания «Neon».
2. Выписать технические характеристики источника питания.
3. Получить данные для построения 3 внешних вольт-амперных характеристик для установленных значений сварочного тока 100, 200 и 300 А.
4. По полученным данным построить внешние вольт-амперные характеристики источника питания.
5. По результатам работы сделать вывод о форме внешних вольт-амперных характеристик и возможных областях применения источника питания.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) функциональную блок-схему источника питания «Neon»;
- 2) внешние вольт–амперные характеристики источника питания, построенные по опытным данным на бланке отчета;
- 3) технические характеристики источника питания;
- 4) вывод о форме внешних вольт - амперных характеристик и возможных областях применения источника питания.

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение и принцип действия инвертора?
2. Перечислить основные узлы инверторного источника питания сварочной дуги.
3. Нарисовать упрощенную электросхему инверторного источника питания и объяснить принцип его действия.
4. Перечислить основные технические характеристики источника питания «Neon».
5. Каковы по форме внешние вольт - амперные характеристики источника питания «Neon»?
6. Перечислить возможные способы настройки на нужный режим инверторного источника питания.
7. Каковы основные преимущества инверторных источников питания в сравнении с традиционными?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Определение коэффициентов наплавки и расплавления при ручной и автоматической дуговой сварке

Цель работы – определение эффективности различных способов дуговой сварки.

Содержание работы

Технологические показатели сварного соединения

На качество сварного соединения при дуговых способах сварки непосредственное влияние оказывают процессы расплавления электродного металла, перенос и наплавка его на поверхность свариваемой или наплавляемой детали. Перенос металла может происходить либо дискретно каплями, либо непрерывной струей, как показано на рис. 9.1. Капельный перенос металла наблюдается при малой плотности тока, струйный – при больших значениях сварочного тока и малом диаметре электродной проволоки. Выделяют такие этапы капельного переноса электродного металла: I – горящая дуга начинает плавить металл; II – образование капли расплавленного металла; III – капля стекает на металл; IV – восстановление дуги и образование следующей капли. Если скорости образования капель и их стекания с электрода совпадают, то процесс становится струйным.

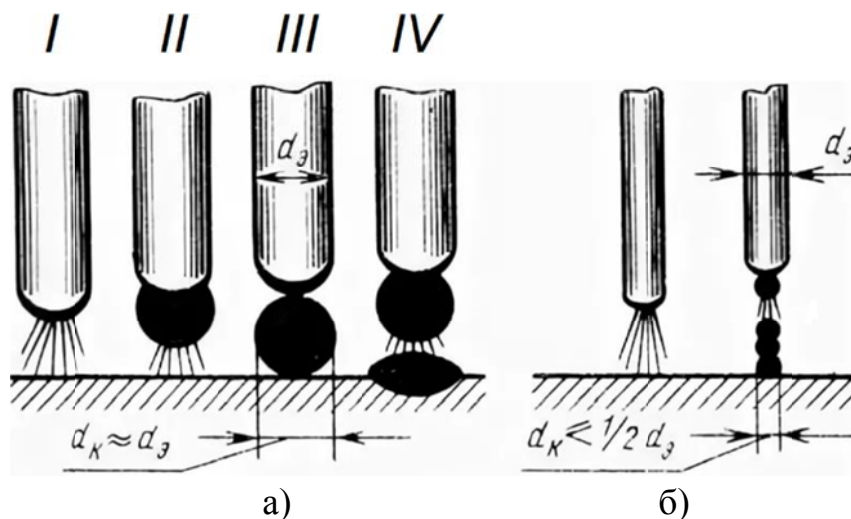


Рис. 9.1. Процесс переноса электродного металла на изделие при короткой дуге:

а – крупнокапельный, б – струйный;

I–IV – последовательные этапы процесса, d_k – диаметр капли, d_3 – диаметр электрода

Горение дуги и процесс каплепереноса определяют разбрызгивание металла и условия формообразования сварного шва. Основными величинами, характеризующими производительность и эффективность процесса сварки и наплавки, являются:

- коэффициент расплавления металла α_p ,
- коэффициент наплавки α_n ,
- производительность расплавления электродов P_p ,
- производительность наплавки P_n ,
- коэффициент потерь ψ .

Эти же показатели используются при оценке эффективности различных способов дуговой сварки и нормировании электросварочных работ.

Коэффициент расплавления металла α_p показывает, какое количество электродного металла расплавляется в единицу времени на один ампер сварочного тока, и определяется формулой:

$$\alpha_p = \frac{Q_p}{I \cdot t} \text{ г/(А·ч)}, \quad (13)$$

где Q_p – масса расплавленного за время t электродного металла, г;

I – величина сварочного тока, А;

t – время горения дуги, ч.

Коэффициент расплавления α_p показывает, насколько эффективно используется электроэнергия при сварке и зависит от физико-химических свойств электродной проволоки, покрытия, флюсов, рода тока, его полярности и ряда других факторов.

Кроме того, в процессе сварки электрод нагревается, что тоже сказывается на интенсивности расплавления электродного металла. До начала сварки электрод имеет комнатную температуру, к концу сварки он может нагреться до $500 \div 600^\circ\text{C}$, если в его покрытии нет органических веществ и не выше 250°C , если есть. Для стальных электродов коэффициент расплавления обычно равен от 7 до 22 г/(А·ч).

Для оценки процесса наплавки применяется *коэффициент наплавки* α_n , определяемый по формуле:

$$\alpha_n = \frac{Q_n}{I \cdot t}, \text{ г/(А·ч)}, \quad (14)$$

где Q_n – масса наплавленного электродного металла за время t , г;

$I_{св}$ – величина сварочного тока, А;

t – время горения дуги, ч.

Значение коэффициента наплавки α_n меньше коэффициента расплавления α_p на 1...5 г/(А·ч) и обычно составляет 6–18 г/(А·ч). Величина Q_n всегда меньше Q_p , так как имеются потери на разбрызгивание и угар.

Для оценки величины этих потерь введен, так называемый *коэффициент потерь* ψ , показывающий какая доля расплавленного металла теряется. Определяется по одной из равнозначных формул:

$$\psi = \frac{Q_p - Q_n}{Q_p} \cdot 100\%, \quad (15)$$

или

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Здесь разность $Q_n - Q_p$ есть количество металла, которое «теряется» вследствие разбрызгивания, окисления, испарения (угар) за время горения дуги.

Коэффициент потерь зависит от вида сварки, состава электрода и его покрытия, от режима сварки и вида сварного соединения. Так, например, коэффициент потерь возрастает при увеличении плотности тока и длины дуги. Обычно значение ψ лежит в интервале

- от 1 до 3% при сварке под флюсом;
- от 3 до 6% при сварке в защитных газах;
- от 5 до 10% при сварке толстопокрытыми электродами;
- от 10 до 20% при сварке тонкопокрытыми электродами.

При значениях больше 20% коэффициента потерь сварку электродами применять нецелесообразно.

Производительностью расплавления электродов называют массу расплавленного сварочной дугой электродного металла в единицу времени. Производительность расплавления электродов P_p зависит от количества тепла, сообщенному электроду и определяется по формуле:

$$P_p = \alpha_p \cdot I_{св}, \text{ г/ч}, \quad (17)$$

где α_p коэффициент расплавления металла, г/(А·ч),

$I_{св}$ – величина сварочного тока, А.

Чем больше ток, тем выше производительность расплавления металла.

Производительность процесса наплавки P_n численно равна массе наплавляемого металла в единицу времени на один ампер сварочного тока:

$$P_n = \alpha_n \cdot I_{св}, \text{ г/ч}, \quad (18)$$

где α_n коэффициент наплавки, г/(А·ч),

$I_{св}$ – величина сварочного тока, А.

Например, при ручной наплавке покрытыми электродами производительность достигает 0,8–3,0 кг/ч, при автоматической наплавке под флюсом – 2–15 кг/ч, при электрошлаковой – 20...60 кг/ч, при автоматической наплавке электродами большого сечения до 150 кг/ч.

Коэффициенты расплавления и наплавки используются для определения расхода электродов и нормирования времени сварки.

Последовательность определения технологических показателей сварки / наплавки

Последовательность определения коэффициентов α_r , α_n и ψ при ручной дуговой и автоматической сварке следующая:

1. Рассчитывается удельный вес 10 мм электродных стержней и проволоки для автоматической сварки исходя из предположения, что плотность металла составляет $7,7 \text{ г/см}^3$.

2. Определяется вес пластин (Q'_n), на которые будет осуществлена наплавка электродом с качественным покрытием и на автомате АДС-1000-4УЗ.

3. Устанавливается ориентировочное значение тока на сварочном трансформаторе (при ручной сварке $I_{св} = 150\text{--}160 \text{ А}$, при автоматической – $I_{св} = 500\text{--}600 \text{ А}$).

4. Производится наплавка. В процессе наплавки фиксируются время сварки (по секундомеру) и средняя сила тока (по показаниям амперметра), а для автоматической сварки под флюсом – также скорость подачи проволоки.

5. Определяется длина использованной части электрода (по измеренной длине огарка) и длина израсходованной проволоки (времени сварки и скорости подачи).

6. Рассчитывается вес расплавленного металла через удельный вес стержня электрода и проволоки.

7. После сварки пластины тщательно очищаются от шлака и брызг металла и взвешиваются (Q''_n).

8. Находится вес наплавленного металла $Q_n = Q''_n - Q'_n$.

9. Время горения дуги, зафиксированное в секундах, пересчитывается в часы.

10. Определяется коэффициент расплавления по формуле (12).

11. Находится коэффициент наплавки по формуле (13).

12. Определяется коэффициент потерь по формуле (14) или (15).

13. Рассчитываются показатели производительности по формулам (16) и (17).

Оборудование и материалы

1. Весы с разновесами.

2. Секундомер.

3. Пластины для наплавки.

4. Электроды с качественным покрытием.

5. Сварочная проволока $\varnothing 3 \text{ мм}$.

6. Сварочный пост переменного тока.

7. Сварочный автомат АДС-1000-4УЗ.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием работы, «Инструкцией по технике безопасности при выполнении электросварочных работ» и последовательностью определения коэффициентов α_p , α_n и ψ .

2. Определить коэффициенты α_p , α_n и ψ при ручной и автоматической сварке.

3. Найти время, необходимое для наплавки одного килограмма металла при ручной и автоматической сварке.

4. Рассчитать требуемое количество электродов и присадочной проволоки для наплавки одного килограмма металла при ручной и автоматической сварке.

Примечание. Учесть потери на огарки при ручной сварке, равные 10%.

5. Результаты опытов свести в таблицу.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Методику расчета α_p , α_n и ψ .
2. Таблицу результатов опытов.
3. Анализ сравнения производительности и расхода электродного металла при ручной и автоматической сварке.
4. Выводы по работе

Контрольные вопросы

1. Почему масса расплавленного металла Q_p отличается от массы наплавленного металла Q_n ?

2. Чем объясняется разница значений α_p , α_n и ψ при ручной и автоматической сварке?

3. Остается ли постоянным коэффициент наплавки α_n для различных марок электродов при прочих равных условиях? Если нет, то чем это вызвано?

4. Как изменяется коэффициент расплавления α_p в зависимости от величины сварочного тока?

5. С какой целью при определении коэффициента наплавки α_n поверхность наплавленной пластины очищают от металлических брызг, образовавшихся при расплавлении электрода?

6. Как влияет величина сварочного тока на коэффициенты наплавки α_n и потерь ψ ?

7. Как изменяется коэффициент потерь в зависимости от длины дуги?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козловский, С.Н. Введение в сварочные технологии: учеб. пособие / С.Н. Козловский. – СПб.: Лань, 2011.
2. Фролов, В.А. Технология сварки плавлением и термической резки металлов: учеб. пособие / В.А. Фролов; под ред. В.А. Фролов. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011.
3. Новокрещенов, В.В. Высокоэффективные процессы обработки материалов современной энергетики / В. В. Новокрещенов, Р.В. Родякина; ред. В.Н Ластовиря. – М.: Вече, 2015.
4. Зорин, Н.Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением: учеб. пособие / Н.Е. Зорин, Е.Е. Зорин – М.: Лань, 2018.
5. Чеботарёв, М.И. Сварочное дело. Дуговая сварка / М.И. Чеботарёв, В.Л. Лихачёв, Б.Ф. Тарасенко – М.: Инфра-Инженерия, 2020.
6. М.И. Чеботарёв. Сварочное дело. Газовая сварка и резка металла / М.И. Чеботарёв, В.Л. Лихачёв, Б.Ф. Тарасенко. – М.: Инфра-Инженерия, 2020.
7. Зорин Е.Е. Лабораторный практикум. Электродуговая, контактная сварка и контроль качества сварных соединений: учеб. пособие / Е.Е. Зорин. – М.: Лань, 2018.
8. Овчинников, В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В. Овчинников. – 3-е изд., стер. – М.: «Академия», 2017.

Учебное издание

Слива Андрей Петрович
Петров Павел Юрьевич
Жмурко Иван Евгеньевич

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Практикум

Редактор Т.А. Феокистова
Компьютерная верстка Ю.И. Захаровой

| | | | |
|--------------------|----------------|------------------|-------------------|
| Подписано в печать | 23.12.20. | Печать офсетная. | Формат 60×84 1/16 |
| Печ. л. 4,5. | Тираж 150 экз. | Изд. № 20-046 | Заказ № |

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13.