

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

**С.В.Михайлицын
В.И. Беляев
А.В. Ярославцев
М.А. Шекшеев**

ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лабораторный практикум

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2013

Рецензенты:

Декан факультета экономики и маркетинга ФГБОУ ВПО
«Магнитогорский государственный университет»,
доктор педагогических наук, профессор, кандидат технических наук
Е.В. Романов

Первый заместитель директора –
главный инженер ЗАО «УралСпецМаш»
В.Д. Тулуш

Михайлицын, С.В.

Основы сварочного производства. Лабораторный практикум:
учеб. пособие / С.В. Михайлицын, А.И. Беляев, А.В. Ярославцев,
М.А. Шекшеев. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та
им. Г.И.Носова, 2013. 56 с.

ISBN 978-5-9967-0388-3

Содержит лабораторные работы, при выполнении которых студенты овладевают практическими навыками, необходимыми при использовании различных способов сварки и газотермической резки. Каждая лабораторная работа содержит необходимый теоретический материал и методику ее выполнения, что способствует осознанному выполнению студентами лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ отражает основные вопросы дисциплины «Основы сварочного производства» в соответствии с требованиями Государственного общеобразовательного стандарта по подготовке инженеров по специальности «Металлургические машины и оборудование» по направлению «Технологические машины и оборудование», бакалавров по направлению «Технологические машины и оборудование», инженеров по специальности «Оборудование и технология сварочного производства» по направлению «Машиностроительные технологии и оборудование», бакалавров по профилям «Оборудование и технология сварочного производства» и «Машины и технология обработки металлов давлением» по направлению «Машиностроение», специалистов по направлению «Проектирование технологических машин и комплексов». Лабораторный практикум полезен для молодых специалистов и изобретателей, ученых и людей, решающих творческие задачи.

УДК 621.791

ISBN 978-5-9967-0388-3

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2013

© Михайлицын С.В., Беляев А.И.,
Ярославцев А.В., Шекшеев М.А., 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Общие требования	4
Лабораторная работа № 1	
Сущность основных видов сварки плавлением.....	5
Лабораторная работа № 2	
Сварочные материалы	11
Лабораторная работа № 3	
Ручная электродуговая сварка	21
Лабораторная работа № 4	
Автоматическая электродуговая сварка (наплавка) под слоем флюса.....	28
Лабораторная работа № 5	
Контактная стыковая сварка	34
Лабораторная работа № 6	
Точечная контактная сварка	40
Лабораторная работа № 7	
Газовая сварка.....	44
Лабораторная работа № 8	
Кислородная резка стали	51
Библиографический список	56

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум является составной частью изучения дисциплины «Основы сварочного производства». В практикум включены вопросы, способствующие углублению и закреплению теоретических знаний, приобщению студентов к научно-исследовательской работе, развитию инициативы, самостоятельности и инженерного мышления. Практикум является учебным пособием для самостоятельного изучения вопросов разработки технологии сварки различных конструкционных материалов. Для лучшего усвоения материала в пособии даются в сжатом виде основные сведения о механизме изучаемых процессов и некоторые теоретические предпосылки, на которых основываются лабораторные работы. Лабораторный практикум выдается каждому студенту в начале семестра. Только предварительное изучение материала по лабораторной работе обеспечит её успешное выполнение во время занятий.

С целью более глубокого знакомства с теоретическими вопросами, затронутыми в лабораторных работах, рекомендуется специальная литература.

При составлении учебного пособия авторы использовали материалы Ф.Д. Кашенко.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Организация выполнения лабораторных работ

Программой дисциплины «Основы сварочного производства» предусмотрено выполнение лабораторных работ для закрепления теоретических знаний и получения практических навыков по самостоятельному решению технологических вопросов по изготовлению сварных конструкций. Лабораторные работы выполняются самостоятельно студентами в составе подгруппы в строгом соответствии с инструкциями, в отведенные по расписанию часы занятий. Перед началом лабораторного практикума все студенты проходят инструктаж по технике безопасности с регистрацией в специальном журнале.

2. Выполнение и оформление лабораторных работ

Перед выполнением работ необходимо повторить теоретический материал и подробно ознакомиться с методикой проведения лабораторной работы. Выполнение работы должно начинаться со знакомства с инструкцией по технике безопасности и инструкцией по выполнению данной лабораторной работы. Перед началом выполнения работы студенты должны усвоить основные правила безопасной работы на данном рабочем месте, а также общую методику проведения эксперимента, основные прие-

мы обращения с оборудованием, приборами и инструментом. По выполненной работе представляют отчет, который должен содержать:

- наименование работы и ее цель;
- теоретический материал;
- используемое оборудование;
- описание методики проведения эксперимента;
- обработку результатов эксперимента в виде таблиц;
- заключение по работе.

После окончания работы каждая группа предоставляет преподавателю для проверки черновик отчета с результатами опытов. Отчеты о проделанной работе каждый студент предоставляет для окончательной проверки преподавателю на следующем занятии. После выполнения лабораторных работ каждый студент сдает зачет.

Лабораторная работа № 1

СУЩНОСТЬ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Цель работы. Изучение основных видов сварки плавлением. Их сущности, назначения и области применения.

Оборудование и принадлежности:

1. Оборудование для ручной и механизированной сварки (наплавки).
2. Источники питания дуги.
3. Стальные пластины.
4. Сварочные материалы (флюсы, электроды, проволоки, порошки).
5. Планшет «Виды и методы сварки».
6. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика проведения работы

Ручная дуговая сварка штучным электродом (рис. 1.1). Тепло, необходимое для расплавления основного металла и электродного стержня, образуется в результате горения электрической (сварочной) дуги, обладающей высокой температурой до 4000–6000°C. Расплавленные основной и электродный металлы перемешиваются в сварочной ванне и по мере продвижения дуги быстро затвердевают, образуя сварной шов. Электродное покрытие, нанесенное на металлический стержень электрода, состоит из различных компонентов, которые при расплавлении создают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от вредного влияния кислорода и азота воздуха.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом (рис. 1.2). В этом случае электрическая дуга горит под слоем зернистого флюса, который предохраняет расплавленный металл от воздуха и при необходимости легирует его. Электродная проволока подается в дугу автоматически при помощи сварочной головки, снабженной электродвигателем.

Флюс сыпается в зону сварки под действием собственной массы.

Одновременно с этим вся установка передвигается вдоль свариваемого шва. При этом методе сварки обеспечивается высокая производительность и достигается хорошее качество шва.

Полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом (рис. 1.3). Особенность этого способа по сравнению с автоматической сваркой состоит в том, что перемещение дуги вдоль шва осуществляется вручную, а подача электродной проволоки в зону горения дуги и засыпка флюса производятся автоматически. Она обычно применяется при сварке коротких швов и в труднодоступных местах.

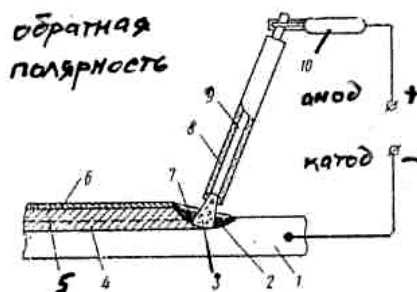


Рис. 1.1. Ручная дуговая сварка штучным электродом: 1 – основной металл; 2 – сварочная ванна; 3 – электрическая дуга; 4 – проплавленный металл; 5 – наплавленный металл; 6 – шлаковая корка; 7 – жидкий шлак; 8 – электродное покрытие; 9 – металлический стержень электрода

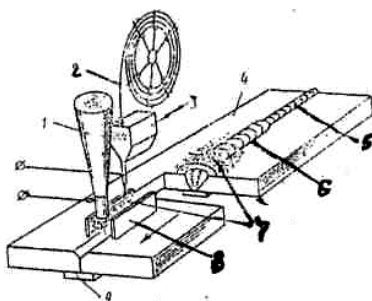


Рис. 1.2. Автоматическая дуговая сварка под флюсом: 1 – бункер с флюсом; 2 – электродная проволока; 3 – сварочная головка; 4 – основной металл; 5 – сварочный шов; 6 – шлаковая корка; 7 – нерасплавленный флюс; 8 – ограничители флюса; 9 – медная пластина-подкладка

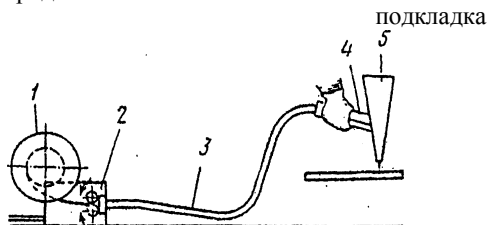


Рис. 1.3. Полуавтоматическая дуговая сварка: 1 – кассета с электродной проволокой; 2 – механизм подачи электродной проволоки; 3 – гибкий шланговый провод; 4 – держатель (горелка); 5 – воронка для флюса

Дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом (рис. 1.4). В данном случае сварочная дуга горит между вольфрамовым электродом и основным металлом. Сварочная ванна защищается от окисления инертным защитным газом (аргон, гелий), который оттесняет воздух от места сварки. Для заполнения шва в сварочную ванну вводится присадочный материал. Сварка может производиться ручным, полуавтоматическим и автоматическим способами. Этот метод широко применяется при сварке высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов, а также активных и редких металлов.

Дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом (рис. 1.5). В этом случае электродная проволока при помощи подающих роликов непрерывно подается в зону сварки со скоростью её плавления. Сварочную ванну от воздуха защищают как инертным, так и активным газом (например, углекислым газом). Углекислый газ применяют при сварке углеродистых и легированных сталей. Инертные газы используют при сварке высоколегированных сталей и цветных металлов. Сварку можно выполнять полуавтоматическим и автоматическим способами.

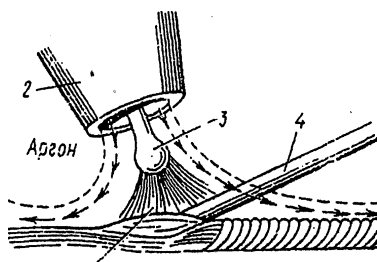


Рис. 1.4. Дуговая сварка в защитных газах неплавящимся электродом:
1 – электрическая дуга; 2 – газовое сопло; 3 – вольфрамовый электрод;
4 – присадочная проволока

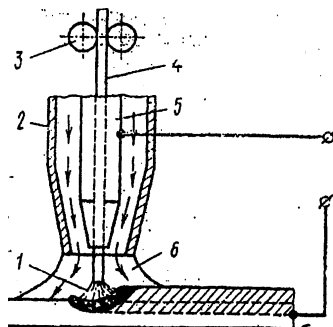


Рис. 1.5. Дуговая сварка в защитных газах плавящимся электродом:
1 – электрическая дуга; 2 – газовое сопло;
3 – подающие ролики; 4 – электродная проволока; 5 – токоподводящий мундштук;
6 – защитный газ

Плазменная сварка является разновидностью сварки в защитных газах неплавящимся электродом. Отличительной особенностью его является высокая температура столба дуги (10000–20000°C и выше) вследствие сжатия его потоком газа (аргоном, гелием, водородом или их смесями). Вследствие сжатия и большой плотности тока, материя переходит в четвертое агрегатное состояние, отличающееся от твердого, жидкого и газообразного. Такое состояние материи называется плазмой, т.е. массой хаотически двигающихся оголенных ядер и оторванных от них электронов.

Различают два типа дуговой плазмы: плазма, выделенная из столба дуги (рис. 1.6,а), плазма, совпадающая со столбом дуги (рис. 1.6,б).

Соответственно этому существуют два типа сварочных головок (плазмотронов). В головках с плазменной струей, выделенной из столба дуги, дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом, который служит катодом, и охлаждаемым водой соплом. В данном случае плазменная струя является независимой по отношению к изделию, так как изделие не включено в сварочную цепь. В головках с плазменной струей, совпадающей со столбом дуги, дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом (катод) и изделием, подключенным к положительному полюсу источника тока. Дуговая плазма может быть использована для сварки, резки и наплавки металлов, в том числе и тугоплавких. Сварка может быть ручной, полуавтоматической и автоматической.

Сварка трехфазной дугой (рис. 1.7).

Сущность этого вида состоит в том, что к двум электродам и изделию подводят переменный ток от трехфазного сварочного трансформатора. При этом возникают три дуги, горящие в одном сварочном фокусе: по одной дуге между каждым электродом и изделием и одна между самими электродами. При горении этих дуг выделяется большое количество тепла, что увеличивает производительность процесса сварки. Сварку можно выполнять ручным и механизированным способами.

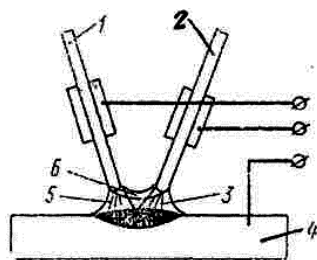
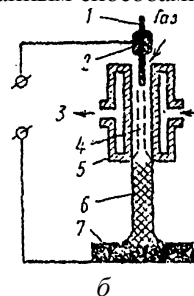
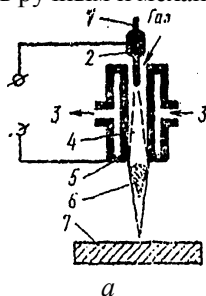


Рис. 1.6. Плазменная сварка: а – плазмой, выделенной из столба дуги; б – плазмой, совпадающей со столбом дуги; 1 – вольфрамовый электрод; 2 – ток подводящий мундштук; 3 – охлаждающая вода; 4 – столб дуги; 5 – медное сопло; 6 – плазма; 7 – основной металл

Рис. 1.7. Сварка трёхфазной дугой:
1, 2 – плавящиеся электроды;
3, 5, 6 – сварочные дуги;
4 – основной металл

Электрошлаковая сварка (рис. 1.8). При электрошлаковой сварке, в отличие от дуговой сварки, для плавления основного и электродного металлов используется тепло, выделяющееся при прохождении сварочного тока через расплавленный электропроводный шлак (флюс). После затвердевания основного и электродного металлов образуется сварной шов. Сварку выполняют при вертикальном расположении свариваемых деталей с большим

зазором между ними. Для формирования шва по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны, охлаждаемые водой. Для свободного перемещения ползунов вверх, сборка под сварку производится при помощи специальных скоб. Применяют при сварке металла большой толщины (от 30 до 1000 мм и более).

Электронно-лучевая сварка (рис. 1.9) выполняется в специальной камере, из которой откачан воздух. Плавление основного металла осуществляется потоком (лучом) быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем (разностью потенциалов между катодом и анодом) и фокусируемых электромагнитной системой. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою энергию движения (кинематическую энергию), превращающуюся в тепло, которое расплавляет и сваривает металл. Вакуум внутри камеры необходим для того, чтобы энергия электронов не расходовалась на ионизацию газа в камере и для получения металла шва без газовых включений. Для установки и передвижения изделий под электронным лучом служит специальная тележка, приводимая в движение электродвигателем. Наблюдение за процессом сварки ведут через смотровое окно. Этот вид сварки применяют для соединения тугоплавких и химически высокоактивных металлов и сплавов, а также других материалов, например при сварке низколегированных сталей перлитного класса большой толщины.

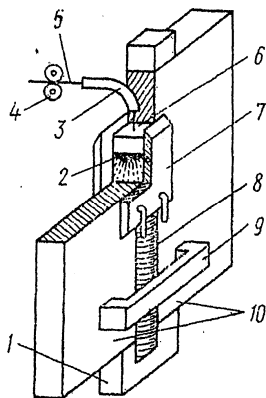


Рис. 1.8. Электрошлаковая сварка:
1 – начальная скоба для возбуждения процесса сварки; 2 – металлическая (сварочная) ванна; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – подающие ролики; 5 – электродная проволока; 6 – шлаковая ванна; 7 – медные формирующие ползуны; 8 – сварной шов; 9 – сборочная скоба; 10 – свариваемые детали

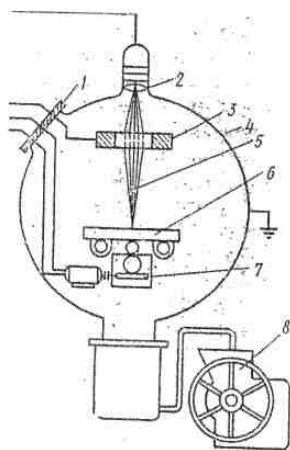


Рис. 1.9. Электронно-лучевая сварка:
1 – электрический вакуумный ввод; 2 – электронная пушка; 3 – электромагнитная фокусирующая линза; 4 – вакуумная камера; 5 – электронный луч; 6 – свариваемое изделие; 7 – механизм перемещения изделия; 8 – вакуумный насос

Лазерная сварка основана на том, что при большом усилении световой луч способен плавить металл. Для получения такого луча применяют специальные устройства, называемые лазерами. Схема действия рубинового лазера приведена на рис. 1.10.

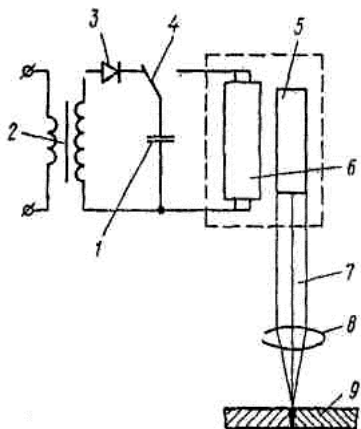


Рис. 1.10. Лазерная сварка:

- 1 – высоковольтный конденсатор;
- 2 – повышающий трансформатор;
- 3 – выпрямитель; 4 – переключатель;
- 5 – рубиновый кристалл (резонатор);
- 6 – импульсная лампа (лампа накачки);
- 7 – луч лазера; 8 – оптическая система;
- 9 – свариваемое изделие

Искусственный рубиновый кристалл расположен в кварцевой трубке, которая представляет собой спиральную газоразрядную лампу, наполненную газом ксеноном. При замыкании выключателя происходит разряд высоковольтного конденсатора, и в кварцевой трубке (лампе) появляется вспышка света, в результате чего рубиновый кристалл испускает импульс мощного светового луча. Импульсы светового луча фокусируются и направляются в зону сварки. Сварка ведется, как бы, отдельными точками, покрывающими друг друга.

Газовая сварка (рис. 1.11).

При газовой сварке расплавление основного и присадочного материалов производится пламенем сварочной горелки, получаемым

при сжигании горючего газа в смеси с кислородом. В качестве горючего газа обычно используют ацетилен. Могут применяться и другие горючие газы, например, пропан-бутановые смеси, пары жидких горючих и др. Этот вид сварки применяют при сварке чугуна, цветных металлов и их сплавов, сталей небольших толщин, а также при различных ремонтных работах.

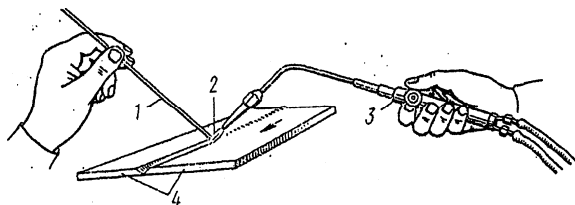


Рис. 1.11. Ручная газовая сварка: 1 – присадочная проволока; 2 – сварочное пламя; 3 – сварочная горелка; 4 – свариваемые детали

Порядок выполнения работы

1. Изучить сущность каждого способа сварки, его технологические особенности, область применения.
2. Ознакомиться с оборудованием для каждого способа сварки.

После изучения технических характеристик оборудования мастер производит его настройку и демонстрацию процесса ручной, полуавтоматической и автоматической дуговой сварки. После сварки (наплавки) производятся осмотр и оценка качества швов.

Содержание отчёта

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание основных видов сварки плавлением и их физической сущности.
3. Привести схемы основных видов сварки плавлением.

Лабораторная работа № 2

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы. Изучить основные виды сварочных материалов, их назначение и область применения. Сравнить технологические свойства материалов и качество получаемых сварных швов.

Оборудование и принадлежности:

1. Сварочный пост переменного тока (трансформатор ТД-500).
2. Стенд «Электроды и сварочные флюсы».
3. Планшет «Виды и методы сварки».
4. Набор электродов для ручной дуговой сварки.
5. Пластины из низкоуглеродистой стали.
6. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика проведения работы

Сварочными называют материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получение качественного соединения основного металла.

Сварочные материалы можно классифицировать на непосредственно участвующие или не участвующие в образовании металла шва. К сварочным материалам, непосредственно участвующим в образовании металла шва, относят штучные плавящиеся электроды при ручной дуговой сварке,

электродные проволоки сплошные и порошковые при механизированной дуговой сварке в защитном газе, под флюсом и при электрошлаковой сварке; в несколько меньшей степени участвуют в формировании состава швов флюсы и активные защитные газы. К сварочным материалам, непосредственно не участвующим в образовании металла шва, относятся неплавящиеся электроды (угольные, графитовые, вольфрамовые), инертные газы (аргон, гелий и др.).

Сварочная проволока, электродные стержни и присадочные прутки

Для сварки сталей применяется специальная стальная проволока, изготавливаемая по ГОСТ 2246-70, в котором рекомендуются химический состав 77 марок и диаметры проволок (от 0,3 до 12 мм). Обозначение сварочной проволоки состоит из букв Св (сварочная) и буквенно-цифрового обозначения её состава: первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, затем буква, соответствующая определённому химическому элементу, и цифра, отвечающая примерному содержанию его в стали. Если цифра не указана, значит, содержание элементов менее 1%.

Условные обозначения легирующих элементов следующие: А – азот (только в высоколегированных проволоках); Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; К – кобальт; М – молибден; Н – никель; Р – бор; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром; Ц – цирконий; Ю – алюминий.

Указанные в конце марки буквы А и АА обозначают соответственно пониженное и весьма низкое содержание серы и фосфора. Например, обозначение Св-06Х19Н9Т расшифровывается так: сварочная проволока с содержанием углерода 0,06%, хрома 19%, никеля 9%, титана до 1% (более точное содержание элементов указано в стандарте).

Сварочная проволока в зависимости от состава разделяется на 3 группы:

- 1) низкоуглеродистая – 6 марок (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2);
- 2) легированная – 30 марок (например, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-15ГСТЮЦА);
- 3) высоколегированная – 41 марка (например, Св-12Х11НМФ, Св-10Х17Т).

В легированной стали содержание легирующих элементов в сумме составляет от 2,5 до 10%, в высоколегированной – более 10%.

Сварочная проволока для сварки алюминия и его сплавов регламентируется ГОСТ 7871-75. Тянутая и прессованная проволока из алюминия имеет обозначение от СвА5 до СвА97, алюминиево-марганцевый сплав – СвАМц, алюминиево-магниевые сплавы – СвАМгЗ, СвАМг6 и др., алюминиево-кремнистые сплавы – СвАК5, СвАК10 и др.

Сварочная проволока и прутки из меди и медных сплавов регламентируются ГОСТ 16130-85. Обозначение марок соответствует буквенным и цифровым обозначениям, принятым для меди и её сплавов (без символа Св).

Порошковая проволока

Вместо сплошной проволоки сложного химического состава часто применяют порошковую проволоку, изготовленную из низкоуглеродистой стальной ленты, свёрнутой в трубку, внутрь которой помещают шихту – порошкообразный сердечник, состоящий из ферросплавов, железного порошка, графита и других компонентов. Если в сердечник проволоки введены газообразующие и шлакообразующие составляющие, то порошковая проволока может быть использована без дополнительной защиты. Сохраняя технологические преимущества голой проволоки, она позволяет вести сварку без флюсов и защитных газов. Наиболее широко порошковую проволоку применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей и наплавки деталей, работающих в условиях износа, ударов и циклических теплосмен.

При строительно-монтажных работах применяют порошковую проволоку марок ПП-АН1, ПП-АНЗ, ПП-ДСК. Они позволяют получить металл шва с высокими механическими свойствами.

Технические характеристики этих проволок приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Сварочные порошковые проволоки и их назначение (ГОСТ 26271-84)

Марка проволоки	Диаметр, мм	Основные компоненты порошка	Назначение проволоки
ПП-АН1	2,8	Рутил, целлюлоза	Для неответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей
ПП-АНЗ	3,0	Мрамор, плавиковый шпат, рутил, ферросплавы	Для ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей
ПП-ДСК	2,5	Плавиковый шпат	То же
Примечание. Марки проволоки имеют заводское обозначение и не расшифровываются.			

Наиболее высокое качество металла шва получается при сварке порошковой проволокой типов ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН9, ПП-АН10 в среде углекислого газа. Этой проволокой рекомендуется сваривать особо ответ-

ственные конструкции, эксплуатация которых происходит в сложных климатических условиях и при значительных динамических и знакопеременных нагрузках.

Неплавящиеся электроды

Неплавящиеся электроды изготовляют из чистого вольфрама, из вольфрама с присадками оксидов лантана, иттрия или тория, из электротехнического угля и синтетического графита.

При ручной дуговой сварке используют угольные или графитовые электроды большого диаметра (8–15 мм и выше) с тем, чтобы уменьшить разогрев электрода и возможное науглероживание сварочной ванны. Сейчас этот способ применяют редко, в основном для получения неотвержденных, не испытывающих значительных нагрузок соединений алюминия, меди и их сплавов. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности и для защиты используют те же флюсы, что и при газовой сварке (для алюминия – хлористые и фтористые соли калия, натрия, лития; для меди – смесь буры с другими компонентами).

Вольфрамовые электроды используют при аргонно-дуговой сварке ручным, полуавтоматическим и автоматическим способами на постоянном и переменном токе.

Постоянным током прямой полярности сваривают нержавеющие и жаропрочные стали, никель и его сплавы, титан, цирконий, молибден и другие металлы толщиной 0,1–6,0 мм.

Переменным током сваривают алюминий, магний и их сплавы. Причём в те полупериоды, когда катодом сваривается изделие, его поверхность бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона и происходит разрушение и распыление тугоплавких оксидных плёнок алюминия или магния. Введение присадок в вольфрамовые электроды способствует понижению потенциала ионизации и устойчивому горению дуги, а также позволяет увеличить плотность тока на электроде.

Угольные электроды изготовляют из кокса, сажи и смолы путём дробления, прессования и обжига. Графитовые электроды изготавливают из угольных посредством дополнительной высокотемпературной обработки – графитизации. Они обладают лучшей электропроводностью, а поэтому позволяют применять большие плотности сварочного тока. Угольные и графитовые электроды выпускают в виде стержней длиной 200–300 мм и диаметром 5–25 мм.

Сварочные покрытые электроды

Электроды для ручной дуговой сварки изготавливают по ГОСТ 9466-75. Они представляют собой стержни диаметром 1,6–12 мм и

длиной до 450 мм из сварочной проволоки, в большинстве случаев Св-08 и Св-08А, на поверхность которой нанесён слой покрытия (различной толщины). Один из концов электрода на длине 20–30 мм освобождён от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта. Торец другого конца очищают от покрытия для возможности возбуждения дуги посредством касания изделия в начале процесса сварки, а для облегчения зажигания дуги, в ряде случаев наносят ионизирующий слой, например, на основе графита. Покрытие предназначено для повышения устойчивости горения дуги, образования комбинированной газослаковой защиты, легирования и рафинирования металла. Для выполнения перечисленных функций электродное покрытие должно содержать следующие вещества: шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие, стабилизирующие и связующие.

Классификация электродов и общие технические требования к ним представлены в основном стандарте ГОСТ 9466-75. Типы электродов регламентированы стандартами ГОСТ 9467-75, 10051-75, 10052-75.

Тип электрода (например, по ГОСТ 9467-75) характеризует механические свойства (или гарантированное содержание химических элементов) металла шва. В обозначении типа электрода буква «Э» означает электрод, а стоящее за ней число показывает временное сопротивление разрыву металла шва. Так электрод типа Э-46А должен обеспечить временное сопротивление разрыву не менее 451 МПа (46 кгс/мм²). Буква А, стоящая в конце, указывает на повышенные пластические свойства металла сварного шва. Буквы и цифры, входящие в обозначение типов электродов для сварки теплоустойчивых и легированных сталей с особыми свойствами, показывают примерный химический состав наплавленного металла. Например, электроды типа Э-09Х1МФ (марка ЦЛ-20) дают в расплавленном металле около 0,09% углерода, 1% хрома и некоторое количество молибдена и ванадия.

Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов.

Марка электрода – это промышленное обозначение, которое дано разработчиком. В наименовании марки никакой информации о свойствах электродов не содержится.

Ниже представлена классификация покрытых электродов в зависимости:

- от их назначения (табл. 2.2);
- от вида покрытия (табл. 2.3);
- от пространственного положения сварки, наплавки (табл. 2.4);
- от применяемого рода и полярности сварочного тока (табл. 2.5);
- от толщины покрытия (табл. 2.6).

Таблица 2.2

Классификация покрытых электродов в зависимости от назначения

Назначение электродов	Типы	Обозначение
Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа	9 типов (ГОСТ 9467-75): Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60	У
Сварка легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа	5 типов (ГОСТ 9467-75): Э70, Э85, Э100, Э125, Э150	Л
Сварка легированных теплоустойчивых сталей	9 типов (ГОСТ 9467-75): Э-09М, Э-09МХ и др.	Т
Сварка высоколегированных сталей с особыми свойствами	49 типов (ГОСТ 10052-75): Э-12Х13, Э-06Х13М, Э-10Х17Т и др.	В
Наплавка поверхностных слоёв с особыми свойствами	44 типа (ГОСТ 10051-75): Э-10Г2, Э-11Г3, Э-16Г2ХМ и др.	Н

Таблица 2.3

Классификация электродов в зависимости от вида покрытия

Характеристика электродов	Вид покрытия	Обозначение
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током. Не рекомендуется для сталей с повышенным содержанием серы и углерода. Недостаток: возможны трещины в швах, сильное разбрызгивание	Кислый	А
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током	Рутиловый	Р
	Ильменитовый	АР
Сварка постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях металла большой толщины	Основной	Б
Сварка во всех пространственных положениях постоянным и переменным током. Целесообразны на монтаже, сварка сверху вниз. Не допускают перегрева. Большие потери на разбрызгивание	Целлюлозный	Ц
Сварка конструкций и трубопроводов во всех положениях шва, кроме потолочного, при низком расходе на 1 кг наплавленного металла	Смешанный	РЦ
То же, с железным порошком в покрытии (более 20%)		БРЖ

Таблица 2.4

Классификация покрытых электродов в зависимости
от допустимого пространственного положения шва

Пространственное положение шва	Обозначение
Для сварки во всех положениях	1
Для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз	2
То же, кроме вертикального сверху вниз и потолочного	3
Для швов нижнего и нижнего «в лодочку»	4

Таблица 2.5

Классификация покрытых электродов в зависимости
от рода и полярности применяемого сварочного тока

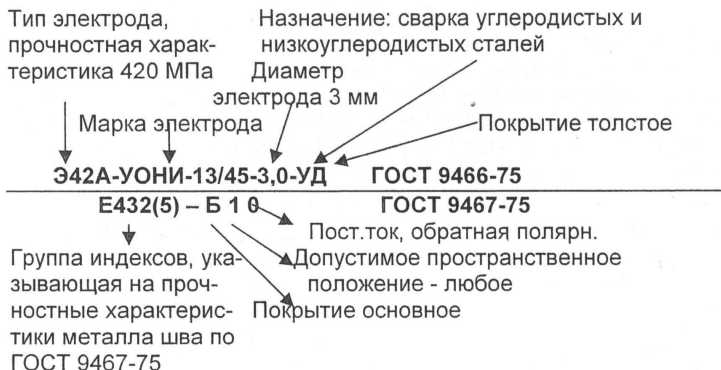
Напряжение холостого тока источника переменного то- ка, В	Полярность постоянного тока	
Не применяется	Обратная	0
50±5	Любая	1
	Прямая	2
	Обратная	3
70±10	Любая	4
	Прямая	5
	Обратная	6
90±5	Любая	7
	Прямая	8
	Обратная	9

Таблица 2.6

Классификация электродов в зависимости от толщины покрытия

Характеристика электродов	Обозначение
С тонким покрытием ($D/d \leq 1,2$)	М
Со средним покрытием ($1,2 < D/d \leq 1,45$)	С
С толстым покрытием ($1,45 < D/d \leq 1,8$)	Д
С особо толстым покрытием ($D/d > 1,8$)	Г

Пример условного обозначения электрода



Флюсы сварочные

Сварочными флюсами называют специально приготовленные неметаллические порошки с размером отдельных зёрен 0,25–4,0 мм. Флюсы применяют при автоматической и полуавтоматической сварке, для газовой сварки, электрошлаковой сварки и при наплавке. Флюсы, расплавляясь, образуют и шлаковую защиту сварочной ванны от окисления кислородом воздуха. Кроме того, флюсы позволяют легировать металл сварочной ванны и удалять из него окислы, серу, фосфор и газы. Таким образом, флюсы выполняют те же функции, что и покрытия электродов при ручной дуговой сварке.

По назначению флюсы можно разделить на три основные группы:

- 1) для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей;
- 2) для сварки легированных и высоколегированных сталей;
- 3) для сварки цветных металлов и сплавов.

Такое разделение является в известной мере условным, поскольку флюсы, применяющиеся для сварки металлов одной группы, иногда могут быть использованы для другой группы металлов.

По химическому составу различают:

- 1) окислительные флюсы, содержащие в основном MnO и SiO_2 (другими составляющими являются CaO , MgO , CaF_2 , Al_2O_3); их применяют преимущественно при сварке углеродистых и низколегированных сталей;
- 2) безокислительные, практически не содержащие MnO и SiO_2 , в них входят, главным образом, фториды CaF_2 и прочные окислы металлов; их преимущественно используют для сварки высоколегированных сталей;
- 3) бескислородные, целиком состоящие из фторидных и хлоридных солей металлов, а также других составляющих, не содержащих кислород; используют для сварки алюминия, титана.

По способу изготовления флюсы делятся на плавленные и керамические. Плавленные флюсы получают плавлением исходных материалов. В состав этих флюсов входят только шлакообразующие компоненты (марганцевая руда MnO , кварцевый песок SiO_2 , плавленый шпат CaF_2 и др.). Плавные флюсы изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 9087-81. Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей используют плавные флюсы АН-348, АН-60, ОСЦ-45, ФЦ-9; для сварки и наплавки высоко- и среднелегированных сталей – АН-8, АН-20, АН-22, АН-26. Для механизированной сварки меди и её сплавов успешно применяют те же флюсы, что и для сварки сталей: ОСЦ-45, АН-348, АН-20. Для сварки алюминия и его сплавов используют флюсы на основе фторидов и хлоридов щелочных металлов: АН-А1, УФОК-А1, МАТИ-1.

Керамические (неплавные) флюсы кроме шлакообразующих компонентов содержат также раскислители и легирующие элементы. Их получают механическим смешиванием мелкоизмолотых компонентов с жидким стеклом, продавливанием полученной тестообразной массы через сито и последующим прокаливанием при $300^{\circ}C$.

Керамические флюсы позволяют значительно проще легировать металл шва, для чего в состав флюса вводят требуемое количество легирующих примесей. Вторым важным преимуществом керамических флюсов является их малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей. Это особенно важно при строительно-монтажных работах на открытом воздухе.

Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяют керамические флюсы марок К-11, КВС-19; для сварки легированных сталей – КС-30ХГСНА, КС-Ш, ФЦК и др. При наплавке используют легирующие керамические флюсы марок: КС-Х12М, КС-3Х2В6 и др.

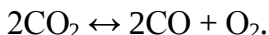
Защитные газы

При сварке в среде газов применяют два основных вида газов:

- 1) инертные, не взаимодействующие с металлом шва (аргон, гелий и их смеси);
- 2) химически активные газы, участвующие в реакциях с металлом шва и электродом; по свойствам различают три группы активных газов: с восстановительными свойствами (водород, окись углерода); с окислительными свойствами (углекислый газ, водяные пары); выборочной активности (азот активен к черным металлам, алюминию, инертен к меди, её сплавам, золоту, серебру).

Инертные газы целесообразно применять для сварки алюминия, магния, титана и сплавов, склонных при нагреве к энергичному взаимодействию с кислородом, азотом и водородом. Инертные газы с добавками кислорода или углекислого газа применяют для сварки легированных сталей и сплавов.

Применение углекислого газа обеспечивает надежную изоляцию зоны дуги от соприкосновения с газами воздуха и предупреждает азотирование металла шва. При высокой температуре углекислый газ частично диссоциирует



Все три компонента защищают металл от воздействия воздуха, но в то же время окисляют его, причем наиболее интенсивно те элементы металла, которые имеют большое сродство к кислороду (Si, Mn, Cu и др.). Поэтому при сварке в среде углекислого газа используют сварочную проволоку с повышенным содержанием марганца и кремния (Св-12ГС, Св-08ГС, Св-08Г2С). Углекислый газ применяют при сварке углеродистых и легированных сталей.

Водород защищает металл от окисления и азотирования. При высоких температурах, имеющих место в зоне дуги, он легко соединяется с углеродом, содержащимся в основном металле, образуя газообразный углеводород. В результате этой реакции содержание углерода в металле шва может значительно снизиться.

Азот применяют для сварки металлов и сплавов, не взаимодействующих с этим газом (например, медь, некоторые аустенитные стали).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общей характеристикой сварочных материалов, используя стенды, планшеты и натурные образцы.
2. Ознакомиться с процессом автоматической сварки под слоем флюса, выполненным электродами различного типа.
3. Выполнить данными электродами односторонние стыковые швы, дать характеристику горения дуги; оценить качество полученного сварного шва (наличие пор, трещин, подрезов, наплывов и др.).
4. Написать отчет.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Дать краткую характеристику и назначение каждого сварного материала (объем определяет преподаватель):
 - привести по одному примеру марки сварочной сплошной проволоки из каждой группы и расшифровать;
 - указать характерное отличие порошковой от сплошной проволоки и области применения;
 - назвать все сварочные материалы при сварке неплавящимися электродами и дать их характеристику;

- обосновать необходимость покрытий сварочной проволоки при изготовлении электродов;
 - сформулировать понятие «тип» и «марка» электродов;
 - расшифровать структуру условного обозначения покрытых электродов (по сертификату);
 - указать, в каких способах сварки применяются флюсы и обосновать необходимость их применения; какие способы сварки выполняются с применением защитных газов; виды и назначение газов.
3. Характеристика выбранных для данной работы электродов.
 4. По результатам работы заполнить таблицу.

Тип электрода	Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Характеристика дуги	Степень разбрызгивания дуги	Наличие пор, трещин	Степень формирования

Лабораторная работа № 3

РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

Цель работы. Изучение технологии ручной электродуговой сварки. Определение режимов сварки и коэффициентов расплавления, наплавки и потерь электродного материала.

Оборудование и принадлежности:

1. Набор электродов двух различных марок.
2. Сварочные посты постоянного и переменного тока.
3. Пластины из малоуглеродистой стали.
4. Секундомер.
5. Весы.
6. Штангенциркуль, линейка, набор слесарного инструмента.
7. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика выполнения работы

Сущность ручной электродуговой сварки состоит в том, что расплавление основного металла и электрода происходит за счет горения сварочной дуги, обладающей высокой температурой (до 4000–6000°C). Электродное покрытие, нанесенное на металлический стержень электрода, необходимо для повышения устойчивости горения дуги, образования комбинированной газошлаковой защиты расплавленного металла, а также его легирования и рафинирования, что способствует повышению качества сварного шва.

Электроды имеют две характеристики, тип и марку (этот вопрос подробно описан в лабораторной работе №2 «Сварочные материалы»).

Режимы сварки. Под режимом сварки понимают совокупность основных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварного шва заданных размеров и формы. При разработке технологии ручной дуговой сварки выбирают марку электрода, диаметр электрода ($d_э$), сварочный ток ($I_{св}$), напряжение дуги ($U_д$), скорость перемещения электрода вдоль свариваемых кромок ($V_{св}$), род тока и его полярность.

Параметры режима ручной дуговой сварки

Основные	Дополнительные
Сварочный ток Напряжение дуги Скорость сварки Род и полярность тока	Положение шва в пространстве Число проходов Температура окружающей среды

Сварочный ток устанавливают в зависимости от диаметра электрода, а диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия.

Толщина металла, мм	1–2	3	4–5	6–8	9–12	13–14	16 и более
Диаметр электрода, мм	1,5–2	3	3–4	4	4–5	5	6

Ориентировочный расчёт сварочного тока

Диаметр электрода $d_э = 3–6$ мм	Диаметр электрода $d_э < 3$ мм
$I_{св} = (20 + 6d) d_э k$	$I_{св} = 30 d_э k$
где $k=1$ (нижний шов), $k=0,9$ (вертикальный шов), $k=0,8$ (потолочный шов)	

При увеличении диаметра электрода и неизменном сварочном токе плотность тока уменьшается, что приводит к блужданию дуги, увеличению ширины шва и уменьшению глубины провара. Чем больше диаметр электрода, тем меньше допускаемая плотность тока, так как ухудшаются условия охлаждения.

Допускаемая плотность тока (A/mm^2) в зависимости от покрытия электрода.

Вид покрытия	Диаметр электрода, мм			
	3	4	5	6
Кислый, рутиловый	14–20	11,5–16	10–13,5	9,5–12,5
Основной	13–18,5	10–14,5	9–12,5	8,5–12,5

Напряжение на дуге зависит от её длины. Оптимальная длина дуги выбирается между минимальной и максимальной. Длинную дугу применять не рекомендуется.

Минимальная длина дуги	Максимальная длина дуги
$L_d = 0,5d_э$	$L_d = d_э + 1$
где $d_э$ – диаметр электрода, мм; L_d – длина дуги, мм	

Скорость сварки выбирается так, чтобы сварочная ванна заполнялась электродным металлом и возвышалась над поверхностью кромок с плавным переходом к основному металлу без подрезов и наплывов.

Род и полярность сварочного тока выбираются в зависимости от назначения электродов и вида покрытия.

Постоянный ток		Переменный ток
Прямая полярность: (-) на электроде, (+) на изделии	Сварка с глубоким проплавлением основного металла.	Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей (типа 09ГС) в строительномонтажных условиях электродами с рутиловым покрытием.
	Сварка низко- и среднеуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 5 мм и более. Сварка чугуна	
Обратная полярность: (+) на электроде, (-) на изделии	Сварка с повышенной скоростью плавления электродов. Сварка низколегированных, низкоуглеродистых сталей (типа 16Г2АФ), средне- и высоколегированных сталей и сплавов. Сварка тонкостенных листовых конструкций.	Сварка при возникновении магнитного дутья. Сварка толстолистовых конструкций из низкоуглеродистых сталей
	Сварка электродами с основным видом покрытия (УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 и др.)	

Влияние сварочного тока, напряжения дуги и скорости сварки на форму и размеры шва

С увеличением сварочного тока глубина провара увеличивается, ширина шва почти не изменяется.

С повышением напряжения ширина шва резко увеличивается, а глубина провара уменьшается. Это важно учитывать при сварке тонкого металла. Несколько уменьшается и выпуклость (усиление) шва. При одном и том же напряжении ширина шва при сварке на постоянном токе (особенно обратной полярности) значительно больше, чем ширина шва при сварке на переменном токе.

С увеличением скорости сначала глубина провара возрастает (до 40–50 м/ч), а затем уменьшается. При этом ширина шва уменьшается постоянно. При скорости более 70–80 м/ч основной металл не успевает програваться, и по обеим сторонам шва возможны подрезы.

Основные геометрические параметры сварного шва (рис. 3.1, 3.2)

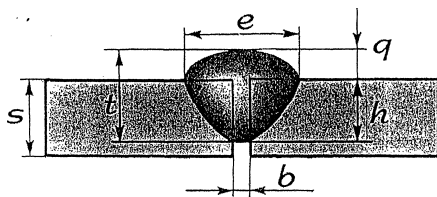


Рис. 3.1. Стыковой шов:

S – толщина свариваемого металла; e – ширина шва; g – усиление шва; h – глубина провара; t – толщина шва ($t = g + h$); b – зазор

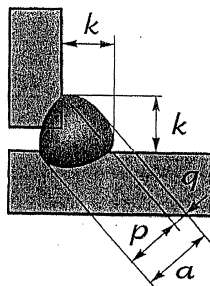


Рис. 3.2. Угловой шов:

K – катет углового шва; p – расчётная высота углового шва; a – толщина углового шва

Коэффициент формы шва $K_{II} = e/t$. Оптимальный $K_{II} = 1,2-2$ (бывает в пределах 0,5–4).

Коэффициент усиления шва $K_Y = e/g$. K_Y не должно превышать 7–10.

Коэффициент долей основного металла в металле шва

$$K_0 = \frac{F_0}{F_0 + F_3},$$

где F_0 – площадь сечения расплавленного основного металла; F_3 – площадь сечения наплавленного электродного металла.

Производительность процесса сварки оценивают по количеству наплавленного и расплавленного металла. Производительность наплавки определяется из уравнения

$$G_H = \alpha_H I_{CB} t_0,$$

где G_H – производительность наплавки, г; I_{CB} – сила сварочного тока, А; t_0 – время сварки, ч; α_H – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Коэффициентом наплавки называется количество наплавленного электродного металла в граммах в течение одного часа, приходящегося на один ампер сварочного тока.

$$\alpha_H = \frac{G_H}{I_{CB} t_0}.$$

Производительность расплавления электродной проволоки определяется по формуле

$$G_P = \alpha_P I_{CB} t_0,$$

где G_P – производительность расплавления, г; α_P – коэффициент расплавления, г/А·ч.

Коэффициентом расплавления называется количество расплавленного электродного металла в граммах в течение одного часа, приходящегося на один ампер сварочного тока.

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{св} t_0}.$$

Часть расплавленного электродного металла не участвует в образовании сварного шва, а идёт на покрытие потерь на угар, разбрызгивание, испарение и др. Коэффициент, характеризующий эти потери, выражается в процентах и определяется по формуле

$$\psi = \frac{G_p - G_H}{G_p} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \psi = \frac{\alpha_p - \alpha_H}{\alpha_p} \cdot 100\%,$$

где Ψ – коэффициент потерь электродного металла.

Техника выполнения сварных швов

Зажигание дуги. Существуют два способа зажигания дуги: прямым отрывом и отрывом по кривой (второй напоминает движение при зажигании спички). Оба способа используются в равной мере, но первый чаще при сварке в узких и неудобных местах.

Длина дуги. Расстояние от активного пятна на расплавленной поверхности электрода до активного пятна дуги на поверхности сварочной ванны называется длиной дуги. Длина дуги зависит от марки и диаметра электрода, пространственного положения сварки, разделки свариваемых кромок и т.п. и задается вручную сварщиком. Нормальной считают длину дуги, равную 0,5–1,1 диаметра стержня электрода. Лучшее качество сварки обеспечивает короткая дуга. Увеличение длины дуги снижает устойчивость её горения, глубину проплавления основного металла, повышает потери на угар и разбрызгивание электрода, вызывает образование шва с неровной поверхностью и усиливает вредное воздействие окружающей атмосферы на расплавленный металл.

Движение электрода. В процессе сварки электрод перемещают не менее чем в двух направлениях: во-первых, по мере оплавления он подается вдоль своей оси в дугу, поддерживая постоянную длину дуги, во-вторых, перемещается в направлении наплавки или сварки для образования шва. В этом случае образуется узкий валик, ширина которого равна 0,8–1,5 диаметра электрода. Узкий валик обычно накладывают при проварке корня шва, сварке тонких листов и т.п. Однако чаще всего применяют швы шириной 1,5–4,0 диаметра электрода. Для получения валика такой ширины необходимо производить поперечные колебательные движения электродом.

Положение электрода. Направление сварки может быть слева направо, справа налево, от себя и к себе. Независимо от направления сварки по-

ложение электрода должно быть определенным: электрод должен быть наклонён к оси шва так, чтобы металл свариваемого изделия проплавлялся на наибольшую глубину. Обычно сварку выполняют вертикально расположенным электродом при его наклоне относительно шва углом вперёд или назад.

Концовка шва. В конце шва нельзя сразу обрывать дугу и оставлять на поверхности металла кратер. Кратер может вызвать появление трещины в шве вследствие повышенного содержания в нём серы, фосфора и других примесей. При сварке низкоуглеродистой стали кратер заполняют электродным металлом (прекращают перемещение электрода и медленно удлиняют дугу до обрыва) или выводят его в сторону основного металла. При сварке стали, склонной к закалке, вывод кратера в сторону основного металла не допустим ввиду возможности образования трещин.

Марку электрода выбирают по справочнику, в зависимости от материала свариваемых изделий. Некоторые наиболее распространённые марки электродов приведены в таблице.

Электроды и их значения

Марка электрода	Тип электрода	Род тока, полярность	Покрытие	Назначение
АНО-1	Э-42	Постоянный, переменный	Рутиловое	Для сварки малоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей
АНО-4	Э-46	Переменный, постоянный обратной полярности	Рутиловое	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей
ТМУ-21У	Э-50А	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей энергетического оборудования тепловых и атомных электростанций, а также оборудования для переработки нефти и газа
МР-3	Э-46	Постоянный, переменный	Рутиловое	Для сварки ответственных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей, работающих при статических и динамических нагрузках

Марка электрода	Тип электрода	Род тока, полярность	Покрытие	Назначение
УОНИ-13/45	Э-42А	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки особо ответственных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей, работающих при отрицательных температурах под давлением
УОНИ-13/55	Э-50А	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки ответственных конструкций повышенной прочности из среднеуглеродистых и низколегированных сталей
ТМЛ-3У	Э-09Х1МФ	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки легированных теплоустойчивых сталей, работающих при температурах до 570°C
ОЗЛ-8	Э-07Х20Н9	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки коррозионно-стойких хромоникелевых сталей
ЦЛ-11	Э-08Х20Н9Г2Б	Постоянный обратной полярности	Основное	Для сварки ответственного оборудования из коррозионно-стойких хромоникелевых сталей, когда к металлу шва предъявляются жесткие требования по стойкости к межкристаллитной коррозии
ОЗЛ-9А	Э-28Х24Н16Г6	Постоянный обратной полярности	Рутилово-основное	Для сварки жаростойких сталей, работающих в окислительных средах при температуре до 1050°C

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием для ручной дуговой сварки.
2. Изучить методику и принципы выбора режимов ручной сварки.
3. Ознакомиться с техникой выполнения ручных швов.
4. Определить α_p , α_n и ψ для электродов 2-х марок диаметром 4 мм.

Для этого необходимо:

- замаркировать пластины и взвесить их;

- определить погонный вес электродного стержня (г/п.м);
- произвести наплавку валика на пластину электродами исследуемой марки. В процессе наплавки фиксировать силу сварочного тока и время горения дуги;
- зачистить валик и прилегающую зону основного металла от брызг и взвесить;
- определить вес прутка сварочной проволоки в огарке электрода (г), измерить толщину слоя обмазки;
- используя полученные данные, вычислить коэффициенты расплавления, наплавки и потерь электродного металла.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Описать основные и вспомогательные параметры режимов сварки и их влияние на форму и размеры сварного шва.
3. Сформулировать принципы выбора диаметра электрода и силы сварочного тока.
4. Описать сущность коэффициентов расплавления, наплавки и потерь расплавленного электродного металла и их вычисление на основе опытных наплавов.
5. Составить таблицу опытных наплавов и расчетов коэффициентов.

Характеристики электродов				Режимы сварки			Коэффициенты		
Марка	Тип	Диаметр, мм	Толщина слоя обмазки, мм	Род тока	$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	$\alpha_p, г/А \cdot ч$	$\alpha_n, г/А \cdot ч$	$\Psi, \%$

Лабораторная работа № 4

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА (НАПЛАВКА) ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

Цель работы. Изучить устройство и работу сварочной головки типа АБС. Определить влияние параметров режима сварки (наплавки) на формирование наплавленного валика и его форму.

Оборудование и принадлежности:

1. Автоматическая сварочная головка типа АБС.

2. Источник питания типа ВС-600.
3. Наплавочная порошковая проволока.
4. Сварочный флюс (АН-20, АН-348А).
5. Стальные пластины из малоуглеродистой стали.
6. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика проведения работы

Отличительной особенностью процесса автоматической сварки под флюсом является то, что сварочная дуга горит не на открытом воздухе, а под слоем сыпучего зернистого флюса (рис. 4.1).

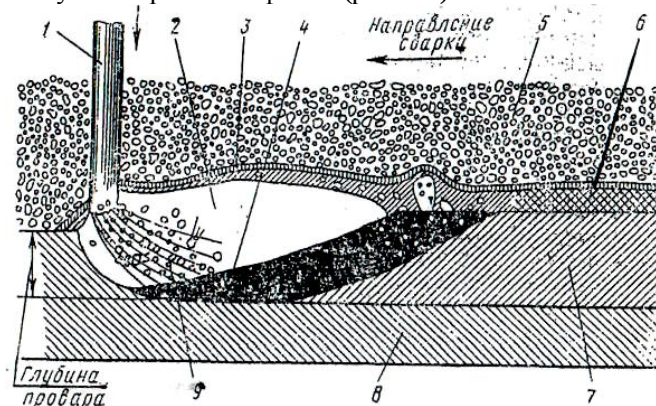


Рис. 4.1. Схема горения сварочной дуги под флюсом

Под действием тепла дуги 9 расплавляются основной металл 8, электродная проволока 1 и часть флюса 5, непосредственно прилегающая к зоне сварки. Электродная проволока подается вниз в зону сварки со скоростью её плавления, плавится и переходит в шов в виде отдельных капель. Одновременно с этим проволока передвигается вдоль свариваемых кромок. В результате чего происходит процесс сварки. Расплавленный флюс образует плотную эластичную оболочку – флюсогазовый пузырь 2. Поверх этого пузыря находится слой жидкого шлака 3. Флюсогазовый пузырь надёжно защищает расплавленный металл от вредного воздействия кислорода и азота воздуха. Во флюсогазовом пузыре создается большое давление газов, которое оттесняет часть жидкого металла 4 в противоположную направлению сварки сторону. После остывания жидкого металла образуется сварной шов 7, покрытый затвердевшей коркой шлака 6. Качество формирования наплавленного слоя, его химический состав и структура зависят от режима сварки (наплавки). Основными факторами, определяющими режим наплавки (сварки) являются сила тока и напряжение на дуге, скорость подачи про-

волоки, скорость сварки. С увеличением тока растёт производительность процесса наплавки. Однако увеличение тока приводит к увеличению глубины проплавления и образованию высоких и узких валиков. Напряжение при данном токе определяет форму наплавленного валика. Чем больше напряжение, тем шире валик и меньше глубина проплавления. При скорости наплавки в диапазоне 20–40 м/ч глубина проплавления практически не меняется. При повышении скорости до 60 м/ч происходит уменьшение глубины проплавления. Скорость подачи электродной проволоки тесно связана с силой сварочного тока и напряжением дуги. Для устойчивого процесса сварки скорость подачи электродной проволоки должна быть равна скорости её плавления.

Форма шва (рис. 4.2) определяется глубиной провара (h), шириной валика (e), высотой валика (q) и коэффициентом формы глубины провара $k_n = e/h$ и коэффициентом формы усиления шва (валика) $k_y = e/q$.

Для качественных швов $k_n > 1,3$, а $k_y = 6-10$.

При наплавке валиков $k_n > 5$, а $k_y = 2,5-4$.

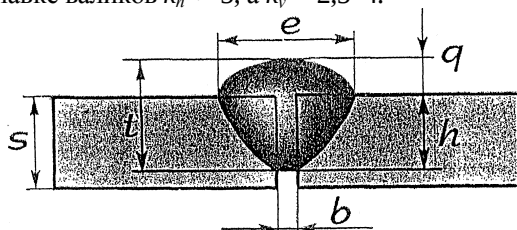


Рис. 4.2. Форма шва

Автоматической принято называть сварку (наплавку) с механизированным возбуждением и поддержанием дуги, механизированной подачей присадочных материалов в зону плавления и механизированным перемещением дуги вдоль шва (валика). Широкое применение в промышленности получил самоходный универсальный сварочный автомат типа АБС (рис. 4.3). Этот автомат предназначен для автоматической сварки (наплавки) под флюсом продольных и кольцевых швов.

Аппарат состоит из трех узлов А, Б и С, каждый из которых специализирован для выполнения определенных операций.

Узел А — это простейшая подвесная сварочная головка, которая выполняет функции подачи электродной проволоки в зону дуги и подводки тока к электродной проволоке.

Узел Б представляет собой бункер с флюсоаппаратом для подачи и отсоса флюса и подъемный механизм для передвижения головки в вертикальном направлении. На бункере крепится кассета с электродной проволокой.

Узел С – это самоходная тележка, осуществляющая передвижение головки вдоль свариваемого изделия.

Используя только узлы А и Б, можно получить тяжелую подвесную головку АБ, снабженную механизмом для подъема и опускания головки с флюсоаппаратом.

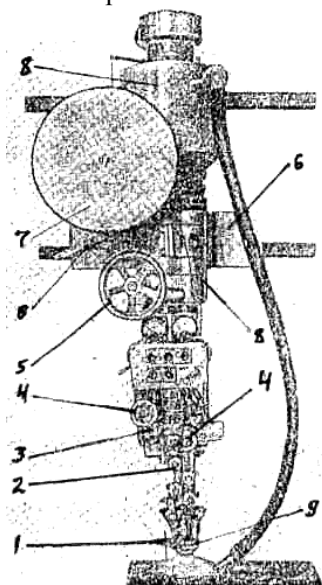


Рис. 4.3. Универсальный сварочный аппарат АБС:

- 1 – указатель; 2 – мундштук;
- 3 – механизм подачи; 4 – корректор;
- 5 – маховик вертикального подъема;
- 6 – ручка фрикциона; 7 – кассета;
- 8 – флюсоаппарат;
- 9 – направляющая воронка

и под действием пружины прижимаются к свариваемым кромкам. Вертикальное перемещение роликов под действием пружин необходимо для компенсации перекоса изделия и перехода через прихватки.

Подъемный механизм служит для регулирования уровня головки над изделием. При помощи фланца головка прикрепляется к станку или самоходной тележке. Фланец поворачивается относительно корпуса, и это даёт возможность осуществлять поворот всей головки относительно тележки или станка соответственно на 90 и 180°.

Цилиндр с помощью двух реечных пар перемещается в корпусе в вертикальном направлении, что позволяет регулировать высоту уровня сварки.

Подающий механизм состоит из электродвигателя и редуктора. Редуктор состоит из одной червячной и двух цилиндрических пар, одна из которых является сменной и служит для изменения скорости подачи электрода.

Настройка механизма правки электродной проволоки осуществляется поперечным перемещением двух правых роликов, расположенных на эксцентриковых осях. Для удобства заправки электродной проволоки все левые ролики при помощи эксцентриков отводятся в сторону. Мундштук головки снабжен направляющей воронкой 9, обеспечивающей надежную концентрическую сыпку флюса и являющейся базой для крепления копира.

Направление движения электрода по свариваемым кромкам производится либо вручную с помощью поперечного корректора 4 и указателя 1, либо механически при помощи специального трехроликового копира, жёстко связанного с мундштуком. Ролики копира катятся по разделке впереди дуги

На верхней части полого цилиндра устанавливаются аппарат 8 и касета 7 для электродной проволоки. Внутренняя поверхность цилиндра используется как сборник флюса, откуда через штуцер с шибером флюс поступает в зону сварки.

Флюсоаппарат 8 служит для непрерывной подачи флюса в зону сварки и отсоса нерасплавленного флюса. Флюсоаппарат работает от сети сжатого воздуха давлением 4–5 ати.

Самоходная тележка служит для передвижения головки вдоль шва и представляет собой трехроликовую тележку велосипедного типа, которая движется по рельсовому пути, состоящему из двух швеллеров, расположенных в вертикальной плоскости. Тележка приводится в движение от асинхронного двигателя.

Скорость подачи сварочной проволоки в зону сварки и скорость сварки определяются соотношением ведомых и ведущих шестерён механизма подачи проволоки и механизма перемещения сварочной головки (табл. 4.1 и 4.2).

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и работу сварочной головки типа А, Б, С. Порядок настройки и управления сварочной головкой.
2. Собрать образцы из металлических пластин и установить их на наплавочный стол.
3. Проверить настройку аппарата на заданные режимы.
4. Произвести наплавку валиков в соответствии с условиями опытов (различные режимы).
5. После наплавки и остывания всех валиков произвести замеры параметров h , b , c и определить по формулам коэффициенты k_{II} и $k_{У}$. Все данные занести в таблицу.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Описать устройство сварочного аппарата типа АБС.
3. Описать особенности сварки под слоем флюса и влияние параметров режима на форму сварных швов.

Таблица 4.1

Изменение скорости подачи сварочной проволоки в зависимости от сменных шестерён подающего механизма

Скорость подачи, м/ч	28,5	32	37	43	49	56	64	75	83	95	108	123	142	164	190	225
Число зубьев ведущей шестерни	16	18	20	22	24	26	26	30	32	34	36	38	40	42	44	46
Число зубьев ведомой шестерни	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16

Таблица 4.2

Изменение скорости сварки в зависимости от сменных шестерён механизма перемещения головки

Скорость сварки, м/ч	13,5	16	18,5	21,5	24,5	28	32	36,5	41,5	47,5	54	62	71	82	96	112,2
Число зубьев ведущей шестерни	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
Число зубьев ведомой шестерни	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16

4. Свести в таблицу режимы наплавки и результаты замеров и расчетов формы шва.

№ п/п	Режим наплавки			Диаметр проволоки d, мм	Род тока и полярность	Параметры валика, мм			k _п	k _у
	Напряжение U, В	Скорость наплавки V _н , м/ч	Скорость подачи V _{под} , м/ч			Ширина, е	Глубина провара, h	Усиление, q		

Лабораторная работа № 5

КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА

Цель работы. Изучение технологии контактной стыковой сварки, оценка влияния параметров режима на качество сварного соединения.

Оборудование и принадлежности:

1. Стыкосварочная машина АСИФ-50.
2. Прутки из низкоуглеродистой стали диаметром 6 мм.
3. Приспособление для испытания на угол загиба.
4. Наждачный круг для обрезки грата.
5. Разрывная машина УММ-10.
6. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика проведения работы

Сущность контактной сварки заключается в электронагреве заготовок в месте контакта за счёт повышенного сопротивления этого участка электрическому току и сжатия нагретых зон.

Тепловая энергия, выделяемая проходящим электрическим током через контакт соединенных деталей, может быть выражена следующей формулой:

$$Q = \int_0^t (2R_M + R_K + 2R_3) I^2 dt,$$

где R_M – сопротивление металла свариваемой детали, Ом; R_K – сопротивление контакта между деталями, Ом; R_{Σ} – сопротивление контакта между электродом и изделием, Ом; I – сила сварочного тока, А; d – диаметр детали, мм; t – время прохождения тока, с.

Полезной для процесса сварки является энергия, выделяемая в контакте ($I^2 R_K dt$), и энергия, выделяемая в толще металла ($2I^2 R_M dt$). Энергия, выделяемая на контактах между электродами и изделием, оказывает отрицательное влияние, так как расходуется на разогрев электродов и ускоряет их износ.

При контактной стыковой сварке (рис. 5.1) соединение свариваемых частей происходит по всей поверхности стыкуемых торцов.

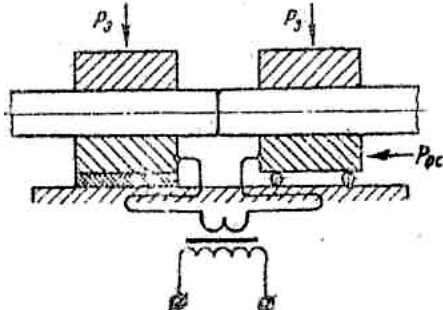


Рис. 5.1. Схема процесса стыковой сварки:
 P_3 – усилие зажатия деталей; P_{OC} – усилие осадки

Свариваемые детали закрепляют в медных зажимах машины. Правый зажим установлен на подвижной плите, перемещение которой и сжатие изделий силой P_{OC} осуществляются механизмом сжатия. Первичную обмотку трансформатора включают в сеть переменного тока (220 В или 380 В). Регулирование сварочного тока ступенчатое, для чего первичную обмотку трансформатора делят на несколько секций. Величина вторичного напряжения составляет 1–12 В. Чем меньше включено в сеть витков первичной обмотки, тем больше вторичное напряжение и вторичный (сварочный) ток.

Контактная стыковая сварка широко применяется в инструментальном производстве при изготовлении составного инструмента, для сварки проволоки, листов и лент при укрупнении рулонов или для осуществления непрерывных технологических процессов.

Стыковой сваркой сваривают детали круглых, квадратных и прямоугольных сечений из стали, меди, алюминия и их сплавов. Максимальная площадь поперечного сечения заготовок достигает 32000 мм². Стыковую сварку выполняют на специальных стыковых сварочных машинах.

Стыковая сварка может быть выполнена двумя способами: сопротивлением и оплавлением (непрерывным и прерывистым).

Сущность сварки *сопротивлением* состоит в том, что торцы свариваемых деталей сдавливают с усилием 200–500 Н. При включении тока в месте соприкосновения предварительно зачищенных торцов возникает электрический контакт. Так как сопротивление на участке контакта значительное, то здесь выделяется большое количество тепла (температура металла в зоне контакта достигает 1200–1250°C), в результате чего металл нагревается до пластического состояния. При непрерывном сдавливании (осадке) заготовок в месте контакта они свариваются. Этот способ требует тщательной зачистки торцов. Неравномерность нагрева и окисление металла на торцах понижают качество сварки сопротивлением, что ограничивает область её применения. Таким способом можно сваривать детали круглого и прямоугольного сечения площадью не более 250 мм².

Стыковая сварка *непрерывным оплавлением* включает 2 стадии: оплавление и осадка. Заготовки устанавливают в зажимах машины, включают ток и медленно сближают их. При этом торцы заготовок касаются в одной или нескольких точках. В местах касания образуются перемычки, которые мгновенно испаряются и взрываются, что сопровождается выбросом мелких капель металла. При дальнейшем сближении заготовок, образование и взрыв перемычек происходит и на упругих участках; когда вся поверхность свариваемых торцов оплавится и покроется слоем жидкого металла, прикладывают усилие осадки. В процессе сплавления заготовки укорачиваются на заданный припуск. Такой способ применяют при сварке тонкостенных труб, листов, рельсов. Стыковая сварка непрерывным оплавлением обеспечивает равномерный нагрев заготовок по сечению и позволяет получать стабильное качество стыка.

При сварке *прерывистым оплавлением* детали (сварка с подогревом), зажатые в машине, периодически смыкают и размыкают при постоянно включенном токе. Число замыканий в зависимости от сечения заготовок может быть от одного, двух до нескольких десятков. Торцы постепенно нагреваются до 800–900°C. Затем производят оплавление и осадку.

Применение прерывистого оплавления позволяет предупредить резкую закалку и получить пластичные стыки при сварке закаливающихся сталей; снизить требуемую мощность машины, сваривать заготовки больших сечений.

Стыковую сварку оплавлением применяют для изделий из углеродистых и легированных сталей с поперечным сечением 40000–60000 мм², а также цветных и разнородных металлов.

Для получения качественного стыкового соединения необходимо правильно выбрать технологические параметры режима сварки:

- сварочный ток I_{CB} , А, напряжение U , В;

- усилие осадки P_{OC} , МПа;
- время нагрева τ , с;
- припуск на осадку C_{OC} , мм;
- установочную длину l_1, l_2 , мм.

Сварочный ток оказывает большое влияние на качество сварки. При малом токе могут появиться непровары и включения окислов, слишком большой ток может привести к перегреву и пережогу металла, трещинам в зоне сварки. Сварочный ток подсчитывают как произведение плотности тока i на площадь поперечного сечения детали $S_{заг}$. Плотность тока возрастает с уменьшением площади поперечного сечения заготовок, времени сварки, повышением теплопроводности и снижением удельного электросопротивления металла и находится в пределах 3–300 А/мм² (табл. 5.1 и 5.2).

Время нагрева – время прохождения тока через заготовки, зависит от плотности тока и сечения заготовки (табл. 5.1 и 5.2). Завышенное время нагрева является одной из причин возникновения окислов в стыке и образования малопластичной перегретой структуры металла. Недостаточное время нагрева приводит к непровару.

Таблица 5.1

Плотность тока и время нагрева при сварке сопротивлением заготовок из углеродистой стали

$S_{заг}$, мм ²	7	25	50	100
i , А/мм ²	300	200	160	140
τ , с	0,3	0,8	1,0	1,5

Таблица 5.2

Плотность тока и время нагрева при сварке оплавлением заготовок из углеродистой стали

Способ сварки	$S_{заг}$, мм ²	i , А/мм*	τ , с
Непрерывное оплавление	100–800	3–50	8–30
	800–2000		20–55
Прерывистое оплавление (сварка с подогревом)	2000–5000	3–15	50–100
Примечание. Высокие значения i относятся к малым сечениям, а τ – к большим.			

Усилие (давление) осадки P_{OC} возрастает с увеличением сечения заготовок и с повышением жаропрочности свариваемого материала. Оно возрастает также с уменьшением температуры металла в околостыковых зонах, за счёт которых происходит пластическая деформация. При недостаточном давлении может появиться непровар, а при чрезмерном давлении возможно образование трещин в зоне сварки. Давление подсчитывают как произведе-

ние удельного давления на площадь поперечного сечения заготовок. При сварке сопротивлением углеродистых сталей давление осадки принимают равным 10–30 МПа. Значения давлений осадки при сварке плавлением различных материалов приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Давление осадки при сварке плавлением

Материал		Давление, МПа	
		Способ сварки	
		Непрерывным оплавлением	Оплавлением с подогревом
Сталь	Низкоуглеродистая	60–80	40–60
	Среднеуглеродистая	80–120	40–60
	Высокоуглеродистая	100–120	40–60
	Низколегированная	100–120	40–60
	Аустенитная	150–220	100–140
Чугун		80–100	40–60
Медь		250–400	-
Латунь		140–180	-
Бронза		120–150	-

Установочная длина – величина выступающих из губок зажимов машины концов деталей в начале сварки (рис. 5.2).

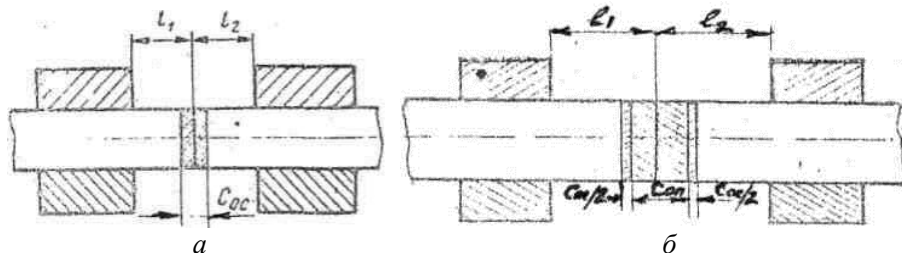


Рис. 5.2. Схема установки свариваемых деталей при стыковой сварке: а – сопротивлением; б – непрерывным плавлением; l_1, l_2 – суммарная установочная длина; $C_{оп}$ – припуск на оплавление; $C_{ос}$ – припуск на осадку

Установочная длина оказывает большое влияние на нагрев свариваемых деталей. При малой установочной длине заготовки прогреваются недостаточно, так как тепло интенсивно отводится в губки. Завышение длины сопровождается перегревом заготовок, увеличением длины деформируемого участка и искривлением свариваемых деталей. Обычно установочная длина принимается 0,5–2 диаметра стержня.

При сварке стержней установочная длина должна составлять 1,5 диаметра заготовки для низкоуглеродистых сталей, 2–2,4 – для низколегированных сталей. При сварке листов установочная длина зависит от тол-

щины листа и протяженности стыка. Например, для листа толщиной 2–8 мм установочная длина составляет 10–12 мм, при длине стыка 400–800 мм – 13–16 мм, при длине стыка 800–1000 мм – 14–17 мм.

Припуски на осадку и оплавление должны быть такими, чтобы обеспечить полный провар свариваемых заготовок и получение в зоне сварки плотного металла. Если припуски недостаточны, то в стыке остаются раковины и наблюдаются непроваренные участки. При завышении величины припусков качество стыков также понижается вследствие искривления волокон и перегрева металла.

Припуск на сварку сопротивлением берётся небольшой, так как он расходуется только на осадку. Например, для деталей диаметром или со стороной квадрата до 100 мм он составляет соответственно 0,3–0,5 диаметра и 0,15–0,2 стороны квадрата.

Припуск при сварке оплавлением расходуется на оплавление и осадку. Для листов полос из лент из углеродистых и низколегированных сталей значение припуска принимают в зависимости, главным образом, от их толщины. При определении припуска необходимо учитывать также зазор между свариваемыми поверхностями.

Для получения качественной сварки выбирают оптимальный режим и производят контрольную проверку сваренных стыков на разрыв и угол загиба.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой выбора параметров режима контактной стыковой сварки.
2. Получить у мастера 8 прутков из низкоуглеродистой стали диаметром 6 мм для выполнения четырех стыковых соединений.
3. Выбрать способ стыковой сварки и рассчитать необходимые параметры режима сварки. Результаты занести в таблицу отчета.
4. Ознакомиться с работой стыкосварочной машины и выполнить по два стыковых соединения при напряжении 1,1 и 1,7 В.
5. Для каждого режима сварки произвести испытание одного образца на растяжение, а другого – на угол загиба.
6. Выполнить визуальный контроль качества сварного соединения.
7. Написать отчет.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Теоретические сведения:
 - 1) Сущность и применение контактной стыковой сварки.
 - 2) Основные параметры стыковой сварки.
 - 3) Причины возникновения одного из следующих дефектов стыковой сварки (по указанию преподавателя):

- непровар;
 - перегрев металла;
 - трещины в зоне сварки;
 - смещение торцов заготовок;
 - неметаллические включения (окислы) в зоне сварки.
3. Краткая информация о практической части работы.
 4. Составить сводную таблицу.

№ п/п	Способ стыко- вой сварки	Марка материа- ла и диаметр прутка, мм	Параметры режима сварки				Дефекты сва- рочного соеди- нения	Угол загиба, град	$\sigma_{\text{в}}$, МПа
			U, В	$P_{\text{ос}}$, Н	$l_1 = l_2$, мм	$C_{\text{ос}}$, мм			

Лабораторная работа № 6

ТОЧЕЧНАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Цель работы. Изучение технологии точечной контактной сварки и оценка влияния параметров режима на качество сварного соединения.

Оборудование и принадлежности:

1. Электрическая машина для точечной контактной сварки марки МТП-50-7.
2. Разрывная машина УММ-10.
3. Набор пластин из листовой малоуглеродистой стали толщиной 0,5–2,5 мм.
4. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика проведения работы

Точечная сварка – это один из видов электрической контактной сварки для получения нахлестанных соединений, при точечной сварке детали зажимают с некоторым усилием между медными электродами (см. рисунок), к которым подводится ток от сварочного трансформатора. Нижний электрод устанавливают неподвижно, а верхний перемещают с помощью механизма сжатия и создают необходимое давление P .

Нагрев металла происходит при замыкании сварочной цепи. Наибольшее количество теплоты выделяется на участке наибольшего сопротивления цепи, т.е. в месте контакта изделий, которое нагревается до образования ядра из расплавленного металла. После выключения тока и осадки, сварочная ванна кристаллизуется и образуется сварная точка.

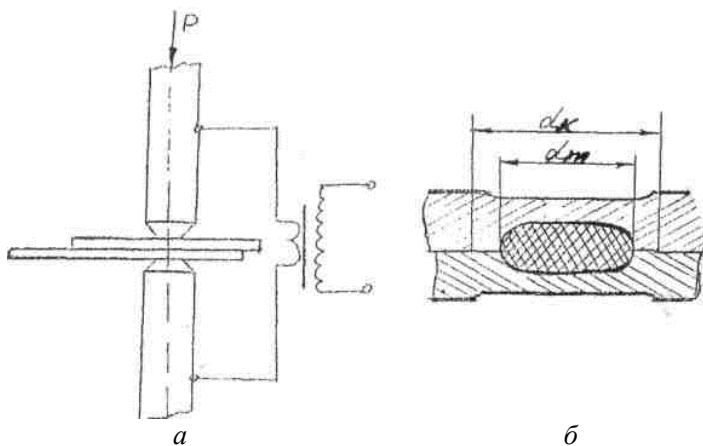


Схема процесса точечной сварки (а) и сечения сварной точки (б):
 d_k – диаметр литого ядра; d_m – диаметр сварной точки

Силу тока и усилие сжатия заготовок устанавливают постоянными или меняют их определенным образом в течение цикла сварки одной точки.

При точечной сварке одновременно можно сваривать одну, две или несколько точек, их положение определяется расположением электродов точечной машины. Толщина свариваемых металлов колеблется от 0,5 до 5,0 мм. Точечная сварка широко применяется для изготовления штамповочных соединений в автомобилестроении и вагоностроении, а также при изготовлении арматуры железобетонных изделий, плоских и угловых сеток и каркасов. Сварку используют для соединения листовых конструкций, пересекающихся стержней или стержней с плоскими элементами.

Перед сваркой поверхности свариваемых деталей очищают с обеих сторон. Окалина, ржавчина, грязь и масло при точечной сварке не допускаются.

Точечная сварка производится на мягких и жёстких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью сварки, плавным нагревом и уменьшенной мощностью. Эти режимы применяются для сварки углеродистых и низколегированных сталей и сталей, склонных к закалке. Для мягких режимов:

$$i = 80\text{--}160 \text{ А/мм}^2; P = 20\text{--}80 \text{ МПа}; \tau = 0,8\text{--}2,5 \text{ с.}$$

Жёсткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и концентрированным нагревом. Эти режимы применяют для сварки нержавеющей сталей, алюминия, меди и ультратонкого металла толщиной до 0,1 мм. Для жёстких режимов:

$$i = 120\text{--}360 \text{ А/мм}^2; P = 50\text{--}100 \text{ МПа}; \tau = 0,001\text{--}2,5 \text{ с.}$$

Основные параметры точечной сварки следующие:

- 1) сварочный ток (I_{CB});
- 2) плотность тока (i);
- 3) давление на электродах (P);
- 4) время сварки (τ);
- 5) диаметр контактной поверхности электрода ($d_э$).

Сварочный ток влияет на количество выделяющегося тепла и на процесс нагрева металла. Требуемый ток определяют в зависимости от толщины свариваемых листов и давления на электродах. Величину сварочного тока находят умножением выбранной плотности тока (мягкий или жесткий режим) на площадь контактной поверхности электрода.

Диаметр контактной поверхности электрода зависит, в основном, от толщины свариваемого металла. При большой разнице в толщине листов со стороны более толстого листа располагают электрод с большим диаметром. Диаметр контактной поверхности электрода можно подсчитать по эмпирическому соотношению

$$d_э = 2\delta + 3 \text{ мм},$$

где δ – толщина одного листа, мм.

Давление на электродах оказывает существенное влияние на прочность сварной точки. С увеличением усилия сжатия при неизменных остальных параметрах уменьшаются сопротивление сварочного контакта, выделение тепла в нём и размеры сварной точки. При увеличении усилия сжатия необходимо увеличивать сварочный ток и продолжительность его протекания.

Время сварки в большой степени зависит от толщины металла. Оно существенно влияет на размеры сварной точки и её прочность. Значительное увеличение продолжительности включения тока может вызвать перегрев металла, и даже выплеск.

При неправильно выбранном режиме точечной сварки возможно образование дефектов (см. таблицу).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой выбора параметров режима сварки.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.
3. Подготовить образцы к сварке.
4. Ознакомиться с работой машины для точечной сварки.
5. Установить необходимые параметры режима сварки (цикл сварки одноимпульсный с последующей проковкой):
 - сварочный ток ставится с помощью рукояток пакетного переключателя ступеней трансформатора в виде вторичного напряжения;
 - усилие сжатия электродов регулируется давлением сжатого воздуха с помощью редуктора, установленного на машине; величина усилия

сжатия, соответствующая этому давлению, определяется по таблице, имеющейся на машине;

- время сварки регулируется в пределах 0,3–6,75 с путём установки переключателя в любое из 15 положений;

- диаметр контактной поверхности электродов остаётся постоянным в ходе всей работы и составляет 16 мм;

- время сжатия остаётся постоянным в ходе всей работы и составляет $\tau_{сж} = 0,16$ с (переключатель «сжатие» установить в положение «3»);

- время проковки остаётся постоянным в ходе всей работы и составляет $\tau_{пр} = 0,1$ с (переключатель «проковка» установить в положение «2»);

- пауза остаётся постоянной в ходе всей работы и составляет $\tau_{п} = 1,35$ с (переключатель «пауза» установить в положение «15»).

6. Произвести сварку пластинок, определить прочность сварных точек и оценить качество сварки.

7. Написать отчет.

Дефекты точечной сварки и причины их возникновения

Дефекты	Причины возникновения дефектов
Непровар	Низкий сварочный ток, малая продолжительность включения тока, завышенное усилие сжатия, велик диаметр контактной поверхности электрода
Перегрев	Недостаточное усилие сжатия, малая площадь контактной поверхности электродов, большой ток, большая продолжительность включения тока
Сквозные прожоги	Включение или выключение сварочного тока при низком усилии сжатия, перегрев металла за счёт большого тока и слишком продолжительного времени включения тока
Кольцевые трещины	Повышенная продолжительность включения тока
Глубокая вмятина от электродов	Слишком высокий сварочный ток, большое усилие сжатия, большая продолжительность включения тока, слишком мал диаметр контактной поверхности электродов

Содержание отчёта

1. Цель работы.

2. Теоретические сведения:

1) Сущность и применение точечной контактной сварки.

2). Цикл одноимпульсной сварки с последующей проковкой (график), краткое описание процесса.

3) Основные параметры стыковой сварки.

- 4) Назвать все дефекты, которые возникают при несоблюдении следующих параметров сварки (по указанию преподавателя):
 - размеры контактной поверхности электродов;
 - усилие сжатия;
 - усилие проковки;
 - время сварки (включения тока);
 - время проковки;
 - сила сварочного тока;
 - качество подготовки свариваемых поверхностей.
3. Краткая информация о выполнении практической части работы.
4. По результатам работы заполнить таблицу.

Номер варианта	Материал пластин	Толщина стенок, мм	Напряжение, В	Усилие сжатия электродов, кН	Время сварки, с	Прочность сварной точки, МПа	Дефекты сварного соединения	Причины появления дефектов

Лабораторная работа № 7

ГАЗОВАЯ СВАРКА

Цель работы. Ознакомиться со сварочным оборудованием и принципом разработки технологии газовой сварки.

Оборудование и принадлежности:

1. Ацетиленовый и кислородный баллоны.
2. Редукторы.
3. Сварочная горелка.
4. Комплект шлангов.
5. Образцы из различных материалов:
 - низкоуглеродистая сталь разной толщины;
 - алюминий;
 - чугун.
6. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика выполнения работы

Газовая сварка относится к сварке плавлением. Источником тепла является высокотемпературное пламя, образующееся в результате сгорания горючего газа в смеси с техническим кислородом.

В момент расплавления основного металла в пламя вносят прутки из присадочного металла, который также плавится и образует вместе с основным расплавленным металлом сварное соединение. Газовую сварку широко используют при ремонте и изготовлении тонкостенных изделий из стали (толщиной от 0,2 до 5,0 мм) и сплавов цветных металлов, наплавочных работах, исправлении дефектов чугуна и стального литья.

В качестве горючих газов могут быть использованы ацетилен, водород, природный газ, пары бензина и керосина. В сварке обычно применяют ацетилен, так как при горении в технически чистом кислороде он даёт наиболее высокую температуру пламени (3150°C) и выделяет наибольшее количество тепла. Ацетилен получают в специальных генераторах из карбида кальция при взаимодействии его с водой.

Баллоны для кислорода и других сжатых газов представляют собой стальные цилиндрические сосуды.

Баллоны различаются по вместимости, конструктивным особенностям, окраске. Наиболее распространены баллоны вместимостью 40 дм³. Кислородный баллон окрашивают в голубой цвет, ацетиленовый – в белый. Для баллонов с аргоном применяют серый цвет, с углекислым газом и воздухом – чёрный, с водородом – темно-зелёный, с прочими горючими газами – красный. Ацетилен имеет большую взрывоопасность, поэтому хранится в баллонах в растворённом состоянии. Ацетиленовые баллоны, заполненные пористой массой (древесный уголь, пемза), наполняются ацетоном, затем подаётся газообразный ацетилен. Ацетилен хорошо растворяется в ацетоне (до 23 объёмов) и взрывоопасность его уменьшается.

Каждый баллон снабжён запорным вентилем, позволяющим сохранить в баллоне сжатый или сжиженный газ. К вентилю присоединяется редуктор.

Редукторы предназначены для понижения давления газа, выходящего из баллона, и поддержания давления постоянным, так как сварка осуществляется при постоянном рабочем давлении.

Принцип действия и устройство редуктора показаны на рис. 7.1.

Газ из баллона или сети поступает в камеру 8. При вращении нажимного винта 2 по часовой стрелке он будет ввёртываться в крышку 1 и сжимать пружину 3, которая выгибает резиновую мембрану 4, передвигает диск со штоком 5 и поднимает клапан 9, который при своём подъёме сжимает пружину 7 так, что газ из камеры 8 может поступать в камеру рабочего (низкого) давления. Через запорный вентиль газ может выходить из редуктора в горелку или резак.

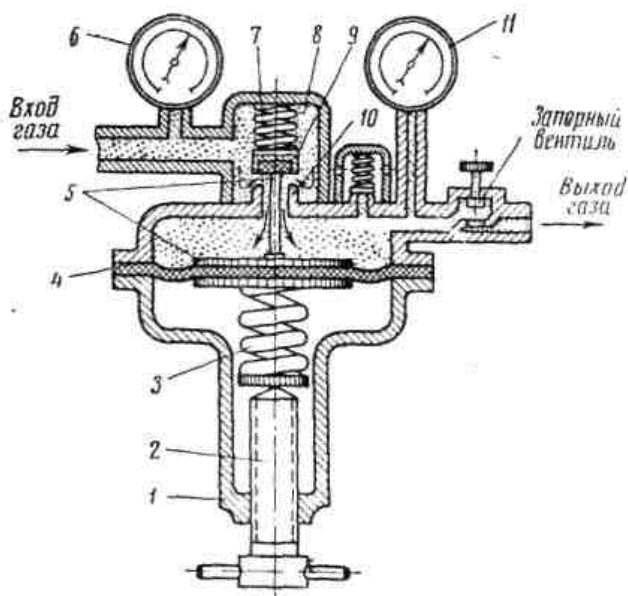


Рис. 7.1. Схема редуктора обратного действия

Если выход газа через запорный вентиль уменьшится, то давление в камере низкого давления повысится, мембрана 4 выправится, пружина 3 сожмётся, диск со штоком 5 опустится вниз и клапан 9 под действием пружины 7 перекроет седло 10, прекратив поступление газа в камеру низкого давления. При последующем увеличении отбора газа, давление в камере низкого давления понижается, мембрана 4 вновь прогибается вверх и процесс повторяется.

Манометры 6 и 11 служат для измерения давления газа соответственно в камере высокого и низкого давления.

Рукава (шланги) служат для подвода газа в горелку или резак. Они должны обладать достаточной прочностью, выдерживать давление газа, быть гибкими и не стеснять движений сварщика. Шланги для кислорода испытывают на давление 200 МПа, для ацетилена – 50 МПа. Длина шланга от 8 до 20 м.

Сварочная горелка – это устройство, предназначенное для смешивания горючего газа с кислородом и получения сварочного пламени.

По способу подачи газа в смесительную камеру различают горелки инжекторного и безынжекторного типов.

Общий вид горелок показан на рис. 7.2 и 7.3.

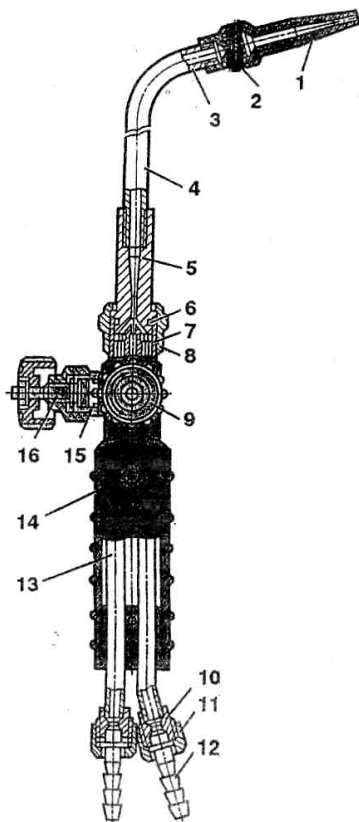


Рис. 7.2. Инжекторная горелка:

- 1 – мундштук; 2 – ниппель мундштука;
- 3 – наконечник; 4 – трубчатый мундштук;
- 5 – смесительная камера; 6 – резиновое кольцо; 7 – инжектор; 8 – накидная гайка;
- 9 – ацетиленовый вентиль; 10 – штуцер;
- 11 – накидная гайка; 12 – шланговый ниппель; 13 – трубка; 14 – рукоятка;
- 15 – сальниковая набивка;
- 16 – кислородный вентиль

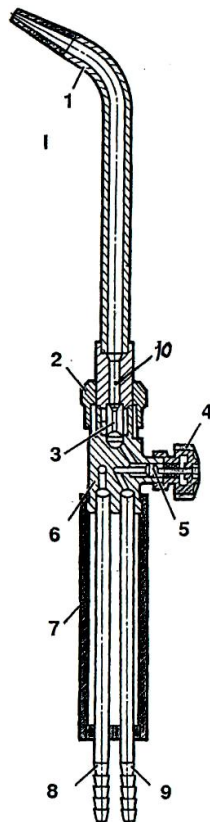


Рис. 7.3. Безинжекторная горелка:

- 1 – наконечник; 2 – накидная гайка; 3 – дозирующие каналы;
- 4 – вентиль; 5 – игольчатый шпindel; 6 – корпус;
- 7 – рукоятка; 8 – кислородный ниппель; 9 – ацетиленовый ниппель; 10 – смесительная камера

Технология газовой сварки

Технология газовой сварки состоит в правильном выборе основных параметров режима сварки.

1. Способ сварки

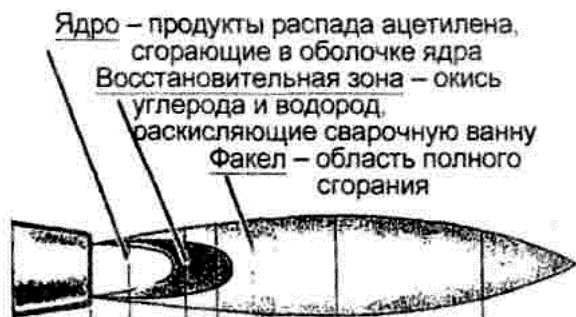
Существуют два способа сварки: левый и правый.

При левом способе сварки пламя сварочной горелки направлено от шва, перемещение горелки производится справа налево, а присадочная проволока находится перед пламенем горелки. Левая сварка применяется для сварки легкоплавких металлов, а также сталей толщиной до 5 мм.

При правом способе сварки пламя сварочной горелки направлено на шов, перемещение горелки осуществляется слева направо, а присадочная проволока находится за пламенем. Правый способ применяется для сварки сталей толщиной более 5 мм.

2. Сварочное пламя

Сварочное пламя имеет строение, представленное на схемах.



В зависимости от соотношения подаваемых в горелку газов различают три вида пламени:

- *нормальное* (соотношение ацетилена и кислорода от 1:1 до 1:1,1).



Ядро – резко очерченное, цилиндрической формы с плавным закруглением, ярко светящейся оболочкой, четко выражены все три зоны. Используют для сварки большинства сталей, сплавов и цветных металлов;

- *науглероживающее* (соотношение ацетилена к кислороду 1:0,95, т.е. избыток ацетилена).



Ядро теряет резкость очертания, на конце появляется зеленый венчик, восстановительная зона бледнеет и почти сливается с ядром. Факел желтеет. Используют для сварки чугуна, наплавки твердыми сплавами;

- *окислительное* (соотношение ацетилена к кислороду 1:1,3, т.е. избыток кислорода).



Ядро конусообразное, укороченное, имеет менее резкие очертания, бледнеет. Пламя – синевато-фиолетовое, горит с шумом. Все зоны сокращаются по длине. Окисляет металл. Шов получается хрупким и пористым. Используют при сварке латуни.

Мощность пламени характеризуется количеством ацетилена, проходящего за 1 ч через горелку, необходимым для расплавления 1 мм толщины свариваемого металла. Регулируется наконечниками и вентилями горелки.

Режимы газовой сварки

Основные параметры режима: мощность пламени, вид пламени, диаметр присадочной проволоки.

Выбор тепловой мощности пламени

Мощность пламени выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и его теплофизических свойств и регулируют подбором наконечника горелки.

Номер наконечника горелки	000	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Толщина свариваемой низкоуглеродистой стали, мм	0,05–0,1	0,1–0,25	0,2–0,5	0,5–1,0	1,0–2,0	2,0–4,0	4,0–7,0	7,0–11,0	11,0–17,0	17,0–30,0	30,0–80,0	Свыше 80

Определение диаметра присадочной проволоки

Для сварки низко- и среднеуглеродистой стали диаметр присадочной проволоки определяют по формулам в зависимости от способа сварки и толщины металла (S , мм):

- при левом способе $d_{II} = S/2 + 1$, мм;
- при правом способе $d_{II} = S/2$, мм.

Определение вида пламени

Вид пламени регулируют и устанавливают на глаз в зависимости от материала свариваемых деталей (см. таблицу).

Определение вида пламени

Показатель		Свариваемый металл							
		Углеродистая сталь	Легированная сталь	Чугун	Медь	Латунь	Алюминий и его сплавы	Цинк	Бронза
Удельный расход (л/ч) на 1 мм толщины металла	Ацетон	100–130	75	100–120	150–200	100–130	75	15–20	70–150
	Кислород	110–140	80–85	90–110	165–220	135–175	80–85	20–25	80–165
Соотношение ацетилена и кислорода		1:1,1	1:1,1	1:0,9	1:1,1	1:1,3	1:1,1	1:1,1	1:1,1

Порядок зажигания горелки

1. При открытых вентилях горелки установить рабочее давление по манометру редуктора (средние значения: 4 кгс/см² для кислорода и 1 кгс/см для ацетилена) в соответствии с толщиной свариваемого металла. Закрывать вентили.
2. Открыть на четверть оборота кислородный вентиль, а затем на один оборот ацетиленовый вентиль.
3. Поджечь горючую смесь. Пламя должно гореть устойчиво, не отрываясь от мундштука.
4. Пламя регулируют ацетиленовым вентилем при полностью открытом кислородном вентиле.
5. По мере нагревания мундштука может образоваться пламя с избытком кислорода. Чтобы исключить это, создают запас ацетилена. Необходимо убедиться в его наличии. При этом средняя светящаяся зона пламени должна быть примерно в 4 раза больше длины ядра. Это соответствует 15%-му избытку ацетилена в пламени.

Если при зажигании смеси горелка даёт хлопок или при полном открытии ацетиленового вентиля появляется черная копоть, надо проверить:

- 1) затянута ли накидная гайка;
- 2) достаточно ли давление кислорода;
- 3) нет ли воды в шлангах;
- 4) не перекручены ли (не придавлены ли) шланги.

При хлопках горелку нужно выключить: перекрыть сначала ацетиленовый вентиль, а затем кислородный вентиль. Иногда хлопки и обратные удары вызываются перегревом мундштука после длительной работы. Тогда горелку нужно погасить и охладить мундштук в воде. При частой прочистке мундштука его отверстие разрабатывается. Кроме того, он обгорает в процессе сварки. Сильно разработанный мундштук надо заменить.

Порядок выполнения работы

1. Изучить оборудование, применяемое для газовой сварки.
2. Ознакомиться с характеристикой газового пламени и его строением.
3. Изучить порядок выбора параметров технологии газовой сварки.
4. Ознакомиться с техникой газовой сварки. Заварить образец и дать оценку сварного шва по внешнему виду.
5. Составить отчет.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Описать и зарисовать строение и свойства газового пламени, конструкции газовых горелок и аппаратуры, а также порядок выбора параметров технологии газовой сварки.
3. Описать технику газовой сварки и качество опытных сварных швов. Отметить дефекты (если имеются), причину их возникновения и пути устранения.

Лабораторная работа № 8

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА СТАЛИ

Цель работы. Ознакомиться с оборудованием, применяемым для кислородной резки стали, изучить условия резки металлов, ознакомиться с техникой выполнения резки.

Оборудование и принадлежности:

1. Баллоны с кислородом и ацетиленом.
2. Редукторы.

3. Бачок для керосина, оборудованный манометром и насосом.
4. Керосиновый резак.
5. Ацетиленовый резак.
6. Комплект шлангов.
7. Образцы из различных материалов:
 - низкоуглеродистая сталь;
 - алюминий;
 - чугун.
8. Инструкция по технике безопасности.

Содержание и методика выполнения работы

Кислородная резка является основным, наиболее широко применяемым методом обработки газовым пламенем.

Кислородная резка основана на сгорании металла в струе технически чистого кислорода. Сущность этого способа резки заключается в том, что металл вначале нагревается до температуры, близкой к температуре плавления (горения в кислороде), а затем сжигается в струе кислорода, и этой же струей выдуваются из места реза образовавшиеся окислы (продукты горения). Нагрев металла при резке осуществляется пламенем, которое образуется при сгорании какого-либо горючего газа в кислороде. Кислород, который подается на нагретый металл и сжигает его, называется режущим кислородом. Для того, чтобы металл резался кислородом, он должен удовлетворять следующим условиям:

- 1) температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления;
- 2) окислы металла должны иметь температуру плавления ниже, чем температура плавления самого металла;
- 3) металл не должен обладать высокой теплопроводностью;
- 4) окислы металла должны обладать высокой жидкотекучестью.

Такие металлы, как медь, алюминий и их сплавы, а также чугун не удовлетворяют всем вышеперечисленным условиям и поэтому не поддаются кислородной резке.

Для кислородной резки применяют кислород и горючие газы (ацетилен, водород, коксовый газ и др.).

Особо важную роль при резке имеет чистота кислорода. Для резки необходимо применять кислород с чистотой 98,5-99,5%. С понижением чистоты кислорода очень сильно снижается производительность резки и увеличивается расход кислорода.

По назначению кислородная резка делится на разделительную резку и поверхностную.

Разделительная резка предназначена для вырезки различного рода заготовок деталей, для раскроя листов, для резки заготовок и для других работ, связанных с разрезкой металла на несколько частей. При выполнении разделительной кислородной резки необходимо учитывать требования, предъявляемые к точности резки и качеству реза. Большое влияние на качество реза и производительность резки оказывает подготовка металла под резку. Перед началом резки, листы подаются на рабочее место и укладываются на подкладки так, чтобы обеспечить беспрепятственное удаление шлаков из зоны реза. Поверхность металла перед резкой должна быть очищена.

При разделительной кислородной резке стали, окисление металла по толщине происходит неравномерно – верхние слои окисляются более интенсивно, чем нижние. Причиной этого являются: загрязнение режущего кислорода газами и парами, выделяемыми в резе при окислении металла, менее интенсивный непосредственный подогрев нижних слоёв металла подогревающим пламенем, падение кинетической энергии струи и увеличение её диаметра по мере удаления от режущего сопла. Вследствие этого окисление нижних слоёв металла происходит более широкой полосой и более медленно, чем верхних. Явление запаздывания процесса резки в нижних слоях металла принято называть отставанием. Величина отставания определяется по отклонению от вертикали бороздок (гребешков и впадин) на поверхности кромки реза. Особенно больших значений отставание достигает при резке больших толщин стали (50 мм и более).

Разметку вырезаемых деталей производят металлической линейкой, чертилкой и мелом. Перед началом резки необходимо установить давление газов на ацетиленовом и кислородном редукторах, подобрать нужные номера наружного и внутреннего мундштуков в зависимости от вида и толщины разрезаемого металла.

Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла. Малая скорость приводит к оплавлению разрезаемых кромок, а большая – к появлению не прорезанных до конца участков реза.

Поверхностная резка предназначена для разделки канавок на металле, для удаления поверхностных дефектов на отливках, прокате и сварных швах, для снятия поверхностного слоя металла и для ряда других работ.

По способу выполнения кислородная резка делится на ручную и машинную. Ручная резка выполняется вручную рабочим-резчиком с помощью газорезательных полуавтоматов и автоматов.

Для осуществления резки необходимо иметь горючий газ и кислород, которые подаются из баллонов (описаны в предыдущей работе) и далее по шлангам направляются к резаку.

Резаки служат для смешивания горючего газа с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи к разрезаемому металлу струи

режущего кислорода. Схема ацетиленокислородного резака для ручной резки показана на рис. 8.1.

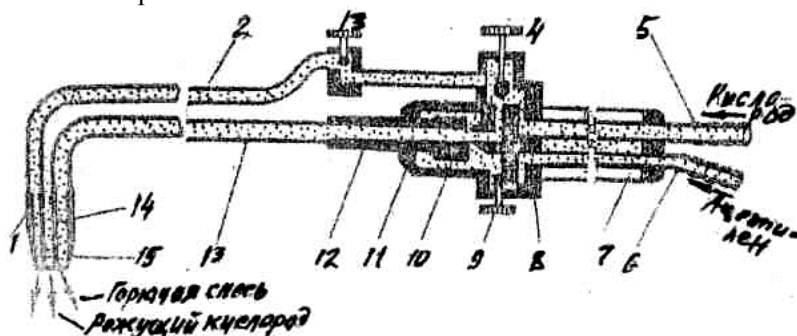


Рис. 8.1. Схема ацетиленокислородного инжекторного резака

Резак для ручной резки имеет рукоятку 7 и корпус 8, к которому при помощи накидной гайки 11 присоединена смесительная камера 12, в которую ввёрнут инжектор 10. Кислород, поступающий через шланговый ниппель 5, разветвляется по двум направлениям: кислород подогревающего пламени регулируется вентилем 4 и поступает в центральный канал инжектора 10. Выходя в смесительную камеру 12, струя кислорода создаёт разрежение в каналах, по которым через ниппель 6 и вентиль 9 подсасывается ацетилен. Горючая смесь по трубке 13 идёт в головку резака и, выходя через зазор между наружным 15 и внутренним 14 мундштуками, сгорает, образуя подогревающее пламя. Другая часть кислорода через вентиль 3 проходит в трубку 2 и поступает в головку 1, откуда выходит через центральный канал внутреннего мундштука 14, образуя режущую струю кислорода.

Давление кислорода устанавливают в пределах от 30 до 140 МПа, давление ацетилена – от 0,2 до 1 МПа.

При зажигании подогревающего пламени слегка открывают вентиль подогревающего кислорода, а затем вентиль ацетилена. Когда в ацетиленовом канале создается разрежение, зажигают горючую смесь у выходного отверстия мундштука и регулируют пламя кислородным и ацетиленовым вентилями.

Кроме ацетиленокислородного резака применяют керосинорезы.

Керосинорезы применяют для кислородной резки низкоуглеродистых сталей с использованием керосина в качестве горючего. Керосин подаётся в резак под давлением 5–20 МПа из бачка ёмкостью 5 дм³, снабженного ручным воздушным насосом, манометром и запорным вентилем. Схема работы резака с испарителем представлена на рис. 8.2.

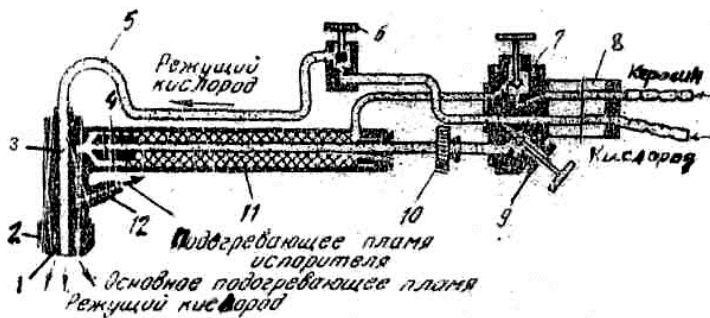


Рис. 8.2. Схема работы керосинореза

Керосин из бачки по шлангу через ниппель, трубку 8 и вентиль 7 поступает в асбестовую набивку испарителя 11. Кислород через вентиль 9, проходя инжектор 4, поступает в головку резака 3. В головке 3 кислород смешивается с парами керосина, образуя горючую смесь. Испаритель 11 нагревается пламенем вспомогательного мундштука 12. Образовавшаяся горючая смесь в смесительной камере выходит наружу через кольцевой зазор между мундштуками 1 и 2, образуя подогревающее пламя. Состав подогревающего пламени и его мощность регулируются вентилем 9 и маховичком 10, который изменяет положение инжектора в смесительной камере. Режущий кислород проходит через вентиль 6 и по трубке 5 направляется в центральный канал мундштука 1. В рукоятке размещены трубки для подвода керосина и кислорода. Керосин подается в резак под давлением 5–20 МПа из бачки ёмкостью 5 дм³, снабженного ручным воздушным насосом, манометром и запорным вентилем.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с применяемым оборудованием.
2. Изучить сущность и условия кислородной резки.
3. Ознакомиться с техникой резки образцов из различных материалов: сталь, алюминий, чугун.
4. Определить в процессе выполнения резки материал каждого образца.

Содержание отчёта

1. Привести теоретические сведения:
 - сущность и виды кислородной резки;
 - условия кислородной резки.
2. Зарисовать схему процесса кислородной резки.
3. Описать, какой из вышеназванных материалов подвергается кислородной резке, какие материалы не режутся и по каким причинам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов / А.И. Акулов, В.П. Алёхин, С.И. Ермаков и др.; под ред. А.И. Акулова. 2-е изд. испр. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.: ил.
2. Жизняков С.Н., Сидлин З.А. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. М.: ЦТТ ИЭС им. Е.О. Патона, 2007. 360 с.
3. Виноградов В.М., Черепашин А.А., Шпунькин Н.Ф. Основы сварочного производства: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2008. 272 с.
4. Сварка. Резка. Контроль: справочник: В 2 т. / под общ. ред. Н.П. Алёшина, Г. Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004.
5. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов: учебник. М.: Академия, 2005. 336 с.
6. Сварочные материалы для дуговой сварки: справ. пособие: В 2 т. Т. 2: Сварочные проволоки и электроды / Н.Н. Потапов, Д.Н. Баранов, О.С. Каковкин и др.; под общ. ред. Н.Н. Потапова. М.: Машиностроение, 1993. 768 с.: ил.
7. Банников Е.А., Ковалёв Н.А. Сварочные работы: современное оборудование и технология работ. М.: АСТ: Астрель, 2008. 448 с. (Самоучитель).
8. Сварочные работы: практич. пособие для электрогазосварщика / сост. Е.М. Костенко. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. 240 с. (Книжная полка специалиста).
9. Кашенко Ф.Д. Основы сварочного производства: лаб. практикум. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2004. 62 с.

Учебное издание

Сергей Васильевич МИХАЙЛИЦЫН
Александр Иванович БЕЛЯЕВ
Алексей Викторович ЯРОСЛАВЦЕВ
Максим Александрович ШЕКШЕЕВ

ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА **Лабораторный практикум**

Учебное пособие

Редактор Т.А. Колесникова
Оператор компьютерной правки Е.А. Назарова

Подписано в печать 3.10.2013. Рег. № 19-13. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 3,75. Тираж 100 экз. Заказ 567.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»