

Департамент образования Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено  
цикловой комиссией  
Протокол заседания № 1  
от «31» августа 2021 г.  
Председатель цикловой комиссии  
Кобченко А.В.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению лабораторных работ  
по профессиональному модулю  
**ПМ.01 Подготовка и осуществление технологических процессов  
изготовления сварных конструкций**

**МДК 01.01 Технология сварочных работ**

по специальности  
**22.02.06 Сварочное производство**

**Квалификация техник**

Разработчик:  
Преподаватель  
Белгородский индустриальный  
колледж  
Баромыченко В.А.

Белгород 2021 г.

## Содержание

	Стр.
1. Пояснительная записка	3
1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе дисциплины	3
1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ	3
1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ	4
1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ	5
2. Тематическое планирование лабораторных работ	6
3. Содержание лабораторных работ	7
Лабораторная работа № 1. Технология газовой сварки	7
Лабораторная работа № 2. Поверхностная и разделительная резка	11
Лабораторная работа № 3. Строение сварочной дуги	18
Лабораторная работа № 4. Изучение влияний магнитных полей и ферромагнитных масс на устойчивость горения дуги	20
Лабораторная работа № 5. Система условного обозначения металлических электродов для ручной дуговой сварки и наплавки	25
Лабораторная работа № 6. Сварные швы и соединения	32
Лабораторная работа № 7. Исследование процесса сварки чугуна	41
Лабораторная работа № 8. Исследование процесса сварки алюминия и его сплавов	44
4. Информационное обеспечение обучения	48

## 1. Пояснительная записка

### 1.1. Краткая характеристика профессионального модуля, его цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе профессионального модуля.

Профессиональный модуль ПМ.01 Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 22.02.06 Сварочное производство.

Дисциплина изучается в III-VI семестрах. В целом рабочей программой предусмотрено 40 часов на выполнение лабораторных работ, что составляет 8,9 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 450 часов, при этом максимальная нагрузка составляет 675 часов, из них 225 часа приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении лабораторных работ по дисциплине МДК.01.01 «Технология сварочных работ», качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета.

### 1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ

Лабораторные работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение лабораторных работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении лабораторных работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

### 1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ

Курс лабораторных работ по дисциплине МДК.01.01 «Технология сварочных работ» предусматривает проведение 8 работ, посвященных изучению:

- технологии газовой сварки;
- технологии поверхностной и разделительной резки;
- процессов, происходящих в дуговом промежутке сварочной дуги;
- свойств сварочной дуги в зависимости от технологических условий сварки, рода и полярности тока;
- принципы классификации сварочных материалов, систему условного обозначения металлических электродов для ручной дуговой сварки и наплавки;
- видов сварных соединений и швов, научиться обозначению сварных швов на машиностроительных чертежах;
- процесса сварки чугуна;
- процесса сварки алюминия и его сплавов.

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с лабораторным оборудованием;
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

После выполнения лабораторной работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название лабораторной работы, ее цель;
- краткие, общие сведения об изучаемом лабораторном оборудовании;

- необходимый графический материал, указанный преподавателем при выполнении лабораторной работы (принципиальная схема лабораторной установки, графики);
- данные, полученные непосредственно из проводимых опытов;
- результаты обработки данных опытов с необходимыми пояснениями;
- графический материал, отображающий полученные в ходе опытов значения измеряемых величин;
- оценку результатов испытаний.

При работе в лаборатории необходимо руководствоваться инструкциями по технике безопасности, учитывающими все специфические особенности лаборатории.

В лаборатории нельзя находиться в отсутствие преподавателя или лица, ответственного за технику безопасности.

При нахождении в лаборатории следует находиться в рабочей зоне, указанной преподавателем. С самого начала необходимо убедиться в том, что испытательный стенд находится в полностью обесточенном (отключенном) состоянии.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо получить вводные инструкции преподавателя и внимательно ознакомиться с описанием лабораторного стенда и оборудованием.

**Внимание! Включать лабораторные установки и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!**

При обнаружении признаков неисправности, таких как: появление искрения, дыма, специфического запаха, следует немедленно отключить все источники электроэнергии и сообщить о случившемся преподавателю.

При возникновении реальной опасности травматизма для одного или нескольких присутствующих, участники испытания должны произвести срочное отключение лаборатории от всех источников электроэнергии выключением вводного автомата. Лаборатории должны иметь средства пожаротушения и оказания первой медицинской помощи. На первом занятии изучаются правила техники безопасности и проводится вводный инструктаж с последующей проверкой его усвоения, о чем свидетельствует запись в журнале по технике безопасности кабинета/лаборатории, подписываемый преподавателем, проводившем инструктаж, и всеми обучающимися.

#### **1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ**

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных и профессиональных компетенций:

ОК 02. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 03. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 04. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 05. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 06. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 08. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ПК 1.1. Применять различные методы, способы и приёмы сборки и сварки конструкций с эксплуатационными свойствами;

ПК 1.2. Выполнять техническую подготовку производства сварных конструкций;

ПК 1.3. Выбирать оборудование, приспособления и инструменты для обеспечения производства сварных соединений с заданными свойствами;

ПК 1.4. Хранить и использовать сварочную аппаратуру и инструменты в ходе производственного процесса.

- обоснованность и четкость изложения материала;
- уровень оформления работы.
- анализ результатов.

#### Критерии оценивания лабораторной работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

## 2. Тематическое планирование лабораторных работ

<b>Вид и название работы студента</b>	<b>Количество часов на выполнение работы</b>
Лабораторная работа №1 «Технология газовой сварки»	4
Лабораторная работа № 2 «Поверхностная и разделительная резка»	6
Лабораторная работа №3 «Строение сварочной дуги»	4
Лабораторная работа №4 «Изучение влияний магнитных полей и ферромагнитных масс на устойчивость горения дуги»	4
Лабораторная работа №5 «Система условного обозначения металлических электродов для ручной дуговой сварки и наплавки»	6
Лабораторная работа №6 «Сварные швы и соединения»	4
Лабораторная работа №7 «Исследование процесса сварки чугуна»	6
Лабораторная работа №8 «Исследование процесса сварки алюминия и его сплавов»	6
<b>Итого:</b>	<b>40</b>

### 3. Содержание лабораторных работ

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**

**Тема:** «Технология газовой сварки».

**Цель работы:** Изучить технологию газовой сварки.

**Содержание отчета:**

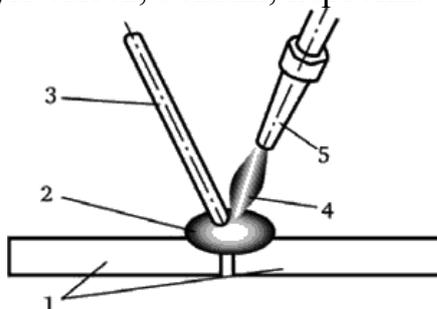
1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание левого и правого способа газовой сварки.
3. Решить задачу: Используя газовую сварку, необходимо соединить трубы диаметром 45 мм, толщиной стенки 3 мм. Назовите диаметр проволоки, количество слоев.

#### **Общие сведения**

Газопламенная обработка металлов - это ряд технологических процессов, связанных с обработкой металлов высокотемпературным газовым пламенем.

Газовая сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей деталей производится пламенем газов, сжигаемых на выходе из горелки для газовой сварки.

Газовое пламя чаще всего образуется в результате сгорания (окисления) горючих газов технически чистым кислородом (чистота не ниже 98,5%). В качестве горючих газов используют ацетилен, водород, метан, пропан, пропанобутановую смесь, бензин, керосин.



**Рисунок 1.1 – Газовая сварка:**

*1 – соединяемые детали; 2 – сварочная ванна; 3 – присадочный материал; 4 – газовое пламя; 5 – горелка*

В процессе сварки происходит расплавление основного и присадочного металлов. Регулирование степени их расплавления определяется мощностью горелки, толщиной металла и его теплофизическими свойствами. Газовой сваркой выполняют сварные соединения различного типа.

Металл толщиной до 2 мм соединяют встык без разделки кромок и без зазора или, что лучше, с отбортовкой кромок без присадочного металла.

Металл толщиной 2 ... 5 мм с присадочным металлом сваривают встык без разделки кромок с зазором между кромками.

При сварке металла свыше 5 мм используется V- или X-образная разделка кромок.

Тавровые и нахлесточные соединения допустимы только для металла толщиной до 3 мм. При большой толщине неравномерный разогрев приводит к существенным деформациям, остаточным напряжениям и возможности образования трещин.

Свариваемые кромки зачищают от загрязнений на 30 ... 50 мм механическими способами или газовым пламенем. Перед сваркой детали сварного соединения закрепляются в сборочно-сварочном приспособлении или собираются с помощью коротких швов прихваток.

Направление движения горелки и наклон ее к поверхности металла оказывает большое влияние на эффективность нагрева металла, производительность сварки и качество шва. Различают два способа сварки: правый и левый (рисунок 1.2). Левым способом газовой сварки называется такой способ, при котором сварку ведут справа налево, сварочное пламя направляют на еще несваренные кромки металла, а проволоку перемещают впереди пламени (рисунок 1.2 б). Левый способ наиболее распространен и применяется при сварке тонких и легкоплавких металлов. При левом способе сварки кромки основного металла предварительно подогревают, что обеспечивает хорошее перемешивание сварочной ванны. При этом способе сварщик хорошо видит свариваемый шов, поэтому внешний вид шва получается лучше, чем при правом способе.

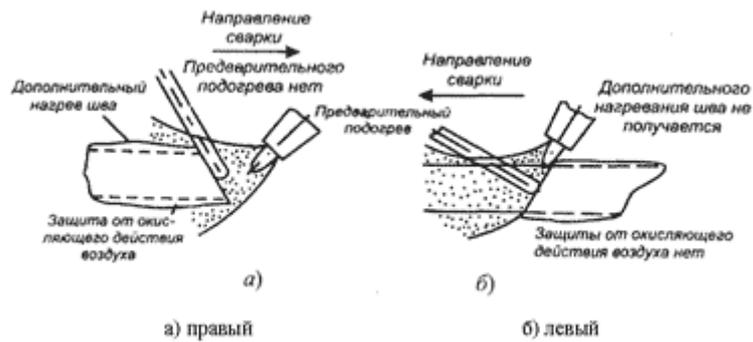
Правый способ (рисунок 1.2 а) – это такой способ, когда сварку выполняют слева направо, сварочное пламя направляют на сваренный участок шва, а присадочную проволоку перемещают вслед за горелкой. Так как при правом способе пламя направлено на сваренный шов, то обеспечивается лучшая защита сварочной ванны от кислорода и азота воздуха и замедленное охлаждение металла шва в процессе кристаллизации. Качество шва при правом способе выше, чем при левом. Правый способ экономичнее левого, производительность сварки при правом способе на 20-25% выше, а расход газов на 15-20% меньше, чем при левом.

Правый способ целесообразно применять при сварке деталей толщиной более 5 мм и при сварке металлов с большой теплопроводностью. Мощность сварочной горелки для стали при правом способе выбирается из расчета ацетилен 120-150дм<sup>3</sup>/ч., а при левом – 100-130дм<sup>3</sup>/ч. на 1 мм толщины свариваемого металла.

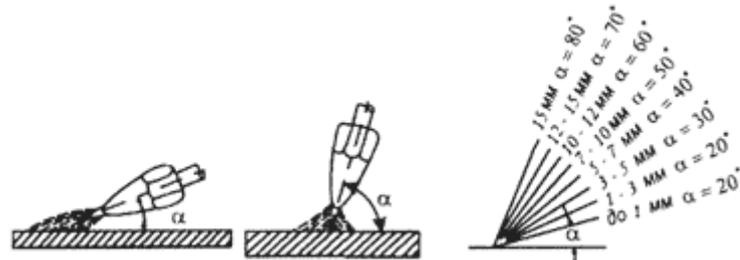
Диаметр присадочной проволоки выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки.

При левом способе диаметр присадочной проволоки  $S = S/2 + 1$  мм, а при правом  $S = S/2$  мм, где  $S$  – толщина свариваемого металла.

Тепловое воздействие пламени на металл зависит от угла наклона оси пламени к поверхности металла (рис. 1.3).

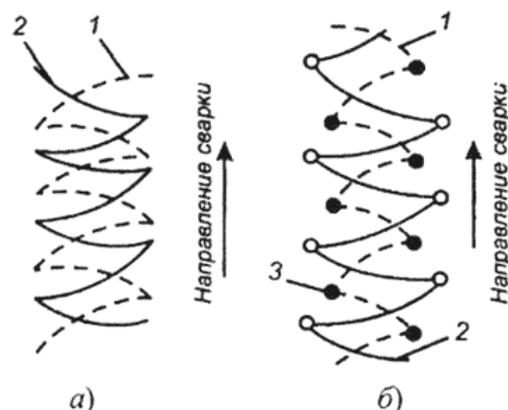


**Рисунок 1.2 – Способы перемещения горелки (способы газовой сварки)**



**Рисунок 1.3 – Применяемые углы наклона горелки в зависимости от толщины металла**

В процессе сварки горелке сообщаются колебательные движения и конец мундштука описывает зигзагообразный путь. Горелку сварщик держит в правой руке. При использовании присадочного металла присадочный пруток держится в левой руке. Присадочный пруток располагается под углом  $45^\circ$  к поверхности металла. Оплавленному концу присадочного прутка сообщают зигзагообразные колебания в направлении, противоположном движению мундштука (рисунок 1.4). Газовая сварка может производиться в нижнем, вертикальном и потолочном положениях. При сварке вертикальных швов "на подъем" процесс удобнее вести левым способом, горизонтальных и потолочных - правым способом.



**Рисунок 1.4 – Движения горелки и проволоки**

*а) при сварке стали толщиной более 3 мм в нижнем положении, б) при сварке угловых валиковых швов; 1 - движение проволоки; 2 - движение горелки; 3 - места задержек движения*

При необходимости использования флюса он наносится на свариваемые кромки или вносится в сварочную ванну оплавленным концом присадочного прутка (налипающим на него при погружении во флюс). Флюсы могут использоваться и в газообразном виде при подаче их в зону сварки с горючим газом.

***Контрольные вопросы:***

1. Укажите область применения газовой сварки.
2. Как сваривают детали в зависимости от толщины металла?
3. Расскажите о преимуществах и недостатках левой и правой сварки.
4. Каким должно быть положение горелки и присадочной проволоки при левой и правой сварке?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Тема: «Поверхностная и разделительная резка».

**Цель работы:** Ознакомиться с технологией поверхностной и разделительной резки.

#### **Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание характеристик разрезаемости углеродистых сталей.

#### **Общие сведения**

Различают два вида кислородной резки: разделительную и поверхностную.

Кислородной резке подвергаются только те металлы и сплавы, которые удовлетворяют определённым условиям:

1. Температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления. Этому требованию соответствуют низкоуглеродистые стали, температура воспламенения которых в кислороде около 1300°C, а температура плавления около 1500°C. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается повышением температуры воспламенения в кислороде и понижением температуры плавления. Поэтому с ростом содержания углерода кислородная резка сталей ухудшается.

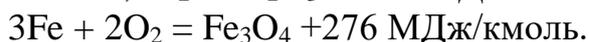
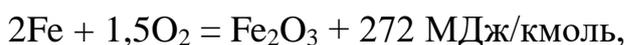
2. Температура плавления оксидов металлов, образующихся при резке, должна быть ниже температуры плавления самого металла. В противном случае тугоплавкие оксиды не будут выдуваться струёй режущего кислорода, что нарушит нормальный процесс резки. Этому условию не удовлетворяют высокохромистые стали и алюминий. При резке высокохромистых сталей образуются тугоплавкие оксиды с температурой плавления 2000°C, а при резке алюминия – оксид, температура плавления которого около 2050°C. Кислородная резка их невозможна без применения специальных флюсов.

Теплоты, которая выделяется при сгорании металла в кислороде, должно быть достаточно для поддержания непрерывного процесса резки. При резке стали около 70% теплоты выделяется в результате сгорания металла в кислороде и только 30% её поступает от подогревающего пламени резака.

Образующиеся при резке шлаки должны быть жидкотекучими и легко выдуваться из места реза.

3. Теплопроводность металлов и сплавов не должна быть слишком высокой, иначе теплота от подогревающего пламени и нагретого шлака интенсивно отводится от места реза, процесс резки становится неустойчивым и в любой момент может прерваться. При резке стали сгорание железа в кислороде происходит в соответствии со следующими реакциями:





Из уравнений следует, что на сгорание 1 кг железа расходуется 0,38 кг (0,27 л) кислорода, или на 1 см<sup>3</sup> железа требуется 2,1 л кислорода. На практике же расход кислорода в процессе резки может быть выше или ниже теоретического значения, так как часть металла выдувается из полости реза в неокисленном виде и вытекающий шлак содержит не только оксиды, но и металлическое железо. Выделяемое при горении железа значительное количество теплоты оплавляет поверхность металла. Этот жидкий металл увлекается в шлак вместе с расплавленными оксидами. Количество теплоты, образующееся в результате сгорания железа при резке, в 6-8 раз превышает количество теплоты, выделяемой подогревающим пламенем резака.

Указанным условиям удовлетворяет лишь железо и его технические сплавы – стали. Большинство других металлов не поддаются кислородной резке.

Разрезаемость металла. Ниже приведены характеристики разрезаемости углеродистых сталей (см. таблицу 1).

**Таблица 1 – Характеристика разрезаемости**

Группа разрезаемости	Наименование сталей	Содержание углерода, %	Условия резки
1.	Углеродистые стали Низколегированные стали	менее 0,3 менее 0,2	Разрезаются в любых производственных условиях без ограничений по толщине и температуре воздуха
2.	Углеродистые стали Низколегированные стали	0,3—0,4 0,2—0,3	Разрезаются с ограничениями: в зимнее время (температура не менее —5°) и при резке большой толщины (более 100 мм) с подогревом по линии реза до температуры не менее 120°С
3.	Углеродистые стали Низколегированные стали	0,4—0,5 0,3—0,4	Требуется подогрев до 200—300°С по линии реза
4.	Углеродистые стали Низколегированные стали	более 0,5 более 0,4	Требуется подогрев до 300—450°С

Разрезаемость кислородом конструкционных сталей оценивают по содержанию в них эквивалентного углерода:

$$C_{\text{эк}} = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15.$$

Цифры, стоящие перед обозначением элементов, указывают их содержание в сталях (в процентах по массе).

**Таблица 2 – Характеристика разрезаемости конструкционных сталей**

Группа свариваемости	Эквивалентное содержание углерода, $C_{эк}$	Углеродистые стали	Легированные стали	Высоколегированные стали	Условия сварки
I Хорошая	До 0,25	ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, Стали 08, 10, 15, 20, 25	15Г, 20Г, 15Х, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХСНД	08Х20Н14С2, 20Х23Н18, 08Х18Н10, 12Х18Н9Т, 15Х5	Без ограничений, в широком диапазоне режимов сварки независимо от толщины металла, жесткости конструкции, температуры окружающей среды
II Удовлетворительная	Свыше 0,25 и до 0,35	ВСт5, Стали 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 20ХН, 20ХН3А, 30Х, 30ХМ, 25ХГСА	30Х13, 25Х13Н2, 9Х14А, 12Х14А	Сварка при температуре окружающей среды не ниже + 5 °С и толщине металла до 20 мм при отсутствии ветра
III Ограниченная	Свыше 0,35 и до 0,45	ВСт6, Стали 40, 45	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХМФА, 40ХН, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХМ, 20Х2Н4МА	17Х18Н9Т, 12Х18Н9, 36Х18Н25С2, 40Х9С2	Сварка с предварительным или сопутствующим подогревом до 250 °С в жестком диапазоне режимов сварки
IV Плохая	Свыше 0,45	Стали 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, 6ХС, 7Х3	40Х10С2М, 40Х13, 95Х18, 40Х14Н14В2М, 40Х10С2М, P18, P9	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом, термообработкой после сварки

Предварительный подогрев необходим в первую очередь для предупреждения образования трещин и выполняется в газовых печах, нагревательных колодцах или пламенем многопламенной горелки.

Высоколегированные стали кислородной резке не поддаются из-за образования в процессе резки тугоплавких оксидов, которые с трудом удаляются из полости реза (разреза). Высокоуглеродистые, высоколегированные аустенистные, высокохромистые стали не поддаются газокислородной резке. В этом случае применяют кислородно-флюсовую или плазменно-дуговую резку.

Для резки необходим чистый кислород; даже небольшое количество примесей заметно снижает её скорость и значительно повышает расход кислорода. В качестве горючего для подогревающего пламени при кислородной резке можно использовать любой промышленный горючий газ, а также бензин, бензол, керосин и т.д.

Чугун не режется вследствие низкой температуры плавления и высокой температуры начала горения; он горит в кислороде в расплавленном состоянии, что исключает возможность получения качественного реза.

Цветные металлы также не поддаются процессу резки из-за высокой температуры плавления их оксидов и значительной теплопроводности.

Медь не режется вследствие высокой теплопроводности и незначительного количества теплоты, выделяющейся при её сгорании. Медь и её сплавы можно обрабатывать кислородно-флюсовой резкой.

Алюминий не режется по причине чрезмерной тугоплавкости образующегося оксида. Для алюминия и его сплавов применяют плазменную дуговую резку.

**Показатели режима резки.** Основными показателями режима резки являются: мощность пламени, давление режущего кислорода и скорость резки. От их выбора во многом зависят производительность и качество резки. Мощность пламени определяется толщиной разрезаемого металла, составом и состоянием стали (прокат или поковка). При ручной резке из-за неравномерности перемещения резака обычно приходится в 1,2-2 раза увеличивать мощность пламени по сравнению с машинной. При резке литья следует повышать мощность пламени в 3-4 раза, так как поверхность отливок, как правило, покрыта песком и пригаром.

Для резки стали толщиной до 300 мм применяют нормальное пламя, а толщиной свыше 400 мм – подогревающее пламя с избытком ацетилена (науглероживающее) для увеличения длины факела и прогрева нижней части реза.

Давление режущего кислорода зависит от толщины разрезаемого металла, формы режущего сопла и чистоты кислорода. При повышении давления сверх нормативного скорость резки уменьшается, и качество поверхности реза ухудшается. Соответственно увеличивается расход кислорода.

Скорость резки должна соответствовать скорости окисления металла по толщине разрезаемого листа. Судить о правильном выборе скорости резки можно по следующим признакам. При замедленной скорости происходит оплавление верхних кромок разрезаемого листа и расплавленные шлаки (оксиды) вылетают из разреза в виде потока искр в направлении резки.

Слишком большая скорость характеризуется слабым вылетом пучка искр из разреза в сторону, обратную направлению резки, и значительным «отставанием» линий реза от вертикали. Возможно непрорезание металла. При нормальной скорости резки поток искр и шлака с обратной стороны разрезаемого листа сравнительно небольшой и направлен почти параллельно кислородной струе.

**Подготовка поверхности.** Перед резкой поверхность разрезаемого металла должна быть тщательно очищена от окалины, ржавчины, краски и грязи. Для ручной резки достаточно очистить пламенем резака место реза в виде узкой полосы (30-50 мм) с последующей зачисткой металлической щеткой. Перед механизированной резкой на стационарных машинах листы обычно правят на листопрямильных вальцах и очищают всю поверхность либо химическим, либо механическим (дробеструйной обработкой) путем. Листы укладываются горизонтально на опоры. Свободное пространство под листом должно составлять половину толщины разрезаемого металла плюс 100мм.

Положение и перемещение резака в процессе резки. Перед началом резки подогревающим пламенем нагревают кромку разрезаемого металла до температуры оплавления и затем включают режущий кислород.

Положение резака в начале резки зависит от толщины разрезаемой стали. При прямолинейной резке листовой стали толщиной до 50 мм резак устанавливается вертикально, а при большой толщине листа – под углом  $5^\circ$  к поверхности торца листа. Затем его наклоняют на  $20-30^\circ$  в сторону, обратную движению резака. Такое положение резака способствует лучшему прогреву металла по толщине и повышению производительности резки. При вырезке фигурных деталей резак должен быть строго перпендикулярен к поверхности разрезаемого металла.

Для облегчения резки и ускорения прогрева металла целесообразно делать зарубку зубилом в начальной точке реза.

### ***Разделительная и поверхностная резка.***

Ручная разделительная резка применяется для резки листов, поковок профильного проката и скрапа. При резке в качестве горючего газа используется как ацетилен, так и газы-заменители ацетилена (пропан-бутан, природный газ и др.). В последнем случае увеличивается время предварительного подогрева металла до начала процесса резки, поэтому предпочтительнее использовать ацетилен (где это возможно). Резка скрапа преимущественно производится с применением жидкого горючего (керосин, бензин и их смеси).

Для резки листов толщиной от 3 до 300 мм используются универсальные ручные резаки Р2А-01, РЗП-01, а до 800 мм – специализированные резаки типа РЗР-2.

Резка стали малой толщины сопровождается значительным перегревом, оплавлением кромок и короблением разрезаемого металла. При этом на резаках устанавливается внутренний мундштук №0 с минимальным отверстием для режущего кислорода и наружный мундштук №1. Лучшие результаты даёт резка с последовательным расположением подогревающего пламени и режущего кислорода. Резку ведут с максимальной скоростью и минимальной мощностью подогревающего пламени. Мундштук резака наклоняют под углом  $15-40^\circ$  к поверхности реза в сторону, обратную направлению резки.

Перед началом резки нужно положить лист на опоры, очистить место реза и установить на резак мундштуки в зависимости от толщины разрезаемой стали. Мощность пламени и давления газов (кислорода и горючего) регулируют при открытом вентиле режущего кислорода. Подогрев листа начинается с кромки и длится обычно 3-10 с. Если резку начинают с середины листа, продолжительность подогрева увеличивается в 3-4 раза.

Точность и качество ручной резки зависят от правильного выбора режимов и квалификации резчика. Чтобы повысить точность, резку выполняют по разметке и направляющим (при прямолинейной резке). Качество резки в значительной степени зависит от своевременного пуска режущего кислорода, равномерного перемещения резака и поддержания постоянного расстояния между резаком и поверхностью листа. Для этого используют простейшие приспособления: циркуль для вырезки фланцев и отверстий, тележку для

поддержания постоянного расстояния между резаком и поверхностью листа; направляющую линейку или уголок для прямолинейных резов и т. д.

Существуют особые технологические приемы повышения качества ручной резки. К ним относятся, например, безгратовая и пакетная резка.

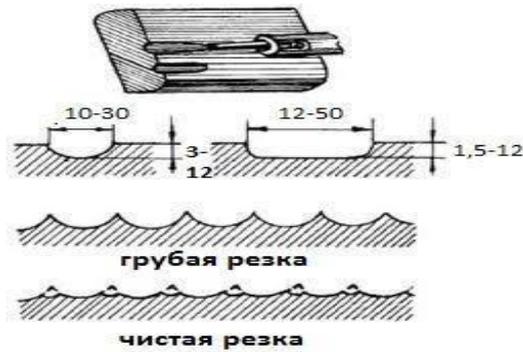
**Безгратовая резка** применяется для получения поверхности реза без грата на нижних кромках. При этом используют кислород чистотой не ниже 99.5 и сопло режущего кислорода с расширением на выходе (для резки металла толщиной более 12 мм).

**Пакетная резка** позволяет получать качественный рез тонких листов (толщиной 1,5-2 мм). Листы складываются в пакет и стягиваются струбцинами. Максимальная толщина каждого листа 8-10 мм, а общая толщина пакета – не более 100 мм. Режимы резки устанавливаются по суммарной толщине пакета, однако скорость ей должна быть несколько ниже, чем для однослойной стали той же толщины.

Пакетную резку можно производить без плотного прилегания листов (с зазорами между ними до 3-4 мм). В этом случае пакет закрепляют с одной стороны и выполняют резку кислородом низкого давления (0,3-0,5 МПа) с расверливанием горлового канала мундштука на 0,3-0,4 мм. Облегчает начало процесса резки сборка листов с небольшим сдвигом. Пакетную резку используют и при машинной резке.

Разновидностью кислородной резки является поверхностная резка. Это означает, что вместо сквозного разреза вырезается рельеф на поверхности металла в виде одной или нескольких, отдельных или совмещенных канавок. При этом способе резки большую роль играет угол наклона резака и, конечно же, режим резки. При поверхностной резке источником нагрева металла будет не только пламя резака, но и расплавленный шлак. Растекаясь, шлак подогревает нижележащие слои металла. В сварочном производстве поверхностная резка — незаменимый процесс для вырезки дефектных участков швов, для удаления трещин, зачистки корня шва перед наложением подварочного валика, для удаления дефектов стального литья.

Начинается поверхностная резка с прогрева участка до температуры воспламенения. При включении режущего кислорода образуется очаг горения металла и обеспечивается устойчивый процесс зачистки за счет равномерного перемещения резака вдоль линии реза. При нагреве резак обычно располагается под углом 70-80° к зачищаемой поверхности. В момент подачи режущего кислорода резак наклоняют до угла 15—45°.



**Рисунок 2.1 – Поверхностная резка и формы выплавляемых канавок**

Глубина и ширина канавки зависят от скорости резки и с ее увеличением уменьшаются. Глубина канавки увеличивается с возрастанием угла наклона мундштука резака, при повышении давления режущего кислорода и уменьшении скорости резки. Ширина канавки определяется диаметром канала режущей струи кислорода. Во избежание появления закатов на поверхности заготовки необходимо соблюдать такое условие, чтобы ширина канавки была в 5—7 раз больше глубины.

**Контрольные вопросы:**

1. Как выполняется подготовка металла к кислородной резке?
2. Какими основными показателями характеризуется режим кислородной резки?
3. Как влияет состав стали на процесс кислородной резки?
4. Как выполняется пакетная резка стали?
5. Чем характеризуется точность и качество кислородной резки?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

**Тема:** «Строение сварочной дуги».

**Цель работы:** Определить процессы, происходящие в дуговом промежутке сварочной дуги.

**Содержание отчета:**

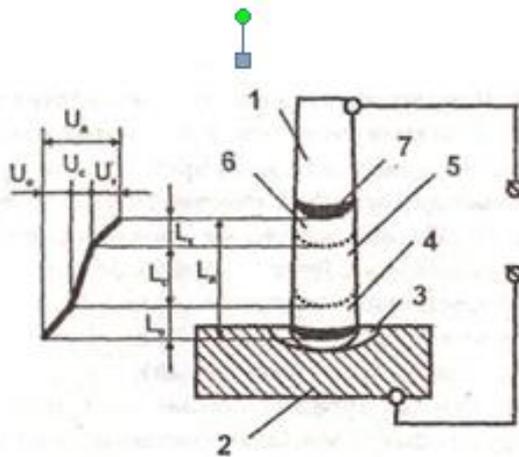
1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Построить схему сварочной дуги и падения напряжения в ней с указанием самого электрода, изделия, анодного пятна, анодной области дуги, столба дуги, катодной области дуги, катодного пятна.
3. Вывод

### **Общие сведения**

Сварочной дугой называется длительный электрический разряд в ионизированной смеси паров и газов между двумя электродами или электродом и свариваемым металлом, характеризующийся большой плотностью тока и малым значением напряжения (15-30В).

Дуга состоит из трех зон: катодной (1) с катодным пятном, служащим для эмиссии электронов, анодной (2) с анодным пятном, бомбардирующимся электронным потоком; и столба дуги (3), который занимает промежуточное положение между катодной и анодной зонами (рис.3.1).

В процессе горения дуги на электроде и основном металле возникают активные пятна, которые представляют собой наиболее нагретые участки и проводят весь ток дуги. Активные пятна называются соответственно анодным и катодным. С катодного пятна происходит дополнительный выход электродов, кроме тех образовавшихся при ионизации в междуэлектродном пространстве. Электроны, которые выходят с поверхности электрода, называются первичными. Выход этих электродов происходит за счёт различных факторов: термоэлектронной эмиссии (испускания), автоэлектронной эмиссии, ионизации на катоде. Ионизация на катоде происходит в результате соударений с электронами положительных ионов. Положительные ионы образуются в результате ионизации в столбе дуги и притягиваются к катоду. Ионизация может происходить также в результате воздействий излучения (фотоионизация). В столбе дуги происходит образование так называемых вторичных электронов, а также положительных ионов (вторичными называют электроны, выбитые с орбит нейтральных атомов, находящихся в междуэлектродном пространстве). Таким образом, в столбе дуги электроны движутся к аноду, положительные ионы – к катоду. При этом ионы и электроны могут снова соединяться, образуя нейтральные атомы.



**Рисунок 3.1 – Схема сварочной дуги и падения напряжений в ней:**  
 1 – электрод; 2 – изделие; 3 – анодное пятно; 4 – анодная область дуги; 5 – столб дуги; 6 – катодная область дуги; 7 – катодное пятно.

Ионизацию можно выразить уравнением



где  $A^{\circ}$  - нейтральный атом;  $A^{+}$  - положительный ион;  $e^{-}$  - свободный электрон.

Эмиссия - появление электронов проводимости.

Работа выхода — энергия (обычно измеряемой в электрон-вольтах), которую необходимо сообщить электрону для его «непосредственного» удаления из объёма твёрдого тела. ( $Fe = 4.67-4.81$ ,  $C = 5$ ,  $Mn = 4,1$  эВ ) Один электронвольт равен энергии, необходимой для переноса элементарного заряда в электростатическом поле между точками с разницей потенциалов в 1 В.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Энергией сродства атома к электрону, или просто его сродством к электрону ( $\epsilon$ ), называют энергию, выделяющуюся или поглощающуюся в процессе присоединения электрона к свободному атому в его основном состоянии с превращением его в отрицательный ион  $A^{-}$ .

### **Контрольные вопросы:**

1. На какие области разделяется в сварочной дуге дуговой промежуток?
2. Какие электроны называются первичными?
3. Объясните суть термоэлектронной эмиссии?
4. Где происходит образование вторичных электронов?
5. Что называют энергией сродства атома к электрону?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**Тема:** «Изучение влияния магнитных полей и ферромагнитных масс на устойчивость горения дуги».

**Цель работы:** Изучить свойства сварочной дуги в зависимости от технологических условий сварки, рода и полярности тока.

### Содержание отчета:

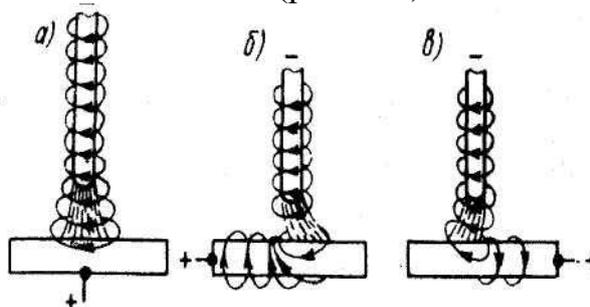
1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Эскизные изображения формы сварочной дуги.
3. Вывод.

### Общие сведения

Устойчивость сварочной дуги и возможность направления ее в определенное место при сварке постоянным током зависят от направления действия результирующего магнитного поля вокруг дуги, которое часто вызывает отклонение дуги от нормального положения. Такое явление называют *магнитным дутьем*.

Столб сварочной дуги можно рассматривать как гибкий проводник электрического тока, который, как и обычный проводник с током, под воздействием магнитного поля отклоняется в сторону наименьшего сгущения магнитных силовых линий.

Рассмотрим влияние постоянного тока различных магнитных полей и ферромагнитных масс на сварочную дугу. Электрическая дуга под воздействием собственного магнитного поля будет отклоняться в зависимости от места подключения к изделию токоподвода в сторону разряжения магнитных силовых линий (рис. 4.1).



**Рисунок 4.1 – Влияние положения токоподвода на отклонение дуги:**  
а — токоподвод совпадает с осью дуги; б — ток к изделию подведен слева от дуги; в — ток к изделию подведен справа от дуги

**Продольное поле.** При наложении продольного поля направления магнитного и электрического полей совпадают, поэтому на дрейфовое движение заряженных частиц магнитное поле влиять не будет. Однако электроны и ионы обладают еще тепловой скоростью хаотического движения и скоростью амбиполярной диффузии.

Магнитное поле напряженностью  $H$  искривляет путь частицы и заставляет двигаться ее по ларморовскому радиусу  $r$  с так называемой циклотронной или ларморовской угловой частотой

$$\omega = qH/(mc).$$

Для электрона  $\omega=1,7 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$  при  $H=1 \text{ Э}$ . Он вращается по часовой стрелке, создавая с вектором  $H$  магнитного поля право-винтовую систему. Положительный ион вращается в обратном направлении с частотой.

При движении по окружности путь  $l$  частиц между двумя соударениями в среднем такой же, как и при отсутствии магнитного поля. Но свободный пробег  $\lambda$  измеряется по прямой, т. е. по хорде, стягивающей дугу окружности радиусом  $r$ . Значит, пробег  $\lambda$  уменьшается, что равносильно увеличению давления газа  $\Delta p$ . Отношение  $\Delta p/p$  пропорционально квадрату напряженности поля  $H$ , но для обычных сварочных режимов невелико.

В обычных сварочных дугах при атмосферном давлении наибольшее влияние продольное магнитное поле оказывает на диффузионную составляющую скорости ионов и электронов. Скорость диффузии их направлена по радиусу от центра дуги к периферии, где температура и концентрация меньше (рис. 4.2). В связи с тем что скорости диффузии в квазинейтральном столбе дуги равны  $v_e \approx v_i$ , а масса  $m_e \ll m_i$ , импульсы, передаваемые нейтральным частицам от ионов, будут в тысячи раз больше, чем от электронов. Поэтому плазма столба дуги придет во вращательное движение, соответствующее движению в магнитном поле ионов. Столб дуги будет вращаться против часовой стрелки, если смотреть по направлению поля.

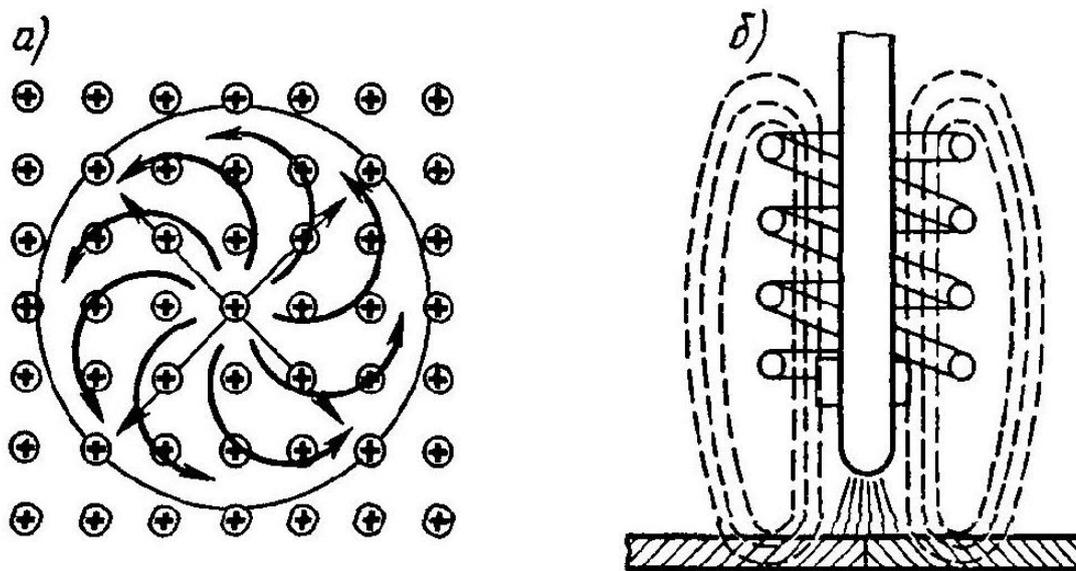


Рис. 4.2 – Действие продольного магнитного поля на дугу (а) и схема направляющего соленоида (б)

Угловая скорость вращения максимальна в тех участках столба, где скорости диффузии наибольшие. Действие электрического поля, которым пренебрегаем в рассуждениях, приводит к появлению осевой составляющей

вектора скорости, из-за чего заряженные частицы начинают двигаться по спирали.

Продольное поле  $\Phi_{прод}$  получают с помощью соленоида (рис. 4.2) и используют для придания дуге большей жесткости и устойчивости.  $\Phi_{прод}$  несколько повышает температуру в центре столба дуги в связи с магнитным давлением  $p_m = H^2 / (8\pi)$ , которое, как указано выше, уравновешено давлением  $p_m$ .

**Поперечное поле.** При наложении поперечного поля целесообразно рассматривать дугу как проводник с током. Поперечное магнитное поле, накладываясь на собственное поле дуги в контуре, может вызвать ее отклонение в ту или другую сторону (рис. 4.3). В той части сварочного контура, где силовые линии  $\Phi_{соб}$  и  $\Phi_{пон}$  совпадают, создается избыточное магнитное давление и дуга отклоняется в сторону более слабого поля.

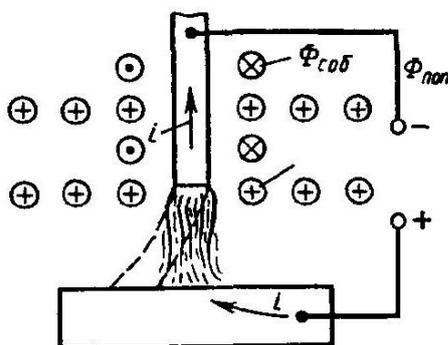


Рис. 4.3 – Поперечное магнитное поле и дуга

Воздействуя поперечным магнитным полем на дугу и в расплавленного металла, при сварке под флюсом можно, например изменить формирование шва (рис. 4.4). На металл в действуют объемные силы  $F$ , пропорциональные, векторному произведению плотности тока  $i$  и напряженности магнитного поля  $H$ :

$$\vec{F} = [\vec{j} \times \vec{H}].$$

Под действием этих сил металл стремится «подтечь» под дугу (рис. 4.4 б), чему также способствует отклонение дуги, и проплавление уменьшается. Переключив поле, можно увеличить проплавление.

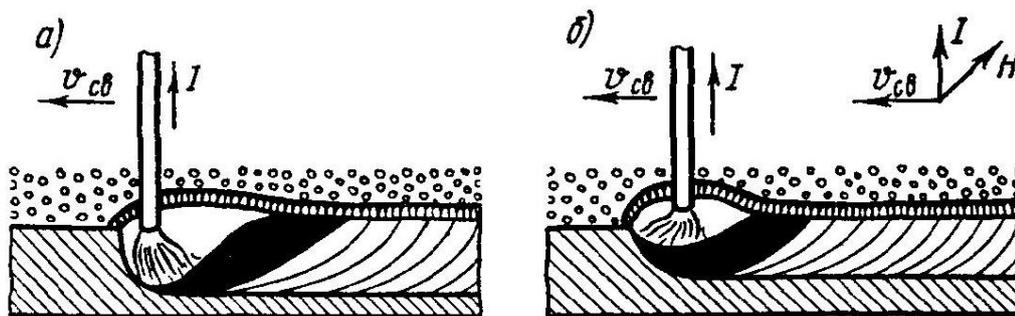
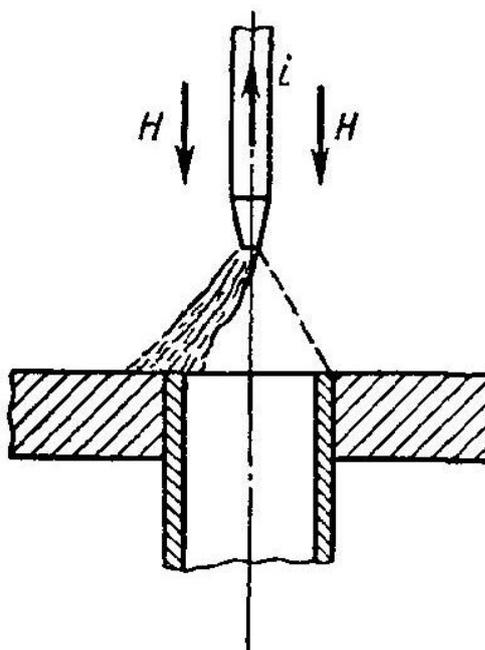


Рис. 4.4 – Действие магнитного поля на дугу под флюсом: а - без магнитного поля, б — с поперечным магнитным полем

Если использовать управление поперечным переменным магнитным полем, то дуга постоянного тока будет колебаться в обе стороны от положения равновесия с частотой поля. Этот технологический прием получил название «метелка» и применяется, например, при сварке трубных досок.

**Вращающаяся дуга.** Эффект перемещения дуги в поперечном магнитном поле используется для ее вращения на конической или цилиндрической поверхности.

Вращающаяся «конусная» дуга применима для сварки кольцевых швов малого диаметра (рис. 4.5). По оси труб располагается неплавящийся электрод. С помощью соленоида создается магнитное поле, параллельное оси электрода. При горении дуги «электрод - кромка» столб ее оказывается направленным поперек поля  $H$ , что и вызывает вращение дуги. Частота вращения  $n$  пропорциональна напряженности поля и току дуги и практически достигает обычно нескольких тысяч оборотов в минуту. Сварка изделия происходит за несколько секунд, что соответствует 100...1000 оборотам дуги. Использование вращающейся дуги весьма упрощает аппаратуру.

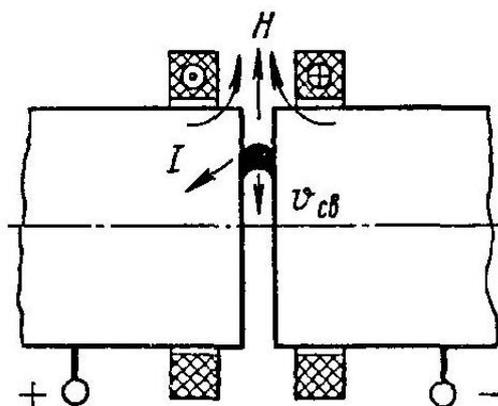


**Рис. 4.5 – Схема сварки вращающейся «конусной» дугой**

Применяют также не стержневой, а фигурный неплавящийся электрод, соответствующий по форме конфигурации свариваемой кромки. Сдвиг электрода относительно кромок изделия должен обеспечить взаимодействие столба дуги с поперечным магнитным полем. Фигурным медным электродом удается сваривать детали произвольной формы, что весьма перспективно при массовом производстве таких изделий, как конденсаторы, герметизированные изделия автоматики и т.д.

Способ сварки кольцевых швов труб вращающейся «бегущей» дугой заключается в том, что на концы труб надеваются две катушки, включенные

встречно (рис. 4.6). Благодаря этому в зазоре между трубами создается радиальное магнитное поле  $H$ .



**Рис. 4.6 – Стыковая сварка труб вращающейся «бегущей» дугой**

Если между торцами труб зажечь дугу, то на нее будет действовать тангенциальная сила. Движение бегущей дуги вначале ограничивается той скоростью, с которой может перемещаться по поверхности холодной трубы катодное пятно. По мере разогрева торцов скорость движения  $v_{св}$  возрастает, достигая весьма больших значений. После выключения дуги осуществляется осадка.

Воздействие магнитогидродинамических явлений на ванну расплавленного металла можно использовать не только для регулирования глубины проплавления, но и для управления положением ванны в зазоре стыка. Для этого необходимо создать в металле вертикальные объемные силы, что вполне осуществимо. Поперечное поле позволит также управлять формированием шва в разных пространственных положениях.

При многодуговой сварке в одну ванну и трехфазной сварке магнитогидродинамические эффекты даже при отсутствии внешнего поля могут существенно расширить технологические возможности процесса. Магнитное воздействие на ванну эффективно также при электрошлаковом и других методах сварки.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Какое явление называют магнитным дутьем?
2. Почему в начале и в конце сварного шва интенсивность магнитного поля между краем заготовки и электродом значительно выше?
3. На что оказывает наибольшее влияние продольное магнитное поле?
4. Что можно изменить, воздействуя поперечным магнитным полем на дуги?
5. Для чего применяется вращающаяся «конусная» дуга?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**Тема:** «Система условного обозначения металлических электродов для ручной дуговой сварки и наплавки».

**Цель работы:** Изучить принципы классификации сварочных материалов, систему условного обозначения металлических электродов для ручной дуговой сварки и наплавки.

### **Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание Структуры условного обозначения электрода.
3. Расшифровать условное обозначение покрытых электродов.

Э46 – ОЗС – 12 – 2,0 – УД

Е 43 1 (3) – Р12

Э50А – УОНИ 13/45 – 3,0 – УД

Е 51 4 – Б20

Э09ХМФ – ЦЛ – 39 – 2,5 – ТГ

Е27 – Б20

4. Вывод.

### **Общие сведения**

Покрытый электрод – металлический стержень, на который нанесено покрытие опрессовкой или окунанием. Штучные покрытые сварочные электроды предназначены для ручной дуговой сварки. Они изготавливаются из отрезков сварочной проволоки (стержней) длиной 250–450 мм, на поверхность которых наносят слой специального покрытия. Покрытие предназначено для стабилизации сварочной дуги, образования газовой и шлаковой защиты, легирования и рафинирования расплавленного металла. Кроме того, образующийся при плавлении покрытия шлак способствует формированию поверхности шва. Один конец электрода на длине 20–30 мм свободен от покрытия (для обеспечения токоподвода при закреплении в электрододержателе). Толщина покрытия на сторону может колебаться от 0,5 до 2 мм, а его масса составляет до 50 % от массы стержня. Длина электрода зависит от его диаметра и химического состава стержня. Стержни малого диаметра и выполненные из высоколегированных сталей делают короче в целях снижения электрического сопротивления и уменьшения нагрева электрода.

**Компоненты электродных покрытий.** Вещества, из которых состоят покрытия электродов, делятся на шесть групп.

1. *Газообразующие* компоненты при нагреве диссоциируют с образованием газов, которые вытесняют воздух из зоны горения дуги. Обычно вводятся в покрытие в виде минералов или органических веществ

10г расплавленного покрытия выделяет 1000 – 1500 см<sup>3</sup> защитного газа, что обеспечивает надёжное отеснение воздуха из зоны сварки.

2. *Шлакообразующие* компоненты при расплавлении образуют шлак, который, всплывая на поверхность сварочной ванны, обеспечивает шлаковую защиту от воздуха. В качестве шлакообразующих компонентов выступают окислы: кислые – SiO<sub>2</sub>; TiO<sub>2</sub>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или основные – CaO; MnO; MgO, а также галогены – CaF<sub>2</sub>.

Шлакообразующие входят в состав таких минералов, как гранит, гематит, различные руды, ильменитовый и рутиловый концентрат. Например, гранит содержит 70 % SiO<sub>2</sub>; 20 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5 % CaO.

3. *Раскисляющие* компоненты восстанавливают часть металла, находящегося в сварочной ванне в виде оксидов. Это достигается за счёт элементов, имеющих большее, чем железо, сродство к кислороду (Ca, Al, Ti, Si, V, Mn, Cr). В качестве раскислителей используются ферромарганец, ферросилиций, ферротитан.

4. *Стабилизирующие* компоненты обеспечивают устойчивое горение дуги. Эти компоненты содержат элементы, имеющие низкий потенциал ионизации. В электрическом поле они легко ионизируются, доставляя в дугу достаточное количество заряженных частиц. Это обеспечивает устойчивость дугового разряда. Стабилизирующими являются K, Na, Ca. Они входят в состав полевого шпата, мела, поташа и др.

5. *Легированные* компонент дополняют металл шва элементами для придания ему специальных свойств – повышенной прочности, износо- и коррозионной стойкости и др. Вводятся в состав в виде ферросплавов – (ферротитан, феррохром, феррованадий). Легирование металла шва осуществляется в основном через стержень электрода. Легирование через покрытие является дополнительным.

6. *Связующие* компоненты связывают порошковые материалы покрытия в однородную массу. Как правило, в качестве связующего используется натриевое (Na<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>) или калиевое (K<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>) жидкое стекло. Для улучшения формовочных свойств покрытия в его состав вводятся пластификаторы – каолин, декстрин, слюда.

Некоторые компоненты покрытия, например мрамор, выполняют несколько функций одновременно.

**Типы электродов.** Тип электрода характеризует свойства наплавленного металла. Для конструкционных сталей – это механические свойства, для легированных сталей со специальными свойствами (теплоустойчивые, коррозионно-стойкие, жаропрочные и т. д.) – химический состав. Обозначение типа электрода регламентируется ГОСТ 9467-75 и ГОСТ 10052-75. Обозначение содержит букву Э, после которой проставляется временное сопротивление на разрыв σ<sub>в</sub>, кг/мм<sup>2</sup>. После значения σ<sub>в</sub> может проставляться буква А, что означает улучшенные пластические характеристики металла шва. Например, Э42А означает, что металл, наплавленный этими электродами, имеет прочность 42 кг/мм<sup>2</sup> (420 МПа) и

улучшенные пластические свойства. Для сварки высокопрочных сталей тип электрода может быть Э100. Для сварки сталей со специальными свойствами обозначение типа электрода имеет следующий вид: Э09Х2М – наплавленный металл содержит 0,09 % углерода, 2% хрома и 1% молибдена; Э10Х25Н13Г2Б – наплавленный металл имеет химический состав: 0,1% углерода; 25% хрома; 13% никеля; 2% марганца; 1% ниобия.

**Типы электродных покрытий** определяются их компонентным составом, обуславливающим характер защиты расплавленного электродного металла и сварочной ванны. В покрытиях электродов одних марок может преобладать шлаковая защита, других – газовая. Газовая защита может осуществляться за счёт органических соединений или минералов. По разному может происходить выведение из металла шва водорода – за счёт кислорода либо за счёт фтора. Разной может быть степень рафинирования металла шва и очищения его от серы и фосфора. В зависимости от того, какой подход реализуется при формировании компонентного состава, различают четыре типа электродных покрытий.

*Кислое покрытие* (обозначается буквой А) строится на основе материалов рудного происхождения. Шлакообразующие компоненты – оксиды, газообразующие – органические. Отсутствие кальция не позволяет хорошо очистить металл от серы и фосфора.

Преимуществами этого покрытия являются высокая производительность сварки ( $\eta=12$  г/А-ч), низкая чувствительность к порообразованию даже при сварке металла с загрязнёнными кромками. Дуга горит устойчиво как на постоянном, так и переменном токе.

Недостатком является пониженная ударная вязкость металла шва. Наличие в шве серы и фосфора снижает стойкость против образования кристаллизационных трещин. Для этих покрытий невозможно легирование шва из-за окисления легирующих элементов. Существенным недостатком является так же их повышенная токсичность сварочного аэрозоля вследствие большого содержания в нём соединений кремния и марганца. По этой причине такие электроды в настоящее время применяются ограниченно.

*Основное покрытие* (обозначается буквой Б) строится на базе фтористо-кальциевых соединений –  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{CaF}_2$ . Газовая защита обеспечивается за счёт углекислого газа. Образующийся  $\text{CaO}$  очень стоек, поэтому свободного кислорода в зоне дуги не много. Кальций рафинирует металл шва, извлекая из него серу и фосфор. Фтор вводится для связывания водорода. Однако его количество ограничивают, поскольку он снижает устойчивость горения дуги.

Преимуществами покрытия являются высокая пластичность металла шва и повышенная стойкость против образования кристаллизационных трещин. Электроды обладают широкими возможностями легирования, что позволяет использовать их для сварки легированных сталей. Меньшее, чем у кислых покрытий, содержание соединений марганца и кремния делает их менее токсичными.

Недостатком является их повышенная чувствительность к увеличению влажности покрытия, наличию ржавчины, склонность к порообразованию при увеличении длины дуги. В связи с этим квалификация сварщика должна быть более высокой, электроды перед сваркой целесообразно прокалить, а свариваемые кромки очищать. Недостатком этих покрытий является так же пониженная устойчивость горения дуги. Поэтому электроды с таким типом покрытия используют только для сварки на постоянном токе.

Основная область их применения – сварка ответственных конструкций из углеродистых сталей, работающих при отрицательных температурах или переменных нагрузках, а также сварка легированных сталей. Наиболее известными марками электродов с основным покрытием являются УОНИ 13/45; УОНИ 13/55; ТМУ-21.

*Рутиловое покрытие* (обозначается буквой Р). Его основу составляет рутиловый концентрат  $TiO_2$  (до 45%), а также алюмосиликаты (слюда, полевопшпатовый шпат, каолин) и карбонаты (мрамор, магнезит). Рутиловый концентрат обеспечивает шлаковую защиту. Газовая защита обеспечивается введением органических соединений (до 5%). По механическим характеристикам сварных швов электроды с рутиловым покрытием занимают промежуточное положение между кислым и основным покрытиями. Их сварочно-технологические свойства достаточно высоки.

Стойкость к образованию пор у таких покрытий выше, чем у основных. Они не так чувствительны к увеличению длины дуги. Присутствие значительного количества рутила повышает вязкость шлака при уменьшении температуры дуги, поэтому электроды с рутиловым покрытием могут использоваться для сварки во всех пространственных положениях (если в покрытии отсутствует железный порошок). Однако для сварки легированных сталей они не пригодны из-за окисления легирующих элементов.

Рутиловое покрытие является самым распространённым в электродах, предназначенных для сварки низкоуглеродистых сталей. Наиболее известные марки электродов с рутиловым покрытием АНО-4; АНО-21; АНО-24; ОЗС-4; МР-3.

*Целлюлозное покрытие* (обозначается буквой Ц) строится на основе органических соединений. В своём составе содержит до 50% газообразующих компонентов (целлюлоза, мука, крахмал). Шлакообразующими добавками являются рутиловый концентрат, мрамор и др., однако их количество невелико, поэтому сварочная ванна достаточно вязкая, что позволяет выполнять качественные швы во всех пространственных положениях. Поскольку основу покрытия составляют органические соединения, его толщина относительно мала. Это даёт возможность осуществлять сварку в труднодоступных местах. Механические свойства шва соответствуют полуспокойной стали. Основным недостатком – повышенное разбрызгивание (до 15 %). Область их применения – сварка первого слоя (труднодоступного) неповоротных стыков трубопроводов. Наиболее известны марки ВСЦ-4; ВСЦ-4А.

Некоторые электроды имеют смешанные покрытия (обозначаются комбинациями соответствующих букв): рутилово-основное, рутилово-кислое, рутилово-целлюлозное. В некоторых случаях в электродные покрытия вводится железный порошок в количестве более 20 % (покрытие обозначается буквой Ж). Это способствует повышению коэффициента наплавки и увеличению производительности ручной сварки.

**Обозначения электродов по ГОСТ 9466-75.** Состав покрытия и электродного стержня, а так же технологические свойствами металла шва определяют марку электрода. Однако марка практически не содержит информации о свойствах и характеристиках наплавленного металла. В связи с этим в большинстве стран разработаны системы обозначения электродов, которые позволяют произвести идентификацию каждой марки. Обозначение электрода состоит из ряда цифровых и буквенных символов, характеризующих основные свойства наплавленного металла. Обозначение электрода проставляется в сопроводительной документации или на упаковочной наклейке. Наиболее распространенными стандартами в обозначении электродов являются ГОСТ 9466-75, международный стандарт ISO, Европейский стандарт EN, американский стандарт AWS, немецкий стандарт DIN. Многие позиции этих стандартов схожи, но полностью они не совпадают. Общим является только значок «Е» – международный символ ручной дуговой сварки.

Обозначение электродов по ГОСТ 9466-75 производится в виде дроби (рис. 5.1), в числителе и знаменателе которой указываются отдельные характеристики электродов.



**Рисунок 5.1 – Структура и пример условного обозначения электрода**

**Классификация характеристик электродов** определяется следующими признаками:

- по назначению: У – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, Л – для сварки легированных конструкционных сталей, Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей, В – для сварки высоколегированных сталей, Н – для наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами;

- по толщине покрытия в зависимости от соотношения диаметра электрода с покрытием ( $D$ ) к диаметру электродного стержня ( $d$ ): М – с тонким покрытием ( $D/d \leq 1,2$ ), С – со средним покрытием (1,21,80);

- по качеству изготовления электродов: 1 – низкие требования к качеству; 2 – средние; 3 – высокие требования. В настоящее время данная позиция в обозначении электродов не используется;

- по механическим характеристикам наплавленного металла. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей проставляются три цифры. Первые две – временное сопротивление разрыву, кг/мм<sup>2</sup>, третья цифра – минимальная температура, при которой допускается эксплуатация наплавленного металла: 0 – температура не регламентирована; 1 – +20°C; 2 – 0°C; 3 – -20°C; 4 – -30°C; 5 – -40°C; 6 – -50°C; 7 – -60°C;

Для теплоустойчивых сталей проставляются две цифры: первая минимальная, вторая – максимальная температура эксплуатации наплавленного металла. По первой цифре маркировка совпадает с низкоуглеродистыми сталями (например, 5 – - 40°C). Вторая цифра обозначает следующие максимальные температуры: 0 – <450°C; 1 – 465°C; 2 – 485°C; 3 – 505°C; 4 – 525°C; 5 – 545°C; 6 – 565°C; 7 – 585°C; 8 – 600°C; 9 – >600°C.

Для высоколегированных сталей в этой позиции проставляются четыре цифры. Первая цифра характеризует стойкость наплавленного металла против межкристаллитной коррозии; вторая – указывает максимальную температуру, при которой гарантируется длительная прочность; третья – указывает максимальную температуру, при которой обеспечивается жаростойкость шва; четвертая цифра указывает содержание в шве ферритной составляющей;

- по виду покрытия;

- по допустимым пространственным положениям сварки: 1 – для всех положений, 2 – для всех положений, кроме вертикального сверху вниз, 3 – для нижнего, горизонтального на вертикальной поверхности и вертикального снизу вверх, 4 – для нижнего и нижнего в «лодочку»;

- по роду и полярности применяемого тока: 0 – постоянный ток, обратная полярность;

1 –  $U_d = 50$  В, полярность любая;

2 –  $U_d = 50$  В, полярность прямая;

3 –  $U_d = 50$  В, полярность обратная;

4 –  $U_d = 70$  В, полярность любая;

- 5 – $U_d=70$  В, полярность прямая;
- 6 – $U_d=70$  В, полярность обратная;
- 7 – $U_d=90$  В, полярность любая;
- 8 – $U_d=90$  В, полярность прямая;
- 9 – $U_d=90$  В, полярность обратная;

- обозначение стандарта, регламентирующего требования к электродам (ГОСТ 9466-75);

- обозначение стандарта, регламентирующего типы электродов: ГОСТ 9467-75, – для сварки; ГОСТ 10051-75 – для наплавки.

Группы перечисленных индексов в комбинациях, зависящих от типа и марки электродов, приводятся в паспорте на партию электродов. Паспортом снабжается каждая упаковка электродов.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Что такое покрытый электрод?
2. Назначение электродных покрытий.
3. Перечислите компоненты электродных покрытий.
4. Назовите типы электродных покрытий и их преимущества и недостатки.
5. Как классифицируются характеристики электродов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

**Тема:** «Сварные швы и соединения».

**Цель работы:** Изучить виды сварных соединений и швов, научиться обозначению сварных швов на машиностроительных чертежах.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Привести классификацию сварных швов.
3. Написать обозначение предложенных сварных швов на чертеже, учитывая способ сварки, вид сварки и дополнительные условия.
4. Вывод.

### **Общие сведения**

*Сварным соединением* называют неразъёмное соединение нескольких деталей, выполненное сваркой.

При сварке плавлением основными видами соединений являются: стыковое, нахлесточное, угловое и тавровое. Применяются также соединения прорезные, торцовые, с накладками и электрозаклёпочные.

В стыковом соединении составляющие его элементы расположены в одной плоскости или на одной поверхности (Рис. 6.1, *а–в*). Оно наиболее распространено в сварных изделиях, так как имеет следующие преимущества перед остальными:

1. Неограниченная толщина свариваемых элементов.
2. Более равномерное распределение силовых линий (напряжений) при передаче усилий от одного элемента к другому (Рис. 6.1, *а*).
3. Минимальный расход металла на образование сварного соединения.
4. Надёжность и удобство контроля качества соединения рентгеновским излучением с определением места, размеров и характера дефекта сварки.

Недостатками стыковых соединений перед другими видами являются:

1. Необходимость более точной сборки элементов под сварку.
2. Сложность обработки кромок под стыковую сварку профильного металла (уголки, швеллеры, тавры, двутавры).

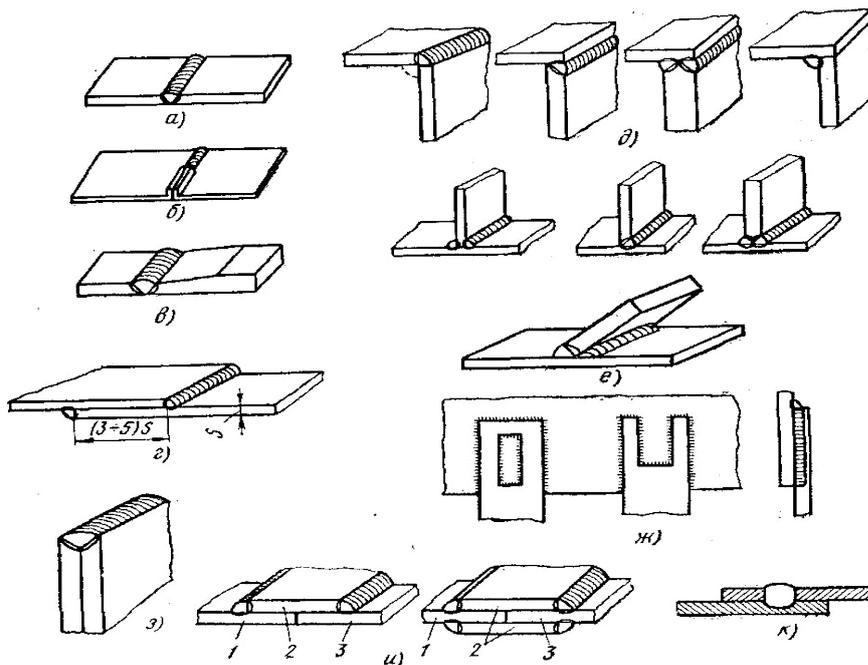
Угловое соединение — сварное соединение двух элементов, расположенных под прямым углом и сваренных в месте примыкания их краев (Рис. 6.1, *д*).

Тавровое соединение — сварное соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент (Рис. 6.1, *е*), как правило, угол между элементами прямой.

Угловые и тавровые соединения широко используются при сварке балок, колонн, стоек, каркасов, ферм и др., обеспечивая увеличение жесткости и уменьшение деформаций изделия.

Нахлесточное соединение (Рис. 6.1, з) представляет собой сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга. Эти соединения имеют недостатки:

1. Расход основного металла на перекрытия в соединении. Необходимость экономии металла ограничивает применение нахлесточных соединений для элементов толщиной до 20 мм. Величина нахлестки (перекрытия) должна быть не менее 5 толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов.



**Рисунок 6.1 – Основные виды сварных соединений:**

*а — стыковые; б — стыковые с отбортовкой; в — стыковые листов разной толщины; г — нахлесточные; д — угловые; е — тавровые; ж — прорезные; з — торцовые; и — с накладками; к — электроаклёпочные; 1,3 — свариваемые элементы; 2 — накладки*

2. Распределение силового потока в нахлесточном соединении является нелинейным, поэтому оно хуже работает на переменную или динамическую нагрузку, чем стыковое. В конструкциях, работающих при низких температурах и подвергающихся действию переменных или динамических нагрузок, следует избегать нахлесточных соединений.

3. Возможность проникновения влаги в щель между перекрываемыми листами (при односторонней сварке), что вызывает коррозию сварного соединения.

Преимуществами нахлесточного соединения являются:

1. Отсутствие скоса кромок под сварку.
2. Простота сборки соединения (возможность подгонки размеров за счёт величины нахлестки).

Прорезные соединения (Рис. 6.1, ж) применяются тогда, когда длина шва нахлесточного соединения не обеспечивает достаточной прочности.

Соединения с накладками (Рис. 6.1, и) применяют только в тех случаях, когда не могут быть выполнены стыковые или нахлесточные соединения.

Накладки применяются также для соединения элементов из профильного металла и для усиления стыковых соединений.

Соединения электрозаклёпками (Рис. 6.1, к) применяют в нахлесточных и тавровых соединениях. При помощи электрозаклёпок получают прочные, но не плотные соединения. Верхний лист пробивается или просверливается, а отверстие заваривается так, чтобы был частично проплавлен нижний лист (или профиль). При толщине верхнего листа до 6 мм его можно предварительно не просверливать, а проплавливать дугой, горящей под флюсом или в защитном газе, при этом можно применять и неплавящиеся электроды.

### ***Классификация сварных швов***

Сварные швы подразделяются на стыковые и угловые по виду сварного соединения и геометрическому очертанию сечения шва. Стыковой шов характеризуется шириной ( $b$ ) и усилением  $h_s$ , глубиной провара  $h_n$ , угловой — катетом  $K$ , шириной  $B$ , толщиной  $H$ . Стыковые швы применяют для выполнения стыковых, торцовых, отбортованных, а иногда и угловых соединений. Угловые швы применяют в нахлесточных, тавровых и угловых соединениях.

По форме наружной поверхности стыковые швы могут быть плоские или выпуклые (с усилением) (Рис. 6.2, з). Угловые швы могут выполняться и вогнутыми. Сварные соединения с выпуклыми швами, хотя и неэкономичны, однако лучше работают на статическую нагрузку, чем соединения с плоскими или вогнутыми швами. При плоских и вогнутых швах нет резких переходов от основного к наплавленному металлу, как следствие — нет концентрации напряжений, и возрастает сопротивляемость соединения динамическим или знакопеременным нагрузкам. В соответствии со стандартом допускается выпуклость шва при нижней сварке до 2 мм и не более 3 мм для швов, выполненных в остальных положениях. Вогнутость допускается во всех случаях не более 3 мм.

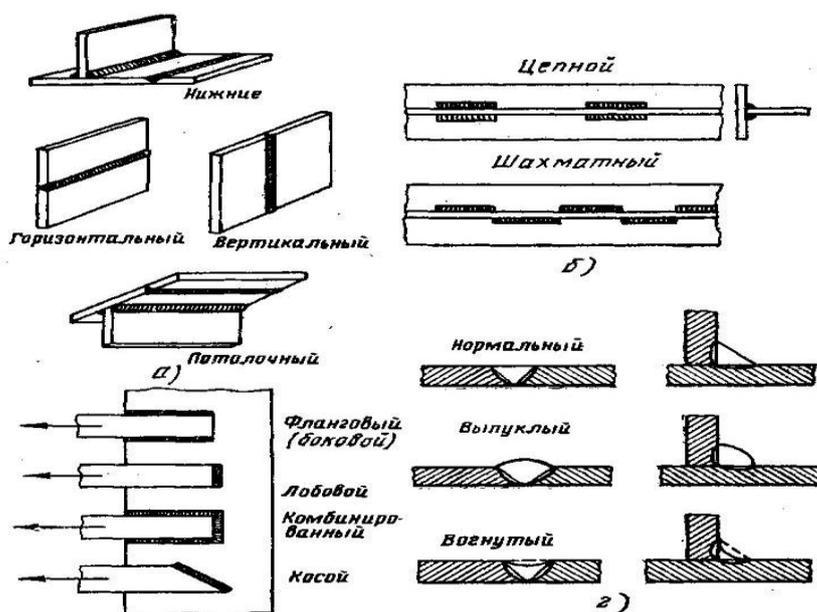
По положению в пространстве различают швы нижние, вертикальные, горизонтальные и потолочные (Рис. 6.2, а).

Сварка нижних швов наиболее удобна, легко поддается механизации. Наиболее сложен и труден потолочный шов, выполнение которого требует специальной тренировки. Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы в большинстве случаев применяют в строительстве и монтаже крупных сооружений и значительно реже — в заводских условиях, где с помощью приспособлений удаётся почти полностью сваривать конструкцию только в нижнем положении.

По отношению к направлению действующих усилий швы подразделяются на фланговые (боковые) и продольные, оси которых

параллельны направлению усилия; лобовые, оси которых перпендикулярны к направлению усилия; комбинированные и косые (Рис. 6.2, в).

По протяжённости различают швы сплошные и прерывистые. Прерывистый шов может быть цепным или шахматным. Цепной шов представляет собой двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором участки сварки и промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого (Рис. 6.2, б). Шахматный шов — двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва на другой стороне. Расстояние от начала проваренного участка шва до начала следующего участка называется шагом шва. Прерывистые швы применяют в соединениях, не требующих герметичности (непроницаемости) и когда сплошные швы слабо нагружены.



**Рисунок 6.2 – Классификация сварных швов:**

*а — по положению в пространстве; б — по протяженности; в — по отношению к направлению действующих усилий; г — по форме наружной поверхности*

Сварные соединения со сплошными швами лучше выдерживают знакопеременную нагрузку и меньше поддаются коррозии, чем соединения с прерывистыми швами. Особо ответственные сварные изделия, как правило, выполняются со сплошными швами.

По условиям работы швы подразделяются на рабочие, воспринимающие внешние нагрузки, и связующие (соединительные швы), предназначенные только для скрепления частей изделия. Связующие швы часто называют нерабочими швами.

На виды сварки, конструктивные элементы сварных швов и подготовки кромок для них действуют государственные стандарты:

ГОСТ 5264–80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные.  
ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные.  
ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Сварные соединения.  
ГОСТ 16037–80. Соединения сварных стальных трубопроводов.  
ГОСТ 14806–80. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные.

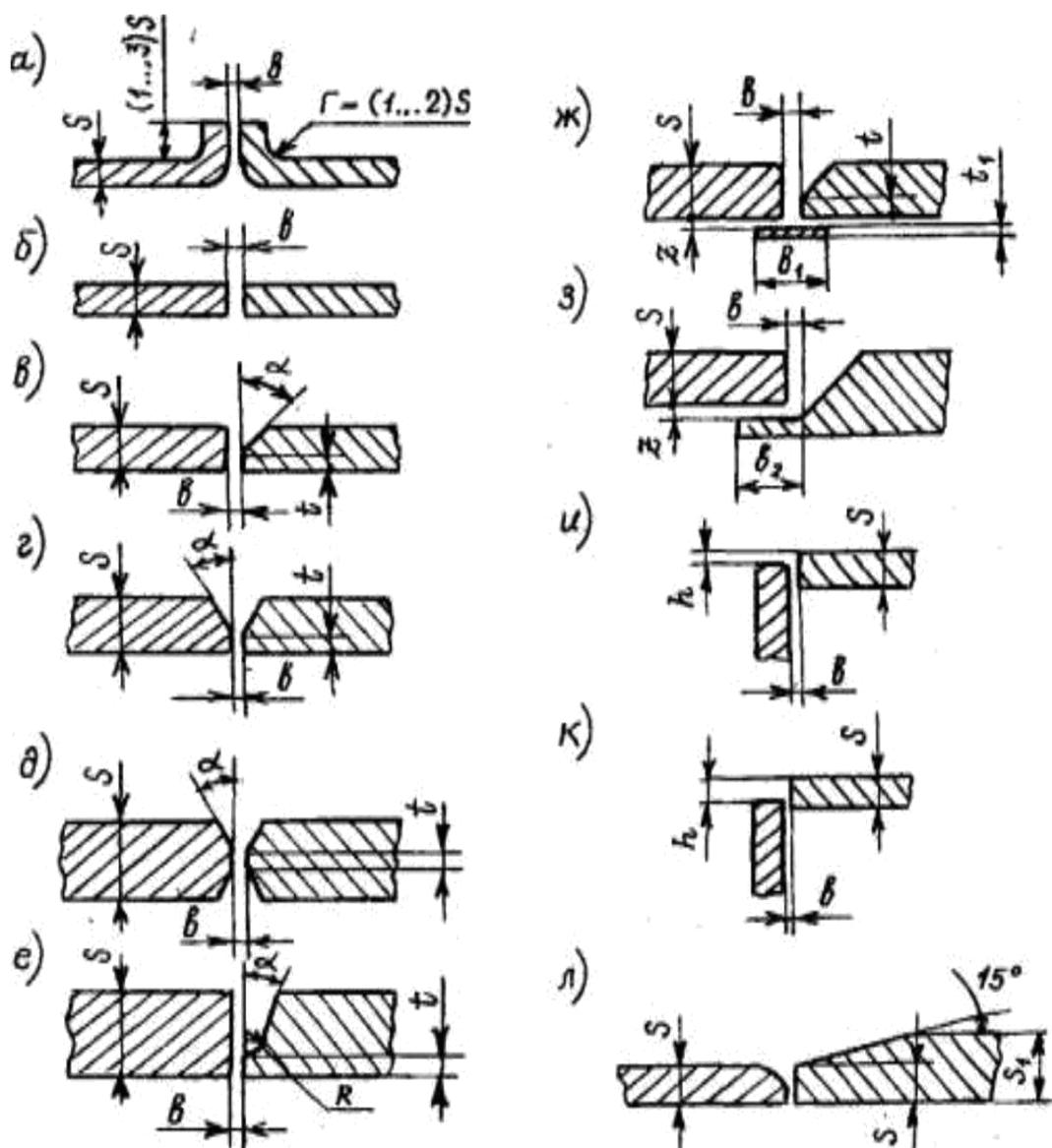
### ***Подготовка кромок под сварку***

Для обеспечения сквозного проплавления и получения сварного шва по всей толщине соединяемых деталей, их кромки должны быть подготовлены под сварку. Основные виды подготовки кромок и обозначение их конструктивных элементов изображены на рис. 6.3.

Отбортовку кромок (Рис. 6.3, *a*) применяют для деталей малой толщины  $s$  и обычно для сварки неплавящимся электродом без присадочного материала. Формирование шва происходит за счет оплавления кромок.

При толщине деталей более 6 мм применяют прямолинейные односторонние или двухсторонние скосы одной или двух кромок, а также криволинейные скосы. Скосы выполняют механической обработкой (точением, фрезерованием, строганием), скалыванием под углом на специальных ножницах, кислородной, плазменной резкой и другими способами.

При малой толщине деталей сварку можно осуществить без скоса кромок. Чертежи деталей проектируют так, чтобы обеспечить требуемые зазоры  $b$  между деталями, величину притупления  $t$  и угол скоса  $\alpha$ . Притупление  $t$  кромок назначают от  $1 \pm 1$  до  $2 \frac{1}{2}$  мм (большее притупление соответствует большей толщине  $s$ ). Угол  $\alpha$  скоса кромок зависит от способа сварки, вида скоса кромок и типа сварного соединения.



**Рис. 6.3 – Виды подготовки кромок под сварку:**

*а — с отбортовкой кромок; б, и, к — без скоса кромок; в — со скосом одной кромки; г — со скосом двух кромок; д — с двухсторонним скосом двух кромок; е — с криво-линейным скосом кромок; ж — с использованием остающейся или съёмной подкладки; з — с замковым расположением деталей; л — дополнительным скосом для устранения влияния разной толщины*

Детали при стыковом соединении должны иметь, как правило, одинаковую толщину. Допустимая разность толщины при сварке составляет не более 1, 2, 3 и 4 мм при толщине деталей соответственно до 4, 20, 30 и более мм. Если разность толщины больше, то на детали с большей толщиной делают скос под углом  $15^\circ$  с одной или двух сторон (рис. 6.3, л).

При угловом соединении допускается не делать скос кромок а формирование шва производить за счет смещения деталей на величину  $h$  (рис. 6.3, и, к). Смещение может быть менее  $0,5 s$  или более  $0,5 s$  при толщине деталей до 6 и 30 мм соответственно.

Выбор типа соединения и способа подготовки кромок зависит от условий его работы, толщины соединяемых деталей, конфигурации изделия и условий сварки. Так, наиболее дешевые соединения без подготовки кромок, но их сквозное проплавление ограничено толщиной детали. Скосы двух кромок, особенно криволинейные, наиболее трудоёмки, но позволяют сократить массу наплавленного металла и время сварки.

Зазоры между соединяемыми деталями обычно невелики, в противном случае возможны вытекание расплавленного металла и прожог кромок. Это обстоятельство особенно может проявиться при автоматической сварке.

Для защиты обратной стороны шва от вытекания металла могут быть использованы ниже перечисленные приёмы:

– *Замок*, т. е. перекрытие одной детали другой (рис. 6.3, з). Перекрытие деталей  $b_2$  составляет 3 ... 20 мм, а зазор в замке  $z = 0^{+0,5}$ . Способ эффективный, но дорогой.

– *Остающаяся стальная подкладка* (рис. 6.3, ж), толщина которой  $t_1$  достигает 0,5 толщины детали, но не менее 3 мм, ширина  $b_1 = 10 ... 30$  мм, а зазор между подкладкой и деталями  $z$  не должен быть более 0,5 ... 1 мм. Этот способ применяют, в частности, при сварке шаровых резервуаров, сосудов малого диаметра. Такие подкладки соответствуют соединениям С10, С19.

– *Съёмная технологическая подкладка из меди для стали*, из графита для меди и т. п., которая не приваривается и её удаляют после сварки (С9, С18).

– *Предварительная ручная, подварка корня шва* (С12, С13, С21, С23, У5, У10, Т2) является трудоёмкой, её применяют, когда свариваемое изделие невозможно кантовать или точно собрать перед сваркой.

– *Заделка зазора асбестовой набивкой или флюсовой подушкой.*

Сварные соединения можно выполнять автоматической, полуавтоматической или ручной сваркой. Способ сварки выбирают в зависимости от геометрических размеров изделий, свойств материалов, формы сварного шва и серийности производства.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка обладает большой производительностью, обеспечивает высокое качество и надёжность соединения, не требует высокой квалификации сварщика, даёт наибольший эффект в серийном и массовом производстве, а также при соединении толстостенных деталей. Недостатком этих способов является ограничение по конфигурации и положению шва. Наиболее распространенные автоматы способны сваривать прямолинейные горизонтальные швы или соединять цилиндрические детали типа тел вращения.

## Условное обозначение швов сварных соединений

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



**Рис. 6.4 – Структура расположения маркировочных знаков**

На рис. 6.4 показано как обозначается сварное соединение на чертеже на примере двухстороннего монтажного стыкового шва, выполняемого ручной дуговой сваркой:

1. В первой колонке изображен вспомогательный знак. Это контур замкнутого шва, определяющий выдвигаемые к элементу монтажные условия.
2. Второй блок содержит код межгосударственного стандарта, в соответствии которого должны осуществляться работы по свариванию металлоконструкции.
3. Третья колонка - это маркировка (обозначение) сварного шва на чертеже.
4. Далее изображен дефис, который на подкатегории разделяет все последующие позиции.
5. Буквы в пятом блоке указывают на технологию, по которой выполняются сварочные работы. Обязательно к заполнению эта позиция не является.
6. В шестой колонке содержится величина углового катета, величина его указана в миллиметрах.
7. Седьмой блок: дополнительное обозначение - прерывистый сварной шов, интервал шага, цепное или шахматное расположение и т. д.
8. В восьмом блоке изображаются вспомогательные знаки, указывающие на тип обработки (рис.6.5).
9. Последняя девятая колонка - это показатели чистоты поверхности стыкового соединения. Указывается в случаях, когда после сварочного процесса необходима механическая обработка изделия.

Г	Плавление следует выполнять непосредственно при его установке на месте, то есть при монтаже изделия.
О	Плавление производить по замкнутой линии – круговой вариант.
П	Соединение делать по незамкнутой линии.
/	Прерывистый способ – мелкими участками или точками с углом наклона линии примерно в 60°.
З	Прерывистый способ – мелкими участками или точками, но в шахматном порядке.
р	Выпуклости после работы механически снять.
Э	Неровности и наплывы металла выровнять механически для плавного перехода к металлу.

**Рис. 6.5 – Вспомогательные знаки**

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется сварным соединением?
2. Какие существуют основные виды сварных соединений?
3. В чем преимущества и недостатки стыкового соединения?
4. В чем недостатки нахлесточного соединения?
5. Какими параметрами характеризуются сварные швы?
6. Какова классификация сварных швов по геометрическому очертанию сечения?
7. Какова классификация сварных швов по положению в пространстве?
8. Как проводится подготовка кромок под сварку?
9. Какие существуют основные способы подготовки кромок под сварку?
10. Каково условное обозначение швов сварных соединений?
11. Какова структурная схема обозначения сварных швов на чертежах?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

**Тема:** «Исследование процесса сварки чугуна».

**Цель работы:** Изучить влияние различных методов электродуговой сварки чугуна на качество сварного соединения.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Вывод.

### **Общие сведения**

*Чугунами* называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода свыше 2%. Благодаря хорошим литейным свойствам и сравнительно невысокой стоимости они находят широкое применение в машиностроении.

В зависимости от состояния углерода и скорости охлаждения чугун разделяют на белый и серый.

Легирующие примеси по их влиянию на цементит делят на две группы:

- графитизирующие (Al, Si, C, Sn, Ni, Mn, P)
- карбидообразующие (V, W, Cr, S, Mo) элементы. Твердость является важной характеристикой чугуна, она зависит от структуры, легирующих примесей и размера графитных включений. Наименьшую твердость имеют ферритные чугуны, в которых почти весь углерод находится в свободном состоянии, перлитный чугун с пластинчатым графитом имеет HB 220—240, чугун с мартенситной металлической основой имеет HB 400— 500, а структура цементита HB 750. Наибольшее применение в народном хозяйстве имеют серые чугуны. Сварка серых чугунов производится двумя способами.

### **Горячая сварки чугуна**

*Горячая сварка* – это способ, при котором осуществляются предварительный и сопутствующий нагревы изделия до 600—700°С с последующим медленным охлаждением. Такой процесс уменьшает скорость охлаждения металла сварочной ванны и околошовной зоны, что обеспечивает полную графитизацию металла шва и отсутствие отбела в околошовной зоне, а также исключает возможность появления сварочных напряжений.

*Холодная сварка* – это сварка без предварительного нагрева изделия. Этот способ требует меньших затрат, при этом имеется возможность варьировать в больших пределах химическим составом металла шва. Но при наложении валика на холодную поверхность чугуна вследствие быстрого отвода тепла металл наплавленного валика получится твердым и хрупким. В околошовной зоне на первом участке неполного расплавления, ограниченном температурами 1150—1250°С, при большой скорости охлаждения образуется белый чугун, а на втором участке, где при нагреве от наплавки валика

образовался аустенит, большая скорость охлаждения и химический состав чугуна приводят к его переохлаждению с образованием твердой и хрупкой структуры мартенсита.

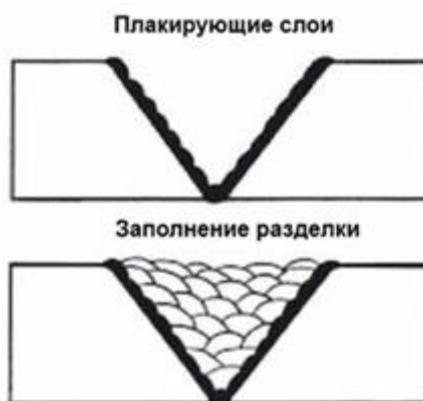
Уменьшение склонности к отбелу первого участка околошовной зоны при сварке чугуна может быть достигнуто введением в металл шва таких графитизаторов, как медь и никель (Сu, Ni), т. е. соответствующим изменением химического состава металла шва. Исключить или уменьшить вероятность образования мартенсита на втором участке околошовной зоны можно снижением скорости охлаждения, что достигается увеличением погонной энергии сварки или подогревом изделия.

### ***Методы холодной сварки чугуна***

*Сварка чугуна стальными электродами* — это наиболее доступный метод сварки. При сварке стальными электродами с обычными покрытиями вследствие проплавления чугуна на некоторую глубину в металле шва значительно возрастает содержание С. Быстрое охлаждение металла шва, имеющее место при холодной сварке чугуна, приводит к повышению твердости (закалке) шва и отбеливанию околошовной зоны.

Сварка чугуна стальными электродами с карбидообразующими элементами в покрытии приводит к тому, что углерод, поступающий в шов из основного металла, связывается в труднорастворимые мелкодисперсные карбиды (обычно ванадия), содержащиеся в электродном покрытии, и структура шва получается ферритной с включениями мелкодисперсных карбидов.

Уменьшить отрицательные последствия использования стальных электродов позволяет применение специальных электродов марки ЦЧ-4, которыми наплавляются первые плакирующие слои в разделке с последующим продолжением сварки обычными электродами из низкоуглеродистой стали. Наплавка плакирующего слоя изображена на рисунке 7.1.



***Рис. 7.1 – Наплавка плакирующего слоя***

Так, электроды марки ЦЧ-4, в покрытие которых вводится 70% феррованадия, обеспечивают наплавленный металл с содержанием ванадия (V) 9—10%. При сварке чугуна электродами из малоуглеродистой стали для улучшения качества сварного соединения рекомендуется применять

электроды малого диаметра и пониженную силу сварочного тока, что уменьшает тепловое воздействие на чугун. Сварку необходимо вести короткими участками, вразброс (по наиболее холодному месту) с перерывами, чтобы температура детали вблизи места сварки не превышала 50—60°C, валиками малого сечения.

*Сварка комбинированными медно-стальными электродами.* В производстве широкое применение нашли различные варианты комбинированных медно-стальных электродов, в частности медный стержень с толстым покрытием, содержащим железный порошок (электроды марки ОЗЧ-1) и пучок из медных и стальных электродов. Сварка такими электродами дает более удовлетворительные результаты по сравнению со сваркой электродами из малоуглеродистой стали. Пучок электродов обычно собирают из одного электрода типа Э-42 и двух прутков меди. Отбеливание околошовной зоны при сварке этими электродами уменьшается за счет повышенного содержания меди в сварочной ванне, которая является графитизирующим элементом, но полностью не устраняется.

*Сварка электродами из никелевых сплавов* ведется короткими валиками (30-50 мм) с проковкой их в горячем состоянии с целью устранения напряжений от усадки при остывании металла шва. Наличие в сварочной ванне элементов-графитизаторов (монель-металл содержит Ni 60—70% и Si 25—30%) уменьшает отбеливание околошовной зоны. Сварку следует производить при небольшой силе тока обратной полярности валиками малых сечений. *Сварка чугуна порошковой проволокой* — это механизированный способ, позволяющий не только повысить производительность труда, но и облегчить условия труда, особенно при горячей сварке чугуна. В настоящее время применяют три типа порошковых проволок: ППЧ-1 для холодной сварки серого чугуна; ППЧ-2 для сварки серого чугуна с подогревом; ППЧ-3 для горячей сварки серого чугуна. Сварку порошковой проволокой можно выполнять на полуавтоматах проволокой диаметром 3 мм.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Основные трудности сварки чугуна.
2. Почему для сварки чугуна часто применяют электроды, содержащие Ni и Si?
3. Основные технологические особенности холодной сварки чугуна.
4. Особенности и преимущества сварки чугуна порошковой проволокой.
5. Операции, составляющие процесс горячей сварки чугуна.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

**Тема:** «Исследование процесса сварки алюминия и его сплавов».

**Цель работы:** Изучить процесс сварки алюминия и его сплавов.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Эскизные изображения схемы сварки алюминия угольной дугой и аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом.
3. Вывод.

### **Общие сведения**

Алюминий и его сплавы получили широкое распространение в различных отраслях промышленности благодаря малой плотности, высоким механическим свойствам, высокой коррозионной стойкости и хорошей свариваемости. В настоящее время алюминий и его сплавы широко применяют для изготовления разных сварных конструкций, изделий и сосудов. Кроме проката алюминий используют в виде литья, поэтому дефекты литья обычно исправляют сваркой.

*Основными затруднениями* при сварке алюминия является:

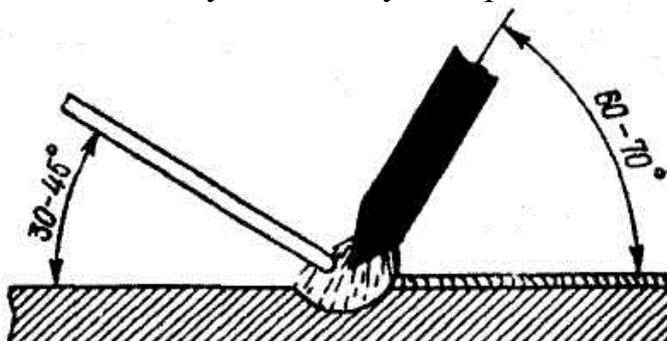
- присутствие на поверхности металла тугоплавкой плотной окисной пленки  $Al_2O_3$  ( $T_{пл} = 2050^\circ C$ ,  $\rho = 3,9 \text{ г/см}^3$ ), толщина которой увеличивается с течением времени и с повышением температуры.
- большие значения коэффициентов линейного расширения  $\alpha$  и теплопроводности часто приводят к деформациям, а иногда и к трещинам в сварных соединениях из алюминия и его сплавов.

Алюминиевые сплавы могут быть сварены всеми существующими видами сварки. Выбор способа сварки зависит от технических требований, конструктивных особенностей и технико-экономических соображений.

*Сварку алюминия угольным электродом* производят в исключительных случаях при изготовлении ответственных конструкций. Угольным электродом сваривается металл толщиной от 1,5 до 15 мм и завариваются дефекты литья. Листы толщиной до 3 мм свариваются без присадочного материала по отбортовке, до 8 мм — свариваются встык без подготовки кромок, свыше 8 мм — свариваются с подготовкой кромок. Присадочный материал берется того же состава, что и основной, или же применяются сплавы, содержащие Si до 5%. Во всех случаях применяются флюсы, которые наносятся на присадочный материал и на свариваемые кромки. Травления кромок не требуется.

Флюс АФ-4А для сварки алюминия состоит из  $NaCl = 28\%$ ,  $KCl = 50\%$ ,  $LiCl = 14\%$ ,  $NaF = 8\%$ .

Используется также часто флюс №3, состоящий из 30—35% криолита и 70—75% флюса АФ-4А. Криолит  $Ma_2AlP_6$  является растворителем  $Al_2O_3$ , но обладает повышенной температурой плавления;  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $LiCl$  снижают температуру плавления фтористых соединений и повышают жидкотекучесть шлаков. Схема сварки алюминия угольной дугой приведена на рис. 8.1.



**Рисунок 8.1 – Схема сварки алюминия угольной дугой**

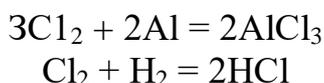
При сварке поперечные колебания не рекомендуются. При больших толщинах применяются двух-трехслойные швы и подогревается кромки дугой до температуры 250—300°. Сварку производят на графитовых, медных или стальных подкладках, на постоянном токе прямой полярности при определенных режимах (табл. 1).

**Таблица 1 – Режимы сварки алюминия угольной дугой**

Толщина листов, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
2-4	3-5	8	120-200
4-7	4-6	10-12	200-280
7-10	6-7	12-15	280-370
10-15	7-10	15	370-500

*Сварка алюминия металлическим плавящимся электродом* — наиболее дешевый и простой способ. Этот способ рекомендуется применять при изготовлении изделий и конструкций из металла толщиной более 3 мм. Электродные стержни берутся обычно того же химического состава, что и основной металл.

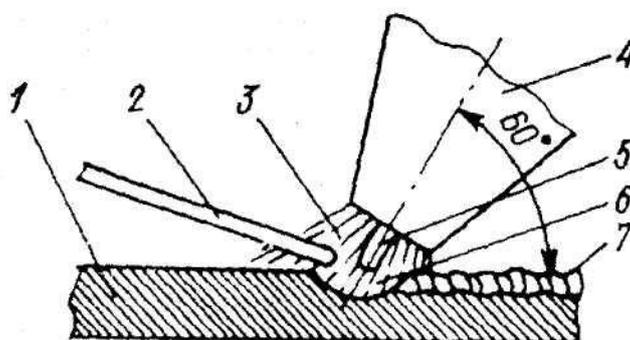
В состав электродных покрытий для дегазации ванны хлором в значительных количествах входят хлористые соединения. Хлор, диссоциируя, образует атомы, которые активно вступают в реакцию с алюминием и водородом, образуя  $AlCl$  и  $HCl$ , которые в виде пузырьков уходят в атмосферу:



Для сварки используют электроды марок ОЗА-1 и АФ-4аКр. Алюминиевые сплавы свариваются в инертных газах неплавящимся

вольфрамовым электродом и плавящимся электродом. При аргоно-дуговой сварке разрушение окисной пленки происходит за счет катодного распыления.

При сварке тонких материалов неплавящимся электродом без присадки или с присадкой в один проход горелку перемещают справа налево углом вперед (рис. 8.2). Присадка подается короткими возвратно-поступательными движениями и должна находиться под возможно меньшим углом к изделию. Конец прутика опирается на край расплавленной ванны. Однопроходная сварка выполняется без колебательных движений. Присадочная проволока берется того же состава, что и основной металл. Поверхность свариваемого изделия и присадочной проволоки подготавливается под сварку. Для сварки применяется аргон (Аг) марки Б, ГОСТ 10157—73 (Аг 99,95%).



**Рисунок 8.2 – Схема аргонодуговой сварки неплавящимся электродом:**

1 — свариваемое изделие; 2 — присадочный пруток; 3 — защитный газ; 4 — горелка; 5 — вольфрамовый электрод; 6 — сварочная дуга; 7 — наплавленный металл

Сварка вольфрамовым электродом ведется на переменном токе при определенных режимах, указанных в таблице 8.2. При стыковой сварке металла толщиной 1 — 1,5 мм с отбортовкой без присадки сила тока снижается на 10— 15%.

**Таблица 8.2 – Режимы аргонодуговой сварки алюминия вольфрамовым электродом**

Толщина металла, мм	Диаметр, мм		Сила тока, А	
	Вольфрамового электрода	Присадочной проволоки	В аргоне	В гелии
1-2	2	1-2	50-70	30-40
2-4	3	2-3	100-130	60-90
4-6	4	3	160-180	110-130
6-10	5	3-4	220-300	160-240
11-25	6	4	280-360	220-300

***Контрольные вопросы:***

1. Факторы, затрудняющие сварку алюминия и его сплавов.
2. Почему аргонно-дуговая сварка алюминия и его сплавов неплавящимся электродом производится на переменном токе?
3. Операции, составляющие процесс подготовки алюминия к сварке.

#### 4. Информационное обеспечение обучения

##### Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

###### Основные источники:

1. Лихачев, В. Л. Электродуговая сварка : пособие для сварщиков и специалистов сварочного производства / В. Л. Лихачев. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2020. - 640 с.
2. Тимошенко, В. П. Ручная дуговая сварка : учебное пособие / В. П. Тимошенко, М. В. Радченко ; под общ. д-ра техн. наук, проф. М. В. Радченко. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 264 с.
3. Овчинников, В. В. Технология изготовления сварных конструкций : учебник / В. В. Овчинников. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 208 с.
4. ГОСТ 5264-80 - Ручная дуговая сварка соединения сварные. Основные типы и конструктивные элементы.
5. ГОСТ 8713-79 - Сварка под флюсом, соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
6. ГОСТ 14771 - 76 - Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах. Основные типы и конструктивные элементы.
7. ГОСТ 14806-80 - Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

###### Дополнительные источники:

1. Овчинников, В. В. Справочник техника-сварщика : учебное пособие / В.В. Овчинников. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 304 с.
2. Золотоносов Я.Д., Крутова И.А., Сварочное производство. Современные методы сварки. Учебное пособие (книга)-М.: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 216 с.

###### Интернет- ресурсы:

1. <https://svarkaed.ru/svarka/vidy-i-sposoby-svarki/gazovaya-i-gazozashhitnaya-svarka/sut-gazovoj-svarki.html>
2. <https://weldering.com/poverhnoznaya-rezka-metallov>
3. <http://osvarke.net/duga/svarochnaya-duga/>
4. <https://cyberpedia.su/6x748f.html>
5. <https://weldering.com/uslovnye-oboznacheniya-pokrytyh-elektrodov>
6. <https://electrod-svel.ru/tehnika-svarki/parametry-rezhima-ruchnoy-dugovoy-svarki.html>
7. <http://www.pipe-technology.ru/welding.php?id=2#:~:text=Режимы%20сварки%20под%20флюсом%20имеют,изделия%20и%20электрода%20при%20сварке>