

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Васильев В.И., Колмогоров Д.Е., Кузнецов М.А.,  
Павлов Н.В.

# **ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета

2014

УДК 621.791.03

ББК

В19

**Васильев В.И.**

**В19** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. Лабораторный практикум: учебное пособие / Васильев В.И., Колмогоров Д.Е., Кузнецов М.А., Павлов Н.В. – Юрга: Изд-во Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, 2014. – 142 с.

В пособии рассмотрены разделы дисциплины «Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки». Приведены лабораторные работы по: технологии сварки низкоуглеродистых сталей ручной дуговой сваркой, механизированной сваркой в углекислом газе и сваркой под флюсом; определению коэффициентов плавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при различных способах сварки; определению зависимости формы и размеров сварного шва от изменения параметров режимов сварки; дуговая сварка цветных металлов и чугуна; строению и горению газового пламени; оборудованию для резки; технологии кислородной резки.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение» профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства»

УДК 621.791.03

ББК

*Рецензенты*

Доктор технических наук, доцент  
Кафедры сварочного производства ЮТИ ТПУ

*А.Г. Крамтит*

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедры сварочного производства ЮТИ ТПУ

*А.В. Крюков*

© ЮТИ ТПУ, 2014

© Васильев В.И., Колмогоров Д.Е., Кузнецов М.А., Павлов Н.В.

© Обложка. Издательство Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Устройство газового оборудования и держателя шлангового типа.	4
Технология механизированной сварки низкоуглеродистых сталей в углекислом газе.	13
Технология ручной дуговой сварки низкоуглеродистых сталей.	20
Технология механизированной сварки низкоуглеродистых сталей под флюсом.	33
Определение зависимости формы и размеров сварного шва от изменения параметров режимов сварки.	43
Определение коэффициентов плавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при механизированной сварки в углекислом газе.	50
Определение коэффициентов плавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при механизированной сварки в углекислом газе с использованием защитных покрытий.	56
Определение коэффициентов плавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при дуговой сварки покрытыми электродами.	61
Определение коэффициентов плавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при механизированной сварки в углекислом газе с импульсной подачей электродной проволоки.	68
Дуговая резка металла	79
Форма и размеры сварного шва при механизированной сварки в углекислом газе и смеси газов (Ar+CO <sub>2</sub> ).	85
Дуговая сварка цветных металлов.	91
Дуговая сварка чугуна.	98
Процесс горения и строения газового пламени	105
Исследование оборудования для кислородной резки металлов	115
Исследование технологии кислородной резки металла	128
Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления	138
ПРИЛОЖЕНИЕ	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	140

# **УСТРОЙСТВО ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ДЕРЖАТЕЛЯ ШЛАНГОВОГО ТИПА**

## **1. Цель работы**

Цель работы: ознакомиться с газовым оборудованием и держателем шлангового типа для дуговой сварки.

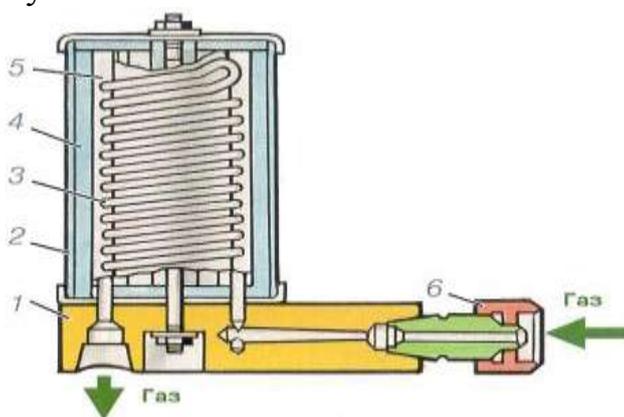
## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Газовый редуктор.
2. Подогреватель газа.
- 3.осушитель газа.
4. Отсекатель газа.
5. Держатель шлангового типа для сварки в углекислом газе.
6. Держатель шлангового типа для сварки в среде аргона.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

### **Подогреватель газа.**

Используется только при сварке в углекислом газе. Испарение жидкого углекислого газа, при большом его расходе, приводит к резкому понижению температуры. Влага, содержащаяся в газе, замерзает в редукторе. Для безопасности подогреватель питается постоянным (20 В) или переменным (36 В) током. Подогреватель газа представлен на рисунке 1.



*Рис. 1. Подогреватель газа*

*1. – Корпус, 2. – Кожух, 3. – Змеевик, 4. – Теплоизоляция, 5 – Нагревательный элемент, 6 – Накидная гайка*

## Осушители газа.

Поглощает влагу из углекислого газа. Выпускается двух модификаций: высокого и низкого давления. Осушитель высокого давления устанавливают перед регулятором (редуктором), а низкого – после него. Влагопоглощающим веществом служит силикагель или алюмогликоль. Путем прокаливания при 250 – 300 °С эти вещества поддаются восстановлению. Осушитель газа представлен на рисунке 2.

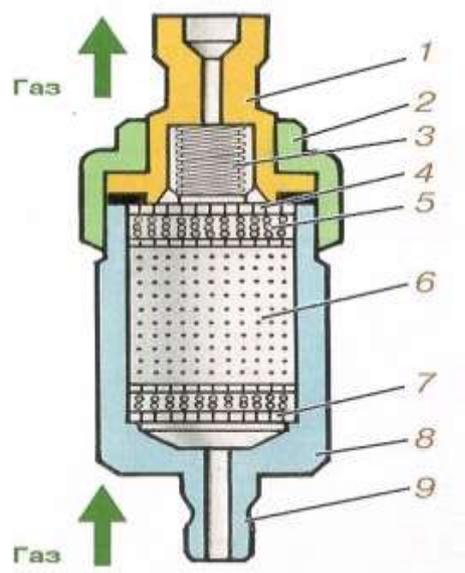


Рис. 2. Осушитель газа

1. – Втулка, 2. – Накладная гайка, 3. – Пружина, 4. – Сетка, 5 – Фильтр, 6 – Осушающий материал, 7. – Сетчатая шайба, 8. – Корпус, 9. – Штуцер

## Газовый редуктор.

Газовые редукторы предназначены для снижения давления газа в баллоне с 50 – 150 атм до рабочего давления, которое принято для аргона равным примерно 0,5 атм, а для углекислого газа – 0,5 – 2,5 атм. Редукторы обеспечивают постоянное заданное рабочее давление газа. На рисунке 1 представлен редуктор.

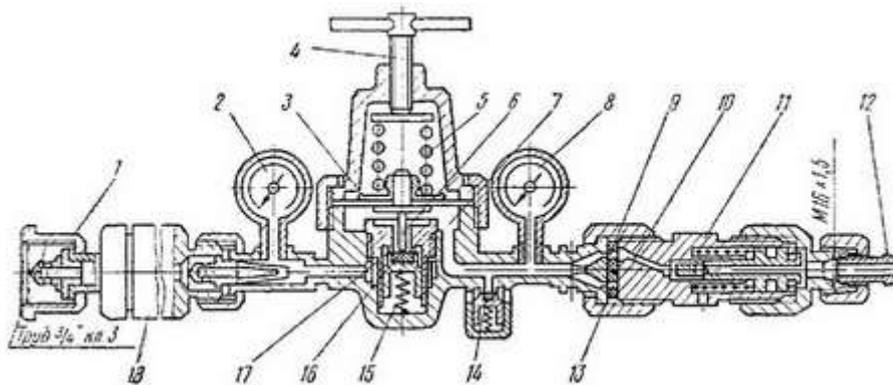


Рис. 3. Схема газового редуктора У-30 для углекислого газа

1 - накидная гайка, 2, 8 - манометры, 3 - мембрана, 4 - винт регулировочный, 5 - пружина, 6 - игла, 7 - камера низкого давления, 9, 13 - калиброванные отверстия, 10 - канал, 11 - клапан, 12 - штуцер, 14 - предохранительный клапан, 15 - пружина, 16 - клапан, 17 - седло, 18 - подогреватель

### Принцип работы газового редуктора.

При сварке расход газа сравнительно невелик. Поэтому применяют редукторы обратного действия, с малой пропускной способностью (до 4 – 5 м/ч), с минимальной ценой деления шкалы манометра низкого давления и с наиболее чувствительным регулированием. Обычно используют либо кислородные редукторы типа РК-53Б с замененным манометром низкого давления, либо специальные редукторы. Для сварки в углекислом газе применяют редукторы ДЗД-1-59М или У-30 (рис. 1). Редуктор присоединяется к баллону накидной гайкой 1. Давление газа в баллоне измеряется манометром 2. В исходном положении выход газа из камеры закрыт клапаном 16, прижатым к седлу 17 запорной пружиной 15. Усилие прижатия клапана регулируется степенью натяжения противодействующей пружины 5, связанной с клапаном 16 через мембрану 3 и иглу 6. При отсутствии сжатого газа в камере 7 игла создает дополнительное давление на клапан 16 и открывает его. Газ через камеру 7 поступает в газовый канал и горелку. При повышении давления в камере 7 сверх заданного мембрана 3 сожмет пружину 5, вследствие чего клапан 16 закроется. При отборе газа давление в камере 7 понизится и клапан откроется опять. Таким образом, величина рабочего давления зависит от степени сжатия пружины 5, которая может регулироваться винтом 4. Для предотвращения подачи потребителю газа давлением выше 3 атм на редукторе установлен клапан И предельного давления. Кроме того, на корпусе редуктора установлен предохранительный клапан 14,

препятствующий повышению давления в рабочей камере более 18 атм. Редуктор У-30 снабжен подогревателем газа 18, состоящим из нагревательного элемента и терморегулятора, периодически отключающего нагревательный элемент при перегреве.

### Отсекатель газа.

Существует два типа отсекателей: механический и электрический.

В исходном положении, когда сварочная горелка находится на кронштейне отсекателя, система подачи газа перекрыта. После регулирования подачи газа на заданный режим сварки или наплавки включают сварочный аппарат и снимают горелку с кронштейна, вследствие чего отсекаТЕЛЬ включает подачу газа. Встраивание отсекателя в систему подачи газа преследует цель значительного сокращения непроизводительного расхода защитного газа. Конструкция механического отсекателя, представленная на рисунке 4.

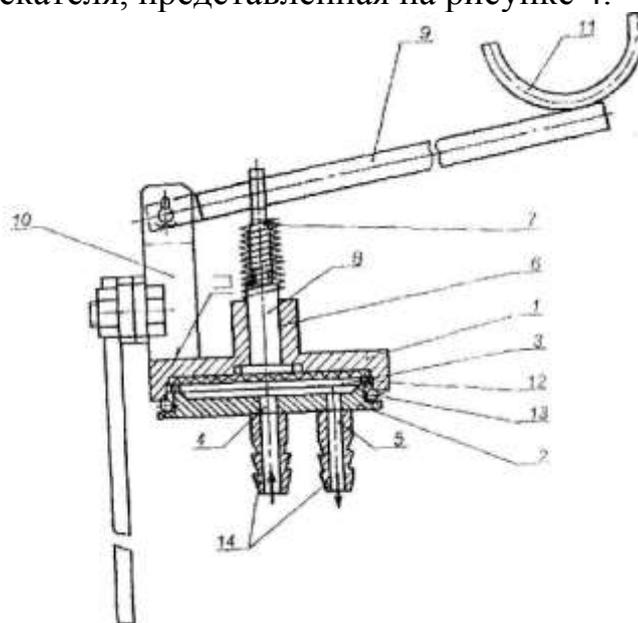


Рис. 4. Механический отсекаТЕЛЬ газа

Отсекатель газа включает корпус, состоящий из верхней 1 и нижней 2 крышек. В крышках 1 и 2 выполнены углубления, образующие при соединении крышек уплотнительную камеру 3. В нижней крышке 2 выполнены отверстия 4 и 5 для входа и выхода соответственно в и из камеры 3. На верхней крышке 1 выполнено направляющее отверстие 6 под пружиненный в осевом направлении пружиной 7 шток 8. Возвратно-поступательное перемещение штока 8 производится вниз при помощи привода в виде рычага 9, шарнирно

установленного на стойке 10, прикрепленной к верхней крышке 1, и **вверх** возвратной пружиной 7. Рычаг 9 приводится в движение массой сварочной горелки, которую вешают на крюк 11 при прекращении процесса сварки. Для исключения утечки газа в местах соединения крышек 1 и 2 и штока 8 в отверстии 6 установлены уплотнения 12 и 13 соответственно.

Отсекатель газа предназначен для включения и выключения подачи газа в зону сварки. Представляет собой электромагнитный газовый клапан и состоит из катушки с втягивающимся сердечником. Вся конструкция помещена в корпус с входным и выходным штуцерами. Конструкция отсекаателя, представленная на рисунке 5.



*Рис. 5. Электрический отсекаатель газа*

### **Держатель шлангового типа для сварки в углекислом газе.**

Горелка – с устройство для направления в зону дуги электродной проволоки, подвода к ней сварочного тока, подачи защитного газа, управления процессом сварки. Конструктивно подразделяются на три группы: 1) толкающего типа, 2) толкающе-тянущего типа, 3) тянущего типа.

Сопло горелки цилиндрической или конусной формы делают из меди с гальваническим покрытием. В сопло устанавливают рассекатели или сеточки (газовые линзы). Металлические сопла горелки изолируют от токоведущих частей.

Горелка соединена с механизмом подачи проволоки гибким шлангом, по которому подаются электродная проволока, сварочный ток, защитный газ. Конструктивные элементы горелки представлены на рисунке 6.

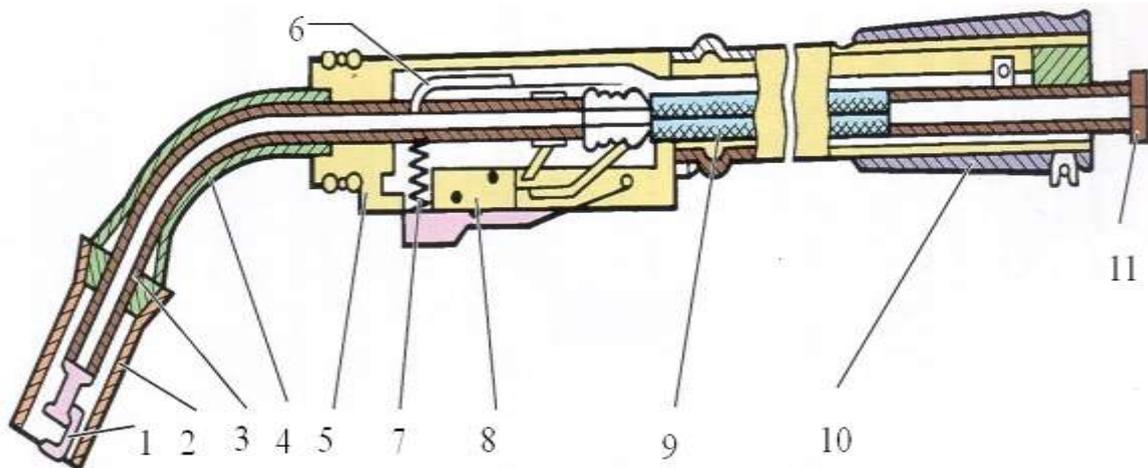


Рис. 6. Конструктивные элементы горелки для сварки в углекислом газе  
 1. – Токпроводящий наконечник, 2. – Сопло, 3. – Спираль, 4. – Направляющая втулка, 5 – Ручка, 6 – Трубка для подачи газа, 7 – Пружина, 8. – Микровыключатель, 9. – Плетенка, 10 – Резиновая втулка, 11 – Штуцер

Шланг специальной конструкции имеет внутри спираль, по которой подается сварочная проволока. Спираль изолирована от токоведущих частей бензостойкой резиной. Вместе с токопроводящей частью помещены изолированные проводники цепей управления. Снаружи шланг покрыт резиновой оболочкой. Конструктивные элементы шланга представлены на рисунке 7.

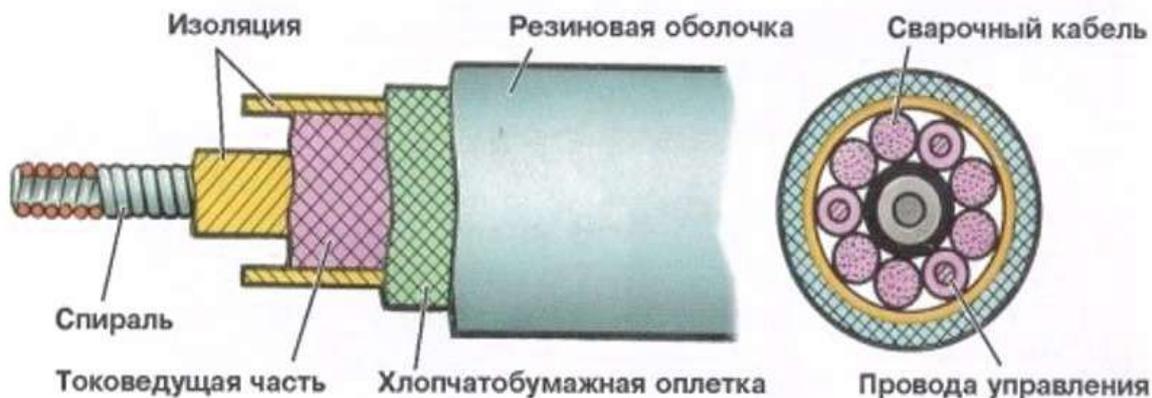


Рис. 7. Конструктивные элементы шланга

Шланг присоединяется к механизму подачи проволоки специальным разъемом. Специальные разъемы представлены на рисунке 8.



*Рис. 8. Специальные разъемы*

### **Держатель шлангового типа для сварки в среде аргона.**

Горелки делятся по применению на ручные и автоматические, по системе охлаждения — на горелки с естественным и водяным охлаждением.

Для закрепления вольфрамового электрода и токоподвода к нему чаще всего применяются цанговые зажимы, с цангами, вынимающимися либо в сторону дуги, либо в противоположном направлении. Существуют также и бесцанговые конструкции, например с винтовым поджимом вольфрамового электрода. Такая конструкция более проста, не нуждается в сменных цангах, но не обеспечивает достаточной надежности токоподвода.

Эффективность газовой защиты сварочной ванны во многом зависит от аэродинамических свойств проточной части сопла горелки. Наиболее широкое применение нашли сопла, имеющие коническую камеру на входе газа цилиндрический канал на выходе. Сварочная горелка для ручной сварки представлена на рисунке 9.

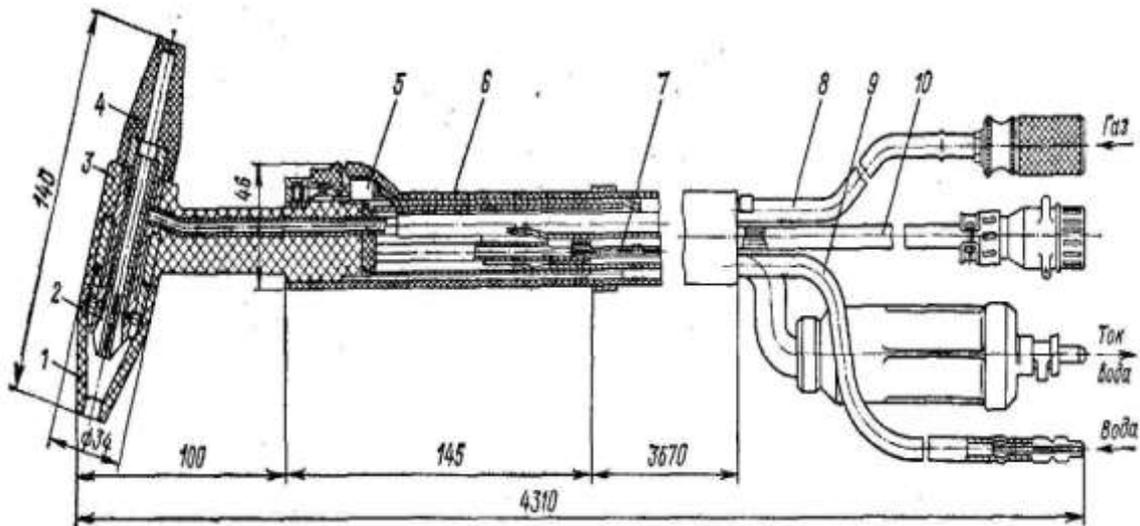


Рис. 9. Горелка для ручной сварки

Каждая горелка состоит из корпуса 3, рукоятки 6, сменной цанги 2, тыльного колпачка 4, сопла 1, выключателя 5, токоподвода 7, трубки 8 для подвода газа, трубки 9 для подвода воды и проводов для управления 10.

Существуют малые, средние и большие горелки. Сопла малой и средней горелок выполнены из керамики, большая горелка имеет медное сопло, охлаждаемое водой. Каждая сварочная горелка комплектуется сменными соплами и цангами соответствующих диаметров. Для смены вольфрамового электрода и цанги 2 следует отвернуть тыльный колпачок 4 и вынуть цангу со стороны сопла, а на ее место установить цангу и вольфрамовый электрод необходимого диаметра. Сварочная горелка типа ЭЗР-3 предназначена для ручной сварки на токах до 160 А при ПВ = 60 %. Конструкция горелки рассчитана на работу без водяного охлаждения. Сопло, выполненное из керамики, крепится к корпусу с помощью разжимной цанги, в которой одновременно закрепляется вольфрамовый электрод. В рукоятку вмонтирован вентиль, предназначенный для пуска, регулирования и прекращения подачи газа. Использование сменных сопел и колпачков различной длины позволяет производить сварку в затесненных и труднодоступных местах.

#### ***4. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Устройство и принцип работы редуктора.
2. Для чего применяется подогреватель, осушитель и отсекающий газ?
3. Устройство подогревателя, осушителя и отсекающего газа.
4. Устройство держателя шлангового типа для сварки в углекислом газе и в среде аргона.
5. Перечислить конструктивные элементы держателя шлангового типа.

# **ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ**

## **1. Цель работы**

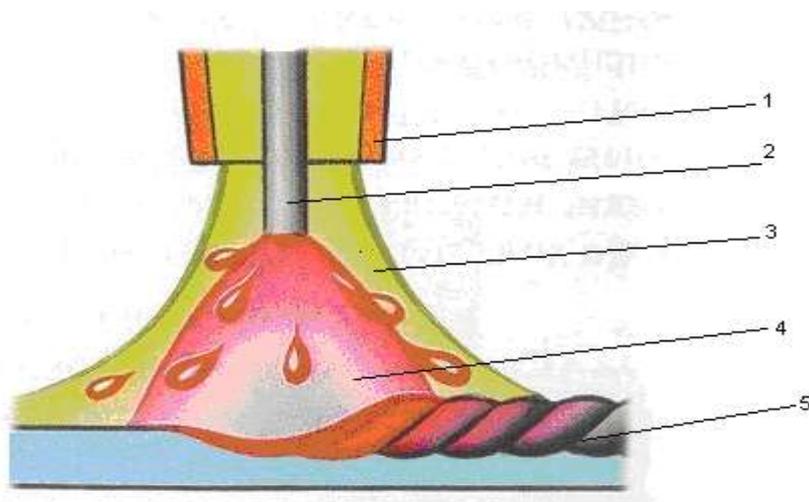
1. Ознакомиться с устройством полуавтомата для сварки в углекислом газе.
2. Ознакомиться с методикой выбора параметров режима полуавтоматической сварки в углекислом газе.
3. Ознакомиться с техникой выполнения швов на полуавтомате.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Пост для механизированной сварки в углекислом газе
2. Сварочный и слесарный инструмент.
3. Линейка.
4. Секундомер.
5. Стальные образцы.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

Сварку в углекислом газе производят во всех пространственных положениях, что очень важно при производстве строительно-монтажных работ. Схематично сварка в углекислом газе представлена на рисунке 10.



*Рис. 10. Механизированная сварка в среде углекислого газа  
1 - сопло горелки, 2 – электродная проволока, 3 – защитный газ ( $CO_2$ ), 4 –  
сварочная дуга, 5 – сварной шов.*

Сварку осуществляют на постоянном токе обратной полярности. При сварке на постоянном токе прямой полярности снижается стабильность горения дуги, ухудшается формирование шва, и увеличиваются потери электродного металла на угар и разбрызгивание. Однако коэффициент наплавки в 1,6...1,8 раза выше, чем при обратной полярности. Это качество используют при наплавочных работах. Сварку можно производить и на переменном токе при включении в сварочную цепь осциллятора.

Источниками питания дуги постоянным током служат сварочные выпрямители с жесткой внешней (ВС-300Б, ВСЖ-303 и др.) или универсальной (ВДУ-506, ВДУ-601, ВДУ-1201 и др.) характеристиками.

Листовой материал из углеродистых и низколегированных сталей успешно сваривают в углекислом газе; листы толщиной 0,6...1,0 мм сваривают с отбортовкой кромок. Допускается также сварка без отбортовки, но с зазором между кромками не более 0,3...0,5 мм. Листы толщиной 1,0...8,0 мм сваривают без разделки кромок; при этом зазор между свариваемыми кромками должен быть не более 1 мм. Листы толщиной 8...12 мм сваривают с V – образной разделкой, а при больших толщинах с X – образной разделкой. Перед сваркой кромки изделия должны быть тщательно очищены от грязи, краски, окислов и окалины.

Наплавка валиков на полуавтомате производится сварочной проволокой.

Выбор режима и техники сварки в углекислом газе зависит от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, положения шва в пространстве и ряда других факторов. К основным параметрам режима механизированной сварки относятся полярность и сила сварочного тока, напряжение сварки, диаметр электродной проволоки и скорость её подачи, вылет, расход защитного газа, скорость сварки.

Для каждого диаметра электрода существует диапазон токов, в котором обеспечивается достаточная устойчивость процесса сварки и удовлетворительное формирование швов. Диапазон токов представлен в таблице 1.

Таблица 1

*Диапазон токов*

d, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
I, А	50 – 130	70 – 180	100 – 240	150 – 400	200 – 550

Конкретное значение силы тока выбирается из условия получения требуемых размеров шва и производительности сварки.

Наилучшие результаты дает сварка при больших плотностях тока, обеспечивающих более устойчивое горение дуги, высокую производительность процесса и снижение потерь металла на разбрызгивание. Для этого при сварке в углекислом газе применяют электродную проволоку диаметром 0,5...2,0 мм и выполняют сварку при плотности тока не менее 80 А/мм<sup>2</sup>.

Напряжение на дуге при сварке в углекислом газе обычно находится в пределах от 18 до 35 В. Оптимальное значение напряжения для заданной силы тока устанавливается с учетом разбрызгивания, производительности и формирования шва. Превышение оптимального напряжения приводит к увеличению разбрызгивания, возрастанию интенсивности металлургических реакций окисления с изменением химического состава металла шва, увеличивается ширина шва. Минимальное разбрызгивание наблюдается при низком напряжении дуги.

При сварке в углекислом газе на малых и средних токах перенос электродного металла в основном ведется с короткими замыканиями. Сварка на форсированных режимах, повышающая производительность, характеризуется значительным проплавлением основного металла. Разбрызгивание можно уменьшить погружением дуги в сварочную ванну. При внешней составляющей дуги равной 2-3 мм получают швы с хорошим формированием и небольшим разбрызгиванием.

Скорость подачи электродной проволоки, зависящая от диаметра и химического состава проволоки, устанавливается в соответствии с требуемой силой сварочного тока по графику (рис.11).

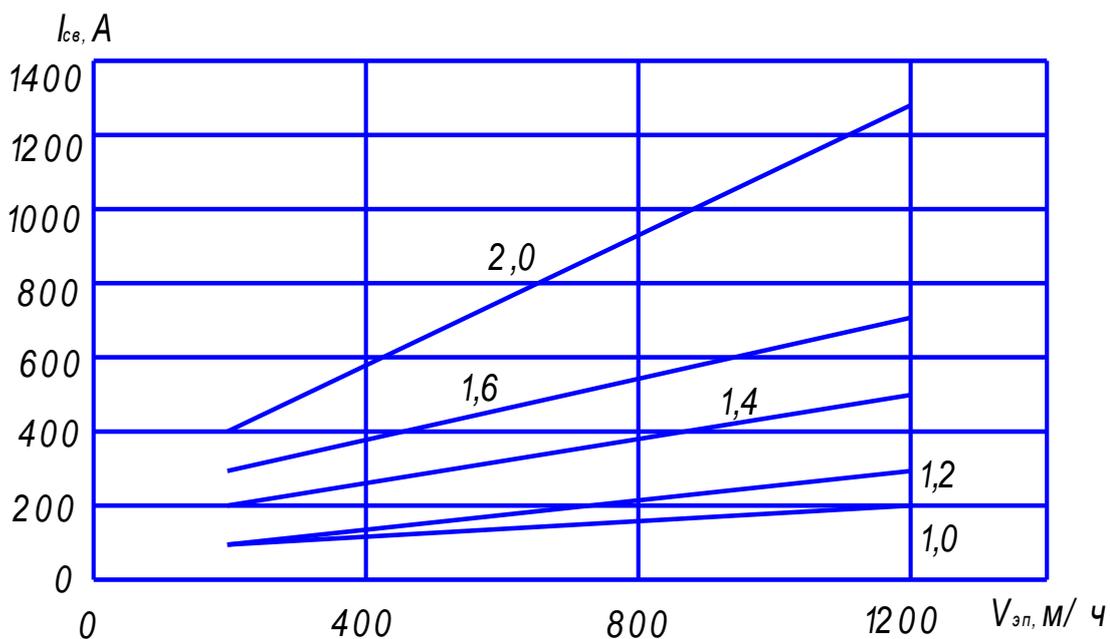


Рис. 11. Зависимость скорости подачи электродной проволоки от силы сварочного тока ( $d$  - диаметр электродной проволоки  $S_v$  - 08Г2С, мм)

Значительное влияние на производительность сварки и устойчивость горения дуги оказывает вылет электрода  $L$ , рекомендуемые величины которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

*Рекомендуемые величины вылета электрода*

$d$ , мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
$L$ , мм	6 – 8	8 – 11	9 – 12	12 – 18	14 – 25

Расход углекислого зависит от режима сварки, конструкции горелки, её положения относительно шва и типа сварного соединения. При сварке на различных режимах расход газа обычно составляет 6 – 20 л/мин.

Увеличение расхода углекислого газа сверх минимально необходимого влияет на стабильность горения дуги, химический состав металла шва и свойства сварного соединения. Для обеспечения качественной защиты зоны сварки целесообразно выдерживать расстояние  $h$  от сопла горелки до изделия в пределах, указанных в таблице 3.

Пределы расстояния  $h$ 

$d$ , мм	0,8	1,0 – 1,2	1,6 – 2,0
$h$ , мм	6 – 15	8 – 18	15 – 25

Скорость сварки в углекислом газе, выбранная с учетом, как производительности, так и формирования шва, обычно составляет 15 – 18 м/ч.

Полуавтоматическую сварку в углекислом газе ведут как «углом вперед», так и «углом назад» с наклоном электрода до  $15^\circ$ . При сварке «углом вперед» провар меньше, а шов шире, при сварке «углом назад» провар больше, а шов уже. Тонкий металл 1-2 мм сваривает без поперечных перемещений горелки. При сварке более толстого металла используются такие же приемы поперечных колебаний электрода, что и при ручной дуговой сварке штучными электродами (рис. 12).

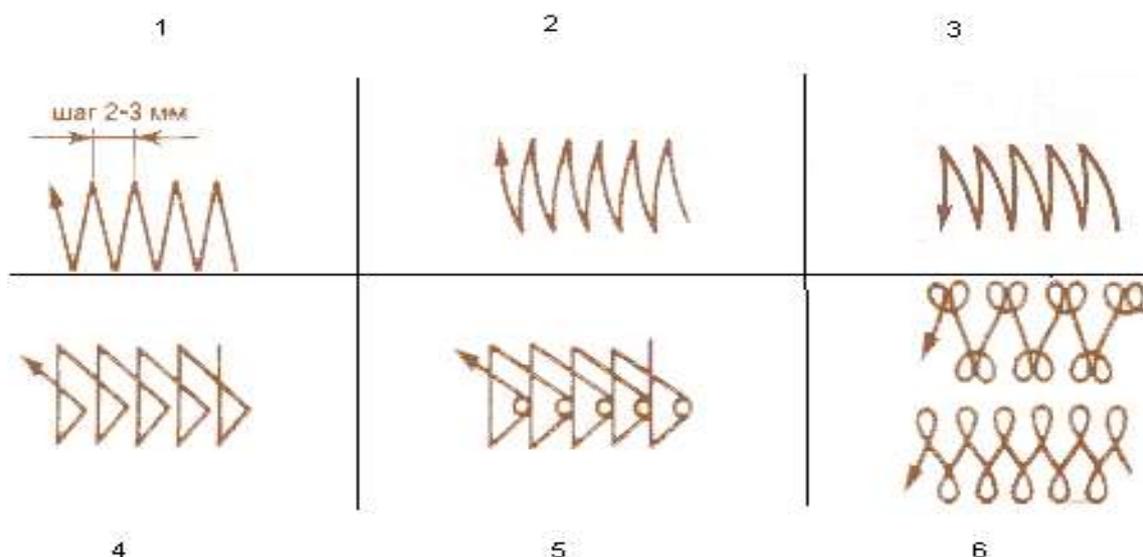


Рис. 12. Схемы перемещения горелки при сварке стыковых швов: 1 - зигзагообразные, 2 - полумесяцем вперед, 3 - полумесяцем назад, 4 - треугольником, 5 - треугольником с задержкой электрода в корне шва, 6 - петлеобразные

При сварке с разделкой кромок корневые швы выполняют с возвратно-поступательным перемещением электрода вдоль оси шва, средние слои — с перемещением электрода по вытянутой спирали, верхние слои – с колебаниями электрода «змейкой». При сварке швов

большого сечения не следует увеличивать размер сварочной ванны более 25 – 30 мм во избежание окисления металла шва.

Механизированную сварку в углекислом газе можно выполнять в различных пространственных положениях. Металл толщиной до 6 мм сваривают сверху вниз «углом назад». Если толщина металла менее 3 мм, то колебаний электродом не производят. При большой толщине выполняют поперечные колебания электродом. Металл толщиной более 6 мм сваривают сверху вниз «углом вперед» или «углом назад» с поперечными колебаниями, как и при сварке штучными электродами. Горизонтальные швы выполняют проволоками 0,8 — 1,4 мм. Металл толщиной до 3 мм сваривают без скоса кромок с небольшим зазором, с наклоном электрода вниз или вверх «углом назад» и без поперечных колебаний. Металл большей толщины сваривают по скошенной кромке верхнего листа и наклоном электрода вверх. Потолочные швы сваривают электродными проволоками 0,5 – 1,4 мм «углом назад» при минимальных значениях тока и напряжения и направлении дуги в сварочную ванну.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Ознакомиться с технологией и режимами механизированной сварки в углекислом газе.

3. Очистить поверхность свариваемых образцов от масла и ржавчины.

4. Настроить режим сварки, выбирая, в соответствии с материалом и толщиной образца, диаметр электродной проволоки, скорость подачи электродной проволоки, силу тока, напряжение дуги, расход углекислого газа, положение горелки относительно изделия, пространственное положение.

Таблица 4

*Ориентировочные данные по подбору режима сварки.*

Диаметр сварочной проволоки, мм	Полярность тока сварки	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Расход газа, л/мин
1,2 – 1,4	обратная	160 – 400	24 – 31	8 – 20

1,6 – 2,0	обратная	250 – 500	26 – 34	8 - 20
-----------	----------	-----------	---------	--------

5. Разметить по длине образца 3-4 равных участка и произвести сварку (наплавку) в нижнем положении, изменяя ступенчато на каждом участке сварочный ток, например, 100, 150, 200, 250 А. Измерить ширину шва и время сварки на каждом участке. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5

Сила тока	Время сварки	Ширина шва
100		
150		
200		
250		

6. Для сравнения опыт повторить, выполнив сварку (наплавку) без защиты углекислого газа.

7. Оценить качество формирования шва в обоих случаях внешним осмотром. Сделать выводы.

### ***5. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Объяснить сущность способа сварки в углекислом газе.
2. Перечислить основные параметры сварки при сварке в углекислом газе.
3. Преимущества и недостатки сварки в углекислом газе.
4. Для чего в сварочную проволоку добавляют марганец и кремний?

# **ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

## **1. Цель работы**

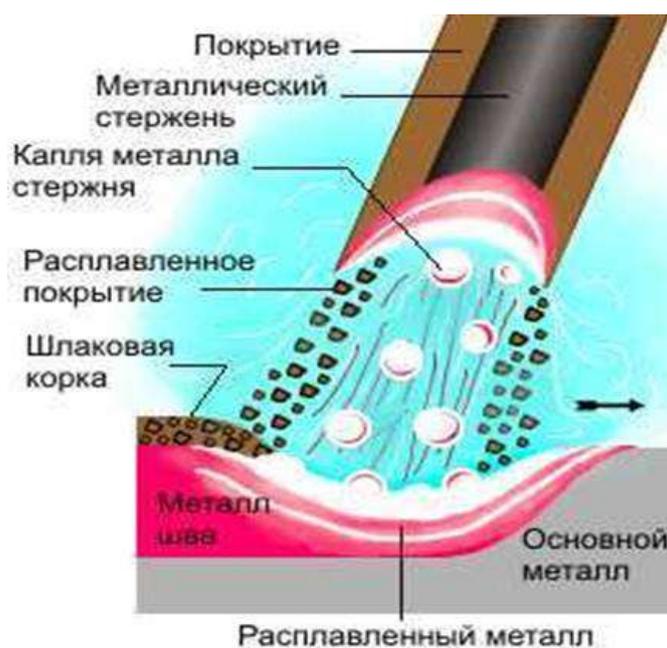
Ознакомиться с сущностью процесса, оборудованием, материалами и режимами ручной дуговой сварки.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Сварочный пост для ручной дуговой сварки.
2. Стальные образцы.
3. Зубило, молоток, металлическая щетка.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

Электрическая дуговая сварка покрытыми электродами относится к сварке плавлением и по распространению занимает первое место среди других видов сварки. К числу металлов, свариваемых электрической дугой, относятся почти все конструкционные стали, серый и ковкий чугуны, медь, алюминий, никель, титан, их сплавы и другие металлы и сплавы.



*Рис. 13. Схема процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами*

Источником теплоты при ручной дуговой сварке является электрическая дуга, горящая между электродом и основным металлом, (рис. 13). Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода, образуя газовую защитную атмосферу вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе составляют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и образуется сварной шов. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку. Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, покрытыми обмазкой, которые подают в дугу и перемещают вдоль заготовки.

### **3.1 Оборудование для ручной дуговой сварки**

Стационарные сварочные посты комплектуются источниками питания, сборочно-сварочными приспособлениями инструментом. К основным инструментам сварщика относятся: электрододержатель, зубило, специальный молоток. В качестве сварочных приспособлений применяются кондукторы, вращатели, манипуляторы. Дуговая сварка возможна при постоянном и переменном токах. Для зажигания электрической дуги необходимо напряжение при переменном токе 40 – 60 В. Дуга при постоянном токе устойчивее, но расход электроэнергии больше и стоимость сварки выше. Для питания дуги постоянным током применяют генераторы и выпрямители, а переменным током – сварочные трансформаторы. Источники переменного тока более распространены, чем источники постоянного тока. Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, обладают более высоким КПД генераторов постоянного тока. Однако в некоторых случаях постоянный ток бывает предпочтителен в технологическом отношении: повышается устойчивость горения дуги, улучшается условие сварки в различных пространственных положениях, что позволяет вести сварку на прямой и обратной полярности и т. д. Внешние вольт – амперные характеристики источника питания представлены на рисунке 14.

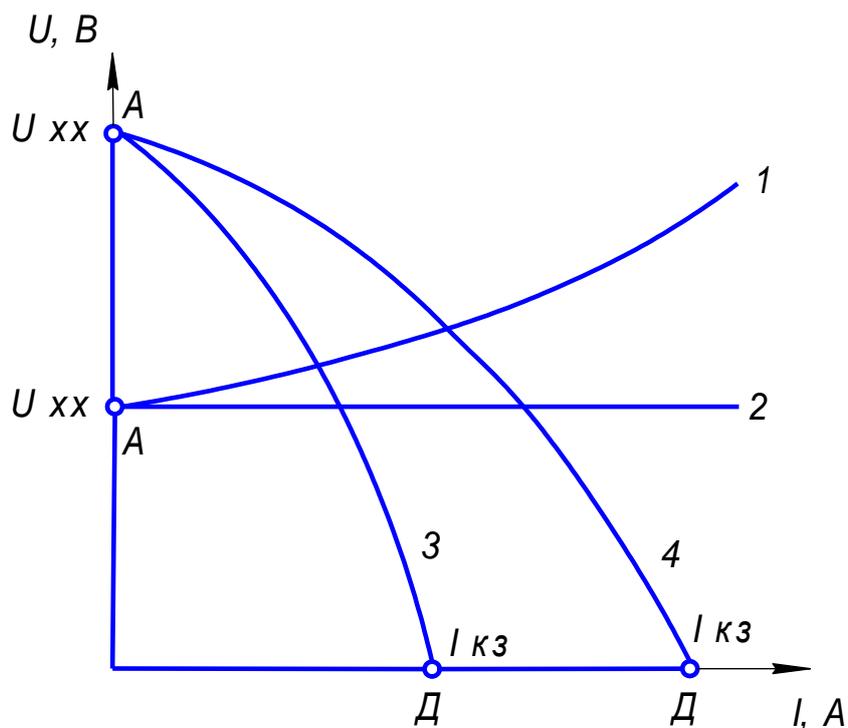


Рис. 14. Внешние вольт – амперные характеристики источника питания.

Источники тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. Внешней вольт - амперной характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики могут быть следующих основных видов: возрастающая – 1, жесткая — 2, крутопадающая – 3 и пологопадающая – 4 (рис. 14).

Напряжение дуги

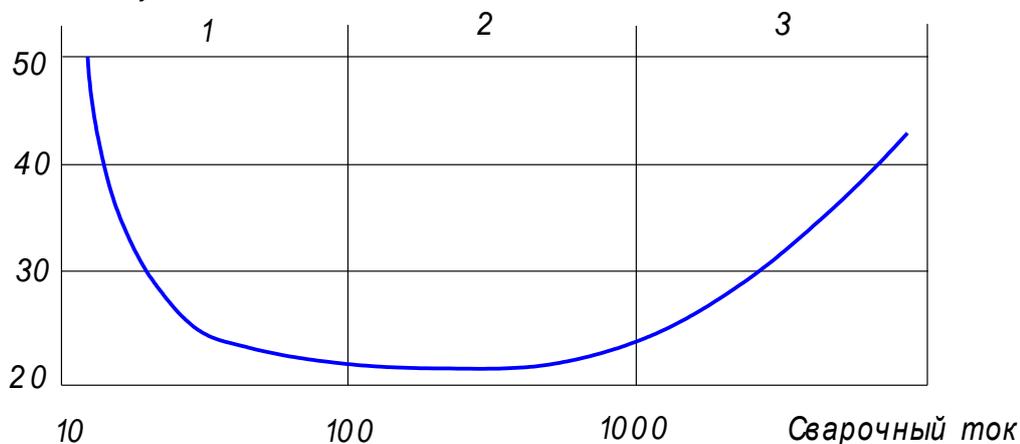


Рис. 15. Внешние вольт – амперные характеристики сварочной дуги.

Сварочная дуга имеет также вольтамперную характеристику (рис. 15), представляющую зависимость напряжения дуги от тока в сварочной цепи. Характеристика состоит из трех участков. На участке 1 она падающая, на участке 2 – жесткая, на 3 –возрастающая. Самое широкое применение имеет дуга с жесткой характеристикой, когда напряжение практически не зависит от тока: при ручной дуговой сварке, автоматической под флюсом и дуговой сварке в защитных газах неплавящимся электродом. Дугу с возрастающей характеристикой используют при дуговой сварке в защитных газах плавящимся электродом, а также при автоматической – на повышенных плотностях тока. Дуга с падающей характеристикой малоустойчива и имеет ограниченное применение. Источники тока выбирают в зависимости от вольтамперной характеристики, соответствующей принятому способу сварки.

Для питания дуги с жесткой характеристикой применяют источники с падающей или полого падающей внешней характеристикой. Режим горения дуги определяется точкой пересечения характеристик дуги и источника тока. При изменении соответствующего ей тока дуга либо гаснет, либо ток её начинает возрастать до тех пор, пока дуга не достигнет режима устойчивого горения. Характерными точками внешней характеристики источника являются точки А и Д (рис. 14). Точка А соответствует режиму холостого хода в работе источника тока в период, когда дуга не горит и сварочная цепь разомкнута. Режим холостого хода характеризуется повышенным напряжением (60 – 80 В). Точка Д соответствует режиму короткого замыкания, который имеет место при замыкании дуги каплями жидкого электродного металла. Короткое замыкание характеризуется низким напряжением и повышенным током, который не вызывает опасного перегрева токоподводящих проводов.

Оптимальным для ручной дуговой сварки является применение источников сварочного тока с крутопадающей вольтамперной характеристикой. Такая характеристика позволяет ограничить величину тока при коротком замыкании, облегчает зажигание дуги за счет повышенного напряжения холостого хода, обеспечивает устойчивость горения дуги и практически ее постоянную проплавляющую способность.

### **3.2 Принадлежности и инструмент сварщика**

Электрододержатель служит для зажима электрода и подвода к нему сварочного тока. Он должен прочно удерживать электрод,

обеспечивать удобное и прочное закрепление сварочного кабеля, а также быстрое удаление огарков и закладку нового электрода. На рисунке 16 показано несколько видов электрододержателей.



*Рис. 16. Виды электрододержателей*



*Рис. 17. Защитные средства глаз и лица сварщика*

Защитные средства (рис. 17) служат для защиты глаз и лица сварщика от воздействия излучений сварочной дуги и брызг металла. В них имеется смотровое отверстие, в которое вставляют специальное стекло — светофильтр, задерживающий инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и снижающий яркость световых лучей дуги. Снаружи светофильтр защищен от брызг металла простым прозрачным стеклом.

Также к принадлежностям и инструменту сварщика относятся:

металлические щетки (ручные и с электроприводом) для зачистки (разделки) швов и очистки сварных швов от шлака; молоток, зубило, крепежный инструмент; набор шаблонов для промера размеров швов; стальные клейма для клеймения сваренных швов.

Для защиты тела от ожогов сварщик пользуется брезентовым костюмом, брезентовыми рукавицами и кожаной или валяной обувью. Брюки должны быть гладкими без отворотов с напуском поверх ботинок или валенок. Рукавицы должны одеваться с напуском на рукава и завязываться тесьмой. Прямая одежда и отсутствие открытых частей тела исключают возможность попадания брызг металла на тело и в складки спецодежды. При сварке внутри резервуаров, баков, цистерн необходимо пользоваться резиновыми сапогами и резиновым шлемом. При сварке металлических конструкций, если сварщик работает лежа, сидя или стоя на элементах свариваемой конструкции, кроме резиновых сапог (или галош) и шлема необходимы резиновые коврики, а также наколенники, подлокотники, подшитые войлоком. Кроме спецодежды к средствам индивидуальной защиты сварщика относятся: пояс предохранительный с лямками (при работе на высоте); перчатки резиновые диэлектрические; галоши резиновые диэлектрические; коврики резиновые диэлектрические.

### **3.3 Электроды для ручной дуговой сварки**

Классификация электродов. Электроды, применяемые для сварки и наплавки, классифицируются:

- по назначению (для сварки стали, чугуна, цветных металлов и для наплавочных работ);
- по технологическим особенностям (для сварки в различных пространственных положениях, для сварки с глубоким проплавлением и для ванной сварки);
- по типу покрытия (кислое, целлюлозное, рутиловое, основное, смешанное и прочее);
- по химическому составу стержня и покрытия;
- по способу нанесения покрытия (опрессовкой или окунанием).

Основными требованиями для всех типов электродов являются:

- обеспечение стабильного горения дуги и хорошего формирования шва;
- получение металла сварного шва заданного химического состава;
- спокойное и равномерное расплавление электродного стержня и покрытия;

– минимальное разбрызгивание электродного металла и высокая производительность сварки; легкая отделимость шлака и достаточная прочность покрытий;

– сохранение физико-химических и технологических свойств электродов в течение определенного промежутка времени;

– минимальная токсичность при изготовлении и при сварке. Электроды для дуговой сварки сталей и наплавки по ГОСТ 9466 – 75 подразделяются на следующие классы:

– для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей;

– для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

– для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

– для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (кроме электродов для наплавки цветных сплавов).

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей обозначают по марке и типу электрода, диаметру стержня, по типу покрытия и ГОСТу. Тип электрода обозначается буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм<sup>2</sup>. Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку марок Св-08 и Св-08А.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-6, МЭЗ-04 и др. Марка электрода – это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Электродные покрытия (обмазки) состоят из ионизирующих, шлакообразующих, газообразующих, раскисляющих, легирующих, и связующих компонентов.

1. Ионизирующие вещества предназначены для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.

2. Газообразующие вещества, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная

мука, целлюлоза и др.

3. Раскисляющие вещества, которые обладают большим сродством с кислородом и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.

4. Шлакообразующие вещества создают шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат, кварц, мрамор, рутил, марганцевую руду и др.

5. Легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.).

6. Связующие вещества предназначены для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

Общие требования к металлическим плавящимся электродам для дуговой сварки конструкционных сталей, технические условия и классификация устанавливаются ГОСТ 9467 – 75 и ГОСТ 9466 – 75.

Электроды для ручной дуговой сварки изготавливают следующих классов:

У – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей;

Л – для сварки легированных конструкционных сталей;

Г – для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

Н – для наплавки.

По видам покрытия электроды подразделяют:

А – кислое;

Р – рутиловое;

Ц – целлюлозное;

Б – основное;

П – прочие виды покрытия.

Кислые покрытия (АНО-1, СМ-5) содержат руды в виде окислов железа и марганца; при плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малую вязкость и пластичность, и пониженное содержание легирующих примесей.

Рутиловые покрытия (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) имеют основным компонентом рутил ( $\text{TiO}_2$  – диоксид титана). Шлакообразующими служат рутил, а также полевой шпат, магнезит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) содержат главным образом органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций.

Основные покрытия (УОНИ-13, ДСК.-50) составлены на основе плавикового шпата ( $\text{CaF}_2$ ) и мрамора (карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ ). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца позволяет широко легировать наплаваемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и ферросилиций.

Пример условного обозначения электродов приведен на рисунке 18.

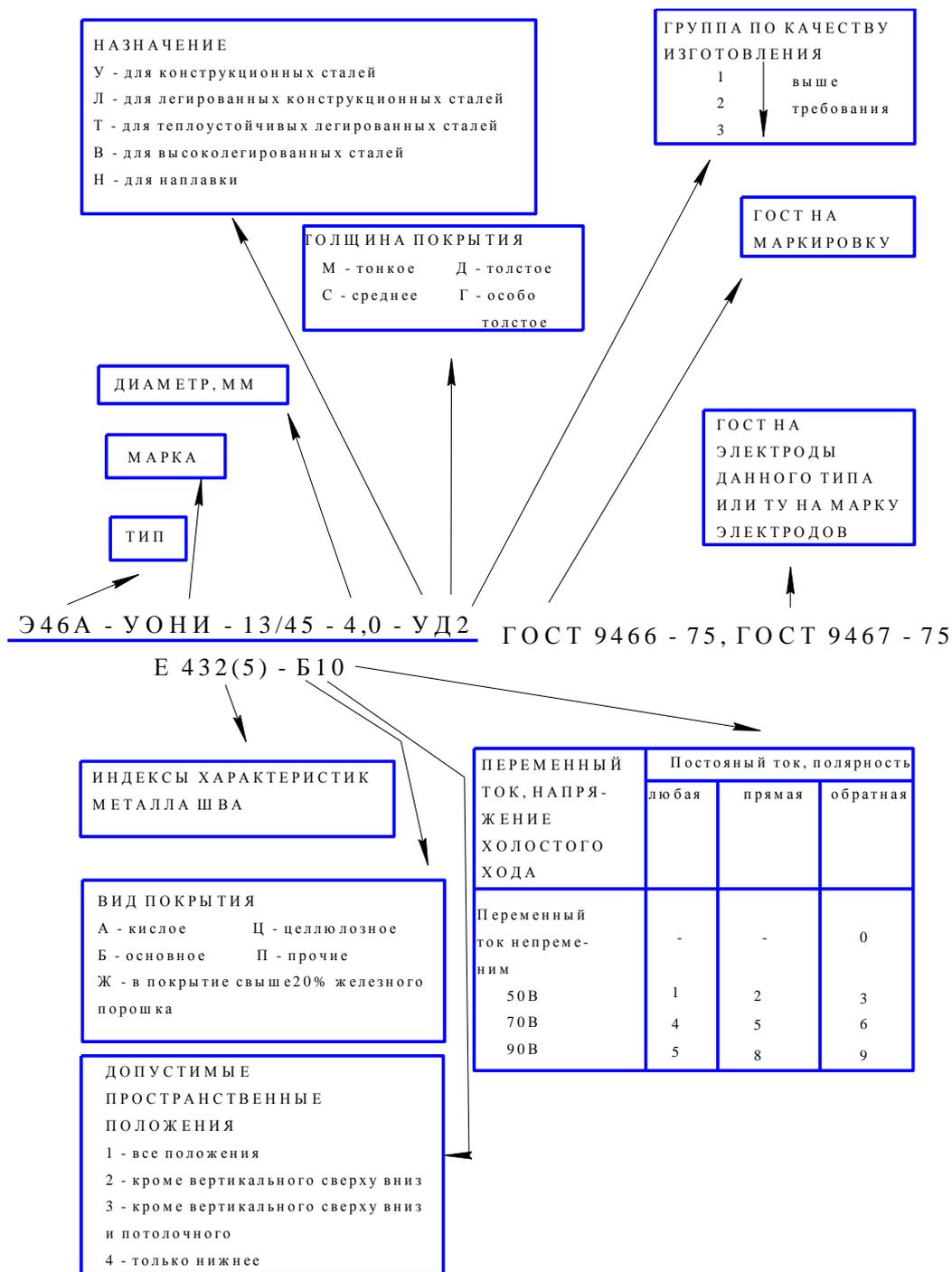


Рис. 18. Условное обозначение электродов для сварки и наплавки стали (по ГОСТ 9466 – 75)

### 3.4 Выбор режима ручной дуговой сварки

Для выполнения сварного шва прежде всего определяют режим сварки, обеспечивающий хорошее качество сварного соединения,

установленные размеры и форму при минимальных затратах материалов, электроэнергии и труда.

Режимом сварки называется совокупность параметров, определяющих процесс сварки: вид тока, диаметр электрода, напряжение и значение сварочного тока, скорость перемещения электрода вдоль шва и др.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и сварочный ток. Остальные параметры выбирают в зависимости от марки электрода, положения свариваемого шва в пространстве, вида оборудования и др.

Выбор диаметра электрода при сварке в нижнем положении практически неограничен и зависит от квалификации сварщика. Ориентировочно диаметр электрода в зависимости от толщины свариваемых изделий можно выбирать, руководствуясь следующим данными (табл. 6).

Таблица 6

Толщина металла, мм	до 3	3 – 5	6 – 8	9 – 12	13 – 24
Диаметр электрода, мм	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7

При сварке в вертикальном положении (рис. 19) не следует выбирать электроды диаметром более 5 мм; при сварке в потолочном и горизонтальном на вертикальной плоскости положениях не рекомендуется использовать электроды диаметром более 4 мм.

В зависимости от выбранного диаметра электрода и положения шва в пространстве определяют величину сварочного тока по следующим формулам:

$$I_{св} = (40...50)d_э \text{ при } d_э = 4...6 \text{ мм};$$

$$I_{св} = (20 + 6 \cdot d_э)d_э \text{ при } d_э < 4 \text{ мм и } d_э > 6 \text{ мм},$$

где  $I_{св}$  – значение сварочного тока, А;  $d_э$  – диаметр электрода, мм.

Для сварки швов в вертикальном и потолочном положениях величина тока корректируется на 10 – 20 % ниже расчетного, чем для сварки в нижнем положении. При малых токах дуга горит неустойчиво, а электрод будет часто «прилипать» к изделию. При больших токах значительно увеличивается разбрызгивание, что снижает коэффициент перехода металла в шов и производительность сварки. При больших толщинах металла (более 20 мм) для снижения сварочных деформаций

и напряжений рекомендуется применять X и V – образные разделки кромок.

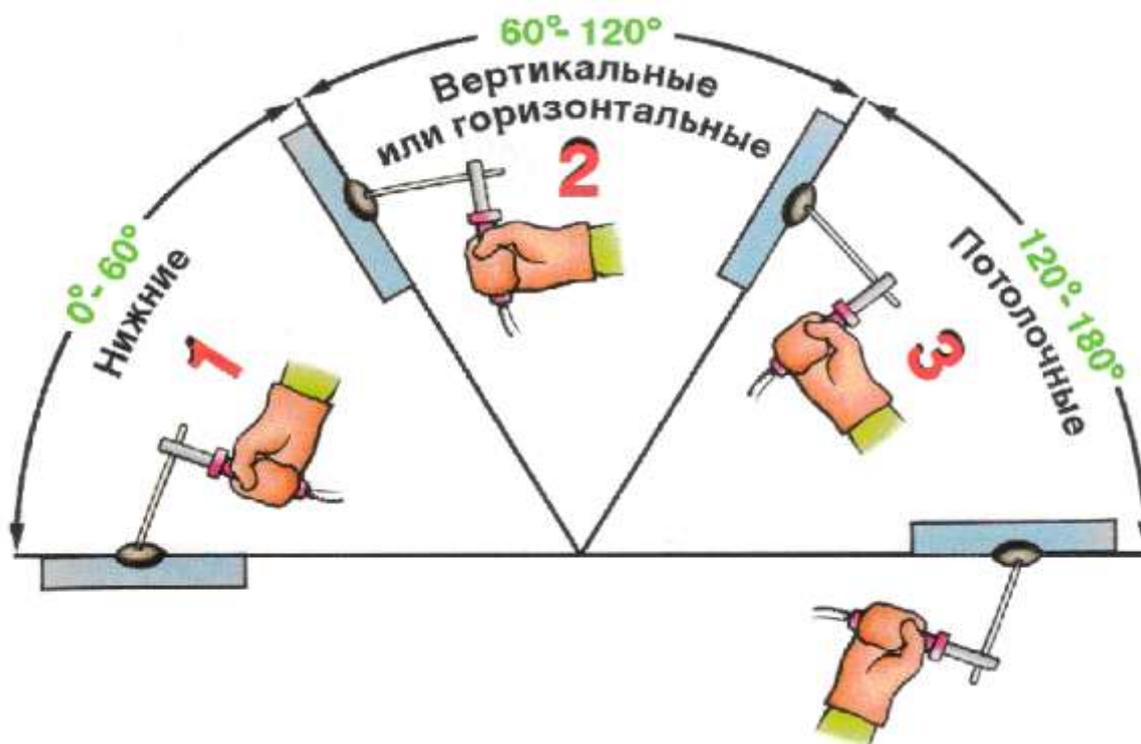


Рис. 19. Положения в пространстве при сварке и наплавке.

Скорость ручной дуговой сварки определяется необходимым размером сварного шва и числом проходов. Напряжение дуги при ручной дуговой сварке составляет 20 – 25 В.

#### **4. Методика выполнения лабораторной работы**

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.
2. Ознакомиться и зарисовать схему способа ручной дуговой сварки, вольт -амперные характеристики дуги и источники питания.
3. Ознакомиться со сварочным постом.
4. Провести сварку образцов, меняя полярность тока
5. Измерить геометрические параметры сварного шва, выполненных ручной дуговой сваркой, результаты занести в таблицу 7.

Таблица 7

Полярность	Ширина шва	Высота усиления	Глубина проплавления

### ***5. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Каковы преимущества и недостатки ручной дуговой сварки?
2. Требования к источникам питания, применяемых для ручной дуговой сварки
3. Как осуществляется защита дуги и расплавленного металла от действия воздуха?
4. Почему при ручной дуговой сварке применяются источники питания с падающей вольт - амперной характеристикой?
5. Как обозначаются типы покрытых электродов?
6. Какие компоненты входят в состав покрытия электродов?
7. Как выбирается диаметр электрода для ручной дуговой сварки.

# **ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПОД ФЛЮСОМ**

## ***1. Цель работы***

Ознакомиться с сущностью процесса, оборудованием, материалами и режимами механизированной сварки низкоуглеродистых сталей под флюсом.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Сварочный пост автомата АДФ-1002У3 с источником питания ТДФЖ-1002У3
2. Сварочные флюсы.
3. Электродная проволока Св08А.
4. Стальные пластины.

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

Механизированная сварка под флюсом является одним из основных способов выполнения сварочных работ в промышленности и строительстве. Обладая рядом важных преимуществ, она существенно изменила технологию изготовления сварных изделий, таких, как стальные конструкции, трубы большого диаметра, котлы, корпуса судов.

Сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от воздуха. Наряду с защитой флюс стабилизирует дугу, обеспечивает раскисление, легирование и рафинирование расплавленного металла сварочной ванны.

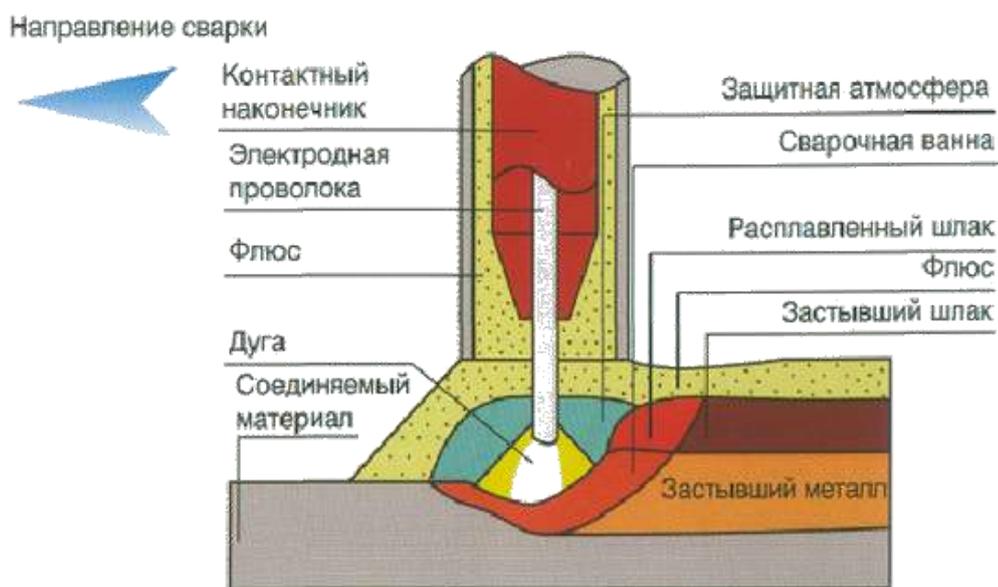
По степени механизации процесса различают автоматическую и механизированную сварку под флюсом. В большинстве случаев используется автоматический процесс. Механизированная сварка под флюсом применяется в значительно меньшем объеме, чем автоматическая.

Автоматическая сварка под флюсом производится при помощи автоматической установки (сварочная головка или сварочный трактор). Эта установка подает электродную проволоку и флюс в зону сварки, перемещает дугу вдоль свариваемого шва и поддерживает стабильное ее горение.

Принципиальная схема автоматической сварки под флюсом представлена на рисунке 20. Электродная проволока 2 с помощью подающих роликов 1 подается в зону сварки. Кромки свариваемого изделия в зоне сварки покрываются слоем флюса 4, подаваемого из бункера. Толщина слоя флюса составляет примерно 30...50 мм. Сварочный ток подводится от источника тока к электроду через токоподводящий мундштук 3, находящийся на небольшом расстоянии (40...60 мм) от конца электродной проволоки. Благодаря этому при автоматической сварке можно применять большие сварочные токи. Дуга 10 возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой. При горении дуги образуется ванна расплавленного металла 8, закрытая сверху шлаковой коркой 6, и оставшимся нерасплавленным флюсом. Не расплавившийся флюс отсасывается шлангом обратно в бункер. Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают вокруг дуги замкнутую газовую полость 9. Некоторое избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, оттесняет жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки. У основания дуги (в кратере) сохраняется лишь тонкий слой металла. В таких условиях обеспечивается глубокий провар основного металла. Так как дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, то значительно уменьшаются потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание.



a)



б)

Рис. 20. а - Сварочный пост автомата АДФ-1002УЗ  
 б - Принципиальная схема автоматической сварки под флюсом

По мере перемещения дуги вдоль разделки шва наплавленный металл остывает и образует сварной шов. Жидкий шлак, имея более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает несколько позже, замедляя охлаждение металла шва. Продолжительное пребывание металла шва в расплавленном состоянии и медленное остывание способствуют выходу на поверхность всех неметаллических включений и газов, получению чистого, плотного и однородного по химическому составу металла шва.

**Преимуществами сварки под флюсом являются:**

- высокая производительность благодаря применению больших токов, большой глубины проплавления, а также почти полного отсутствия потерь металла на угар и разбрызгивание;
- механизация процесса сварки;
- высокое качество сварных швов за счет хорошей защиты флюсом сварочной ванны от воздуха;
- улучшение условий труда сварщиков.

**Недостатками сварки под флюсом являются:**

- трудности применения в монтажных условиях;
- трудности применения на коротких швах;
- невозможность наблюдения за процессом формирования шва.

При сварке под флюсом производительность процесса по машинному времени повышается в 6 – 12 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке на специальных, так называемых, форсированных режимах, применяемых при изготовлении труб большого диаметра и широкополых двутавровых балок, производительность повышается в 15 – 20 раз. Повышение производительности при автоматической сварке под флюсом достигается за счет использования больших токов и повышения плотности тока в электроде. Резкое повышение абсолютной величины тока и его плотности в электроде возможно благодаря наличию плотного слоя флюса вокруг зоны сварки, это предотвращает выдувание жидкого металла шва из сварочной ванны и сводит потери на угар и разбрызгивание до 1—3%. Увеличение тока позволяет сваривать металл значительной толщины без разделки кромок с одной или двух сторон и увеличивать количество металла, наплавляемого в единицу времени.

При сварке под флюсом обеспечивается высокое и стабильное качество сварных швов. Это достигается за счет надежной защиты металла шва от воздействия кислорода и азота воздуха. Одновременно обеспечивается меньшая вероятность образования непроваров, подрезов и других дефектов формирования шва и отсутствие перерывов в процессе сварки, вызываемых сменой электродов.

Автоматическую и механизированную сварку под флюсом применяют в заводских и монтажных условиях для сварки в нижнем положении металла толщиной 2—100 мм. Сваривают, стали различного состава, медь, титан, алюминий и сплавы на их основе.

### **3.1 Оборудование для сварки под флюсом**

По степени механизации отдельных операций дуговая сварка может быть автоматической и механизированной. Автоматической принято называть сварку или наплавку с механизированным возбуждением и поддержанием дугового процесса, механизированной подачей сварочных материалов в зону плавления и механизированным перемещением дуги вдоль линии сварного соединения. Механизированной принято называть сварку или наплавку с механизированной подачей проволоки и других сварочных материалов в зону плавления и ручным перемещением дуги вдоль линии сварного соединения.

Механизированное устройство, состоящее из источника питания, сварочного аппарата или машины для сварки и механизированного вспомогательного оборудования, называется сварочной установкой.

Сварочный аппарат представляет собой конструктивное объединение сварочной головки с механизмом ее перемещения вдоль шва, механизмами установочных перемещений, устройством для подачи флюса или защитного газа, катушками или кассетами для проволоки, пультами управления и другими устройствами. Если сварочный аппарат перемещается в процессе сварки механизированным способом относительно изделия, то он называется сварочным автоматом.

Основной частью сварочного автомата является сварочная головка. Это электромеханическое устройство осуществляет подачу в зону дуги плавящегося электрода, подвод к нему сварочного тока, поддержание устойчивого дугового процесса, а также прекращение процесса сварки. Сварочная головка может перемещаться по специальному пути (обычно по направляющим рельсам) или непосредственно по изделию. Если в конструкции сварочной головки предусмотрен механизм для ее перемещения над свариваемым изделием, головка называется самоходной. Сварочная головка, неподвижно закрепленная на стенде над свариваемым изделием, называется подвесной. В подвесных головках отсутствует механизм перемещения самой головки, обычно относительно дуги перемещается изделие с помощью вспомогательного механизма или стенда, на котором неподвижно закреплена головка

Переносной сварочный аппарат (автомат) для дуговой сварки с самоходной тележкой, которая перемещает его вдоль свариваемых кромок по поверхности изделия или по переносному пути, уложенному на изделие, называется сварочным трактором.

### **3.2 Сварочные флюсы**

Сварочным флюсом (ГОСТ 9087 – 81) называется неметаллический материал, расплав которого необходим для сварки и улучшения качества шва.

Флюсы, применяемые для механизированной и автоматической сварки, представляют собой крупнообразную зернистую массу, которая при расплавлении образует шлак, покрывающий металл сварочной ванны.

Флюсы служат для защиты наплавляемого металла от воздуха и для легирования металла шва необходимыми присадками. Взаимодействуя в процессе сварки с жидким металлом, расплавленный флюс в значительной степени определяет химический состав металла, а следовательно, и его механические свойства. Образуя затем над металлом шва корку шлака, флюс способствует медленному остыванию

металла, выходу на поверхность газов и шлаковых включений и тем самым образованию плотного и высококачественного шва. При этом корка шлака легко отделяется от металла шва. Флюс также способствует устойчивому горению дуги и стабильному течению процесса сварки.

По способу изготовления флюсы делятся на плавленные и неплавленные.

Плавленные флюсы являются основными при автоматической сварке металла. Они изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 9087 – 81. Флюсы типов АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60, и ФЦ-9 предназначены для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюс марки АН-8 применяют при электрошлаковой сварке углеродистых и низколегированных сталей и сварке низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюсы марок АН-15М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ и АН-20П служат для дуговой автоматической сварки и наплавки высоколегированных сталей и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволоки. Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей соответствующей проволокой. Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и механизированной сварках нержавеющей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей соответствующей сварочной проволокой. Флюсы марок АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности соответствующей проволокой.

Нормальные флюсы содержат зерна размером 0,35...3 мм. Флюсы мелкой грануляции содержат зерна размером 0,25...1,0 мм и в обозначении марки имеют конечную букву М. Флюсы, маркируемые буквами АН, разработаны ИЭС им. Е.О. Патона, а флюсы, маркируемые буквами ОСЦ и ФЦ, разработаны ЦНИИТмашем.

Плавленные флюсы получают сплавлением его составляющих компонентов. Изготовление флюса включает следующие процессы: размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.); перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах; грануляция с целью получения измельченного флюса до определенных размеров зерен. Грануляция производится выпуском расплава флюса в воду, где он

остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или сушильных шкафах и просеивают через сито на фракции.

В состав указанных флюсов в качестве основных компонентов входят марганец в виде оксида марганца и кремний в виде кремнезема. Марганец, обладая большим сродством к кислороду, восстанавливает содержащиеся в наплавляемом металле оксида железа. Кроме того, образуя сульфид  $MnS$ , марганец способствует удалению серы в шлак. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей высокомарганцовистые флюсы легируют металл шва. Кремний способствует снижению пористости металла шва, так как подавляет процесс образования оксида углерода, который является одной из основных причин образования пор в наплавленном металле. Кремний также является хорошим раскислителем, но как легирующий элемент при сварке под флюсом имеет ограниченное применение.

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

Отсутствие плавки позволяет вводить в состав флюсов различные ферросплавы, металлические порошки, оксиды элементов и другие материалы. Эти вещества, участвуя в металлургических процессах сварки, значительно облегчают широкое легирование и раскисление наплавленного металла; улучшают структуру и снижают вредные примеси в металле шва. При этом используется более простая не дефицитная сварочная проволока, например, из обычной низкоуглеродистой стали. Недостатком неплавленных флюсов является его большая гигроскопичность, требующая герметичности упаковки, и более точного соблюдения режима сварки, так как он оказывает влияние на процесс легирования наплавленного металла.

Важным преимуществом неплавленных (керамических) флюсов является их относительно малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей по сравнению с плавлеными флюсами. Это особенно важно при строительномонтажных работах. Плавленные флюсы при сварке дают относительно небольшое количество легирующих примесей (только за счет восстановления из оксидов кремния и марганца). При этом появляются оксиды, способствующие образованию неметаллических включений,

ухудшающих механические свойства металла. Поэтому для соответствующего легирования металла шва приходится применять дорогую легированную проволоку. Однако высокие технологические свойства плавящихся флюсов (хорошая защита зоны сварки, хорошее формирование валиков, отделимость шлака и др.) и меньшая стоимость обеспечивают значительно широкое применение их в сварочном производстве.

При необходимости получения сварных швов высокого качества по ударной вязкости при низкой температуре, швов, стойких против образования пор и трещин, и некоторых других специальных швов керамические флюсы незаменимы.

### **3.3 Технология сварки под флюсом**

Основные типы, конструктивные элементы и их размеры для швов сварных соединений из углеродистых или низколегированных сталей, свариваемых автоматической и механизированной сваркой под флюсом, установлены ГОСТ 8713 – 79. В зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки ГОСТ устанавливает основные параметры формы разделки кромок для каждого вида соединения.

Подготовку кромок и сборку изделия под сварку производят более точно, чем при ручной сварке. Это требование вытекает из условий автоматической сварки. Настроенный под определенный режим автомат точно выполняет установленный процесс сварки и не может учесть и выправить отклонения в разделке кромок и в сборке изделия. Разделку кромок производят машинной кислородной или плазменно-дуговой резкой, а также на металлорежущих станках.

Свариваемые кромки перед сборкой должны быть тщательно очищены от ржавчины, грязи, масла, влаги и шлаков. Это особенно важно при больших скоростях сварки, когда различные загрязнения, попадая в зону дуги, приводят к образованию пор, раковин и неметаллических включений. Перед сваркой детали закрепляют на стендах или иных устройствах с помощью различных приспособлений или прихватывают ручной сваркой электродами с качественным покрытием. Прихватки длиной 50...70 мм располагают на расстоянии не более 400 мм друг от друга, а крайние прихватки – на расстоянии не менее 200 мм от края шва. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг металла.

При сварке продольных швов для ввода электрода в шов и вывода его из шва за пределы изделия по окончании сварки к кромкам приваривают вводные и выводные планки.

Основными параметрами режима сварки под флюсом являются величина тока, его род и полярность, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки. Дополнительные параметры режима – вылет электрода, наклон электрода и изделия, марка флюса, подготовка кромок и вид сварного соединения.

Параметры режима сварки выбирают исходя из толщины свариваемого металла, требуемой формы сварного шва, которая определяется глубиной проплавления и шириной шва. Режим сварки определяют по экспериментальным таблицам или приближенно простым расчетом, при сварке без разделки – по глубине проплавления, при сварке с разделкой – по количеству наплавляемого металла. Порядок подбора режима сварки следующий: в зависимости от толщины свариваемого металла выбирают диаметр электродной проволоки, затем в зависимости от диаметра устанавливают сварочный ток, далее скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки. Примерные режимы автоматической стыковой сварки под флюсом даны в таблице 8.

Таблица 8

*Примерные режимы автоматической стыковой сварки под флюсом*

Толщина кромок, мм	Сварочный ток, А	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
10	700 – 750	62	34 – 36	30
12	750 – 800	67	36 – 40	27
16	900 – 950	84	38 – 42	20
18 – 20	950 – 1000	92	40 – 44	17 – 15

**4. Методика выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с сущностью, оборудованием, материалами и технологией сварки под флюсом.

2. Ознакомиться со сварочным постом, с устройством сварочного автомата АДС-1002УЗ и принципом его работы,

3. Выбрать режимы автоматической сварки под флюсом для опытных образцов.
4. Произвести сварку.
5. Произвести сварку на различных режимах, определить параметры сварного шва и сравнить сварные швы.

***5. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Опишите сущность способа сварки под флюсом.
2. Преимущества и недостатки сварки под флюсом.
3. Оборудование для сварки под флюсом.
4. Сварочные флюсы: определение, назначение и виды флюсов.
5. Плавленые флюсы.
6. Неплавленые флюсы.
7. Параметры режима сварки под флюсом.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ СВАРНОГО ШВА ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ СВАРКИ**

## ***1. Цель работы***

Цель работы: опытным путем определить зависимость изменения глубины проплавления, ширины шва и высоты усиления от:

1. Величины сварочного тока;
2. Напряжения дуги;
3. Скорости сварки.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Сварочный пост автомата АДФ-1002УЗ с источником питания ТДФЖ-1002УЗ.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Флюс.
4. Сварочная проволока Св-08А диаметром 2...3мм.
5. Слесарный инструмент, рукавицы.
6. Штангенциркуль, линейка.

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

К основным параметрам дуговой сварки относятся: сила сварочного тока  $I_{св}$ , напряжение дуги  $U_{д}$ , скорость сварки  $V_{св}$ . Изменение этих величин ведет к изменению глубины провара основного металла, ширины шва и высоты его усиления. Помимо того, условия сварки зависят от ряда дополнительных факторов: диаметра электрода, рода и полярности тока, положения электрода по отношению к ванне и др.

Сила сварочного тока в наибольшей степени определяет тепловую мощность дуги. При постоянном диаметре электрода с увеличением силы тока возрастает концентрация тепловой энергии в пятне нагрева, повышается температура газовой среды столба дуги, стабилизируется положение активных пятен на электродах. С увеличением сварочного тока увеличивается удельный расход тепла на плавление основного металла и возрастает объем ванны жидкого металла. При этом увеличивается давление дуги на ванну и более интенсивно идет вытеснение жидкого металла из-под электрода, глубина проплавления основного металла возрастает, а ширина шва практически остается

неизменной, т.к. уменьшается подвижность дуги – она глубже погружается в основной металл. В определенных пределах изменения силы тока глубина проплавления сварочной ванны может быть оценена зависимостью, близкой к линейной и рассчитываться по формуле 1.

$$h_p = k \cdot I_{св} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

С увеличением напряжения дуги также возрастает тепловая мощность, а, следовательно, и размеры ванны. Наиболее интенсивно увеличиваются ширина и длина ванны. При постоянной силе тока повышение напряжения дуги незначительно сказывается на глубине проплавления. Путем медленного уменьшения длины дуги и соответственно напряжения ее можно подойти к процессу сварки погруженной дугой.

Изменение скорости сварки при постоянной тепловой мощности дуги заметно сказывается на размерах сварочной ванны и шва. С повышением скорости уменьшаются глубина проплавления и ширина ванны, а длина несколько увеличивается.

Важным параметром дуговой сварки является погонная энергия, представляющая отношение эффективной тепловой мощности дуги к скорости ее перемещения (скорости сварки). Этот параметр является обобщающим по отношению к основным параметрам сварочного режима и может быть рассчитан по формуле 2

$$q_n = \frac{I_{св} U_d \eta}{V_{св}}, \quad (2)$$

где  $I_{св}$  – сварочный ток, А;

$U_d$  – напряжение дуги, В;

$\eta$  – к.п.д.;

$V_{св}$  – скорость сварки, м/ч;

Погонная энергия характеризует тепловложение в сварное соединение и представляет количество тепловой энергии, вводимое на единицу длины однопроходного шва. Этот параметр очень важен для оценки воздействия термического цикла сварки на основной и наплавленный металл шва. При постоянной погонной энергии повышение скорости сварки вызывает увеличение термического к.п.д. процесса, что связано с возрастанием глубины проплавления и уменьшением ширины сварочной ванны.

Дополнительными параметрами, определяющими условия сварки и особенности горения дуги, являются диаметр электрода, род тока и др. Например, при постоянной силе тока диаметр электрода определяет плотность энергии в пятне нагрева и подвижность дуги. При неизменном значении погонной энергии можно изменять диаметр электрода, род тока и полярность, использовать колебания электрода или наклон его к поверхности изделия и др. Эти особенности процесса, в свою очередь, сказываются на формировании ванны и конечных размеров швов.

Форма сварного шва характеризуется особыми коэффициентами, т.е. коэффициентом формы шва и коэффициентом формы усиления шва. Коэффициент формы шва представляет собой отношение ширины  $b$  к глубине провара  $h_{\text{п}}$  (формула 3).

$$\psi = \frac{b}{h_{\text{п}}} \quad (3)$$

Коэффициент формы усиления шва – отношение ширины шва  $b$  к высоте его усиления  $a$  (формула 4).

$$\gamma = \frac{b}{a} \quad (4)$$

Коэффициент формы шва может изменяться в пределах от 0,5 до 5 и более. Однако, оптимальное значение его составляет в пределах 1,3–2. Нормальная форма поверхности сварного шва обеспечивается при коэффициенте формы усиления шва более 5. При меньшем коэффициенте не обеспечивается плавность перехода от металла шва к основному металлу. Параметры сварного шва представлены на рисунке 21.

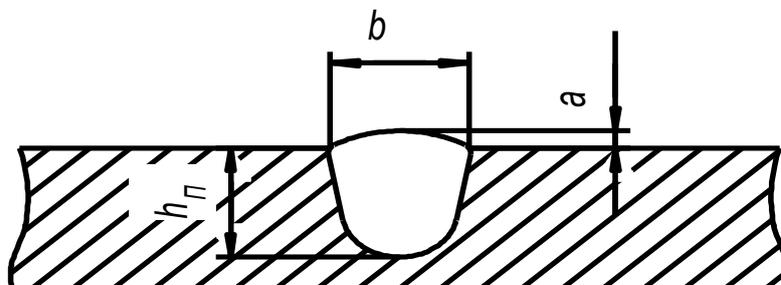


Рис. 21. Параметры сварного шва

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 4. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Подготовить на определенный режим сварочный автомат для наплавки валиков.

7. Установить "черновые" пластины для наплавки. В соответствии с инструкцией произвести технологическую подготовку автомата к работе, засыпать флюс.

8. На "черновой" пластине произвести несколько наплавов на самом минимальном напряжении дуги. С получением нормального наплавленного валика зафиксировать напряжение и сварочный ток, перенести этот режим наплавки на "чистовую" пластину. Записать напряжение дуги и сварочный ток по приборам при контрольной наплавке.

9. После этого при помощи устройства изменения напряжения дуги на автомате увеличить напряжение дуги до максимальной величины, но сохранить установленную ранее величину сварочного тока. Подбор режима на максимальном напряжении дуги вновь перенести на "черновые" пластины и после получения стабильных наплавленных валиков перенести наплавку на новом режиме с максимальным напряжением дуги на "чистовую" пластину. Таким образом, на чистовой пластине должно быть наплавлено два валика с минимальным и максимальным напряжением дуги при постоянных значениях других параметров (сварочный ток, скорость сварки, диаметр электрода).

10. На новых "черновых" пластинах произвести наплавку, установив предварительно минимальный сварочный ток, при котором возможен устойчивый процесс наплавки. Напряжение дуги установить среднее, порядка 35–38В. Убедившись в устойчивом процессе наплавки, перенести наплавку на "чистовую" пластину, зафиксировать по приборам напряжение дуги, сварочный ток и скорость сварки.

11. Перейдя вновь на "черновую" пластину, увеличить сварочный ток почти до максимального значения (нужно следить за тем, чтобы не произошел прожог пластины при чрезмерном сварочном токе). При этом напряжении дуги сохранять прежнее. Произвести наплавку валика на новом максимальном режиме сварочного тока при  $V_{св}=V_{min}$ . Убедившись в устойчивом режиме, наплавку нужно перенести на "чистовую" пластину и наплавить валик при максимальном сварочном токе.

12. Установить "черновые" пластины для наплавки на сварочный стол. Регулятором скорости каретки установить самую максимальную скорость сварки и произвести наплавку валика. Наплавку производить, несколько раз, уменьшая в нужных пределах скорость сварки, пока не будут получены стабильные результаты наплавки.

Отлаженный режим зафиксировать по всем его параметрам и произвести наплавку на "чистовой" пластине.

13. После этого, не изменяя других параметров режима наплавки регулятором скорости каретки установить самую минимальную скорость сварки и, перейдя вновь на "черновую" пластину, произвести наплавку. При этом нужно следить, чтобы не произошло прожога пластины.

Отлаженный режим зафиксировать по всем его параметрам и произвести наплавку на "чистовой" пластине.

14. "Чистовые" пластины с наплавленными валиками разрезать, сделать макрошлифы, протравить и произвести замеры штангенциркулем глубины провара, ширины шва и высоты усиления шва. Полученные данные занести в таблицу наблюдений. По полученным данным подсчитать коэффициенты формы шва и формы усиления шва от изменения напряжения дуги и величины сварочного тока.

15. По данным таблицы построить график зависимостей.

16. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

17. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

18. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

### ***5. Схема лабораторной установки и схема проведения опыта***

Сварочный автомат АДФ-1002У3 предназначен для сварки переменным током под слоем флюса соединений встык с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным и

наклонным электродом, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми.

Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на изделии легкой направляющей линейке.

По условиям эксплуатации автомат разделяется на два климатических исполнения:

1. Исполнение УЗ – для работы в странах с умеренным климатом при температуре окружающего воздуха от 263 К (-10° С) до 313 К (40° С), относительной влажности 80% при 293 К (20° С), на высоте над уровнем моря до 1000 м.

2. Исполнение ТЗ – для работы в странах с тропическим климатом при температуре окружающего воздуха от 263 К (-10° С) до 318 К (45° С), относительной влажности 80% при 300 К (27° С), на высоте над уровнем моря до 1000 м.

Окружающая среда – невзрывоопасная, не содержащая агрессивные газы и пары в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенная токопроводящей пылью и водяными парами.

### Состав автомата

Сварочный автомат АДФ-1002УЗ состоит из двух основных узлов: сварочного трактора и сварочного трансформатора ТДФЖ-1002УЗ с встроенным блоком управления автоматом.

Для соединения с источником питания и блоком управления автомат комплектуется набором проводов. В комплект поставки включены детали и узлы, необходимые для настройки автомата на разные типы свариваемых швов.

Таблица 9

#### Технические данные

Напряжение питающей трехфазной сети, В	380
Номинальный сварочный ток, А	1000
Диаметр электродной проволоки, мм	3,0-5,0
Скорость электродной проволоки, м/ч	60–362
Скорость сварки, м/ч	12–82
Предельный угол наклона сварочной головки в плоскости, перпендикулярной шву, град.	45
Габаритные размеры, мм:	
длина	716

ширина	346
высота	526
Масса автомата без электродной проволоки и флюса, кг., не более	45

**6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 10

№ п/п	$I_{св}$ , А	$U_{д}$ , В	$V_{св}$ , м/час	$h_{п}$ , мм	$b$ , мм	$a$ , мм	$\psi$	$\gamma$

**7. Требования графической интерпретации результатов проделанной лабораторной работы в форме графиков**

Для построения графиков зависимости формы и размеров сварного шва от изменения параметров режимов использовать вычислительные пакеты *Mathcad*, *Matlab* или приложение *Microsoft Excel*.

**8. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов**

1. Назовите основные параметры сварочного режима для дуговой сварки.
2. Чем объясняется изменение глубины проплавления при увеличении сварочного тока?
3. Почему изменяются размеры шва при изменении скорости сварки?
4. Как изменяется размер шва при увеличении напряжения дуги?
5. Охарактеризуйте понятие погонной энергии и ее определение при дуговой сварке.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЛАВЛЕНИЯ, НАПЛАВКИ И ПОТЕРЬ НА РАЗБРЫЗГИВАНИЕ И УГАР ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ**

## **1. Цель работы**

Цель работы: опытным путем определить потери на угар и разбрызгивание при механизированной сварке в углекислом газе. Рассчитать коэффициенты плавления и наплавки.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Пост для механизированной сварки в углекислом газе.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2...1,6 мм.
4. Слесарный инструмент, рукавицы.
5. Штангенциркуль, линейка.
6. Весы с точностью измерения до 0,1 г.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

На производительность процесса электрической дуговой сварки влияют следующие факторы:

1. сварочный ток;
2. коэффициент плавления электрода  $\alpha_{\text{Э}}$ ;
3. коэффициент наплавки  $\alpha_{\text{Н}}$  и др.

Любой процесс электродуговой сварки неизбежно сопровождается более или менее значительными потерями металла на угар и разбрызгивание.

*Угар* – испарившаяся или окислившаяся часть расплавленного металла электрода и сварочной ванны, не попавшая в сварочную ванну.

*Разбрызгивание* – разбрасывание мелких и крупных капель расплавленного металла электрода и сварочной ванны.

Часть этих капель выбрасывается за пределы свариваемой детали, а часть прилипает к ее поверхности вдоль шва. Разбрызгивание металла – нежелательное явление, сопутствующее процессу переноса. В результате разбрызгивания снижается производительность процесса сварки, увеличиваются затраты:

- на зачистку сварных соединений от брызг;
- расход сварочных материалов
- электроэнергию.

Виды разбрызгивания приведены на рисунках 22 и 23.

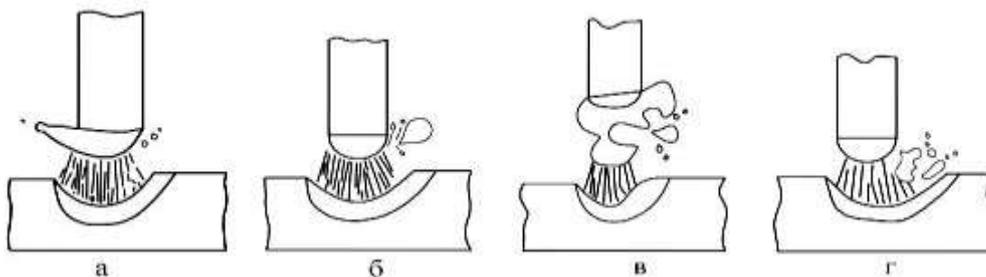


Рис. 22. Крупнокапельное разбрызгивание сбросом расплавленного металла: а – с конца электрода, б – выбросом капли за пределы сварочной ванны, в – взрывом капли на конце электрода, г – во время ее полета

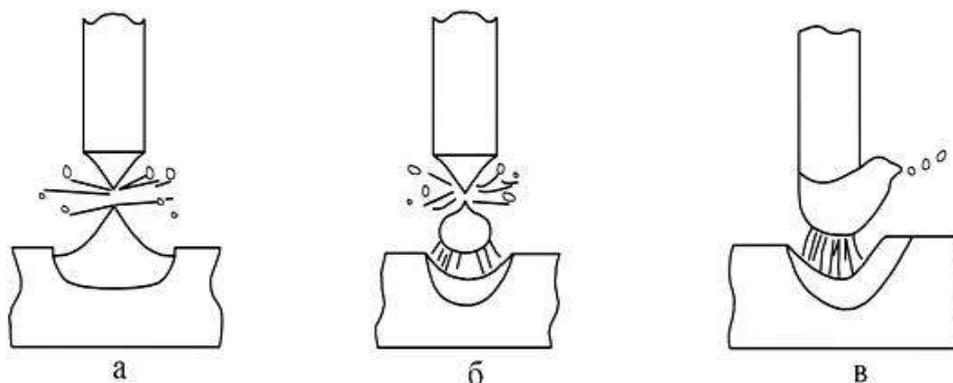


Рис. 23. Мелкокапельное разбрызгивание расплавленного электродного металла: а – при разрушении перемычки между электродом и сварочной ванной, б – между электродом и каплей, в – в виде корольков

Величина потерь зависит от многих факторов: стабильности процесса сварки, типа электродного покрытия и химического состава электродной проволоки, окислительных потенциалов дуговых газов и т.д.

Потери металла на угар и разбрызгивание определяются по формуле 5.

$$\frac{Q_R}{Q_H} = 0,19, \quad (5)$$

где  $Q_R$  – количество расплавленного электродного металла за определенный промежуток времени, г;

$Q_H$  – количество наплавленного электродного металла за тот же промежуток времени, г.

Коэффициент плавления электрода показывает, сколько электродного металла расплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1 час (формула 6).

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{Q_p}{I_{\text{св}} \cdot t_{\text{св}}}, \quad (6)$$

где  $Q_p$  – количество расплавленного электродного металла, г;

$I_{\text{св}}$  – сварочный ток, А;

$t_{\text{св}}$  – время сварки, час.

Коэффициент наплавки показывает, сколько электродного металла наплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1 час (формула 7).

$$\alpha_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}}{I_{\text{св}} \cdot t_{\text{св}}}, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{н}}$  – количество наплавленного электродного металла, г.

Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента плавления, так как не весь расплавленный электродный металл переходит в шов: часть его выгорает, часть разбрызгивается.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Настроить сварочный аппарат для наплавки валиков на режим в диапазоне Б согласно рисунку 24.

7. Взвесить пластины с точностью до 0,1г и занести результаты в таблицу 11.

8. Подготовить сварочную проволоку длиной 1,5–2 метра и взвесить ее. Результаты занести в таблицу 11.

9. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки снять показания сварочного тока и напряжения, время сварки. Полученные результаты занести в таблицу 11.

10. Освободить остаток сварочной проволоки, взвесить. Результаты занести в таблицу 11.

11. Зачистить пластины от брызг и взвесить с точностью до 0,1г. Полученную массу пластин занести в таблицу 11.

12. Определить количество наплавленного электродного металла, количество расплавленного электродного металла.

13. По формулам 1–3 посчитать потери металла на угар и разбрызгивание, коэффициент плавления и коэффициент наплавки.

14. Опыты повторить на режимах в диапазонах А и В (рисунок 24).

15. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

16. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

17. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

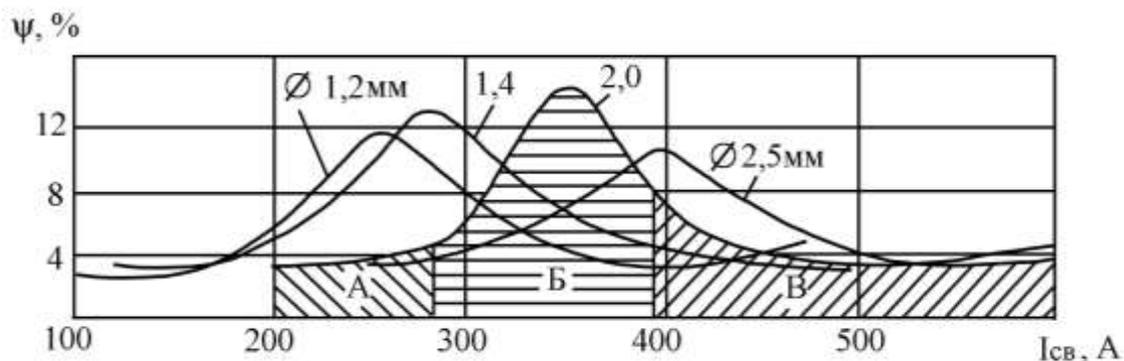


Рис. 24. Влияние силы тока на разбрызгивание металла при сварке в  $CO_2$  проволокой Св-08Г2С различных диаметров. А, В – диапазоны токов с небольшим разбрызгиванием; Б – то же с большим разбрызгиванием.

### 5. Схема лабораторной установки

Пост для проведения лабораторной работы включает в себя источник питания постоянного тока, подающий механизм, баллон с углекислым газом, питающие кабели, шланг для подачи защитного газа.

Пост представлен на рисунке 25.



Рис. 25. Пост для сварки в углекислом газе

**6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 11

№,п/п	$U_{св}$ , В	$I_{св}$ , А	$t_{св}$ , с	$m_{1д}$ г	$m_{2д}$ г	$Q_n$ , г	$Q_p$ , г	$\Pi_{уг}$ , %	$\alpha_э$ , г/(А· час)	$\alpha_n$ , г/( А· ча с)

В таблице приняты следующие обозначения:

$U_{св}$  – напряжение дуги;

$I_{св}$  – сварочный ток;

$t_{св}$  – время сварки;

$m_{1д}$  – масса пластины до сварки;

$m_{1п}$  – масса пластины после сварки;

$Q_n$  – количество наплавленного электродного металла;

$Q_p$  – количество расплавленного электродного металла;

$\Pi_{уг}$  – потери металла на угар и разбрызгивание;

$\alpha_э$  – коэффициент плавления электрода;

$\alpha_n$  – коэффициент наплавки.

## ***7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Дайте определение разбрызгиванию.
2. Виды разбрызгивания.
3. От чего зависит количество потерь на угар и разбрызгивание.
4. Что такое коэффициент наплавки?
5. Назовите основные причины разбрызгивания расплавленного металла.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЛАВЛЕНИЯ, НАПЛАВКИ И ПОТЕРЬ НА РАЗБРЫЗГИВАНИЕ И УГАР ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

## **1. Цель работы**

Цель работы: опытным путем определить потери на угар и разбрызгивание при механизированной сварке в углекислом газе с применением защитных покрытий. Рассчитать коэффициенты плавления и наплавки.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Пост для механизированной сварки в углекислом газе.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2...1,6 мм.
4. Слесарный инструмент, рукавицы.
5. Штангенциркуль, линейка.
6. Весы с точностью измерения до 0,1 г.
7. Покрытие защитное.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

На производительность процесса электрической дуговой сварки влияют следующие факторы:

1. сварочный ток;
2. коэффициент плавления электрода  $\alpha_{\text{Э}}$ ;
3. коэффициент наплавки  $\alpha_{\text{Н}}$  и др.

Любой процесс электродуговой сварки неизбежно сопровождается более или менее значительными потерями металла на угар и разбрызгивание.

*Угар* – испарившаяся или окислившаяся часть расплавленного металла электрода и сварочной ванны, не попавшая в сварочную ванну.

*Разбрызгивание* – разбрасывание мелких и крупных капель расплавленного металла электрода и сварочной ванны.

*Набрызгивание* – часть капель, выбрасываемых из зоны сварки и прилипших к поверхности изделия.

Разбрызгивание сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества брызг (капель) жидкого металла различного размера, вступающих в физико-химическое взаимодействие с

поверхностными слоями свариваемого металла, что приводит к изменению его структурно-фазового состояния. Например, при сварке высокопрочных легированных сталей, под каплей образуется закалочная структура, являющаяся концентратором напряжений, что ведет к ухудшению эксплуатационных свойств конструкции. Забрызгивание деталей сварочной аппаратуры и набрызгивание поверхности свариваемых изделий требуют введения в технологический процесс нежелательной операции – очистки поверхностей от брызг. Это приводит к дополнительным трудозатратам на зачистку изделий в объеме 20...40% от общей трудоемкости сварочных операций.

Процесс зачистки осуществляется ручными шлифовальными машинами и вибромолотками, уровни виброскоростей которых, как правило, превышают санитарные нормы, что приводит к виброболезни рабочих, занятых на этой операции. Анализ заболеваемости виброболезнью рабочих показывает, что предрасположенность их к этой болезни появляется через 7–8 лет работы, а сама виброболезнь наступает уже к 10-ти годам работы.

Снизить величину набрызгивания каплей расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей можно двумя способами:

1. Устранить величину разбрызгивания. Данный эффект достигается разработкой систем управления переносом металла, новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки.

2. Применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла. Поверхность металла, подлежащего сварке, покрывают защитным слоем в виде экрана или раствора веществ, высыхающего перед сваркой и препятствующего прилипанию брызг к основному металлу.

Покрытия для защиты поверхности металла от брызг расплавленного металла должны удовлетворять следующим требованиям: не содержать дефицитных и дорогих материалов; входящие в покрытие вещества должны быть негорючими, невзрывоопасными и при сварке не выделять большого количества вредных газов; смесь не должна терять своих свойств при относительно длительном хранении; попадание покрытия в шов не должно отражаться на механических свойствах сварного соединения и на химическом составе шва; покрытие должно равномерно ложиться на свариваемые детали без образования утолщений; обеспечивать хорошую смачиваемость и легко удаляться после сварки.

Известно, что все покрытия отрицательно влияют на стабильность процесса сварки и характер переноса электродного металла;

увеличивается разбрызгивание электродного металла, изменяются коэффициенты плавления электрода и наплавки.

Величина потерь зависит от многих факторов: стабильности процесса сварки, типа электродного покрытия и химического состава электродной проволоки, окислительных потенциалов дуговых газов и т.д.

Потери металла на угар и разбрызгивание определяются по формуле 5.

где  $Q_P$  – количество расплавленного электродного металла за определенный промежуток времени, г;

$Q_H$  – количество наплавленного электродного металла за тот же промежуток времени, г.

Коэффициент плавления электрода показывает, сколько электродного металла расплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1 час. Коэффициент плавления электрода рассчитываем по формуле 6.

где  $Q_P$  – количество расплавленного электродного металла, г;

$I_{св}$  – сварочный ток, А;

$t_{св}$  – время сварки, час.

Коэффициент наплавки показывает, сколько электродного металла наплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1 час. Коэффициент наплавки электрода рассчитываем по формуле 7.

где  $Q_H$  – количество наплавленного электродного металла, г.

Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента плавления, так как не весь расплавленный электродный металл переходит в шов: часть его выгорает, часть разбрызгивается.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5.

Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Настроить сварочный аппарат для наплавки валиков на режим в диапазоне Б согласно рисунку 24.

7. Взвесить пластины с точностью до 0,1г и занести результаты в таблицу 12.

8. Подготовить сварочную проволоку длиной 1,5–2 метра и взвесить ее. Результаты занести в таблицу 12.

9. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки снять показания сварочного тока и напряжения, время сварки. Полученные результаты занести в таблицу 12.

10. Освободить остаток сварочной проволоки, взвесить. Результаты занести в таблицу 12.

11. Зачистить пластины от брызг и взвесить с точностью до 0,1г. Полученную массу пластин занести в таблицу 12.

12. Определить количество наплавленного электродного металла, количество расплавленного электродного металла.

13. По формулам 5–7 посчитать потери металла на угар и разбрызгивание, коэффициент плавления и коэффициент наплавки.

14. Опыты повторить с нанесением защитных покрытий на поверхность свариваемых пластин.

15. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

16. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

17. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

### ***5. Схема лабораторной установки***

Пост для проведения лабораторной работы включает в себя источник питания постоянного тока, подающий механизм, баллон с углекислым газом, питающие кабели, шланг для подачи защитного газа.

Сварочный пост представлен на рисунке 25.

**6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 12

№,п/п	$U_{св}$ , В	$I_{св}$ , А	$t_{св}$ , с	$m_{1д}$ г	$m_{2д}$ г	$Q_{н}$ , г	$Q_{р}$ , г	$P_{уг}$ , %	$\alpha_{э}$ , г/(А· час)	$\alpha_{н}$ , г/( А· ча с)

В таблице приняты следующие обозначения:

$U_{св}$  – напряжение дуги;

$I_{св}$  – сварочный ток;

$t_{св}$  – время сварки;

$m_{1д}$  – масса пластины до сварки;

$m_{1п}$  – масса пластины после сварки;

$Q_{н}$  – количество наплавленного электродного металла;

$Q_{р}$  – количество расплавленного электродного металла;

$P_{уг}$  – потери металла на угар и разбрызгивание;

$\alpha_{э}$  – коэффициент плавления электрода;

$\alpha_{н}$  – коэффициент наплавки.

**7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов**

1. Дайте определение разбрызгиванию.
2. Виды разбрызгивания.
3. От чего зависит количество потерь на угар и разбрызгивание?
4. Что такое коэффициент наплавки?
5. Назовите основные причины разбрызгивания расплавленного металла.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЛАВЛЕНИЯ, НАПЛАВКИ И ПОТЕРЬ НА РАЗБРЫЗГИВАНИЕ И УГАР ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

## **1. Цель работы**

Цель работы: Опытным путем определить коэффициенты расплавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при дуговой сварке покрытыми электродами.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Пост для ручной дуговой сварки.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Электроды УОНИ 13/45 и МРЗ.
4. Слесарный инструмент, рукавицы.
5. Штангенциркуль, линейка.
6. Лабораторные тензометрические весы ВЛТЭ-5000 (5000г×0,1г).

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

**Дуговая сварка покрытыми электродами.** Ручная дуговая сварка покрытыми электродами – один из наиболее распространенных способов, используемых при изготовлении сварных металлоконструкций. Этот способ отличается простотой и универсальностью, возможностью выполнения соединений в различных пространственных положениях и труднодоступных местах. Существенный недостаток – малая производительность процесса и зависимость качества варки от квалификации сварщика.



*Рис.26 Ручная дуговая сварка покрытыми электродами*

Дуга возбуждается при кратковременном замыкании электрической сварочной цепи касанием свариваемого металла концом электрода. В процессе сварки электрод перемещают по направлению к изделию по мере плавления электрода, вдоль соединения и поперек стыка для получения необходимой формы и сечения шва.

При сварке покрытыми электродами происходит плавление стержня и покрытия. Расплавляющееся покрытие образует шлак и газы. Шлак обволакивает капли металла, появляющиеся при плавлении электродной проволоки. В ванне шлак перемешивается и, всплывая на поверхность, образует шлаковый слой, предохраняющий металл от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха. Кроме того, всплывая на поверхность ванны, шлак очищает расплавленный металл. Выделяющиеся при расплавлении покрытия газы оттесняют воздух из зоны плавления (зоны дуги) и, таким образом, способствуют созданию лучших условий защиты.

Жидкий шлак затвердевает и образует на поверхности шва твердую шлаковую корку, удаляемую после сварки.

В покрытие электрода входят следующие компоненты:

- газообразующие – неорганические вещества (мрамор, магнезит) и органические вещества (крахмал, декстрин);
- ионизирующие или стабилизирующие – различные соединения, в состав которых входят калий, натрий, кальций (мел, полевой шпат, гранит и др.);
- шлакообразующие, составляющие основу покрытия – обычно руды (марганцевая, титановая), минералы (ильменитовый и рутиловый концентраты и др.);
- легирующие элементы и элементы раскислители – кремний, марганец, титан и др., используемые в виде сплавов этих элементов с железом, так называемые ферросплавы;
- связующие компоненты – водные растворы силикатов натрия и калия, называемые жидким стеклом.

Для повышения производительности сварки в покрытия добавляют железный порошок до 60% массы покрытия.

Использование покрытия в электродах позволяет повысить устойчивость горения дуги, проводить металлургическую обработку сварочной ванны, и улучшить качество сварки.

Процесс ручной дуговой сварки неизбежно сопровождается более или менее значительными потерями металла на угар и разбрызгивание.

Процесс разбрызгивания электродного металла осуществляется следующим образом: металл на конце электрода подплавляется и образуется слой расплавленного металла. Затем под действием сил

поверхностного натяжения и силы тяжести этот слой металла принимает форму капли с образованием у основания тонкой шейки.

Причем поперечное сечение шейки капли (у торца электрода) с течением времени уменьшается. Это приводит к значительному увеличению плотности тока у шейки капли. Удлинение шейки продолжается до тех пор, пока капля коснется поверхности ванны жидкого металла в кратере. В этот момент происходит короткое замыкание сварочной цепи. Резкое возрастание величины тока приводит к разрыву шейки и в следующее мгновение вновь возникает дуга, но уже между торцом электрода и каплей. Под давлением паров и газов зоны дуги капля с ускорением вводится в сварочную ванну металла. При этом часть металла в виде брызг выбрасывается из зоны сварки на поверхность изделия.

Величина потерь зависит от многих факторов: стабильности процесса сварки, типа электродного покрытия и химического состава электродной проволоки, окислительных потенциалов дуговых газов и т.д.

Снижение разбрызгивания производится за счет:

1. выбора режимов ручной дуговой сварки, при которых разбрызгивание минимальное;
2. уменьшения силы тока короткого замыкания посредством введения в систему источник питания – электрическая дуга индуктивного или активного сопротивления;
3. изыскание новых сварочных материалов (проволок, электродных покрытий);
4. применение в качестве источника питания инверторных выпрямителей.

Потери металла на угар и разбрызгивание определяются по формуле 5.

где  $Q_P$  – количество расплавленного электродного металла за определенный промежуток времени, г;

$Q_H$  – количество наплавленного электродного металла за тот же промежуток времени, г.

Коэффициент расплавления электрода показывает, сколько электродного металла расплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1 час. Коэффициент плавления электрода рассчитываем по формуле 6.

где  $Q_P$  – количество расплавленного электродного металла, г;

$I_{св}$  – сварочный ток, А;

$t_{св}$  – время сварки, час.

Коэффициент наплавки показывает, сколько электродного металла наплавляется под действием электрического тока величиной в 1А за единицу времени сварки в 1час. Коэффициент наплавки электрода рассчитываем по формуле 7.

где  $Q_H$  – количество наплавленного электродного металла, г.

Коэффициент расплавления толстопокрытых электродов значительно уменьшается по сравнению с коэффициентом голых и тонкопокрытых электродов за счет того, что некоторое количество тепла дуги расходуется на плавление, испарение, разложение покрытия, но прямой зависимости коэффициента плавления ( $\alpha_{\text{э}}$ ) от толщины покрытия нет.

Коэффициент наплавки  $\alpha_{\text{п}}$  электродов с толстым покрытием обычно меньше коэффициента плавления, за исключением тех случаев, когда в покрытие входит большое количество металлических составляющих.

На величину  $\alpha_{\text{э}}$  и  $\alpha_{\text{п}}$  оказывает, кроме того, влияние полярность тока, тип соединения, положение шва в пространстве и т.д.

Род сварочного тока существенно не влияет на величину  $\alpha_{\text{э}}$  и  $\alpha_{\text{п}}$ . С переходом на переменный ток в некоторой степени коэффициент потерь  $\psi$  уменьшается, но производительность практически не изменяется.

Следовательно, коэффициенты плавления и наплавки, коэффициент потерь будут иметь разную величину (при прочих равных условиях) при сварке электродами разных марок

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Настроить сварочный аппарат для наплавки валиков. Величина

сварочного тока 90-120А. Величина напряжения определяется по таблице 13.

7. Взвесить пластины с точностью до 0,1г и занести результаты в таблицу 14.

8. Подготовить сварочный электрод УОНИ 13/45, диаметром 3мм, с покрытием и взвесить его. Результаты занести в таблицу 14.

9. Подготовить сварочный электрод УОНИ 13/45, предварительно очистив его от покрытия и взвесить его. Результаты занести в таблицу 14.

10. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки снять показания сварочного тока, времени сварки. Полученные результаты занести в таблицу 14.

11. Освободить огарок сварочного электрода, взвесить. Результаты занести в таблицу 14.

12. Очистить огарок сварочного электрода от покрытия, взвесить. Результаты занести в таблицу 14.

13. Зачистить пластины от брызг и взвесить с точностью до 0,1г. Полученную массу пластин занести в таблицу 14.

14. Определить количество наплавленного электродного металла, количество расплавленного электродного металла 14.

15. По формулам 5 – 7 посчитать потери металла на угар и разбрызгивание, коэффициент плавления и коэффициент наплавки.

16. Опыты повторить увеличив величину сварочного тока до 120-140А. Величина напряжения определяется по таблице 13.

17. Опыт повторить используя электрод марки МРЗ, диаметром 3мм.

18. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

19. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

20. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

Таблица 13

Вид покрытия	Диаметр электрода, мм	Величина сварочного тока, А	Напряжение, В
Основное (УОНИ 13/45)	3	90-120	23-25
Основное (УОНИ 13/45)	3	120-140	23-25
Рутитовое (МРЗ)	3	90-120	23-25

Рутитловое (MP3)	3	120-140	25-27
------------------	---	---------	-------

### 5. Схема лабораторной установки

Пост для проведения лабораторной работы включает в себя сварочный трансформатор, сварочные провода, электрододержатель, свариваемое изделие и стол.



Рис. 27. Пост для ручной дуговой сварки  
 1 – выключатель; 2 – источник питания; 3 – сварочные провода;  
 4 – электрододержатель; 5 – свариваемое изделие; 6 – стол

### 6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования

Таблица 14

№, п/п	$U_{св}$ , В	$I_{св}$ , А	$t_{св}$ , с	$m_{1д}$ г	$m_{2д}$ г	$Q_{н}$ , г	$Q_{р}$ , г	$P_{уг}$ , %	$\alpha_{э}$ , г/(А· час)	$\alpha_{н}$ , г/( А· ча с)

В таблице приняты следующие обозначения:

$U_{св}$  – напряжение дуги;

$I_{св}$  – сварочный ток;

$t_{св}$  – время сварки;

$m_{1д}$  – масса пластины до сварки;

$m_{1п}$  – масса пластины после сварки;

$Q_n$  – количество наплавленного электродного металла;  
 $Q_p$  – количество расплавленного электродного металла;  
 $\psi$  – потери металла на угар и разбрызгивание;  
 $\alpha_э$  – коэффициент плавления электрода;  
 $\alpha_n$  – коэффициент наплавки.

### ***7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Дуговая сварка покрытыми электродами. Преимущества и недостатки
2. Компоненты покрытия электродов.
3. Как определить потери металла на угар и разбрызгивание?
4. От чего зависит количество потерь на угар и разбрызгивание?
5. Меры снижения разбрызгивания электродного металла.

# ***ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЛАВЛЕНИЯ, НАПЛАВКИ И ПОТЕРЬ НА РАЗБРЫЗГИВАНИЕ И УГАР ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ***

## ***1. Цель работы***

Цель работы: Опытным путем определить коэффициенты расплавления, наплавки и потерь на разбрызгивание и угар при дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Пост для механизированной сварки в углекислом газе с импульсной подачей электродной проволоки.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2...1,6 мм.
4. Слесарный инструмент, рукавицы.
5. Штангенциркуль, линейка.
6. Лабораторные тензометрические весы ВЛТЭ-5000 (5000г×0,1г).

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

Впервые метод сварки с программным изменением величины сварочного тока был предложен в СССР М.П. Зайцевым в 1953г. В дальнейшем было разработано большое число способов и устройств для его реализации, получивших широкое распространение в промышленности.

Известные процессы импульсно-дуговой сварки можно подразделить на две группы: процессы с управляемым переносом электродного металла и процессы с регулируемым проплавлением основного металла и формированием сварного шва.

Первая группа процессов базируется на способе импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом, разработанным Б.Е. Патоном, А.Г. Потапьевским и Н.В. Подолой. Управление переносом достигается наложением на дугу постоянного тока мощных кратковременных импульсов тока. Согласно классификации диапазонов импульсного изменения энергетических параметров, данная группа относится к диапазону 300...25 Гц.

Базовым способом второй группы процессов является способ сварки импульсной (пульсирующей) дугой, разработанный А.В.

Петровым и Г.А. Славиным. Данный способ относится к частотным диапазонам 5...0,25 Гц (для улучшения формирования шва во всех пространственных положениях за счет уменьшения размеров сварочной ванны и увеличения скорости кристаллизации) и менее 0,25 Гц (для управления кристаллизационными процессами в металле шва и зоне термического влияния).

Анализ показал, что в общем случае способы импульсно-дуговой сварки обладают следующими преимуществами:

- обеспечение управляемого мелкокапельного переноса электродного металла при средних токах дуги, значительно меньших критических;
- снижение тепловложения в основной металл при неизменной глубине проплавления; и соответствующее уменьшение зоны перегрева, остаточных напряжений и деформаций сварного соединения;
- улучшение качества наплавленного металла и его механических свойств, обеспечение условий для формирования однородного сварного шва независимо от его пространственного положения;
- обеспечение измельчения структуры металла шва и зоны термического влияния, благодаря воздействию пульсирующего теплового потока;
- упрощение формирования сварного шва при сварке в различных пространственных положениях.

При этом, как правило, номенклатура электродных проволок и сварочных материалов остается неизменной.

### **3.1 Устройства для импульсной подачи сварочной проволоки**

Существующие механизмы импульсной подачи электродной проволоки можно разделить по ряду признаков определяющих их характерные особенности.

Одним из важных признаков механизмов подачи как постоянной, так и импульсной является способ подачи проволоки. Согласно этому признаку механизмы можно разделить на механизмы:

- 1) толкающего типа (подающее устройство располагается перед направляющим каналом, его работа заключается в проталкивании проволоки через сварочный шланг в зону сварки);
- 2) тянущего типа (подающее устройство находится после направляющего канала, механизм работает на вытягивание проволоки из сварочного шланга).

Использование механизмов подачи тянущего типа особенно актуальна в условиях роста монтажных работ, когда габариты

подающего устройства имеют решающее значение. Поэтому разработка малогабаритных подающих механизмов дает возможность создания мобильных сварочных постов.

Для механизмов импульсной подачи сварочной проволоки особенно важна возможность использования их в системах тянущего типа, т.к. это определяет не только портативность системы, но и что более важно точнее передает форму импульса. Это объясняется тем, что перемещение проволоки через направляющий канал полуавтомата чувствительно к форме и размеру изгиба шланга. Перемещение проволоки в импульсном режиме через сопротивление шланга в любом случае сопровождается демпфированием переднего и заднего фронтов импульса, но если учесть что положение шланга может меняться в ходе каких-либо манипуляций сварщика, то будет меняться и форма импульса, и соответственно условия воздействия на процесс сварки.

Другим классификационным признаком может являться вид применяемого привода подачи электродной проволоки. В соответствии с данным признаком можно выделить два основных направления в развитии механизмов импульсной подачи сварочной проволоки:

- 1) механизмы с приводом от электродвигателя (постоянного или переменного тока, шаговые электродвигатели);
- 2) механизмы с приводом подачи от электромагнитов.

Обе группы устройств обладают отличительными положительными и отрицательными чертами. С одной стороны электромагнитные механизмы более сложны в изготовлении, требуют дополнительного оборудования для управления работой электромагнитов и более чувствительны к условиям электромагнитных возмущений, но с другой стороны наличие обратных связей позволяет более точно адаптировать систему. В механизмах же с приводом от электродвигателя довольно сложна реализация обратных связей вследствие их большой инерционности. Но с другой стороны механизмы с приводом от электродвигателя более просты в изготовлении, не требуют дополнительного оборудования, и в большинстве случаев могут работать в комплекте с штатными источниками питания. Использование в некоторых случаях малогабаритных двигателей постоянного тока позволяет использовать подобные устройства в системах тянущего типа, что как было отмечено ранее, имеет свои положительные результаты.

Еще одним классификационным признаком может послужить способ воздействия рабочего органа (кулачка, ролика, шестерни, мальтийского креста и т.д.) на сварочную проволоку. Данный способ

позволяет разграничить механизмы импульсной подачи по принципу действия.

В соответствии с предлагаемым признаком можно выделить следующие группы механизмов:

- 1) механизмы с подвижным захватом;
- 2) механизмы с непостоянным взаимодействием проволоки и рабочего звена механизма;
- 3) механизмы с поперечным движением рабочего звена относительно направления подачи (отклоняющего типа).

На рисунке 28 представлена схема классификации механизмов по предлагаемому признаку.

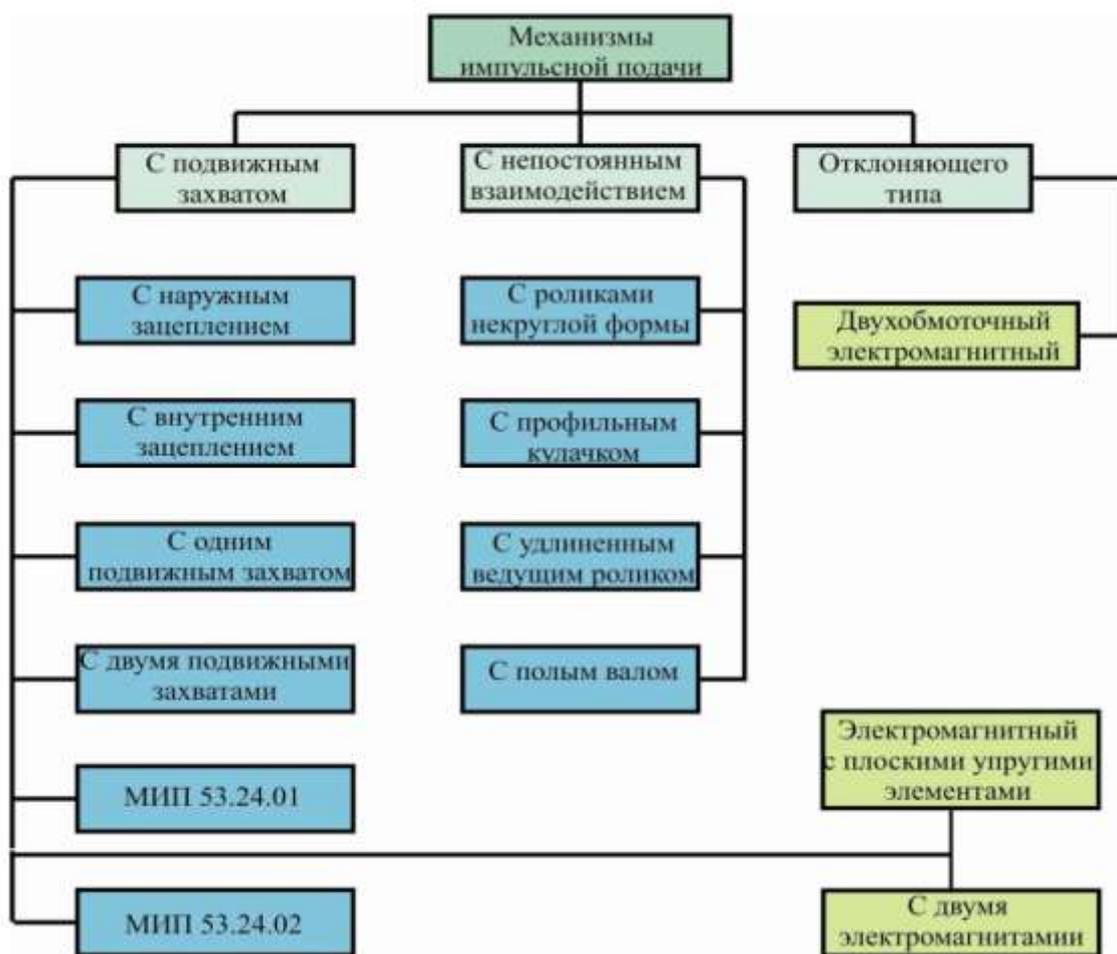


Рис. 28. Классификация механизмов импульсной подачи по способу взаимодействия проволоки и рабочего органа.

Рассмотрим устройство и принцип действия некоторых из этих механизмов.

На рисунке 29 представлен механизм импульсной подачи сварочной проволоки с электродвигателем и регулятором на основе квазиволнового преобразователя.

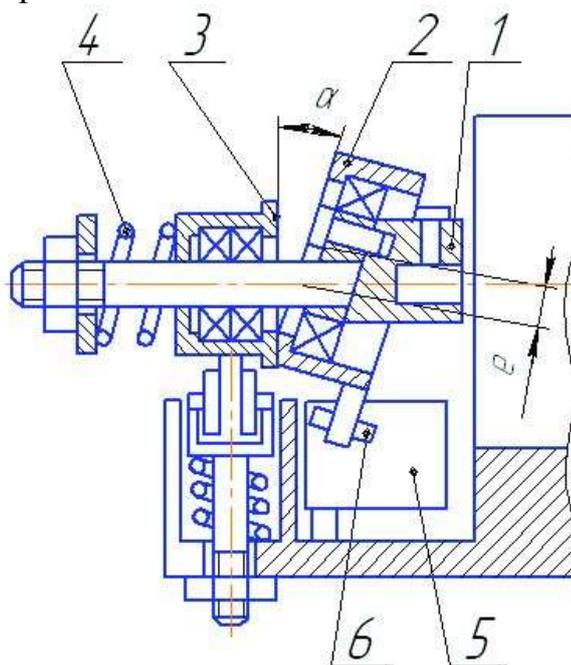
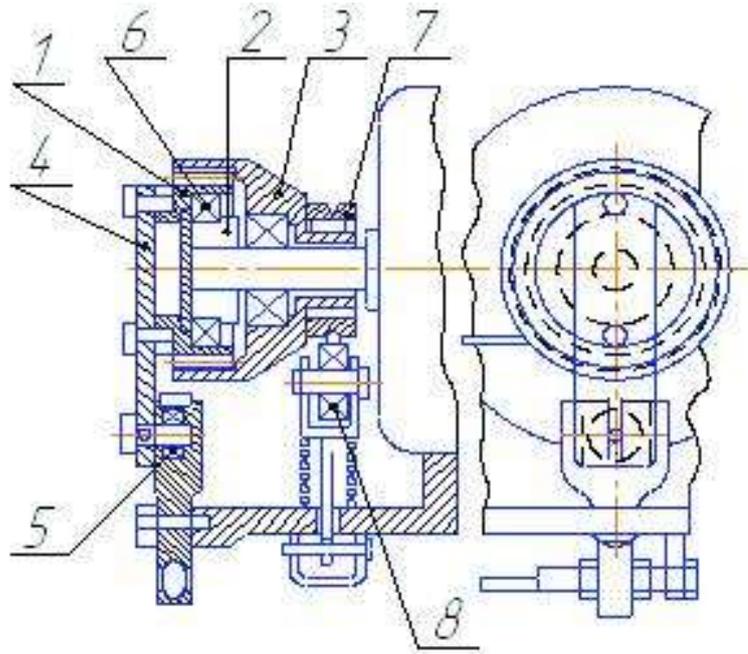


Рис. 29. Механизм импульсной подачи с наружным зацеплением.

Данный механизм действует следующим образом: при включении электродвигателя вал 1 начинает вращаться. Так как диск 2 зафиксирован относительно собственной оси, то он перекачивается по поверхности взаимодействия с диском 3. При наличии угла наклона  $\alpha$  и эксцентриситета  $e$ , а также благодаря фрикционным свойствам поверхности взаимодействия и усилию пружины 4 диск 3 получает вращение. Амплитуда импульсов зависит от отклонения регулятора 5 от среднего положения. При взаимодействии ролика 6 с регулятором 5 происходит периодическое колебание диска 3 относительно собственной оси, что вызывает его импульсное вращение вместе с подающим роликом, а, следовательно, и импульсное движение проволоки.

Более сложный, но более надежный механизм, работающий по этому принципу, имеет внутреннее зубчатое зацепление дисков. Вариант конструкции таких механизмов представлен на рисунке 30.



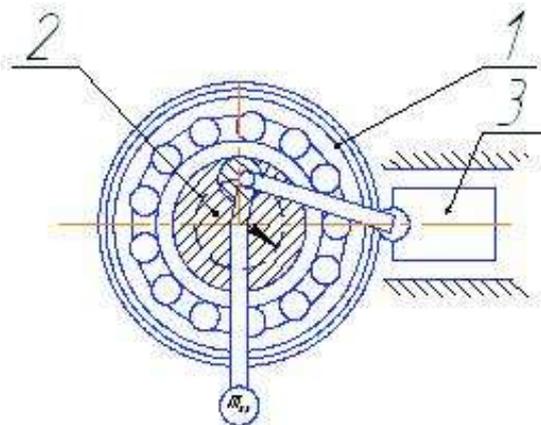
*Рис. 30. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с внутренним зацеплением.*

Механизм работает следующим образом: при вращении вала электродвигателя сателлит 1 на эксцентриковой втулке 2 проворачивается и обкатывается внутри центральной шестерни 3. При этом сателлит 1 через рычаг 4 и опорный подшипник 5 взаимодействует с опорным элементом, который заставляет дополнительно вращаться сателлит в подшипнике 6. Совершая сложное вращательное движение, сателлит 1 входит в зацепление с центральной шестерней 3, производящей периодическое вращение. Оно передается подающему ролику 7, который совместно с прижимным роликом 8 обеспечивает импульсное перемещение сварочной проволоки.

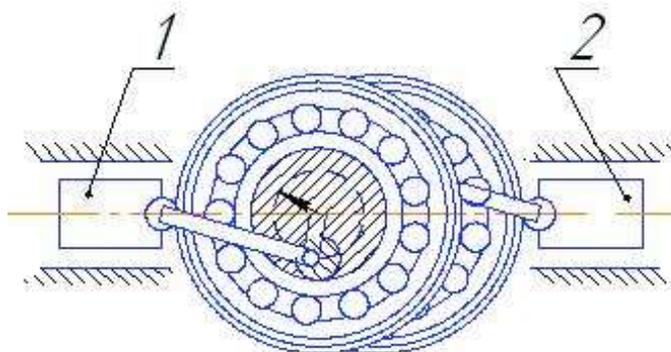
Описанные выше механизмы по своей сути несколько напоминают механизмы с волновой передачей. Поэтому они получили название – механизмы с квазиволновым преобразователем.

Продолжением идеи реализации подобного рода устройств являются механизмы с эксцентриковым валом в вариантах с одним и двумя подвижными захватами, представленные на рисунках 31 и 32 соответственно.

Первый из этих механизмов представляет собой устройство с подшипником 1, установленным эксцентрично на валу электродвигателя 2. При этом наружная обойма шарнирно связана с подвижным односторонним захватом 3 (стопорный захват не показан).



*Рис. 31. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с одним подвижным захватом.*



*Рис. 32. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с двумя подвижными захватами.*

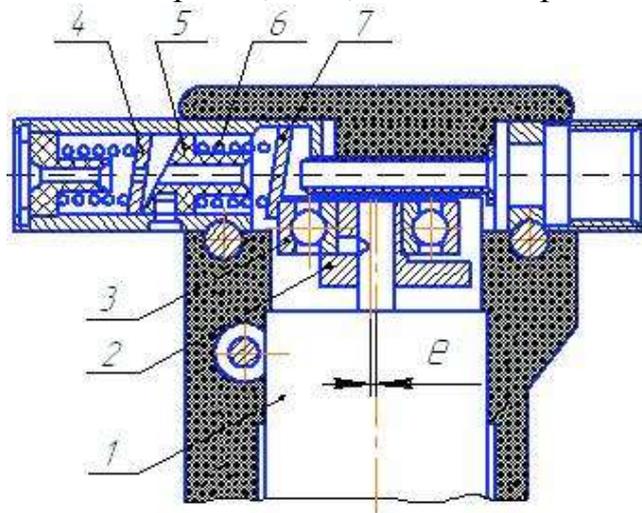
При конструировании механизмов импульсной подачи зачастую используют конструкцию с двумя движущимися навстречу друг другу захватами 1 и 2. Такой алгоритм работы механизма решает задачу его уравнивания посредством двух симметричных систем подачи.

К недостаткам подобных устройств можно отнести довольно сложную в изготовлении конструкцию: появление насечки на проволоке, что увеличивает сопротивление канала проталкиванию проволоки и, как следствие, необходимость более высоких усилий проталкивания, а также снижение долговечности самого направляющего канала. Большие габариты устройства не позволяют использовать данный механизм в системах тянущего типа.

Другим конструктивным решением являются безредукторные механизмы, имеющие привод от электродвигателя.

В НИКИМТе разработан способ импульсной подачи сварочной проволоки и изготовлен для его реализации ряд механизмов механического типа. В качестве двигателя в них применены малогабаритные электродвигатели постоянного тока ДПР-52, Д-15 и др.

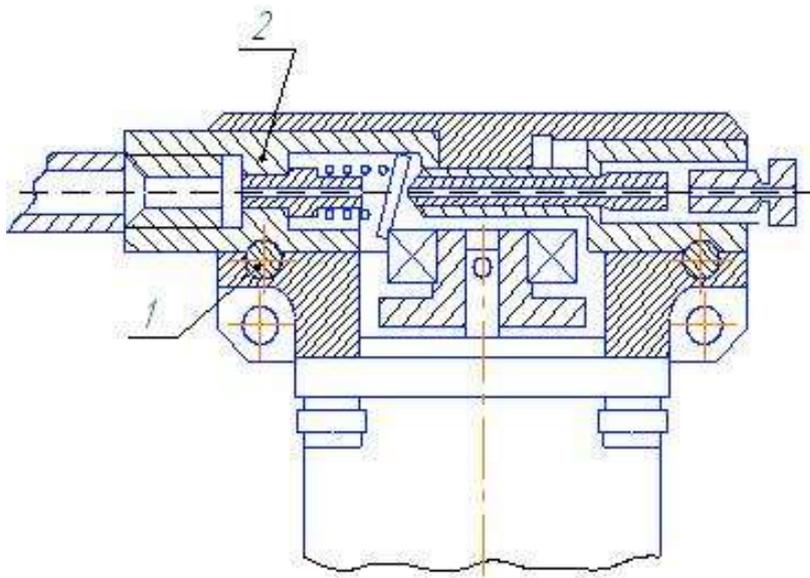
На рисунке 33 представлен механизм импульсной подачи сварочной проволоки диаметром 1,2...2,0 мм со скоростью 10–400 м/ч.



*Рис. 33. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки МИП 53.24.01.*

Работа механизма осуществляется следующим образом: на валу электродвигателя 1 установлен эксцентрик 2, на цапфе которого установлен шарикоподшипник 3. В точке К шарикоподшипник соприкасается с рабочим захватом 7, на который с обратной стороны действует пружина 6, установленная на втулке 5 для предварительного поджатия кромок отверстия к шайбе.

Основным элементом, лимитирующим долговечность механизма, является шайбовый захват. Его стойкость исчисляется 12–24 ч, после чего его необходимо заменять. С целью облегчения замены захвата в механизме, изображенном на рисунке 34, рабочий захват вместе с втулкой и пружиной смонтирован в отдельной втулке 2 и представляет собой сменный патрон, который фиксируется в корпусе тангенциальным зажимом 1.



*Рис. 34. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки МПП  
53.24.02.*

К преимуществам данного типа механизмов можно отнести: простоту конструкции, высокую надежность и малые массогабаритные размеры, что позволяет использовать их в системах тянущего типа. А это, в свою очередь, предоставляет свои преимущества, такие как: увеличение срока службы направляющего канала и токоподвода.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Настроить сварочный аппарат для наплавки валиков на режим в диапазоне Б согласно рисунку 24.

7. Взвесить пластины с точностью до 0,1г и занести результаты в

таблицу.

8. Подготовить сварочную проволоку длиной 1,5–2 метра и взвесить ее. Результаты занести в таблицу 15.

9. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки снять показания сварочного тока и напряжения, время сварки. Полученные результаты занести в таблицу 15.

10. Освободить остаток сварочной проволоки, взвесить. Результаты занести в таблицу 15.

11. Зачистить пластины от брызг и взвесить с точностью до 0,1г. Полученную массу пластин занести в таблицу 15.

12. Определить количество наплавленного электродного металла, количество расплавленного электродного металла.

13. По формулам 1–3 посчитать потери металла на угар и разбрызгивание, коэффициент плавления и коэффициент наплавки.

14. Опыты повторить на режимах в диапазонах А и В (рисунок 24).

15. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

16. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

17. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

### **5. Схема лабораторной установки**

Пост для проведения лабораторной работы включает в себя источник питания постоянного тока, подающий механизм, баллон с углекислым газом, питающие кабели, шланг для подачи защитного газа.

Сварочный пост представлен на рисунке 16.

### **6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 15

№,п/п	$U_{св}$ , В	$I_{св}$ , А	$t_{св}$ , с	$m_{1д}$ г	$m_{2д}$ г	$Q_{н}$ , г	$Q_{р}$ , г	$P_{уг}$ , %	$\alpha_{э}$ , г/(А· час)	$\alpha_{н}$ , г/( А· ча с)

В таблице приняты следующие обозначения:

$U_{св}$  – напряжение дуги;

$I_{св}$  – сварочный ток;  
 $t_{св}$  – время сварки;  
 $m_{1д}$  – масса пластины до сварки;  
 $m_{1п}$  – масса пластины после сварки;  
 $Q_n$  – количество наплавленного электродного металла;  
 $Q_p$  – количество расплавленного электродного металла;  
 $П_{уг}$  – потери металла на угар и разбрызгивание;  
 $\alpha_э$  – коэффициент плавления электрода;  
 $\alpha_n$  – коэффициент наплавки.

### ***7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Расскажите принцип действия механизмов импульсной подачи сварочной проволоки.
2. Дайте определение разбрызгиванию.
3. Виды разбрызгивания.
4. От чего зависит количество потерь на угар и разбрызгивание.
5. Что такое коэффициент наплавки?
6. Назовите основные причины разбрызгивания расплавленного металла.

# ***ДУГОВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ***

## ***1. Цель работы***

Цель работы: определение качества реза и зависимости производительности дуговой резки от режима резки и толщины разрезаемого металла.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Сварочный пост постоянного тока.
2. Стальные пластины толщиной 2, 3, 4 мм.
3. Покрытые электроды Ø 3-8мм – 2шт.
4. Слесарный инструмент.
5. Сварочные щитки, рукавицы и т.д.
6. Штангенциркуль.
7. Металлическая линейка.
8. Секундомер.

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

Электрическая дуговая резка обладает рядом преимуществ перед обычной кислородной резкой (простота оборудования, возможность резки металлов разного химического состава, безопасность выполнения работ). Получили распространение несколько разновидностей электродуговой резки металлов: дуговая резка металлическим и угольным электродами, кислородно-дуговая и воздушно-электродуговая резка. Кроме этих способов применяют дуговую и плазменную резку высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов в среде защитных газов.

*Дуговая резка металлическим электродом или проволокой сплошного сечения* осуществляется за счет проплавления металла в месте реза электрической дугой. Силу тока при резке устанавливают максимально возможной. Обычно при резке металлическим электродом сила тока на 20...30% больше, чем при сварке электродами аналогичного диаметра. Металлическим электродом можно резать чугун, коррозионно-стойкие стали и цветные металлы, которые не поддаются обычной кислородной резке.

При ручной дуговой резке используют электроды, имеющие специальные тугоплавкие покрытия повышенной толщины, способствующие улучшению процесса резки. Металлический электрод

для резки изготавливают из проволоки марок Св-08 или Св-08А диаметром 3...12мм и длиной 250–300мм. Резку осуществляют на переменном и постоянном токе преимущественно в вертикальном или наклонном положении электрода. Установлено, что наибольшая производительность будет при угле наклона  $10^\circ$  (рис. 35). При таком угле наклона повышается эффективная тепловая мощность дуги за счет уменьшения потерь тепла в окружающее пространство.

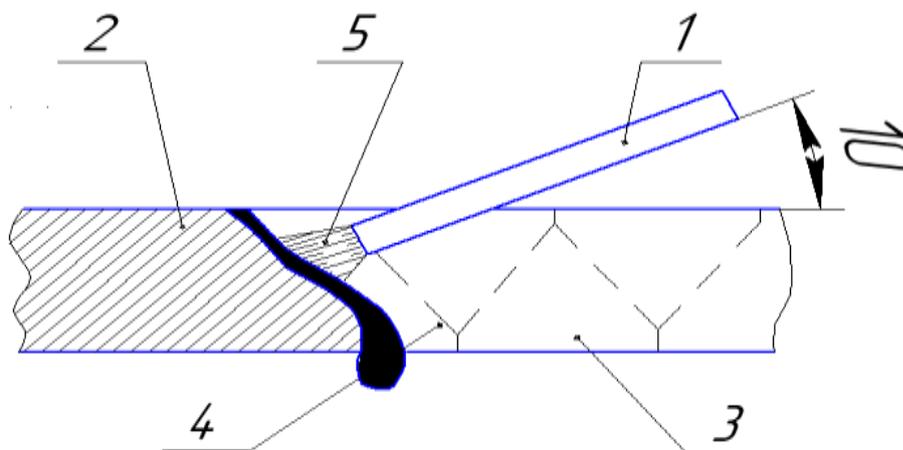


Рис. 35. Схема дуговой резки металлическим электродом  
 1 – электрод; 2 – основной металл; 3 – место реза;  
 4 – жидкий металл; 5 – дуга

Режимы резки приведены в таблице 16.

Таблица 16

*Режимы резки металла*

Металл	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч, при толщине металла, мм		
			6	12	23
Низкоуглеродистая сталь	2,5	140	12	7	1
	3	190	14	8	4
	4	220	15	9	4
	5	325	20	12	7
Коррозионно-стойкая сталь	2,5	130	12	4	3
	3	195	18	8	4
	4	220	19	10	5
	5	300	19	12	6

Процесс резки начинают с верхней части элемента, а затем по мере выполнения реза перемещают дугу вниз. Данный способ резки применяется для грубой разделки металла. Его основные недостатки – низкие производительность и качество реза.

Наряду с ручной резкой применяют автоматическую резку металлическим электродом под слоем флюса. Она служит для разделительной резки листового металла. Скорость резки коррозионно-стойкой стали толщиной 20мм проволокой Св-08 или Св-08А диаметром 4мм под флюсом АН-348А при силе тока 1200 А и напряжении дуги 42...44 В может достигать 8мм/с.

*Дуговая резка угольным или графитовым электродом* обычно выполняется на постоянном токе прямой полярности. Производительность и чистота реза низкие.

*Воздушно-электродуговая резка* отличается тем, что металл расплавляют теплотой электрической дуги, а затем выдувают из места реза струей сжатого воздуха. Этим способом пользуются для разделительной резки (рис. 36) углеродистых и высоколегированных сталей, цветных металлов и чугуна толщиной 5...30мм, поверхностной вырезки дефектных участков швов, пробивки отверстий, а также разделки канавок и съема фасок.

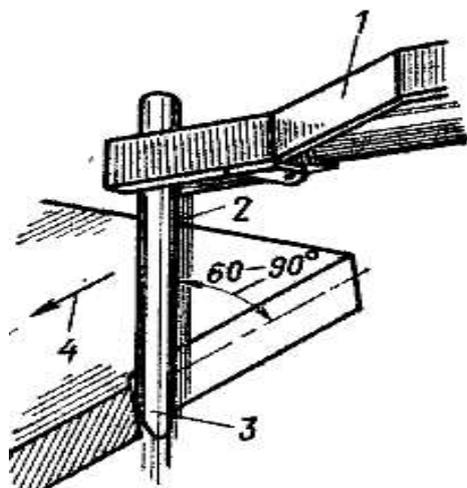
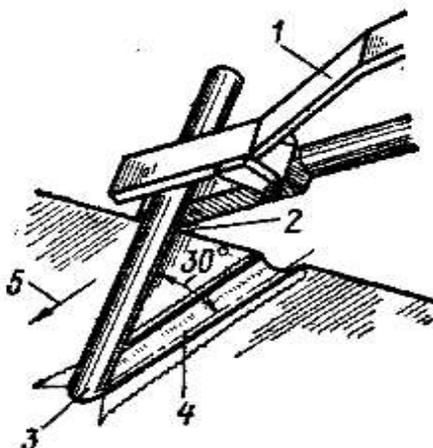


Рис. 36. Разделительная воздушно-дуговая резка:  
1 – электрододержатель; 2 – воздушная струя;  
3 – электрод; 4 – направление процесса

Резка возможна в любых пространственных положениях. Электрод утоплен в образуемый в металле разрез и угол между электродом и поверхностью разрезаемого металла составляет 60-90°. По качеству реза данный способ практически не уступает газокислородной резке. Резку производят омедненными угольными или графитизированными

электродами круглого сечения диаметром 6...12мм, а также квадратными или пластинчатыми электродами длиной 30мм. Последние предназначены только для поверхностной резки (рис. 37).



*Рис. 37. Поверхностная воздушно-дуговая резка:  
1 – электрододержатель; 2 – воздушная струя;  
3 – электрод; 4 – образуемая канавка; 5 – направление процесса*

Применяют специальные резаки, обеспечивающие зажатие электрода, подвод к нему тока и подачу сжатого воздуха к месту реза. Резаки для воздушно-дуговой резки рассчитаны на силу тока 300...1500А. Давление сжатого воздуха должно составлять 0,5...0,8МПа.

При резке углеродистой и коррозионно-стойкой сталей и цветных металлов используют преимущественно постоянный ток обратной полярности. Резку ведут ручным или механизированным способом.

Недостатками этого способа являются науглероживание металла на поверхности кромок реза, большой удельный расход электроэнергии и повышенное напряжение холостого хода источника тока.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

**Опыт 1:**

1. Пластины размером 200×20мм толщиной 2мм закрепить струбциной к подставке (рис. 38).

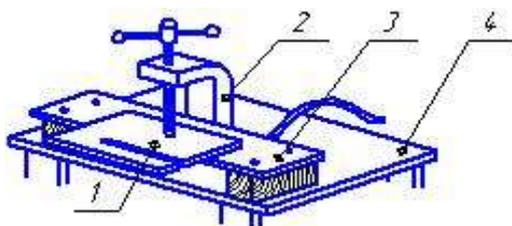


Рис. 38. Размещение пластин для резки:

1 – пластина; 2 – струбцина; 3 – подставка; 4 – сварочный стол

2. Подобрать силу тока для резки по диаметру электрода.
3. Отметить мелом линии реза.
4. Выполнить рез длиной 70–80мм, отмечая силу тока и время горения дуги. Результаты опытов занести в таблицу 17.
5. Повторить опыт, для пластин толщиной 3мм и 4мм.
6. Рассчитать производительность резки для каждой пластины по ниже указанной формуле 8:

$$Q = \frac{l}{t}, \left[ \frac{\text{мм}}{\text{сек}} \right], \quad (8)$$

где  $l$  – длина реза, мм;

$t$  – чистое время реза, сек.

7. Результаты расчетов занести в таблицу 7.
8. По данным таблицы 17 построить зависимость производительности резки от толщины металла  $Q=f(t)$ .

**Опыт 2:**

1. Пластины размером 200×20мм толщиной 3мм закрепить струбциной к подставке.

2. Выбрать силу тока для резки по диаметру электрода.

3. Отметить мелом линии реза.

4. Выполнить рез длиной 70–80мм, отмечая силу тока и время горения дуги. Результаты опытов занести в таблицу 18.

5. Повторить опыт, повысив силу тока на 30А от первоначально выбранного значения силы тока, а затем понизить на 30А от первоначально выбранного значения силы тока. Результаты опытов занести в таблицу 18.

6. Рассчитать производительность резки для каждой величины сварочного тока.

7. По данным таблицы 18 построить зависимость производительности резки от силы тока  $Q=f(I)$ .

**5. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых и расчетных величин объекта исследования**

Таблица 17

№ п/п	Металл $\delta$ , мм	Марка и диаметр электрода	Сила тока $I$ , А	Длина реза $l$ , мм	Время реза $t$ , сек	Произ-ть резки $Q$ , мм/сек
1						
2						
3						

Таблица 18

№ п/п	Металл $\delta$ , мм	Марка и диаметр электрода	Длина реза $l$ , мм	Время реза $t$ , сек	Сила тока $I$ , А	Производительность резки $Q$ , мм/сек
1						
2						
3						

**6. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов**

1. Сущность дуговой резки металлов и область применения.
2. Сущность воздушно-дуговой резки металлов и область применения.
3. От чего зависит производительность процесса дуговой резки?
4. Преимущества воздушно-дуговой резки и строжки металлов.
5. Виды воздушно-дуговой резки металлов.

# **ФОРМА И РАЗМЕРЫ СВАРНОГО ШВА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ И СМЕСИ ГАЗОВ (Ar+CO<sub>2</sub>)**

## **1. Цель работы**

Цель работы: сравнить глубину проплавления, ширину шва и высоту усиления между механизированной сваркой в углекислом газе и сваркой в смеси газов.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Пост для механизированной сварки в углекислом газе и смеси газов.
2. Пластины из малоуглеродистой стали.
3. Сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2...1,6 мм.
4. Слесарный инструмент, рукавицы.
5. Штангенциркуль, линейка

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

К основным параметрам дуговой сварки относятся: сила сварочного тока  $I_{св}$ , напряжение дуги  $U_{д}$ , скорость сварки  $V_{св}$ . Изменение этих величин ведет к изменению глубины провара основного металла, ширины шва и высоты его усиления. Помимо того, условия сварки зависят от ряда дополнительных факторов: диаметра электрода, рода и полярности тока, положения электрода по отношению к ванне и др.

Кромки свариваемого изделия расплавляются дугой, горячей между изделием и плавящейся электродной проволокой, непрерывно поступающей в дугу и служащей одновременно присадочным материалом. Дуга расплавляет проволоку и кромки изделия, образуя сварочную ванну. Дуга, металл сварочной ванны, плавящейся электрод и кристаллизующийся шов защищены от воздействия воздуха газом, подаваемым в зону сварки горелкой. По мере перемещения дуги сварочная ванна кристаллизуется, образуя, сварной шов. Основные элементы сварочной горелки и сварочной ванны представлены на рисунке 39.

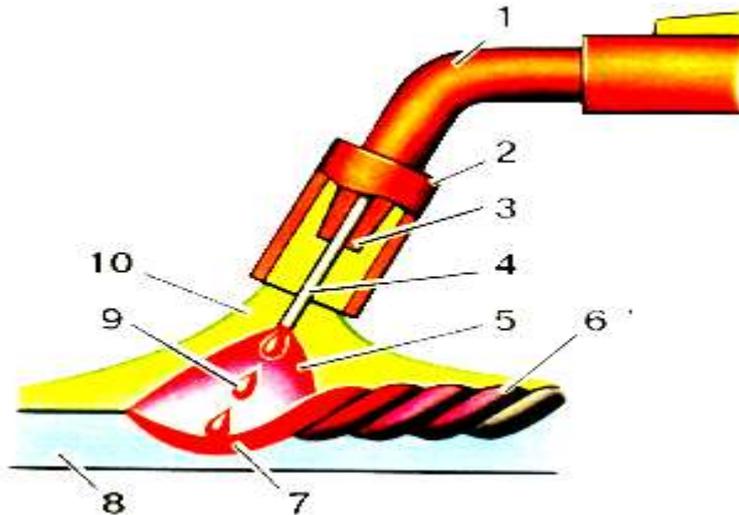


Рис. 39. Основные элементы сварочной горелки и сварочной ванны  
 1-горелка, 2-сопло, 3-токоподводящий наконечник, 4-электродная проволока, 5-  
 сварочная дуга, 6-сварной шов, 7-сварочная ванна, 8-основной металл, 9-капли  
 электродного металла, 10-газовая защита

Преимущества сварки в защитных газах:

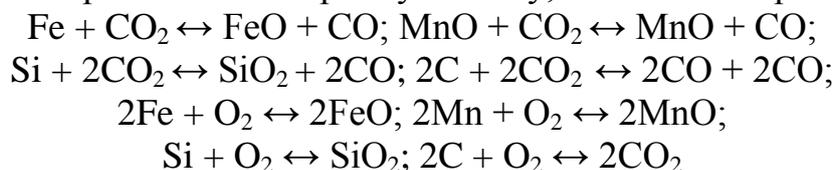
1. Возможность вести механизированную сварку во всех пространственных положениях.

2. Высокая производительность.

3. Высокие механические свойства сварных соединений.

Сущность процесса сварки в углекислом газе заключается в следующем. Поступающий в зону сварки углекислый газ защищает ее от вредного влияния атмосферы воздуха. Причем при высокой температуре сварочной дуги углекислый газ частично диссоциирует на окись углерода и кислород  $2\text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$ .

В результате в зоне дуги образуется смесь из трех различных газов: углекислого газа, окиси углерода и кислорода. Вследствие того, что температура дуги не везде одинакова, неодинаков и состав газовой смеси в зоне дуги. В центральной части, где температура дуги высокая, углекислый газ диссоциирует почти полностью. В области, прилегающей к сварочной ванне, количество углекислого газа преобладает над суммарным количеством кислорода и окиси углерода. Все три компонента газовой смеси защищают металл от воздействия воздуха, в то же время окисляют его как при переходе капель электродной проволоки в сварочную ванну, так и на поверхности.



Порядок и интенсивность окисления элементов зависят от их химического сродства к кислороду. Вначале окисляется кремний, имеющий большее сродство к кислороду, чем другие элементы. Окисление марганца также происходит значительно интенсивнее, чем окисление железа и углерода. Следовательно, нейтрализовать окислительный потенциал углекислого газа можно введением в присадочную проволоку избыточного кремния и марганца. В этом случае погашаются реакции окисления железа и образования окиси углерода, но сохраняются защитные функции углекислого газа в отношении атмосферы воздуха.

Сущность процесса сварки в смеси газов заключается в следующем.

Основные закономерности струйного процесса сварки в смеси  $Ar+CO_2$  такие же, как и при сварке в чистом аргоне. При сварке в смеси наблюдается некоторое уменьшение тока и диаметра капель. На больших токах наблюдается также узкое проплавление. С увеличением вылета электрода и его подогрева уменьшается как величина  $I_{кз}$ , так и максимальная сила тока устойчивого течения струйного процесса; увеличивается скорость расплавления электрода и уменьшается величина узкого проплавления. Процесс сварки на прямой полярности отличается очень большим излучением, скорость расплавления проволоки повышается в 1,6 раза; критическая сила тока больше, чем на обратной полярности, а максимальная сила тока стабильного процесса меньше.

Сварка в смеси аргона с углекислым газом. На производстве применяют смеси аргона, содержащие 20% углекислого газа. При содержании в смеси до 15% углекислого газа могут быть получены те же процессы, что и в чистом аргоне. С увеличением содержания углекислого газа повышается напряжение дуги и уменьшается ее длина. При содержании в смеси более 25% углекислого газа процессы сварки становятся близкими к процессам сварки в чистом углекислом газе. Сварка в смеси аргона с 20% углекислого газа обеспечивает лучшее формирование шва и меньшее разбрызгивание, чем сварка в углекислом газе, а по сравнению со сваркой в аргоне получается лучше форма провара и меньшее излучение дуги; кроме того в широком диапазоне силы тока можно получить процесс с частыми короткими замыканиями.

Форма сварного шва характеризуется особыми коэффициентами, т.е. коэффициентом формы шва и коэффициентом формы усиления шва. Коэффициент формы шва представляет собой отношение ширины  $b$  к глубине провара  $h_{п}$  и рассчитывается по формуле 3.

Коэффициент формы усиления шва – отношение ширины шва  $b$  к высоте его усиления  $a$  и рассчитывается по формуле 4.

Коэффициент формы шва может изменяться в пределах от 0,5 до 5 и более. Однако, оптимальное значение его составляет в пределах 1,3–2. Нормальная форма поверхности сварного шва обеспечивается при коэффициенте формы усиления шва более 5. При меньшем коэффициенте не обеспечивается плавность перехода от металла шва к основному металлу. Параметры сварного шва представлены на рисунке 21.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Пройти инструктаж по технике безопасности, получить допуск к выполнению лабораторной работы.

2. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

3. Изучить характеристику объекта исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

4. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, применяемыми для исследований.

5. Ознакомиться с требованиями к уровню достоверности и повторяемости результатов измерений, изложенными в пункте 5. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения приборов.

6. Подготовить на определенный режим сварочный пост для наплавки валиков.

7. На пластине произвести наплавку валика механизированной сваркой в углекислом газе.

8. На другой пластине произвести наплавку валика сваркой в смеси газов.

9. Пластины с наплавленными валиками разрезать, сделать макрошлифы, протравить и произвести замеры штангенциркулем глубины провара, ширины шва и высоты усиления шва. Полученные данные занести в таблицы 19, 20. По полученным данным подсчитать коэффициенты формы шва и формы усиления шва.

10. По полученным экспериментальным данным сделать выводы.

11. Ответить на типовые вопросы для контроля и самоконтроля.

12. Оформить отчет в соответствии с требованиями и представить его для защиты преподавателю.

## 5. Схема лабораторной установки

Посты для проведения лабораторной работы включает в себя источник питания постоянного тока, подающий механизм, баллон с углекислым газом и аргоном, питающие кабели, шланг для подачи защитного газа.

Пост для сварки в углекислом газе представлен на рисунке 25.

Пост для сварки в смеси газов представлен на рисунке 40.



Рис. 40. Сварочный пост для сварки в газовой смеси

## 6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования

Таблица 19

Сварка в  $CO_2$

№ п/п	$I_{св}$ , А	$U_{д}$ , В	$V_{св}$ , м/час	$h_{п}$ , мм	$b$ , мм	$a$ , мм	$\psi$	$\gamma$

*Сварка в смеси газов*

№ п/п	$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	$V_{св},$ м/час	$h_{п}, мм$	$b, мм$	$a, мм$	$\psi$	$\gamma$

**7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов**

1. Назовите основные параметры сварочного режима для дуговой сварки.
2. Назовите основные параметры геометрических размеров сварного шва.
3. Назовите преимущества сварки в защитных газах.
4. Что такое коэффициент формы шва?
5. Что такое коэффициент формы усиления?

# **ДУГОВАЯ СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

## **1. Цель работы**

Ознакомиться с особенностями сварки некоторых цветных металлов и их сплавов.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Сварочный пост постоянного тока.
2. Медные и алюминиевые пластины.
3. Электроды для сварки меди и алюминия.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

Цветные металлы и их сплавы в настоящее время находят свое широкое применение. Сварка этих металлов сопряжена с определенными трудностями.

### **3.1 Особенности сварки меди и ее сплавов**

Инертная при обычных температурах медь при нагреве реагирует с кислородом, серой, фосфором и галогенами. С водородом она образует неустойчивый гидрид  $\text{CuH}$ , с углеродом образует ацетиленистую медь  $\text{Cu}_2\text{C}_2$  (взрывчатую); с азотом медь не реагирует, что позволяет азот использовать как защитный газ для сварки чистой меди.

Образование химических соединений переменной валентности и растворимость этих соединений в жидкой меди приводит к довольно сложным диаграммам плавкости и к изменению химического сродства в зависимости от фазового состояния. Медь в условиях сварки может окисляться за счет газовой атмосферы или за счет обменных реакций с компонентами флюсов или электродных покрытий. Сродство меди к кислороду возрастает при растворении закиси меди в жидкой меди, особенно сильно при малых концентрациях  $\text{Cu}_2\text{O}$ , и резко снижается до нормального при распаде жидкого раствора в процессе образования эвтектики  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$ ;  $\text{Cu}_2\text{O}$  как отдельная фаза легко восстанавливается до меди. Газы, образующиеся в результате реакций, не растворяются в твердой меди и нарушают металлическую связь между зернами, приводя к образованию трещин – «водородная болезнь» меди.

Твердые растворы меди с кислородом имеют исчезающие малые концентрации при низких температурах. Поэтому медь в процессе

сварки необходимо тщательно раскислять или вести сварку в среде инертных защитных газов или в вакууме.

Остаточные концентрации раскислителей влияют на свойства металла шва (электропроводность, теплопроводность, коррозионную стойкость), и поэтому при сварке изделий из чистой меди задача раскисления металла шва решается с трудом.

Большие тепло и температуропроводность создают высокие градиенты температуры и скорости охлаждения, а также малое время пребывания сварочной ванны в жидком состоянии. Это обуславливает необходимость применения повышенной погонной энергии при сварке меди по сравнению со сталями или применения предварительного подогрева изделия, но последнее является нежелательным осложнением технологии сварки.

Значительный коэффициент линейного расширения и его зависимость от температуры вызывают необходимость сварки при жестком закреплении изделия или по прихваткам. В частности, при раскислении меди требуются более активные раскислители, чем при сварке сталей, для снижения концентрации кислорода до допустимых пределов.

Высокие градиенты температуры способствуют развитию термической диффузии водорода в зоне термического влияния, что приводит к обогащению водородом металла вблизи зоны сплавления и увеличивает вероятность возникновения дефектов (пор, трещин). Высокая чувствительность меди к водороду должна учитываться при разработке технологии сварки.

Газовую сварку можно применять как для чистой меди, так и для ее сплавов. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами приводит к загрязнению металла шва легирующими компонентами, что нарушает физические свойства металла шва по сравнению с чистой медью.

Сварка медных сплавов (бронз) идет удовлетворительно, но в латунях при этом теряется цинк за счет испарения и окисления. Дуговую сварку в защитных газах, широко применяемую в сварочной технике, используют также для изготовления сварных изделий из меди и ее сплавов. Для сварки изделий из чистой меди чаще используют сварку неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона, гелия или азота. Защитные газы должны быть особо чистыми.

Стойкость вольфрамового электрода в чистом азоте вполне удовлетворительная, и применение этого недефицитного и недорогого газа обеспечивает значительный экономический эффект. Несмотря на применение защиты инертными газами, при сварке происходит окисление меди, и для ее раскисления следует применять

микролегированные присадочные проволоки, содержащие сильные раскислители (титан, цирконий, бор, редкоземельные металлы). В результате этого можно получить металл шва со свойствами на уровне чистой меди (АН).

Сварку меди в среде защитных газов плавящимся электродом применяют реже, так как в этом случае капли электродного металла подвергаются существенному перегреву. При сварке меди и ее сплавов электрической дугой в защитных газах в зоне сварки создаются высокие градиенты температур и, следовательно, условия для диффузии водорода в зоне термического влияния.

Медь можно сваривать в воздушной атмосфере без защиты, но в этом случае проволока должна содержать раскислители высоких концентраций, и металл шва, удовлетворяя по механическим свойствам, будет существенно отличаться от основного металла по тепло- и электропроводности. Медь, как металл высокой пластичности, хорошо сваривается всеми видами сварки термомеханического класса, кроме контактной сварки, так как обладает малым переходным электрическим сопротивлением.

### **3.1 Особенности сварки алюминия и его сплавов**

В сварочной ванне алюминиевые сплавы взаимодействуют с газами и шлаками. Металлургические особенности сварки алюминия и его сплавов определяются взаимодействием их с газами окружающей среды, интенсивностью испарения легирующих элементов, а также особенностями кристаллизации в условиях сварочного процесса.

Образующаяся окись алюминия покрывает поверхность деталей плотной и прочной пленкой. Коэффициент теплового расширения окисной пленки почти в 3 раза меньше коэффициента расширения алюминия, поэтому при нагреве металла в ней образуются трещины. При наличии в алюминии легирующих добавок состав окисной пленки может существенно меняться. Возникающая сложная окисная пленка в большинстве случаев является более рыхлой, гигроскопичной и обладает худшими защитными свойствами.

Окисная пленка на поверхности алюминия и его сплавов затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления, окисная пленка не расплавляется в процессе сварки и покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образование общей ванны. Вследствие высокой адсорбционной способности к газам и парам воды окисная пленка является источником газов, растворяющихся в металле, и косвенной причиной возникновения в нем несплошностей различного

рода. Частицы окисной пленки, попавшие в ванну, а также часть пленок с поверхности основного металла, не разрушенных в процессе сварки, могут образовывать окисные включения в швах, снижающие свойства соединений и их работоспособность.

Для осуществления сварки должны быть приняты меры по разрушению и удалению пленки и защите металла от повторного окисления. С этой целью используют специальные сварочные флюсы или сварку осуществляют в атмосфере инертных защитных газов. Вследствие большой химической прочности соединения  $Al_2O_3$  восстановление алюминия из окисла в условиях сварки практически невозможно. Не удается также связать  $Al_2O_3$  в прочные соединения сильной кислотой или основанием. Поэтому действие флюсов для сварки алюминия основано на процессах растворения и смывания диспергированной окисной пленки расплавленным флюсом. В условиях электродуговой сварки в инертных защитных газах удаление окисной пленки происходит в результате электрических процессов, происходящих у катода (катодное распыление). В этих условиях возникает необходимость повышения требований к качеству предварительной обработки деталей перед сваркой с целью получения тонкой и однородной пленки по всей поверхности свариваемых кромок. Для предупреждения дополнительного окисления и засорения ванны окислами необходимо применять защитный газ высокой чистоты.

Водород, в отличие от других газов, обладает способностью растворяться в алюминии и при определенных условиях образовывать поры в металле швов. Растворимость водорода в алюминии изменяется при различных температурах. Концентрация растворенного в металле водорода  $[H]$  зависит от давления молекулярного водорода, находящегося с ним в равновесии.

В реальных условиях парциальное давление молекулярного водорода в газовой фазе дуги ничтожно мало. Поэтому основным источником водорода, растворяющегося в сварочной ванне, является реакция взаимодействия влаги, содержащейся в окисной пленке с металлом. В результате протекания этой реакции концентрация атомарного водорода в поверхностном слое атмосферы, контактирующей с металлом, может соответствовать большому давлению молекулярного водорода, находящегося в равновесии с металлом. Поэтому при наличии паров воды в зоне ванны концентрация растворенного в металле водорода может оказаться намного больше равновесной. При охлаждении растворенный водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из металла. Пузыри выделяющегося водорода, не успевая всплыть из ванны, остаются в

шве, образуя поры. Основным источником водорода, растворяющегося в металле шва при аргонодуговой сварке, является влага, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав окисной пленки в виде гидратированных окислов. Количество ее определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой.

Кристаллическая структура металла шва определяет его механические свойства. Чистый алюминий при кристаллизации обладает способностью образовывать в металле швов грубую крупнокристаллическую структуру.

При сварке алюминиевых сплавов кристаллическая структура и механические свойства металла швов могут изменяться в зависимости от состава сплава, используемого присадочного металла, способов и режимов сварки. Для всех способов сварки характерно наличие больших скоростей охлаждения и направленного отвода тепла. При кристаллизации в этих условиях часто развивается дендритная ликвация, что приводит к появлению в структуре металла эвтектики. Эвтектика снижает пластичность и прочность металла. В связи с этим в швах возможно возникновение кристаллизационных трещин в процессе кристаллизации. Улучшение кристаллической структуры металла швов при сварке алюминия и некоторых его сплавов может быть достигнуто модифицированием в процессе сварки. Поэтому в качестве присадочного металла при сварке все большее применение находят специальные проволоки с добавками модификаторов. Введение этих элементов в небольших количествах позволяет улучшить кристаллическую структуру металла швов и снизить их склонность к трещинообразованию. Перемешивание металла сварочной ванны в процессе сварки с помощью внешнего магнитного поля также снижает склонность металла швов к трещинообразованию.

При выборе присадочного металла следует также учитывать возможность появления в структуре металла швов различных химических соединений. При сварке сплавов алюминия, содержащих магний, с применением присадочной проволоки, содержащей кремний, в металле швов и особенно зоне сплавления появляются иглообразные выделения  $Mg_2Si$ , снижающие пластические свойства сварных соединений. Неблагоприятно влияют на свойства соединений из сплавов системы Al—Mg ничтожно малые добавки натрия, которые могут попадать в металл шва через флюсы.

Свойства сварных соединений зависят также от процессов, протекающих в околошовных зонах. При сварке чистого алюминия и сплавов, неупрочняемых термической обработкой, в зоне теплового

воздействия наблюдается рост зерна и некоторое их разупрочнение, вызванное снятием нагартовки. Рост зерна и разупрочнение нагартованного металла при сварке изменяется в зависимости от способа сварки, режимов и степени предшествовавшей нагартовки сплава. Свариваемость сплавов Al—Mg осложняется повышенной чувствительностью их к нагреву и склонностью к образованию пористости и вспучиванию в участках основного металла, непосредственно примыкающих к шву. Способность этих сплавов образовывать пористость в зонах термического воздействия связывается с наличием в слитках молекулярного водорода. После обработки таких слитков (прессования или прокатки) в металле образуются несплошности в виде каналов или коллекторов, в которых водород находится под высоким давлением. Для проверки качества металла, предназначенного для сварки, рекомендуется проводить специальную пробу.

При сварке сплавов, упрочняемых термической обработкой, в зонах около шва происходят изменения, ухудшающие свойства свариваемого металла. Измерение твердости и изучение структуры металла в зоне термического воздействия сплавов этой группы позволяют обнаружить в ней участки металла с различной степенью распада твердого раствора и коагуляции упрочнителя. Однако самым опасным изменением, резко ухудшающим свойства металла и способствующим образованию трещин, является оплавление границ зерен. Появление жидких прослоек между зернами снижает механические свойства металла в нагретом состоянии и способствует образованию кристаллизационных трещин.

Независимо от способа сварки и исходного состояния металла в непосредственной близости от шва наблюдается зона оплавления границ зерен. Ширина этой зоны меняется в зависимости от способа и режимов сварки. Наиболее широкая зона появляется при газовой сварке и более узкая — при способах сварки с жестким термическим воздействием. Распределение эвтектики в этой зоне изменяется в зависимости от исходного состояния сплава. В сварных соединениях, полученных при сварке закаленного сплава, эвтектика располагается в виде сплошной прослойки вокруг зерен, в то время как в соединениях из отожженного металла в залегании эвтектики появляются несплошности. Последующей термической обработкой не удается восстановить свойства металла в зоне, прилегающей к шву, что приводит к большому изменению прочности соединений и делает ненадежными эти соединения в эксплуатации.

Сплавы Д20, ВАД1, М40 и др. имеют лучшую свариваемость. Особенно перспективными являются самозакаливающиеся сплавы

тройной системы Al–Mg–Zn. При сварке этих сплавов удается получить соединения с прочностью 80–90% прочности основного металла в закаленном и состаренном состоянии.

Сварные конструкции из алюминия и его сплавов склонны к короблению, что объясняется относительно высоким коэффициентом теплового расширения. Снижение деформаций в конструкциях может быть достигнуто за счет использования технологических мероприятий (выбор соответствующего способа сварки, подбор оптимальных режимов, подогрев и др.).

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Собрать соединение для сварки.
2. Зачистить кромки от окалины, ржавчины и других загрязнений на ширину 30 мм от центра разделки
3. Подготовить присадочную проволоку из меди.
4. Подготовить прокаленную буру.
5. Сварить детали. Сварка меди ведётся на подъем за один проход без перерывов. Поддерживать угол наклона газовой горелки к свариваемому изделию 40-50°, а присадочной проволоки 30-40°. Расстояние от сопла до свариваемой поверхности 4-8 мм. Флюс вводить непосредственно в зону сварки совком или ложкой и периодически добавлять его концом присадочной проволоки или предварительно нанести на свариваемые кромки проволоку в виде пасты.
6. Удалить остатки флюса промывкой 2% раствором азотной кислоты (можно серной).
7. Проковать металл шва в холодном состоянии для улучшения механических свойств

#### ***5. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Сплавы на основе меди.
2. Сплавы на основе алюминия.
3. Особенности сварки меди.
4. Особенности сварки алюминия.

# **ДУГОВАЯ СВАРКА ЧУГУНА**

## **1. Цель работы**

Изучить влияние способа сварки и типа электрода на качество сварных соединений.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Источник питания с постоянным током для ручной дуговой сварки.
2. Муфельная печь (сварочная горелка с газооборудованием).
3. Электроды для горячей сварки чугуна (ОМЧ-1, ВЧ-3, ЭП-4)
4. Электроды для холодной сварки чугуна (ОЗЧ-2)

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

Чугуном называют сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода превышает 2%. Широко применяемые марки чугунов обычно содержат 2,5 – 4 % углерода, 1 – 5 % кремния, до 2 % марганца, а также примеси фосфора и серы. В состав специальных чугунов входят легирующие добавки: ванадий, молибден, никель, титан, хром и др. Температура плавления чугунов зависит от их химического состава и примерно составляет 1200-1250° С.

Структура чугуна зависит от скорости охлаждения и содержания в нём углерода и легирующих примесей. По структуре чугуны разделяют на белые и серые.

Белый чугун получил своё название от вида излома, который имеет белый или светло-серый цвет. Углерод в нём находится в химически связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ . Цементит хрупок и обладает высокой твёрдостью, поэтому белый чугун не поддаётся механической обработке, для изготовления изделий применяется редко и сварке не подлежит.

Из белого чугуна путём специальной термической обработки (длительная выдержка при температуре 1000° С) получают ковкий чугун. По механическим свойствам он пластичнее белого чугуна. Название «ковкий» это условное название, чугуны не используют в виде поковок, они практически не куется.

Высокопрочные чугуны получают добавлением в сплав некоторых легирующих элементов (магния, церия и др.). Серый чугун содержит в

своём составе почти весь углерод в виде графита, поэтому излом его имеет серебристо-серый цвет.

Чугун маркируют по буквенно-цифровой системе: первые буквы (С, К и В) обозначают серый, ковкий и высокопрочный чугун соответственно; вторая буква (Ч) обозначает чугун. В сером чугуне две цифры указывают на временное сопротивление. Например, в марке СЧ10 буквы СЧ обозначают серый чугун, 10 - временное сопротивление. В обозначениях ковкого и высокопрочного чугунов после буквенной маркировки (КЧ и ВЧ) первые две цифры также обозначают временное сопротивление, а вторые две - относительное удлинение, например КЧ 35-10 (ковкий чугун с временным сопротивлением не менее 350 МПа и относительным удлинением не менее 10%).

### **3.1 Свариваемость чугуна.**

Чугун относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью. Основные трудности при сварке обусловлены высокой склонностью его к отбеливанию, т.е. появлению участков с выделениями цементита, а также образованию трещин в шве и околошовной зоне. Кроме того, чугун имеет низкую по сравнению со сталью температуру плавления (1200-1250° С) и быстро переходит из жидкого состояния в твёрдое. Это вызывает образование пор в шве, поскольку интенсивное выделение газов из сварочной ванны продолжается и на стадии кристаллизации.

Повышенная жидкотекучесть чугуна затрудняет удержание расплавленного металла от вытекания и усложняет формирование шва. Вследствие окисления кремния на поверхности сварочной ванны возможно образование тугоплавких оксидов, что может привести к непроварам.

При выборе способа сварки чугуна необходимо учитывать следующие особенности:

1. Высокая его хрупкость при неравномерном нагреве и охлаждении может вызвать появление трещин в процессе сварки;
2. Ускоренное охлаждение приводит к образованию отбеленной прослойки в околошовной зоне и затрудняет его дальнейшую механическую обработку;
3. Сильное газообразование в жидкой ванне может вызывать пористость сварных швов;
4. Высокая жидкотекучесть чугуна обуславливает необходимость в ряде случаев подформовки.

### **3.2 Способы сварки чугуна**

Сварку чугуна применяют при ремонтно-восстановительных работах и для изготовления сварно-литых конструкций. Чугун сваривают преимущественно при устранении дефектов литья в чугунных отливках до и после механической обработки, а также при ремонте деталей.

К сварным соединениям чугунных деталей в зависимости от условий эксплуатации предъявляются различные требования – от декоративной заварки наружных дефектов до получения соединений, равнопрочных с основным металлом.

Чугун можно сваривать дуговой сваркой металлическим или угольным электродом, порошковой проволокой, газовой сваркой и другими способами.

Наиболее часто способы сварки чугуна классифицируют по состоянию свариваемой детали. В зависимости от температуры предварительного подогрева различают сварку с подогревом (горячую сварку) и без подогрева (холодную сварку).

Горячую дуговую сварку чугуна применяют в случаях, когда металлом шва должен быть чугун, по своим свойствам приближающийся к свойствам основного металла детали.

Холодную дуговую сварку чугуна выполняют на обрабатываемых и обработанных поверхностях деталей, когда дефекты литья незначительны или средних размеров, когда они несквозные или сквозные, но небольшой протяжённости и, наконец, когда наплавляемый металл не предусмотрен в виде чугуна. При холодной сварке свариваемые детали не подвергают предварительному нагреву.

### **3.3 Горячая сварка чугуна**

Технологический процесс состоит из механической обработки под сварку, формовки свариваемых деталей, предварительного подогрева, сварки и последующего медленного охлаждения.

Подготовка под сварку дефектного места заключается в тщательной его очистке от загрязнений и в разделке свариваемых кромок. При сварке сквозных трещи или заварке дефектов, находящихся на краю деталей, необходимо применять графитовые формы, предотвращающие вытекание жидкого металла из сварочной ванны. Формы изготавливают из графитовых пластинок, скрепляемых формовочной массой, которая состоит из кварцевого песка, замешанного на жидком стекле. Кроме того, формы можно скреплять в

опоках формовочными материалами, применяемыми в литейном производстве. Детали и чугунные отливки нагревают до температуры 300 – 700° С (в зависимости от формы детали, дефекта, способа сварки). Сварку выполняют чугунными электродами или порошковой проволокой с присадкой керамического стержня. Подогрев необходим для того, чтобы после сварки происходило равномерное охлаждение всего изделия и не образовывались трещины.

Горячую сварку чугуна выполняют на большой силе сварочного тока без перерывов до конца заварки дефекта при большой сварочной ванне. Так, для сварки электродом диаметром 8мм требуется ток 600А, а диаметром 12мм - ток 1000А. Используют электродержатели, имеющие защиту руки сварщика от теплового излучения.

Сварка угольным электродом ведётся постоянным током прямой полярности: для электродов диаметром 8 – 20мм используются соответственно токи 280 – 600А.

Во время сварки следует непрерывно поддерживать значительный объём расплавленного металла в сварочной ванне и тщательно перемешивать его концом электрода или присадочного стержня.

Основными недостатками горячей сварки чугуна являются большая трудоёмкость процесса и тяжёлые условия труда сварщиков.

### **3.4 Холодная сварка чугуна.**

Сварка чугуна без подогрева изделия применяется шире, чем с подогревом. Подготовка поверхности дефектов к заварке заключается в сверлении, зачистке, фрезеровании и т.д. до получения чистой поверхности основного металла.

Разделку краевых дефектов осуществляют таким образом, чтобы предупредить сколы при механической обработке.

При сварке без предварительного нагрева дефекты, расположенные друг от друга на расстоянии более чем 20мм, вырубают или высверливают порознь, при более близком расположении – производят сплошную вырубку дефектного участка. Разделка кромок зависит от толщины детали. При глубине дефекта 5 – 7 мм вырубают фаску с углом раскрытия 70-80°. В местах, доступных для сварки с двух сторон, производят Х-образную разделку кромок. Зазор  $b$  составляет 0 – 3 мм, притупление с 0 – 3 мм.

По концам несквозной трещины просверливают отверстия глубиной 2 – 4 мм, а по концам сквозной трещины – на всю глубину сверлом диаметром 6 – 10 мм.

Наплавку ведут через центр разделки, а затем наплавляют валики на правой и левой её частях.

Трещины, сколы разделявают (V-образная разделка кромок) для односторонней сварки.

На практике используют несколько разновидностей холодной сварки: стальными, медно-железными, медно-никелевыми, железо-никелевыми, никелевыми и другими электродами.

Сварное соединение, полученное холодной сваркой, неоднородно. Оно состоит из наплавленного металла, зон сплавления и термического влияния. Размер зоны сплавления зависит от диаметра электрода (3 – 6 мм – по размеру завариваемого дефекта).

Применяя медно-никелевые (марки МНЧ-2) и медно-стальные (марки ОЗЧ-2) электроды, получают наплавленный металл, легко поддающийся механической обработке. Наплавку образуют однослойной или многослойной укладкой валиков.

Для сварки чугуна наиболее часто используют электроды марок МНЧ-1, МНЧ-2, ЦЧ-4, ОЗЖН-1 и др.

Стальные электроды марки ЦЧ-4 (на основе проволоки из низкоуглеродистой стали с карбидообразующим покрытием) применяют при ремонте ответственных чугунных изделий небольших размеров с малым объёмом наплавки, не требующих после сварки механической обработки.

Сварку стальными электродами с защитно-легирующими покрытиями выполняют с V- или X-образной разделкой кромок. Для устранения неравномерного разогрева детали сваривают отдельными участками вразбивку. Длина этих участков сварного шва не должна превышать 100-120мм. После сварки участкам дают возможность остыть до температуры 60-80оС. Наилучшие результаты получают при сварке электродами с покрытием марки УОНИ-13/45 постоянным током обратной полярности.

Медно-железные электроды применяют для заварки отдельных дефектов или небольших несплошностей, создающих течи на отливках ответственного назначения, в том числе и работающих под давлением. Наиболее совершенные из них - электроды марки ОЗЧ-2, представляющие собой медный стержень диаметром 4-5мм, на который нанесено покрытие, состоящее из смеси электродной обмазки марки УОНИ-13/45 (50%) и жидкого стекла. При сварке не следует допускать сильного разогрева свариваемых деталей. После сварки лёгким молотком выполняют проковку наплавленного металла в горячем состоянии. Она уменьшает сварочные напряжения и снижает опасность образования трещин в околошовной зоне. В результате наплавленный

металл приобретает высокую пластичность и удовлетворительно обрабатывается.

Медно-никелевые электроды применяют главным образом для заварки литейных дефектов, обнаруживаемых в процессе механической обработки чугунного литья на рабочих поверхностях, где местное повышение твёрдости недопустимо. В промышленности используются электроды марки МНЧ-1 со стержнем из монель-металла и марки МНЧ-2 со стержнем из константана. Сварку выполняют электродами диаметром 1-4мм ниточным швом короткими участками. При этом не следует допускать перегрева детали, для чего рекомендуются перерывы в работе для охлаждения шва. Наплавленные валики в горячем состоянии следует тщательно проковывать ударами лёгкого молотка. Положительные свойства электродов заключаются в том, что никель и медь не растворяют углерод и не образуют структур, имеющих высокую твёрдость после нагрева и быстрого охлаждения. Наплавленный металл обладает низкой твёрдостью, хорошо обрабатывается.

Железно-никелевые электроды марки ОЗЖН-1 используют для заварки отдельных небольших дефектов на обрабатываемых поверхностях отливок ответственного назначения из серого и высокопрочного чугуна. Наплавленный металл имеет высокую прочность и плотность, хорошо обрабатывается.

Никелевые электроды марки ОЗЧ-3 применяют для исправления небольших дефектов в ответственных изделиях. Электродами марки ОЗЧ-4 наплавляют последний слой на поверхности, работающей на трение.

Способ сварки чугуна с помощью шпилек применяется для восстановления ответственных изделий, работающих при значительных нагрузках и не требующих обработки после сварки. Сварка комбинируется с механическим усилением зоны сплавления путём ввёртывания в металл изделия стальных шпилек, которые связывают металл шва и основной металл, разгружая хрупкую закаленную прослойку в зоне сплавления.

Диаметр шпилек составляет 5-16мм. Максимальное их количество по площади не должно превышать 25% площади излома детали. Высота шпилек над поверхностью металла - не более 5-6мм, глубина ввёртывания-1,5 диаметра шпильки.

Для сварки используются электроды диаметром 3-4мм любой марки, обеспечивающие мягкий наплавленный металл. Сварку ведут на малой силе сварочного тока (100-120А) для обеспечения малой глубины проплавления чугуна и минимального нагрева изделия, что уменьшает отбеливание и предотвращает появление трещин.

Вначале кольцевыми швами обвариваются ввёрнутые шпильки. Обварку производят вразброс, чтобы получить более равномерный нагрев детали. Затем наплавляют отдельными валиками участки между обваренными шпильками. Длина каждого валика не должна превышать 100мм. Второй слой валиков наносят перпендикулярно к направлению валиков первого слоя. После наплавки кромок заваривают разделку трещины. Для ускорения заварки трещины вводят дополнительные металлические связи (в виде прутков). Сварка с применением шпилек может выполняться в любом пространственном положении.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

1. Угольной дугой или газовым пламенем подогреть пластину до температуры 400 – 600° С.
2. Произвести сварку электродами. (ОМЧ-1, ВЧ-3,ЭП-4).
3. Поместить пластину в ящик с подогретым песком для медленного остывания.
4. Произвести сварку другой пластины без подогрева.
5. Охлаждение пластины произвести в тех же условиях, что при горячей сварке с подогревом.
6. Сравнить сварные швы, полученные холодной и горячей сваркой.

#### ***5. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Дать определение понятию чугуны.
2. Рассказать общую классификацию чугунов.
3. Расшифровать обозначение чугунов.
4. Объяснить технологию горячей сварки чугуна.
5. Объяснить технологию холодной сварки чугуна.

# ***ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ И СТРОЕНИЯ ГАЗОВОГО ПЛАМЕНИ***

## ***1. Цель работы***

Изучить теоретически процесс горения и строение газового пламени. Изучить зоны газового пламени.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Горелка сварочная универсальная с набором наконечников.
2. Термоиндикаторный карандаш (термопара).

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

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

Газовая сварка – 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, осветительный керосин.

Реакция горения протекает обычно при соединении твердых, жидких или газообразных веществ с кислородом. Однако некоторые металлы могут гореть не только в кислороде. Так, например, железо горит в хлоре и фторе, окись натрия или бария – в углекислом газе, медь и железо - в парах серы.

Для процессов газопламенной обработки наибольшее значение имеет горение различных горючих газов и паров жидких горючих веществ в кислороде или воздухе. Горение любой газовой смеси начинается с воспламенения ее при какой-то определенной температуре, зависящей от условий процесса горения. После того как горение началось, дальнейший нагрев газа внешним источником теплоты становится излишним, так как теплота сгорания газа оказывается достаточной для поддержания горения новых порций горючей смеси.

Однако устойчивый процесс горения возможен лишь в том случае, если выделяющийся при сгорании горючей смеси теплоты

достаточно и для нагрева новых порций газа, и для компенсации потерь теплоты и окружающую среду. Так, например, в трубках малых диаметров и особенно в капиллярах, где теплоотвод между стенками трубки велик (из-за большой величины отношения площади поверхности накала к его объему), горение газа невозможно.

Необходимое условие горения газа в кислороде или в воздухе - содержание горючего газа в смеси в определенных пределах, называемых пределами воспламенения. В зависимости от скорости воспламенения горючей смеси (скорость распространения пламени) различают следующие три вида горения:

1) спокойное – со скоростью распространения пламени, не превышающей 10 -15 м/с;

2) взрывчатое – со скоростью распространения пламени, достигающей нескольких сот метров в секунду;

3) детонационное – со скоростью распространения пламени свыше 1000 м/с. Скорость воспламенения (скорость распространения пламени) зависит от:

–состава газовой смеси;

–давления, под которым газовая смесь находится;

–характера и объема пространства, в котором происходит горение;

–термомеханических условий на его границе (так, например, при горении смеси в трубках основным параметром, определяющим эти условия, является диаметр трубки);

–от чистоты горючего газа и кислорода.

С увеличением содержания в них примесей скорость воспламенения уменьшается.

Применяемые в процессах газопламенной обработки горючие газы или пары жидких горючих веществ представляют собой преимущественно смеси углеводородов с другими газами, например с окисью или двуокисью углерода.

Из всех горючих в чистом виде применяется только водород. Все горючие газы, содержащие углеводороды, образуют пламя со светившимся ядром, аналогичным строению ацетилено - кислородному (рис. 1).

Чем больше углерода в составе горючего газа, тем резче очерчено светящееся ядро пламени. В отличие от углеводородных газов водородно-кислородное пламя светящегося ядра не образует, что затрудняет регулировку пламени по внешнему виду.

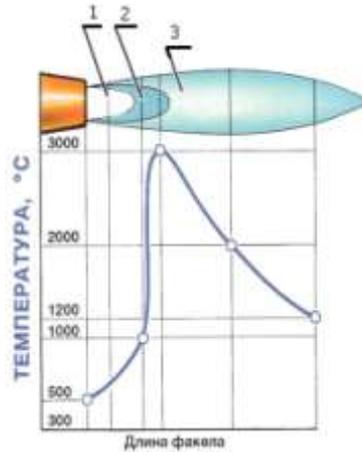


Рис. 41. Распределение температуры по оси нормального газового пламени: 1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел

Газовое сварочное ацетиленокислородное "нормальное" пламя имеет форму, схематически показанную на рисунке 1.

Во внутренней части ядра пламени 1 происходит подогрев газовой смеси, поступающей из сопла до температуры воспламенения. В наружной оболочке ядра происходит частичный распад ацетилена. Выделяющиеся частицы углерода раскалены, ярко светятся, четко выделяя очертания оболочки ядра (температура газов в ядре невелика и не превышает 1500 °С).

Зона 2 является наиболее важной частью сварочного пламени (сварочной зоной). В ней происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего в сопло из баллона, в результате чего здесь развивается максимальная температура.

Содержащиеся в сварочной зоне газы обладают восстановительными свойствами по отношению к оксидам многих металлов, в том числе и к оксидам железа. Поэтому ее можно назвать восстановительной. Содержание углерода в металле шва изменяется незначительно.

В зоне 3 или факеле пламени протекает догорание газов за счет кислорода воздуха что отражает состав газов в факеле. Содержащиеся в факеле газы и продукты их диссоциации окисляют металлы, т.е. эта зона является окислительной. Вид ацетиленокислородного пламени зависит от соотношения в газовой смеси подаваемой в горелку кислорода и ацетилена называется коэффициентом  $\beta$  ( $\beta_0 = \text{количество кислорода/количество ацетилена}$ ).



Рис. 42. Строение ацетиленокислородного пламени: а–нормальное, б–науглероживающее, в– окислительное

При  $\beta = 1,1 \dots 1,2$  пламя нормальное (рис. 2, а). При увеличении этого соотношения, т.е. относительном увеличении содержания кислорода (окислительное пламя), форма и строение пламени изменяются (рис. 2, в). При этом реакции окисления ускоряются, а ядро пламени бледнеет, укорачивается и приобретает коническую заостренную форму. В этом случае сварочная зона утрачивает восстановительные свойства и приобретает окислительный характер (содержание углерода в металле шва уменьшается, выжигается). С уменьшением  $\beta$ , т.е. при увеличении содержания ацетилена в газовой смеси реакции окисления замедляются. Ядро удлиняется, и его очертания становятся размытыми. Количество свободного углерода увеличивается, частицы его появляются в сварочной зоне (Рис. 2, б).

При большом избытке ацетилена частицы углерода появляются и в факеле пламени. В этом случае сварочная зона становится науглероживающей, т.е. содержание углерода в металле шва повышается.

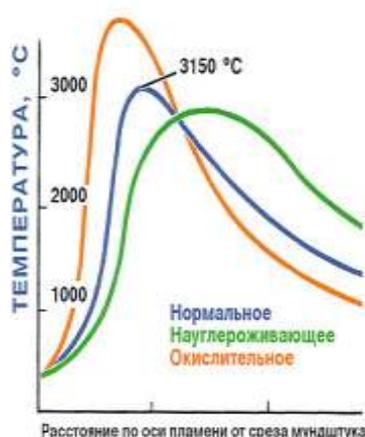


Рис. 43. Изменение температуры пламени различных видов

Пламя заменителей ацетилена принципиально подобно ацетиленокислородному и имеет три зоны. В отличие от углеводородных газов водородно-кислородное пламя светящегося ядра не имеет (нет светящихся частиц углерода).

Одним из важнейших параметров, определяющих тепловые, а значит и технологические свойства пламени, является его температура. Она различна в различных его участках как по длине вдоль его оси (рис. 1), так и в поперечном сечении. Она зависит от состава газовой смеси и степени чистоты применяемых газов.

Наивысшая температура наблюдается по оси пламени, достигая максимума в сварочной зоне на расстоянии 2 ... 3 мм от конца ядра. Эта сварочная зона является основной для расплавления металла. С увеличением  $\beta$  максимальная температура возрастает и смещается к мундштуку горелки. Это объясняется увеличением скорости горения смеси при избытке кислорода. При избытке ацетилена ( $\beta$  менее 1) наоборот, максимум температуры удаляется от мундштука и уменьшается по величине.

Горючие газы-заменители ацетилена, дешевле и недефицитны. Однако их теплотворная способность ниже, чем у ацетилена. Максимальные температуры пламени также значительно ниже. Поэтому их используют в ограниченных объемах в технологических процессах, не требующих высокотемпературного пламени (сварка алюминия, магния и их сплавов, свинца, пайка, сварка тонколистовой стали, газовая резка и т.д.).

Например, при использовании пропана и пропанобутановых смесей максимальная температура в пламени 2400 ... 2500 °С. Их используют при сварке стали, толщиной до 6 мм, сварке чугуна, некоторых цветных металлов и сплавов, наплавке, газовой резке и т.д.

При использовании водорода максимальная температура в пламени 2100 °С. Нагрев металла пламенем обусловлен лучистым, и в основном конвективным теплообменом между потоком горячих газов и соприкасающейся с ним поверхностью металла. При вертикальном положении от пламени ее растекающийся поток образует на поверхности металла симметричное относительно центра пятно нагрева.

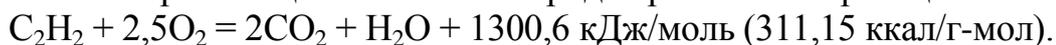
При наклоне пламени пятно нагрева вытягивается по направлению оси и сужается с боков. Интенсивность нагрева впереди ядра выше, чем позади его.

Кроме ацетилена, к горючим газам, образующим пламя со светящимся ядром, относятся метан, пропан, бутан, пропан-бутановые смеси, природные газы, нефтяной, пиролизный газ и др.

Наибольшее распространение в процессах газопламенной обработки, в особенности в процессах газовой сварки, получил ацетилен. Сварочное ацетилено-кислородное пламя принято делить на нормальное, окислительное и науглероживающее.

В сварочном пламени рассматривают три зоны: ядро, среднюю восстановительную зону и факел - окислительную зону.

Полное сгорание ацетилена в кислороде протекает по реакции:

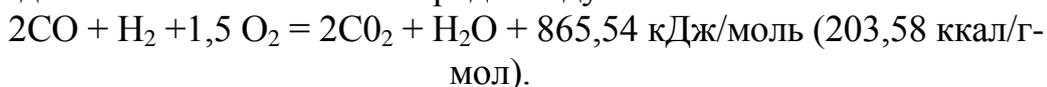


Реакции горения сварочного пламени, характеризующие начальные и конечные стадии процесса горения ацетилена в кислороде, а первом приближении можно представить протекающими в две фазы.

Очень условно и схематично первая фаза сгорания ацетилена в кислороде происходит при их поступлении из горелки в соотношении 1:1:



Во второй фазе сгорания горючего также условно и схематично окончательное окисление (догорание) его происходит за счет подсасывания в пламя кислорода воздуха:



Пламя, образуемое при сгорании ацетилена в кислороде при подаче их в горелку в пропорции 1:1, принято называть нормальным.

Однако практически некоторая, относительно небольшая часть водорода сгорает в водяной пар за счет кислорода, поступающего из горелки; кроме того, кислород имеет примеси, поэтому нормальное пламя образуется при несколько большем количестве поступающего из горелки кислорода, а именно при соотношении смеси:

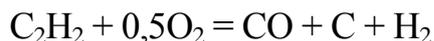
$$\beta_0 = \text{кол-во кислорода/кол-во ацетилена} = 1,05 \div 1,2.$$

Для окислительного пламени, например с соотношением смеси  $\beta_0 = 1,5$ , начальная стадия горения, соответствующая средней зоне пламени, может быть выражена реакцией:



В этом случае средняя (рабочая) зона пламени утрачивает свои восстановительные свойства и приобретает окислительный характер.

Для науглероживающего пламени, в частности при соотношении смеси  $\beta_0 = 0,5$ , реакцией, характеризующей сгорание горючего в средней зоне пламени, будет:



В этом случае в средней зоне пламени появляется значительное количество свободного углерода, вследствие чего пламя становится науглероживающим.

При большем избытке ацетилена свободный углерод присутствует также в факеле пламени, что внешне характеризуется красноватым оттенком пламени с ярко светящимися твердыми частицами углерода.

Температура пламени зависит:

- от вида горючего газа;
- от расстояния между горелкой и изделием;
- от вида пламени (нормальное, науглероживающее, окислительное)
- от мощности пламени.

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

### 3.1 Подготовка горелки к работе

Перед началом работ с сварочной горелкой необходимо убедиться:

1 Правильности присоединения шлангов (рисунок 44).

**ПЕРЕД ПРИСОЕДИНЕНИЕМ К ГОРЕЛКИ НЕОБХОДИМО ПРОДУТЬ ШЛАНГИ!!!!**

Порядок присоединения следующий:

- Присоединить к штуцеру горелки шланг для подачи кислорода;
- Проверить горелку на разряжение в ацетиленовом канале;
- Проверить точность и надежность закрепления шлангов хомутами;
- Допускается вместо хомутов закреплять шланги не менее чем в двух местах по длине ниппеля мягкой отожженной проволокой.



Рис. 44. Правильность присоединение шлангов

2 Проверить горелку на разрежение (подсос)

- Прикрепить наконечник с помощью накидной гайки;
- Присоединить кислородный шланг к ниппелю;
- Устранить давление кислорода по манометру редуктора (например, для наконечника №4 давление 0,2-0,4 МПа);
- Полностью открыть вентиль ацетилена, а затем кислорода;

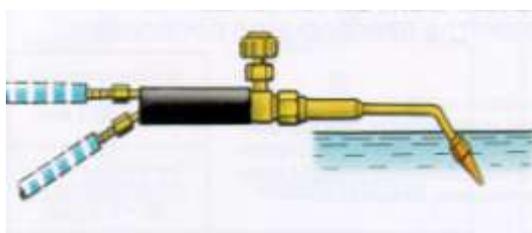
- Убедиться в наличии разряжения, поднеся большой палец к ниппелю ацетилена (палец должен присасываться).

При отсутствии разряжения необходимо:

- ✓ Закрывать вентиль кислорода и отсоединить наконечник;
- ✓ Вывернуть инжектор из смесительной камеры на  $\frac{1}{2}$  оборота;
- ✓ Собрать горелку и испытать ее повторно;
- ✓ при отсутствии разряжения снять наконечник, вывернуть из него инжектор и мундштук. Проверит, не засорены ли отверстия. При необходимости прочистить мягкой проволокой и продуть воздухом
- ✓ проверить, плотно ли прижат инжектор к седлу корпуса горелки, устранить неплотность.

3 проверка горелки на газонепроницаемость (Рисунок 45)

- Присоединить кислородный шланг попеременно к ниппелям кислорода и ацетилена;
- Подать кислород под давлением 0,2-0,4 Мпа;
- Мундштук опустить в воду на 15-20 с;
- На поверхности воды не должно быть пузырьков.



*Рис. 45. – Проверка горелки на газонепроницаемость*

После проверки работоспособности горелки необходимо поджечь и правильно отрегулировать горючую смесь в следующей последовательности:

1 при открытых вентилях горелки установить рабочие давление по манометру редуктора (среднее значение 4 кгс/см<sup>2</sup> для кислорода и 1 кгс/см<sup>2</sup> для ацетилена) в соответствии с толщиной свариваемого металла. Закрывать вентили;

2 открыть на  $\frac{1}{4}$  оборота кислородный, а затем на 1 оборот ацетиленовый вентили;

3 Поджечь горючую смесь. Пламя должно гореть устойчиво, не отрываясь от мундштука;

4 пламя регулируют ацетиленовым вентилем при полностью открытом кислородном;

По мере нагревания мундштука может образовываться пламя с избытком кислорода. Чтобы исключить это, создают запас ацетилена. Необходимо убедиться в его наличии. При этом средняя свягающаяся зона пламени должна быть примерно в 4 раза больше длины ядра. Это соответствует 15%-ному избытку ацетилена в пламени.

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

- Затянута ли накидная гайка;
- Достаточно ли давление кислорода;
- Нет ли воды в шлангах;
- Не перекручены ли (передавлены) шланги.

При хлопках горелку нужно выключить: перекрыть сначала ацетиленовый, а затем кислородный вентили.

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

В ходе проведения лабораторных работ студентам необходимо выполнить следующее.

1. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

2. Изучить характеристику объекта исследования, способы его исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

3. Пройти инструктаж по технике безопасности проведения лабораторной работы.

4. Получить допуск к выполнению лабораторной работы.

5. Составить список оборудования и приборов с краткими техническими характеристиками, которые заносятся в таблицу 1;

6. Изучить конструкцию сварочной горелки.

7. Нанести термоиндикаторным карандашом на металлической пластине метку. На расстоянии 5 мм произвести нагрев пламенем горелки, фиксируя при этом время от начала нагрева до расплавления метки.

9. Повторить опыты с использованием ацетилена и пропана.

10. Повторить опыты, изменяя вид пламени (нормальное, окислительное, науглероживающее)

11. Повторить опыты с различными номерами наконечников горелки.

10. На основании полученных данных построить графики зависимости температуры от вида горючего газа, вида и мощности пламени. Все данные занести в таблицу 21.

11. Защитить работу, отвечая на вопросы преподавателя.

**5. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 21

Время нагрева пластины

Вид опыта	Время нагрева, сек
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем	
Нагрев пропан-бутан-кислородным пламенем	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем окислительного вида	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем нормального вида	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем науглероживающего вида	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем наконечником №0	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем наконечником №1	
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем наконечником №3	

**6. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов**

1. Необходимое условие горения газа в кислороде или в воздухе.
2. Назовите виды горения пламени в зависимости от скорости его распространения.
3. От чего зависит скорость воспламенения (скорость распространения пламени)?
4. Какие зоны выделяют в сварочном пламени?
5. Зависит ли температура пламени от расстояния от торца мундштука по оси пламени?
6. Как влияет избыток ацетилена (кислорода) на температуру пламени?
7. Как влияет угол наклона пламени на интенсивность нагрева металла?
8. Какое пламя называют нормальным, окислительным, науглероживающим?
9. По расходу, какого газа (кислород, горючий газ) определяют мощность пламени?

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ**

## **1. Цель работы**

Изучить оборудование для кислородной резки металлов.

## **2. Оборудование, приборы и материалы**

1. Резаки на жидком и газообразном горючем.
2. Термоиндикаторный карандаш.

## **3. Краткая характеристика объекта исследования**

Набор оборудования, предназначенный для кислородной резки, отличается от набора для газовой сварки только наличием резака, который заменяет собой сварочную горелку. Резаки служат для образования смешивания горючих газов или жидкостей с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи в зону реза струи чистого кислорода. Отличаются резаки от сварочных горелок наличием трубки и вентиля для режущего кислорода, а также особым устройством головки. Резаки отличаются:

- по виду резки (для разделительной и поверхностной резки)
- по назначению (для ручной и механизированной резки)
- по роду горючего (ацетиленовые, для газов - заменителей, жидких горючих смесей)
- по принципу действия (инжекторные и безынжекторные)
- по давлению кислорода (низкого и высокого)
- по конструкции мундштуков (щелевые и многосопловые).

Наибольшее применение получили инжекторные щелевые резаки для разделительной резки со щелевыми мундштуками.

Каждый резак имеет рукоятку с запорно-регулирующими вентилями для кислорода и горючего газа, головку со сменными мундштуками, штуцеры со съёмными вентилями и инжекторное устройство. На каждом маховичке вентилей нанесено наименование газа (кислород режущий, кислород и горючий газ), стрелки, указывающие направление вращения при открывании и закрывании («О»-открыто и «З»-закрыто). На сменных мундштуках наносят их номера и индекс, указывающий, для какого горючего газа они предназначены: «А» - ацетилен, «П»-пропан-бутан, «ПГ» - природный газ. Накладная гайка и штуцер, служащие для присоединения к рукоятке

ниппеля для горючего газа, имеют левую резьбу. Кислородный ниппель присоединяется накидной гайкой с правой резьбой. На кислородном штуцере нанесена буква «К» (кислород).

Вставной резак (рис. 1) превращает сварочную горелку в режущий инструмент. Он является самым удобным приспособлением для скашивания кромок изделий, которые должны присоединяться встык. Особенно удобны такие резаки при частых переходах от одной операции (от резки к сварке) к другой.

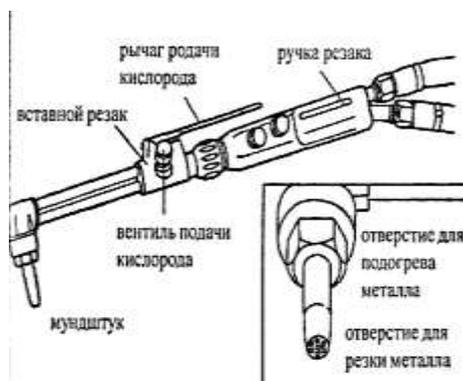


Рис. 46. Использование сварочной горелки в качестве резака путем применения вставочного резака

Инжекторные резаки отличаются разнообразием конструкций. Поэтому рассмотрим резак типа «Пламя» (рис. 47), который используют для ручной разделительной резки низкоуглеродистых и низколегированных сталей кислородной струей с использованием подогревающего пламени, образуемого ацетиленом и кислородом.

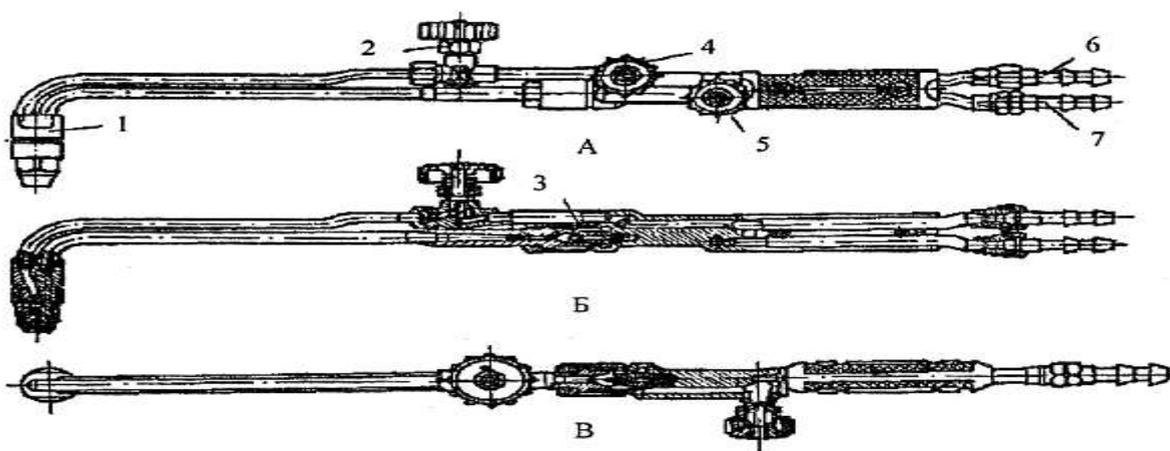


Рис. 47. Резак типа «Пламя»: а-общий вид; б-вид в разрезе; в-вид сверху; 1-головка; 2-вентиль кислородный; 3-инжектор; 4-кислородный вентиль; 5-ацетиленовый вентиль; 6-ниппель кислородный; 7-ниппель ацетиленовый

Керосино–кислородные резаки конструктивно отличаются от обычных газовых, так как для получения высокотемпературного пламени необходимо превращение жидкости в парообразное состояние. Для кислородной резки низкоуглеродистых сталей с использованием в качестве горючего керосина применяются керосинорезы двух типов – с испарением и распылением горючего. Керосинорез, работающий по принципу испарения горючего, имеет испарительную камеру с асбестовой набивкой. В камеру поступает керосин, для испарения которого камера подогревается дополнительным пламенем.

Керосинорезы, работающие по принципу распыления, имеют специальное распылительное устройство, проходя через которое жидкое горючее распыляется, в распыленном виде поступает в мундштук и там испаряется. Керосинорез состоит из двух основных частей: бачка для горючего и резака. Бачок для горючего устанавливается на расстоянии не менее 5 м от баллона с кислородом и не более 3 м от рабочего места резчика. Бачок для жидкого горючего предназначен для подачи под давлением керосина или бензина в специальный резак или горелку, которые работают на жидком горючем. Для питания керосинорезов в настоящее время применяются бачки двух типов: БГ-63 и БГ-68 (Рис. 48).

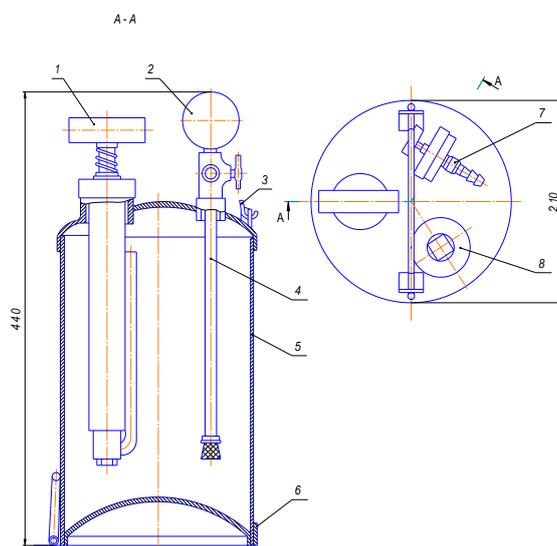


Рис. 48. Бачок для жидкого горючего: 1 – воздушный насос, 2 – манометр, 3 – дужка, 4 – запорный вентиль, 5 – корпус, 6 – кольцо, 7 – штуцер для присоединения шланга, 8 – штуцер для заливки горючего

Бачок для жидкого горючего рассмотрим на примере БГ-68. Он представляет собой сварной цилиндрический сосуд со сферическим днищем и сферической крышкой. Бачок БГ-68 состоит из корпуса 5,

воздушного насоса 1, запорного вентиля с маховичком 4, штуцера для заливки горючего 8, спускной пробки и штуцера 7 для присоединения шланга, по которому горючее из бачка попадает в горелку или резак, души 3 и кольца 6.

Горючее для подачи в горелку или резак вытесняется из бачка воздухом под давлением до 3 кгс/см<sup>2</sup>.

Давление создается ручным воздушным насосом. Воздух из насоса по трубке, припаянной к корпусу клапана, поступает в пространство над горючей жидкостью. Бачок заполняют горючей жидкостью на 3/4 полезной емкости бачка через штуцер 8 для заливки горючей жидкости. Штуцер вваривается в верхнюю сферическую крышку. При отборе горючего давление в бачке будет падать, поэтому необходимо периодически подкачивать воздух ручным воздушным насосом. Давление в бачке контролируется манометром 2. Масса бачка БГ-68 – 4,0 кг.

Перед заливкой горючей жидкости в бачок необходимо убедиться в его чистоте, проверить исправность манометра и ручного воздушного насоса. При заливке горючее фильтруется через войлок, который укладывается в воронку; горючей жидкости наливается не больше 5,5 дм<sup>3</sup>. Воздушным насосом поднимается рабочее давление до 3 кгс/см<sup>2</sup>. При подаче горючей жидкости необходимо открыть вентиль для подачи горючего из бачка и вентиль горючей жидкости на резаке или горелке до тех пор, пока горючая жидкость не пойдет через мундштук. Бачок эксплуатируется только в вертикальном положении.

Схема работы керосино-кислородного резака с испарителем представлена на рис. 50. Керосин из бачка по шлангу через ниппель, трубку 8 и вентиль 7 поступает в асбестовую набивку испарителя 11. Кислород через вентиль 9, проходя инжектор 4, поступает в головку резака 3. В головке 3 кислород смешивается с парами керосина, образуя горючую смесь. Испаритель 11 нагревается пламенем вспомогательного мундштука 12.

Образовавшаяся горючая смесь в смесительной камере головки выходит наружу через кольцевой зазор между мундштуком 1 и 2, образуя подогревающее пламя. Состав подогревающего пламени и его мощность регулируют вентилем 9 и маховичком 10, который изменяет положение инжектора в смесительной камере. Режущий кислород проходит через вентиль 6 и по трубке 8 направляется в центральный канал мундштука. В рукоятке размещены трубки для подвода керосина и кислорода.

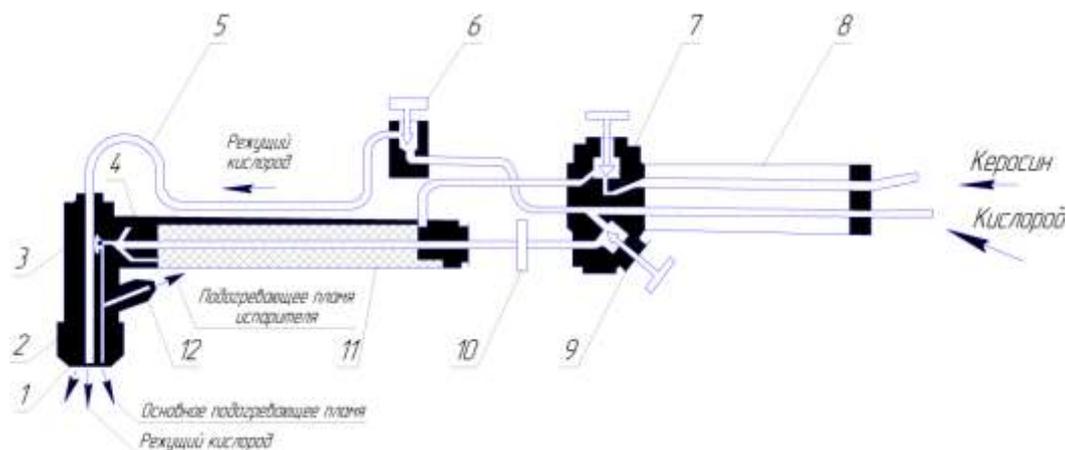


Рис. 49. Схема работы керосинореза

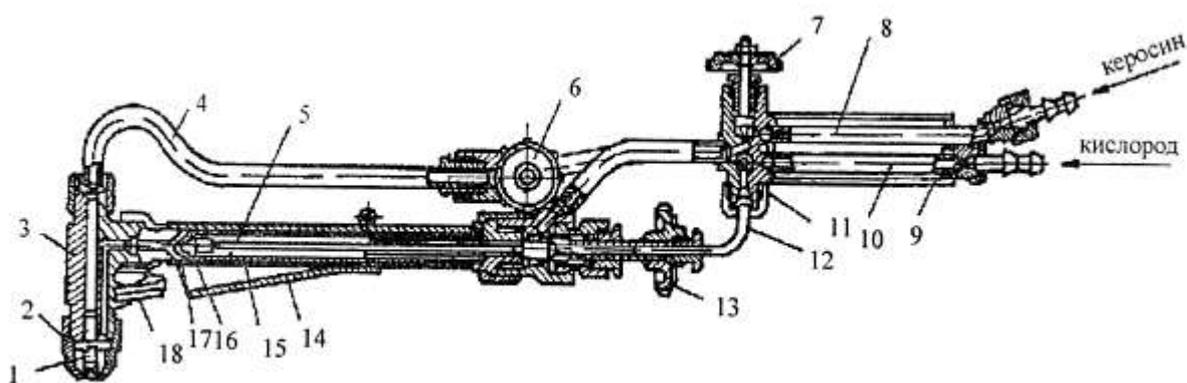


Рис. 50. Керосино-кислородный резак РК-62: 1-внутренний мундштук; 2-наружный мундштук; 3-головка; 4-труба режущего кислорода; 5-асбестовая оплетка; 6-маховичок режущего кислорода; 7-вентиль для керосина; 8-трубка подачи керосина; 9-рукоятка; 10-трубка для кислорода; 11-корпус резака; 12-трубка подогревающего кислорода; 13-маховичок для регулирования подачи горючего; 14-щиток; 15-испаритель; 16-инжектор; 17-смесительная камера; 18-подогревающее сопло.

Керосино-кислородный резак типа РК-62 предназначен для резки низкоуглеродистой стали толщиной до 200мм. Основной частью резака РК-62 (рис. 50) является головка 4 с наружным мундштуком 5 и внутренним 6. Резак имеет съемный испаритель 2, который крепится накладными гайками 7. На корпусе резака установлены кислородный 9 и керосиновый 10 вентиля, ниппель 11 и маховичок 1 для регулирования подогревающего пламени.

Резак РК-62 работает по принципу предварительного испарения керосина. Подогревающее керосино-кислородное пламя располагается concentрично вокруг струи режущего кислорода.

Перед зажиганием резака необходимо подогреть испаритель 2, для чего открывают запорный керосиновый вентиль 10, слегка поворачивают против часовой стрелки маховичок 1 и сливают немного

керосина в жестяную банку, которую наполняют обтирочными концами. Зажигают керосин в жестяной банке и подогревают этим пламенем испаритель 2.

Зажигание резака осуществляется следующим образом. Сначала открывают вентиль 9 подогревающего кислорода, затем полностью – керосиновый вентиль 10. Открыв маховичок 1 на 1/4 оборота, поджигают горючую смесь у мундштука 5 и подогревающего сопла 3. Вентильми 9, 10 и маховичком 1 регулируют требуемую мощность подогревающего пламени. Открыв вентиль режущего кислорода 8, приступают к резке.

В процессе работы периодически подтягивают внутренний мундштук 6 и накидную гайку 7, так как под действием высоких температур резьбовые соединения могут ослабнуть. При работе на керосинорезе не реже одного раза в неделю испаритель 2 и головку 4 очищают бензином. Испаритель 2 для равномерного износа необходимо раз в неделю поворачивать на 90° относительно подогревающего сопла 3. Для подачи горючей жидкости используется бачок БГ-63.

Для защиты кислородных рукавов от разрывов и загорания при обратных ударах необходимо пользоваться предохранительным клапаном ЛКО-1-56. Предохранительный клапан (рис. 51) присоединяется к кислородному штуцеру керосинореза, что исключает проникновение обратного удара пламени в шланг. В качестве горючего используется осветительный керосин.

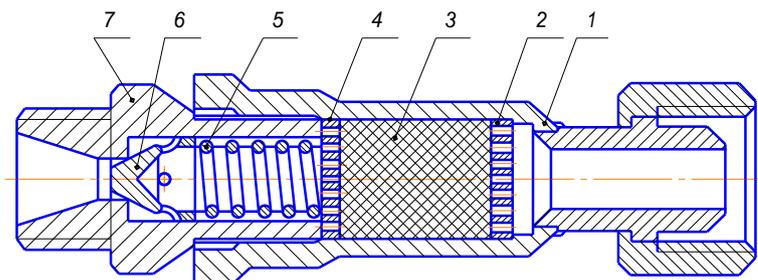


Рис. 51. Предохранительный клапан ЛКО-1-56: 1 – корпус, 2, 4 – шайбы, 3 – наполнительная смесь, 5 – пружина, 6 – клапан, 7 – седло

Еще существуют конструкции керосинорезов, которые работают на принципе механического распыления горючей жидкости. Распыление происходит непосредственно в головке резака специальным соплом распылителя. Отличие этих резаков от инжекторных состоит в том, что у них горючая жидкость и кислород подогревающего пламени проходят в головке резака и в мундштуке по отдельным кольцевым каналам. Смешение газов происходит на выходе из мундштука.

Горючая жидкость из бачка по керосиностойкому шлангу проходит через фильтр, регулирующий вентиль и по трубке поступает в распылительное устройство головки резака. Кислород поступает в распылитель по трубке через регулировочный вентиль. Выходя из бокового отверстия распылителя, кислород распыляет струю жидкого горючего. Образовавшаяся горючая смесь подается в зону резки через кольцевой зазор между наружным и внутренним мундштуками, а режущий кислород – через внутренний мундштук.

При работе с керосинорезами необходимо выполнять следующие правила: перед работой тщательно проверить плотность всех соединений; осмотреть резак, керосиновый бачок и убедиться в их исправности; перед заливкой в бачок профильтровать керосин через слой войлока и кусковую каустическую соду для очистки от механических примесей. Давление в бачке должно быть меньше рабочего давления кислорода, в противном случае керосин проникает в кислородные каналы резака и кислородный рукав, что может привести к обратному удару. Бачок наполняется горючей жидкостью не более 3/4 полной вместимости бачка.

Перед зажиганием керосинореза испаритель подогревают или паяльной лампой, или в жестяную банку, наполненную ветошью, сливают немного горючей жидкости, поджигают ее и пламенем подогревают испаритель. После этого зажигают подогревающее пламя. Мощность подогревающего пламени регулируют вентилями горючей жидкости подогревающего кислорода и маховичком. При прекращении работы необходимо сначала закрыть вентиль режущего кислорода, затем прекратить подачу в резак керосина и перекрыть вентиль подогревающего кислорода, после чего снять давление в бачке с помощью спускного вентиля.

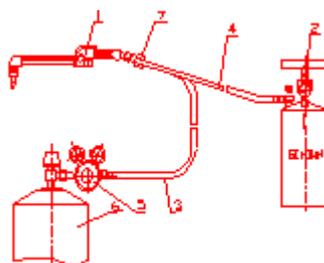
При несоблюдении мер безопасности возникают хлопки и обратные удары пламени. Обратные удары вызываются перегревом головки керосинореза, засорением выходных каналов мундштуков, попаданием керосина в кислородные каналы, ослаблением накидной гайки мундштука или смесительной камеры.

При хлопках и обратных ударах закрывают кислородный вентиль и вентиль горючего, а потом вентиль режущего кислорода. При засорении каналов мундштуков необходимо прочищать их медной или алюминиевой иглой. При длительной работе необходимо периодически охлаждать головку керосинореза в воде, при этом кислородный вентиль должен быть открыт, чтобы предупредить попадание воды в головку керосинореза.

Необходимо не реже одного раза в неделю разбирать испаритель, очищать инжектор от грязи, а асбестовую оплетку промывать в горячей воде. Если оплетка перегорела, ее заменяют новой. Не реже одного раза в месяц резак и бачок проверяют на газонепроницаемость, а результаты проверки заносят в специальный журнал.

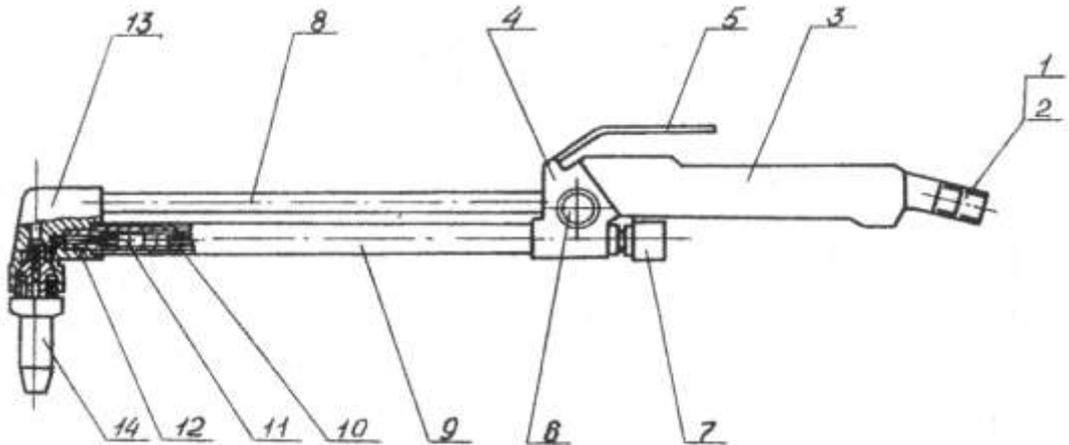
Бензино-кислородные резаки предназначены для ручной кислородной резки стали с применением жидкого горючего. В качестве жидкого горючего применяются бензины марок А-76 и А-92 по ГОСТ 2084-77.

Комплект состоит из источников питания (баллон с кислородом и бачок с бензином), резака с набором сменных мундштуков и резиноканевых рукавов, соединяющих источники питания и резак. Схема сборки комплекта приведена на рис. 7.



*Рис. 52. Схема комплекта бензореза: 1 – резак; 2 – бачок для бензина; 3 – рукав для подачи кислорода; 4 – рукав для подачи бензина; 5 – редуктор; 6 – баллон с кислородом; 7 – клапан защитный*

Резак бензино-кислородный для резки стали «Фаворит-2,5» (рис. 52) состоит из следующих узлов и деталей: 1 - штуцер подвода с клапаном защитным кислорода; 2- штуцер подвода горючего; 3 - рукоятка; 4 - корпус; 5 - рычаг пуска режущего кислорода; 6- вентиль для регулировки расхода подогревающего кислорода; 7 - вентиль для регулировки расхода горючего; 8-трубка для подачи режущего кислорода; 9 - узел формирования горючей смеси; 10-пористая вставка; 11 - шпindel игольчатого типа; 12 -смесительная камера; 13 - головка резака; 14 - мундштук (сопло и гильза).



*Рис. 53. – Бензорез: 1 – штуцер подвода кислорода; 2 – штуцер подвода горючего; 3 – рукоятка; 4 – корпус; 5 – рычаг пуска режущего кислорода; 6 – вентиль для регулировки расхода подогревающего кислорода; 7 – вентиль для расхода горючего; 8 – трубка для подачи режущего кислорода; 9 – узел формирования горючей смеси*

Принцип работы комплекта бензореза состоит в следующем. С помощью ручного насоса на бачке создается рабочее давление воздуха в бачке, под действием которого горючее (бензин) вытесняется через узел подачи горючего в рукав подачи горючего (рис. 52, поз. 4) и через штуцер (рис. 53, поз. 2) поступает в резак. Далее горючее поступает по трубке, проходящей внутри рукоятки (рис. 53, поз. 3) и вентиль (рис. 53, поз. 7) в узел формирования горючей смеси (поз. 9, рис. 53), который состоит из двух коаксиальных трубок, шпинделя игольчатого типа и смесителя. Горючее подается по внутренней трубке в смесительную камеру (рис. 53, поз. 12). Расход горючего регулируется шпинделем игольчатого типа (рис. 53, поз. 11) с помощью маховичка, (рис. 53, поз. 7). По кольцевому зазору между коаксиальными трубками подается кислород для формирования подогревающего пламени, поступающий от баллона (рис. 52, поз. 6) по рукаву через соответствующий штуцер (рис. 53, поз. 1) в резак. Из коаксиального зазора между трубками кислород по двум каналам поступает в смесительную камеру (рис. 53, поз. 12). Оси каналов подачи кислорода расположены под острым углом к оси канала подачи горючего, так что струи кислорода при истечении в смесительную камеру распыляют струю горючего, образуя паро-капельную горючую смесь. Затем горючая смесь поступает в кольцевой зазор, образованный проточкой в головке резака и мундштуком и далее в каналы мундштука, где происходит интенсивное испарение капель горючего и образование газообразной горючей смеси, которая при истечении из мундштука в атмосферу горит и образует подогревающее пламя.

Кислород, поступающий в резак, через штуцер (рис. 53, поз. 1) в корпусе резака (рис. 53, поз. 4) разделяется на два потока, один из которых по указанной выше схеме используется для формирования подогревающего пламени, а другой поток по трубке (рис. 53, поз. 8) подается в центральный канал мундштука (рис. 53, поз. 14) и образует режущую струю. Пуск режущей струи осуществляется с помощью рычага (рис. 53, поз. 5).

#### ***4. Методика выполнения лабораторной работы***

В ходе проведения лабораторных работ студентам необходимо выполнить следующее.

1. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

2. Изучить характеристику объекта исследования, способы его исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

3. Пройти инструктаж по технике безопасности проведения лабораторной работы.

4. Получить допуск к выполнению лабораторной работы.

5. Составить список оборудования и приборов с краткими техническими характеристиками;

6. Изучить конструкцию кислородных резаков.

7. При работе с ацетилено-кислородным и пропан-кислородным резаками зажигание пламени и его регулировка осуществляется аналогично сварочной горелке.

8. Правила работы с резаками на жидком горючем:

– Убедиться, что все вентили на бачке и резаке закрыты, а крышка заливной горловины и крышка насоса завернуты до упора.

– Установить с помощью редуктора давление кислорода в соответствии с выбранным номером мундштука по таблице 1.

– С помощью ручного насоса создать давление воздуха в бачке соответствии с нормами, указанными в таблице 1.

– Вентиль подачи горючего на бачке медленно открыть на  $\frac{1}{4}$  оборота. После того как величины давлений в бачке и рукаве выравняется (через 30 с) также медленно открыть вентиль полностью. Для правильного функционирования клапана ограничения расхода необходимо, чтобы вентиль подачи горючего на бачке - во время работы резака был открыт полностью.

– Медленно открыть на  $\frac{1}{4}$  оборота вентиль подачи горючего на рукоятке резака. Если бензин не вытекает из мундштука, это означает,

что вентиль подачи горючего на бачке был открыт слишком быстро и сработал клапан ограничения расхода в узле подачи горючего. Для того чтобы клапан занял нужное положение, необходимо приподнять бачок и слегка ударить об пол. После появления из мундштука жидкого бензина, вентиль подачи горючего на рукоятке резака закрыть.

– Перед зажиганием резака удалить жидкий бензин из мундштука путем кратковременного открывания вентиля подогревающего кислорода. С помощью пуска режущего кислорода удалить остатки паров бензина из канала режущего кислорода.

– Открыть вентиль подогревающего кислорода на 1/4 оборота медленно открыть вентиль подачи горючего на рукоятке резака до получения струи распыленного до туманообразного состояния горючего. При слишком грубом распылении (присутствие в струе капель) следует уменьшить подачу бензина или увеличить расход подогревающего кислорода. Далее, с помощью регулирующих вентилях на рукоятке резака следует уменьшить струю распыленного бензина до почти невидимого состояния и зажечь пламя.

Сразу после зажигания пламя может иметь желтую окраску, но через 20-30 с желтая окраска должна исчезнуть. Если этого не произошло, следует уменьшить подачу бензина или увеличить расход подогревающего кислорода. Для ускорения этого процесса следует приблизить выходную часть мундштука вплотную к поверхности металла.

Причиной желтой окраски пламени может служить также наличие масла у бензине. Поэтому, в этом случае, когда не удастся добиться исчезновения желтой окраски пламени, следует слить из бачка загрязненный бензин и заменить его чистым.

– С помощью маховичков на рукоятке резака отрегулировать подогревающее пламя следующим образом. Ядра пламени длиной 5-6 мм должны иметь ярко-голубую окраску и четкие очертания и слабо пульсировать по всей длине. Пламя вблизи концов должно иметь оранжевую окраску, что соответствует избытку горючего в смеси. При слишком сильной пульсации ядер следует уменьшить подачу бензина, сохраняя при этом избыток горючего в пламени. Остальная часть факела резака должна быть голубого цвета; желтая окраска пламени не допускается.

– Окончательная регулировка подогревающего пламени осуществляется при пуске режущего кислорода.

– С помощью отрегулированного подогревающего пламени нагреть поверхность металла до начала плавления, с помощью рычага открыть клапан режущего кислорода (нажать на рычаг) и начать

процесс резки со скоростью 650 мм/мин. Режимы резки должны соответствовать таблице 1 паспорта. Замерить время нагрева металла до начала реакции горения его в чистом кислороде.

– В процессе работы резака необходимо следить за показаниями манометров на редукторе и на бачке. Давление в бачке не должно снижаться не менее чем 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>). При необходимости следует с помощью ручного насоса давление в бачке доводить до нормы в процессе работы.

– Гашение резака производить в следующей последовательности:  
быстро закрыть вентиль подачи горючего на рукоятке резака;

закрыть вентиль подогревающего кислорода;

закрыть вентиль подачи горючего на бачке;

вывернуть нажимной винт редуктора;

закрыть вентиль на кислородном баллоне.

– По окончании работы выпустить воздух из бачка отворачиванием на 1-2 оборота крышки заливной горловины.

– Произвести аналогично настройку керосинореза РК-71 и произвести рез металла. Замерить время нагрева металла до начала реакции горения его в чистом кислороде. Режимы резки должны соответствовать рекомендуемым в таблице 4, 5. Скорость резки 550 мм/мин.

9. Нанести термоиндикаторным карандашом на металлической пластине метку. На расстоянии 5 мм произвести нагрев пламенем ацетилено-кислородным, пропан-кислородным и керосино-кислородным резаком, фиксируя при этом время от начала нагрева до расплавления метки. Все данные занести в таблицу 6.

10. На основании полученных данных построить графики зависимости температуры от вида горючего газа, вида и мощности пламени .

11. Защитить работу, отвечая на вопросы преподавателя.

### **6. Формы таблиц, рекомендуемых для записи измеряемых свойств объекта исследования**

Таблица 22

Время нагрева пластины

Вид опыта	Время нагрева, сек
Нагрев ацетилено-кислородным пламенем	

Нагрев пропан-бутан-кислородным пламенем	
Нагрев керосино-кислородным пламенем	

### ***7. Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов***

1. Необходимое условие горения газа в кислороде или в воздухе.
2. Расскажите устройство и классификация резаков для ручной резки.
3. Поясните особенности устройства и применения керосинорезов.
4. Назначение и область применения аппаратуры КЖГ-1Б
5. Перечислите основные узлы комплекта аппаратуры для резки стали на жидком горючем (бензине).
6. Порядок работы на аппаратуре КБЖ-1Б.
7. Перечислите основные неисправности и способы их устранения.

# ***ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА***

## ***1. Цель работы***

Изучить способы и технологию разделительной и поверхностной резки.

## ***2. Оборудование, приборы и материалы***

1. Резаки кислородные на жидком и газообразном топливе
2. Термоиндикаторный карандаш.
3. Твердомер НРС.

## ***3. Краткая характеристика объекта исследования***

Метод газокислородной резки (рис. 54) основан на использовании для нагрева смесь горючих газов с кислородом и экзотермической (с выделением тепла) реакции окисления металла. Суть кислородной резки заключается в сгорании железа в струе чистого кислорода, нагретом до температуры, близкой к плавлению. Для удаления оксидов железа из зоны реза используется кинетическая энергия режущего кислорода. Сам процесс резки включает в себя стадию подогрева металла ацетиленовым (или другим заменителем) пламенем и непосредственную резку струей режущего кислорода.

По характеру и направленности кислородной струи различают три основных вида резки: разделительная, при которой образуются сквозные резы, поверхностная, при которой снимают поверхностный слой металла, кислородное копье, заключающееся в прожигании в металле глубоких отверстий.

Подогревающее пламя нагревает поверхностные слои металла, которые затем контактируют со струей чистого кислорода и окисляются. Выделяющаяся при этом теплота совместно с теплотой подогревающего пламени постоянно нагревает за счет теплопроводности металл впереди резака до температуры его воспламенения в кислороде, обеспечивая непрерывность процесса. Под действием кинетической энергии струи кислорода слой окислов, а также частично жидкий металл удаляются из разреза. В зависимости от толщины стали изменяются доли их участия в тепловом балансе: чем меньше толщина разрезаемого металла, тем больше роль подогревающего пламени (при толщине 5 мм до 80% общего

количества теплоты, выделяемой при резке, а при толщине более 50 мм – только до 10%).

Для обеспечения стабильности процесса и нормальной резки металла необходимо, чтобы в зоне реза выполнялись следующие условия:

1. мощность источника тепла должна быть достаточной для нагрева металла до температуры, при которой происходит реакция сгорания металла;

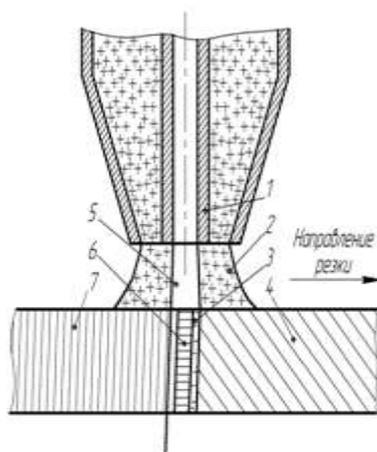
2. количество тепла, выделяемое при сгорании металла в струе кислорода, должно обеспечивать непрерывность процесса;

3. реакция окисления металла должна происходить при температуре меньшей, чем требуется для плавления;

4. температура плавления металла должна быть выше температуры образовавшихся оксидов. В противном случае пленка тугоплавких оксидов изолирует металл от кислорода;

5. текучесть образовавшихся оксидов должна быть такой, чтобы они легко выдувались струей режущего кислорода;

6. теплопроводность металла не должна быть высокой, иначе процесс резки может прерваться из-за интенсивного теплообмена.



*Рис. 54. Схема процесса разделительной газокислородной резки: 1 - мундштук; 2 - подогревающее пламя; 3 - жидкий металл; 4 - разрезаемый металл; 5 - режущая струя кислорода; 6 - слой оксидов; 7 - линии отставания.*

Всем вышеперечисленным условиям удовлетворяют сталь, титан и марганец, поэтому их можно обрабатывать с помощью газокислородной резки. Особенно хорошо режутся сплавы титана, благодаря высокому сродству с кислородом и высокому тепловому эффекту образования окисла. Остальные металлы и сплавы, такие как высоколегированные стали, алюминий, медь, не удовлетворяют второму условию, при котором возможен процесс газокислородной резки.

Лучше всего подходит для кислородной резки углеродистая сталь, которая удовлетворяет всем условиям, необходимым для поддержания непрерывности процесса.

Поверхность разрезаемого металла должна быть очищена от ржавчины и других загрязнений. Металл устанавливается в положение, лучше всего в нижнее, но так, чтобы был свободный выход режущей струи с обратной стороны. Операция резки начинается с предварительного подогрева в месте реза при температуре горения металла (1200 ... 1350 °С). Устанавливаемая мощность подогревающего пламени зависит от рода горючего газа, толщины и состава разрезаемого металла.

Начинают резку обычно с кромки металла. При толщинах до 80 ... 100 мм можно прорезать отверстие в любом месте листа. Ядро подогревающего пламени находится на расстоянии 2 ... 3 мм от поверхности металла. Когда температура подогреваемого металла достигнет необходимой величины, пускают струю режущего кислорода. Чем выше чистота режущего кислорода, тем выше качество и производительность резки. По мере углубления режущей струи в толщу реза уменьшается скорость и мощность струи режущего кислорода. Поэтому наблюдается ее искривление (рис. 55), для уменьшения которого дается наклон режущей струи. При резке толстого металла ширина реза увеличивается к нижней кромке из-за расширения струи режущего кислорода. На кромках с их нижней стороны остается некоторое количество шлака.

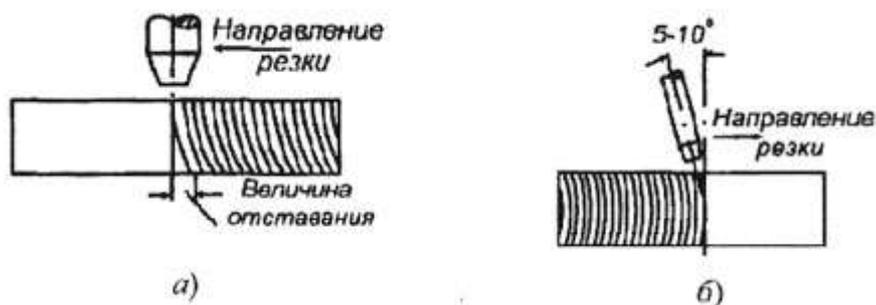


Рис. 55. Уменьшение скорости струи кислорода: а – отставание режущей струи; б – резак, наклоненный для уменьшения отставания струи

В металле, на поверхности реза, повышается содержание углерода. Причина этого в том, что при горении углерода образуется окись углерода CO, при взаимодействии которой с железом в нем и повышается содержание углерода. Возможна и диффузия углерода к кромке реза из близрасположенных участков металла.

Если производится последующая сварка для предупреждения повышения углерода в металле шва (образование закаленных структур), следует производить механическую обработку или зачистку поверхности реза. В процессе реза происходит термообработка металла кромок реза, соответствующая закалке. Ширина зоны термического влияния (до 6 мм) зависит от химического состава и возрастает с увеличением толщины разрезаемого металла.

Низкоуглеродистая сталь закалке практически не поддается. Происходит только укрупнение зерна и появление в структуре наряду с перлитом участков сорбита. При резке сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих примесей в структуре металла может появиться троостит и даже мартенсит. Неравномерный нагрев кромок создает напряжения в металле и деформирует его. Кромки реза несколько укорачиваются, а в прилегающем слое возникают растягивающие напряжения, которые могут привести к образованию трещин.

Своеобразным способом является резка кислородным копьем (прожигание отверстий). Для этого используются длинные толстостенные трубки диаметром 8 ... 10 мм из низкоуглеродистой стали. До начала резки рабочий конец трубки нагревают сварочным пламенем или угольной электрической дугой до температуры воспламенения металла в кислороде. При включении режущего кислорода конец трубки воспламеняется. Затем рабочий конец трубки слегка прижимают к металлу и углубляют в него, выжигая отверстие. Образующийся шлак выдувается из отверстия наружу избыточным кислородом и образующимися газами. При значительной глубине прожигаемого отверстия изделие нужно ставить в положение, облегчающее вытекание шлаков.

Многие легированные стали плохо поддаются обычной кислородной резке. Например, все стали со значительным содержанием хрома (при резке образуется тугоплавкий окисел хрома), чугун, цветные металлы. Однако они поддаются кислородно-флюсовой резке. При этом способе в зону резки режущим кислородом вдувается порошкообразный флюс. Он состоит, главным образом, из порошка металлического железа. Сгорая в струе кислорода, порошок дает дополнительное количество тепла, а образующиеся оксиды, смешиваясь с оксидами разрезаемого металла, разжижают их. В зависимости от состава разрезаемого металла во флюс могут добавляться и другие добавки, например, кварцевый песок, порошок алюминия и др.

Газовая резка с водородно-кислородным или бензинокислородным подогревающим пламенем применяется при работах под водой. При

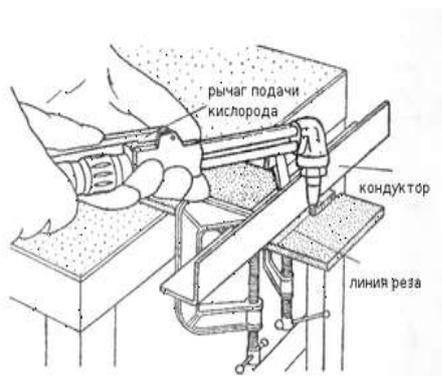
электрокислородной резке используются стальные или графитовые трубки, через которые подается режущий кислород. Подогрев металла осуществляется сварочной дугой.

Технологию газокислородной резки рассмотрим на примере использования вставного резака. Установку для газокислородной резки готовят так же, как и для газовой сварки. Вставной резак присоединяют к стволам горелки и устанавливают рабочее давление кислорода и ацетилена, равное значениям, рекомендуемым для данного размера мундштука.

Для зажигания факела полностью открывают вентили подачи кислорода и примерно наполовину — вентиль подачи ацетилена. Пламя устанавливают, вращая вентиль подачи кислорода на вставном резаке. Пламя проверяют, нажимая на секунду рычаг подачи кислорода, и при необходимости выполняют регулировку.

На разрезаемой детали мелом наносят линию реза и устанавливают ее на верстак, закрепив при необходимости тисками или другим доступным способом. Для удобства можно укрепить вдоль линии реза (на расстоянии примерно 6 мм) направляющий уголок (рис. 56). Прижав боковую сторону горелки к направляющему уголку, делают два - три медленных прохода вдоль линии реза.

Для обеспечения устойчивости можно опереться предплечьем рабочий верстак. Металл в начале реза разогрева до ярко-красного цвета, затем полностью открыв рычагом (или вентилем в другой конструкции) подачу кислорода и начинают медленно перемещать пламя резака вдоль нанесенной линии.



*Рис. 56. Резка по прямой линии*

Криволинейные контуры или отверстия режут методике, показанной на рис. 57, 58, 59. Для удобства перемещения резака его устанавливают на левую руку. Для резки отверстий сначала намечают контуры, а затем прожигают внутри отверстие, которого проводят рез

до контуров, обведен линий. После этого продолжают резку окружности.

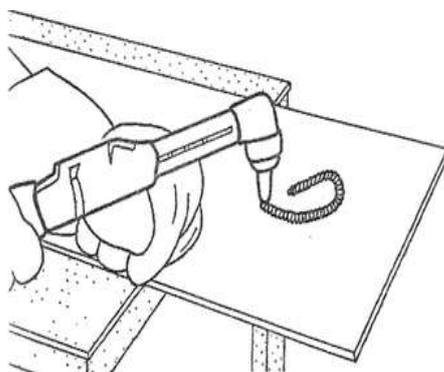


Рис. 57. Резка криволинейного контура

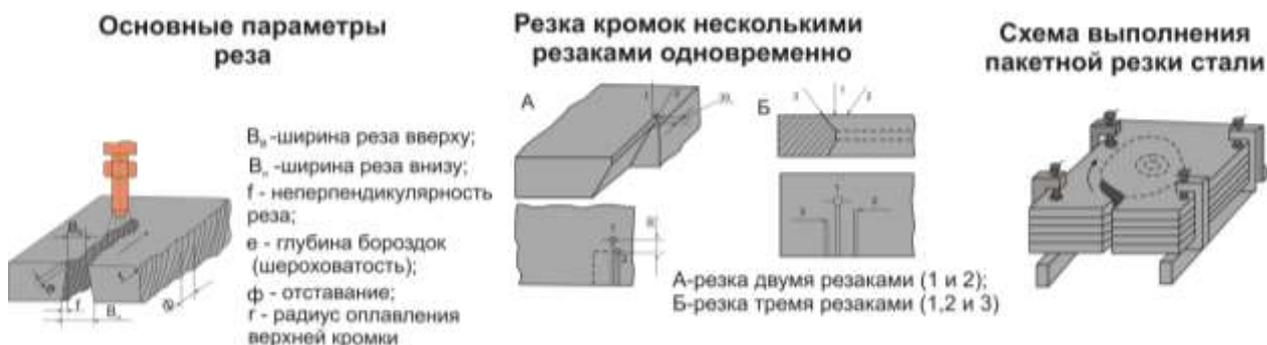
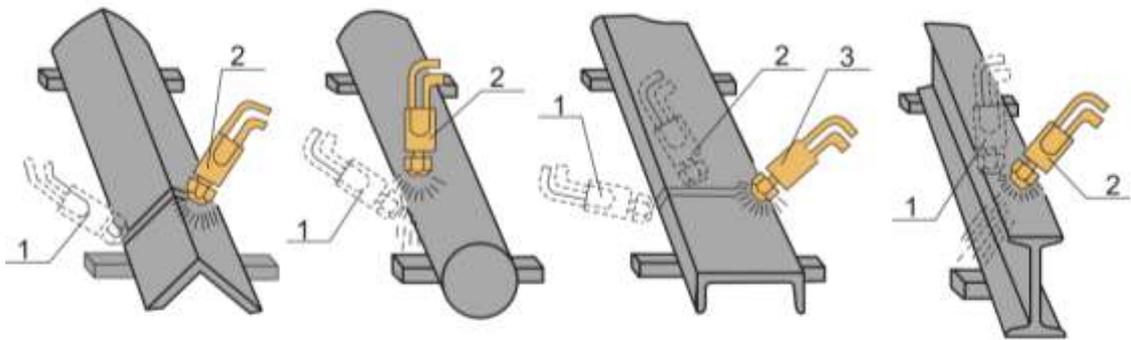


Рис. 58. Разделительная резка металла

Высококачественная скоростная резка достигается наклоном резака под острым углом и применением специальных мундштуков, у которых имеется три отверстия для режущего кислорода.

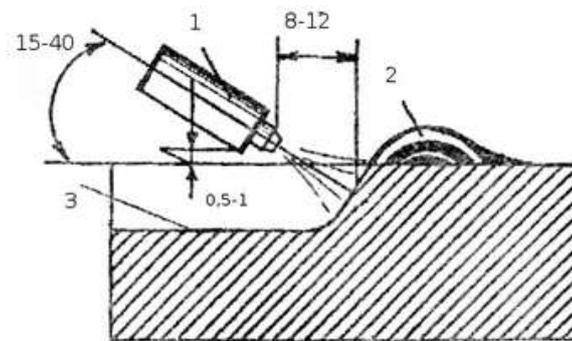
Центры этих отверстий образуют равнобедренный треугольник, вершиной которого служит отверстие, предназначенное для основной режущей струи. Режущая струя осуществляет резку и проходит первой.

Две вторые струи, перемещаясь вслед за основной, осуществляют зачистку образовавшихся кромок. К недостаткам этого вида резки относят большую ширину реза и невозможность прохода по криволинейным контурам.



*Рис. 59. Положение резака при резке профильной стали:  
1 – в начале резки; 2 и 3 в конце резки*

Поверхностная резка (Рис. 60) позволяет снять с основного металла слой нужной толщины.



*Рис. 60. Поверхностная резка: 1-мунштук; 2-шлак; 3-канавка*

Для этого мунштук резака направляют к поверхности под углом 15 - 40°. Металл, расположенный вперед кислородной струи, нагревается перемещающимся нагретым шлаком и выдувается из зоны реза. Струю режущего кислорода подают с меньшей скоростью чем при разделительной резке, что обеспечивает сгорание лишь поверхностных слоев металл Подобной резкой можно снимать полностью слой или вырезать канавки, нужные для технологических целей (Рис. 61, 62).

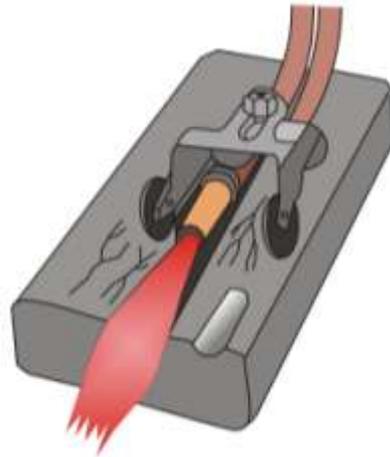


Рис. 61. Удаление поверхностных дефектов

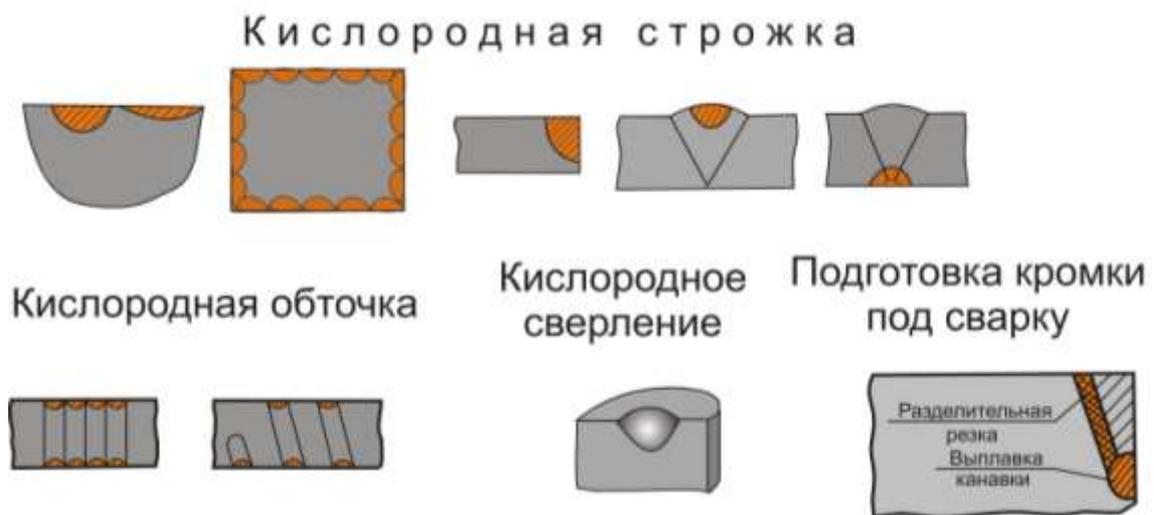
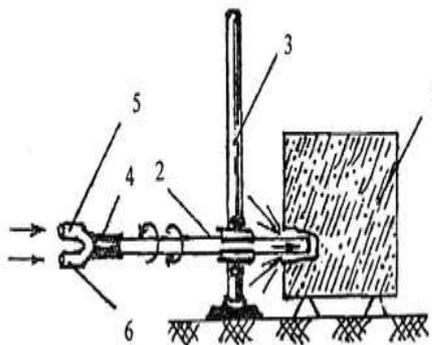


Рис. 62. Примеры применения поверхностной кислородной резки

Резку кислородным копьем (рис. 63) можно выполнять по металлу, бетону или железобетону. Для этого к рукоятке с вентилем для кислорода подсоединяют тонкостенную стальную трубку наружным диаметром 20 - 35 мм и подают к месту реза. До начала реза трубку нагревают газовой горелкой или электрической дугой до температуры, при которой происходит воспламенение кислорода.



*Рис. 63. Прожигание бетона кислородным копьём: 1-бетон; 2-копье; 3-защитный экран; 4-ручка подачи и вращения копья; 5-подача кислорода; 6-подача воздуха с флюсом*

Затем по трубке к месту реза направляют кислород, который, воспламеняясь, образует копьё. Кислородное копьё с большим усилием прижимают к нужному месту, прожигая отверстие. В процессе прожигания копьём придают возвратно-поступательное и вращательное движение. Образовавшиеся при этом шлаки выдуваются через зазоры, образованные между стенками отверстия и копьём

#### **4. Методика выполнения лабораторной работы**

В ходе проведения лабораторных работ студентам необходимо выполнить следующее.

1. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.

2. Изучить характеристику объекта исследования, способы его исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.

3. Пройти инструктаж по технике безопасности проведения лабораторной работы.

4. Получить допуск к выполнению лабораторной работы.

5. Составить список оборудования и приборов с краткими техническими характеристиками;

6. Подобрать согласно рекомендациям режимы кислородной резки для керосино-кислородного, пропан-кислородного резаков.

7. Произвести настройку керосинореза РК-71 и произвести рез металла. Замерить время нагрева металла до начала реакции горения его в чистом кислороде. Скорость резки 550 мм/мин. Повторить резку, увеличив расход режущего кислорода с той же скоростью.

8. Произвести разделительную резку металла пропан-бутан-кислородным резаком. Регулировку подогревающего пламени производить аналогично сварочной горелке. Скорость резки 450 мм/мин. Повторить резку, увеличив расход режущего кислорода с той же скоростью.

9. После окончания резки дать остыть деталям, произвести замер отставания режущей струи кислорода для трех типов резаков, произвести замер твердости деталей. Время нагрева, величину отставания и твердость после резки занести в таблицу 23.

Таблица 23

Результаты замеров

Вид разделительной резки	Время нагрева до реакции металла с кислородом, сек	Величина отставания режущей струи, мм	Твердость деталей HRC
Пропан-бутановый резак			
Бензорез			
Керосинорез			

**5. Контрольные вопросы**

1. В чем заключается сущность процесса кислородной резки.
2. Основные условия кислородной резки.
4. Какие условия пожаро – и взрывобезопасности необходимо выполнять при эксплуатации газопроводов?
- 5 В каком агрегатном состоянии находиться в баллонах кислород и ацетилен?

## ***Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления***

Отчет является документом, свидетельствующим о выполнении студентом лабораторной работы, и должен включать:

- титульный лист согласно «Приложению А» к настоящему методическому указанию;

- цель выполненной лабораторной работы;

- основную часть (краткая постановка задач лабораторной работы; краткая характеристика объекта исследования; методика выполнения лабораторной работы; результаты измерений, представленные в форме таблиц и графиков);

- обсуждение результатов выполнения лабораторной работы в виде кратких, но принципиально необходимых доказательств, обоснований, разъяснений, анализов, оценок, обобщений и выводов;

- общий вывод.

***Внимание! Оформление отчета по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями СТО ТПУ 2.5.01-2006.***

Приложение А

Форма титульного листа отчета по лабораторной работе

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра сварочного производства

\_\_\_\_\_

(наименование учебной дисциплины)

Лабораторная работа № \_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(Название работы - прописными буквами)

Исполнитель

Студент гр. № \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ И.О. Фамилия

(подпись, дата)

Руководитель

(должность, ученая степень, звание) \_\_\_\_\_ И.О. Фамилия

(подпись, дата)

Юрга 20\_\_

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по устройству и эксплуатации автоматов АДФ-1202.
2. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: Учеб. для проф. учеб. заведений. – 4-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк.; Изд. центр Академия, 2001. – 319 с.: ил.
3. Федько В.Т. Технология, теоретические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе: учебник. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2004. – 398 с.
4. Лабораторные работы по сварке // под редакцией Г.А. Николаева, 1963г.
5. Юхин Н. А. Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG): под общей редакцией докт. техн. наук Стеклова О. И., изд-во. «Соуэло» 2002. – 73 с.
6. Чернышов Г.Г. Технология электрической сварки плавлением: учебник для студ. Учреждений сред. проф. образования / Г.Г. Чернышов. – М.: Издательский центр Академия», 2006. – 448с.
7. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков и др. / Под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
8. Антонов В.А. Газопламенная обработка металлов. – М., Машиностроение, 1976. – 264с.
9. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н.П. Алешина. Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т.1 – 624с.: ил.
10. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела: Учеб. для техникумов. – М.: Высш. шк., 1991.-240 с.
12. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах. – М.: Машиностроение. 1974. – 238 с.
13. Сварка в машиностроении. Справочник. В 4-х т. – М.: Машиностроение. 1978. т. 1. – 501 с, т. 2. – 462 с.
14. Справочник по сварке. Том 2 / Под редакцией Е.В. Соколова. – Машгиз, 1962.
15. Технология конструкционных материалов /Под ред. А.М. Дальского – М: Машиностроение, 1985г.
16. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под редакцией Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

17. Китаев А.М., Китаев Я.А. Справочная книга сварщика. – М: Машиностроение, 1985. – 256 с.
18. Юхин Н. А Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах (NIG/WIG). СОУЭЛО, 2001. – 49 с.
19. Пособие сварщика иллюстрированное
20. Солодский С.А., Васильев В.И., Д.П. Ильященко Лабораторный практикум по газопламенной обработке металлов и термической резки. // Учебное пособие. – Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2010. – 97 с.
21. Технология и оборудование газовой сварки и резки металлов: учебное пособие / В.Т. Федько, В.И. Васильев, Е.А. Зернин, С.А. Солодский, С.Б. Сапожков; Юргинский технологический институт. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 252 с.

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Владимир Иванович  
КОЛМОГОРОВ Дмитрий Евгеньевич  
КУЗНЕЦОВ Максим Александрович  
ПАВЛОВ Николай Викторович

**ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И  
ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Научный редактор  
*Т.В. Казанцева*  
Компьютерная вёрстка *М.А. Кузнецов*  
Дизайн обложки *М.А. Кузнецов*

**Зарегистрировано в Издательстве ЮТИ ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ЮТИ ТПУ  
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**