

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 08.10.2023 16:33:43  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
2015 г.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ  
ПЛАВЛЕНИЕМ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Технология и оборудование сварки плавлением»  
для студентов специальности 15.01.61

Курск 2015

УДК 621.791  
Ж 616

Составители: Ю.А. Артеменко, Е.В. Иванова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Н.М. Гайдаш

**Технология и оборудование сварки плавлением:** методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Ю.А. Артеменко, Е.В. Иванова. – Курск, 2015. – 75 с.: ил.27, табл. 10. Библиогр.: 75 с.

Содержатся методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Технология и оборудование сварки плавлением». Указывается порядок выполнения работ, краткие теоретические сведения и правила составления отчета.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО 2009 направления 150700 Машиностроение.

Предназначены для студентов специальности 150202 дневной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано в печать *26.10.15* Формат 60×84 1/16  
Усл. печ. л. *23* Уч. –изд. л. *39* . Тираж *50* экз. Заказ *839* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск ул. 50 лет Октября, 94

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические рекомендации .....	4
1. Ручная дуговая сварка металлическими электродами с покрытием (РДС).....	5
2. Дуговая сварка под слоем флюса.....	16
3. Дуговая сварка в среде защитных газов.....	21
4. Дуговая сварка порошковыми проволоками.....	26
5. Дуговая сварка и резка плазменной дугой.....	30
6. Электрошлаковая сварка.....	34
7. Исследование свойств ЗТВ при сварке конструкционных сталей...39	
8. Технология и техника сварки чугуна.....	45
9. Исследование диффузионных прослоек при сварке разнородных сталей .....	54
10. Сварка алюминия неплавящимся электродом.....	58
11. Исследование процессов сварки титана.....	69
Библиографический список.....	76

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности, получить у лаборанта техническую документацию, сварочные материалы и инструмент, распределить обязанности между отдельными членами звена во время эксперимента.

Перед началом опытов каждый студент должен ознакомиться со схемой сварочного поста, схемой и устройством опытной установки, с характеристиками измерительных приборов.

До начала экспериментов необходимо подготовить таблицы для записи показаний приборов, измерений и результатов расчетов.

После окончания выполнения работы рабочее место, оборудование, аппаратура приводится в порядок и сдаётся лаборанту.

Полученные экспериментальные данные следует проанализировать, обработать, построить необходимые графики, диаграммы и представить их для проверки преподавателю. Опыты, давшие сомнительные результаты, могут быть по указанию преподавателя повторены.

Для более полного ответа на контрольные вопросы во время лабораторных работ необходимо пользоваться конспектом лекций.

Отчет по лабораторной работе составляется самостоятельно каждым студентом.

Оформляется в обычных ученических тетрадях или на листах формата А 4 с титульным листом на каждую лабораторную работу.

## Лабораторная работа № 1

### 1. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ЭЛЕКТРОДАМИ С ПОКРЫТИЕМ

#### 1.1. Цель работы

Изучить сущность и технику различных способов ручной дуговой сварки (РДС) покрытыми металлическими электродами. Определить технологические показатели РДС.

#### 1.2. Теоретические сведения

##### 1.2.1. Сущность способа

К электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источников сварочного тока подводится постоянный или переменный сварочный ток ( рисунок 1).

Дуга расплавляет стержень электрода, его покрытие и основной металл. Расплавляющийся металлический стержень электрода, в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну.

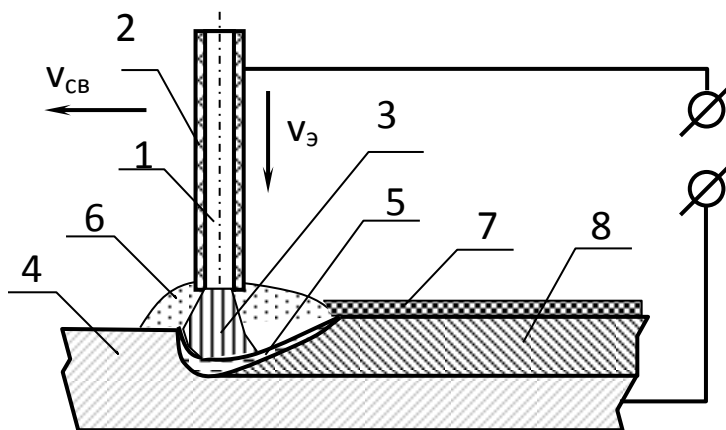


Рисунок 1.1.— Схема ручной дуговой сварки

1 – металлический стержень; 2 – покрытие электродов; 3 – газовая атмосфера дуги; 4 – основной металл (свариваемый); 5 - сварочная ванна; 6 - газошлаковая защита дуги; 7 – затвердевший шлак; 8 - закристаллизовавшийся металл шва.

В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

В виду того, что от токоподвода в электрододержателе сварочный ток протекает по металлическому стержню электрода, стержень разогревается. Этот разогрев тем больше, чем дольше протекание по стержню сварочного тока и чем больше величина последнего. К концу расплавления электрода температура его повышается до 500-600°C это приводит к тому, что скорость расплавления электрода в начале и конце различна. Изменяется и глубина проплавления.

Перед началом зажигания дуги следует установить необходимую силу сварочного тока, которая зависит от марки электрода, пространственного положения сварки, типа сварного соединения и т.д. Зажигают дугу двумя способами – касанием с последующим быстрым отводом вверх на длину дуги и «чирканием» по поверхности металла.

Во время сварки оператор перемещает электрод в нескольких направлениях – подача электрода в дугу; перемещение электрода в направлении сварки; поперечные, относительно оси сварного шва, перемещения для получения сварных швов заданных размеров.

При окончании сварки – обрыве дуги необходимо правильно заваривать кратер – медленно удлинять дугу до обрыва, прекратив все другие перемещения.

Влияет на качество сварки и форму шва положение электрода относительно поверхности изделия (сварка углом вперед и сварка углом назад). При сварке углом назад глубина проплавления больше, ширина шва – меньше.

Сварку угловых швов можно выполнять двумя способами. Сварка вертикальным электродом в лодочку обеспечивает наиболее благоприятные условия для провара корня шва и формированию шва, но требует точной сборки (с минимальными зазорами). Второй способ – сварка наклонным электродом.

Сварку горизонтальных швов в потолочном положении ведут на малых токах, ограничивают размеры сварочной ванны путем периодического отвода конца электрода при сварке при сварке в сторону от сварочной ванны.

В зависимости от протяженности шва, толщины и марки металла, жесткости конструкции и т.д. применяют различные приемы последовательности сварки швов и заполнения разделки. Сварку на проход обычно применяют при сварке коротких швов (до 500 мм). Швы длиной до 1000 мм лучше сварить от середины к концам или обратноступенчатым методом. При последнем способе весь шов разбивают на участки по 150-200 мм, которые должны быть кратны длине участка, наплавляемого одним электродом.

### 1.2.2. Техника РДС

В процессе сварки необходимо поддерживать определённую длину дуги, которая зависит от марки и диаметра электрода  $d = (0,5...1,1)d_э$ . Длина дуги существенно влияет на форму и качество шва. Слишком длинная дуга способствует более глубокому проплавлению основного металла и увеличению давления дуги.

При сварке электроду подаётся поступательное движение, вдоль оси электрода, перемещение электрода вдоль оси шва и колебательное движение.

Важное значение имеет положение электрода относительно поверхности изделия. При сварке углом назад или на подъём более интенсивно оттесняется из-под дуги ванна жидкого металла с уменьшением толщины жидкой прослойки. Это ведёт к росту глубины проплавления, однако ухудшаются условия формирования шва при повышении скорости сварки. При сварке углом вперед или на спуск расплавленный металл сварочной ванны, подтекая под дугу, ухудшает теплопередачу от нее к основному металлу - глубина проплавления уменьшается, а ширина шва возрастает

Для повышения работоспособности сварных конструкций, уменьшения внутренних напряжений и деформаций большое значение имеет порядок заполнения швов, как по поперечному сечению заделки, так и по длине шва. По протяженности швы условно можно разделить на три группы: короткие – до 300 мм, средние – 300 – 1000 мм и длинные – свыше 1000 мм.

Для коротких швов – от середины к краям, для длинных – обратно- поступательный.

Для ответственных длинных швов – блоки, каскад, горка, при этом достигается сварка по горячему металлу (автоподогрев).

Наилучшее формирование сварочного шва достигается в нижнем положении. При сварке в других положениях требуется повышенная квалификация сварщика в связи с возможным вытеканием расплавленного металла под действием силы тяжести. Для предотвращения этого сварку следует вести, возможно, короткой дугой с поперечными колебаниями.

Расплавленный металл в ванне удерживается в основном силами поверхностного натяжения, поэтому необходимо её размер, для чего электрод отводят периодически в сторону, давая ванне закристаллизоваться. Применяется пониженная сила тока на 10-20 % и уменьшается диаметр электрода. При сварке вертикальных швов наиболее рациональна сварка на подъём, т.к. нижележащий закристаллизовавшийся металл сдерживает стекание металла ванны.

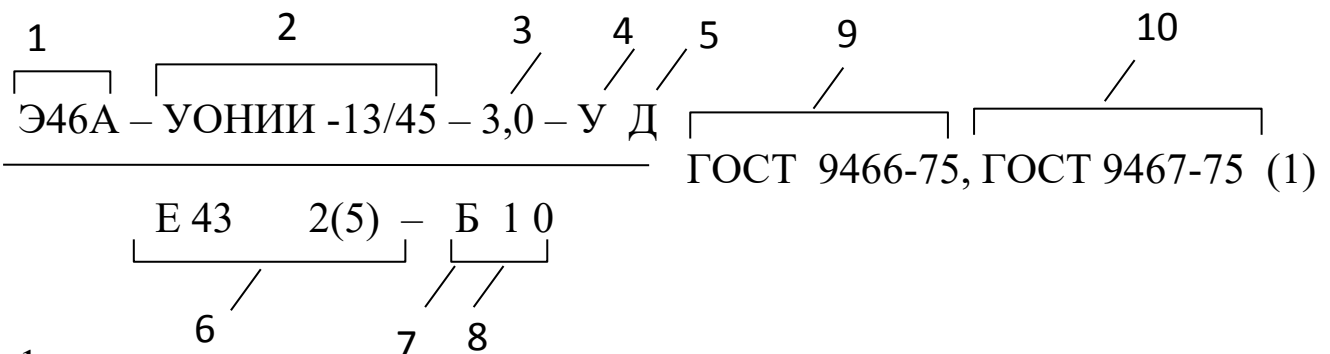
Сварка стыковых горизонтальных швов более затруднена. При сварке повышенных толщин целесообразно делать скос только верхней кромки. Электрод отклоняется вниз по горизонтали на 5- 10°.

Наиболее сложно выполнено потолочных швов. Их ведут с короткими замыканиями, давая закристаллизоваться части ванны, при этом продолжается поступление электродного металла.

### 1.2.3. Классификация покрытых электродов для РДС

Согласно ГОСТ 9466-75, условное обозначение электродов для дуговой сварки и наплавки сталей представляет собой длинную дробь

Например:



1 – тип электрода;

2 – марка электрода;

3 – диаметр электрода, мм;



4 – обозначение назначения электродов:

- У - для сварки углеродистых низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа;

- Л – для сварки легированных высокопрочных конструкционных сталей с  $\sigma_B > 600$  МПа;

- Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей девять типов;

- В – для сварки высоколегированных сталей;

- Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

5 – обозначение толщины покрытия и группы качества:

М – тонкое покрытие (отношение диаметра электрода с покрытием к диаметру электродного стержня  $D/d < 1,2$ ),

С – средняя толщина,  $1,2 < D/d < 1,45$ ,

Д – толстое покрытие,  $1,45 < D/d < 1,8$ ,

Г – особо толстое покрытие,  $D/d > 1,8$ .

6 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва;

7 – обозначение вида покрытия:

А – кислое покрытие, основу которого составляют оксиды марганца и кремния.

Б – основное покрытие, базируется на карбонате кальция и плавиковом шпате.

Ц – целлюлозное покрытие основывается на 30-40% целлюлозы, вводимой в рутило-силикатное покрытие.

Р – рутиловое покрытие. Содержит в своем составе значительное количество двуокиси титана в виде рутила.

П – покрытия прочих видов. При наличии в составе покрытия железного порошка более 20% (вводимого для повышения производительности путем увеличения количества расплавляемого металла) к обозначению вида покрытия добавляется буква Ж.

8 – обозначение допустимых пространственных положений сварки и наплавки:

для всех положений - 1;

для всех положений, кроме вертикального сверху вниз - 2;

для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх - 3;

для нижнего и нижнего в лодочку - 4;

0 - обозначение рода применяемого при сварке или наплавке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока, частотой 50 Гц.

9 – обозначение настоящего стандарта; 10 – обозначение стандарта на типы электродов.

Ниже приведены обозначения требований к электропитанию дуги (Таблица 1)

Таблица 1

### Требования к электропитанию дуги

Постоянный ток, полярность:	индекс			
	любая	-	1	4
прямая	-	2	5	8
обратная	0	3	6	9
Переменный ток, напряжение холостого хода, В	неприемлем	50	70	90

Примеры условных обозначений:

Э – 09Х1МФ – ЦЛ -20 – 4,0 – ТД

ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75

Е – 27 – Б 1 0

Э – 11ГЗ – ОЗН -300У– 4,0 – НД

ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10051-62

Е –300/33 – 1 – Б 4 0

#### 1.2.4. Технологические характеристики электродов

Основными показателями являются производительность плавления и стабильность горения дуги.

Для оценки стабильности горения дуги К.К. Хреновым была предложена специальная методика в которой в качестве критерия стабильности была предложена разрывная длина дуги  $\ell_p$  (расстояние

между торцом электрода после естественного обрыва дуги и изделием). Схема определения  $\ell_p$  представлена на рисунке 1.1.

Электрод устанавливается вертикально в штатив над стальной пластиной. Расстояние нижнего конца электрода до пластины составляет 1,5 мм (рисунок 1.1а). Далее с помощью осциллятора возбуждается дуга, которой дают гореть до естественного обрыва. Разрывная длина дуги равна расстоянию между торцом электрода и наплавленным металлом (рисунок 1.1б).

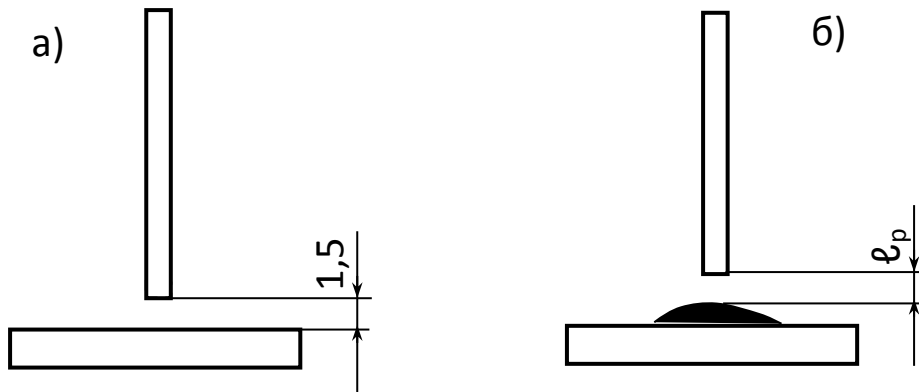


Рисунок 1.2.— Схема замера разрывной длины дуги

Схема установки для испытаний приведена на рисунке 1.2.

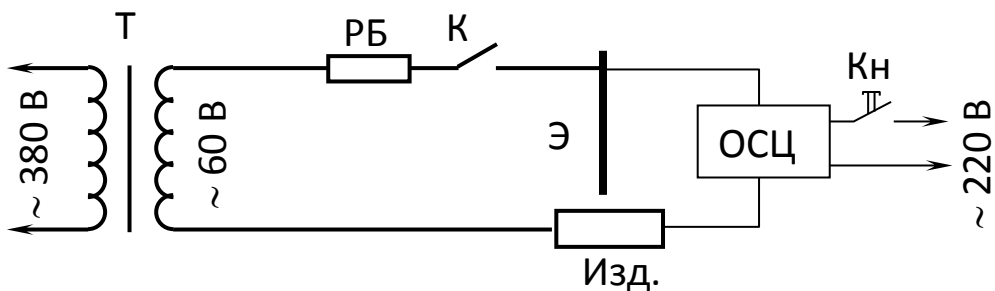


Рисунок 1.3. Электрическая схема установки

Т – сварочный трансформатор; К – силовой контакт, РБ – балластный реостат; Э – электрод; Кн – пусковая кнопка; ОСЦ – осциллятор; Изд – изделие

Производительность РДС оценивается коэффициентами  
 расплавления  $\alpha_p$  и наплавки  $\alpha_n$   
 коэффициент расплавления равен

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I \cdot t}, \text{г} / \text{А} \cdot \text{ч}$$

где:  $G_p$  - масса расплавленного металла электрода, г;  
 $t$  - время горения дуги, ч;  
 $I$  - сила сварочного тока, А.

Коэффициент наплавки:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I \cdot t}, \text{г} / \text{А} \cdot \text{ч}$$

где  $G_n$  – масса наплавленного металла за время горения дуги.

Важнейшей характеристикой является коэффициент потерь на разбрызгивание и угар:

$$\Psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100\%$$

Коэффициенты расплавления и наплавки зависят от состава проволоки и покрытия электрода, веса покрытия, а также рода и полярности тока. Для наиболее распространенных электродов, не содержащих в покрытии дополнительный металл  $\alpha_n = 7 \div 13 \text{ г} / \text{А} \cdot \text{ч}$ .

### 1.3. Оборудование и материалы

Оборудование и инструмент:

- выпрямитель сварочный ВД-306;
- трансформатор сварочный СТШ-500;
- реостат балластный РБ-300;
- осциллятор;
- секундомер;
- линейка;
- весы.

Материалы:

Электроды для РДС (6 марок)  $d_{\text{э}} = 3 \div 5$  мм;  
заготовки из стали Ст.3 толщиной  $4 \div 5$  мм.

## 1.4. Порядок проведения работы

### 1.4.1. Сварка опытных образцов

1. Знакомство с устройством сварочных постов, правилами подготовки к работе и включением сварочных постов.

2. Проведение сварочных работ.

2.1. Выполнить каждому студенту сварные швы в нижнем положении, вертикальные и горизонтальные швы

2.2. Выполнить швы стыковых, тавровых и угловых соединений. При сварке тавровых соединений применить способ сварки «в лодочку» и наклонным электродом. Дать сравнительную оценку качества сварки швов.

2.4. Определить коэффициенты расплавления и наплавки в зависимости от рода и полярности сварочного тока.

### 1.4.2. Определить коэффициенты расплавления $\alpha_p$ и наплавки $\alpha_n$ .

1. Взвесить заготовку до наплавки;

2. Измерить длину стержня до наплавки;

3. Провести наплавку в течение  $10 \div 15$  с. с измерением тока и продолжительности процесса наплавки;

4. Очистить образец от шлака;

5. Взвесить пластину и определить массу наплавленного металла;

6. Измерить длину оставшегося электрода и определить массу расплавленного металла.

7. По формулам определить  $\alpha_p$  и наплавки  $\alpha_n$ , результаты занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

**Результаты обработки экспериментальных данных**

Марка электрода	$I_n$ , А	$t_n$ , А	Длина электрода, см		Масса пластины, г		$G_n$ , Г	$G_p$ , Г	$\alpha_p$ , Г/А·ч	$\alpha_n$ , Г/А·ч	$\Psi$ , %
			до наплавки	после наплавки	до наплавки	после наплавки					

**1.4.3. Измерение разрывной длины дуги**

1. Установить в штативе электрод;
2. С помощью осциллятора возбудить дугу и дать ей гореть до естественного отрыва. Измерить разрывную длину дуги. Опыт повторить 3 раза. Полученные данные записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

**Результаты экспериментов по определению**

Марка электрода	№ опыта	Разрывная длина дуги $l_p$ , мм	Среднее значение $l_p$ , мм	примечание

**разрывной длины дуги**

	1 2 3			
	1 2 3			
	1 2 3			

### **1.5. Содержание отчета**

1. Сущность РДС.
2. Сравнительная оценка качества сварных швов по п.2.2.
3. Значения коэффициентов  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ , по пункту 2.4.
4. Заполненная таблица 1.1
5. Заполненная таблица 1.2.
6. Выводы.

### **1.6. Контрольные вопросы.**

1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Сущность процесса.
2. Преимущества и недостатки РДС.
3. Техника и режимы РДС.
4. Материалы и оборудование для РДС.
5. Пути повышения производительности РДС.
6. Классификация и маркировка электродов для РДС.

## Лабораторная работа № 2

### 2. ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

#### 2.1. Цель работы

Ознакомиться с сущностью дуговой сварки под флюсом и оценкой влияния параметров режима сварки на геометрические размеры швов.

#### 2.2. Теоретические сведения

Область применения сварки под флюсом: металлоконструкции с большой протяженностью прямолинейных или круговых сварных швов; конструкции из металла большой толщины; ответственные конструкции, предназначенные для работы в условиях глубокого холода, высоких температур и давлений, действия агрессивных жидкостей и газов; массовое и крупносерийное производство однотипных изделий.

##### 2.2.1. Сущность способа

Схема способа дуговой сварки под флюсом приведена на рисунке 2.1. При автоматической сварке под слоем флюса дуга б горит между изделием и непрерывно подаваемой роликами подающего механизма 2 в зону сварки со скоростью  $v_s$  электродной проволокой 1. Ток подвод к проволоке осуществляется через токосъемный наконечник 7. Теплом дуги электродная проволока плавится и ее капли совместно с оплавленным основным металлом 4 образует сварочную ванну 5. Совместно с проволокой плавится предварительно насыпанный флюс 9, образуя вокруг зоны горения дуги слой расплавленного шлака 3, который ограничивает полость газового пузыря 11 с избыточным внутренним давлением. Наличие газового пузыря обеспечивает надежную защиту зону сварки. Жидкий шлак помимо защитной функции обеспечивает легирование и рафинирование металла сварочной ванны. Дуга перемещается вдоль свариваемых кромок посредством механизма перемещения сварочного автомата со скоростью сварки  $v_{св}$ . По мере ее продвижения кристаллизуется сварочная ванна с образованием сварного шва 10 и жидкий шлак с образованием шлаковой корки.



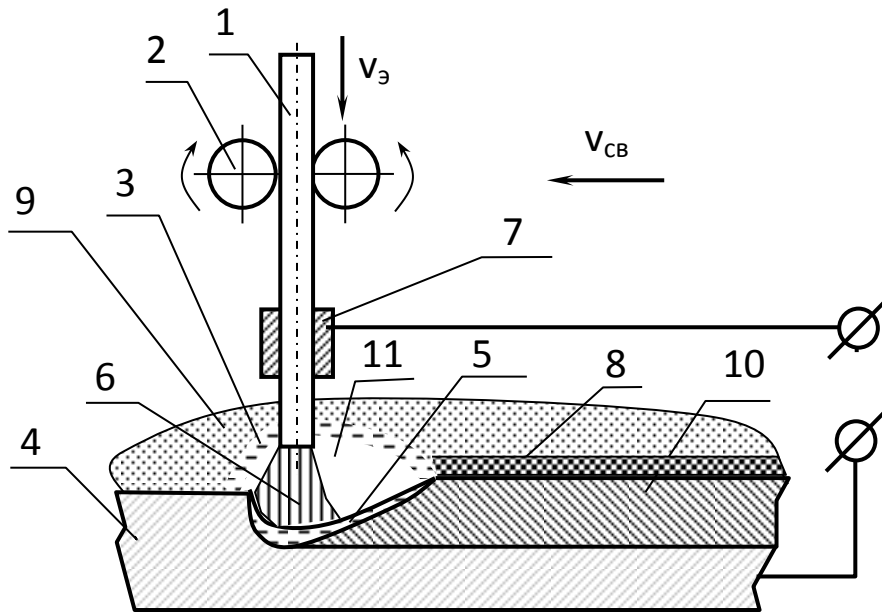


Рисунок 2.1.— Схема дуговой сварки под флюсом

1 – электродная проволока; 2 – ролики подающего механизма; 3 – слой расплавленного шлака; 4 – основной металл (свариваемый); 5 – сварочная ванна; 6 – дуга; 7 – токосъемный наконечник; 8 – шлаковая корка; 9 – флюс; 10 – закристаллизовавшийся металл шва; 11 – полость газового пузыря.

### 2.2.2. Характеристики процесса

- расплавленный основной и электродной металлы полностью защищены от действия кислорода и азота воздуха;
- расстояние от места подвода тока к электроду до сварочной ванны постоянно, следовательно, величина сварочного тока неизменна. Это расстояние составляет  $40 \div 70$  мм;
- сварочный ток и плотность тока имеют большую величину, чем при ручной сварке (в 3-5 раз), а коэффициент наплавки – в 2-2,5 раза и более;
- значительное уменьшение доли наплавленного металла в сварном шве благодаря большой глубине проплавления, чем при ручной сварке;

- малая скорость охлаждения металла, хорошие условия кристаллизации и большая плотность шва;
  - высокий коэффициент полезного действия дуги.
- Сварку под флюсом можно осуществлять переменным и постоянным током.

### **2.2.3 Влияние параметров режима сварки на геометрию шва.**

При сварке под флюсом параметры режима сварки существенно влияют на размеры и форму шва.

Значения сварочного тока и диаметр электродной проволоки оказывают исключительной большое влияние на глубину проплавления основного металла.

При малых диаметрах электродной проволоки глубина проплавления основного металла при одинаковых токах значительно выше, чем при больших диаметрах. Следовательно, не изменяя величины сварочного тока, а уменьшая диаметр электродной проволоки, можно значительно увеличить глубину проплавления основного металла.

При прочих равных условиях с увеличением диаметра электродной проволоки ширина проплавления основного металла возрастает. Наиболее заметно ширина проплавления изменяется при повышенных токах.

Соотношение между глубиной и шириной проплавления изменяется в больших пределах.

При сварке под флюсом электроды малого диаметра на токе повышенной плотности следует применять для получения узкого шва с глубоким проплавлением, а электроды большого диаметра при сварке на токе пониженной плотности – для получения широкого шва с небольшим проплавлением основного металла.

Значение оптимального напряжения дуги зависит от ряда факторов: значения тока, диаметра электродной проволоки, рода и полярности тока, состава флюса. С изменением напряжения дуги изменяются параметры шва.

Скорость сварки оказывает меньшее влияние на параметры шва, чем  $I_{св}$ . С увеличением скорости сварки при неизменном токе и напряжении дуги время воздействия дуги на основной металл и

количество выделяющегося тепла на единицу длины шва уменьшается, вследствие чего уменьшается глубина проплавления.

### 2.3. Оборудование и материалы

1. Установка для автоматической сварки под флюсом.
2. Сварочная проволока Св08Г2С диаметром 2мм, 3 мм.
3. Сварочный флюс АН-348 (ОСЦ - 45), АН-26С, АН-26ПН.
4. Стальные пластины стали Ст. 3 и Стали 40 толщиной 10 мм и 160×80×4 мм, секундомер, весы, линейка.

### 2.4. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с постом для автоматической сварки под флюсом, правилами включения поста в работу.
2. Сварить швы на различных режимах согласно таблице 2.1.
3. Изготовить поперечные макрошлифы швов и измерить ширину шва, высоту шва и глубину проплавления. Результаты замеров занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№ ПП	Параметры режима					Геометрические параметры			фото (рисунок)
	$d_{э}$ , мм	$V_{э}$ , м/ч	$V_{св}$ , см/с	$J_{св}$ , А	$U_{св}$ , В	В, мм	Н, мм	С, м	

## Результаты экспериментов по автоматической сварки под флюсом

1									
2									
3									
4									

## **2.5. Содержание отчета**

1. Сущность способа сварки под флюсом, преимущества и недостатки.
2. Краткое описание поста для сварки под флюсом.
3. Порядок работы.
4. Заполненная таблица 2.1.
5. Фотографии поперечных макрошлифов.
6. Выводы.

## **1.6. Контрольные вопросы.**

1. Автоматическая сварка под флюсом. Сущность процесса.
2. Преимущества и недостатки автоматической сварки под флюсом.
3. Техника и режимы автоматической сварки под флюсом.
4. Материалы и оборудование для автоматической сварки под флюсом.
6. Классификация и маркировка флюсов.

### Лабораторная работа №3

## 3. ДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

### 3.1. Цель работы

Ознакомить студентов с сущностью и техникой сварки в среде защитных газов.

### 3.2. Теоретические сведения

#### 3.2.1. Сущность способа

Дуговая сварка в защитных газах может выполняться в среде инертных и активных газов.

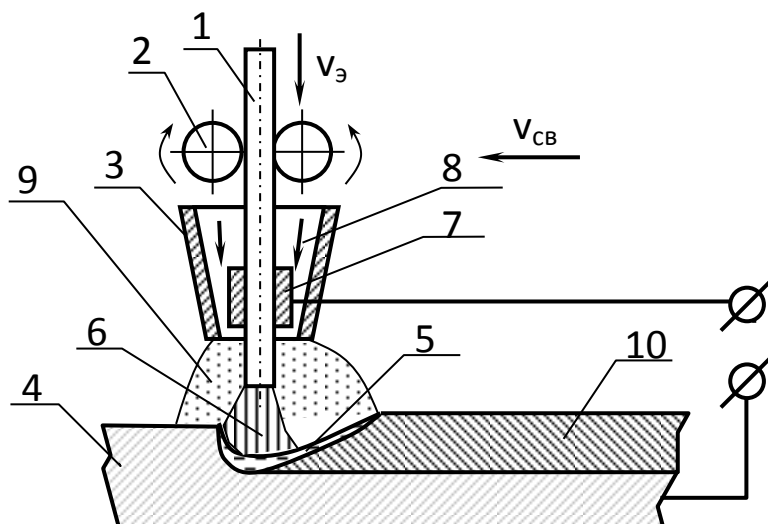


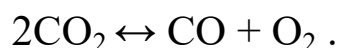
Рисунок 3.1.— Схема дуговой сварки в среде защитных газов  
 1 – электродная проволока; 2 – ролики подающего механизма; 3 – сопло горелки; 4 – основной металл (свариваемый); 5 – сварочная ванна; 6 – дуга; 7 – токосъемный наконечник; 8 – защитный газ; 9 – защитная зона; 10 – закристаллизовавшийся металл шва

В отличие от РДС, при полуавтоматической сварке дуга 6 горит между изделием и непрерывно подаваемой роликами подающего механизма 2 в зону сварки со скоростью  $v_s$  электродной проволокой 1. Токосъемник 7 в сварочной горелке. Зона защиты 9 от воздуха сварочной ванны 5 и дуги создается потоком 8 защитного газа ( $\text{CO}_2$ ) через сопло 3. Теплом дуги электродная проволока плавится и ее капли совместно с оплавленным основным металлом 4 образует сварочную ванну. Дуга вручную перемещается вдоль свариваемых кромок со скоростью сварки  $v_{св}$ . По мере ее продвижения сварочная ванна кристаллизуется с образованием сварного шва 10.

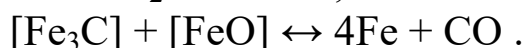
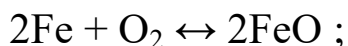
В качестве защитных газов используются инертные газы (аргон и гелий) и активные газы. Основным активным газом является углекислый газ при сварке сталей.

### 3.2.2. Сварка в среде $\text{CO}_2$ и инертных газах

Углекислый газ защищает металл шва от вредного воздействия азота воздуха. В области высоких температур он диссоциирует по реакции



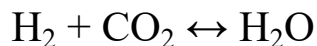
В районе столба дуги углекислый газ диссоциирует полностью. По отношению к металлу и цементиту она окислительная .



Однако наличие  $\text{CO}$  тормозит эти процессы.

Окислительная атмосфера требует дополнительного введения раскислителей в состав электродной проволоки (проволока Св 08Г2С).

Наличие кислорода в высокотемпературной области тормозит диссоциацию паров воды. Вдали от дуги происходит обогащение атмосферы углекислым газом и водород, образовавшийся при диссоциации паров, будет связываться



При сварке в среде  $\text{CO}_2$  поглощается меньше водорода по сравнению с другими.

Для улучшения характера переноса электродного металла в сварочную ванну и уменьшения разбрызгивания широко используются смеси активных и инертных газов. Наибольшее распространение получила смесь аргоном + 20%  $\text{CO}_2$ .

Смеси инертных газов с активными рекомендуется применять для повышения устойчивости дуги, увеличения глубины проплавления и улучшения формы шва, металлургической обработки расплавленного металла, повышения производительности сварки.

Качество шва в большой степени определяется надежностью отеснения от зоны сварки воздуха. Необходимый расход защитного газа устанавливается в зависимости от состава и толщины свариваемого металла, конструкции сварного соединения, скорости сварки, состава защитного газа

### 3.2.3. Техника сварки плавящимся электродом

В работе рассматривается сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа и смеси аргон + 20%  $\text{CO}_2$ . Схема поста полуавтоматической сварки приведена на рис. 4.

Параметрами режима сварки в углекислом газе является род и полярность тока, диаметр электродной проволоки, величина сварочного тока, напряжение дуги, расход углекислого газа, вылет и наклон электродной проволоки по отношению к свариваемому изделию.

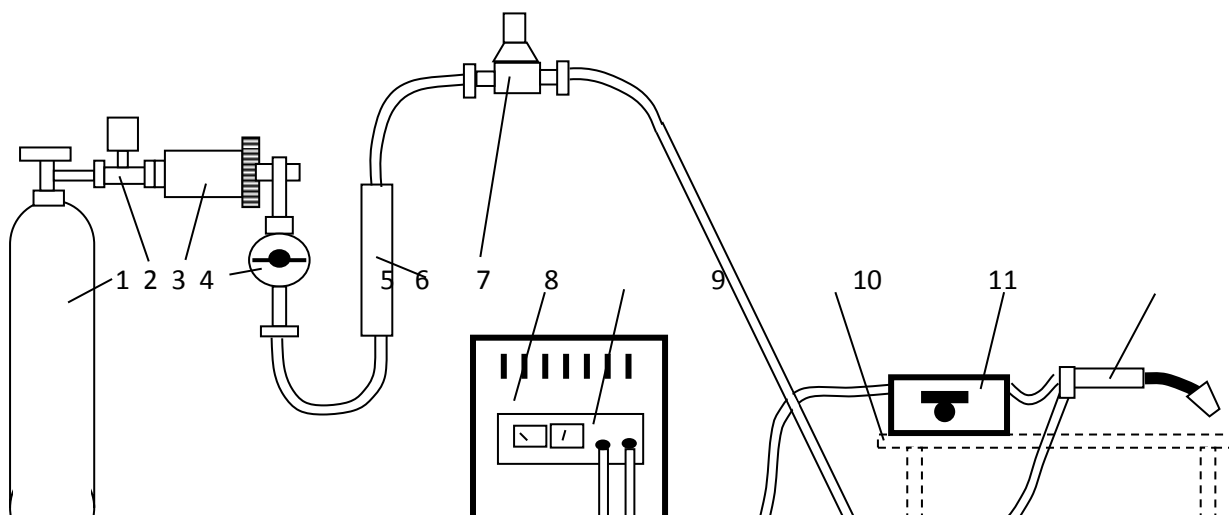


Рис. 4. Схема поста полуавтоматической сварки в  $\text{CO}_2$

1 – баллон с углекислым газом; 2 – подогреватель газа; 3 – осушитель газа; 4 – редуктор с манометром высокого давления; 5 – манометр на 0,6 МПа; 6 – переходной штуцер для установки манометра; 7 – сварочный выпрямитель; 8 – пульт управления; 9 – стол; 10 – подающий механизм; 11 – держатель.

При сварке применяют постоянный ток обратной полярности. Величину сварочного тока и диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от толщины металла и положения шва в пространстве.

Состав сварочной проволоки - низколегированная проволока типа Св08Г2С ГОСТ 2246-70.

Большое значение имеет вылет электрода, который при диаметре проволоки 0,5 - 1,6 составляет 6 – 12 мм, а при диаметре проволоки 2,5 - 3,0 мм - 16-32 мм.

Сварку тонкого материала производят сверху вниз. Сварку толстого материала (3 мм) снизу вверх.

### 3.3. Оборудование и материалы

1. Пост для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.
2. Сварочная проволока Св08Г2С диаметром 2мм, 3 мм.
3. Баллоны с газом  $\text{CO}_2$ . Аргон.
4. Стальные пластины стали Ст. 3 и Стали 40 толщиной 6 мм и 150×45×4 мм, секундомер, весы, линейка.

### 3.4. Порядок проведения работы



1. Ознакомиться с устройством сварочного поста для полуавтоматической сварки в среде защитных газов.

2. Сварить швы на различных режимах, параметры которых указаны в таблице 3.2.

№ шп	Параметры режима					Геометрические параметры			фото
	$d_{э}$ , мм	$V_{э}$ , м/ч	$V_{св}$ , см/с	$J_{св}$ , А	$U_{св}$ , В	В, мм	Н, мм	С, м	
1									
2									

3. Изготовить поперечные макрошлифы швов и измерить ширину шва, высоту шва и глубину проплавления. Результаты замеров занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

### Результаты экспериментов по полуавтоматической сварки в защитных газах

#### 3.5. Содержание отчета

1. Сущность полуавтоматической сварки в защитных газах.
2. Краткое описание поста для полуавтоматической сварки в защитных газах.
3. Порядок работы.
4. Заполненная таблица 3.1.
5. Фотографии поперечных макрошлифов.
6. Выводы.

#### 3.6. Контрольные вопросы.

1. Полуавтоматическая сварка в защитных газах. Сущность процесса.
2. Преимущества и недостатки полуавтоматической сварки в защитных газах.
3. Техника и режимы полуавтоматической сварки в защитных газах.
4. Материалы и оборудование для полуавтоматической сварки в защитных газах.
5. Классификация газов.

### **Лабораторная работа №4**

## **4. ДУГОВАЯ СВАРКА ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ**

### **4.1. Цель работы**

Ознакомить студентов с сущностью и техникой сварки порошковой проволокой.

### **4.2. Теоретические сведения**

#### **4.2.1. Сущность способа**

Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой или другой, более сложной конструкции с порошкообразным наполнителем-сердечником. Назначение различных составляющих сердечника подобно назначению электродных покрытий – защита расплавленного металла от вредного влияния воздуха, раскисление, легирование металла, связывание азота в стойкие нитриды, стабилизация дугового разряда и др. Составляющие сердечника должны кроме того удовлетворять общепринятым требованиям, предъявляемым ко всем сварочным материалам: обеспечить хорошее формирование швов, легкую отделимость шлаковой корки, провар основного металла,

минимальное разбрызгивание металла, отсутствие пор, трещин, шлаковых включений и других дефектов, определенные свойства швов и сварных соединений.

Порошковые проволоки используются для сварки без дополнительной защиты зоны сварки, а также для сварки в защитных газах, под флюсом, электрошлаковой. Проволоки, используемые для сварки без дополнительной защиты, называются самозащитными. Входящие в состав сердечника таких проволок материалы при нагреве и расплавлении в дуге создают необходимую шлаковую и газовую защиту расплавленного металла. В настоящее время наибольшее распространение получили порошковые проволоки для сварки в углекислом газе и самозащитные порошковые проволоки.

В зависимости от диаметра и состава порошковой проволоки сварка может осуществляться во всех пространственных положениях.

Схема процесса сварки самозащитной проволокой со свободным формированием шва приведена на рис. 5. Электрическая дуга возбуждается между оболочкой 1 и порошковой проволокой и основным металлом 10. За счет тепла, выделяемого в дуге, плавятся оболочка и сердечник 2 проволоки. Расплавившийся металл оболочки и сердечника образует на торце проволоки капли 3, которые растут и переносятся в сварочную ванну.

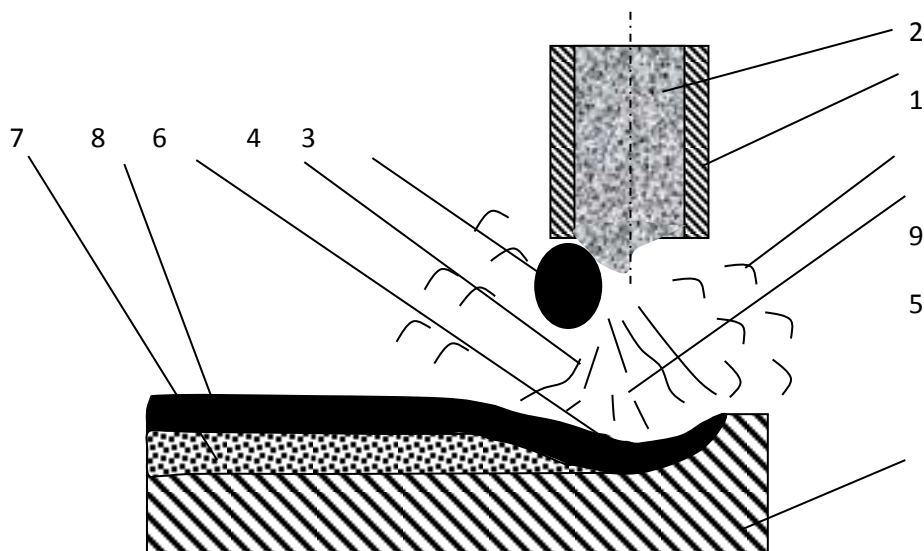


Рис. 5. Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой

При расплавлении минералов, руд и химикатов, входящих в состав сердечника, образуется шлак 6, покрывающий тонким слоем капли и сварочную ванну. Дуга 4 горит между каплей или оболочкой и сварочной ванной. При разложении карбонатов и органических материалов сердечника выделяются газы 9, которые защищают расплавленный металл от воздуха. Проволока по мере оплавления автоматически подается в зону сварки. При удалении дуги жидкий металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов 7, покрытый слоем затвердевшего шлака 8.

#### **4.2.2 Классификация сварочных порошковых проволок**

Порошковые проволоки могут быть классифицированы по назначению, способу защиты металла от влияния воздуха, типу сердечника, механическим свойствам металла шва.

Назначение проволоки определяется классом свариваемого металла. Порошковые проволоки применяются для сварки малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, легированных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов. Наиболее широкое распространение получили проволоки для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей.

По способу защиты порошковые проволоки делятся на два вида: самозащитные и для сварки с дополнительной защитой газом или флюсом.

В зависимости от состава сердечника проволоки, применяющиеся в нашей стране, можно разделить на пять типов – рутил-органические, рутиловые, карбонатно-флюоритные, флюоритные.

#### **4.2.3. Порошковые проволоки**

##### **1. Самозащитные порошковые проволоки (марки)**

рутил-органические типа:– ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПВС-1С, ПВС-1Л, ПВС-3;

карбонатно-флюоритного типа: ПП-АН-2, ЭПС-15, ПП-АН6, ПП-2ДСК, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН11.

2. Порошковые проволоки для сварки в углекислом газе: ПП-АН8, ПП-АН10, ПП-АН4, ПП-АН9.

#### **4.2.4. Оборудование для сварки порошковой проволокой**

1. Источник питания. Для сварки порошковыми проволоками используется постоянный ток. Источники питания должны иметь жесткую или пологопадающую характеристику. Допустимое падение напряжения 3В на 100 а. В качестве источника питания используются выпрямители ВС-500, ВСЖ-500, ВС-600, ВС-1000-2 и преобразователи ПСГ-500, ПСУ-900 и др.

2. Полуавтоматы и автоматы. Для сварки порошковой проволокой используются специализированные и универсальные шланговые полуавтоматы А-765, А-1035М и А-1197.

Наибольшее распространение для сварки самозащитными порошковыми проволоками получил специализированный шланговый полуавтомат типа А-765. Он имеет маркировку: А-765УЗ – для работы в странах с умеренным климатом и А765ТЗ – для работы в странах с тропическим климатом. Для надежной подачи проволоки по шлангу механизм подачи полуавтомата оснащен двумя парами падающих роликов. Все четыре ролика ведущие. (Подробное описание в инструкции).

Специальных автоматов для сварки порошковой проволокой серийно не выпускают. Можно использовать автоматы, предназначенные для сварки в среде защитных газов и под флюсом.

Техника сварки порошковой проволокой аналогична технике сварки в СО<sub>2</sub> проволоками сплошного сечения.

#### **4.3. Оборудование и материалы**

1. Пост для сварки порошковой проволокой.
2. Порошковая проволока ППАН1, ПП1ДСК, ППАН-11.
3. Пластины металлические из стали Ст. 3 толщиной 3 и 6 мм.

#### **4.4. Порядок проведения работы**

1. Ознакомиться с устройством и правилами эксплуатации поста для сварки самозащитной порошковой проволокой на базе полуавтомата А-765УЗ.

2. Провести сварку образцов.

3. Определить характеристики расплавления порошковой проволокой ( $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ). Сравнить с аналогичными характеристиками при сварке проволоками сплошного сечения в среде  $\text{CO}_2$ .

## **Лабораторная работа №5**

### **5. СВАРКА И РЕЗКА ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ**

#### **5.1. Цель работы**

Ознакомить студентов с техникой сварки и резки плазменной дугой.

#### **5.2. Теоретические сведения**

##### **5.2.1. Сущность способа**

##### **Общая характеристика плазменной дуги**

Плазма представляет собой вещество в сильно ионизированном состоянии. В  $1 \text{ см}^3$  плазмы содержится до  $10^{10}$  заряженных частиц (ионов, электронов). Ионизация плазмообразующего вещества происходит в результате потери одного или нескольких электронов из оболочки его атомов, вызванной приложением внешних сил. Такими внешними силами являются упругие столкновения частиц,

вызываемые либо действием высокой температуры, либо действием высокочастотного электрического поля. Практически в любом дуговом разряде образуется плазма. В результате короткого замыкания находящихся под напряжением двух электродов в точках контакта выделяется большое количество тепла, под действием которого катод начинает эмитировать электроны, а находящийся в межэлектродном пространстве газ ионизируется. Межэлектродное пространство оказывается заполненным ионами, электронами и парами электродных материалов. Поскольку электроды находятся под напряжением, то под действием электрического поля возникает направленное движение частиц, скорость которых достигает 300-1000 м/сек. В результате соударения движущихся с такой большой скоростью заряженных частиц с нейтральными атомами, а также столкновений нейтральных атомов между собой, степень ионизации газов в межэлектродном пространстве значительно повышается и, по существу, поток заряженных частиц между электродами представляет собой поток плазмы. Одной из характерных особенностей плазмы является её квазинейтральность, т.е. содержание в ней практически одинакового количества положительных и отрицательных зарядов. Плазма характеризуется повышенной электропроводностью, поддается действию магнитных полей. Существование плазмы поддерживается непрерывно протекающим процессом ионизации. Высокая степень ионизации обуславливает высокую температуру плазмы вещества. Интенсифицировать процесс плазмообразования можно путем обдува дуги соосным потоком газа. Если же часть столба дуги поместить в узкий канал с охлажденными стенками, то будет достигнута дальнейшая интенсификация плазмы. Это объясняется тем, что в узком канале столб дуги сжимается, особенно при обдуве ее соосным столбом дуги потоком газа. Так как с увеличением тока столб дуги из-за ограничивающего действия стенок канала расширяться не может, температура газа и степень его ионизации резко повышается. Практически почти весь газ, уходящий сквозь столб сжатой дуги, ионизируется и превращается в плазму. На этом принципе и основано устройство плазмотронов, применяемых при сварке (наплавке) и резке.

Различают два типа плазменной струи: струя, не совпадающая со столбом дуги (плазма косвенного действия), и струя, совпадающая со

столбом дуги (плазменная дуга, плазма прямого действия). В плазменной струе косвенного действия одно из активных пятен дуги находится на сопле плазмотрона, а плазма выдувается через отверстие сопла. Это позволяет использовать такой тип плазмы для сварки и резки неэлектропроводимых материалов. Температура плазменной струи косвенного действия достигает  $16000^{\circ}\text{C}$ , а плазменной дуги прямого действия -  $30000^{\circ}\text{C}$ . Форма поперечного сечения плазменной струи определяется формой выходного отверстия сопла.

Схема устройства плазмотронов приведена на рис. 6. В плазмотронах прямого действия плазменная дуга возбуждается между стержневым электродом 1, вмонтированным в газовую камеру 2, и свариваемым изделием 4. Сопло 3 электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

В плазмотронах косвенного действия плазменная дуга создается между электродом 1 и соплом 3. Для плазменной сварки обычно применяют плазмотрон прямого действия.

Обжатие дуги, повышающее её температуру, увеличивается с ростом скорости протекания газа, т.е. зависит от диаметра и длины канала плазмотрона и расхода газа. Тепловое воздействие характеризуется также расстоянием от торца сопла до поверхности изделия, составом плазмообразующего газа, силой тока и др.

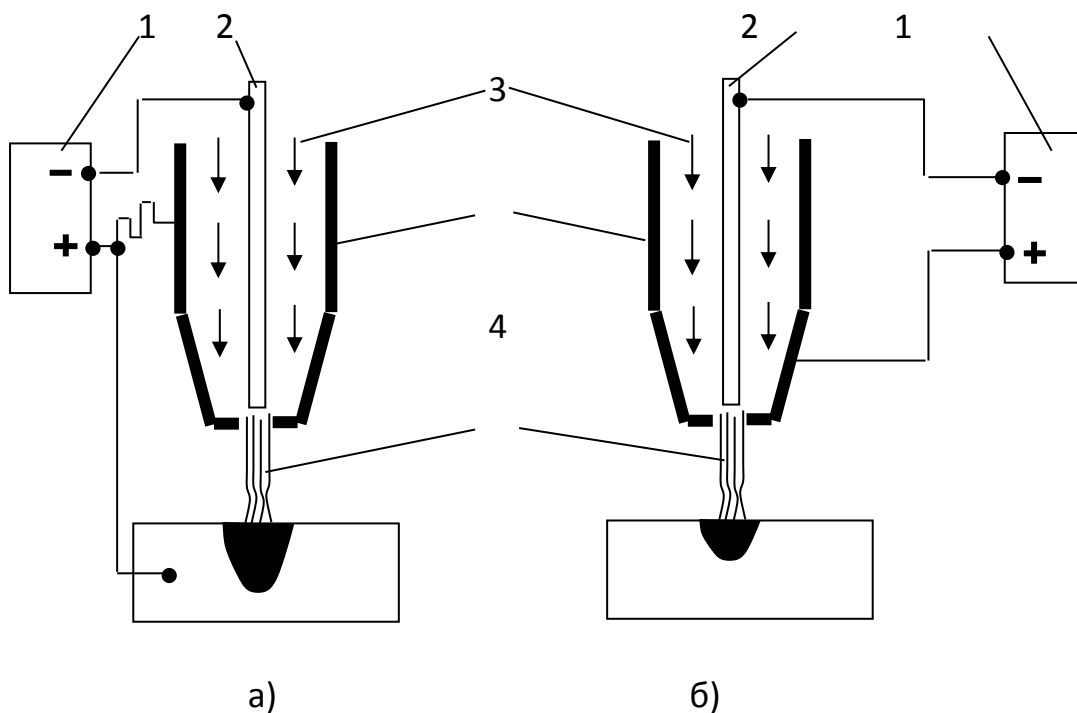




Рис. 6. Схема устройства плазмотронов  
 а – с дугой прямого действия; б – дугой косвенного действия

Дуга возбуждается при помощи осциллятора. В дуге прямого действия непосредственное возбуждение дуги между электродом и изделием затруднено. Поэтому возбуждают маломощную вспомогательную дугу между соплом и изделием. После касания плазмой изделия возбуждается дуга прямого действия. КПД плазмотронов прямого действия выше за счет ввода в изделие дополнительного тепла от электрического тока.

В качестве плазмообразующего газа используют инертные и активные газы – аргон и гелий, смеси аргоно-водородные, аргоно-азотные, углекислый газ, воздух, водород, азот. Использование для резки смеси газов, содержащих двухатомные газы, энергетически более эффективно. Диссоциируя, двухатомный газ поглощает много теплоты, которая выделяется на холодной поверхности реза.

### 5.2.2. Оборудование для плазменной сварки (наплавки) и резки

Комплект оборудования для плазменной обработки состоит из плазмотрона, устройств для его охлаждения и перемещения по линии сварки (наплавки) или резки, пульта управления процессом сварки или резки, источником тока и плазмообразующей среды.

Для плазменной обработки используют специальные или обычные сварочные источники. Характерной особенностью источников питания является крутопадающая (почти вертикальная форма) вольтамперная характеристика, большая мощность и высокое напряжение холостого хода (для сварки рабочее напряжение до 120 В), для резки ручной – 180 В, для механизированной – 300-500 В.

Перемещение плазмотрона по линии сварки (наплавки) или резки осуществляется с помощью обычных сварочных головок, либо с помощью газорезательных машин типа АСШ или СГУ-1-60.

Электроды плазмотронов (для сварки) представляют собой вольфрамовые вставки в случае использования в качестве плазмообразующего газа инертных газов, в случае использования активных окислительных газов - гафниевого и др.

### **5.3. Оборудование и материалы**

1. Пост для сварки (наплавки) плазменной дугой.
2. Пост для резки плазменной дугой.
3. Плазмообразующие газы – аргон,  $\text{CO}_2$ , воздух.
4. Присадочная проволока – порошковая ПП-АН 120.

### **5.4. Порядок проведения работы**

1. Ознакомиться с конструкцией плазмотрона.
2. Ознакомиться с устройством установок для плазменной сварки и резки, правилами их эксплуатации.
3. Провести обычную сварку (наплавку) и резку на заданном преподавателем режиме.

### **5.5. Содержание отчета**

1. Краткая характеристика процесса сварки и резки.
  2. Характеристика оборудования для плазменной сварки и резки.
- Лабораторная работа №6**

## **6. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА**

### **6.1. Цель работы**

Ознакомиться с сущностью и техникой электрошлаковой сварки (ЭШС).

### **6.2. Теоретические сведения**

#### **6.2.1. Сущность способа**

Схема электрошлакового процесса сварки (ЭШС) показана на рис. 7. Оплавление основного металла 1 и расплавление электродного металла 2 осуществляется за счет выделения тепла при прохождении электрического тока через расплавленный, обладающий электрической проводимостью, флюс, который удерживается в колодце, образованном кромками свариваемых деталей 1 и

специальными формирующими водоохлаждаемыми устройствами 3 типа ползунов или пластинами.

За счет разности в плотности электродный металл опускается на дно расплава, образуя металлическую ванну 5, а расплавленный флюс находится в верхней части расплава, образуя шлаковую ванну 4. Электродный металл каплями, проходящими через слой шлака, опускается в металлическую ванну. При этом происходит очистка электродного металла от вредных примесей. Шлаковая ванна, постоянно находясь в верхней части расплава, исключает воздействие окружающего воздуха на жидкий металл.

Вертикальное положение шва 6 и постоянное наличие в верхней его части жидкой металлической ванны при ЭШС значительно облегчает удаление газов и неметаллических включений из металла шва.

Создано и используется несколько разновидностей этого способа: сварка (наплавка) электродной проволокой, плавящимся мундштуком, электродом большого сечения, контактношлаковая сварка.

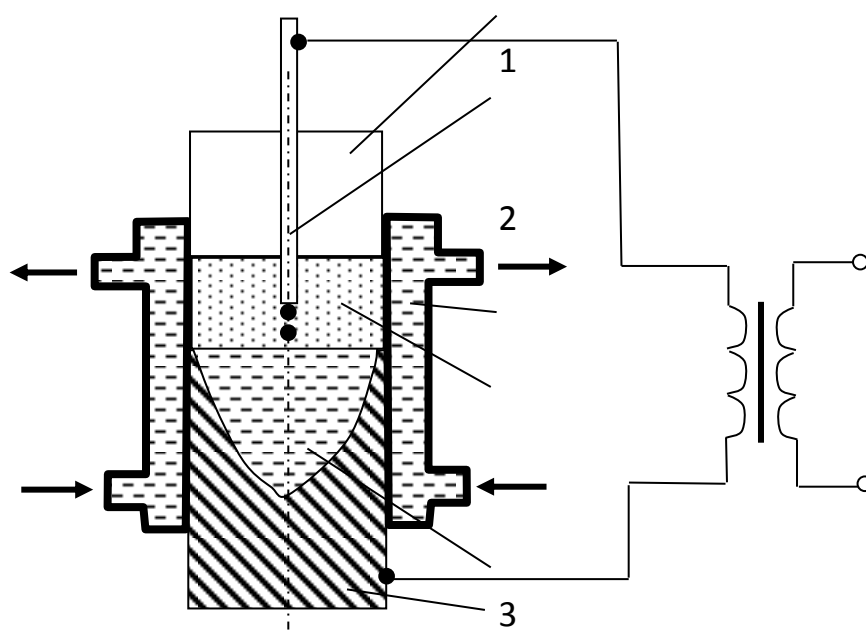


Рис. 7. Схема электрошлакового процесса

ЭШС можно выполнять любые соединения (стыковые, угловые, тавровые и др.) и швы разной формы (прямолинейные, кольцевые, переменного профиля и пространственной формы). Качество сварного соединения при ЭШС во многом зависит от техники сварки и применяемой аппаратуры. Наибольшее развитие получили три способа ЭШС, отличающиеся техникой использования: сварка проволочными электродами, сварка плавящимся мундштуком и сварка электродами большого сечения (рис. 8).

**ПЕРВЫЙ СПОСОБ** включает в себя следующие основные приемы сварки: одной электродной проволокой без колебаний; одной, двумя или тремя электродными проволоками с колебаниями. Первые два приема получили в настоящее время наибольшее распространение в промышленности. Они позволяют сваривать металл толщиной 20-50 мм. Сварку выполняют проволокой диаметром 3 мм, иногда – 5 мм.

**ВТОРОЙ СПОСОБ** – ЭШС плавящимся мундштуком – обычно применяется для соединения металла большой толщины (до 2-3 м) при выполнении прямолинейных (рис. 8, а) и криволинейных (рис. 8, б) швов. Разновидностью этого способа является сварка трубчатым плавящимся мундштуком (рис. 8, в), позволяющим осуществлять сварку металла малой толщины (20-60 мм).

Для ЭШС легированных сталей применяют мундштук коробчатого типа и мундштуки с металлическим наполнителем.

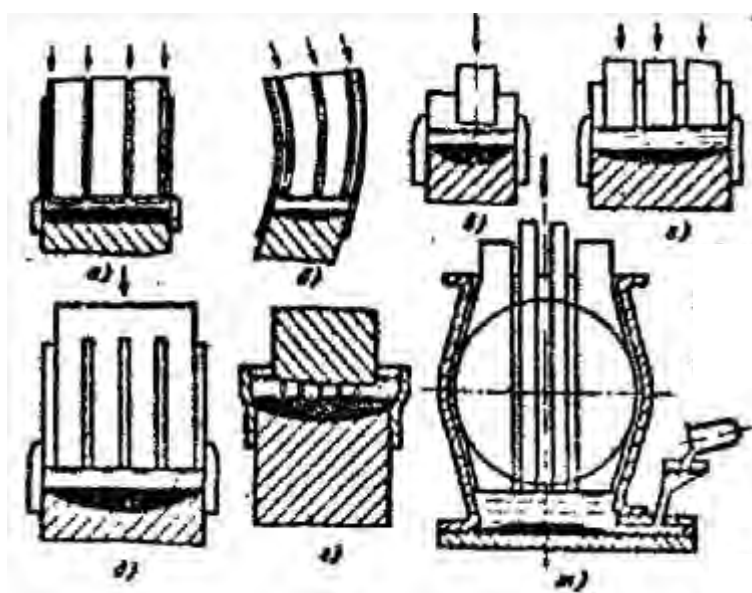


Рис. 8. Схемы выполнения ЭШС плавящимся мундштуком и электродами большого сечения

ТРЕТИЙ СПОСОБ ЭШС – электродами большого сечения – включает в себя следующие приемы: одной, двумя и тремя пластинами сплошного сечения, подключенными к общему или к разным источникам сварочного тока (рис. 8, г); одной, двумя или тремя пластинами, имеющими продольные разрезы (рис. 8, д); контактно-шлаковую (рис. 8, е); пластинчатыми электродами со специальной схемой подключения электродов к источнику питания (рис. 8, ж).

### 6.2.2. Основные параметры электрошлаковой сварки

Сварочный ток может быть переменный и постоянный. Диаметр электродной проволоки – 2-5 мм, однако часто применяется проволока диаметром 3 мм, скорость подачи которой подбирается в диапазоне 0,055-0,11 м/с. Напряжение сварки 32-56 В – выбирается из условия необходимого проплавления кромок в зависимости от толщины свариваемого металла, марки стали, флюса, скорости подачи электродной проволоки. Повышение напряжения увеличивает глубину проплавления во время сварки. Глубина шлаковой ванны (30-60 мм) должна быть постоянной. Для этого в нее периодически подсыпают флюс. С уменьшением глубины шлаковой ванны ухудшается устойчивость процесса сварки. «Сухой» вылет электродов обычно поддерживают 70-90 мм. Скорость колебаний электродов принимают 0,05-0,15 м/с (20-60 м/ч), время остановки электродов в крайних положениях до 6 с, расстояние от электрода до ползуна в крайнем положении – 10 мм. Кинетическая скорость, на которую настраивают сварочный аппарат, должна превышать среднюю скорость сварки в 1,5-2 раза.

### 6.2.3. Особенности сварного соединения, выполненного ЭШС

При ЭШС обеспечивается равнопрочность металла шва и сварного соединения после сварки и термической обработки. Ударная вязкость металла шва и участка перегрева околошовной зоны после сварки при комнатной температуре находится на нижнем уровне требований, предъявляемых к основному металлу, а при отрицательных температурах обычно не удовлетворяет этим требованиям. Это связано с образованием крупнозернистой видманштеттовой структуры сварного соединения, имеющего пониженную ударную вязкость. Ударная вязкость основного металла достигает первоначального значения только после нормализации сварной конструкции.

Для повышения ударной вязкости сварного соединения применяют ЭШС с пониженной погонной энергией, ЭШС с соответствующей нормализацией газовым или индукционным нагревом, а также термическую обработку в интервале температур 750-950°C.

Для предотвращения образования видманштеттовой структуры при ЭШС используют также основной металл с наследственно мелким аустенитным зерном или легированный элементами, снижающими способность стали к перегреву.

Наиболее распространенные дефекты при ЭШС – это горячие трещины в металле шва и в околошовной зоне. Встречаются также шлаковые включения, непровары.

### **6.3. Оборудование и материалы**

1. Пост для электрошлаковой сварки.
2. Устройство для снятия термического цикла сварки.
3. Устройство для раскроя сварных соединений.
4. Сварочная проволока Св08, Св08ГА  $d_{пр}=3-4$  мм, ГОСТ 2246-70.
5. Флюс сварочный АН-8, АН-348А, ГОСТ 9087-80.

### **5.4. Порядок проведения работы**

1. Ознакомиться с устройством сварочного поста, правилами подготовки к работе и включением сварочных постов.

2. Произвести сварку опытных образцов.

## **6.5. Содержание отчета**

1. Краткие теоретические сведения об ЭШС.
2. Схема сварочного поста.
3. Режимы сварки опытных образцов.

## **Лабораторная работа №7**

### **7. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗТВ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

#### **7.1. Цель работы**

Изучение влияния предварительного подогрева на структуру зоны термического влияния (ЗТВ) в сварных соединениях из закаливающихся сталей.

#### **7.2. Теоретические сведения**

### 7.2.1. Сущность способа

При сварке изделий из конструкционных сталей, чувствительных к термическому циклу сварки, возможны ферритное, перлитное, мартенситное и бейнитное превращения аустенита, а также их сочетания. Характер превращений зависит от состава стали и скорости охлаждения в интервале температур превращений аустенита. При сварке конструкционных сталей необходимо стремиться к подавлению мартенситного превращения, т.к. наличие хрупкой мартенситной структуры является одним из основных факторов образования холодных трещин.

При разработке технологического процесса сварки сталей необходимо сопоставлять скорость охлаждения металла  $3ТВ \omega_{8/5}$  в температурном интервале превращений аустенита  $800 \div 500 \text{ } ^\circ\text{C}$  с критическим значением. Сварка на режимах, при которых  $\omega_{8/5} > \omega_{кр}$ , вызывает резкое снижение пластичности металла  $3ТВ$  за счет появления закалочных структур и образования холодных трещин.  $\omega_{8/5}$  определяется расчетным путем или при обработке экспериментальных кривых термического цикла сварки.

Для многих сталей значения  $\omega_{кр}$  известны из специальной литературы. Для приближенного определения допустимой скорости охлаждения в субкритическом интервале температур возможно использование термокинетических (анизотермических) диаграмм превращения аустенита. На рис. 9.1 представлен пример термокинетической диаграммы с обозначением характеристических длительностей охлаждения для феррита  $t_\phi$ , перлита  $t_\pi$  и бейнита  $t_\delta$  и температур начала превращения аустенита.

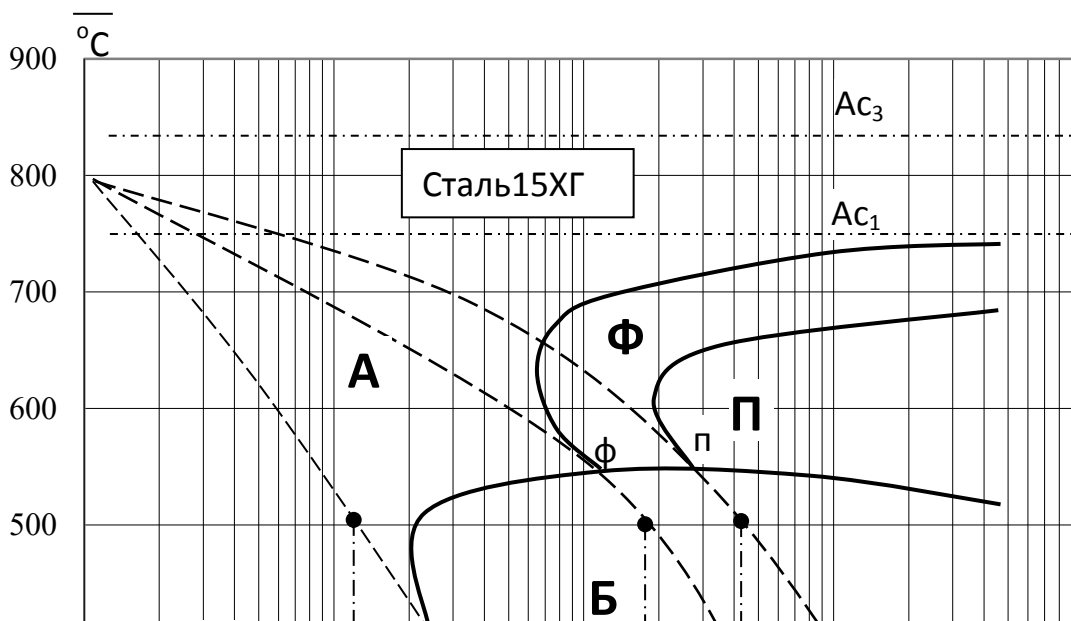




Рис. 9.1. Термокинетическая диаграмма превращений аустенита

Пользуясь диаграммой, можно приближенно рассчитать  $\omega_{кр}$ , ниже которой обеспечивается полное отсутствие закалки металла в ЗТВ.

$$\omega_{кр} = 300/t_{п} . \quad (1.1)$$

Уменьшая  $\omega_{8/5}$  за счет применения предварительного подогрева, можно добиться полного отсутствия мартенситной структуры при сварке большинства конструкционных сталей. Однако выбор температуры подогрева при сварке необходимо проводить с учетом склонности стали к росту зерна при температурах свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ . Чрезмерно высокий подогрев может вызвать заметное ухудшение свойств (прежде всего ударной вязкости) металла ЗТВ.

Для конструкционных сталей в качестве критерия стойкости к ХТ используется эквивалент углерода, рассчитываемый по формуле

$$C_{э} = \left( C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14} + 5\text{B} \right) (1 + 0,005\delta), \quad 1.2)$$

где  $\delta$  – толщина свариваемых листов, мм.

Символ химического элемента означает его содержание в процентах.

Если  $C_{э\text{КВ}} < 0,45\%$ , то предварительный подогрев не требуется. При  $C_{э\text{КВ}} > 0,45\%$  считается, что сталь потенциально склонна к образованию ХТ. Это означает, что при неблагоприятных режимах сварки весьма вероятно образование закалочных структур, которое в

сочетании с высоким уровнем растягивающих внутренних напряжений и наличием диффузионного водорода ведет к зарождению и распространению ХТ. В этом случае необходим предварительный подогрев, температура которого в °С оценивается по формуле

$$T_0 = 350\sqrt{C_s - 0,25} \quad (1.3)$$

В процессе выполнения работы оценивается эффективность применения предварительного подогрева при сварке конструкционных сталей с точки зрения подавления мартенситного превращения в ЗТВ. Оценка производится путем сравнения образцов, сваренных при наличии и отсутствии предварительного подогрева. Наличие мартенситной структуры контролируется металлографическими методами, а также распределением твердости по сечению шва и ЗТВ.

### 7.2.2. Оборудование и материалы

- 1) Образцы 10 × 50 × 100 мм из сталей Ст. 3, 40Х и 65Г.
- 2) Проволока Св - 08Г2С Ø 1,6 мм.
- 3) Пост для полуавтоматической дуговой сварки в среде СО<sub>2</sub>.
- 4) Твердомер ТК-2.
- 5) Муфельная печь.
- 6) Установка для записи термических циклов сварки
- 7) Реактив для травления шлифов (ниталь).
- 8) Цифровой фотоаппарат

### 7.2.3. Порядок проведения работы

1) В заготовке из стали Ст. 3 просверлить отверстие Ø3,5 для размещения термопары согласно рис. 9.2.

2) Приварить термопару на дне отверстия конденсаторной сваркой.

3) Рассчитать по формулам (1.2) и (1.3) эквивалент углерода  $C_s$  и температуру предварительного подогрева  $T_0$ . Данные расчета занести в таблицу 1.1.

4) Наплавить без предварительного подогрева в среде  $\text{CO}_2$  проволокой Св - 08Г2С  $\varnothing 1,6$  мм валик по продольной оси образца согласно рис. 1.2. Параметры режима наплавки: ток дуги –200А, напряжение на дуге –24 В, скорость наплавки – 0,5 см/с. В процессе наплавки записать термический цикл наплавки в точке приварки термопары.

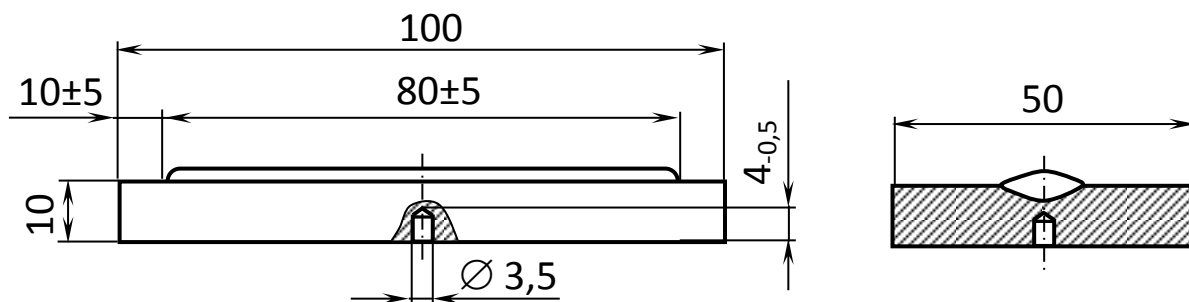


Рис. 9.2. Схема наплавки образца

5) По кривой термического цикла оценить скорость охлаждения  $\omega_{8/5}$  в интервале температур  $800 \div 500$  °С и записать ее в таблицу 1.1.

6) Изготовить поперечные микрошлифы наплавленного валика. Наблюдать и сфотографировать микроструктуру ЗТВ. Обратит внимание на наличие мартенсита.

7) Построить график распределения твердости HRC в ЗТВ по образцу, представленному на рис. 9.3. Определить по нему минимальное и максимальное значение твердости и записать их в таблицу 1.1.

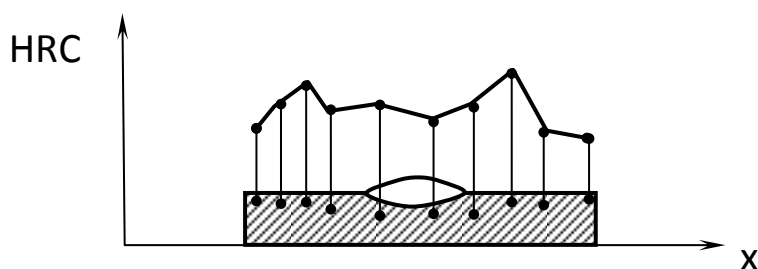


Рис. 9.3. График распределения твердости в ЗТВ

8) Действия по пп.4-7 повторить для случая предварительного подогрева до расчетной температуры  $T_0$ . Перед наплавкой образец нагревать в муфельной печи. Температура подогрева контролируется термопарой.

9) Действия по пп. 1-8 повторить для образцов из сталей 40Х и 65Г.

Таблица 4

## Результаты работы

№ опыта	Марка стали	C <sub>э</sub> , %	T <sub>0</sub> , °C	Температура подогрева, °C	$\omega_{8/5}$ , °C	Твердость в ЗТВ	
						HRC <sub>min</sub>	HRC <sub>max</sub>
1	Ст. 3			20			
2	Ст. 3			T <sub>0</sub>			
3	Сталь 40Х			20			
4	Сталь 40Х			T <sub>0</sub>			
5	Сталь 65Г			20			
6	Сталь 65Г			T <sub>0</sub>			

**7.4. Содержание отчета**

- 1) Цель работы.
- 2) Методика проведения.
- 3) Графики распределения твердости.
- 4) Фотографии микроструктуры
- 5) Заполненная таблица 4.
- 6) Выводы.

**1.5. Контрольные вопросы**

- 1) Укажите основные причины появления холодных трещин при сварке конструкционных сталей.

2) Укажите основные типы превращения аустенита при сварке конструкционных сталей.

3) Почему предварительный подогрев способствует предотвращению холодных трещин при сварке сталей?

4) Как оценить температуру предварительного подогрева?

5) Укажите критерий стойкости к холодным трещинам, используемый в данной работе.

## Лабораторная работа №8

### 8. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СВАРКИ ЧУГУНА

#### 8.1. Цель работы

Ознакомление с технологией и техникой сварки чугуна.

#### 8.1. Теоретические сведения

##### 8.1.1. Классификация чугунов

Чугун - широко применяемый конструкционный материал, отличающийся высокими литейными и антифрикционными свойствами, а также хорошей обрабатываемостью. Он относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью, однако сварка чугуна применяется очень широко для исправления брака чугунного литья и ремонта чугунных изделий.

Чугунами принято называть железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,0 %. Обычный чугун представляет собой железоуглеродистокремниевый сплав, содержащий углерод от 2,5 до 4 % , кремний от 1 до 5 % в сочетании с различными количествами марганца, серы, фосфора. В специальные чугуны вводят легирующие добавки - хром, никель, молибден, ванадий, титан и др.

В зависимости от состояния углерода в сплаве различают два основных вида чугуна: белый (углерод в виде цементита) и серый (углерод в виде графита).

Структура чугуна, его физические и механические свойства зависят от скорости охлаждения и его химического состава. При одинаковом химическом составе и прочих равных условиях высокая скорость охлаждения способствует образованию в чугуне цементита, т.е. получению белого чугуна. Замедленное охлаждение, напротив, вызывает выделение углерода в состоянии графита с получением серого ферритного чугуна. Промежуточные скорости охлаждения дают различные переходные структуры металлической части: цементитно-перлитную, перлитную, перлитно-ферритную (рис. 10.1). Микроструктуры серого чугуна с различными основами приведены на рис. 10.2.

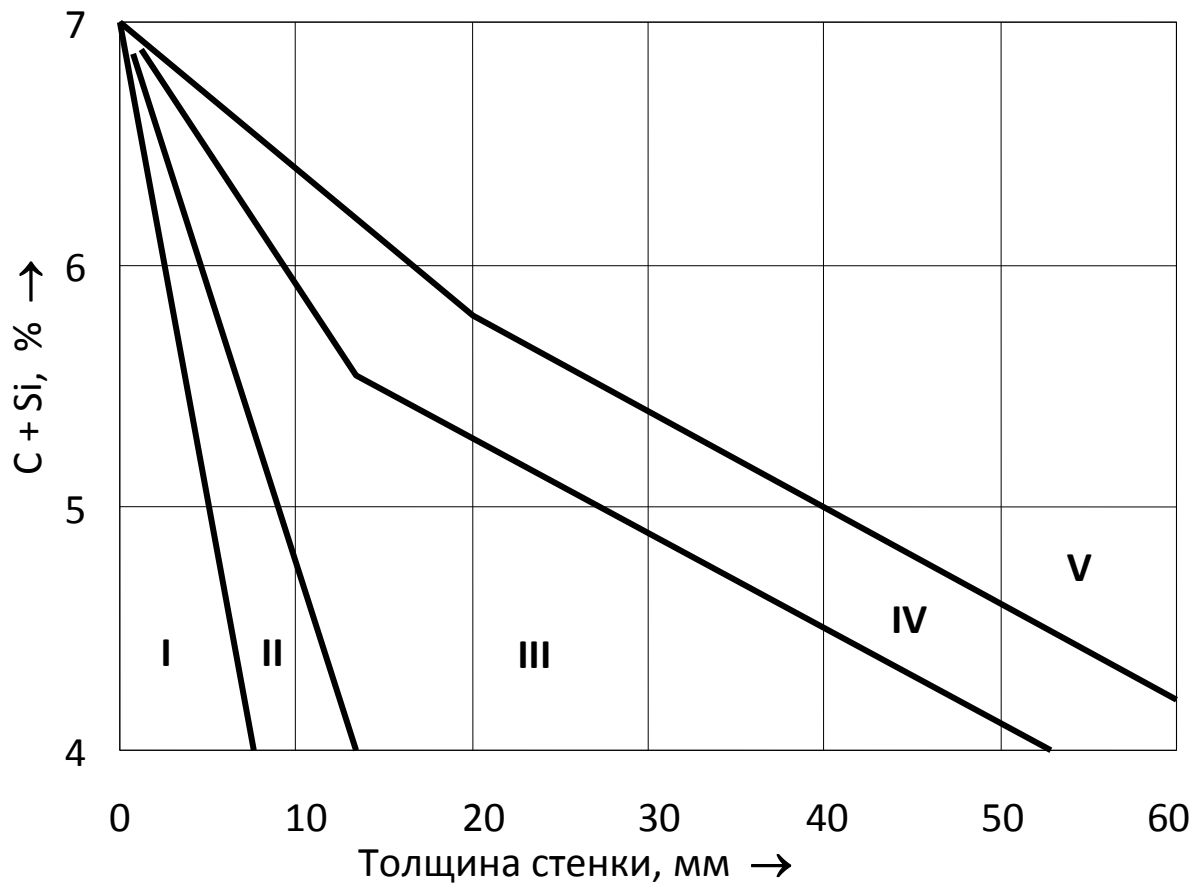


Рис. 10.1. Структурная диаграмма чугуна

I – белый чугун; II – цементитно-перлитный; III – перлитный; IV – перлитно-ферритный; V – ферритный



а)

б)

в)

Рис. 10.2. Микроструктура серых чугунов ( $\times 150$ )  
а – ферритный; б – феррито-перлитный; в – перлитный

Все легирующие элементы и примеси в чугуне по своему влиянию на состояние углерода делят на две группы: графитизирующие, способствующие образованию графита, и карбидообразующие - задерживающие выделение графита. К элементам-графитизаторам относятся кремний, алюминий, никель, кобальт, медь. Влияние кремния проиллюстрировано на рис. 10.3. К элементам, способствующим отбелу чугуна относятся сера, ванадий, хром, молибден, марганец, олово.

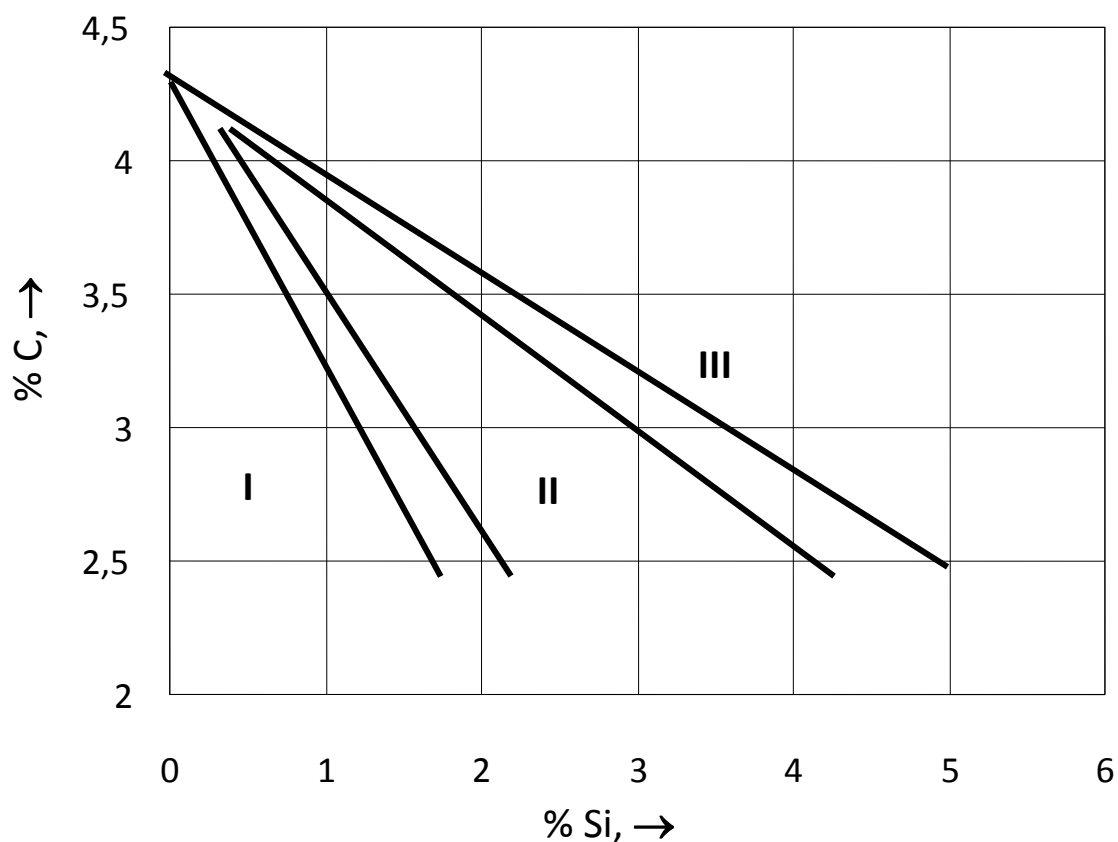


Рис. 10.3 Структурная диаграмма чугуна  
(толщина стенки отливки 60 мм)

I – белый чугун; II – серый перлитный; III – серый ферритный

Белые чугуны имеют светло-серый или почти белый цвет в изломе. Это обусловлено тем, что углерод находится в связанном состоянии в виде хрупкого и твердого цементита. Вследствие этого белые чугуны также отличаются высокой твердостью и хрупкостью,



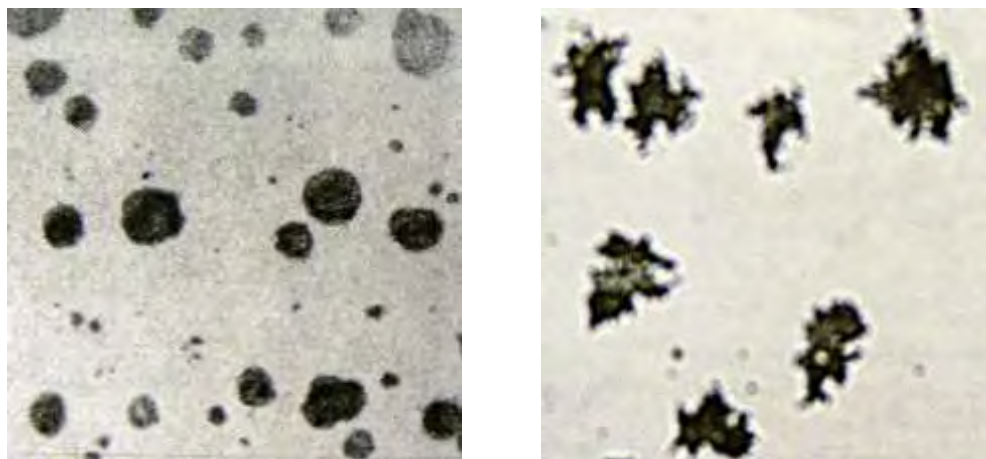
не поддаются мехобработке и не подлежат сварке. Они в основном используются для получения ковкого чугуна. В ограниченных количествах белые чугуны используются для изготовления отливок, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Серые чугуны в изломе имеют серебристый цвет вследствие наличия в них пластинчатых включений графита. Графит – наиболее мягкая и вместе с тем наиболее хрупкая составляющая чугуна. Он пронизывает металлическую основу чугуна и нарушает его сплошность, действуя как внутренний надрез. Вместе с тем графит сообщает чугуну малую чувствительность к внешнему надрезу, придавая тем самым сплаву высокую сопротивляемость знакопеременным нагрузкам. Эти свойства чугуна (серого), а также высокие литейные свойства, хорошая обрабатываемость его обычным режущим инструментом и износостойкость определяют в первую очередь широкое применение сплава как важного конструкционного материала. Серые чугуны маркируются буквами СЧ и цифрами. Первые две цифры – предел прочности при растяжении, две другие – предел прочности при изгибе ( $\text{кгс/мм}^2$ ). Пример: СЧ12-28, СЧ15-32, СЧ38-60.

Высокопрочные чугуны получают при отливке по специальной технологии с применением модифицирующих добавок (магния, редкоземельных элементов и др.). Благодаря этому выделяющийся графит приобретает шаровидную форму и включения его равномерно распределяются в металлической матрице (рис. 3.4а). Шаровидная форма графита придает такому чугуну высокие механические свойства, в частности ограниченную способность к пластической деформации. Высокопрочные чугуны маркируются буквами ВЧ и цифрами, первые две из которых характеризует временное сопротивление чугуна при растяжении ( $\text{кгс/мм}^2$ ), остальные – относительное удлинение (%). Пример: ВЧ60-2, ВЧ40-10.

Ковкие чугуны нашли применение в различных отраслях промышленности и особенно в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении. Графит этих чугунов имеет форму крупных хлопьев или розеток равномерно распределенных в металлической матрице чугуна (Рис. 10.4б). Такая форма графита

получается в результате длительного отжига доэвтектического белого чугуна. Для ковких чугунов характерно более низкое содержание углерода по сравнению с серыми и высокопрочными. Ковкие чугуны маркируются буквами КЧ и цифрами, обозначающими временное сопротивление при растяжении ( $\text{кгс/мм}^2$ ) и относительное удлинение (%), Пример: КЧ38-8, КЧ35-10.



а)

б)

Рис. 10.4 Улучшенная форма графитных включений( $\times 150$ )

а – высокопрочный чугун; б – ковкий чугун

### 8.1.2. Свариваемость чугуна

Чугун относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью. Основными причинами являются:

1) Высокие скорости охлаждения металла шва и ОШЗ, соответствующие термическому циклу сварки приводят к отбеливанию чугуна - образованию твердого и хрупкого цементита в котором под действием остаточных напряжений за счет неравномерного нагрева, а также за счет разной плотности отбеленных участков ( $7,4-7,7 \text{ г/см}^3$ ) и участков с серым чугуном (плотность  $6,9-7,3 \text{ г/см}^3$ ) могут возникнуть трещины.

Трещины, образующиеся при сварке чугуна, можно отнести к холодным трещинам, так как верхняя граница температурного интервала появления трещин не превышает  $250-400^\circ\text{C}$ . Трещины при сварке чугуна образуются, в отличие от холодных трещин при сварке закаливаемых сталей, не при постоянной температуре, а чаще всего

в процессе охлаждения, когда внутренние напряжения вследствие усадки шва непрерывно возрастают. Напряжения не могут релаксироваться ввиду ничтожной пластичности серого чугуна, а металлографический анализ показывает, что для образования трещин наличие закалочных структур (цементита, мартенсита) в ЗТВ обязательно. В то же время возникновение трещин значительно облегчается, если в околошовной зоне имеется мартенсит, который увеличивает напряжения второго рода.

2). Большая склонность к образованию пор за счет сильного газообразования в сварочной ванне.

3). Повышенная жидкотекучесть чугуна затрудняет удержание расплавленного металла от вытекания и формирование шва.

4). Наличие кремния, а иногда и других элементов в металле сварочной ванны способствует образованию на ее поверхности тугоплавких окислов, приводящих к образованию непроваров.

Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Причиной служит охрупчивание чугуна за счет высокотемпературного окисления углерода и кремния. Его показывают иногда горелым. Также плохо свариваются чугуны, работающие длительное время в соприкосновении с маслом и керосином. В таких случаях поверхность чугуна как бы пропитывается маслом и керосином, которые при сварке сгорают и образуют газы, способствующие появлению сплошной пористости в сварном шве.

### 8.1. 3. Способы сварки чугуна

Горячая сварка чугуна – при предварительном подогреве до температуры 600-700°C с последующим медленным охлаждением. Такой способ обеспечивает такую скорость охлаждения сварных соединений, при которой происходит полная графитизация металла шва и отсутствует отбел чугуна в околошовной зоне. Резко снижается уровень остаточных напряжений. Горячая сварка чугуна производится обычно чугунными электродами с применением подформовывающих устройств. Сварка ведется на постоянном или переменном токе на повышенном режиме  $J_{св}=(50-60)d_{э}$ . Однако при горячей сварке чугуна резко ухудшаются условия труда сварщика.

Полугорячая сварка чугуна производится при предварительном подогреве до температуры 250-400°C. Такая температура подогрева обеспечивает снижение уровня остаточных сварочных напряжений и несколько снижает отбел чугуна.

Холодная сварка чугуна – сварка без предварительного подогрева. При этом способе всегда образуется отбеленный чугун в околошовной зоне и в металле шва, если используется присадочный металл типа чугунов. Поэтому для снижения вероятности образования трещин при холодной сварке чугуна как правило используются высокопластичные присадочные материалы из цветных металлов (медь, никель) или сплавов (медно-никелевых, медно-железных, железо-никелевых). Зона сварки высокопрочного чугуна высоконикелевой проволокой ПАНЧ-11 показана на рис. 10.5. Слева располагается основной металл (ферритный чугун с шаровидным графитом), справа – наплавленный металл (углеродистый никель, почти не травится). Возле линии сплавления появляются участки перлита и ледебурита.

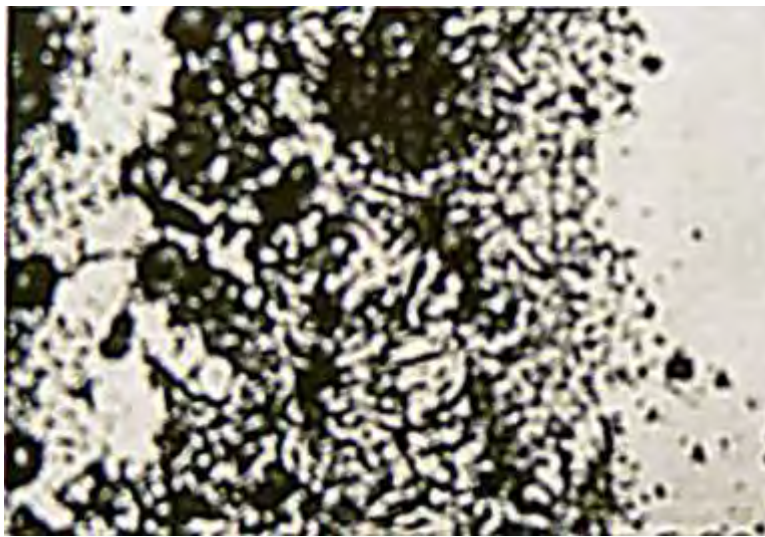


Рис. 10.5 Микроструктура зоны сварки высокопрочного чугуна проволокой ПАНЧ -11(×150)

## 8.2. Оборудование

- 1) Пост РДС на базе выпрямителя ВД-306.
- 2) Полуавтомат А-825.
- 3) Раскройный стенд.

- 4) Установка для изготовления шлифов.
- 5) Твердомер ТК-2
- 6) Муфельная печь.

### **8.3. Материалы**

- 1) Electroды ЦЧ-4.
- 2) Проволоки ПАНЧ-11 и Св08Г2С .
- 3) Керосин.
- 4) Мел.
- 5) Набор шлифовальных бумаг
- 6) Травитель шлифов (4% спиртовой раствор  $\text{HNO}_3$ )
- 7) Пластины из серого чугуна СЧ15-32 толщиной  $8 \div 10$  мм.

### **8.4. Порядок выполнения работы**

#### **8.4.1. Холодная сварка чугуна**

- 1) Сварить пластины электродами ЦЧ-4, проволокой ПАНЧ11, проволокой Св08Г2С диаметром 1,0-1,2 мм в среде  $\text{CO}_2$ .
- 2) Изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения
- 3) Промерить твердость сварного соединения и вычертить график распределения твердости во шве и ЗТВ
- 4) Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

#### **8.4.2. Полугорячая сварка чугуна**

- 1) Нагреть пластины в муфельной печи до температуры  $400^\circ\text{C}$ . Сварить пластины электродами ЦЧ-4, проволокой ПАНЧ-11, проволокой Св08Г2С диаметром 1,0-1,2 мм в среде  $\text{CO}_2$  . Изготовить шлифы и промерить твердость сварного соединения.
- 2) После полного остывания изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения
- 3) Промерить твердость сварного соединения и вычертить график распределения твердости во шве и ЗТВ

4) Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

### **3.4.3. Горячая сварка чугуна**

1) Нагреть пластины в муфельной печи. Сварить пластины проволокой Св08Г2С и электродами ЦЧ-4. После сварки обеспечить медленное остывание сварного соединения (поместить в сухой песок, либо укрыть теплоизоляционным материалом).

2) После полного остывания изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения

3) Промерить твердость сварного соединения и вычертить график распределения твердости во шве и ЗТВ

4) Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

### **8.5. Содержание отчета**

- 1) Краткие сведения о свариваемости чугуна.
- 2) Режимы сварки по пп. 3.4.1 ÷ 3.4.3.
- 3) Графики распределения твердости во шве и ЗТВ.
- 4) Фотографии микроструктур зоны сварки.
- 5) Данные испытаний на плотность керосиновой пробой.
- 6) Выводы со сравнительным анализом способов сварки.

### **8.6. Контрольные вопросы**

- 1) Укажите область применения чугунов.
- 2) Укажите типы матрицы серых чугунов.
- 3) Укажите положительные и отрицательные свойства серых чугунов.
- 4) Как влияет кремний на структуру чугуна ?
- 5) Как можно улучшить форму графитовых включений ?
- 6). Как расшифровать марку чугуна СЧ12-28?
- 7) Как расшифровать марку чугуна ВЧ60-2?
- 8) Как расшифровать марку чугуна КЧ60-2?
- 9) Укажите трудности сварки чугуна.
- 10) В чем состоит сущность горячей сварки чугуна?
- 11) В чем состоит сущность полугорячей сварки чугуна?

- 12) В чем состоит сущность холодной сварки чугуна?
- 13) Укажите электродные материалы для холодной сварки чугуна.

## Лабораторная работа № 9

### 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОСЛОЕК ПРИ СВАРКЕ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

#### 9.1. Цель работы

Ознакомление с особенностями формирования микроструктуры при сварке перлитных сталей с аустенитными

##### 9.1.1. Теоретические сведения

Одним из путей экономии высоколегированных сталей является изготовление установок, машин и механизмов комбинированными. Такое изготовление вполне возможно, так как во многих случаях, в условиях требующих специальных сталей, работает не вся конструкция, а лишь отдельные ее узлы и детали. Остальная часть конструкции находится в обычных условиях и может быть изготовлена из среднелегированной, низколегированной и даже обычной углеродистой стали.

Одной из особенностей сварки разнородных сталей является образование в зоне сплавления переходных прослоек, обусловленное диффузионным перераспределением легирующих элементов. Они могут возникать и развиваться в процессе сварки, термообработки и эксплуатации сварных соединений при высоких температурах. Наличие диффузионных прослоек является одной из причин снижения свойств сварных соединений разнородных сталей.

Наибольшее влияние на формирование диффузионных прослоек оказывает углерод, диффузионная подвижность которого за счет малых размеров атомов в  $10^4 \div 10^6$  выше, чем у легирующих элементов. В  $\alpha$ -железе коэффициент диффузии углерода выше, чем в  $\gamma$ -железе: при  $910^\circ\text{C}$  в 39 раз,  $755^\circ\text{C}$  – в 126 раз и при  $500^\circ\text{C}$  – в 835 раз. Поэтому при сварке перлитных сталей электродами с большим запасом аустенитности следует ожидать минимальной толщины диффузионной прослойки. Типичная структура зоны сплавления перлитной стали Ст.3 с аустенитной (проволока Св-06Х16Н25АМ6) после отпуска при температуре  $700^\circ\text{C}$  в течение 10 ч представлена на рис. 11.1. Она получена отдельным травлением



аустенитного металла царской водкой с последующим общим травлением всего шлифа в 2-% нитале. Со стороны основного металла выявляется обезуглероженный слой пониженной твердости с крупными столбчатыми зёрнами феррита. В аустенитном шве наблюдается легко травящаяся мартенситная полоса высокой твердости, которая может служить очагом хрупкого разрушения.

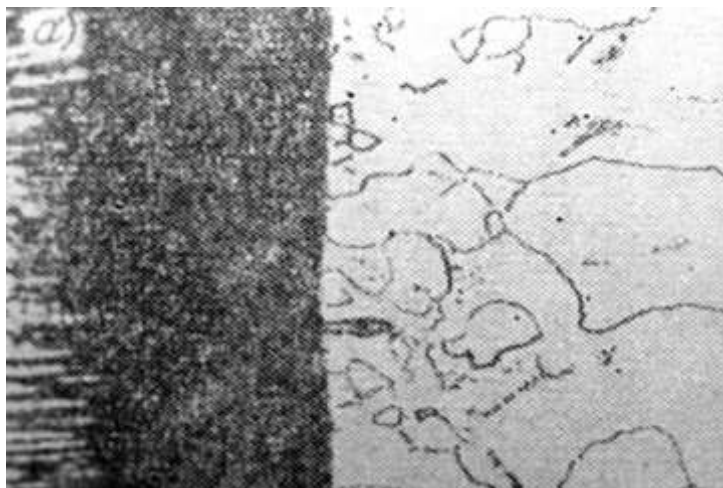


Рис.11.1. Микроструктура зоны сплавления при наплавке стали Ст. 3 проволокой Св-06Х16Н25АМ6 (отпуск 700°С, 10 ч) ×300

В процессе проведения работы планируется выявить закономерности образования диффузионных прослоек в зависимости от состава электродной проволоки и условий термообработки.

## 9.2. Оборудование и материалы

- 1) Образцы 10 × 30 × 100 мм из стали 45.
- 2) Сварочные проволоки Св-06Х16Н25АМ6 и Св-06Х18Н9Т Ø1,6 мм.
- 3) Флюс АН-26.
- 4) Автомат сварочный АДГ-502 с выпрямителем ВДУ-506.
- 5) Реактивы для травления (4 % ниталь и царская водка).
- 6) Цифровой фотоаппарат
- 7) Металлографический микроскоп МИМ-7
- 8) Микротвердомер ПМТ-3.

9) Отрезной станок.

### 9.3. Порядок проведения работы

1) Наплавить на образец проволокой Св-06Х16Н25АМ6 под слоем флюса АН-26 продольный валик. Параметры режима, указанные в таблице 5.

Таблица 5.

#### Результаты опытов

№ опыта	Марка проволоки	Параметры режима наплавки			Толщина мартенситной прослойки, мкм	Микротвердость Н <sub>μ50</sub> , ГПа		
		Ток дуги, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч		Обезуглероженная зона	Мартенситная прослойка	Наплавленный металл
1	Св-6Х16Н25АМ6	250-300	26-28	24				
2	Св-06Х18Н9Т	250-300	26-28	24				

2) Действия по п.1 повторить для проволоки Св-06Х18Н9Т .

3) После остывания образцы нагревать в течение 4 часов в муфельной печи при температуре 650°С.

4) Приготовить поперечные микрошлифы образцов.

5) Измерить толщину мартенситной прослойки и записать результаты в табл. 5.

6) Измерить микротвердость мартенситной прослойки и прилегающих к ней обезуглероженной зоны со стороны основного металла и наплавленного металла. Записать результаты в табл. 5.

7) Сфотографировать микроструктуру металла вблизи зоны сплавления.

8) Составить отчет по лабораторной работе.

#### **5.4. Содержание отчета**

- 1) Цель работы.
2. Методика проведения.
- 3) Заполненная таблица 5.
- 4) Фотографии микроструктур.
- 5) Выводы, включая оценку возможности управления микроструктурой при сварке сталей перлитных сталей с аустенитными.

#### **5.5. Контрольные вопросы**

- 1) Когда возникает необходимость сварки разнородных сталей?
- 2) Укажите основные трудности при сварке разнородных сталей.
- 3) Чем вызвано образование переходных прослоек ?
- 4) В какой модификации железа коэффициент диффузии углерода выше?
- 5) Укажите природу диффузионной прослойки при сварке перлитных сталей с аустенитными.
- 6) Как изменяется микроструктура основного металла (перлитная сталь) вблизи зоны сплавления с аустенитной сталью при высокотемпературном отпуске ?
- 7) Укажите способы уменьшения толщины мартенситной прослойки при сварке перлитных сталей с аустенитными.

## Лабораторная работа №10

### 10. СВАРКА АЛЮМИНИЯ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

#### 10.1. Цель работы.

Ознакомление с технологией сварки алюминия в среде аргона неплавящимся электродом.

#### 10.2. Теоретические сведения

##### 10.2.1. Алюминий и его сплавы

По объему производства алюминий занимает второе место после железа. Он имеет гранецентрированную кубическую решетку. Плотность алюминия  $2,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $660^\circ\text{C}$ . Электропроводность алюминия составляет 65% от электропроводности меди. Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью благодаря образованию на его поверхности тонкой прочной пленки окисла  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Чем чище алюминий, тем выше его сопротивление коррозии и электропроводность. Предел прочности и твердость чистого алюминия очень низки ( $\text{НВ} \approx 200 \text{ МПа}$ ), поэтому он используется только как электропроводящий материал или там, где требуется только высокая коррозионная стойкость.

Алюминий легко прокатывается, прессуется, штампуется. Из алюминия изготавливают листы, прутки, профили, проволоку и др. полуфабрикаты. Алюминий в чужаках применяется для изготовления сплавов (с медью, магнием, кремнием и некоторыми другими элементами). В ограниченном количестве алюминий применяется для проводов, посуды, фольги, плакировки, красочной пудры, в химической промышленности.

Алюминий и его сплавы делят на две основные группы: деформируемые и литейные (недеформируемые). Деформируемые сплавы, в свою очередь делят на термически не упрочняемые, к которой относятся технический алюминий и его сплавы с марганцем и магнием (сплавы АМц и АМг) и термически упрочняемые к которым относятся сплавы алюминия с медью, цинком, кремнием и другими элементами (Al-Mg-Cu, Al-Zn-Mg, Al-Si-Mg).

К литейным (марки АЛ) относятся сплавы со значительным содержанием кремния или меди.

Типовая диаграмма состояния алюминий –легирующий элемент приведена на рис.12.1.

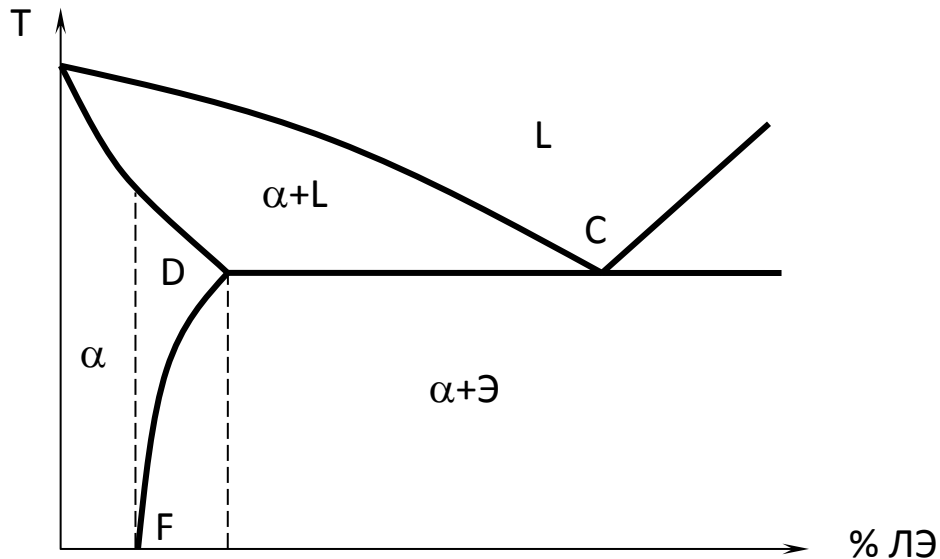


Рис.12.1. Диаграмма состояния алюминий –легирующий элемент

Все сплавы левее точки D, соответствующей предельной растворимости легирующего элемента, можно привести в однофазное  $\alpha$ -состояние с помощью нагрева. Эти сплавы имеют высокую пластичность и хорошо обрабатываются давлением и относятся к группе деформируемых сплавов алюминия. В свою очередь эти сплавы разделяются на две группы:

1) Не упрочняемые термической обработкой (сплавы левее точки F при любых условиях состоят из однофазного  $\alpha$ -раствора). К ним относятся сплавы марки АМц, легированные марганцем, и АМг1-АМг6, легированные магнием. Цифры означают содержание магния в процентах .

2) Термически упрочняемые сплавы, располагаются между точками F и D . К ним, в частности, относятся дуралюмины, легированные медью (2÷4,8%), магнием (0,4÷2,4%) и марганцем (0,4÷0,8%). Эти сплавы обозначают буквой Д и условными номерами, например Д1, Д16, Д20 и т.д. Если эти сплавы закалить от однофазного  $\alpha$ -состояния, то при комнатной температуре образуется пересыщенный

раствор, который через некоторое время распадется с выделением упрочняющей  $\theta$ -фазы состава  $\text{CuAl}_2$ .

Литейные сплавы в основном легируются кремнием около эвтектической точки С и называются силуминами. Они маркируются буквами АЛ и условными номерами, например АЛ2, АЛ13 и т.д. Силумины широко применяются для изготовления литых деталей приборов, корпусов двигателей и т.п.

### 10.2.2. Проблемы свариваемости

Основные трудности при сварке алюминия и его сплавов:

1) Наличие и возможность образования пленки тугоплавкого окисла  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $T_{\text{пл}}=2050^\circ\text{C}$ ) с плотностью большей, чем у алюминия. Ее удаление(разрушение) осуществляется с помощью флюсов, либо катодным распылением (при сварке на обратной полярности);

2) Резкое падение прочности при высоких температурах может привести к разрушению (проваливанию) твердого металла не расплавившейся части кромок под действием собственного веса.

3) Высокая жидкотекучесть алюминия требует особой тщательности подготовки кромок, либо применения подформовывающих устройств для предотвращения вытекания металла через корень шва.

4) Из-за большой величины коэффициента линейного расширения и низкого модуля упругости алюминиевые сплавы имеют повышенную склонность к короблению.

5) Большая склонность к порообразованию за счет водорода. Выделению водорода препятствует в процессе кристаллизации окисная пленка, покрывающая сварочную ванну, а также низкий коэффициент диффузии водорода в алюминии. Поры образуются преимущественно внутри металла шва, а также у линии сплавления. Наибольшей склонностью к порообразованию имеют сплавы АМг. Для предупреждения пор при сварке толстого металла применяют предварительный и сопутствующий подогрев.

6) Вследствие высокой теплопроводности алюминия необходимо применение мощных источников теплоты, а также предварительный и сопутствующий подогрев до температуры  $150^\circ\text{C}$ .

7) Металл шва склонен к образованию трещин в связи с грубой столбчатой структурой металла шва, выделением по границам зерен

легкоплавких эвтектик и развитием значительных усадочных напряжений в результате высокой литейной усадки алюминия. Легкоплавкая эвтектика на основе кремния ( $T_{пл}=577^{\circ}\text{C}$ ) приводит к появлению трещин, если содержание кремния невелико (до 0,5%); при содержании кремния свыше 4-5% образующаяся эвтектика "залечивает" трещины.

### **10.2.3. Основные способы сварки алюминия и его сплавов**

Алюминиевые сплавы свариваются практически всеми известными способами сварки плавлением и давлением. Наиболее важное значение имеет сварка неплавящимся электродом в среде аргона или гелия, а также их смесей. При сварке в среде защитных газов неплавящимся электродом основным требованием качественного формирования сварного соединения является обеспечение разрушения окисной пленки за счет катодного распыления при обратной полярности. Это осуществимо при сварке однофазным или трехфазным переменным током, а также при плазменной сварке постоянным током обратной полярности. Аргонодуговая сварка постоянным током обратной полярности не используется вследствие интенсивной эрозии вольфрамового электрода.

#### **10.2.3.1. Аргонодуговая сварка однофазным переменным током**

Применение переменного тока при аргонодуговой сварке позволяет обеспечить в полупериод обратной полярности катодное распыление тугоплавкой окисной пленки. В полупериод прямой полярности вольфрамовый электрод работает в облегченном тепловом режиме, что существенно снижает интенсивность его эрозии. Схема процесса приведена на рис. 12.2.

В состав всех установок для аргонодуговой сварки однофазным переменным током входят сварочный трансформатор ТС с падающей ВАХ с регулируемым углом наклона и горелка для сварки в среде защитных газов с вольфрамовым электродом. Для бесконтактного возбуждения дуги в схему установки обязательно вводится осциллятор ОСЦ параллельного или последовательного включения.

Для стабилизации дугового разряда предусмотрен генератор стабилизирующих импульсов ГСИ.

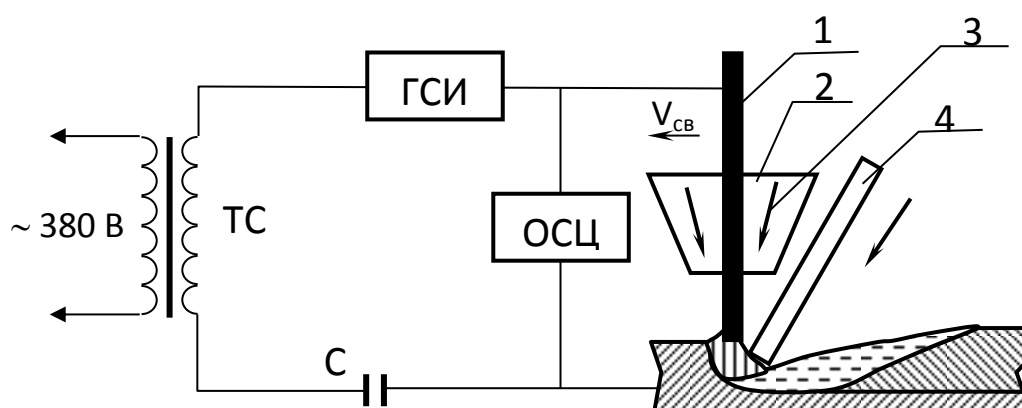


Рис.12.2. Аргодуговая сварка однофазным переменным током:

ТС – сварочный трансформатор; С – конденсатор фильтра; ГСИ – генератор стабилизирующих импульсов; ОСЦ – осциллятор; 1 – W-электрод; 2 – сопло горелки; 3 – поток защитного газа; 4 – присадочный материал

При сварке алюминия вольфрамовым электродом вследствие резко отличающихся условий возбуждения дуги в полупериоды прямой и обратной полярностей возникает постоянная составляющая тока сварки, ухудшающая условия работы сварочного трансформатора. Для ее устранения в сварочную цепь последовательно включается батарея конденсаторов С емкостью порядка  $0,05 \text{ Ф}$ . Она надежно фильтрует постоянную составляющую тока, но имеет большие габариты и высокую стоимость. В многих установках батарея конденсаторов заменяется блоком Б из встречно-параллельно включенных диода и тиристора согласно схемы на рис 12.3. В полупериод прямой полярности ток, проходит через тиристор и частично срезается, т.к. тиристор открывается через некоторое время после начала полупериода.

### 10.2.3.2 Аргодуговая сварка трехфазным переменным током

Недостатком установок для аргодуговой сварки однофазным переменным током является сложность схем возбуждения и



стабилизации дугового разряда. Этого недостатка лишена сварка трехфазной дугой (рис. 6.3).

Сварка осуществляется двухэлектродной горелкой, каждый электрод которой соединен с одной из фаз. Третья фаза подключается к изделию. В начале сварки между электродами путем короткого замыкания промежутка между электродами угольным электродом возбуждается дежурная дуга. При соприкосновении ее плазмы с изделием загорается дуга, которая попеременно горит между одним из электродов и изделием. Дополнительной стабилизации дугового разряда не требуется. Недостатком установок для сварки трехфазной дугой является усложнение конструкции горелки и необходимость устранения постоянной составляющей тока дуги.

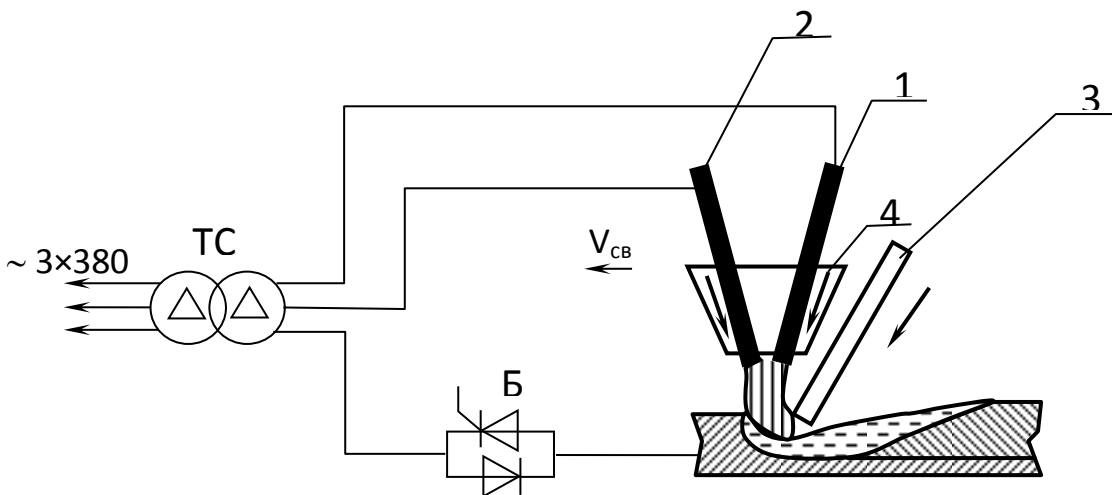


Рис. 12.3. Схема сварки трехфазной дугой

1 и 2 – вольфрамовые электроды; 3 – присадочная проволока; 4 – защитный газ; ТС – трехфазный трансформатор; Б – блок фильтра постоянной составляющей тока

### 10.2.3.3 Сварка плазменной дугой обратной полярности

Применение сварки плазменной дугой обратной полярности позволяет отказаться от устройств фильтрации постоянной составляющей тока и обеспечить непрерывное разрушение окисной пленки. Схема процесса приведена на рис. 6.4.

Плазменной дугой принято называть сжатый дуговой разряд с интенсивным плазмообразованием. Для плазменных дуг, применяемых в сварочном производстве, сжатие столба дуги осуществляется в канале водоохлаждаемого сопла генератора плазменной дуги или плазмотрона. В плазмотроне прямого действия плазменная дуга горит между электродом и изделием и сжимается в интенсивно охлаждаемом канале сопла. Возбуждение плазменной дуги происходит в следующей последовательности:

1. Пробоем промежутка катод-сопло искровым разрядом осциллятора генерируется слаботочная дежурная дуга.
2. Поток плазмообразующего газа плазма дежурной дуги выдувается за пределы сопла, ионизируя промежуток катод - изделие.
3. Возбуждается основная плазменная дуга между электродом и изделием.

Процесс плазменной сварки отличается высокой стабильностью горения и повышенной проплавляющей способностью плазменной дуги. Т.к. вольфрамовые аноды подвергаются интенсивной эрозии, то в плазмотронах для сварки на обратной полярности используются водоохлаждаемые медные аноды (рис. 12.4).

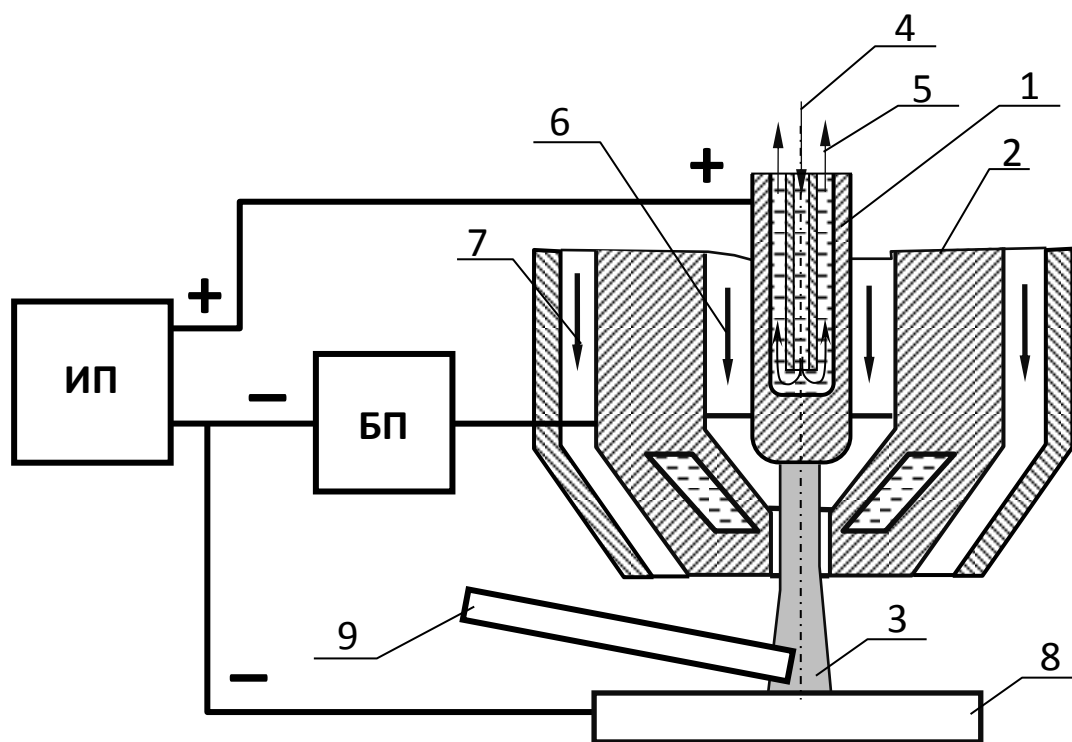


Рис.12.4. Схема сварки плазменной дугой обратной полярности

1 – медный водоохлаждаемый анод; 2 – сопло; 3 – плазменная дуга; 4 – вход охлаждающей воды; 5 – выход воды; 6 – поток плазмообразующего газа; 7 – поток защитного газа; 8 – изделие; 9 – присадочный материал; ИП – источник питания; БП – блок поджига

### **10.3. Оборудование и материалы**

- 1) Установка для ручной плазменной сварки УПС-301УХЛ4.
- 2) Установка для сварки алюминия переменным током УДГ-501.
- 3) Стенд для раскроя металла.
- 4) Стенд для изготовления шлифов.
- 5) Заготовки 6×60×100 из технически чистого алюминия АД1, алюминиево-марганцевого сплава АМц и алюминиево-магниевого сплава АМгЗ.
- 6) Проволока сварочная марки Св-А97, Ø2мм.
- 7) Аргон марки Б по ГОСТ 10157-79.
- 8) Металлическая щетка, шлифовальная шкурка

### **10.4. Порядок проведения работы**

Перед сваркой кромки свариваемого сплава должны быть обезжирены и зачищены на ширине до 40 мм от оси свариваемого шва. Для обезжиривания используют растворители - ацетон, этиловый спирт. После обезжиривания кромки и прилегающие к ним участки шириной до 25 мм зачищаются механическими щетками из нагартованной коррозионно-стойкой проволоки, либо шабером, после чего кромки вновь обезжиривают.

#### **10.4.1. Плазменно-дуговая сварка**

- ознакомиться с постом для плазменной сварки алюминия и его сплавов на базе установки типа УПС-301УХЛ4 (устройством, порядком включения, правилами эксплуатации и ТБ);
- собрать пластины под сварку;
- подготовить пост к работе (проверить коммутацию сварочных цепей, подготовить баллон с аргоном к эксплуатации, установить параметры режима сварки согласно табл.6.1).

Таблица 6.1

Параметры режима плазменной сварки алюминиевых сплавов

Параметр режима	Величина
Полярность включения	Обратная
Диаметр канала сопла, мм	2,0
Ток плазменной дуги, А	200-250
Напряжение на дуге, В	35-40
Расход плазмообразующего газа, л/ч	100
Расход защитного газа, л/ч	300
Расстояние между срезом сопла и изделием, мм	10-15
Скорость сварки, см/с	0,5-0,7

- возбудить дежурную дугу;
- возбудить основную дугу и довести свариваемые кромки до оплавления и разрушения окисной пленки;
- подать присадку в зону сварки и добиться ее усвоения и формирования шва;
- перемещая плазмотрон, сварить пластины;
- повторить сварку для других алюминиевых сплавов (по заданию преподавателя);
- разрезать сварные соединения с целью изготовления шлифов для оценки качества (наличия дефектов) и определения  $\sigma_{\text{в}}$  сварного соединения.
- полученные данные зафиксировать в отчете с необходимыми пояснениями.

#### 10.4.2. Сварка однофазным переменным током

- ознакомиться с постом для сварки алюминия и его сплавов на базе установки типа УДГ-501 (устройством, порядком включения, правилами эксплуатации и ТБ);
- собрать пластины под сварку;
- подготовить пост к работе (проверить коммутацию сварочных цепей, подготовить баллон с аргоном к эксплуатации, установить параметры режима сварки согласно табл.6.2.

Таблица 6.2

## Параметры режима сварки алюминия переменным током

Параметр режима	Величина
Диаметр вольфрамового электрода, мм	Ø 4,0
Ток дуги, А	300-350
Напряжение на дуге, В	30-45
Расход защитного газа, л/ч	500-600
Длина дуги, мм	5-8
Скорость сварки, см/с	0,5-0,7

– возбудить основную дугу и довести свариваемые кромки до оплавления и разрушения окисной пленки;

– подать присадку в зону сварки и добиться ее усвоения и формирования шва;

– перемещая сварочную горелку, сварить пластины;

– повторить сварку для других алюминиевых сплавов (по заданию преподавателя);

– разрезать сварные соединения с целью изготовления шлифов для оценки качества (наличия дефектов) и определения  $\sigma_B$  сварного соединения.

– полученные данные зафиксировать в отчете с необходимыми пояснениями.

### 10.4.3. Содержание отчета

1) Сведения о классификации и свариваемости алюминия и его сплавов

2) Способы сварки алюминия неплавящимся электродом в среде защитных газов.

3) Краткое описание установок для сварки алюминия УПС-301УХЛ4 и УДГ-501 и порядка работы на них.

4) Описание микроструктуры и макроструктуры сварных швов.

5) Сравнительный анализ плазменной сварки постоянным током обратной полярности и аргонодуговой сварки переменным током.

### 10.4.4 Контрольные вопросы

1) Укажите область применения сплавов алюминия.

2) Укажите на диаграмме алюминий –легирующий элемент

области сплавов, упрочняемых и неупрочняемых термообработкой и литейных сплавов.

3) Укажите проблемы свариваемости сплавов алюминия.

4) Укажите преимущества и недостатки аргонодуговой сварки сплавов алюминия однофазным переменным током.

5) Укажите преимущества и недостатки аргонодуговой сварки сплавов алюминия трехфазным переменным током.

6) Укажите преимущества и недостатки плазменной сварки сплавов алюминия постоянным током обратной полярности.

## Лабораторная работа № 11

### 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ ТИТАНА

**11. 1. Цель работы** Ознакомление со сплавами титана и технологией их сварки неплавящимся электродом.

#### 11.2. Теоретические сведения

##### 11.2.1. Металловедение сплавов титана.

Титан относится к легким металлам (плотность  $\rho = 4,505 \text{ г/см}^3$ ,  $T_{\text{пл}} = 1668^\circ\text{C}$ ). Он имеет полиморфное превращение при температуре  $882^\circ\text{C}$  и две аллотропические формы:  $\alpha$  - титан с гексагональной решеткой при температуре до  $882^\circ\text{C}$  и  $\beta$ - титан с объемно-центрированной решеткой при температурах выше  $882^\circ\text{C}$ . Наличие полиморфизма создает предпосылки для улучшения свойств титановых сплавов с помощью термообработки.

Титановые сплавы имеют следующие преимущества по сравнению с другими сплавами:

1) сочетание высокой прочности ( $\sigma_b = 0,8 \div 1,6 \text{ ГПа}$ ) с хорошей пластичностью ( $\delta = 12 \div 15 \%$ ).

2) Наиболее высокую удельную прочность (соотношение  $\sigma_b/\rho$ ) по сравнению с другими сплавами.

3) Относительно хорошая жаропрочность, возможность работать при температурах до  $600 \div 700^\circ\text{C}$ . Сплав ВТ-20 (6%Al, 2% Zr, 1% Mo, 1% V) при  $500^\circ\text{C}$  имеет  $\sigma_b = 0,7 \text{ ГПа}$ , а жаропрочная сталь Х14Н18В2БР –  $0,45 \text{ ГПа}$ .

4. Высокая коррозионная стойкость во многих агрессивных средах (азотная кислота всех концентраций при комнатной и повышенной температурах, кипящие растворы щелочей и т.п.).

Легирующие элементы влияют на полиморфизм титана. Элементы, повышающие температуру  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения и расширяющие  $\alpha$ -область на диаграмме состояния (рис.13а), являются  $\alpha$ -стабилизаторами (алюминий, кислород, азот, углерод). Элементы,

понижающие температуру  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения (рис.13б), являются  $\beta$ -стабилизаторами (железо, молибден, ванадий, хром, марганец, водород).

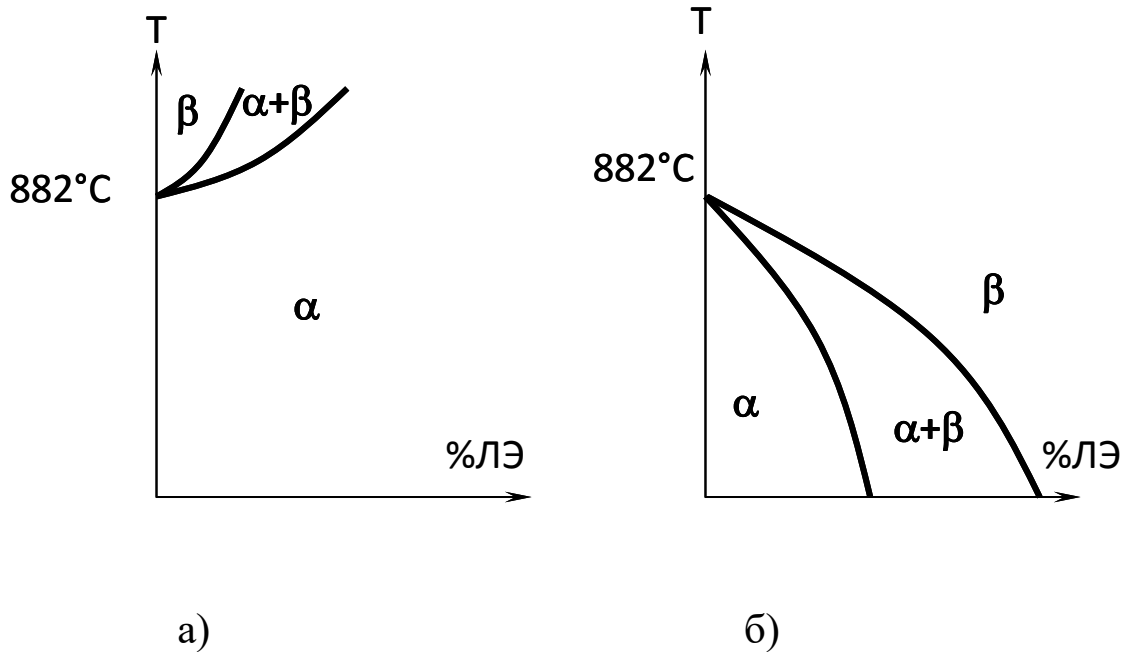


Рис. 13.1. Влияние легирующих элементов на полиморфизм титана  
а –  $\alpha$ -стабилизация; б –  $\beta$ -стабилизация

Кроме того, для некоторых элементов (магний, железо, хром) при охлаждении происходит эвтектоидное превращение  $\beta$ -фазы с выделением интерметаллидов  $Ti_x Me_y$ .

В соответствии с системой легирования титановые сплавы могут иметь структуру  $\alpha$  или  $\alpha+\beta$ . сплавы на основе  $\beta$ -титана не применяются. Титановые сплавы могут подвергаться термообработке (рис. 13.2). Фаза  $\alpha'$  образуется в результате мартенситного превращения  $\beta$ -фазы, о чем свидетельствует ее игольчатое строение.



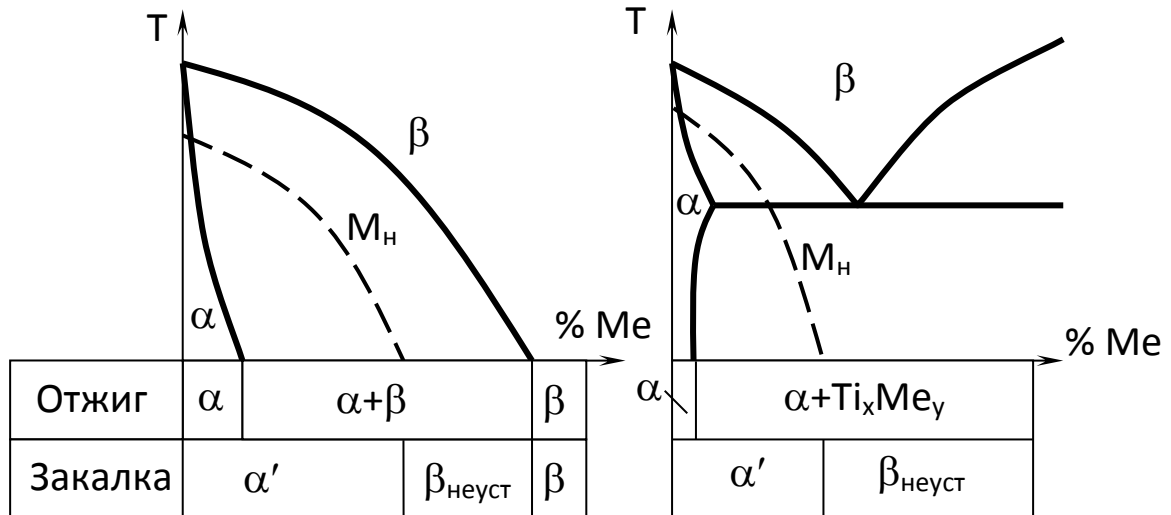


Рис.13.2. Структура титановых сплавов в зависимости от термообработки и содержания легирующих элементов

Данные о некоторых сплавах титана приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1.

Сплавы титана

Микроструктура	Марка сплава	Пределы содержания газов, %			Содержание легирующих элементов, %		$\sigma_b$ , МПа	Термообработка
		N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Al	Другие элементы		
$\alpha$	BT1-00	0,05	0,10	0,008	Технический титан	—	300÷450	Отжиг
	BT1-0	0,04	0,12	0,01			450÷500	
	BT1-1	0,05	0,15	0,012			500÷550	
	BT-5	0,05	0,20	0,015	4,3÷6,0	—	700÷950	
	BT5-1	0,05	0,15	0,015	4,0÷5,5	2,0÷3,0 Sn	800÷1000	
Псевдо- $\alpha$ -сплав	BT6	0,05	0,20	0,015	5,0÷6,5	3,5÷4,5 V	900÷1100	Закалка + искусственное старение
$\alpha+\beta$	BT14	0,05	0,15	0,015	3,5÷5,5	2,5÷3,8 Mo 0,1 Zr	1300	

### 11.2.2. Проблемы свариваемости

Основной трудностью при сварке титана является его высокая химическая активность по отношению к газам при нагреве и расплавлении. При температурах 350°C и выше титан активно поглощает кислород с образованием структур внедрения, имеющих высокую прочность, твердость и малую пластичность. Кислород стабилизирует  $\alpha$ -фазу за счет образования  $TiO_2$  (рутила) с образованием поверхностного слоя большой твердости, который называется альфированным слоем.

При температурах 550°C и выше титан энергично растворяет азот с образованием малопластичных фаз внедрения - нитридов  $TiN$  и  $Ti_3N$ . Азот, находящийся в титане в виде нитридов и элементов внедрения, повышает твердость и снижает его пластичность. Концентрируется в альфированном поверхностном слое. Попадание частиц этого слоя в сварной шов приводит к охрупчиванию металла и образованию холодных трещин, поэтому перед сваркой его необходимо удалять.

Водород даже при малом содержании наиболее резко ухудшает свойства титана. Он образует отдельную фазу – гидрид титана ( $TiH_2$ ), которая сильно охрупчивает титан и способствует образованию холодных трещин через длительное время после сварки (замедленное разрушение). Кроме того, водород способствует образованию пор. Допустимое содержание водорода - до 0,015%. Для снижения содержания водорода сварочную проволоку подвергают вакуумному отжигу.

Титан и его сплавы чувствительны к росту зерна при нагреве до высоких температур, особенно в области  $\beta$ -фазы. Низкая теплопроводность титана способствует увеличению времени пребывания шва и ОШЗ при высоких температурах. Например, время пробивания ОШЗ на титане выше температуры превращения превосходит аналогичный параметр для стали в 2,5-3 раза. Чтобы преодолеть указанное затруднение, сварку выполняют при минимально возможной погонной энергии.

$\alpha$ - и псевдо- $\alpha$ -сплавы титана удовлетворительно свариваются различными способами сварки плавлением в широком диапазоне скоростей охлаждения. Наилучшие характеристики пластичности достигаются при средних и относительно высоких скоростях охлаждения (при содержании газов ниже допустимой нормы). Для

металла шва и ОШЗ характерна микроструктура игольчатой  $\alpha'$ -фазы, образование которой связано с мартенситным превращением высокотемпературной  $\beta$ -фазы при быстром остывании (рис.13.3).



Рис.13.3. Микроструктура металла шва сплава ВТ5 ( $\times 300$ )

При сварке сплавов, содержащих свыше 3%  $\beta$ -стабилизаторов, металл шва уступает основному металлу по пластичности и более склонен к образованию трещин. Для обеспечения равнопрочности сварного соединения при сварке необходимо применять присадочные материалы, отличные от основного металла.

На рис.13.4 приведены микроструктуры металла швов сплава ВТ6, сваренного различными проволоками.

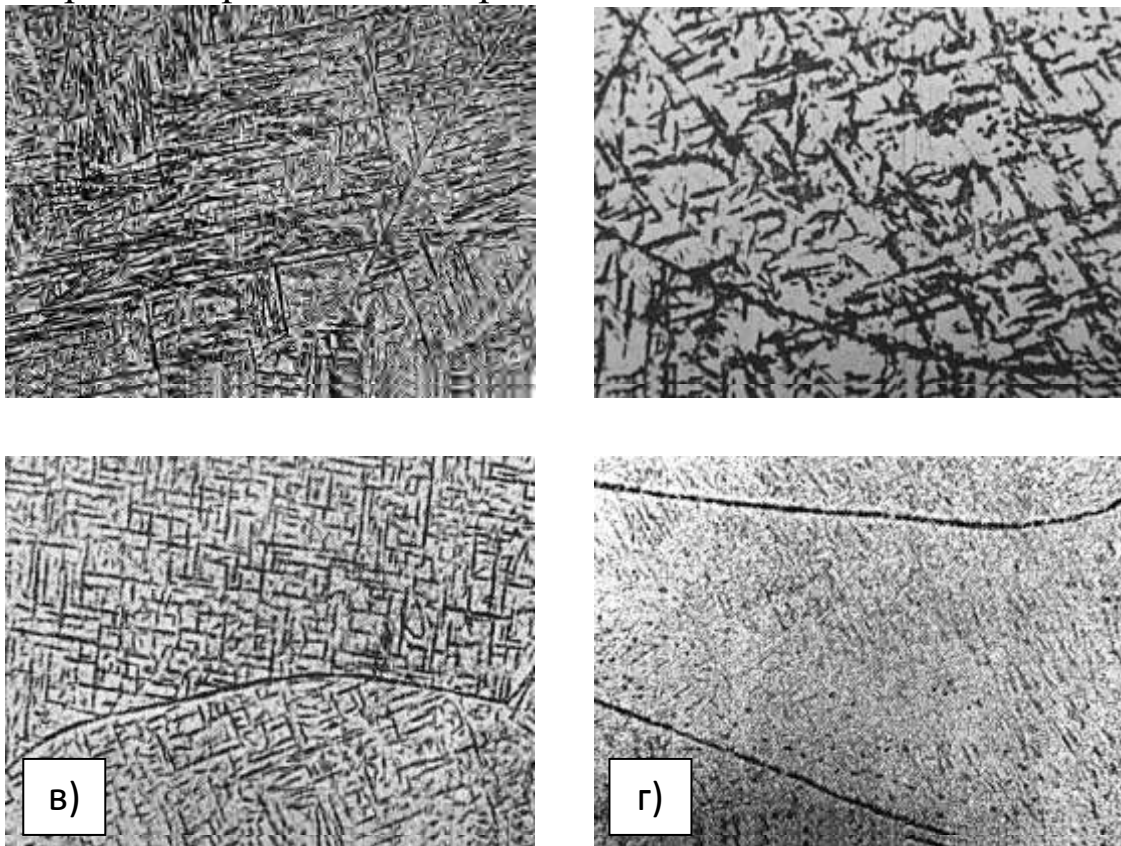


Рис. 13.4. Микроструктура сварных швов сплава ВТ6 ( $\times 300$ )

а – проволока ВТ1; б – ВТ5-1; в – ВТ-6; г – ВТ14

Структура шва, сваренного проволокой из технически чистого титана ВТ1, аналогична по структуре шва полученного с использованием  $\alpha$ - сплава ВТ5-1. Однако игольчатая  $\alpha'$ -фаза в первом случае имеет большие линейные размеры и несколько тоньше. При сварке двухфазной проволокой ВТ6 иглы  $\alpha'$ -фазы тоньше и короче, а на их границах залегают тонкие прослойки  $\beta$ -фазы, различимые только в электронный микроскоп. При сварке проволокой ВТ14 количество  $\beta$ -фазы растёт, дисперсность игл  $\alpha'$ -фазы увеличивается, а по границам зерен выпадает  $\alpha$ -фаза.

В процессе проведения работы планируется сравнить сварные соединения сплава ВТ6, сваренного различными проволоками неплавящимся электродом в среде аргона. Оценка пластичности металла шва и ЗТВ производится по результатам замера твердости. Предусматривается также металлографический анализ.

### 11.3. Оборудование

- 1) Пост аргонодуговой сварки на базе выпрямителя ВД-306.
- 2) Раскройный стенд.
- 4) Установка для изготовления шлифов.
- 5) Твердомер ТК-2
- 7) Металлографический микроскоп МИМ-7.
- 8) Цифровой фотоаппарат

### 11.4. Материалы

- 1) Вольфрамовые электроды  $\varnothing 4,0$  мм
- 2) Проволоки  $\varnothing 1,6 \div 2,0$  мм марок ВТ1, ВТ 5-1, ВТ6, ВТ14.
- 3) Заготовки из сплава титана ВТ6  $4 \times 40 \times 60$  мм.
- 4) Набор шлифовальных бумаг.
- 5) Травитель шлифов (плавиковая кислота )
- 6) Аргон марки А.

### 11.5. Порядок проведения работы

7.4.1. На заготовку из сплава ВТ6 наплавить валик с использованием присадочной проволоки ВТ1. Ориентировочные режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом – ток дуги

200÷250 А, напряжение на дуге 24÷26 В, скорость сварки 0,5 см/с, расход защитного газа 10 л/мин.

7.4.2. Изготовить поперечный микрошлиф валика и снять на цифровой фотоаппарат его микроструктуру.

7.4.3. Построить график распределения твердости по Роквеллу по поперечному сечению валика.

7.4.4. Действия по пп. 7.4.1 – 7.4.3 повторить для проволок ВТ5-1, ВТ6 и ВТ14.

7.4.5. Сделать сравнительный анализ вариантов сварки с выработкой технологических рекомендаций.

## **11.6. Содержание отчета**

- 1) Цель работы.
- 2) Краткая характеристика сплавов титана.
- 3) Проблемы свариваемости.
- 4) Порядок проведения работы
- 5) Результаты работы (снимки микроструктур, графики распределения твердости).
- 6) Выводы с технологическими рекомендациями

## **11.7. Контрольные вопросы**

- 1) Какова кристаллическая решетка  $\alpha$ - титана?
- 2) Какова кристаллическая решетка  $\beta$ - титана?
- 3) Укажите равновесную температуру  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения.
- 4) Какие легирующие элементы являются  $\alpha$ -стабилизаторами?
- 5) Какие легирующие элементы являются  $\beta$ -стабилизаторами?
- 6) Приведите марки  $\alpha$ -сплавов титана.
- 7) Приведите марки  $\beta$ -сплавов титана.
- 8) Укажите проблемы свариваемости сплавов титана.

### Библиографический список

1. Теория сварочных процессов /В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 2007.– 559 с.
2. Лившиц Л.С. Металловедение дна сварщиков (сварка сталей).– М. : Машиностроение, 1979. – 253 с.
3. Лившиц Л.С., .Хакимов А.Н. Металловедение сварки, и термическая обработка сварных соединений. – М. : Машиностроение,.2001– 266 с.
4. Сварка и свариваемые материал. Т.1. Свариваемость материалов. справ. изд. /под ред. Э.Л. Макаров // М: Metallurgy, 1991. – 129 с.
5. Богомолова Н.А. Практическая металлография. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.
6. Коваленко В.С. Металлографические реактивы. Справочник. – М: Metallurgy, 1981. – 129 с.
- 7 Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст]: А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
- 8 Технология и оборудование контактной сварки /под ред. Б.Д. Орлова. М.: Машиностроение, 1986. 386 с.