

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 27.09.2023 12:06:42
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668a

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Методические указания к выполнению лабораторных работ для
студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение»**

Курск 2019

УДК 621.791

Составители: Ю.А. Артеменко, А.Н. Гречухин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.С. Зубкова*

Теория сварочных процессов: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: Ю.А. Артеменко, А.Н. Гречухин. – Курск, 2019. – 70 с. – Библиогр.: с. 70.

Излагаются методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по курсу «Теория сварочных процессов». Указываются порядок выполнения работ и составления отчета.

Предназначены для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства» очной и заочной форм обучения

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.09.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 3,7. Уч. –изд. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 566. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск ул. 50 лет Октября, 94.

Оглавление

Лабораторная работа № 1. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ДУГОВЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ.....	4
Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ компонентов ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	10
Лабораторная работа № 3. Изучение ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА с неплавящимся электродом.....	15
Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДУГИ И СВАРОЧНОГО КОНТУРА.....	22
Лабораторная работа № 5. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОРЕНИЯ ДУГИ НА ПРОЦЕСС ПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ.....	27
Лабораторная работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГИ.....	31
Лабораторная работа №7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ.....	36
Лабораторная работа № 8. ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОР ПРИ СВАРКЕ.....	40
Лабораторная работа № 9. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ.....	44
Лабораторная работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СВАРНОГО ШВА.....	47
Лабораторная работа №11. ИЗУЧЕНИЕ МАКРО- и МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	53
Лабораторная работа №12. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ.....	60
Лабораторная работа №13. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ.....	62
Лабораторная работа №14. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ.....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ДУГОВЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ

Цель работы

Ознакомление с оборудованием и процессами дуговой сварки покрытыми электродами, в среде защитных газов и под слоем флюса.

Теоретическое введение

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемного соединения за счет образования атомно-молекулярных связей между элементарными частицами сварного соединения. Высокая производительность процесса и качество сварных соединений, возможность механизации и автоматизации и рациональное использование металла сделали сварку прогрессивным и экономически выгодным технологическим процессом.

Для успешного протекания процесса сварки необходимо использование источников энергии, обеспечивающих концентрацию энергии и температуру нагрева, достаточную для плавления металла в пределах заданной достаточно ограниченной зоны (сварного шва) без интенсивного испарения. Этим требованиям в полной мере соответствует дуговой разряд в газах (дуга) с температурой нагрева порядка 6000°С. Дуговые способы сварки получили наибольшее распространение (около 85% объема всех сварочных работ) благодаря простоте, стабильности и возможности механизации и автоматизации процесса, а также сравнительно несложному оборудованию.

Рассмотрим наиболее распространенные способы дуговой сварки.

Схема процесса ручной дуговой сварки (РДС) покрытыми электродами представлена на рис.1. Дуга 3 горит между электродным металлическим стержнем 1 и основным металлом 4. На стержень наносится покрытие 2, состоящее из шлако- и газообразующих, ионизирующих, легирующих и связующих компонентов. Теплом дуги стержень расплавляется и его капли совместно с оплавленным основным металлом образует ванну расплавленного металла 5 (сварочную ванну). Вместе со стержнем

плавится электродное покрытие, образуя газошлаковую защиту дуги 6 и сварочной ванны от атмосферы. Электрод подается вручную в зону сварки со скоростью $v_э$, равной скорости его плавления. Дуга также вручную перемещается вдоль свариваемых кромок со скоростью сварки $v_{св}$. По мере ее продвижения сварочная ванна кристаллизуется с образованием сварного шва 8, а жидкий шлак – шлаковой корки 7.

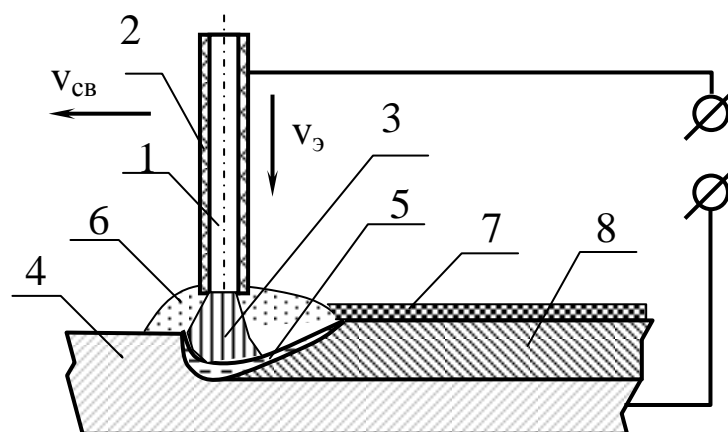


Рис. 1. Схема РДС

Для возбуждения дугового разряда необходимым условием является наличие электрического поля между электродом и изделием и первичная ионизация дугового промежутка. В этом случае первичные заряженные частицы ускоряются под действием электрического поля и сталкиваются с нейтральными атомами газовой среды, которые в результате ионизируются с образованием положительных ионов и электронов. Вновь образовавшиеся заряженные частицы также ускоряются и участвуют в процессе ионизации, который развивается лавинообразно. При достижении достаточной степени ионизации дугового промежутка дуговой разряд стабилизируется.

Источником первичной ионизации при РДС является взрыв контактных перемычек при закорачивании электрода на изделие. После короткого замыкания необходим скорейший отвод торца электрода от изделия, в противном случае происходит приваривание его к поверхности основного металла.

Преимуществами РДС являются:

- простота оборудования;

- возможность сварки в монтажных условиях в любых пространственных положениях.

Недостатки РДС:

- низкая производительность;
- тяжелые условия труда оператора;
- повышенные требования к квалификации оператора.

Для повышения производительности и качества сварки разработаны механизированные и автоматизированные способы сварки. На рис. 2 приведена схема полуавтоматической сварки в среде защитных газов.

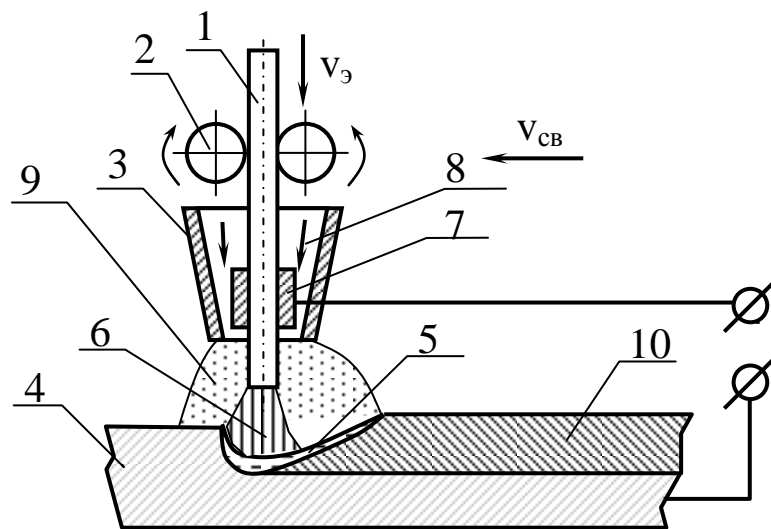


Рис. 2. Схема сварки в среде защитных газов

В отличие от РДС, при полуавтоматической сварке дуга 6 горит между изделием и непрерывно подаваемой роликами подающего механизма 2 в зону сварки со скоростью $v_э$ электродной проволокой 1. Ток подводится к проволоке осуществляется через токосъемный наконечник 7 в сварочной горелке. Зона защиты 9 от воздуха сварочной ванны 5 и дуги создается потоком 8 защитного газа (CO_2) через сопло 3. Тепло 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.

Преимущества полуавтоматической сварки в среде защитных газов по сравнению с РДС:

- высокая производительность;
- высокое качество сварки;
- снижение требований к квалификации оператора.

Недостатки полуавтоматической сварки в среде защитных газов:

- усложнение оборудования;
- вредные условия труда.

Дальнейшим развитием процесса полуавтоматической сварки является автоматическая сварка под слоем флюса, схема которой приведена на рис. 3.

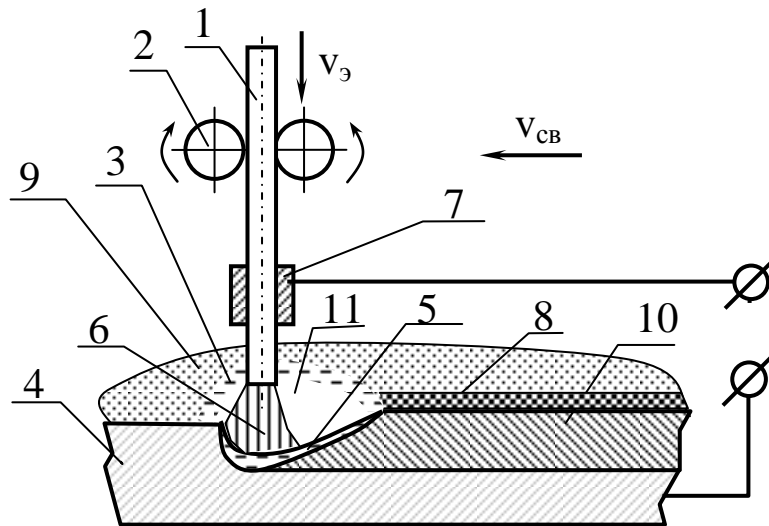


Рис. 3. Схема сварки под слоем флюса

При автоматической сварке под слоем флюса дуга 6 горит между изделием и непрерывно подаваемой роликами подающего механизма 2 в зону сварки со скоростью $v_э$ электродной проволокой 1. Ток подводится к проволоке осуществляется через токоподъемный 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 огра-

ничивает 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.

Основные преимущества сварки под флюсом:

- высокая производительность за счет автоматизации процесса сварки;
- высокое качество сварки;
- минимальные требования к квалификации оператора;
- улучшенные условия труда, в частности, за счет отсутствия излучения дуги.

Недостатки полуавтоматической сварки в среде защитных газов:

- дальнейшее усложнение оборудования;
- необходимость подачи и уборки флюса и удаления шлаковой корки;
- невозможность наблюдения за дугой;
- сварка возможна только в нижнем положении.

Оборудование и материалы

1. Пост ручной дуговой сварки.
2. Установка для полуавтоматической сварки в среде CO_2 .
3. Установка для автоматической сварки под флюсом.
4. Электроды для РДС марки МР-3.
5. Сварочная проволока Св. 08Г2С.
6. Баллон с углекислым газом.
7. Сварочный флюс АН-348.
8. Стальные пластины 160×80×4 мм.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством и порядком подготовки сварочных установок к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

2. После инструктажа преподавателя на установке для РДС возбудить дуговой разряд контактным способом и наплавить контрольный валик на поверхность стальной пластины. Необходимо стремиться подавать электрод в зону горения дуги со скоростью плавления и равномерно перемещать дугу.
3. После инструктажа преподавателя наплавить контрольный валик полуавтоматической сваркой в среде CO_2 . Сравнить сложность процессов РДС и полуавтоматической сварки.
4. После инструктажа преподавателя наплавить контрольный валик сваркой под слоем флюса. Сравнить качество сварки по сравнению с РДС и полуавтоматической сваркой в среде CO_2 .

Содержание отчета по работе

1. Схемы и сущность изученных способов сварки.
2. Сравнительный анализ изученных способов сварки.

Контрольные вопросы

1. Укажите необходимые условия возбуждения дугового разряда.
2. Укажите источник первичной ионизации при контактных способах возбуждения дуги.
3. Опишите сущность, преимущества и недостатки изученных способов дуговой сварки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗУЧЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы

Изучение методики определения ионизирующей (стабилизирующей) способности компонентов электродных покрытий.

Теоретическое введение

Стабильность горения дуги является одной из важнейших технологических характеристик покрытых электродов для ручной дуговой сварки. Для поиска путей ее повышения необходимы знания процессов в столбе дуги.

Столб дуги представляет собой плазму, содержащую помимо атомов и молекул газа свободные ионы и электроны. В плазме столба непрерывно происходят процессы ионизации и рекомбинации заряженных частиц. Ионизация идет двумя основными путями – соударением и поглощением квантов излучения. Количество носителей зарядов в плазме столба дуги определяет его проводимость и, как следствие, стабильность горения дуги.

Проводимость столба дуги пропорциональна степени ионизации x , которая для однородного газа определяется из уравнения Саха ($x \ll 1$):

$$x = 0,183aT^{5/4}p^{-1/2}\exp\left(-\frac{5800U}{T}\right), \quad (1)$$

где a – квантовый коэффициент газа, изменяется от 1 до 4;

p – давление, Па;

T – абсолютная температура, °К;

U – потенциал ионизации, В.

Потенциалом ионизации называется энергия, которую необходимо сообщить атому для отрыва с его внешней оболочки одного электрона. Он является периодической функцией атомного номера элемент. Наименьший потенциал ионизации имеют щелочные и щелочноземельные металлы, наибольший – инертные газы, причем он растет с уменьшением атомного номера ($U_{\text{He}} < U_{\text{Ar}}$). Значения потенциалов однократной ионизации

для некоторых элементов, часто встречающихся в атмосфере сварочных дуг, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Потенциал однократной ионизации

Эле- мент	K	Na	Ca	Fe	O	N	F	C	Ar
U, эВ	4,3	5,11	6,08	7,83	13,6	14,5	18,6	10,8	15,7

Т. к. в реальных условиях сварки атмосфера дугового промежутка представляет собой смесь газов и паров металлов, то в уравнение (1) подставляется значение эффективного потенциала ионизации $U_{эф}$, который оценивается по формуле

$$U_{эф} = -\frac{T}{5800} \ln \sum_{i=1}^n N_i^{1/2} \exp\left(-\frac{5800U_i}{T}\right), \quad (2)$$

где N_i – молярная концентрация i -ого компонента;

U_i – его потенциал ионизации.

Для оценки устойчивости дуги и испытания компонентов электродных покрытий для конкретных вариантов К.К. Хреновым была предложена специальная методика в которой в качестве критерия устойчивости горения дуги была предложена разрывная длина дуги ℓ_p . Схема испытаний приведена на рис.4. Электродный стержень устанавливается вертикально в штатив над стальной пластиной, зачищенной до металлического блеска. Расстояние нижнего конца электрода до пластины составляет 1,5 мм.

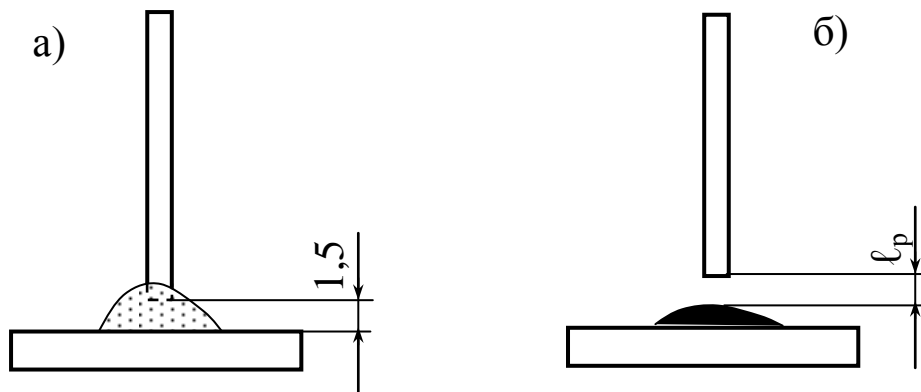


Рис. 4. Схема замера разрывной длины дуги

После установки стержня вокруг его торца "горкой" засыпается исследуемый компонент (рис.4,а). Далее возбуждается дуга, которой дают гореть до естественного обрыва. Разрывная длина дуги равна расстоянию между торцом электрода и наплавленным металлом (рис. 4,б).

Оборудование и материалы

1. Сварочный трансформатор.
2. Штатив для закрепления электродного стержня с механизмом вертикального перемещения, снабженного измерительной шкалой.
3. Сварочный осциллятор параллельного включения.
4. Соединительные кабели.
5. Стальные стержни $\varnothing 4,0$ мм и электроды МР-3 $\varnothing 4,0$ мм.
6. Порошкообразные компоненты электродных покрытий (мел или мрамор CaCO_3 , плавиковый шпат CaF_2 , красная кровяная соль $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$).

Порядок проведения работы

1. Собрать электрическую схему установки в соответствии с рис.5.
2. Установить в штативе электродный стержень, зачищенный до металлического блеска согласно рис. 4,а.

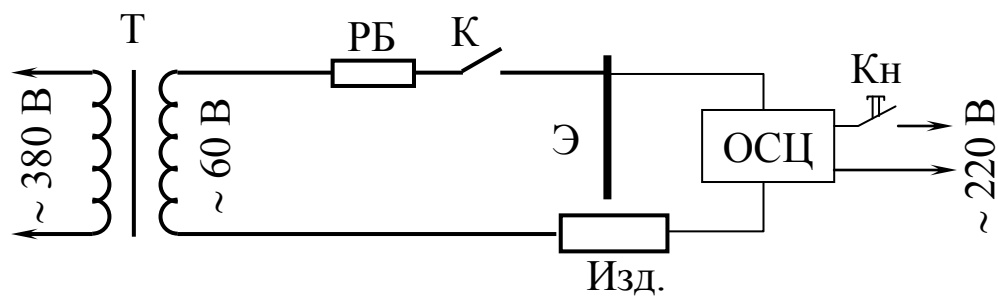


Рис.5. Электрическая схема установки

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

3. 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 2.

4. Установить в штативе электродный стержень, зачищенный до металлического блеска, и засыпать его мелом согласно рис. 4,а.

5. Повторить эксперимент по п.3.

6. Повторить эксперимент по п.4 для остальных компонентов, а также для электродов МР-3.

7. С использованием взятых из литературных источников ориентировочных данных по составу газовых смесей в атмосфере столба дуги, приведенных в таблице 2, вычислить по формуле (2) эффективный потенциал ионизации для каждого опыта. Потенциалы ионизации для компонентов приведены в таблице 1. Расчет рекомендуется вести с использованием рабочих таблиц Microsoft Excel.

Таблица 2

Результаты опытов по определению ℓ_p и расчету $U_{эф}$

№ пп	Материалы	ℓ_p , мм	Молярная концентрация элемента							$U_{эф}$, эВ
			Fe	K	O	N	C	F	Ca	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Электрод без покрытия		0,45	0	0,15	0,45	0	0	0	
2	Электрод без покрытия + CaCO ₃		0,45	0	0,05	0,01	0,05	0	0,35	
3	Электрод без покрытия + CaF ₂		0,3	0	0,05	0,1	0	0,4	0,05	

4	Электрод без покрытия + $K_3Fe(CN)_6$		0,3	0,1 5	0,1	0,2	0,2	0	0
5	Электрод МР-3		0,4	0,0 5	0,0 5	0,0 7	0,2	0	0,1

8. По данным столбцов 11 и 3 таблицы 2 построить график квадратичного уравнения регрессии $l_p(U_{эф})$ и определить коэффициент корреляции с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика проведения опытов.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Заполненная таблица 2.
5. График уравнения регрессии $l_p(U_{эф})$ с экспериментальными точками.
6. Выводы с указанием основных факторов, влияющих на устойчивость горения дугового разряда.

Контрольные вопросы

1. Какие процессы происходят в столбе дуги?
2. Что называется потенциалом ионизации?
3. Дайте определение эффективного потенциала ионизации и формулу для его определения. Как влияет он на проводимость столба дуги?
4. Какие элементы вводят в плазму дугового разряда для повышения его стабильности?
5. Порядок проведения работы.
6. Критерий устойчивости дугового разряда, применяемый в работе.
7. Краткое описание лабораторной установки.
8. Способ возбуждения дугового разряда.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИЗУЧЕНИЕ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Цель работы

Ознакомление со строением дугового разряда постоянного тока, определение коэффициентов уравнения дуги, построение вольтамперных характеристик (ВАХ), изучение влияния полярности дуги на стабильность ее горения и стойкость неплавящегося электрода.

Теоретическое введение

Дуга – устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров металлов, отличающийся высокой температурой и высокой плотностью тока. Дуговой разряд находит широкое применение в сварочном производстве благодаря простоте оборудования и высокой стабильности и управляемости процесса.

В дуговом разряде выделяются три области: анодная протяженность ℓ_a , катодная ℓ_k и столб дуги ℓ_c (рис. 6).

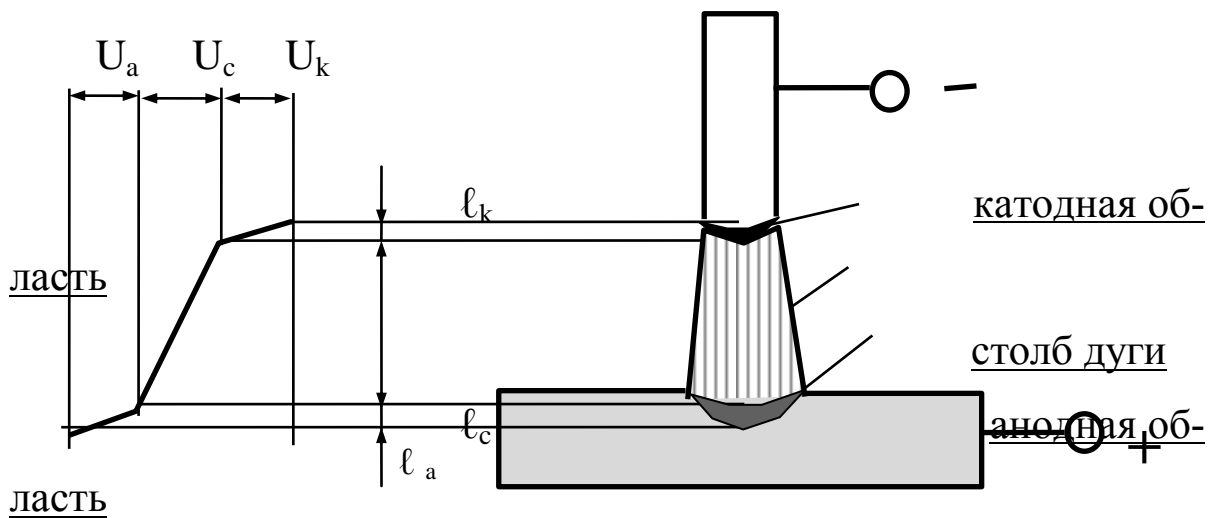


Рис.3. Схема дугового разряда

В анодной и катодной области наблюдаются значительные падения напряжения, вызванные концентрацией заряженных частиц. На поверхности анода и катода образуются соответствующие пятна дуги, характеризующиеся ярким свечением вследствие высокой концентрации энергии. Они являются основаниями столба дуги.

Общая длина дуги

$$\ell_d = \ell_a + \ell_k + \ell_c. \quad (3)$$

Но т.к. $\ell_a \cong 10^{-2}$ мм, а $\ell_k \cong 10^{-4}$ мм, т.е. ничтожно малы по сравнению с протяженностью столба дуги, то практически $\ell_d = \ell_c$.

Общее напряжение на дуге равно сумме падений напряжений соответствующих областей

$$U_d = U_a + U_k + U_c. \quad (4)$$

U_d линейно зависит от ℓ_d :

$$U_d = a + b\ell_d, \quad (5)$$

где $a = U_a + U_k$, зависит от материала электродов и атмосферы дуги;

b – градиент потенциала в столбе дуги, зависит от материала электродов и атмосферы дуги.

Для определения коэффициентов a и b уравнения (5) на основании данных эксперимента рассчитывается линейное уравнение регрессии $U_d(\ell_d)$.

При сварке неплавящимся электродом (уголь, вольфрам) конструкционных металлов и сплавов (стали, алюминий, титан и т.д.) дуга горит между электродами с резко различающимися теплофизическими свойствами, что обуславливает различие в температуре их нагрева, которая не превышает температуру их кипения. Температура нагрева катода является важнейшим фактором, влияющим на плотность тока термоэлектронной эмиссии и, следовательно, устойчивость дугового разряда. Согласно уравнению Ричардсона - Дешмена плотность тока термоэлектронной эмиссии j_T равна

$$j_T = AT^2 e^{-\frac{\varphi}{kT}} \quad (6)$$

где A – эмиссионная постоянная, равная $120 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{°K}$

ϕ – работа выхода электрона из эмиттера;

T – абсолютная температура;

k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/°K}$

Полярность подключения (положение катода и анода на неплавящемся электроде и изделии), определяющая теплофизические условия на катодном пятне, прямо влияет на устойчивость дугового разряда и скорость эрозии неплавящегося электрода. За показатель устойчивости дуги в работе принята разрывная длина дуги, а степени стойкости угольного электрода – изменение твердости наплавленного металла за счет насыщения его углеродом угольного электрода.

Оборудование и материалы

1. Сварочный выпрямитель с амперметром постоянного тока.
2. Вольтметр постоянного тока.
3. Штатив с механизмом вертикального перемещения электрода.
6. Угольные и стальные пластины.
7. Угольные электроды.

Порядок выполнения работы

1. Собрать лабораторную установку в соответствии со схемой на рис.7(прямая полярность подключения).

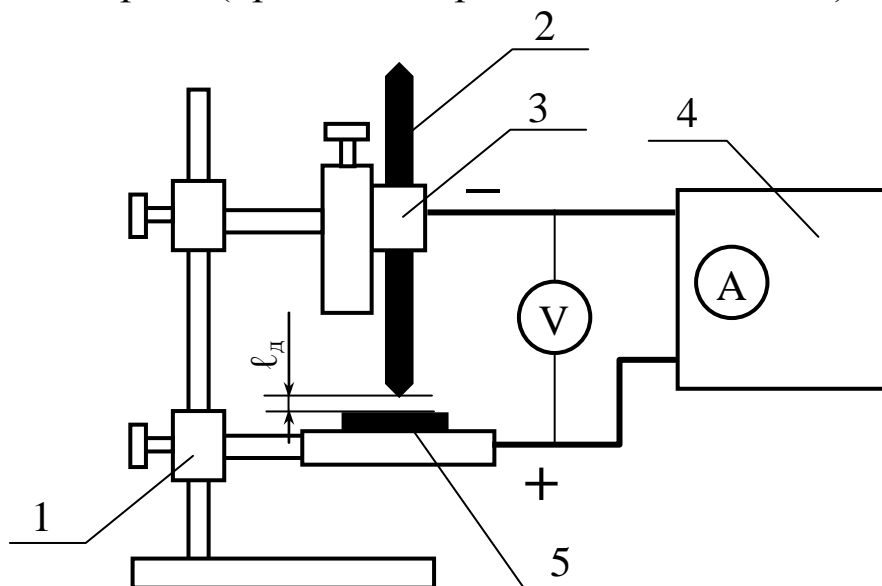


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

1 – штатив, 2 – угольный электрод; 3 – подъемный механизм; 4 – сварочный выпрямитель ВД-306; 5 – изделие; А – амперметр постоянного тока; V – вольтметр постоянного тока

2. Закрепить угольный электрод в подъемный механизм и установить расстояние между нижним торцом электрода и угольной пластиной 2 мм. Возбудить дуговой разряд путем закорачивания дугового промежутка вспомогательным угольным электродом и измерить напряжение на дуге. Результат измерения занести в таблицу 3.

3. Изменяя с помощью подъемного механизма длину дуги от первоначального до 8 мм, повторить измерения напряжения на дуге через каждые 2 мм с занесением результатов в таблицу 3.

4. По полученным точкам с помощью пакета программ Microsoft Excel построить график линейного уравнения регрессии $U_d = f(l_d)$. рассчитать коэффициенты а и b уравнения (5) и записать их значения в таблицу 2.

5. Повторить опыты по пп. 2-4 для стальной пластины.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии (5)

Материал		l _д , мм	U _д , В	Коэффициент	
катод	анод			a	b
Уголь	Уголь	2			
		4			
		6			
		8			
Уголь	Сталь	2			
		4			
		6			
		8			

6. Рассчитать по уравнению (6) плотность тока термоэлектронной эмиссии для железного и угольного катодов. Температуру T принять равной температуре кипения материала катода (для железа T= 3150 оК, для угольного электрода T = 5000 оК).

Для угольного катода $\varphi = 6,88 \cdot 10^{-19}$ Дж, для железного – $\varphi = 6,976 \cdot 10^{-19}$ Дж. Результаты расчета занести в таблицу 4.

7. При прямой полярности подключения установить зазор 3 мм между угольным электродом и стальной пластиной. Возбудить дуговой разряд, измерить силу тока дуги и занести результаты измерения в таблицу 4.

8. С помощью подъемного механизма увеличивать длину дуги до ее разрыва. Зафиксировать напряжение на дуге в момент разрыва U_p и измерить разрывную длину дуги l_p . Опыт повторить 3 раза. Занести результаты измерений в таблицу 4.

Таблица 4

Влияние полярности на устойчивость дугового разряда

№ опыта	Катод	Анод	j_T , А / мм ²	I_d , А	U_p , В	l_p , мм			
						№ замера			Сред нее
						1	2	3	
1	Уголь- ный электрод	Стальная пластина							
2	Стальная пластина	Уголь- ный электрод							

9. Повторить опыты по пп. 7-8 для обратной полярности.

10. Сделать выводы о влиянии полярности дуги с неплавящимся электродом на ее стабильность.

11. Собрать схему прямой полярности для угольного электрода и угольной пластины. Установить зазор между электродом и пластиной 2 мм. Настроить источник питания на минимальный ток дуги. Возбудить дугу и измерить ее напряжение и ток. Результаты измерений занести в таблицу 5.

Таблица 5

Данные для построения ВАХ дуги

Ток дуги, А					
Напряжение, В					

12. Последовательно увеличивая силу тока, повторить опыт по п. 11. 4 раза.

13. Построить график вольтамперной характеристики (ВАХ) дуги и выделить характерные участки.

14. Возбудить дугу прямой полярности между угольным электродом и зачищенной до блеска пластиной из стали Ст.3. Время горения дуги – 5 с. После полного остывания образца на воздухе измерить твердость проплавленного участка. Результаты опыта занести в таблицу 6.

15. Повторить опыт по п.14 для обратной полярности

16. Сделать выводы о влиянии полярности на стойкость угольного электрода.

Таблица 6

Влияние полярности на стойкость электрода

Полярность	Твердость металла в зоне проплавления, НРС			Средняя твердость
	№ замера			
	1	2	3	
Прямая				
Обратная				

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание методики проведения работы.
3. Схема установки.
4. Заполненные таблицы 3–6.
5. Графики функции $U_d = f(\ell_d)$ и ВАХ дуги.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные преимущества дугового разряда.
2. Из каких областей состоит дуговой разряд?
3. Укажите физический смысл и размерность коэффициентов a и b в уравнении $U_d = f(\ell_d)$.
4. Какие факторы определяют плотность тока термоэлектронной эмиссии?
5. Как влияет полярность дуги с неплавящимся электродом на ее стабильность?

6. Как влияет полярность дуги с неплавящимся электродом на стойкость материала электрода к эрозии?
7. Методика проведения работы.
8. Чем объясняется возрастание твердости зоны проплавления при обратной полярности?
9. Почему для изучения ВАХ дуги используется угольная, а не стальная пластина?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДУГИ И СВАРОЧНОГО КОНТУРА

Цель работы

Ознакомление с методикой анализа магнитных полей дуги и сварочного контура и оценки воздействия собственных и внешних магнитных полей на дуговой разряд.

Теоретическое введение

Столб дуги представляет собой эластичный проводник тока, способный перемещаться под действием сил магнитного давления, пропорционального напряженности магнитного поля. Рассмотрим распределение магнитных полей сварочного контура «проводник тока - электрод - столб дуги - изделие - проводник тока» (рис.8). Семейство силовых линий напряженности магнитного поля проводника тока представляет собой концентрические окружности. Направление вектора H определяется по правилу буравчика.

Из рис.8 следует, что внутри сварочного контура (слева от электрода) наблюдается концентрация магнитных силовых линий. Столб дуги будет отклоняться в сторону меньшего магнитного давления (меньшей напряженности магнитного поля), т.е. вправо.

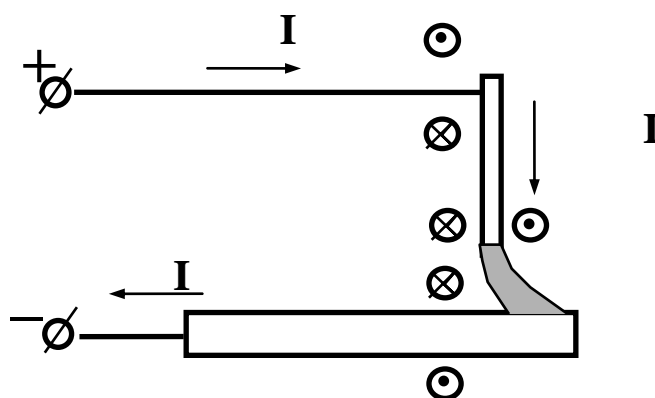


Рис. 8. Схема магнитного дутья

Явление отклонения столба дуги под действием магнитного поля сварочного контура называется магнитным дутьем. Магнитное дутье вызывает блуждание пятна дуги на изделии

при сварке постоянным током и ухудшает качество формирования сварного соединения. Для подавления магнитного дутья применяются симметричный токоподвод, максимальное приближение места токоподвода к зоне сварки и сварка на переменном токе.

Частным случаем магнитного дутья является явление притяжения столба дуги к ферромагнитной массе. Вследствие высокой магнитной проницаемости плотность силовых линий напряженности магнитного поля в ферромагнитной массе уменьшается, магнитное давление падает и столб дуги притягивается.

Рассмотрим взаимодействие двух дуг постоянного тока (рис.9).

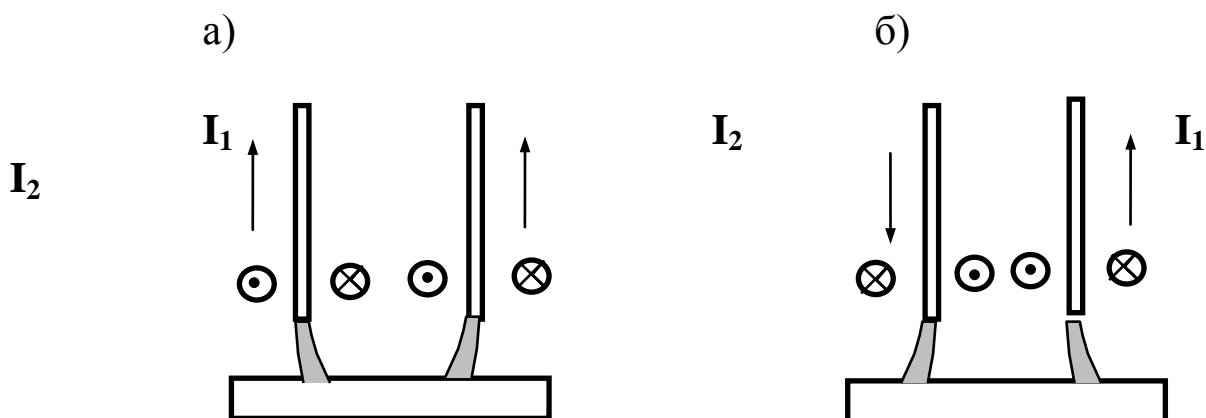


Рис.9. Схема взаимодействия двух дуг постоянного тока
а - дуги одной полярности, б - разнополярные дуги

Из рис.9 следует, что между однополярными дугами имеет место вычитание (рис.9а), а между разнополярными (рис.9б) – сложение магнитных полей. Дуги отклоняются в сторону меньшего магнитного давления, т.е. однополярные дуги притягиваются, а разнополярные – отталкиваются.

При наложении внешних магнитных полей появляется возможность управлять движением столба дуги, что широко используется в сварочном производстве. В качестве примера рассмотрим схему взаимодействия магнитных полей подковообразного магнита и сварочной дуги (рис.10)

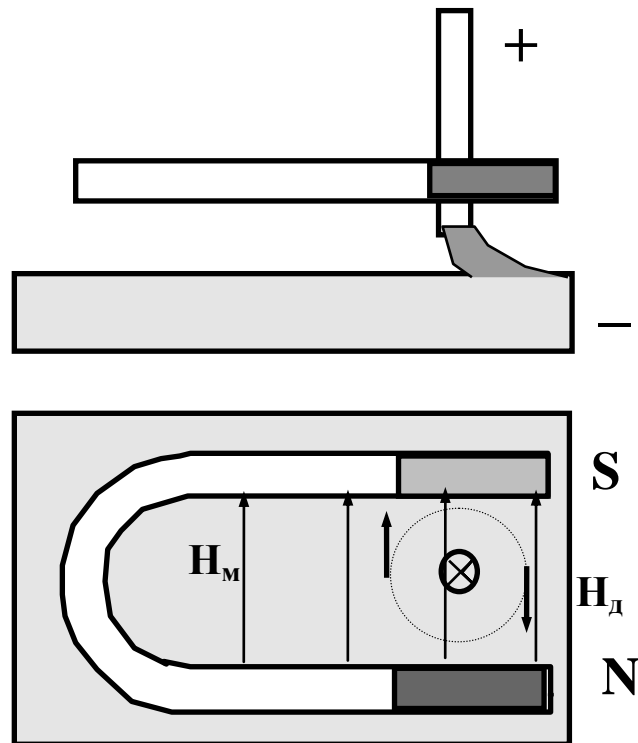


Рис. 10. Схема магнитных полей дуги и постоянного магнита

На виде сверху силовые линии H_M постоянного магнита направлены от северного полюса к южному. Силовые линии дуги представляют собой концентрические окружности. Направление вектора H_d определяется по правилу буравчика.

Из рис. 10 следует, что слева от электрода $H = H_M + H_d$, а справа – $H = H_M - H_d$. Справа от электрода находится область пониженного магнитного давления и дуга отклоняется вправо.

Необходимое оборудование и материалы

1. Два источника питания постоянного тока.
2. Штатив для закрепления электрода.
3. Электрододержатель для ручной дуговой сварки.
4. Угольные пластины и электроды.
5. Стальной уголок 50x50x1000 мм.
6. Массивное стальное тело (~20кг).
7. Подковообразный магнит.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить пост ручной дуговой сварки постоянным током. Присоединить кабель обратного провода к одному из

концов стального уголка. Возбудить угольную дугу на противоположном конце уголка. Наблюдать поведение дуги. Результаты наблюдений занести в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты наблюдений

Наименование опыта	Схема опыта	Род тока		Результаты наблюдений
		1-ая дуга	2-ая дуга	
Изучение магнитного дутья		Прямая полярность		
Изучение взаимодействия двух дуг		Прямая полярность Прямая полярность	Прямая полярность Обратная полярность	
Изучение воздействия внешнего магнитного поля на дугу		Прямая полярность		
Изучение воздействия ферромагнитной массы на дугу		Прямая полярность		

2. Наблюдать поведение дуги, горящей в средней части уголка и вблизи от токоподвода. Результаты наблюдений занести в таблицу 3.

3. Установить угольный электрод в штатив и собрать схему питания дуги прямой полярности. Установить второй угольный электрод в держатель для ручной дуговой сварки.

4. Возбудить дугу между стационарным электродом и угольной пластиной. Возбудить на расстоянии 15-20 мм от первой дуги дугу прямой полярности. Наблюдать взаимодействие двух дуг. Результаты наблюдений занести в таблицу 3.

5. Опыт по п.4 повторить для обратной полярности второй дуги.

7. Возбудить стационарную дугу прямой полярности. Разместить подковообразный магнит по схеме на рис. 10. Наблюдать поведение дуги. Результаты наблюдений занести в таблицу 7.

8. Опыт по п.7 повторить после поворота магнита на 180° .

9. Возбудить стационарную дугу прямой полярности. Приблизить к ней массивное стальное тело. Наблюдать поведение дуги. Результаты наблюдений занести в таблицу 7.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание методики проведения работы.
3. Заполненная таблица 7.

Контрольные вопросы

1. Что называется магнитным дутьем?
2. Укажите способы подавления магнитного дутья.
3. Как воздействует ферромагнитная масса на столб дуги?
4. Как взаимодействуют дуги одной полярности?
5. Как взаимодействуют разнополярные дуги ?
6. Укажите схему определения отклонения столба дуги в магнитном поле постоянного магнита.
7. Методика проведения работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОРЕНИЯ ДУГИ НА ПРОЦЕСС ПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Цель работы

Изучение влияния параметров режима сварки на процесс плавления электродов, ознакомление с методикой экспериментального определения характеристик расплавления электродов.

Теоретическое введение

Тепло, вводимое сварочной дугой в электрод, затрачивается на нагрев и расплавление электродного стержня и электродного покрытия. Процесс плавления электродного стержня и переход расплавленного металла в сварочную ванну зависит от ряда факторов: величины, рода и полярности тока, состава электродного покрытия и стержня, положения сварного шва в пространстве и т.п. Свойства электрода, характеризующие производительность его расплавления, оценивают коэффициентом расплавления α_p , определяемым по формуле

$$\alpha_p = \frac{g_p}{I \cdot t} \quad (7)$$

где g_p – масса расплавленного металла, г;
 I – ток сварки, А;
 t – время плавления электрода.

При сварке наблюдаются потери жидкого металла вследствие его окисления воздухом и через шлак, а также в результате испарения и разбрызгивания за пределы сварочной ванны. Потери на угар и разбрызгивание оцениваются коэффициентом потерь

$$\psi = \frac{g_p - g_n}{g_p} \quad (8)$$

Потери на угар и разбрызгивание колеблются в довольно широких пределах в зависимости от различных факторов. Для ручной дуговой сварки коэффициент расплавления в зависимости от конкретной марки электрода составляет 8-15 г/А·ч, коэффициент потерь – 5-30 %; для автоматической сварки под слоем флюса – $\alpha_p = 13-23$ г/А·ч, $\psi = 2-4$ %.

Увеличение сварочного тока приводит к повышению температуры столба дуги и интенсивности расплавления электрода и, как следствие, к увеличению α_p . При больших плотностях тока переход капле металла с электрода в шов может носить струйный характер, что уменьшает потери на разбрызгивание.

При сварке на обратной полярности производительность расплавления существенно выше, чем при сварке на переменном токе и при прямой полярности. Это объясняется тем, что на аноде выделяется в 2-3 раза больше теплоты, чем на катоде, за счет бомбардировки анода быстрыми электронами, в то время, как на катоде затрачивается энергия на их эмиссию.

На величины α_p и ψ оказывают влияние тип электрода и состав стержня, что определяет состав атмосферы столба дуги и, как следствие, эффективный потенциал ионизации. В свою очередь, изменение эффективного потенциала ионизации ведет к изменению температуры столба дуги в соответствии с эмпирической формулой, применимой для ручной дуговой сварки

$$T = 800U_{\text{эф}} \quad (9)$$

Увеличение температуры столба дуги ведет к увеличению количества образующихся газов, повышает их давление в капле электродного металла и, в конечном итоге, может привести к усилению разбрызгивания.

Коэффициент α_p существенно зависит от температуры нагрева электродного стержня. Нагрев электродного стержня джоулевым теплом ускоряет его плавление в дуговом разряде и α_p увеличивается, при этом величина ψ практически не меняется. При автоматической и полуавтоматической сварке для увеличения α_p широко применяется сварка с увеличенным вылетом проволоки (расстоянием между токоподводящим мундштуком и изделием). Увеличение вылета ведет к увеличению сопротивления проволоки и, как следствие, повышению температуры ее нагрева. При ручной дуговой сварке непостоянство α_p в процессе горения электродного стержня может привести к нарушению режима формирования шва, поэтому максимальная сила тока для каждого диаметра электрода конкретной марки строго ограничена. Равномерности плавления электрода способствует увеличение толщины электродного покрытия, т.к. оно не проводит

тока, не нагревается джоулевым теплом и охлаждает стержень электрода.

Оборудование и материалы

1. Посты ручной дуговой сварки на постоянном и переменном токах, укомплектованные приборами для измерения тока сварки.

2. Технические весы с разновесом.

3. Секундомер.

4. Штангенциркуль и линейка.

5. Сварочные электроды МР-3 Ø4 мм.

6. Пластины из малоуглеродистой стали.

Порядок проведения работы

1. Очистить, замаркировать и взвесить пластины, предназначенные для наплавки.

2. Подготовить электроды, замаркировать, определить диаметр и начальную длину электродного стержня.

3. Для каждой марки электрода определить массу 1 погонного сантиметра электродного стержня, которая равна массе очищенного от обмазки электродного стержня, деленной на его длину.

4. Произвести наплавку валика на пластину электродом постоянным током обратной полярности. В процессе наплавки фиксировать время горения дуги и силу тока (рекомендуемая сила тока для всех вариантов опытов – 120-200 А) с последующим занесением в таблицу 8.

5. После наплавки охладить, высушить, зачистить от шлака и взвесить пластину. Определить массу наплавленного металла и результат занести в таблицу 8.

6. Замерить длину оставшейся после наплавки части электрода и рассчитать массу расплавленного металла с последующим занесением в таблицу 8.

7. Вычислить характеристики расплавления электрода с последующим занесением в таблицу 8.

8. Опыт по п.4 повторить при измененных значениях силы тока 2 раза.

9. Опыт по п.4 повторить для прямой полярности и переменного тока.

Результаты обработки экспериментальных данных

Полярность	I_n , А	t_n , А	Длина электрода, см		Масса пластины, г		g_n , г	g_p , г	α_p , г/А ч	ψ , %
			до наплавки	после на- плавки	до наплавки	после на- плавки				
Прямая										
Обратная										
Перемен- ный ток										

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Методика эксперимента.
3. Заполненная таблица 8.
4. Краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. При какой полярности достигается наибольшая производительность расплавления?
2. Укажите пути увеличения производительности плавления электрода.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИЗУЧЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГИ

Цель работы

Ознакомление с плазменной дугой, конструкцией плазмотронов и свойствами плазмообразующих газов.

Теоретическое введение

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. Схема плазмотрона прямого действия приведена на рис. 11.

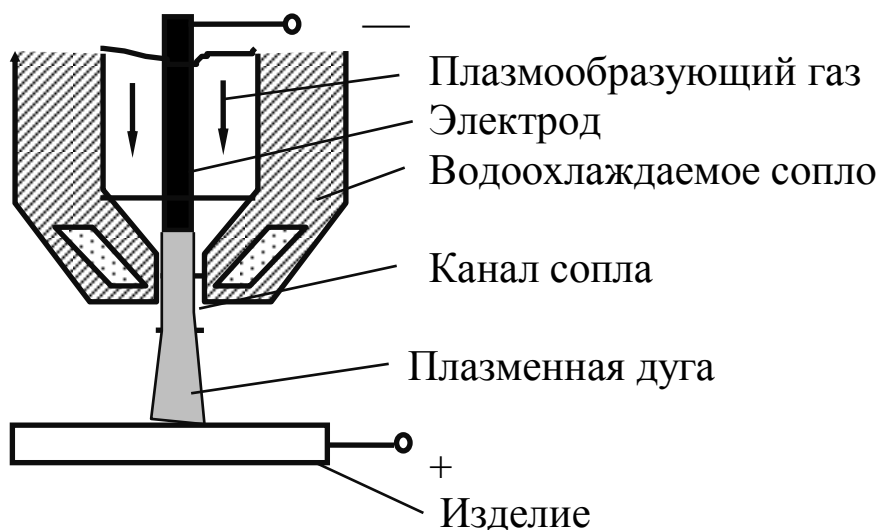


Рис. 11. Плазмотрон прямого действия

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.

За счет сжатия столба дуги стенками канала сопла и слоем сравнительно холодного газа температура плазмы поднимается до 15-20 тысяч градусов Кельвина и в несколько раз поднимается скорость потока плазмы. Стабильность горения дуги также возрастает. За счет роста концентрации энергии и возможности ее регулирования значительно возрастают технологические возможности применения дугового разряда. Плазменная дуга прямого действия применяется при сварке и, в особенности, при плазменной резке любых электропроводных материалов.

В плазмотроне косвенного действия (рис.12) анодом служит массивное медное водоохлаждаемое сопло. Плазма дугового разряда выдувается потоком плазмообразующего газа, образуя плазменную струю. Высокая температура и скорость плазменной струи находят применение при плазменном напылении порошковых материалов. Порошок нагревается плазмой и выдувается за пределы плазмотрона, приобретая высокую кинетическую энергию. При соударении с изделием обеспечивается прочное сцепление частиц порошка и напыляемой поверхности.

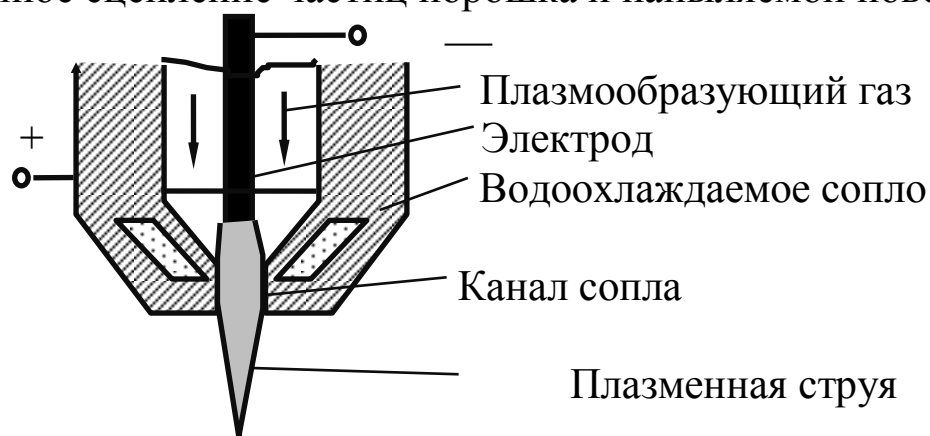


Рис.12. Плазмотрон косвенного действия

Для эффективного применения плазменной дуги весьма важно правильно выбрать состав плазмообразующего газа. Он должен обеспечивать следующие основные функции:

1. Защищать от эрозии и охлаждать электрод.

2. Обеспечивать наилучшее преобразование электрической энергии в тепловую.

Наилучшую защиту вольфрамовых электродов обеспечивают инертные газы - аргон и гелий. Однако их теплосодержание (энтальпия H) при одинаковой температуре гораздо ниже, чем у многоатомных газов (азота, водорода, кислорода, углеводородов). Это объясняется тем, что при нагреве многоатомных газов затрачивается дополнительная энергия на диссоциацию их молекул на атомы (рис.13).

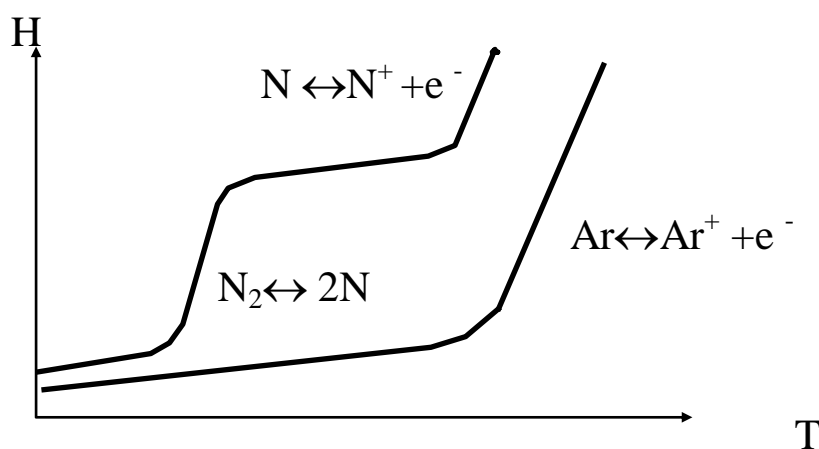


Рис.13. График зависимости энтальпии газов от температуры

Однако эти газы являются химически активными. Решить проблему их использования позволяют так называемые термохимические (пленочные) катоды (рис.14).

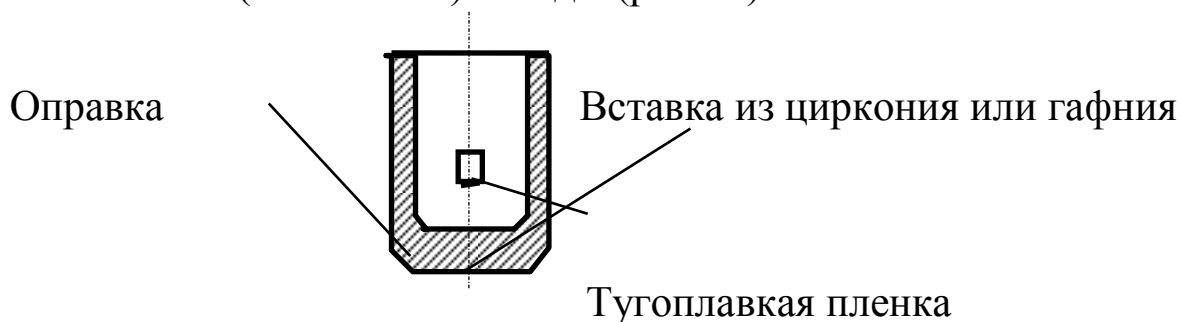


Рис.14. Термохимический катод

Конструктивно они представляют собой медную оправку, в которую запрессован стержень из гафния или циркония. При образовании пятна дуги на торце образуется тугоплавкая пленка из

нитридов или оксидов, которая обеспечивает эмиссию электронов и предохраняет материал электродной вставки от дальнейшей эрозии.

Повысить теплосодержание инертного плазмообразующего газа с сохранением его защитных свойств возможно путем добавки небольших (порядка 5-15%) количеств многоатомного газа (азота, водорода, углеводородов). В этом случае энтальпия смеси определяется по закону аддитивности по формуле

$$H = \sum_{i=1}^n N_i H_i , \quad (10)$$

где H_i – энтальпия i -ого газа;

N_i – объемная концентрация i -ого газа.

Оборудование и материалы

1. Установка УПС - 301 для плазменной сварки.
2. Плазмотрон.
3. Баллоны с аргоном и углекислым газом
4. Стальные пластины толщиной 10÷16 мм.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить к работе установку для плазменной сварки УПС-301 в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Присоединить через редукторы к соответствующим штуцерам баллоны с аргоном и углекислым газом.

2. Изучить по чертежам и визуально конструкцию плазмотрона для плазменной сварки. Дополнительно ознакомиться с конструкцией термохимических катодов.

3. Установить на плазмотроне сменное сопло диаметром $d_c = 1$ мм. В качестве плазмообразующего газа использовать аргон. С помощью осциллятора возбудить и наблюдать дежурную дугу. Подвести сопло плазмотрона на расстояние 15 мм от стальной пластины и возбудить плазменную дугу. Установить значение ее тока 100 А. Зафиксировать напряжение на плазменной дуге и записать в таблицу 9.

4. Опыт по п.3 повторить для диаметров сопла 1,5 и 2 мм.

5. По данным таблицы 9 построить график функции $U=f(d_c)$.

6. Установить на плазмотроне сменное сопло диаметром $d_c = 2\text{ мм}$. Дополнительно к аргону подключить к системе газоснабжения углекислый газ. Установить концентрацию углекислого газа в смеси с аргонem $N=5\%$. Возбудить плазменную дугу и при токе 100 А зафиксировать напряжение на дуге и записать в таблицу 9.

7. Опыт по п.6 повторить для концентрации углекислого газа 10% . По данным таблицы 9 построить график функции $U=f(N)$.

Таблица 9

Результаты эксперимента ($I = 100\text{ А}$)

№ опыта	Диаметр сопла, мм	Состав плазмообразующего газа	U, В
1	1,0	Ar	
2	1,5	Ar	
3	2,0	Ar	
4	2,0	Ar+5% CO ₂	
5	2,0	Ar+10% CO ₂	

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема плазмотрона прямого действия.
3. Методика эксперимента.
4. Заполненная таблица 5.
5. Графики функций $U=f(d_c)$ и $U=f(N)$.
6. Краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется плазменной дугой? Чем она отличается от свободной?
2. Порядок возбуждения плазменной дуги прямого действия
3. За счет чего достигается высокая концентрация энергии в столбе дуги?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ

Цель работы

Ознакомление с методикой экспериментального построения графика термического цикла сварки

Теоретическое введение

В нагретых теплотой сварочной дуги зонах основного металла, прилегающих ко шву, происходят фазовые и структурные изменения – рекристаллизация, рост зерна, аустенизация, превращения аустенита при охлаждении (ферритное, перлитное, бейнитное, мартенситное), отпуск закалочных структур. Для управления этими процессами необходима информация об изменении температуры во времени в заданной точке сварного соединения (термическом цикле сварки).

При установившемся температурном поле термические циклы точек, расположенные на одинаковом расстоянии от траектории источника, одинаковы, но смещены во времени (рис.15а). Термические циклы точек, расположенных на разных расстояниях от оси шва, различаются между собой. В более дальних точках максимум температуры меньше и достигается он позже, а скорости нагрева и охлаждения меньше по абсолютной величине (рис. 15б).

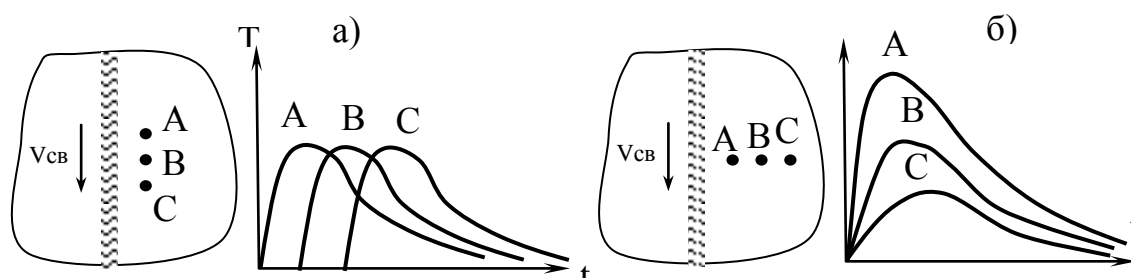


Рис. 15. Термические циклы точек сварного соединения

По графику термического цикла, полученному расчетным путем или экспериментально, легко можно определить следующие важные параметры, необходимые для анализа фазовых и

структурных превращений в зоне термического влияния (рис. 156):

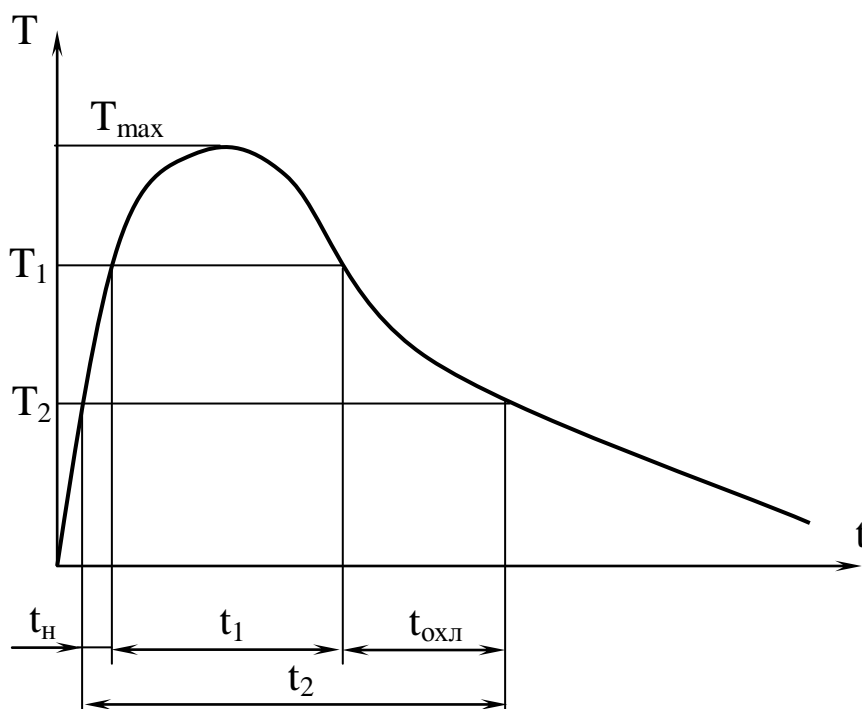


Рис. 16. Параметры термического цикла

1. Максимальная температура в точке T_{\max} .
2. Время пребывания t_1 при заданной температуре $T_1 < T_{\max}$.
3. Скорость нагрева ω_H и охлаждения $\omega_{\text{охл}}$ в заданном температурном интервале $T_1 - T_2$.

$$\omega_H = (T_1 - T_2) / t_H ; \quad \omega_{\text{охл}} = (T_2 - T_1) / t_{\text{охл}} . \quad (11)$$

Аналитическое решение задачи построения графика термического цикла и расчета его параметров сопряжено с определенными вычислительными трудностями и отличается большой неточностью, вызванной приближенным характером расчетных формул. Экспериментальное построение графика термического цикла легко осуществляется путем записи сигнала термопары, помещенной в исследуемую точку.

Оборудование и материалы

1. Сварочный трактор.
2. Выпрямитель сварочный.
3. Угольный электрод.
4. Лист из стали Ст.3 с размерами $3 \times 200 \times 300$ мм.

5. Хромель-алюмелевая термопара.
6. Тензоусилитель ТОПАЗ 4-01 с источником питания «Агат».
7. Самописец Н-338-4.
8. Муфельная печь.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством сварочного трактора и выпрямителя. Изучить порядок работы с ними. Смонтировать на тракторе угольный электрод и провести опытную сварку неплавящимся электродом.

2. Собрать схему экспериментальной установки в соответствии с блок-схемой на рис. 17. Ознакомиться с порядком работы на ней.

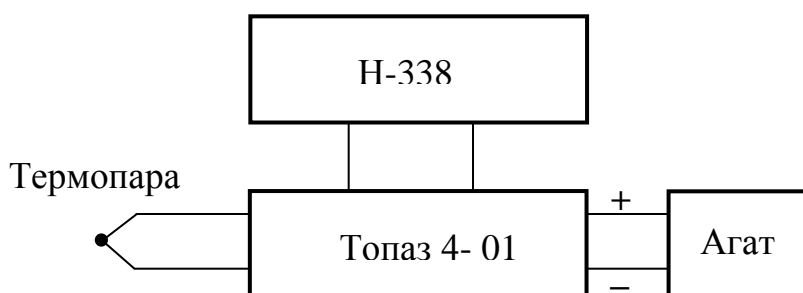


Рис. 17. Блок-схема экспериментальной установки

3. Построить график тарировки измерительного тракта. Для этого поочередно записать термические циклы кристаллизации алюминия ($T_{пл} = 660^{\circ}\text{C}$), цинка ($T_{пл} = 419^{\circ}\text{C}$) и серы ($T_{пл} = 119^{\circ}\text{C}$), расплавленных в фарфоровых тиглях в муфельной печи. В момент кристаллизации за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации на кривой термического цикла появляется характерная площадка, ордината которой соответствует температуре плавления. На тарировочном графике построить точки, абсциссы которых соответствуют ординате площадки кривой термического цикла в мм, а ординаты – температуре плавления. Полученные точки соединить ломаной линией, которая близка по форме к прямой и допускает определенную экстраполяцию.

4. Приварить конденсаторной сваркой спай термопары «хромель–алюмель» с обратной стороны свариваемого листа согласно рис. 18.

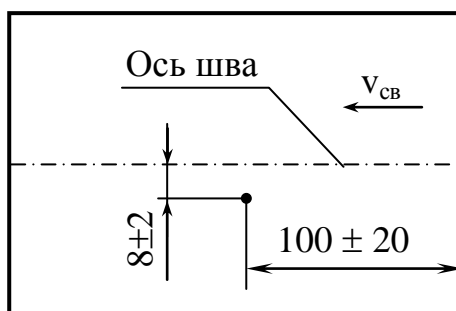


Рис. 18. Схема приварки термопары

5. Вблизи края листа возбудить дугу на угольном электроде и включить привод перемещения сварочного автомата (ток дуги – 150 А, напряжение на дуге – 25 В, скорость сварки – 0,5 см/с). За 2-3 см до прохождения дуги проекции термопары на ось шва включить привод протяжки ленты самописца и записать кривую термического цикла.

6. После полного остывания листа увеличить скорость сварки до 1 см/с и повторить опыт по п.3.5.

7. С использованием тарировочного графика построить обе кривые термического цикла на миллиметровой бумаге.

8. Определить параметры термического цикла в интервале температур 800–500 °С. Сравнить полученные данные.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Блок-схема установки.
3. Краткая методика проведения.
4. Тарировочный график.
5. Кривые термического цикла.
6. Результаты расчета параметров термического цикла.
7. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОР ПРИ СВАРКЕ

Цель работы

Получение экспериментальных данных о влиянии некоторых технологических факторов на образование пор при сварке .

Теоретическое введение

К дефектам сварных швов, влияющих на работоспособность сварного соединения, помимо трещин, относятся также и поры. Их возникновение определяется металлургическими процессами взаимодействия жидкого металла с окружающей средой и процессами кристаллизации при сварке.

Поры в сварных швах образуются, если в период кристаллизации сварочной ванны происходит интенсивное газовыделение, газовые пузырьки не успевают удалиться из затвердевающего металла. Газовыделение может быть обусловлено либо химическими реакциями, продуктами которых являются газы, нерастворимые в металле (главным образом окись углерода CO), либо снижением растворимости водорода, азота и кислорода в кристаллизующемся металле шва по мере приближения к температуре ликвидуса. Особенно резко снижается растворимость при переходе металла шва из жидкого состояния в твердое.

Поры, вызванные выделением азота, возникают при недостаточной защите сварочной ванны и капель электродного металла от взаимодействия с воздухом. Для защиты от азота воздуха эффективны сварка в среде защитных газов (инертных и CO_2), а также шлаковая защита при сварке под флюсом и покрытыми электродами.

Водород попадает в сварочную ванну при наличии влаги, углеводородных загрязнений и ржавчины в сварочных материалах, на свариваемых кромках, а также из атмосферы. При этом молекулярный водород диссоциирует в столбе дуги на атомарный и растворяется в жидком металле ванны. При кристаллизации растворимость водорода резко падает и его избыток выделяется в виде пузырьков, которые не всегда успевают полностью удалиться из металла.

Основными мерами борьбы с водородной пористостью являются зачистка свариваемых кромок и сварочной проволоки от

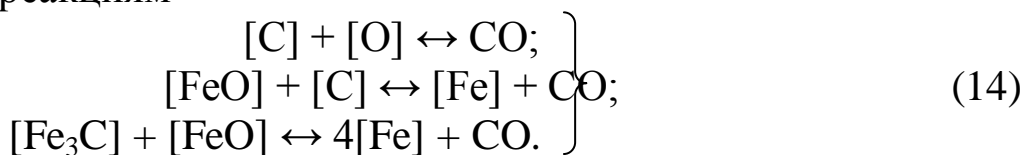
ржавчины и углеводородных загрязнений, прокатка сварочных материалов (флюса и электродов) с целью удаления влаги и осушение защитных газов. Для связывания водорода в нерастворимые в металле соединения во флюсы и электродные покрытия добавляется плавиковый шпат или флюорит CaF_2 , при этом имеет место реакция



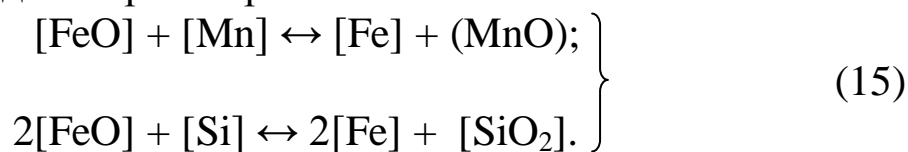
При сварке в среде CO_2 водород поглощается по реакции



Поры, вызванные окисью углерода, образуются при сварке в инертных газах при наличии в основном металле закиси железа и растворенного кислорода (кипящие и полуспокойные стали). Источником кислорода при сварке в среде углекислого газа являются также продукты диссоциации защитного газа. При недостатке в металле ванны раскислителей образование CO происходит по реакциям



Введение раскислителей (кремний и марганец в проволоке Св-08Г2С) подавляет реакции образования CO за счет связывания кислорода в нерастворимые в металле окислы



Технологические способы борьбы с порами предусматривают применение режимов сварки, замедляющих охлаждение металла и снижающих скорость кристаллизации. Использование максимально короткой дуги и мелкокапельного и струйного типов переноса снижает время контакта расплавленного электродного металла с окружающей средой и, как следствие, интенсивность поглощения газов.

Оборудование и материалы

1. Пост для сварки в среде углекислого газа ПДГ-502.

2. Заготовки из стали Ст.3 размером 6× 30× 80 мм.
3. Флюс АН-348А, баллон с углекислым газом.
4. Проволоки Ø 1,6 мм марок Св - 08ГА и Св- 08Г2С.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с постом для полуавтоматической сварки в среде CO₂ и настроить режим сварки (ток – 200-220 А, напряжение на дуге – 22-24 В).
2. Выполнить наплавку валиков длиной ≈ 70 мм в соответствии с табл. 10.

Таблица 10.

Влияние условий сварки на порообразование

№ опыта	Исследуемый фактор	Марка проволоки	Защитная среда			Оценка пористости
			Вид защиты	Толщина слоя, мм	Расход газа, м ³ /ч	
1	Качество защиты	Св-08ГА	–	–	–	
2		Флюс	5–7	–		
3		–"	10-12	–		
4		Флюс	–"	–		
5		влажный	–	0,2		
6		СО ₂	–	0,8		
7	Химсостав проволоки	Св-08Г2С	–"	–	–"	
8		Св-08ГА	–"	–	–"	
9	Состояние свариваемых кромок:	Св-08Г2С	–"	–	–"	
1	загрязненные	–"	–"	–	–"	
0	маслом и ржавчиной;	–"	–"	–	–"	
	зачищенные					

3. Оценить по трехбалльной системе (1– пор нет, 2 – мало пор,

3 – много пор) качество валика. Результаты оценки занести в табл.10.

4. Сделать выводы о полученных результатах

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Порядок проведения опытов.
3. Заполненная таблица 10.
4. Выводы о влиянии изученных факторов на интенсивность порообразования.

Контрольные вопросы

1. Укажите причины порообразования при сварке.
2. Укажите механизм образования пор, вызванных азотом, и пути борьбы с ними.
3. Укажите механизм образования пор, вызванных водородом, и пути борьбы с ними.
4. Укажите механизм образования пор, вызванных окисью углерода, и пути борьбы с ними.

45

Металл $\uparrow\downarrow$ $2[\text{Fe}]$ $\uparrow\downarrow$ $[\text{Si}]$ $2[\text{FeO}]$

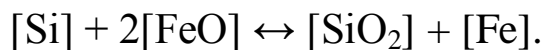
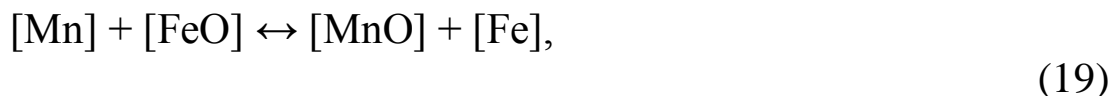
Состав флюса АН-348А, приведенный в табл. 11, создает благоприятные условия для легирования марганцем и кремнием, которое происходит в основном в высокотемпературной области (капли электродного металла).

Таблица 11

Состав флюсов

Марка флюса	Содержание компонентов, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaF ₂
АН-348А	41÷43	2,5	5,5	5,5÷7,5	34÷38	6,0
АН-30	2÷5	39÷44	16÷20	13÷16	≤0.5	19÷23

В низкотемпературной области (хвостовая часть ванны) реакции легирования сменяются на реакции раскисления



Однако при температурах кристаллизации основная часть FeO бывает уже извлечена шлаком, а скорость реакции раскисления значительно ниже, чем легирования в высокотемпературной области (действует кинетический фактор). Следовательно, при кристаллизации всегда наблюдается остаточное легирование.

Краткие сведения о спектральном анализе

Спектральный анализ является одним из методов определения химического состава веществ. В его основе лежит изучение линейчатого спектра излучения, испускаемого или поглощаемого веществом при высоких температурах, в котором присутствуют спектральные линии, характерные для атомов, имеющих в пробе. Разложение света на спектр осуществляется с помощью спектральных аппаратов.

Для качественного анализа веществ используются стилоскопы, в которых в окуляр наблюдается присутствие в линейча-

том спектре линий элементов, содержащихся в пробе. Отсутствие этих линий является признаком того, что искомого элемента в пробе в количествах, доступных для выявления с помощью стилоскопа, нет.

Оборудование и материалы

1. Стилоскоп СЛП-1.
2. Сварочный автомат ТС-35 с трансформатором ТДФ-1001.
3. Заготовки из армко-железа $5 \times 30 \times 80$.
4. Проволока сварочная Св-08А Ø 2,0.
5. Флюсы АН-348А и АН-26.

Методика проведения

1. Ознакомиться с устройством сварочного автомата ТС-35 и принципом его работы.
2. Провести наплавку валиков длиной 4–5 см на пластины из армко-железа под флюсами АН-348А и АН-26. Тщательно зачистить образцы от шлака. Зачистить шкуркой небольшой участок наплавленного металла.
3. Отрезать конец электродной проволоки с закристаллизовавшейся каплей металла на конце. Зачистить каплю шкуркой.
4. Ознакомиться с устройством и порядком работы на стилоскопе. Качественным спектральным анализом показать переход легирующих элементов в металл шва и каплю электродного металла.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Схемы легирования марганцем (1) и кремнием (3).
3. Порядок выполнения работы.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

- 5.1. Какие компоненты вводятся во флюс для легирования наплавленного металла кремнием и марганцем?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СВАРНОГО ШВА

Цель работы

Изучение процессов, протекающих при кристаллизации сварочной ванны методом моделирования .

Теоретическое введение

Под воздействием термического цикла сварки происходит процесс образования структуры металла, в котором выделяются две стадии:

- первичная кристаллизация при переходе металла из жидкого состояния в твердое;
- вторичная кристаллизация в результате превращений в твердом состоянии.

Первичная кристаллизация является фазовым переходом материала из жидкого состояния в твердое. Термодинамически этот переход обусловлен повышением свободной энергии F материала с понижением температуры. При температуре ниже критической ($T_{пл}$) меньшей свободной энергией обладает вещество в твердом состоянии (рис.19).

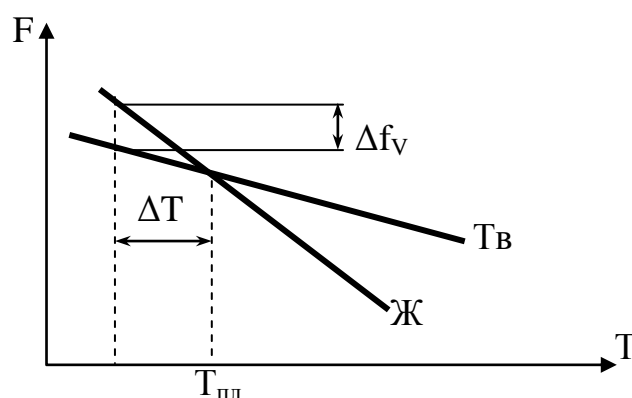


Рис. 19. Зависимость свободной энергии F от температуры

При критической температуре плавления равновероятно как жидкое, так и твердое состояние. Однако для начала кристаллизации требуется некоторое переохлаждение ΔT . При кристаллизации протекают одновременно два процесса :

- образование центров кристаллизации или зародышей;
- рост из них кристаллитов .

Образование зародыша возможно, если разность объемной свободной энергии Δf_v больше энергии для образования поверхности зародыша E_σ . Избыток свободной энергии выделяется в виде скрытой теплоты кристаллизации.

В чистых металлах при идеализированной кристаллизации имеет место гомогенная кристаллизация, когда зародыши образуются из флуктуаций жидкой фазы. Для гомогенной кристаллизации требуется достаточно большое переохлаждение. В реальных условиях сварки преобладает гетерогенный тип кристаллизации при малых переохлаждениях, когда готовыми центрами кристаллизации служат оплавленные зерна основного металла, а также тугоплавкие частицы в расплаве.

Кристаллизация при сварке имеет направленный характер, обусловленный отводом тепла в основной металл. В результате в сварном шве образуются кристаллиты, растущие от поверхности оплавленного основного металла к центру шва (рис.20).

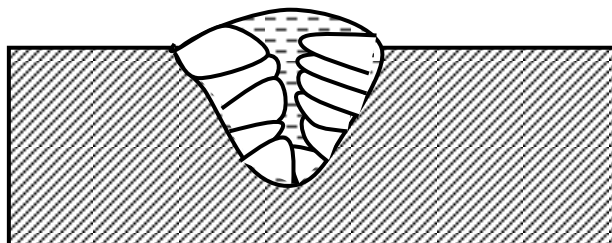


Рис. 20. Схема роста кристаллитов в сварочной ванне

Кристаллизация при сварке имеет следующие особенности:

1. Наличие центров кристаллизации в виде зерен основного металла по границе сплавления.
2. Одновременный с кристаллизацией ввод теплоты от источника, скорость движения которого определяет скорость фронта кристаллизации.
3. Малый объем и время существования ванны, большие скорости роста кристаллитов.
4. Значительный градиент температур в ванне, большой перегрев металла в центре шва.

5. Интенсивное перемешивание расплавленного металла.
6. Воздействие на кристаллизующийся металл термомеханического цикла сварки.

Под влиянием конкретных условий сварки в различных областях шва могут быть получены различные типы первичной структуры – столбчатая или дендритная, а также промежуточные варианты.

Наиболее важные параметры, влияющие на первичную структуру – скорость кристаллизации $v_{кр}$ и градиент температуры $gradT$. Градиент температуры можно повысить, увеличив тепловую мощность или понизить за счет предварительного подогрева. Скорость кристаллизации пропорциональна скорости сварки.

Градиент температуры и скорость кристаллизации обобщаются критерием $\Phi = gradT / \sqrt{v_{кр}}$. Характер структуры зависит от критерия Φ и концентрации легирующего элемента (или примеси) C (рис.21). С увеличением скорости сварки и степени легирования возрастает вероятность образования дендритной структуры.

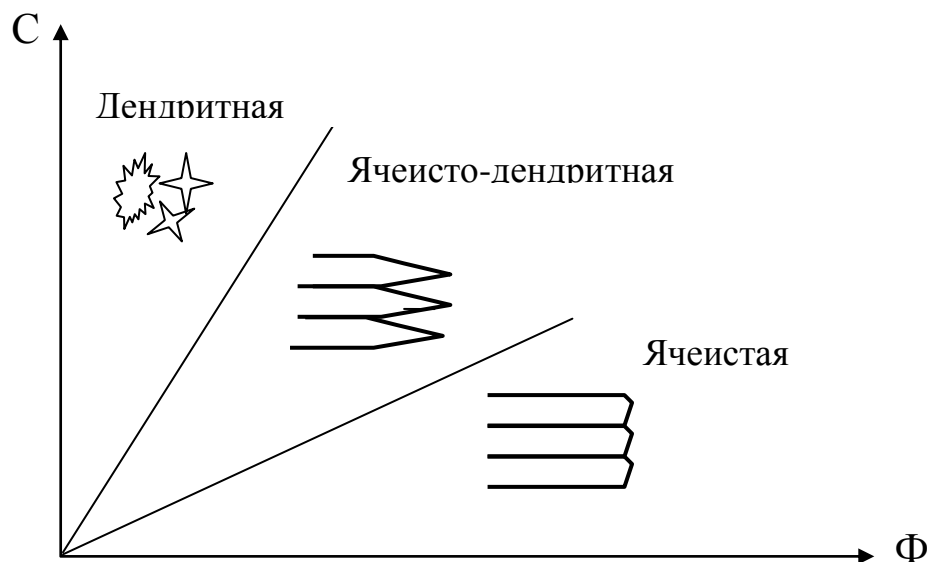


Рис. 21. Зависимость типа кристаллитов от Φ и C .

Структуры со столбчатыми кристаллитами вызывают анизотропию свойств и в некоторых направлениях возможно ослаб-

ление механических свойств. Более предпочтительна равновесная структура.

Подавление столбчатой структуры с целью получения равновесной осуществимо следующими способами :

1. Введение элементов модификаторов (титан, РЗМ) с целью создания в объеме сварочной ванны дополнительных центров кристаллизации.
2. Введение элементов, образующих избыточные фазы в твердом растворе (карбиды, α – фаза).
3. Воздействие на ванну ультразвуковых, механических, электромагнитных колебаний.
4. Термомеханическая обработка сварных швов.

Методика изучения процессов кристаллизации

Непосредственное наблюдение за процессами затвердевания при сварке сопряжено со значительными методическими трудностями, связанными с оптической непрозрачностью расплавленных металлов, высокой температурой и интенсивным излучением сварочных источников энергии, а также малыми размерами кристаллитов. Поэтому для моделирования закономерностей кристаллизации металлов при сварке применяется исследование под микроскопом аналогичных процессов затвердевания оптически прозрачных материалов. Для этой цели наиболее приемлемы соли или солевые системы, кристаллизующиеся по металлическому типу и отличающиеся прозрачностью, сравнительно малой температурой плавления и неокисляемостью.

Установка для наблюдения за процессами кристаллизации собрана на базе биологического микроскопа 1 (рис.22). На предметном столике 2 смонтирована вращающаяся планшайба 3 с закрепленным на ней стеклянным диском 4. Вращение планшайбы с регулируемой скоростью осуществляется через резиновый пасик 5 от привода постоянного тока 6. На поверхность стеклянного диска наносится смесь нитратов калия и натрия, моделирующая свариваемый металл.

Для образования модели сварочной ванны сплав солей расплавляется путем погружения наконечника низковольтного нагревательного элемента. Количество и характер распределения теплоты, вводимой в ванну, регулируется температурой нагрева,

формой и размерами наконечника элемента, а также скоростью вращения планшайбы. Основной металл моделируется стеклянным диском и нерасплавленной солью.

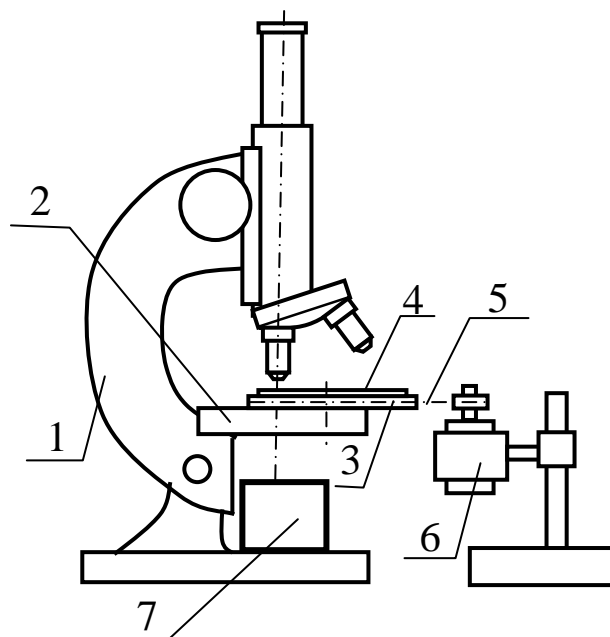


Рис. 22. Схема экспериментальной установки

Установка работает по схеме «неподвижный источник теплоты – подвижная ванна». Исследуемая зона ванны совмещается с оптической осью микроскопа и сохраняет свое положение в поле зрения, что обеспечивает непрерывность наблюдения за процессом. Получение четкой картины процесса кристаллизации обеспечивается за счет просвечивания ванны проходящим светом от источника 7 и наводки на резкость подъемным механизмом микроскопа. Процесс кристаллизации может быть зафиксирован фото-, кино- или видеосъемкой.

Порядок выполнения работы

1. Установить и зафиксировать стеклянную пластину на планшайбу.
2. Нанести на поверхность пластины ровным слоем $1,0 \div 1,5$ мм смесь $50\% \text{KNO}_3 + 50\% \text{NaNO}_3$.
3. Включить источник питания нагревателя и поместить нагретый наконечник в смесь солей.

4. После образования ванны расплавленной смеси включить привод вращения планшайбы. Изменяя скорость вращения, подобрать условия кристаллизации, обеспечивающие ячеистый и дендритный рост кристаллитов. Зарисовать полученные схемы кристаллизации.

5. Подобрать параметры режима плавления, обеспечивающие дендритный механизм получения столбчатых кристаллитов. Не изменяя скорости вращения, увеличить температуру нагревателя. Сравнить полученные результаты.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема и описание установки.
3. Методика проведения работы.
4. Схемы типов роста кристаллитов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение первичной кристаллизации.
2. Укажите условие образования зародышей при кристаллизации.
3. Как влияют градиент температуры, скорость кристаллизации и концентрация легирующих элементов на механизм роста первичных кристаллитов?
4. Укажите пути подавления столбчатой структуры в сварных швах.
5. Как влияют параметры режима сварки на характер первичной кристаллизации ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11. ИЗУЧЕНИЕ МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы

Освоение методики макро- и микроструктурного исследования сварных соединений, изучение структуры металла шва и зоны термического влияния при сварке плавлением.

Теоретическое введение

Исследование структуры и дефектов сварного соединения входит в задачу металлографического анализа, который делится на макро- и микроскопический.

При макроанализе производится исследование строения металла (макроструктуры) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 5-10 раз).

Макроанализ позволяет определить в металле сварного соединения величину, форму и расположение зерен, дендритность или волокнистость строения, ликвацию (серы, фосфора и других элементов), различные дефекты: трещины, газовые поры, раковины, шлаковые включения и т.д., параметры шва и зоны термического влияния. По макроструктуре можно установить глубину и форму зоны проплавления, ширину и очертания зоны термического влияния (ЗТВ).

Для выявления структуры сварного соединения образцы подвергаются травлению. На нетравленном образце видны лишь наиболее грубые дефекты; тонкие трещины затерты обработкой абразивной шкуркой и вскрываются только после травления.

Исследование макроструктуры часто сопровождается замером твердости участков образца. Изучение макроструктуры производится на макрошлифе. Макрошлифом называется шлифованный и протравленный образец, предварительно вырезанный из сварного соединения.

Исследование структуры и дефектов металла с помощью микроскопа (при увеличении в 50-2000 раз) называется микроанализом, наблюдаемая при этом структура называется микроструктурой.

При помощи микроисследования можно установить:

а) форму и размеры кристаллических зерен;

б) изменения внутреннего строения сплава, происходящие под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего и механического воздействия;

в) неметаллические включения - сульфиды, окислы и т. д. ;

г) дефекты металла - микротрещины, поры и т. п. ;

д) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами .

Микрошлифом называется образец металла, поверхность которого приготовлена специальным образом для микроанализа. Приготовление микрошлифа состоит из вырезки образца, шлифования к полирования. Полирование можно производить механическим, химическим и электрохимическим способом.

Для выявления микроструктуры шлиф после полирования подвергают травлению, в результате чего неоднородные участки изучаемого металла или сплава становятся видимыми под микроскопом.

Сущность процесса выявления структуры металлов состоит в том, что при травлении отдельные структурные составляющие по-разному растворяются или окрашиваются. В результате травления на поверхности шлифа образуются выступы и впадины, характеризующие структуру сплава.

В микроскопе лучи света будут по-разному отражаться от различно протравившихся структурных составляющих. Те структурные составляющие, которые слабо протравятся, отразят больше лучей света и будут казаться светлыми и, наоборот, сильно протравившиеся участки из-за рассеяния света отразят меньше лучей и будут казаться темными. На этой разнице в состоянии поверхности и количестве отраженных лучей и основано выявление структуры сплавов.

Исследование микроструктуры сварных соединений имеет ряд особенностей, которые определяются следующим: а) структура сварного соединения отличается мелкостью и разнообразием в пределах одного и того же микрошлифа; б) из-за быстрого остывания соединения в большинстве случаев имеет место неравномерный характер структур; в) сварка сопровождается дополни-

тельным химическим влиянием (воздух, присадочные материалы, подгорание подкладок, обгорание неплавящихся электродов и т.д.), что может привести к появлению необычных фаз (аустенит, нитриды, включения меди, вольфрама и др.); г) сварка давлением с нагревом может вызывать механическое разделение тугоплавких и легкоплавких фаз.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЛИФОВ

Вырезка образцов

При выборе места и технологии вырезки образцов для макро- и микроанализа сварных соединений необходимо соблюдать следующие требования:

- число образцов для данного сварного соединения должно быть минимальным, но достаточным для решения задач, поставленных на исследование;
- образец должен иметь форму и размеры, удобные для приготовления шлифов;
- образцы должны быть вырезаны с таким расчетом, чтобы сечение будущего шлифа находилось на расстоянии, исключающем влияние условий резки (недопустимый нагрев, наклеп);
- при использовании термических видов резки при вырезке образцов из крупных деталей расстояние от реза до плоскости будущего шлифа должно быть не менее 50 мм.

Шлифование и механическое полирование

Для изучения структуры образца необходимо подготовить гладкую площадку, называемую шлифом. При изготовлении металлографических шлифов использование шлифовальных станков допускается только на стадии получения плоской поверхности, т. к. при обработке шлифовальным кругом в поверхностных слоях глубиной до 75 мкм происходит искажение структуры, вызванные перегревом и пластическими деформациями. При обработке резцом искажения обнаруживаются на глубине 250÷1500 мкм. В процессе металлографической шлифовки эти слои должны быть удалены путем обработки шлифовальными шкурками из

абразивных порошков (желательно из зеленого корунда). Классификация абразивных порошков по размеру зерен приведена в таблице 13.

Для зернистости 100÷320 выпускаются шкурки марки КЗ, а для микропорошков – марки КЗМ.

Таблица 13

Классификация абразивных порошков

Шлиф. порошки		Микропорошки	
Номер зернистости	Размер абразивного зерна, мкм	Номер зернистости	Размер абразивного зерна, мкм
100	150–125	М-28	28–20
120	125–105	М-20	20–14
150	105–75	М-14	14–10
180	84–63	М-10	10–7
220	75–63	М-7	7–5
240	63–42	М-5	5–3,5
280	53–28		
320	22–20		

При шлифовании на вращающемся диске шлифовальной машины образец следует держать в одном положении и не допускать его перегрева. При переходе на более мелкозернистую шкурку необходимо изменять направление обработки на 90°, что облегчает определение конца шлифования на данной шкурке (риски от предыдущей обработки должны быть сошлифованы). Чем меньше разница в зернистости между двумя последовательно употребляемыми шкурками, тем быстрее заканчивается процесс шлифования. В зависимости от поставленной задачи шлифование завершается при зернистости 100÷10 мкм.

Для получения зеркальной поверхности без рисок и царапин, различимых в микроскоп, шлифы подвергаются полировке. Для полирования используется очень мелкий абразив, смешанный с жидкостью и нанесенный на тканевую подкладку, закрепленную на вращающемся диске. В качестве абразива используются оксиды хрома, алюминия, магния и алмаз.

Травление шлифов

При химическом травлении поверхность шлифа подвергается воздействию химических реактивов в течение определенного времени и при заданной температуре. Выявление деталей макро- и микроструктуры достигается за счет избирательного воздействия травителя.

В качестве растворителя для травителей используются дистиллированная или водопроводная вода или спирты (этиловый, метиловый, амиловый), а также глицерин, ацетон и т.п. Применение спиртов позволяет замедлить процесс травления и получить большую четкость мелких деталей микроструктуры.

Для составления травителей применяются кислоты (азотная, пикриновая, серная, хромовая, плавиковая, уксусная), щелочи (едкое кали, едкий натр, нашатырный спирт), соли (окислители и восстановители). Окислители вводят для образования окисных пленок различного цвета для дифференциации фаз. Восстановители добавляются для уменьшения интенсивности растворения и для окрашивания фаз в разные цвета.

Травление производится погружением образца в травитель или путем нанесения травителя на полированную поверхность шлифа ватным тампоном. Продолжительность и температуру травления подбирают экспериментально. При повышении кратности увеличения микроскопа продолжительность травления уменьшается. По окончании травления образец промывается проточной водой, протирается спиртом и высушивается струей теплого воздуха или прикладываем к фильтровальной бумаге.

Для травления микрошлифов всех железоуглеродистых сплавов наиболее универсальным травителем является 2÷6 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте (ниталь). Он позволяет выявить в малоуглеродистых сталях зерна феррита и участки третичного цементита (феррит не окрашивается). В конструкционных сталях выявляет структуру перлита, сорбита и т. д.; карбиды не травятся. Для получения макрошлифов рекомендуется 10÷25 % водный раствор азотной кислоты.

Выявление неоднородности распределения серы

Для выявления неоднородности распределения (ликвации) серы в сварном шве применяется метод Баумана.

Проведение пробы на серу заключается в следующем: бромосеребряная фотобумага вымачивается в течение 5-10 мин в 5%-ом водянном растворе серной кислоты и плотно прикладывается эмульсионной стороной к исследуемому микрошлифу на 2-3 мин. При этом сверху бумагу приглаживают для удаления образующихся пузырьков газа.

После промывки в воде полученный отпечаток фиксируют в 25% водном растворе гипосульфита, а затем промывают в воде и сушат.

Местам шлифа, обогащенным серой (скопление сульфидов), на фотобумаге соответствуют участки коричневого цвета. Это потемнение объясняется тем, что в результате взаимодействия H_2SO_4 (впитанной в фотобумагу) и включениям FeS и MnS (в виде которых сера находится в сварном шве) образуется газ сероводорода H_2S , который реагирует с бромистым серебром $AgBr$ фотобумаги, в результате чего образуется сернистое серебро Ag_2S , имеющее темно-коричневый цвет.

Оборудование и материалы

1. Образцы для макроанализа и микроанализа.
2. Шлифовальная бумага, фотобумага.
3. Ванночки для воды и реактивов.
4. Полировальный станок.
5. Металлографический микроскоп МИМ-7, лупа, твердомер ТП-2.

Порядок выполнения работы

В соответствии с полученными от преподавателя образцами необходимо:

1. Приготовить макрошлифы, выбрать реактив и произвести травление макрошлифов.
2. Замерить основные параметры сварного соединения (ширину, высоту усиления шва, глубину провара, ширину зоны тер-

мического влияния) и дать его эскиз с простановкой всех размеров.

3. Отметить характерные особенности шва и соединения, определить способ сварки шва.

4. Исследовать макроструктуру сварного шва на химическую неоднородность (ликвацию серы) и дать заключение о качестве металла шва.

5. Приготовить микрошлифы, выбрать реактив и произвести их травление.

6. Зарисовать или сфотографировать микроструктуру сварного шва, снабдить ее необходимыми объяснениями.

7. Изучить микроструктуру участков зоны термического влияния, произвести замеры твердости участков. Оформить график изменения твердости по сечению сварного соединения.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Описание задачи и сущности макро- и микроструктурного методов исследований сварных соединений.

3. Характеристика участков зоны термического влияния для незакаливающихся и закаливающихся сталей .

4. Экспериментальный и иллюстрационный материал (эскизы, отпечаток по Бауману, график твердости, необходимые пояснения).

Контрольные вопросы

1. Что входит в задачи макро- и микроструктурного методов исследования сварных соединений?

2. Какова последовательность изготовления макро- и микрошлифов ?

3. В чем заключается сущность процесса выявления структуры металла?

4. Как выявляют неоднородность распределения серы в сварном соединении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ

Цель работы

Изучение структуры сварного соединения стали 30ГСА.

Теоретическое введение

Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением, можно разделить на несколько зон, отличающихся химическим составом, макро- и микроструктурой и другими признаками: сварной шов, зона термического влияния и основной металл.

Сварной шов характеризуется литой макроструктурой металла. Ему присуща первичная микроструктура кристаллизации, тип которой зависит от условий кристаллизации шва.

Зона термического влияния (ЗТВ) – это участок основного металла, примыкающий к сварному шву, в пределах которого вследствие теплового воздействия источника нагрева протекают фазовые и структурные превращения.

В зоне термического влияния выделяют 6 характерных участков:

- 1 – участок неполного расплавления;
- 2 – участок перегрева;
- 3 – участок нормализации;
- 4 – участок неполной перекристаллизации;
- 5 – участок рекристаллизации;
- 6 – участок старения.

Основной металл, который не претерпевает изменений при сварке, может влиять на превращения в зоне термического влияния в зависимости от его макро- и микроструктуры, определяемых способом первичной обработки металла (прокатка, литьё, ковка и т.д.) и последующей термической обработкой (отжиг, нормализация, закалка с отпуском и т.п.).

Оборудование и материалы

При выполнении лабораторной работы используется следующее оборудование, приборы, материалы и инструменты:

- микроскоп МИМ-6;
- набор сваренных образцов;

- станок для полировки шлифов;
- реактивы для травления шлифов.

Порядок выполнения работы

1. Отполировать образцы сварного соединения и протравить их для металлографического исследования макро- и микроструктуры.
2. Изучить и описать макроструктуру сварного шва.
3. Изучить и описать микроструктуру наплавленного металла шва, зоны термического влияния и основного металла.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- полученные данные в виде описания структуры металла шва, зоны термического влияния и основного металла.

Контрольные вопросы

1. Дайте описание характерных зон сварного соединения.
2. Опишите структуры металла шва, основного металла и ЗТВ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Цель работы

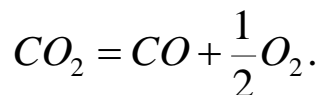
Изучение металлургических процессов, протекающих при сварке в защитных газах.

Теоретическое введение

Электродуговая сварка в защитных газах получила широкое распространение в сварке. Защитный газ, подаваемый через специальное сопло в область столба дуги, изолирует дуговой разряд и сварочную ванну от воздушной атмосферы. При этом защитный газ может быть инертным по отношению к металлу сварочной ванны и активным. В качестве инертных газов используются аргон и гелий. Из активных газов широко применяется углекислый газ.

При сварке в инертных газах зона сварки изолируется от соприкосновения с воздухом. Металл сварочной ванны незначительно окисляется. Однако частичное окисление может произойти только из-за недостаточной чистоты инертного газа, а также за счёт поверхностных окислов основного и присадочного металлов, неудаляемых при подготовке под сварку.

При сварке в углекислом газе интенсивное окисление металла сварочной ванны происходит в результате химического взаимодействия основного и присадочного металла с газовой фазой. Углекислый газ в зоне дуги диссоциирует по следующей реакции



Зависимость константы равновесия ($\lg K$) этой реакции от температуры (T) определяется уравнением

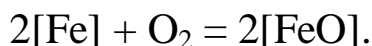
$$\lg K = \lg \frac{P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO_2}^2} = -\frac{29072}{T} + 8,81,$$

где P_{CO}^2 , P_{O_2} , $P_{CO_2}^2$ – парциальное давление газов.

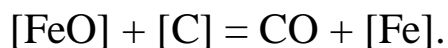
Если суммарное давление газов при диссоциации принять равным 1 атм, то $P_{CO}^2 + P_{O_2} + P_{CO_2}^2 = 1$. Установлено, что газовая фаза содержит примерно 42 % CO_2 , 38 % CO и около 20 % O_2 .

При сварке в CO_2 металл шва образуется путём смешивания расплавленного металла сварочной проволоки и некоторого количества жидкого металла оплавленных кромок свариваемых деталей. Проходя дуговой промежутком, капли присадочного металла нагреваются до более высокой температуры, чем металл сварочной ванны, поэтому процессы взаимодействия между металлом и газовой фазой на стадии капли протекают более полно и с большей скоростью.

При высоком содержании кислорода в газовой фазе окисление железа протекает по следующей реакции:

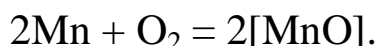
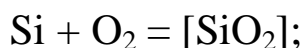


Образовавшаяся закись железа растворяется в ванне жидкого металла. В хвостовой части сварочной ванны при снижении температуры происходит восстановление закиси железа, растворённой в жидком металле углеродом, также растворённым в сварочной ванне:



Образовавшаяся закись углерода нерастворима в жидком металле и образует пористость.

Для борьбы с окислительной способностью газовой фазы дуги при сварке в углекислом газе используют сварочную проволоку Св-08Г2С, содержащую около 2 % марганца и около 1 % кремния. При сварке проволокой марки Св-08Г2С прежде всего окисляются марганец и кремний по следующим реакциям:



Это происходит потому, что марганец и кремний при высоких температурах обладают большим сродством к кислороду, чем железо.

Оборудование и материалы

При выполнении лабораторной работы используется следующее оборудование, приборы, материалы и инструменты:

- сварочный автомат АДПГ-500;
- расходомер;
- стилоскоп СЛ-13;
- сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,6...2,0 мм;
- углекислота в баллонах;
- пластины стальные с размерами 5x50x70 мм;
- инструмент слесарный и мерительный.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством сварочного автомата АДПГ-500. Под руководством учебного мастера произвести пробную сварку.

2. Зачистить поверхность образцов на наждачном камне до металлического блеска.

3. Произвести сварку образца сварочной проволокой Св-08Г2С в углекислом газе.

4. Разрезать образец поперёк сварного шва и зачистить поверхность среза на наждачном камне до металлического блеска.

5. Определить на зачищенной поверхности макрошлифа геометрические размеры сварного шва.

6. Определить с помощью спектрального анализа содержание марганца и кремния в основном металле, сварочной проволоке и металле шва.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- сварочные материалы и режим сварки;
- эскиз сварного соединения с размерами сварного шва;

- полученные экспериментальные данные, необходимые расчеты и результаты, их анализ и выводы по результатам анализа.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет защитный газ при сварке?
2. Какие виды защитных газов применяются в сварке?
3. Какой путь борьбы с окислительной способностью газовой фазы используется при сварке в углекислом газе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Цель работы

Изучение металлургических процессов, протекающих при сварке под флюсом малоуглеродистых сталей.

Теоретическое введение

При автоматической сварке под флюсом последний, расплавляясь, образует шлак, который выполняет следующие функции:

- защищает жидкий металл от непосредственного контакта с воздухом;
- обеспечивает раскисление, легирование и рафинирование металла шва;
- улучшает тепловой режим сварки путём снижения скорости охлаждения металла шва;
- обеспечивает устойчивость процесса сварки;
- обеспечивает оптимальное формирование металла шва.

Выполнение этих функций возможно только при определённых свойствах сварочных флюсов.

Сварка малоуглеродистых сталей производится под высокомарганцовистыми флюсами-силикатами. Типичными представителями этих флюсов, получивших наибольшее распространение, являются сварочные флюсы АН-348А и ОСЦ-45.

Химический состав флюсов приведён в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав флюсов АН-348А и ОСЦ-45

Марка флюса	ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, %									
	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CaF ₂	Na ₂ O	FeO	S	P
ОСЦ-45	42–45	38–43	2,5	5,0	1,0	5,5–6,0	0,6–0,8	1,5	0,15	0,15
АН-348А	41–43	34,5–37,5	3,0	5,5	5,5–7,0	3,5–5,5	–	1,0	0,15	0,12

При сварке под флюсом между шлаком и металлом протекают обменные реакции. О характере протекающих реакций

можно судить по результатам сравнения расчётной концентрации какого-либо элемента с фактическим содержанием его в шве.

Если обозначить долю основного металла в образовании шва через "а", долю сварочной проволоки через "b", тогда расчётная концентрация элемента, например Mn_p , в металле шва может быть определена по уравнению

$$[Mn]_p = a[Mn]_a + b[Mn]_b,$$

где $[Mn]_a$ – концентрация марганца в основном металле, %;

$[Mn]_b$ – концентрация марганца в проволоке, %.

Величины "а" и "b" определяют по макрошлифу, изготовленному из сваренного образца. При этом $a + b = 1$.

Константа равновесия для марганца K_{Mn} определяется следующим уравнением:

$$K_{Mn} = \frac{[Mn] \cdot (FeO)}{(MnO)},$$

где $[Mn]$ – содержание марганца в металле шва, %;

(MnO) и (FeO) – содержание окиси марганца и закиси железа в шлаке, %.

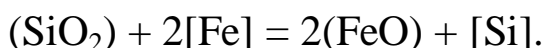
Преобразуя данное уравнение, получим

$$[Mn] = K_{Mn} \frac{(MnO)}{(FeO)}.$$

Образовавшаяся закись железа FeO распределяется между шлаком и металлом. Содержание марганца в металле шва увеличивается с повышением температуры, увеличением в шлаке концентрации MnO и уменьшением концентрации FeO .

Процесс легирования металла шва кремнием аналогичен процессу легирования марганцем.

В высокотемпературной области сварочной ванны протекает следующая реакция



Равновесное состояние определяется константой равновесия K_{Si}

$$K_{Si} = \frac{[Si] \cdot (FeO)^2}{(SiO_2)}$$

где $[Si]$ – содержание кремния в металле шва, %;
 (SiO_2) и (FeO) – содержание окиси кремния и закиси железа
 в шлаке, %.

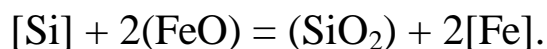
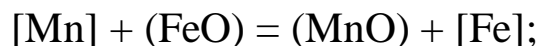
Преобразовав данное уравнение, получим

$$[Si] = K_{Si} \frac{(SiO_2)}{(FeO)^2}$$

Содержание кремния в металле шва увеличивается с повышением температуры, увеличением концентрации SiO_2 и уменьшением содержания в шлаке FeO .

Раскисление металла шва облегчается тем, что в хвостовой части сварочной ванны происходит снижение температуры до температуры кристаллизации.

При этом протекают следующие реакции:



MnO и SiO_2 уходят в шлак или дают дисперсные шлаковые включения.

Оборудование и материалы

При выполнении лабораторной работы используется следующее оборудование, приборы, материалы и инструменты:

- сварочный автомат АДС-1000-2;
- стилоскоп СЛ-13;
- сварочная проволока Св-08А диаметром 3 мм;
- флюс АН-348А или ОСЦ-45;
- пластины стальные с размерами 16x100x300 мм;
- инструмент слесарный и мерительный.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством автомата АДС-1000-2. Под руководством учебного мастера произвести пробную сварку.

2. Зачистить поверхность образцов на наждачном камне до металлического блеска.

3. Произвести сварку образца под флюсом ОСЦ-45 или АН-348А. Марка флюса указывается преподавателем.

4. Разрезать образец поперёк сварного шва и зачистить поверхность макрошлифа на наждачном камне до металлического блеска.

5. Определить на зачищенной поверхности макрошлифа геометрические размеры сварного шва.

6. Определить с помощью спектрального анализа содержание марганца и кремния в основном металле, сварочной проволоке и металле шва.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- сварочные материалы и режим сварки;
- эскиз сварного соединения с размерами сварного шва;
- полученные экспериментальные данные, необходимые расчеты и результаты, их анализ и выводы по результатам анализа.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет шлак при автоматической сварке под флюсом?

2. Из каких основных компонентов состоит сварочный флюс?

3. Как можно определить содержание марганца и кремния в металле шва при сварке под флюсом?

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, 1988.– 559 с.
2. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки, и термическая обработка сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1989–266 с.
3. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т. П. – М: Металлургия, 1976. - 600 с.
4. Сварка и свариваемые материалы. В 3-х т. Т. I.– Свариваемость материалов. Справ. Изд. / Под ред. Э.Л. Макарова.– М: Металлургия, 1991. - 528 с.
5. Богомолова Н.А. Практическая металлография. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.