

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА «МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА»**

Абралов М.А.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Теория сварочных процессов»
для подготовки бакалавров по направлению
5522700 - «Машины и технология сварочного производства»**

ТАШКЕНТ 2007

УДК 621.791.1

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория сварочных процессов» для подготовки бакалавров по направлению 5522700 «Машины и технология сварочного производства»/ ТашГТУ; Абралов Махмуд Абралович. Ташкент, 2007.

Составитель: проф., д.т.н. Абралов М.А.

Методические указания к выполнению лабораторных работ обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Машины и технология сварочного производства».

Протокол № _____ от «_____» _____ 2007 г

Заведующий кафедрой: проф., д.т.н. Абралов М.А.

Методические указания к выполнению лабораторных работ рассмотрены и утверждены на заседании Методического Совета Механико-машиностроительного факультета:

Протокол № _____ от «_____» _____ 2007г

Председатель

Методического Совета факультета:

проф., д.т.н. Махкамов К.Х

Содержание

Лабораторная работа № 1. Исследование дугового разряда между угольными электродами.....	4
Лабораторная работа №2. Изучение катодного распыления при сварке алюминиевых сплавов.....	7
Лабораторная работа №3. Исследование ионизирующего действия компонентов электродных покрытий.....	10
Лабораторная работа № 4. Нагрев и расплавление электродов.....	13
Лабораторная работа № 5. Проплавление основного металла при наплавке валиков.....	16
Лабораторная работа № 6. Исследование процесса легирования металла шва при ручной дуговой сварке.....	20
Лабораторная работа № 7. Исследование процесса легирования металла при автоматической сварке под флюсом.....	22
Лабораторная работа № 8. Исследование структуры фронта кристаллизации.....	24
Список используемой литературы.....	28

Лабораторная работа №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ УГОЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Цель работы: Наблюдение за процессом дугового разряда и строением дуги, изучение влияния рода и полярности тока, а также ферромагнитных масс на характер дугового разряда, снятие статической вольтамперной характеристики дуги.

Содержание работы

Дуговой разряд представляет собой один из видов электрического разряда в газах. Дуговой разряд характеризуется большой плотностью разрядного тока, поддерживаемого эмиссией электронов с накаливаемого катода и термической ионизацией дугового промежутка.

Для начала дугового процесса необходимо зажигание или возбуждение дуги. Зажигание дуги можно осуществить путем соприкосновения электродов непосредственно или через токопроводящую прокладку, а также без соприкосновения электродов посредством подачи на электроды тока высокого напряжения и частоты.

Дугу можно рассматривать в виде газового проводника, имеющего в средней части приблизительно форму цилиндра. Возле электродов дуга несколько сужается до размеров активных пятен. Под активными пятнами понимают наиболее нагретые участки на поверхности электродов, проводящие практически весь ток дуги. Активное пятно на отрицательном полюсе дуги называется катодным пятном, а на положительном полюсе — анодным пятном.

Дуга по длине делится на три области: катодная, анодная и столб дуги. Катодная и анодная области непосредственно примыкают к электродам, а столб дуги располагается между ними. Протяженность катодной области примерно равна длине свободного пробега электрона (10^{-5} см), протяженность анодной области больше и составляет приблизительно 10^{-3} — 10^{-5} см.

В процессе дугового разряда происходит разогрев газа в столбе дуги. При этом температура газа столба обычной дуги достигает $6000-8000^{\circ}\text{C}$, а сжатой 35000 — 40000°C . Предельная температура катодного пятна равна температуре кипения материала катода. Тепло, которое выделяется в результате дугового разряда, распределяется следующим образом: 45% на катоде, 56% на аноде и 21% в столбе дуги.

Свойства сварочной дуги как элемента электрической цепи определяются статической вольтамперной характеристикой. Вольт—амперной характеристикой дуги называется зависимость напряжения на дуге U_d от величины силы тока дуги (рис. 1.1.) напряжение дуги равно сумме падений напряжений трех областей:

$$U_d = U_k + U_c + U_a \quad (1.1)$$

где U_k — падение напряжения в катодной области, $U_k = 8-20\text{В}$;

U_c — падение напряжения в столбе дуги, В;

U_a — падение напряжения а анодной области, $U_a=2—4В$.

U_k практически не зависит от тока и длины дуга и примерно равно потенциалу ионизации материала катода. U_c и U_a увеличиваются с повышением напряженности электрического поля E и длины дуги l . E свою очередь увеличивается с повышением плотности тока в столбе дуги и уменьшением длины дуги. Напряжение дуги зависит еще от ряда факторов, в частности от эффективного к.п.д. дуги. Как видно, U_d , в основном, зависит от плотности тока в столбе и длины дуги. Уменьшение плотности тока в столбе дуги при увеличений тока возможно при условии, что сечение столба дуги возрастает быстрее, чем ток. Следовательно, по мере увеличения тока уменьшается E , U_a , U_c , U_d ; вольтамперная характеристика дуги в этом случае будет падающей. Увеличение плотности тока столба дуги при увеличении силы тока наблюдается в том случае, если сечение столба дуги не может больше увеличиваться. В этом случае при увеличении тока повышается E , U_a , U_c , U_d ; вольтамперная характеристика дуги становится возрастающей (рис. 1.1)

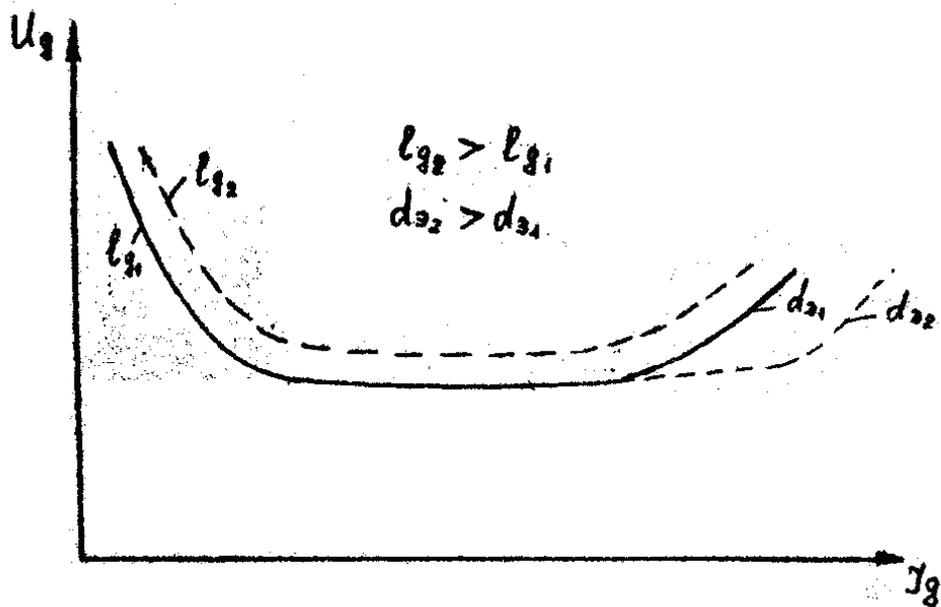


Рис. 1.1. Статическая вольтамперная характеристика дуги.

Из анализа статической вольтамперной характеристика дуги следует, что она является нелинейным элементом электрической цепи. Поэтому закон Ома для дуги неприменим. Для небольшой плотности тока справедлива формула Айртона:

$$U_d = a + bl_d + \frac{c + dl_d}{I} \quad (1.2)$$

где a , b , c , d - коэффициенты, зависящие от материала электродов и состава газового промежутка.

Для некоторых используемых режимов сварки ($I_d > 100А$, $j_d > 200А/мм^2$) напряжение дуги практически не зависит от силы тока:

$$U_d = U_k + U_a + E_c l_c \quad (1.3)$$

где E_c — напряженность электрического поля в столбе дуга, $E_c = 10—40$ см.

Оборудование и материалы

1. Установка для наблюдения за процессом дугового разряда, включающая устройство для вертикального перемещения электрододержателя, объектив для увеличения и проектирования дуги на экран, полупрозрачный экран.
2. Угольные электроды и угольная пластина
3. Источники питания дуги: выпрямитель ВД—303. трансформатор ТД — 300.
4. Измерительные приборы (амперметры и вольтметры).
5. Ферромагнитная масса (массивный железный предмет).
6. Стальная пластина.

Порядок выполнения работы

1. Между угольным электродом и угольной пластиной возбудить дугу, питая её от сварочного выпрямителя на прямой полярности (отрицательный полюс на электроде). Изменяя фокусное расстояние объектива, добиться четкого изображения дуги на экране. Зарисовать дугу. Вращением маховичка вертикального перемещения электрода, оборвать дугу и замерить максимальную длину разрыва с учетом увеличения.

Результаты опыта нанести в таблицу 1.1

Таблица 1.

Род тока	Полярность	U_d , В	I_d , А	$l_{\text{разр}}$, мм
Постоянный	Прямая			
	Обратная			
Переменный	-			

2. Опыт повторить на постоянном токе обратной полярности. Максимальную длину дуги на обратной полярности измерить при прежних электрических характеристиках дуги и занести результаты в таблицу 1.1.

3. Опыт повторить на переменном токе, сохраняя прежний ток. Результаты также включить в таблицу 1.1. Сделать выводы по трем опытам.

4. При двух фиксированных значениях длины дуги постоянного тока прямой полярности получить зависимость напряжения на дуге U_d от силы тока дуги I_d для двух электродов различного диаметра. Результаты опыта занести в таблицу 2. По табличным данным построить статические вольт—амперные характеристики дуги $U_d = f(I_d)$

Таблица 2.

№ п/п	d_{31}				d_{32}			
	l_{d1}		l_{d2}		l_{d1}		l_{d2}	
	$I_{д}, А$	$U_{д}, В$						

Сравнить проводимость дугового разряда с проводимостью металла.

5. Возбудить дугу постоянного тока прямой полярности между угольным электродом и угольной пластиной. Поднести к дуге массивный железный предмет. Отметить отклонение дуги.

6. Возбудить дугу постоянного тока прямой полярности между угольным электродом и стальной пластиной (в центре, на ребре и в углу пластины). Проследить за дугой на экране.

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать краткое описание опытов, схему установки, таблицы с результатами экспериментов, графики статических вольтамперных характеристик дуги и анализ опытов.

Контрольные вопросы

1. Что такое электрическая дуга и какие процессы протекают в ней?
2. Что такое статическая вольтамперная характеристика дуги? Объясните ее характер.
3. Каково отличие дугового разряда от других проводников электрического тока?
4. Почему ферромагнитные массы оказывают влияние на дуговой разряд?
5. Почему на устойчивость горения дуги влияет род и полярность электрического тока?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕР ПРОТЕКАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА И ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ШВА

Цель работы: ознакомление с возможностями управления дугой и формированием металла шва посредством внешнего магнитного поля.

Содержание работы

При взаимодействии магнитного поля с проводником электрического тока возникает сила, действующая на проводник (направление силы определяется по правилу левой руки). В условиях сварки проводниками являются дуга и жидкий металл сварочной ванны. Поэтому внешнее магнитное поле взаимодействует с ними. Силы, образующиеся при взаимодействии, перемещают дугу и расплавленный металл ванны.

Направление перемещения и характер движения определяются видом и родом магнитного поля, а также родом сварочного тока. В зависимости от направлений линий магнитной индукции по отношению к оси сварочной дуги различают два вида магнитного поля: продольное и поперечное. Силовые линии продольного магнитного поля параллельны оси сварочной дуги, поперечного магнитного поля — перпендикулярны.

В общем случае движение дуги и жидкого металла ванны имеют сложный характер. Наиболее элементарное движение они совершают в случае постоянного магнитного поля и постоянного сварочного тока. При указанных условиях продольное магнитное поле вращает столб дуги и расплавленный металл сварочной ванны, а поперечное магнитное поле отклоняет дугу в ту или иную сторону и смещает жидкий металл ванны относительно оси в одну из сторон.

Изменением вида и рода магнитного поля и рода сварочного тока достигается колебание и вращение столба дуги, возвратно — поступательное и вращательное перемещение активного пятна по поверхности сварочной ванны, смена формы сварочной дуги, колебательное и вращательное движение расплава сварочной ванны.

Оборудование и материалы

1. Установка для наблюдения за процессом дугового разряда на экране.
2. Угольные электроды и угольная пластина.
3. Соленоиды и электромагнитные катушки.
4. Устройство для электромагнитного воздействия УМПТ—1 или УМПТ—2.
5. Сварочный выпрямитель ВД-303.
6. Установка ИПК-350-4.
7. Сварочный трактор АДФ—500
8. Большой инструментальный микроскоп БМИ—1.
9. Пластины из алюминиевого сплава АМгб.
10. Травитель для выявления макроструктуры.

Порядок выполнения работы

1. На установке для наблюдения за процессом дугового разряда проследить на экране за строением дуги и ее отклонением при наложении внешнего магнитного поля. Магнитное поле создается соленоидами или электромагнитными катушками при питании от устройства УМПТ—1 или УМПТ-2. Сварочную дугу возбудить между угольным электродом и угольной пластиной.

Выявить влияние вида, рода и полярности магнитного поля, а также полярности сварочного тока на особенности дугового разряда. Для всех случаев зарисовать форму дуги.

2. Путем проплавления пластин из сплава АМгб на тракторе АДФ—500 при питании от источника ИПК—350—4 выявить воздействие

внешнего магнитного поля на процесс формирования металла сварочного шва. Эксперименты провести на постоянном, переменном (50 Гц) и импульсном токе. При питании электромагнитной катушки импульсным током установить влияние частоты следования импульсного магнитного поля и их скважность на чешуйчатость металла шва. Выявить область значений магнитной индукции в которой происходит удовлетворительное формирование металла шва. Установить влияние параметров внешнего импульсного магнитного поля на геометрические размеры сварного шва. Глубину проплавления определить на макроструктурах поперечного сечения швов. Измерения ширины шва (b) и глубины проплавления (h) проводить на инструментальном микроскопе БМИ—1. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	B , Гс	$t_{и}$, мс	$t_{п}$, мс	f , Гц	σ	b , мм	h , мм

Построить графики зависимости ширины шва и глубины проплавления от индукции внешнего импульсного магнитного поля при различных значениях частоты следования импульсов и их скважности:

$$b=f(B), \quad h=f(B)$$

По проведенным опытам сформулировать выводы

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать краткое содержание, описание опытов, результаты измерений в виде таблицы и графиков, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Виды магнитных полей, используемых при сварке?
2. Какое влияние оказывают продольное и поперечное магнитные поля на дуговой разряд и металл сварочной ванны?
3. Как влияют вид, род и полярность внешнего магнитного поля на форму сварочной дуги?
4. Как влияют постоянное, переменное и импульсное поля на формирование металла шва?
5. Какое воздействие оказывают частота следования импульсов и их скважность на чешуйчатость металла шва?
6. Как влияют параметры импульсного магнитного поля на геометрические размеры сварочного шва? Чем объясняется такое влияние?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: установление влияния ионизирующей способности компонентов электродных покрытий и готовых электродов на устойчивость дугового разряда.

Содержание работы

Для стабильного протекания дугового разряда необходимо, чтобы в пространстве между электродами всегда находилось достаточное количество заряженных частиц: электронов и ионов. Электроны в дуговое пространство попадают, вследствие термо- и автоэлектронной эмиссии с катода и в результате ионизации газа, а также компонентов электродных покрытий. При ионизации кроме электронов образуются ионы. Ионизация может быть вызвана соударением, облучением (фотоионизация), нагревом (термическая ионизация). Устойчивость дугового разряда во многом определяется легкостью ионизации, характеристикой которой является потенциал ионизации. Потенциалом ионизации называется энергия, сообщаемая электрону для разрыва связей с молекулой или атомом и выраженная в вольтах (точнее в электрон-вольтах). Первые потенциалы ионизации некоторых элементов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Первые потенциалы ионизации, В

Cs	K	Na	Ca	Fe	H	H ₂	O	N	Ar	F	Ne	He
3,88	4,30	5,11	6,08	7,83	13,53	15,40	13,56	14,5	15,7	18,6	21,5	24,5

Для повышения устойчивости дугового разряда в состав электродных покрытий вводят соединения элементов, имеющих низкий потенциал ионизации (соли щелочных и щелочноземельных металлов). Такие компоненты электродных покрытий называются ионизирующими. Кроме ионизирующих в состав электродных покрытий входят компоненты, основное назначение которых защита металла сварочной ванны и шва от вредного воздействия окружающей среды, металлургическая обработка жидкого металла и формирование шва. Ввиду различного целевого назначения компонентов, ионизирующая способность их может быть различной. Некоторые компоненты, которые содержат элементы с высоким потенциалом ионизации (например фтористые соединения), снижают устойчивость дугового разряда.

Для характеристики совокупности компонентов на стабильность дугового разряда пользуются понятием эффективного потенциала ионизации, который зависит не только от потенциалов ионизации отдельных компонентов, но и от их концентрации. Эффективный потенциал ионизации U_0 вычисляется по формуле:

$$U_0 = \frac{T}{5800} \ln \sum_1^n \gamma^{1/2} e^{-\frac{5800U_i}{T}}$$

где T – температура, ° К;

γ - концентрация компонента (молярная доля);

U_i - потенциал ионизации компонента, В.

Для сопоставления ионизирующей способности компонентов электродных покрытий и готовых электродов определяют разрывную длину дуги.

Оборудование и материалы

1. Установка для определения разрывной длины дуги, содержащая устройство для вертикального перемещения электродов и шкалу с делениями.

2. Сварочный трансформатор ТСК—500;

3. Отдельный электрододержатель с угольным электродом.

4. Стальные электроды без покрытия и стальные пластины.

5. Электроды МР-3, ОММ-5, УОНИИ 13/45

6. Мел (CaCO_3).

7. Плавленый шпат (CaF_2)

8. Песок (SiO_2)

9. Каолин ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

10. Поташ (K_2CO_3).

11. Красная кровавая соль ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$)

12. Титановый концентрат (38% TiO_2 , 52% FeO , 5% Al_2O_3 , 5% SiO_2).

13. Ферросилиций (70—80% Si).

14. Ферромарганец (70 — 80% Mn).

Порядок выполнения работы

1. Закрепить на установке голый стальной электрод на расстоянии 2—3 мм от стальной пластины. Включить источник питания дуги и посредством электрододержателя с угольным электродом кратковременно замкнуть сварочную цепь для возбуждения дуги. После зажигания дуги и расплавления части электрода дуговой разряд прекращается, вследствие увеличения расстояния между электродом и стальной пластиной. Замерить разрывную длину дуги. Опыт повторить три раза и вычислить среднее значение.

2. Опыт повторить, присыпая поочередно к концу голого электрода компоненты покрытий. Перед каждым опытом производить очистку конца электрода и стальной пластины от остатков прежних компонентов. Перед замером разрывной длины дуги удалять шлак о затвердевшего металла.

3. Опыт повторить, но вместо голого электрода в электрододержатель установки вставить поочередно покрытые электроды, Состав электродных покрытий приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2.

Состав покрытия электродов, %

Марка электрода	ОММ-5	УОНИИ 13/45	МР-3
Титановый концентрат	37	-	-
Марганцевая руда	21	-	-
Полевой шпат	20	-	-
Ферромарганец	9	2	15,5
Крахмал (декстрин, мука)	-	-	-
Мрамор	-	53	18
Плавленый шпат	-	18	-
Кварц	-	9	-
Ферросилиций	-	3	-
Ферротитан	-	15	-
Рутил	-	-	50
Каолин	-	-	5
Оксицеллюлоза	-	-	15
Тальк	-	-	10

Результаты опытов занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3.

Голый электрод	Мел	Плавленый шпат	Песок	Каолин	Поташ	Красная кровяная соль

Титановый концентрат	Ферро-силиций	Ферро-марганец	ОММ-5	УОНИИ13/45	МР-3

По полученным результатам сделать выводы

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать краткое описание опытов, результаты сведенные в таблицу, анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Что такое потенциал ионизации и эффективный потенциал ионизации?
2. Каково назначение компонентов электродного покрытия?
3. Какие компоненты относятся к ионизирующим?
4. Почему ионизирующая способность солей, содержащих одинаковые катионы и разные анионы различна?
5. Чем определяются ионизирующая способность элемента?
6. Какой компонент является ионизирующим в составе покрытий ОММ-5, УОНИ 13/45, МР—3.

Лабораторная работа № 4 НАГРЕВ И РАСПЛАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ

Цель работы: Изучение процессов нагрева и расплавления электродов при сварке.

Содержание работы

Электрод нагревается теплом, выделяемым электрическим током, протекающим по стержню, и теплом, вводимым сварочной дугой через пятно нагрева на рабочий торец электрода.

Нагрев электрода током. Для приближенного расчета нагрева электродов в промежутке температур от 0 до 800°C выведено уравнение. Расчеты процесса нагрева электродов по уравнению упрощаются номограммой (рис. 4.1), связывающей следующие критерии процесса: безразмерную температуру T_{np}/D_1 и безразмерное время nt . Безразмерный коэффициент n вычисляется по формуле:

$$n = \frac{A}{m d_1} \left(\frac{T_{np}}{D_1} + 1 \right) \quad (4.1)$$

где A , D_1 , m - постоянные величины, определяемые экспериментально. Для некоторых типов электродов значения постоянных приведены в таблице 1.1.;

d_1 - диаметр стержня электрода, мм;

(4.2)

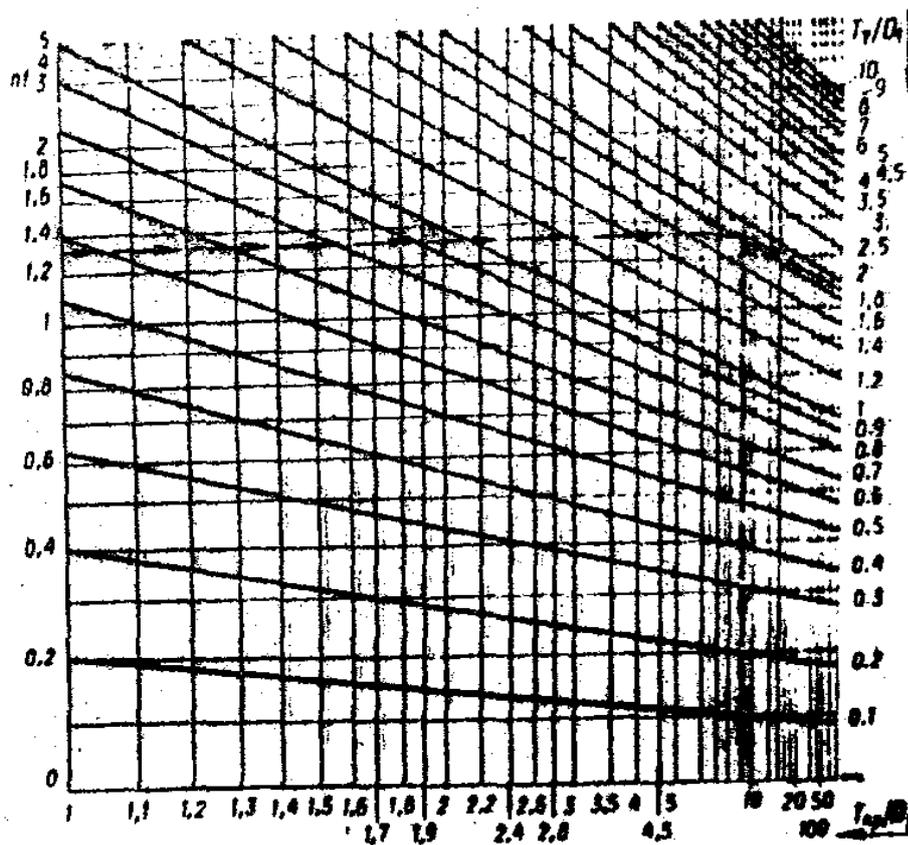


Рис. 4.1. Номограмма для расчета процесса нагрева током электрода из малоуглеродистой стальной проволоки.

Значения постоянных величия А, D₁

Тип		Род тока	А, $\frac{мм^2 \cdot C}{A^2 \cdot сек} 10^{-2}$	D ₁ , °C	m, $\frac{мм^3 \cdot C}{A^2}$
проволока	покрытие				
малоуглеродистая	меловое	постоянный	3,1	240	2,65
		переменный	3,7	300	
	УОНИИ-13 ОММ-5	постоянный	2,4	200	2,5
		переменный	2,7	240	

Предельная температура нагрева электрода определяется из формулы:

$$T_{np} = md_1 j^2 + T_0$$

где j - плотность тока, А/мм²;

T_0 — начальная температура электрода, °C

Нагрев электрода теплом дуги. Дуга нагревает электрод только в непосредственной близости от расплавленного конца на участке длиной не более 10 мм. Распределение температура $T(x)$ в электроде вблизи дуги описывается уравнением предельного состояния процесса распространения тепла от подвижного плоского источника в линейном поле впереди источника ($x \geq 0$)

$$T(x) - T_T = (T_K - T_T) e^{-\frac{wx}{a}} \quad (4.3)$$

где x — расстояние от торца электрода, см;

T_T - температура подогрева электродного стержня током, °C;

T_K — температура торца электрода, равная средней температуре капель, °C;

w — скорость плавления электрода, см/сек;

a - коэффициент температуропроводности, см²/сек,

Расплавление электродов. Количество тепла, вводимое в металл электрода за единицу времени вычисляется по формуле

$$q_s = \eta_s \cdot 0,24UI \quad (4.4)$$

где эффективный к.п.д. процесса нагрева электрода дугой, равный 0,15 – 0,30.

Это тепло расходуется на повышение энтальпии электрода от температуры его нагрева током T_T до средней температуры T_K отрывающихся капель:

$$q_s = wF\rho(S_K - S_T) \quad (4.5)$$

где F – площадь поперечного сечения электрода, см²;

ρ - плотность, г/см³;

S_K и S_T - энтальпия металла при температуре капель (для стали T_K 2000 – 2200°C) и температуре нагрева электроде током T_T , Дж/г

Приравнявая количество тепла, вводимое дугой (4.4) затрате тепла на расплавление металла (4.5), получаем уравнение расплавления электрода:

Выявить влияние типа электрода на процесс нагрева электрода. Пользуясь номограммой (рис. 4.1) произвести расчет нагрева электрода ОММ-5 током через каждые 20 — 30 сек. Сравнить опытные данные с расчетом.

2. На электродах ОММ—5 и ОЗЛ-17У укрепить поперек поверхность тонкой медной проволоки через каждые 50 мм. Осуществить расплавление электродов для двух значений тока. Время расплавления участка электрода фиксировать по секундомеру и заносить в таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

Время расплавления участков электрода

Ток, А	Тип электрода	Время расплавления, сек							
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈
I ₁ =...А	ОММ-5								
	ОЗЛ-17У								
I ₂ =...А	ОММ-5								
	ОЗЛ-17У								

Определить среднюю скорость расплавления каждого участка электрода и построить график изменения скорости по длине электрода. По опытным данным установить коэффициент неравномерности скорости расплавления электрода, коэффициент расплавления и производительность расплавления. Сопоставить опытные данные с расчетом. Рассчитать по формуле (4.3) температуру электрода на расстоянии 3,5 и 10 мм от торца электрода.

Содержание отчета

В отчете по работе должно быть краткое описание экспериментов, опытные и расчетные данные в виде таблиц и графиков, выводы с объяснением результатов.

Контрольные вопросы

1. Влияет ли марка электрода на плотность тока и скорость нагрева?
2. Почему нагрев электрода от тепла дуги отражается на относительно небольшой длине электрода?
3. Почему скорость расплавления электрода по длине неравномерна?
4. Как пользуясь данными по нагреву и расплавлению электрода, подобрать оптимальный режим сварки?

Лабораторная работа №5

ПРОПЛАВЛЕНИЕ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ ВАЛИКОВ

Цель работы: изучение эффективности процесса проплавления металла сварочной дугой.

Содержание работы

При дуговой сварке в процессе расплавления образуется сварочная ванна, а в процессе затвердевания формируется валик шва. Ванну и валик характеризуют следующими геометрическими размерами:

L — длина ванны; B — ширина ванны; H — глубина проплавления; H_B — высота усиления валика; F_{np} — площадь проплавления; F_n — площадь наплавки.

Длина ванны при наплавке узкого валика на поверхность массивного изделия мощной быстро движущейся дугой определяется из выражения:

$$L = \frac{q}{2\pi\lambda T_{пл}} \quad (5.1)$$

где q — эффективная тепловая мощность дуги, Дж/м;

λ — коэффициент теплопроводности, Дж/(см·сек·град);

$T_{пл}$ — температура плавления металла, 0С.

Площадь зоны наплавки вычисляется по формуле

$$F_n = \frac{\alpha_p I(1-\psi)}{3600\rho v}$$

где α_p — коэффициент расплавления, г/(А·ч);

I — сварочный ток,

ψ — коэффициент разбрызгивания;

ρ — плотность, г/см³;

v — скорость сварки, см/сек.

Эффективность процесса проплавления характеризуется термическим к.п.д. η_t , представляющий собой отношение количества тепла, необходимого для проплавления, ко всему теплу, вводимому в изделие дугой:

$$\eta_t = \frac{v F_{np} S'_{np}}{q} \quad (5.3)$$

где F_{np} — площадь зоны проплавления, см²

$S'_{np} = c\rho T_{пл}$ — объемная энтальпия расплавленного металла, включая скрытую теплоту плавления (для малоуглеродистой стали = 2500 кал/см³).

Термический к.п.д. процесса проплавления η_t для наплавки валика на массивное изделие находят по номограмме (рис. 5.1) в зависимости от безразмерного критерия

$$\varepsilon_3 = \frac{qv}{a^2 S'_{пл}} \quad (5.3)$$

пропорционального произведения мощности дуги на скорость её перемещения, и отношения H/B или H^2/B^2 , характеризующих очертание зоны проплавления.

Термический к.п.д. при сварке тонких листов встык находят по номограмме (рис. 5.2) в зависимости от безразмерного критерия

$$\varepsilon_2 = \frac{q}{a\delta S'_{пл}} \quad (5.4)$$

где δ — толщина пластины, см.

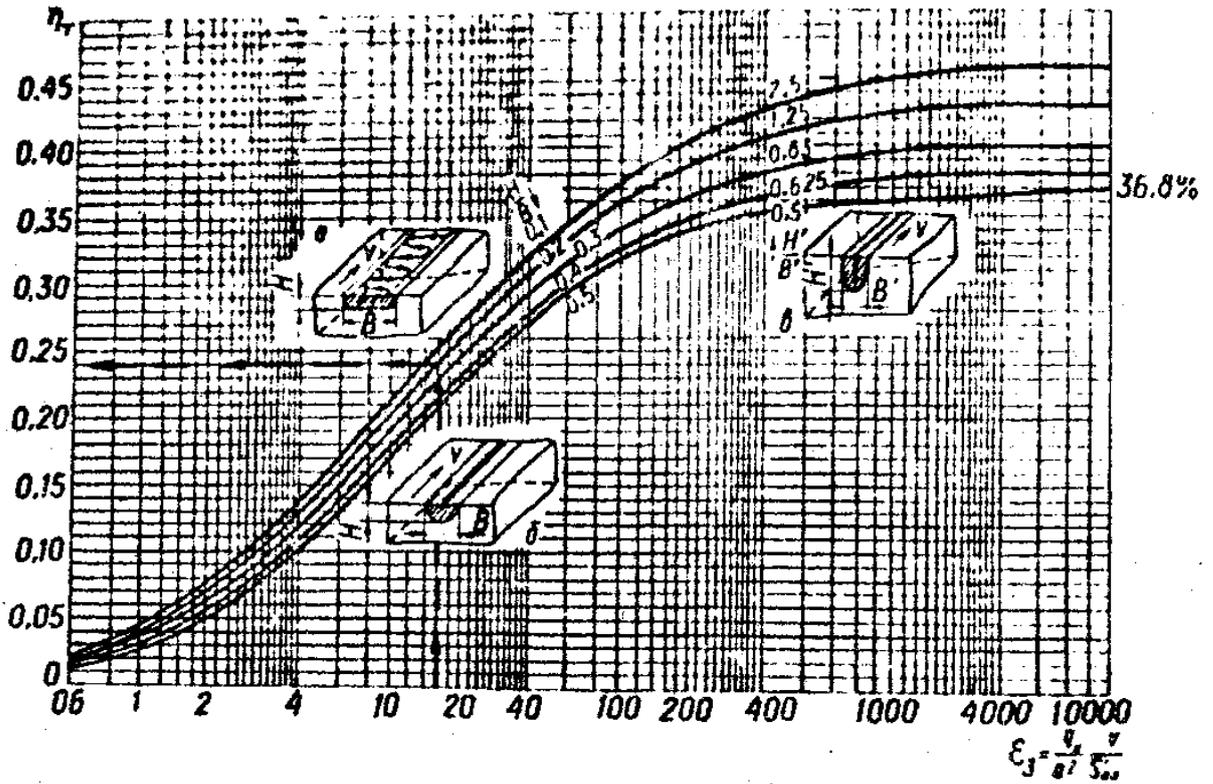


Рис. 5.1. График для расчетного определения термического к.п.д. η_t при наплавке валика на массивное тело, $H/B=0,1—2,5$:

а — уширенная зона, $H/B < 0,5$; б — полукруглая зона, $H/B=0,5$; в — углубленная зона, $H/B > 0,5$

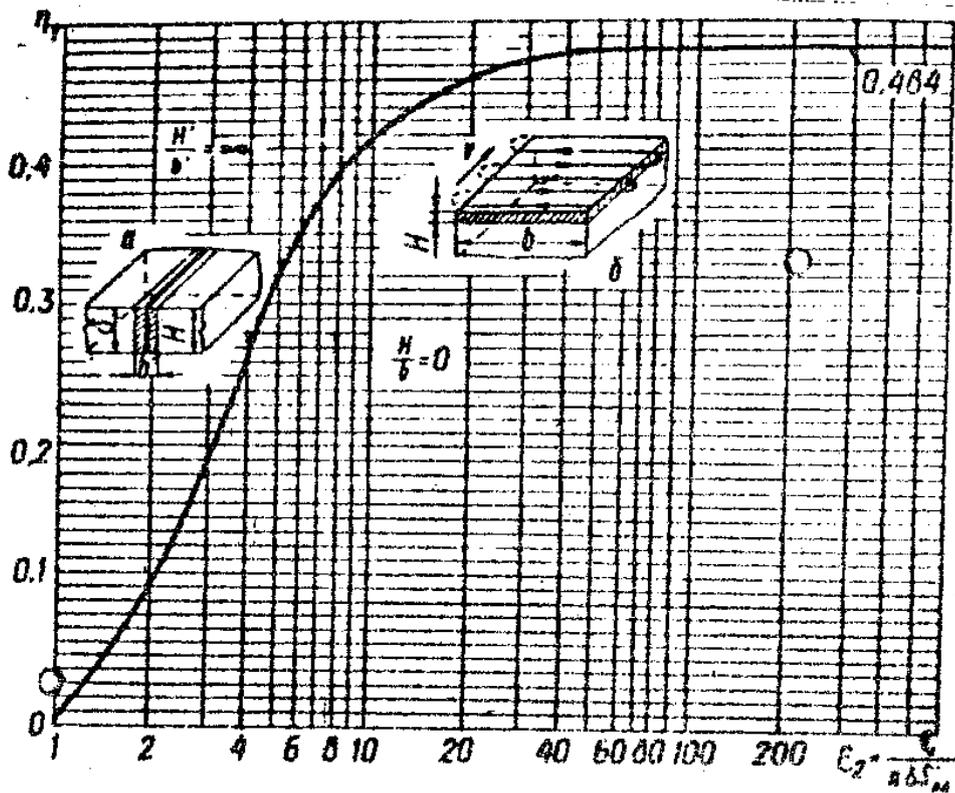


Рис. 2. График для расчетного определения термического к.п.д. η_t :

а - сварка тонких листов встык за один проход $H'/V'=\infty$; б — наплавка весьма широкого валика на массивное тело, $H/V=0$.

Полный тепловой к.п.д. характеризующий полную эффективность процесса проплавления, равен произведению эффективного к.п.д. процесса нагрева основного металла дугой и термического к.п.д.

$$\eta_{np} = \eta_u \eta_t \quad (5.5)$$

Оборудование и материалы

1. Пост для автоматической дуговой сварки под флюсом.
2. Большой инструментальный микроскоп БМИ—1.
3. Пластины из малоуглеродистой стали.
4. Флюс АН - 348-А
5. Реактив для выявления макроструктуры.

Порядок выполнения работы

При неизменной скорости сварки при трех значениях силы сварочного тока произвести наплавку на пластины. Определить длину ванны, площадь зоны наплавки, площадь зоны проплавления и занести их значения в таблицу 5.1. Глубину проплавления измерить на макрошлифе.

Таблица 5.1.

$I_{св}, A$	200	450	700
$L_{эксп}, см$			
$L_{расч}, см$			
$F_H_{эксп}, см$			
$F_H_{расч}, см$			
$F_{пр эксп}, см$			

Полученные данные проанализировать. Произвести расчеты по формулам (5.1) и (5.2) и сопоставить результаты опытов с расчетом.

2. Выявить влияние величины тока на термический к.п.д. процесса проплавления. Термический к.п.д. процесса проплавления определить по номограмме и по формуле (5.3).

Результаты занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2.

Зависимость термического к.п.д. процесса проплавления от тока.

$I_{св}, A$		200	450	700
η_t	по номограмме			
	по формуле			

3. При неизменной величине тока на трех скоростях сварки произвести наплавку на пластины. Установить влияние скорости сварки на термический к.п.д. процесса проплавления. Как и в предыдущем опыте

термический к.п.д. определить по номограмме и по формуле (5.3).
Результаты завести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3.

Зависимость термического к.п.д., процесса проплавления от скорости сварки

v, м/ч		40	90	150
η_t	по номограмме			
	по формуле			

Результаты опыта объяснить и сделать выводы.

Содержание отчета

В отчете по работе должно быть краткое описание экспериментов, опытные и расчетные данные в виде таблиц и графиков, выводы с объяснением результатов.

Контрольные вопросы.

1. Что влияет на размеры сварочной ванны?
2. От каких параметров зависят площадь зоны наплавки?
3. Какое влияние оказывают параметры режима сварки на величину термического к.п.д.?
4. Как можно повысить термический, тепловой и эффективный к.п.д. при сварке?

Лабораторная работа №6 ИССЛЕОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

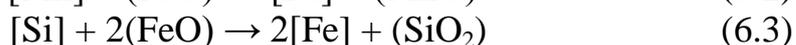
Цель работы: изучить изменение состава металла при сварке электродами с меловым покрытием и качественными электродами

Содержание работы

При ручной дуговой сварки голым электродом или электродом со стабилизирующим тонким покрытием из—за плохой защиты жидкого металла сварочной ванны происходит его взаимодействие с окружающей средой. В случае сварки стали происходит интенсивное окисление железа:



Закись железа, попадая в расплав, взаимодействует с компонентами стали, которые при высокой температуре являются раскислителями, а именно марганцем, кремнием и углеродом



Из—за протекающих реакций происходит обеднение металла шва марганцем, кремнием, углеродом, и как следствие, ухудшение качества сварных соединений. Для сохранения качества сварных соединений при ручной дуговой сварке рекомендуется использовать электроды с нанесенным слоем покрытия. Компоненты электродных покрытий выполняют различные функции, основные из которых защита металла ванны и шва от вредного воздействия окружающей среды, металлургическая обработка расплавленного металла и стабилизация дугового разряда.

Благодаря легирующим, раскисляющим, шлакообразующим компонентам, входящим в состав электродных покрытий, обеспечивается получение металла шва с заданным химическим составом, а следовательно и оптимальными свойствами.

Оборудование и материалы

1. Сварочный пост для ручной дуговой сварки
2. Спектрограф ДФС-8 и спектропроектор ПС—18
3. Пластины из малоуглеродистой стали
4. Электроды с меловой обмазкой
5. Электроды ОММ—5

Порядок выполнения работы

1. На пластину из малоуглеродистой стали произвести наплавку валика длиной 4-6 см электродом с меловым покрытием
2. Аналогично выполнить наплавку валика электродом ОММ—5 на ту же пластину
3. Полученные валики освободить от шлака металлической щеткой, после чего зачистить шкуркой до металлического блеска часть поверхности обоих валиков и небольшой участок основного металла.
4. Из оставшихся после сварки электродов отрезать нижние концы отбить покрытия и зачистить до блеска шкуркой. Все операции выполнить без повреждения застывшей капли, на конце электрода.
5. На спектрографе ДФС—8 по изменению интенсивности спектральных линий исследовать изменение содержания марганца в металле при ручной дуговой сварке. Спектры снять последовательно с основного металла, наплавленного металла, капли на конце электрода и металла верхнего конца электрода.
6. После проявления и просушки фотопластины с заснятыми спектрами просмотреть их в спектропроекторе ПС—18. Найти линию марганца с длиной волны $2576,104 \text{ \AA}$ по её интенсивности на различных спектрах сделать заключение для каждого случая.

Содержание отчета

В отчете по работе должно быть описание экспериментов, результаты, их анализ и выводы

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется разное содержание марганца в металле шва при сварке меловым и качественным электродом?
2. Чем вызвана разница в содержании марганца в электродной проволоке и капле, застывшей на конце электрода?
3. Какую роль выполняет марганец в металле шва?
4. Каким образом при сварке электродом ОММ-5 марганец переходит в металл шва?

Лабораторная работа №7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Цель работы: изучение легирования стали марганцем при автоматической сварке под плавными флюсами.

Содержание работы

При автоматической сварке флюс расплавляется и превращаясь в шлак, взаимодействует с жидким металлом. Длительность взаимодействия в зависимости от режима сварки составляет от 10—15 с до 1 мин. После затвердевания металла и шлака взаимодействие прекращается. Высокие температуры металла и шлака и большие поверхности контактирования благоприятствуют энергичному взаимодействию металла со шлаком даже при кратковременном их соприкосновении.

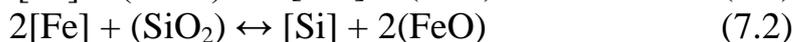
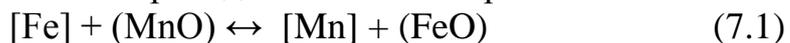
При сварке под плавным флюсом процессы легирования и раскисления происходят только, вследствие протекания обменных реакций между жидким металлом и шлаком. Вызвано это тем, что плавные флюсы представляют собой систему сложных силикатов и алюмосиликатов, не содержащих свободных металлов, как раскислителей осаждающего действия (таблица 7.1).

Таблица 7.1.

Состав сварочных плавных флюсов в % по массе

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O и K ₂ O	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P
								не более		
АН-348-А	41,0-44,0	34,0-38,0	≤ 6,5	5,0-7,5	≤ 4,5	-	4,0-5,5	2,0	0,15	0,12
ОСЦ-45	38,0-44,0	38,0-44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0	-	6,0-9,0	2,0	0,15	0,15
АН-60	42,5-46,5	36,0-41,0	3,0-11,0	0,5-3,0	≤ 5,0	-	5,0-8,0	1,5	0,15	0,15
АН-8	33,0-36,0	21,0-26,0	4,0-7,0	5,0-7,5	11,0-15,0	-	13,0-19,0	1,5-3,5	0,15	0,15
АН-20	19,0-24,0	≤ 0,5	3,0-9,0	9,0-13,0	27,0-32,0	2,0-3,0	25,0-33,0	1,0	0,08	0,05
АН-22	18,0-21,5	7,0-9,0	12,0-15,0	11,5-15,0	19,0-23,0	1,0-2,0	20,0-24,0	1,0	0,05	0,05
АН-26	29,0-33,0	2,5-4,0	4,0-8,0	15,0-18,0	19,0-23,0	-	20,0-24,0	1,5	0,10	0,10

При сварке углеродистой стали под плавным высококремнистым марганцевым флюсом, например АН-348-А, марганец и кремний частично вытесняются железом из шлака и переходят в металл сварочной ванны:



Реакции могут протекать в обоих направлениях. В зоне высоких температур вблизи дуги реакции проходят слева направо с восстановлением марганца и кремния; в затвердевающей части сварочной ванны реакции протекают справа налево с окислением марганца и кремния. Направление реакций определяется также концентрацией реагирующих веществ. При высокой концентрации марганца или кремния в металле сварочной ванны и отсутствии MnO и SiO₂ или высоком содержании FeO в шлаке окисление марганца и кремния возможно в зоне высоких температур сварочной ванны.

Переход марганца и кремния из флюса в металл сварочной ванны тем больше, чем выше содержание окислов марганца и кремния во флюсе.

Оборудование и материалы

1. Сварочный пост для автоматической сварки под флюсом
2. Спектрограф ДФС— 8 и спектропроектор ПС—18
3. Пластины из малоуглеродистой стали
4. Флюсы АН—348-А и АН—20.

Порядок выполнения работы

1. На пластину из малоуглеродистой стали произвести наплавку валика длиной 4—6 см под флюсом АН—348—А.
2. Аналогично осуществить наплавку валика под флюсом АН—20 на ту же пластину.
3. Полученные валики тщательно очистить от шлака, зачистить до металлического блеска часть поверхности обоих валиков и небольшой участок основного металла.
4. Отрезать куски электродных проволок с застывшими каплями на конце. Освободить каплю от шлака. Затем зачистить до блеска шкуркой куски проволок и капли.
5. На спектрографе ДФС—8 по изменению интенсивности спектральных линий исследовать изменение содержания марганца при автоматической дуговой сварке под флюсом. Спектры на фотопластинку снять последовательно с основного металла, валика наплавленного металла, капли на конце электродной проволоки и металла куска электродной проволоки с противоположного конца.
6. После проявления и просушки фотопластины с заснятыми спектрами просмотреть их в спектропроекторе ПС—18. Найти линию марганца с длиной волны 2576, 104⁰ Å по её интенсивности на различных спектрах сделать заключение для каждого случая.

Содержание отчета

В отчете по работе должно быть описание экспериментов, результаты, их анализ и выводы

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана разница в содержания марганца в наплавленном металле, полученном пол флюсами АВ—348-А и АН—20?
2. Как происходит легирование металла шва марганцем при автоматической сварке под флюсом АН—348—А?

Лабораторная работа №8 ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Цель работы: ознакомление со структурами роста при кристаллизации.

Содержание работы

Образование дефектов в металле сварных швов - трещин, пор, неметаллических включений — во многом зависит от условий первичной кристаллизации. В процессе неравновесной первичной кристаллизации в металлах и сплавах формируются химическая и физическая неоднородность, степень которых определяется, в первую очередь, структурой фронта кристаллизации.

Фронт кристаллизации по структуре может быть: плоским, ячеистым и дендритным. Степень химической и физической неоднородностей возрастает при переходе от плоского фронта к ячеистому и от ячеистого к дендритному.

Ячеистая структура состоит из ряда параллельных стержней (волокон), расположенных в направлении кристаллизации. Стержни в поперечном сечении имеют форму правильных шестиугольников, и выявленная методом декантации структура на фронте кристаллизации представляет из себя совокупность шестиугольных ячеек. Появление ячеистой структуры объясняется с позиций теории концентрационного переохлаждения. При коэффициенте распределения $k_0 < 1$ (коэффициент распределения k_0 равен отношению концентраций примеси в твердой и жидкой фазах $C_{тв}/C_{ж}$) примеси скапливаются перед движущимся фронтом кристаллизации, в результате чего возникает концентрационное переохлаждение. Любые, случайно образовавшиеся на фронте кристаллизации выступы попадают в область концентрационного переохлаждения, что благоприятствует их развитию. При этом примеси отводятся образовавшимися выступами, которые становятся устойчивыми образованиями на фронте кристаллизации. Вершины выступов продвигаются вглубь обогащенного примесью слоя в область более

высоких переохлаждений, где они растут быстрее. В результате возникновения боковых диффузионных потоков, примеси отводятся от выступов к границам, что приводит к понижению концентрации примесей на вершинах выступов и повышению их содержания по границам.

Условием перехода плоского фронта кристаллизации в ячеистый является наличие концентрационного переохлаждения, возникающего при условии, что истинный температурный градиент G меньше градиента равновесной температуры, равного произведению градиента концентрации G_c на наклон линии ликвидуса m , т. е.

$$\frac{G}{mG_c} \leq 1 \quad (8.1)$$

Выражая через скорость кристаллизации v коэффициент диффузии примеси в расплаве D , коэффициент распределения k_0 и среднюю концентрацию примеси в исходном расплаве C_0 , условие перехода плоского фронта кристаллизации в ячеистый можно записать следующим образом:

$$\frac{G}{v} \leq \frac{mC_0}{D} \cdot \frac{1-k_0}{k_0} \quad (8.2)$$

Из этого уравнения следует, что для возникновения концентрационного переохлаждения и соответственно образования ячеистой структуры при неизменном G/v в расплаве должна находиться некоторая концентрация примеси C_0 . А для предотвращения перехода плоского фронта кристаллизации в ячеистый при заданной C_0 , необходимо увеличить градиент температуры в расплаве или же уменьшить скорость перемещения фронта кристаллизации.

Количественной характеристикой ячеистой кристаллизации является размер ячеек. Ширина ячеек увеличивается при повышении C_0 и уменьшении G и v .

При значительном увеличении термического или концентрационного переохлаждения ячеистая структура переходит в дендритную. При наличии в расплаве термического переохлаждения некоторые ячейки, оказавшись впереди соседних начинают расти интенсивнее с образованием ветвей дендритов. Однако, дендритная структура в сплавах образуется, преимущественно, вследствие возникновения концентрационного переохлаждения. Когда переохлаждение превышает некоторую критическую величину, на всех ячейках начинают расти ветви и они превращаются в дендриты.

Условие перехода ячеистого фронта кристаллизация в дендритный выражается формулой

$$\frac{G}{v^2} \leq A \frac{C_0}{k_0} \quad (8.3)$$

где A — экспериментально определяемая постоянная. Она мало зависит от природы сплава.

При дендритной кристаллизации, как и в случае ячеистого роста, главные оси дендритов и их ветви имеют пониженное содержание примесей (при $k_0 < 1$), а междендритные пространства, затвердевающие в последнюю очередь, обогащены примесями.

При определенных условиях перед движущимся фронтом кристаллизации возможно зарождение новых кристаллитов. Новые кристаллиты зарождаются при достаточно большом переохлаждении (термическом или концентрационном) или же при наличии готовых центров кристаллизации, например в виде элементов—модификаторов.

Наблюдение за структурами роста при кристаллизации технических металлов и сплавов сопряжено со многими трудностями, ввиду их непрозрачности, высокой излучательной способности при температурах затвердевания, а также повышенной химической активности.

Поэтому наблюдение за структурами роста при кристаллизации удобно производить на модельных прозрачных веществах с низкой энтропией плавления, в частности на хлористом аммонии (NH_4Cl). Особенности кристаллизации отдельных веществ характерны и для затвердевания технических металлов и сплавов.

Оборудование и материалы

1. Бинокулярный стереоскопический микроскоп МБС—1.
2. Металлографический микроскоп МИМ—7.
3. Раствор хлористого аммония.
4. Спиртовка.
5. Предметные стекла
6. Образцы со сварными точками на алюминии АВ000, сплавах алюминия АД31, АМц, АМг6, Д16, Д19, никеле НП2, железоникелевом сплаве 06ХН28МДТ.

Порядок выполнения работы

1. На предметное стекло палочкой нанести каплю раствора хлористого аммония (NH_4Cl) и, пользуясь спиртовкой, подогреть каплю до образования монокристалльного ободка. Установить предметное стекло на столик микроскопа МБС—1 и через окуляры наблюдать за кинетикой процесса кристаллизации хлористого аммония из раствора. Проследить за моментами смены плоского фронта ячеистым и ячеистого дендритным. Зарисовать отдельные стадии кристаллизации.

2. Опыт повторить, поднося к поверхности капли, но не прикасаясь к ней наэлектризованную палочку (расческу). Проследить через микроскоп за кинетикой образования новых кристаллов перед фронтом кристаллизации. Зарисовать отдельные стадии образования новых кристаллов.

3. На микроскопе МИМ-7 изучить структуру сварных точек на алюминии АВ000, сплавах алюминия АД31, АМц, АМг6, Д16, Д19, никеле НО и НП2 от линии сплавления до центра точек. Зарисовать структуры

естественных поверхностей сварных точек на металлических материалах и сравнить их со структурами закристаллизовавшихся капель из раствора хлористого аммония.

4. Измерить ширину ячеек и осей дендритов первого порядка и изобразить графически в зависимости от расстояния до линии оплавления на металлических материалах или до монокристалльного ободка на закристаллизовавшейся капле хлористого аммония. Объяснить характер изменения структурных элементов кристаллитов.

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать описание методики, зарисовки последовательных стадий процесса кристаллизации, структуры металлических образцов со сварными точками, графики и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Возможные структуры фронта кристаллизации?
2. Условия устойчивости плоского и ячеистого фронтов кристаллизации?
3. От каких параметров процесса кристаллизации зависит величина структурных элементов кристаллитов?
4. Объяснить появление новых кристаллитов перед фронтом кристаллизации хлористого аммония при поднесении наэлектризованной палочки
5. Почему в сварных точках сплавов Д16 и Д19 отсутствуют участки с плоской и ячеистой кристаллизацией?

Список используемой литературы

1. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов - Киев: Вища школа, 1976.
2. Гаген Е.Т., Таран В.Л. Сварка магнитоуправляемой дугой. М.: Машиностроение, 1970
3. Ерохин А.А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. М.: Машиностроение, 1964
4. Лабораторные работы по сварке. Под ред. Г.А. Николаева - М.: Высшая школа, 1971.
5. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга - М.: Машиностроение, 1970
6. Мовчан Б.А. Границы кристаллитов в литых металлах и сплавах. Киев: Техніка, 1970
7. Никифоров Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972
8. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. М. Высшая школа, 1977.
9. Теоретические основы сварки. Под ред. В.В.Фролова. М.: Высшая школа, 1970.
10. Фролов В.В. Физико—химические процессы в сварочной дуге. М.: Машгиз, 1954.
11. Хренов К.К. Электрическая сварочная луга. Киев: Машгиз, 1949.