

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Инноватика и менеджмент качества»
Секция «Технология и автоматизация сварочного производства»

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
для студентов специальности 150202.65
и направления подготовки 150707.62

Курган 2013

Кафедра: «Инноватика и менеджмент качества»

Секция: «Технология и автоматизация сварочного производства»

Дисциплина: «Теория сварочных процессов» (специальность 150202.65,
направление подготовки 150707.62)

Составил: канд. техн. наук, доц. Т. П. Сорогина

Утверждены на заседании кафедры «27» августа 2012 г.

Рекомендованы методическим советом университета «22» октября 2013 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА И УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ДУГИ

Цель работы: ознакомиться с дуговым разрядом, его строением и определить коэффициенты уравнения электрической дуги при сварке открытой дугой с электродами из однородных материалов и различной полярности.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Источник питания сварочной дуги на постоянном и переменном токе.
- 2 Измерительные приборы (вольтметр, амперметр).
- 3 Проекционная установка.
- 4 Угольные электроды и стальные пластинки.
- 5 Твердомер ТК-2.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электрическая дуга, возбуждаемая между угольными электродами, характеризуется высокой устойчивостью. Устойчивость дуги в этом случае достигается за счет высокой термоэлектронной эмиссии на катоде, обеспечиваемой отсутствием плавления угольных электродов, а также интенсивным испарением графита на аноде.

Установившийся процесс электрического дугового разряда представляет собой сложный случай электрической проводимости. Падение напряжения в электрической дуге неодинаково в разных ее частях. В соответствии с этим всю область дугового разряда можно разбить на три зоны:

- 1) катодного падения напряжения;
- 2) падения напряжения в столбе дуги;
- 3) анодного падения напряжения.

Основными факторами, определяющими величину и распределение напряжения между электродами, является материал электродов, состав атмосферы, ток дуги, скорость струй защитных газов, степень сжатия дуги. Материал анода влияет на параметры дуги лишь в том случае, если потенциал ионизации его паров ниже, чем у катода. Элементы с низким потенциалом ионизации (K, Na, Ba, Li, Ca) снижают напряжение во всех частях дуги. У электродов, изготовленных из металлов, имеющих низкие и мало различающиеся температуры кипения (Fe, Cu, Ni, Ti и др.), обнаружены близкие по величине приэлектродные падения напряжения. Приэлектродные падения напряжения существенно ниже лишь у графитового и вольфрамового электродов, температуры кипения которых наиболее высоки.

Под устойчивостью горения электрической дуги принято считать ее максимальную длину в момент разрыва. Так как зависимость напряжения на дуге от ее длины, величины тока, материалов электродов и других факторов не

может быть установлена теоретически, то на практике пользуются эмпирическими уравнениями, в частности уравнением Г. Айртона:

$$U_g = a + bl + \frac{c + dl}{I};$$

где a, b, c, d – постоянные коэффициенты, зависящие от материала электродов, состава газовой атмосферы;

l – длина дуги, мм;

U_g – напряжение на дуге, В;

I – ток, А.

При токах $I \geq 1000$ А последним членом уравнения из-за его малой величины можно пренебречь, тогда уравнение приобретает следующий вид:

$$U_g = a + bl, \quad (\text{уравнение К. К. Хренова})$$

где a – сумма катодного и анодного падения напряжений, В;

b – падения напряжения на единицу длины дуги ($b = \tan \alpha$), В/мм.

Графически зависимость, учитываемая уравнением К.К. Хренова, показана на рисунке 1.1.

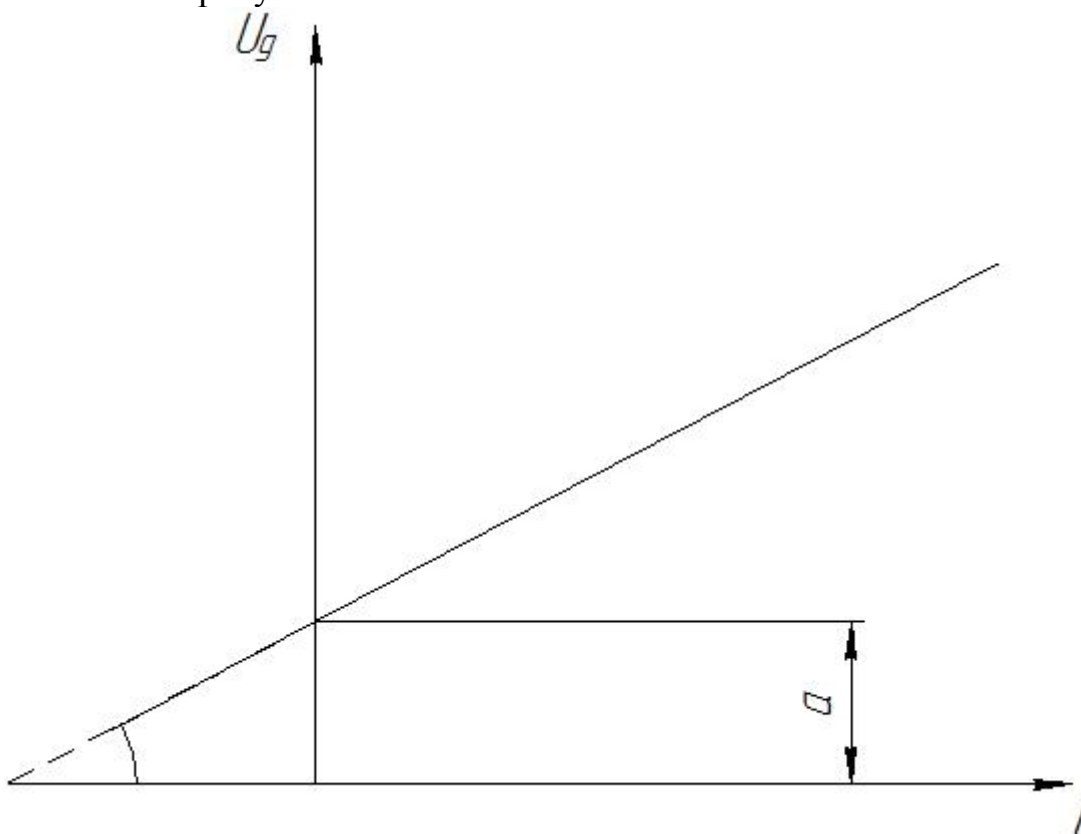


Рисунок 1.1 – Зависимость между напряжением на дуге и ее длиной

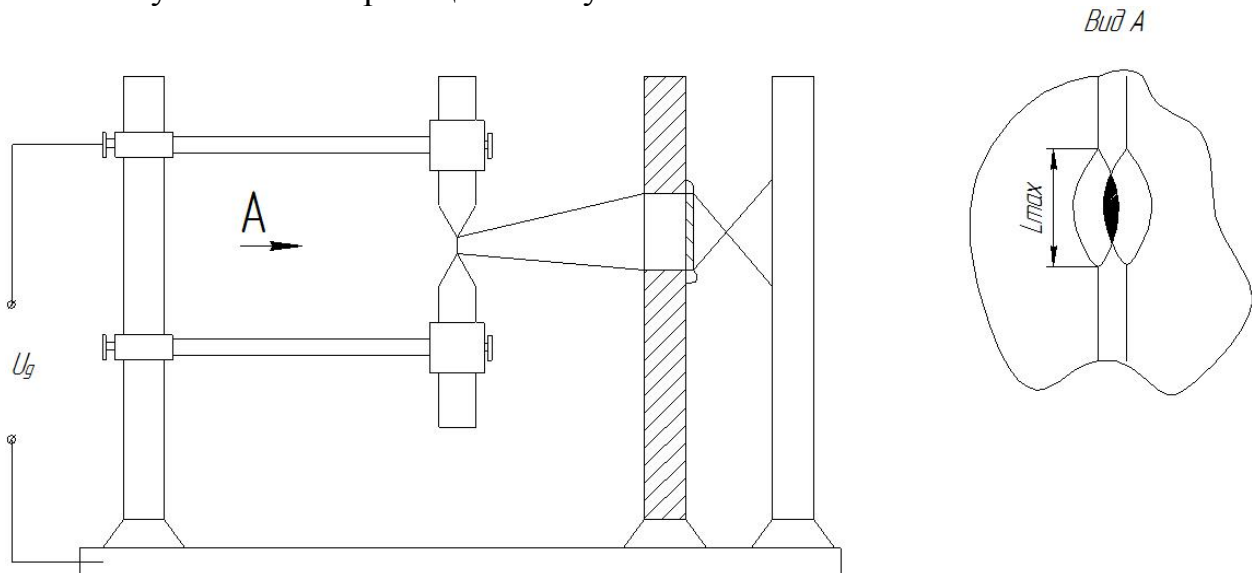
При обратной полярности дуги постоянного тока (металл – катод, угольный электрод – анод) происходит науглероживание металла сварного шва, обусловленное испарением углерода на аноде. Науглероживание металла можно обнаружить путем сравнения твердости исходного металла и сварного шва. Твердость увеличивается в направлении от основного металла к середине поверхности сварного шва.

С учетом вышесказанного при выполнении работы необходимо:

- 1) изучить строение дуги, возбуждаемой между угольными электродами, при питании дугового разряда постоянным и переменным током;
- 2) установить особенности дугового разряда, как проводника электрического тока;
- 3) определить значения коэффициентов a и b в уравнении Хренова;
- 4) определить изменение твердости исходного металла и сварного шва при обратной полярности дуги между угольным электродом и металлом.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Между угольными электродами возбудить электрическую дугу от источника питания постоянным током (рисунок 1.2). Спроецировать дугу на экран(4), добиваясь четкости изображения с помощью линзы (3). Зарисовать дугу и определить ее максимальную длину до разрыва (l разрыва при силе тока $I=150 A$). Длина дуги определяется по ее проекции при заранее определенном масштабе увеличения проекционной установки.



1 – электродержатели, 2 – угольные электроды, 3 – линза, 4 – экран
Рисунок 1.2 – Схема установки для проецирования сварочной дуги

2 Опыт повторить, возбуждая дугу между угольными электродами от источника питания переменным током. Определить максимальную длину дуги при таком же токе, что и в первом случае.

Результаты определений внести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Экспериментальные данные

№ замера	Род тока и полярность	Материал электродов	Ток, А	Напряжение на дуге, В	Длина проекции дуги, мм	Длина дуги, мм

3 Возбудить дугу между угольным и стальным электродами при прямой и обратной полярности и спроецировать ее на экран.

Изменяя длину дуги через определенные промежутки времени, фиксировать напряжение на дуге и ток. Каждый опыт повторить трижды. Результаты измерений занести в таблицу 1. По данным таблицы 1 построить графики в координатах « $U_g - l$ », проанализировать их и определить a и b . Результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Значения коэффициентов a и b

Катод	Анод	$a, В$	$b, В/мм$
Графит	Сталь		
Сталь	Графит		
Графит	Графит		

4 Приготовить микрошлиф сварного шва на стальном электроде. Через определенный интервал (3-4 мм) произвести замеры твердости на твердомере ТК-2. Результаты занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Значения твердости

№ замера	Расстояние между отпечатками	Твердость HRC(HRB)	Твердость(HВ)

По данным таблицы 1.3 построить кривую изменения твердости по ширине поверхности сварного шва.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть указаны следующие данные.

1 Методика проведения работы.

2 Графические зависимости, построенные по результатам опытов, их анализ.

3 Выводы.

При анализе графических зависимостей предлагается ответить на следующие вопросы:

1 Почему при различных сочетаниях электродов и различной полярности («графит»-«графит», «сталь»-«графит», «графит»-«сталь») коэффициенты a и b отличны и какими физическими величинами они определяются?

2 В каком случае получается наиболее устойчивая дуга и почему?

3 Протеканием какого процесса объясняется науглероживание материала катода в процессе горения дуги (катод-сталь, анод-графит) при постоянном токе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ГОРЕНИЯ ДУГИ

Цель работы:

- 1) выяснить влияние ионизирующей способности компонентов электродных покрытий на устойчивость дугового разряда;
- 2) определить ионизирующую способность готовых электродов УОНИ 13/55, ОЗС-4.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На стабильность горения дуги при сварке плавящимся электродом существенное влияние оказывает род тока и его величина, состав металла электродов и газовой атмосферы дугового промежутка.

Процесс ионизации газовой среды дугового промежутка сопровождается затратой энергии $A = e_0 * U_i$ (электрон-вольт),

где e_0 – заряд электрона ($4,8 * 10^{-10}$ СГСЭ ед. заряда),

U_i – потенциал ионизации (вольты).

Чем ниже потенциал ионизации атома или молекулы, тем легче из одной нейтральной частицы образуется две заряженных (электрон и положительный ион) и тем легче создать проводящую атмосферу, необходимую для поддержания дугового разряда.

Для повышения стабильности горения дуги на электроды наносят специальные покрытия, содержащие элементы, облегчающие эмиссию электронов и ионизацию газов в столбе дуги.

Цель настоящей работы заключается в выявлении влияния различных компонентов покрытия на стабильность горения дуги постоянного тока. Для сравнения исследуется стабильность горения дуги при голом электроде.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Сварочный пост, работающий на постоянном и переменном токе, оборудованный приборами (амперметр и вольтметр).
- 2 Штатив для электродов.
- 3 Электроды покрытые и голые.
- 4 Электроды марки УОНИ 13/55, ОЗС-4.
- 5 Измерительная линейка.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

По заданию приготавливаются замесы покрытий из испытуемых компонентов: мел ($CaCO_3$), плавиковый шпат (CaF_2), песок (SiO_2), гематит

(Fe_2O_3). Стержни из малоуглеродистой проволоки зачищаются до блеска и равномерно покрываются замесом.

После покрытия стержни просушиваются в течении часа на воздухе, а затем в течение одного часа в печи при температуре 200 °С.

Готовые электроды после тщательной зачистки торцов устанавливаются в специальный штатив.

На стол штатива укладывается тщательно зачищенная пластина. Зазор между электродом и стальной пластиной 1-1,5 мм. К электроду и пластине подводится напряжение от сварочного трансформатора. Для электродов диаметром 4 мм рекомендуется ток короткого замыкания 200 А.

Дуга зажигается угольным стержнем. По мере оплавления электрода длина дуги увеличивается, одновременно растет падение напряжения на дуге и уменьшается ток.

По достижении максимальной длины дуга гаснет. В момент обрыва дуги снять отсчет напряжения и тока.

После выключения тока производится замер длины дуги (рисунок 2.1).

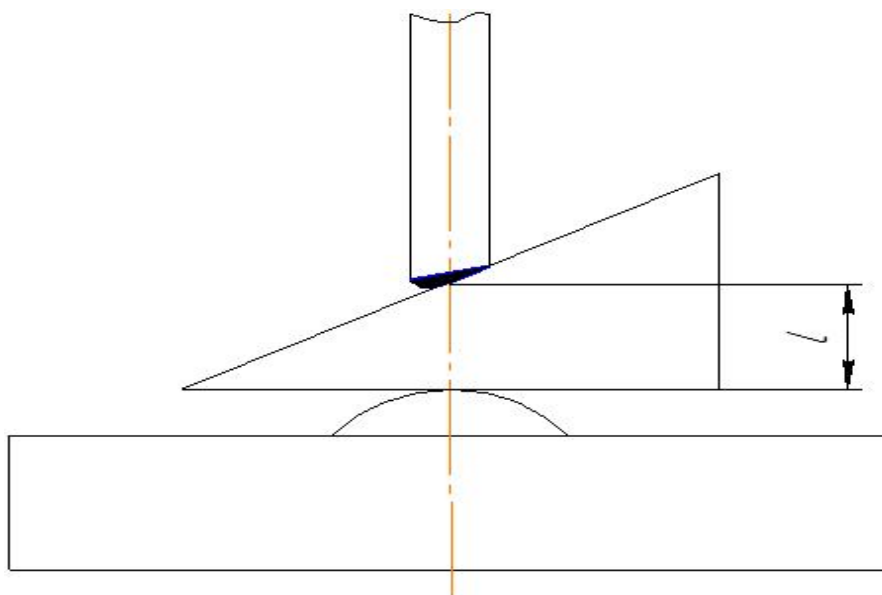


Рисунок 2.1 – Схема эксперимента

Электроды каждого варианта испытываются по 3 раза и длиной дуги считается средняя величина.

Данные опытов заносятся в таблицу 2.1.

Таблица 1 – Данные эксперимента

№ замера	Исследуемый компонент	Диаметр электрода, мм	Род тока	Напряжение на дуге в момент обрыва, В	Средняя величина дуги, мм

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать рисунки, схемы и описание опытов, результаты измерений, сведенные в таблицу, и анализ полученных данных по следующим вопросам.

1 Оценка ионизирующей (стабилизирующей) способности компонентов покрытия в зависимости от его состава.

2 Оценка ионизирующей способности компонентов, имеющих одинаковые металлические ионы и разные анионы (например, CaF_2 и $CaCO_3$).

3 Выяснить ионизирующую способность покрытий у готовых электродов УОНИ 13/55, ОЗС-4 и сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОРИСТОСТИ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА

Цель работы:

- 1) изучить методику определения пористости;
- 2) получить экспериментальные данные о влиянии некоторых факторов на пористость металла шва.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Образование пор в металле сварного шва происходит в результате выделения пузырьков газов, главным образом CO и H_2 , в процессе кристаллизации.

Оксид углерода образуется в результате протекания реакции взаимодействия углерода и кислорода, растворенных в металле, т.е. $[C]+[O]=\{CO\}$. Протекание этой реакции в головной части сварочной ванны оказывает положительное влияние, т.к. способствует перемешиванию металла и его раскислению (снижается содержание углерода). Однако, по мере понижения температуры, вязкость металла увеличивается и в связи с этим затрудняется выделение пузырьков CO . По достижению температуры кристаллизации вязкость металла становится такой, что значительная часть пузырьков CO не успевает из него выделиться и остается в нем в виде пор. Во избежание этого, при переходе от головной к хвостовой части сварочной ванны, необходимо затормозить (подавить) реакцию окисления углерода. С этой целью в сварочную ванну вводится кремний, химическое сродство которого к кислороду в хвостовой части становится выше, чем углерода. В этом случае, вместо реакции окисления углерода, являющейся источником образования пор, протекает реакция окисления кремния



Образующийся оксид кремния в металле не растворяется и, вследствие высокой температуры плавления, удаление его из сварочной ванны практически невозможно. Поэтому вместе с кремнием, в качестве раскислителя, вводят марганец, который взаимодействует с кислородом, образует оксид, тоже не растворимый в металле, $[Mn]+[O]=MnO$. Но оксиды кремния и марганца, взаимодействуя между собой, образуют легкоплавкие силикаты ($MnO*SiO_2$; $(MnO)_2*SiO_2$), обладающие высокой склонностью к коагуляции. С увеличением размера частиц силикатов увеличивается скорость их всплытия из металла ($V_{вспл.} = f(r^2)$, где r – размер частиц). Таким образом, во избежание образования пор и получения качественного металла шва требуется раскисление сварочной ванны кремнием и марганцем. При сварке в среде CO_2 кремний и марганец в сварочную ванну поступают из сварочной проволоки типа Св-08ГС, Св-08Г2С и др.

При сварке под флюсом кремний и марганец поступают в сварочную ванну путем их восстановления из соответствующих оксидов, растворенных в шлаке.

Водородная пористость возникает также в процессе кристаллизации металла сварочной ванны в результате скачкообразного снижения растворимости водорода в металле. Источниками растворения водорода в металле являются водяные пары в сварочных материалах, масло в зоне сварки, ржавчина. Влага, присутствующая в сварочных материалах, ржавчине ($mFe_xO_y \cdot nH_2O$), диссоциирует, а атомарный водород, один из продуктов диссоциации, растворяется в металле. Для предотвращения появления водородной пористости, сварку осуществляют в среде защитных газов, под флюсом.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Сварочный аппарат типа АДПГ-500 с источником питания.
- 2 Амперметр, вольтметр.
- 3 Пластины 150x150x14 из стали 3.
- 4 Флюс АН-348А, углекислый газ, электродные проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Подготовка (прихватка и очистка) образцов.
- 2 Настройка сварочного аппарата на заданный режим работы.
- 3 Сварка образцов.
- 4 Охлаждение образцов и их разрушение.
- 5 Определение пористости шва по трехбальной шкале:
пор нет, мало пор, много пор.

Результаты опытов заносят в таблицу 3.1, по данным которой анализируют влияние различных факторов на пористость металла шва при дуговой сварке.

Таблица 3.1 – Условия и параметры опытов

Исследуемый фактор	Марка электродной проволоки	Защита		Примечания
		среда	расход	
Защитная среда, состав проволоки	Св-08А	флюс CO_2	40 1000	высота слоя, мм л/ч
	Св-08Г2С	флюс CO_2	40 1000	
Защитная среда и ее расход	Св-08Г2С	CO_2	40 500 1000 1500	л/ч

Продолжение таблицы 3.1

	СВ-08А	флюс	0 10 20 40	высота слоя, мм
Влага	СВ-08Г2С СВ-08А	CO ₂ флюс	1000 40	наносится кисточкой вдоль будущего шва
Ржавчина	СВ-08Г2С СВ-08А	CO ₂ флюс	1000 40	насыпается тонким слоем вдоль шва
Масло	СВ-08Г2С СВ-08А	CO ₂ флюс	1000 40	наносится кисточкой вдоль будущего шва

Таблица 3.2 – Оценка пористости

№ опыта	Марка и диаметр проволоки	Режим сварки		Характер защиты		Исследуемый фактор	Оценка пористости
		I_g, A	U_g, B	среда	расход		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В ОКОЛОШОВНЫХ ЗОНАХ ПРИ СВАРКЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1 Определить изменение температуры металла в околошовной зоне в зависимости от режимов сварки.

2 Установить возможные структурные состояния в отдельных участках околошовной зоны в зависимости от термического цикла (нагрев – выдержка – скорость охлаждения) и протяженность зоны термического влияния при данном режиме сварки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В нагретых теплотой сварочной дуги зонах основного металла, прилегающих к шву, происходят фазовые и структурные изменения – рекристаллизация, перекристаллизация, рост зерна аустенита, образование закалочных структур и их отпуск. Изменение структуры основного металла в этих зонах зависит в основном от состава и свойств металла, а также от изменения температуры, обусловленного процессом распространения теплоты. Прилегающая к шву зона основного металла, в которой под воздействием теплоты сварочной дуги произошли заметные изменения структуры и механических свойств, называется зоной термического влияния.

Термические циклы в различно удаленных от шва слоях зоны термического влияния неодинаковы, поэтому сварное соединение представляет собой агрегат с неоднородной структурой и механическими свойствами, изменяющимися от термически неизменного основного металла до границы его с металлом шва.

Наиболее существенные структурные изменения наблюдаются в околошовной зоне. Одному из способов определения структуры металла в околошовной зоне посвящена данная работа.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Источник питания сварочной дуги с автоматом АДС-1000.
- 2 Термопары с гальванометром.
- 3 Металлические пластины, линейка.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1 Произвести разметку металлической пластины размером 200x300 мм согласно рисунку 1 и приварить термопары (хромель-алюмелевая).

2 Подключить термопары к гальванометрам и закрепить пластину на столе установки для автоматической сварки.

3 Источник тепла (электрическая дуга, газовая горелка и др.) передвигается с постоянной скоростью на самоходной тележке вдоль рисок, нанесенных на пластину.

4 Каждый последующий опыт производится после полного охлаждения пластины. Замер температуры производится через каждые две секунды с момента прохождения источником тепла линии начала отсчета, расположенной от конца пластины на расстоянии 50 мм (рисунок 4.1).

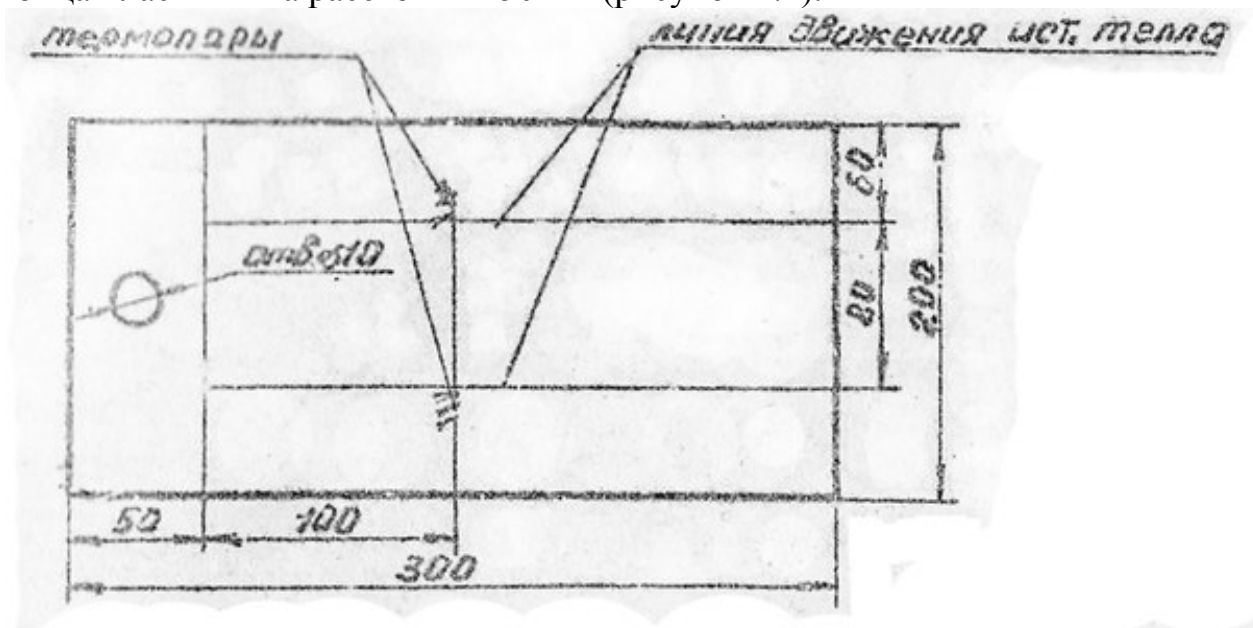


Рисунок 4.1 – Схема эксперимента

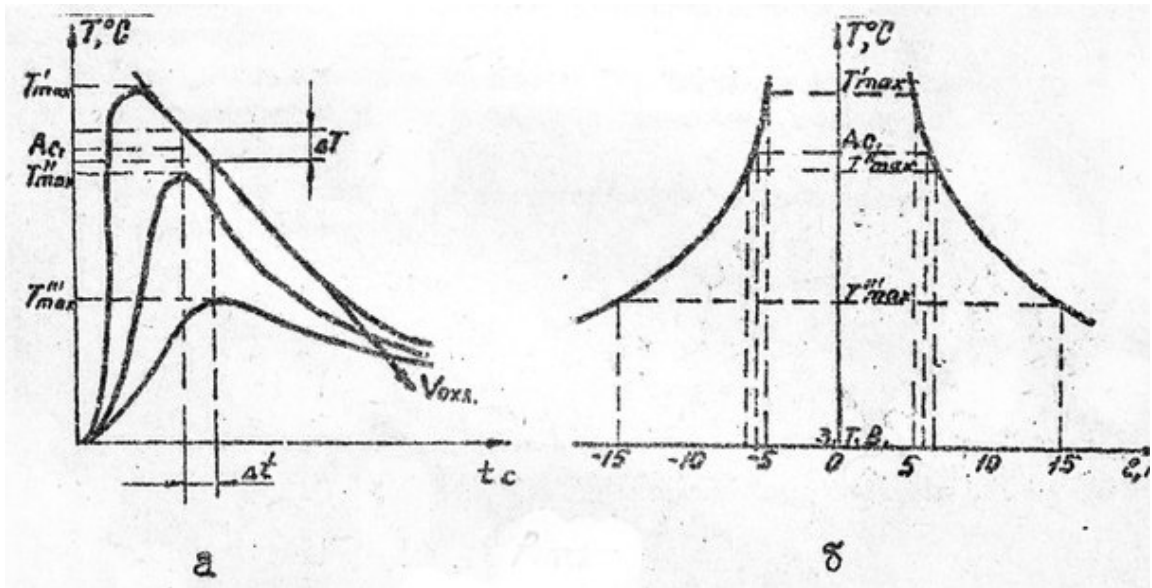
Результаты измерений заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты эксперимента

Номер замера (интервал 2 секунды)	Показания гальванометра для различных расстояний линии движения источника тепла от точки закрепления термопары (мм)			Примечание
	5	7	12	

4.5 По экспериментальным данным строятся кривые изменения температуры в точке закрепления термопары при движении источника тепла, а также кривые распределения максимальных температур в поперечном сечении, проходящем через точку закрепления термопары (рисунок 4.2).

4.6 По кривым графиков, построенных в масштабе, определить параметры термического цикла (максимальную температуру нагрева, время нагрева выше A_{c1} , наблюдаемые скорости охлаждения), ширину зоны термического влияния и дать оценку образования возможных структур в зоне термического влияния, пользуясь С-образной диаграммой анизотермического распада аустенита данной марки стали.



- а) кривые изменения температуры для различных расстояний от оси шва;
 б) распределение максимальных температур в поперечном сечении при установившемся тепловом поле

Рисунок 4.2 – Кривые изменения температуры

Источник тепла, режим сварки, род материала и толщина пластины указываются руководителем занятий.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Описание методики работы, примененного оборудования и режимов процесса.
- 2 Произвести запись результатов опытов в таблицу и на основании полученных данных построить графики.
- 3 Дать характеристику теплового воздействия при сварке на металл околошовной зоны, описать характер термического цикла и структурообразования.
- 4 Сделать общие выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ И РАСЧЕТ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Ознакомиться с методикой экспериментального определения нагрева электрода теплом Джоуля-Ленца и получить опытные данные о нагреве электрода.
- 2 Освоить методику расчета нагрева электрода математическими методами с использованием ЭВМ и с помощью номограммы.
- 3 Сопоставить опытные и расчетные результаты и проанализировать их.

ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ

- 1 Сварочный пост постоянного тока, оснащенный амперметром и вольтметром.
- 2 Термопара с соответствующим гальванометром.
- 3 Приспособление для замера нагрева электрода.
- 4 Секундомер.
- 5 Electrodes стальные голые и с качественным покрытием.

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучение нагрева электрода и распределения температур позволяет оценить условия, в которых происходит его плавление, оптимизировать параметры режима сварки (J ; U_d) с целью обеспечения более равномерного плавления электрода и предупреждения разрушения его покрытия вследствие возможного нагрева.

Во время сварки электрод, как известно, нагревается в результате действия объемного источника тепла (тепло Джоуля-Ленца, выделяемое проходящим по электроду током) и теплового воздействия дуги. Поэтому, на основе принципа наложения температура нагрева электрода

$$T = T_{об} + T_d, (1)$$

где T – температура нагрева электрода, °С;

$T_{об}$ – температура нагрева электрода теплом Джоуля-Ленца;

T_d – температура нагрева электрода теплом дуги.

Нагрев электрода дугой распространяется лишь на небольшую приторцевую область 5-10 мм, поэтому при расчете процесса нагрева основной части электрода влиянием дуги можно пренебречь. Однако влияние дуги как

источника нагрева может оказаться ощутимым в конце плавления электрода и особенно при сварке неплавящимся электродом.

Расчет нагрева электрода током. В интервале температур 0-800°C расчет можно производить на основании следующих зависимостей:

$$\frac{D_1 + T_{об}}{T_{np} - T_{об}} = \frac{D_1 + T_0}{T_{np} - T_0} \times e^{nt} \quad , \quad (2)$$

$$T_{np} = md_1\gamma^2 + T_0 \quad , \quad (3)$$

$$n = \frac{A}{md_1} \left(\frac{T_{np}}{D_1} + 1 \right) \quad , \quad (4)$$

где t – длительность прохождения тока, сек;

n – безразмерный критерий;

A, m, D_1 – опытные величины, выбираемые по приведенной таблице;

d_1 – диаметр электродного стержня, мм;

γ – плотность тока, А/мм²;

T_{np} – предельная температура нагрева, °С;

T_0 – начальная температура электрода (обычно равна температуре окружающей среды), °С.

3.1 Изучение нагрева электрода

Для определения нагрева электрода теплом Джоуля-Ленца в средней его части закрепляют термопару, а затем включают его в коротко замкнутую цепь сварочного генератора или трансформатора, предварительно отрегулировав величину тока (рисунок 5.1).

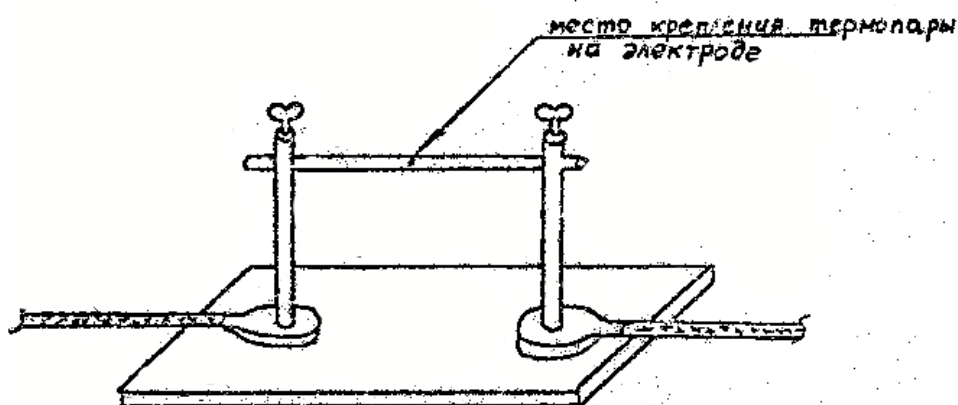


Рисунок 5.1 – Схема эксперимента

После включения тока через каждые 10 сек измеряют температуру электрода по показаниям подключенного к термопаре милливольтметра. Результаты измерений сводят в таблице 5.1.

Опыт выполняют голым электродом (ток 150, 200, 250 А) и толстопокрытым электродом (ток 200 А).

Таблица 5.1 – Результаты измерений

Время замера	Температура нагрева электрода, °С				
	голового			толстопокрытого	
	J=150 А	J=200 А	J=250 А	без дуги	при горении дуги
			опыт 1		опыт 2

Для определения влияния тепла дуги на нагрев толстопокрытого электрода с помощью термопары замеряют его температуру во время горения дуги. При этом термопару закрепляют в верхней части электрода на достаточно большом расстоянии от контактов электрододержателя. Сварочный ток при сварке должен быть таким же, как и в предыдущем опыте с толстопокрытым электродом без горения дуги. По результатам опытов строят кривые нагрева электрода $T_{об} = f(t)$.

2 В основе расчета на ЭВМ лежит зависимость:

$$T_{об} = \frac{Be^{nt}T_{np}-D_1}{Be^{nt}+1} \quad (5)$$

полученная из уравнения (2) после замены $\frac{D_1+T_0}{T_{np}-T_0} = B$

и соответствующих преобразований и упрощений. Для работы с программой расчета нагрева электрода на ЭВМ необходимо задаться следующими исходными данными:

- A, m, D_1 (опытные постоянные, таблица 5.2);
- t_0, t_k (начальное и конечное время нагрева);
- d_1 (диаметр электрода, мм);
- γ (плотность тока, А/мм²);
- T_0 (начальная температура электрода, °С).

Программа работает в диалоговом режиме. Последовательно отвечая на запросы, студенты вводят исходные данные и получают результат в виде графика изменения температуры нагрева электрода в зависимости от времени ($T_{об} = f(t)$).

3 Расчет нагрева электрода по номограмме (рисунок 7) производится в следующем порядке:

- определяют T_{np} и n по уравнениям (3,4), используя исходные данные для расчета на ЭВМ ($A; D_1; m; \gamma$);
- вычисляют безразмерные критерии nt и T_{np}/D_1 ;
- на оси ординат номограммы откладывают значение nt , на оси абсцисс проводят луч до пересечения с правой вертикальной осью и определяют значение $T_{об}/D_1$. Поскольку значение D_1 известно, то легко определить $T_{об}$.

Результаты расчета по номограмме сводят в таблицу 5.3. По результатам расчета строят график $T_{об} = f(t)$.

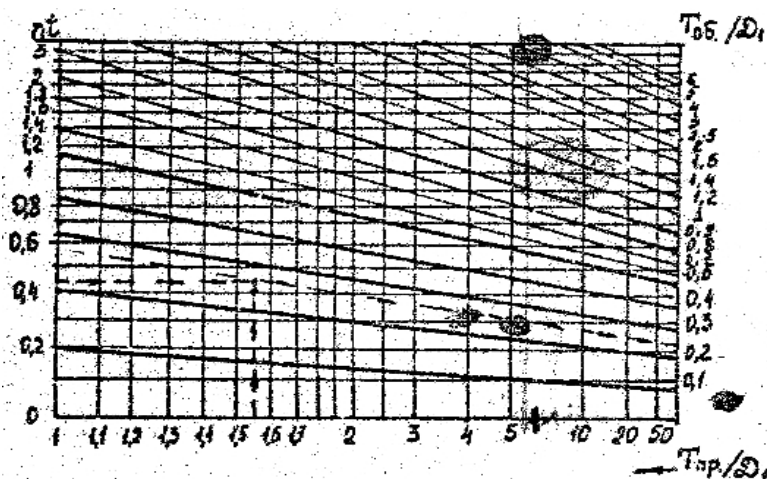


Рисунок 5.2 – Номограмма для расчета нагрева стальных электродов током

Таблица 5.2 – Опытные величины

Проволока Электрод	Покрытие	Род тока	$A, \frac{\text{мм}^2\text{°C}}{\text{a}^2\text{сек}}$	$D_1, \text{°C}$	$m, \frac{\text{мм}^3\text{°C}}{\text{a}^2}$
Малоугле- родистая Св-08	Меловое ОММ-5 и др.	Постоянный	0,031	240	2,65
		Переменный	0,037	300	2,65
		Постоянный	0,024	200	2,5
		Переменный	0,027	240	2,5

Таблица 5.3 – Данные для построения графика по номограмме

t	nt	$T_{об}/D_1$	$T_{об}$

Для сравнительного анализа необходимо:

- использовать одни и те же опытные данные ($t_k, d_1, \gamma, A, D_1, m$) для расчетов с использованием ЭВМ и с помощью номограммы;
- полученные зависимости $T_{об} = f(t)$ (опытную, с использованием ЭВМ, с использованием номограммы) построить в одних координатных осях.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Собрать схему опыта.
- 2 Провести эксперимент, результаты занести в таблицу 1.
- 3 Выполнить расчет нагрева электрода с использованием ЭВМ.
- 4 Произвести расчет нагрева электрода с помощью номограммы.
- 5 Построить в одних координатных осях опытную и расчетные зависимости.
- 6 Проанализировать результаты и сделать выводы.
- 5 Содержание отчета.

В отчете приводится схема опыта, результаты эксперимента в виде таблиц и графиков, общие выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРИ СВАРКЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование процесса распада аустенита в металле шва и околошовной зоне при сварке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При сварке металл шва и некоторая часть основного металла около шва достигает температуры, превышающей критические точки A_{c1} и A_{c3} . Металл этой части сварного соединения переходит в аустенитное состояние. При охлаждении ниже температуры происходит распад аустенита. Так как термический цикл нагрева и охлаждения в каждой точке сварного соединения не одинаков, то и процесс распада аустенита в соответствующих точках имеет свой отличительный характер. В зависимости от максимальной температуры нагрева, продолжительности пребывания в аустенитном состоянии, скорости охлаждения при температуре минимальной устойчивости аустенита образуются различные по структуре и дисперсности продукты его распада. При скоростях охлаждения в интервале температур минимальной устойчивости аустенита, меньших критической скорости закалки $V_{к}$, продуктами превращения аустенита будут перлитные структуры, а при скоростях охлаждения, больших $V_{к}$, продуктами превращения будет мартенсит.

Температура минимальной устойчивости аустенита и продукты его распада в изотермических условиях определяются из С-образной диаграммы превращения аустенита для данной марки стали.

В условиях сварки положение С-образных кривых и температуры мартенситного превращения зависит от степени растворения легирующих элементов в аустените и интенсивности роста зерна. Поэтому изменение параметров термического цикла (T_{max} , t_h , $V_{охл}$), зависящих в свою очередь от значения погонной энергии при сварке, может вызвать резкое изменение характера распада аустенита в сварном соединении.

Исследование распада аустенита в металле шва и околошовной зоне при сварке дает возможность судить о процессах образования холодных трещин, а также руководствоваться в выборе оптимальных режимов сварки.

Метод исследования распада аустенита при сварке основан на определении изменений магнитной проводимости сварного соединения в процессе превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ и образования структур на основе α железа (П; С; Т; М). Магнитная проводимость зависит от интенсивности процесса превращения аустенита и количества α фазы.

Могут встретиться три различных случая распада аустенита (рисунки 6.1, 6.2, 6.3).

1 Во всем объеме аустенизированной части сварного соединения распад аустенита сопровождается образованием перлитных структур. В этом случае имеется один пик кривой магнитной проводимости, лежащей в районе температур минимальной устойчивости аустенита (рисунок 6.1).

2 Во всем объеме аустенизированной части сварного соединения распад аустенита сопровождается образованием мартенсита. В этом случае имеется один пик кривой магнитной проводимости, лежащей в диапазоне температур между началом и концом мартенситного превращения (рисунок 6.2).

3 Часть объема сварного соединения, перешедшего в аустенитное состояние, претерпевает перлитное превращение, другая часть – мартенситное. Кривая магнитной проводимости будет иметь два пика, отражающих случай 1 и 2-й (рисунок 6.3).

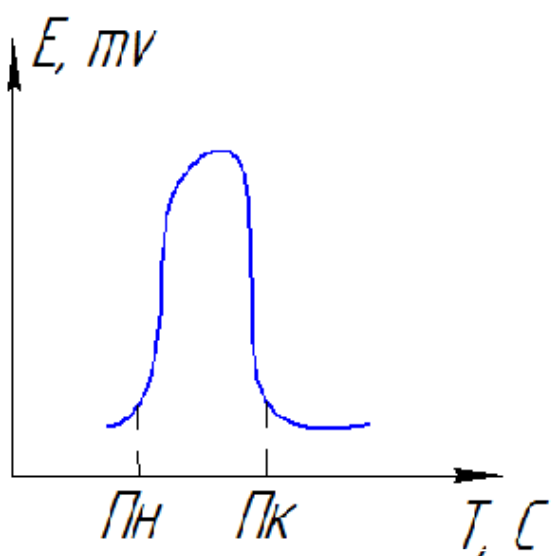


Рисунок 6.1

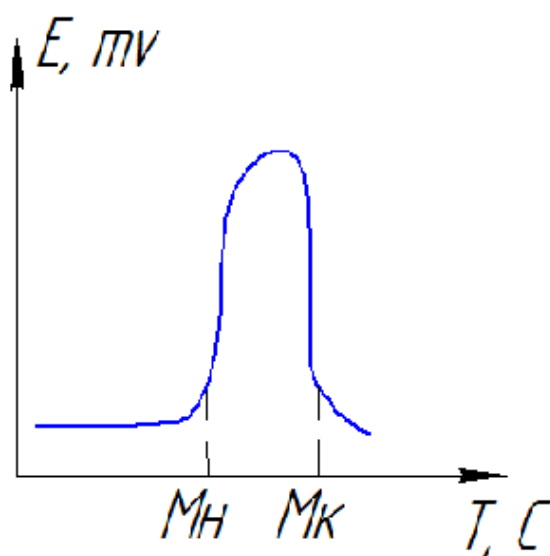


Рисунок 6.2

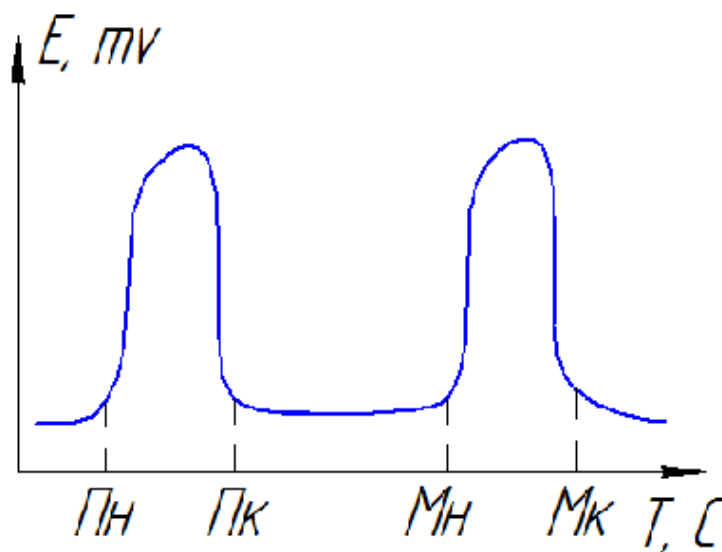


Рисунок 6.3

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Источник питания сварочной дуги.
- 2 Установка для измерения ЭДС и температуры в процессе сварки.
- 3 Милливольтметры для замера ЭДС и температуры.
- 4 Стальная пластина с V-образной разделкой под сварку.
- 5 Аккумулятор, амперметр и реостат для создания постоянного магнитного поля в витках трансформатора.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Собрать установку согласно схемы (рисунок 6.4).
- 2 Ознакомиться с приборами для измерения ЭДС и температуры.
- 3 Установить порядок включения и выключения установки.
- 4 Подготовить образцы и установить термопару.
- 5 Установить в прибор образцы и произвести сварку на определенном режиме.
- 6 Произвести запись ЭДС, температуры и свести данные в таблицу.

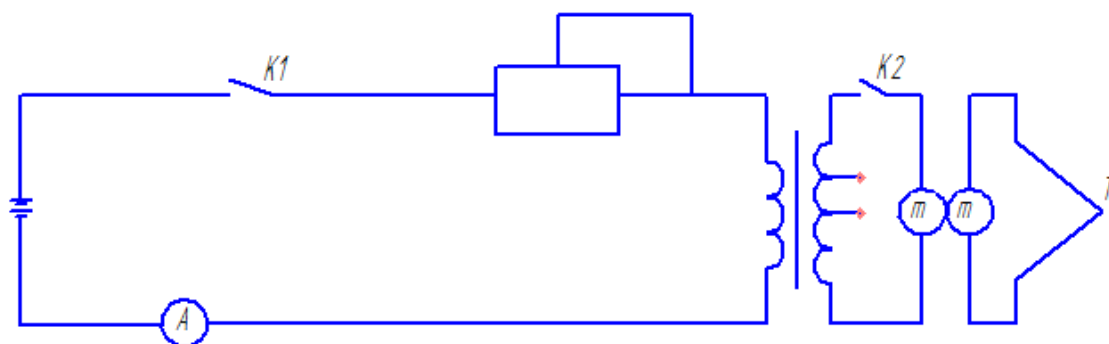


Рисунок 6.4

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 На основании полученных данных построить график зависимости $E=f(T)$.
- 2 Произвести анализ полученного графика, определить характер распада аустенита и продукты распада.
- 3 Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Изучить методику приготовления макро- и микрошлифов для выявления структуры сварных соединений.
- 2 Изучить структуру отдельных участков сварного соединения при различных методах сварки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При сварке методами плавления сварной шов образуется из электродного и присадочного металла, а также за счет расплавления основного металла. Следовательно, химический состав шва будет определяться составом наплавленного электродного (присадочного) и расплавленного основного металла. При этом химический состав отдельных участков шва, расположенных на различных расстояниях от линии сплавления, может отличаться.

В свою очередь химический состав шва оказывает влияние на характер структур, а также на механические и другие свойства наплавленного металла. Но структура и свойства шва зависят во многом и от его скорости охлаждения. Изменение скоростей охлаждения может достигаться за счет изменения погонной энергии сварки или путем предварительного подогрева и охлаждения свариваемых планок. Меняется скорость охлаждения и при сварке различными способами. Вместе с тем меняется структура шва и его свойства.

При сварке плавлением сварной шов имеет литую структуру с ярко выраженным столбчатым строением. В центре и у поверхности шва зерна имеют равноосную форму. Столбчатые кристаллиты состоят из отдельных групп дендритов.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ МАКРОАНАЛИЗА

При макроанализе производится исследование строения металла (макроструктуры) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (x 30).

Макроструктурный метод исследования сварных соединений разделяют на два вида:

- 1) изучение макрошлифов;
- 2) изучение изломов.

Исследование макрошлифов заключается в следующем:

- а) приготовление шлифов;
- б) травление шлифов;
- в) изучение (просмотр) структуры и дефектов макрошлифов.

Часто на этих шлифах производится замер твердости различных участков сварного соединения.

Макроанализ позволяет определить в металле сварного соединения величину, форму и расположение зерен, дендритность или волокнистость строения, различные дефекты: трещины, газовые поры, шлаковые включения и т.д., параметры шва и зоны термического влияния.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОШЛИФОВ

Исследование макрошлифа начинается еще до травления, когда в первом приближении можно отметить все особенности и некоторые дефекты сварного соединения. Затем производят травление образца раствором азотной кислоты для получения общей картины.

Макроструктура шва при сварке плавлением до некоторой степени похожа на структуру отливки в изложницу. Структура шва крупно-зернистая литая. Каждый наплавленный валик (как бы отдельный слиток) состоит из столбчатых кристаллов, которые растут перпендикулярно линии сплавления. В центре и у поверхности шва зерна имеют равноосную форму. Структура однослойных швов всегда бывает значительно более мелкозернистой, чем структура стального литья.

После травления азотной кислотой, места на шлифе, имеющие темный цвет, указывают на повышенное содержание углерода (и примесей) или на закалку. Места очень светлого цвета указывают обычно на обезуглероживание.

Зона термического влияния лучше протравливается у сталей с большим содержанием углерода.

Наружная часть зоны имеет мелкое зерно. У линии сплавления, где основной металл нагревается до максимальной температуры близкой к температуре плавления, зерно наиболее крупное. Размеры зоны термического влияния зависят от свойств основного металла (химсостав, структура, первоначальная температура) и от местного тепловложения в шов, т.е. от способа и режима сварки.

По макроструктуре можно определить глубину и форму провара, ширину и очертания зоны термического влияния. На макрошлифе производится замер основных параметров шва и зоны термического влияния. Макрошлиф позволяет подвергнуть тщательному изучению макродефекты шва. При изучении обращается внимание на форму, размеры и расположение дефектов, а также выясняются причины их образования.

Фотографирование макрошлифов производится при небольших увеличениях сразу же после травления, чтобы поверхность шлифа не успела окислиться.

МАКРОИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМОВ

Макроисследование изломов производится невооруженным глазом или с помощью лупы в следующих случаях:

- а) при предварительных опытах для разработки новой технологии сварки;

б) при механических испытаниях сварных соединений с целью оценки поведения металла при разрушении;

в) при аварийных изломах сварных деталей.

Излом при исследовании должен быть чистым и неповрежденным (лучше, если он будет свежим). Исследоваться должны обе стороны излома одновременно.

Излом позволяет установить:

а) наличие внутренних дефектов;

б) величину и ориентировку зерна;

в) характер разрушения металла (хрупкое или вязкое);

г) место и направление излома и т.д.

В сварных соединениях излом может идти по критическому сечению шва или по шву со смещением к одной из кромок детали, а иногда с вырывом основного металла.

Излом может быть хрупким (кристаллическим, зернистым), или вязким (волокнистым). Хрупкий излом происходит без значительной предварительной пластической деформации. По нему легко изучать строение металла (форму и размер зерна). Хрупкий кристаллический излом бывает межкристаллическим (интеркристаллическим) и транскристаллическим.

Вязкому волокнистому излому предшествует пластическая деформация металла, которая искажает действительную форму и размер зерна. На свежем изломе хорошо наблюдаются слоистость столбчатость, зоны крупного и мелкого зерна, а также различные дефекты: трещины, непровары, включения и т.п.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ МИКРОАНАЛИЗА

Микроанализ – исследование структуры и дефектов металла с помощью микроскопа (при увеличениях в 50-2000 раз). Наблюдаемая при этом структура называется микроструктурой.

При помощи микроструктуры можно установить:

1) форму и размеры кристаллических зерен;

2) изменения внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химикотермической обработки, а также после внешнего механического воздействия;

3) неметаллические включения - сульфиды, оксиды и т.д.;

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

5) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами и в некоторых случаях приблизительно химсостав изучаемого сплава.

Микроанализ состоит из следующих этапов:

а) приготовления шлифов;

б) травление шлифов;

в) исследование структуры под микроскопом.

Травление производят путем погружения образца в реактив или нанесения реактива (с помощью капельницы или ватки на стеклянной палочке)

на поверхность шлифа. Время травления определяется маркой сплава и его структурой. Обычно достаточно выдержка в несколько секунд. После травления микрошлиф промывают водой, спиртом и быстро просушивают с помощью фильтровальной бумаги или ваты. Затем шлиф помещают в сушильный шкаф.

Если после травления структура оказывается недостаточно выявленной (шлиф недотравлен), то производят повторное травление. Если структура получилась излишне темной и плохо различимой (шлиф перетравлен), то необходимо повторное полирование шлифа и новое травление с меньшей выдержкой или более слабым реактивом.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОД МИКРОСКОПОМ

Между структурой сварного соединения и многими его свойствами имеется вполне определенная качественная зависимость. В ряде случаев микроанализ позволяет понять и объяснить получающиеся свойства сварного соединения при различных условиях сварки.

Исследование начинается с рассмотрения под микроскопом нетравленного шлифа, т.е. непосредственно после полирования. Под микроскопом наблюдается светлый фон, на котором могут наблюдаться включения различной окраски (неметаллические включения). Затем производится травление шлифа и исследуется структура.

Первоначально знакомятся с общей картиной структурных составляющих в сварном соединении, а также структурой неизменного основного металла. Затем, в зависимости от целей исследования, производится подробное изучение структуры, описание ее, зарисовка или фотографирование.

Исследование микроструктуры сварных соединений имеет ряд особенностей, которые определяются следующими:

1) структура сварного соединения отличается мелкостью и разнообразием в пределах одного и того же микрошлифа;

2) из-за быстрого остывания соединения в большинстве случаев имеет место неравновесный характер структур (дендритная ликвация и лишние фазы);

3) сварка сопровождается дополнительным 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.);

4) сварка давлением с нагревом может вызывать механическое разделение тугоплавких и легкоплавких фаз.

Все эти обстоятельства затрудняют исследование структуры сварных соединений и требуют более тщательного проведения анализа.

СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Основной металл вблизи шва нагревается в процессе сварки до высоких температур. При этом в металле происходят структурные изменения и соответственно меняются его механические свойства. Эта часть основного металла называется зоной термического влияния (З.Т.В.)

Структурные изменения различных участков зоны определяются максимальной температурой нагрева данной точки металла, временем выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения. Указанные факторы, в свою очередь зависят от материала и размеров конструкции, а также от способа и условий сварки, фактически эти же параметры влияют на размеры З.Т.В.

При сварке малоуглеродистых сталей в З.Т.В. различают следующие участки в зависимости от температуры нагрева: неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной кристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

1) участок неполного расплавления

Металл участка нагревается до температур начала и конца плавления. Участок является переходным от наплавленного металла к основному и имеет незначительные размеры: состоит из смеси твердой и жидкой фаз с резко намечающейся крупнозернистостью. Фактически под микроскопом наблюдается граница шва (линия оплавления). От особенностей этого участка, где происходит сваривание наплавленного и основного металлов, во многом зависит качество сварного соединения.

2) участок перегрева

На этом участке нагрев достигает температуры, близкой к температуре плавления. Поэтому здесь развивается крупное зерно и может наблюдаться структура перегрева. Такая структура способствует снижению пластических свойств металла.

3) участок нормализации

Здесь металл нагревается при сварке несколько выше критической точки A_{c3} . При нагреве и охлаждении этого участка будет протекать процесс перекристаллизации, что приведет к измельчению зерен металла.

Мелкозернистая структура, как правило, положительно влияет на механические свойства сплава.

4) участок неполной перекристаллизации

Температура нагрева этого участка находится от точки A_{c1} до точки A_{c3} . Металл характеризуется почти неизменяющимся ферритным зерном и некоторым дроблением и сфероидизацией перлитных участков.

Механические свойства металла, состоящего из резко различных по размеру зерен, понижены.

5) участок рекристаллизации

Появляется при сварке стали подвергавшейся наклепу. При нагреве до температур 450-725°C раздробленные зерна срастаются в более крупные и приобретают равноосную форму.

б) участок синеломкости

Этот участок включает металл, нагреваемый до температур 200-500°C. Хотя участок и не имеет структурных отличий от основного металла, его следует различать, так как здесь имеет место понижение пластических свойств, это может способствовать развитию трещин при сварке.

СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

1) участок неполного расплавления – характеризуется смешанной структурой, состоящей из частично оплавленных зерен.

2) участок полной закалки – в свою очередь состоит из двух участков, между которыми нет резкой границы:

а) участок перегрева имеет строение перегретой стали. При повышенном содержании углерода наблюдается структура крупно-игольчатого мартенсита;

б) участок нормальной закалки – равнозначен участку нормализации при сварке малоуглеродистых сталей; имеет структуру мелкоигольчатого мартенсита, который в отдельных случаях с трудом различим под микроскопом; при малой скорости охлаждения и небольшом содержании углерода в структуре наблюдается троостит, а иногда даже сорбит.

3) участок неполной закалки – незначительная по размерам зона, в которой сталь приобретает неполную закалку. Имеет структуру мартенсита с сеткой феррита. При малом содержании углерода имеет строение углеродистой стали.

Участки закалки (полной и неполной) отличаются хрупкостью и большой твердостью, что затрудняет последующую механическую обработку, если такая необходима, и способствует образованию трещин.

4) участок рекристаллизации.

5) участок синеломкости.

СТРУКТУРА ШВА И ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ ЧУГУНА

Металл шва при сварке чугуна может быть весьма разнообразным в зависимости от применяемых сварочных материалов. Он может иметь состав чугуна, углеродистой стали, различных цветных сплавов. Выбор того или иного состава металла шва определяется рядом причин, которые рассматриваются в курсах технологии сварки.

Зоны термического влияния при любом способе сварки плавлением (кроме сварки-пайки, с применением относительно легкоплавких цветных сплавов) подобны и различаются только шириной четырех характерных для чугуна участков.

1) участок неполного расплавления. При сварке без подогрева скорость охлаждения такого металла (3% C; 2,5% Si) приводит к получению белого

чугуна. Вводя в металл шва графитизаторы (*C, Si, Al, Ni, Cu, Co*), можно усилить процесс, графитизации на первом участке З.Т.В.

2) участок аустенита ограничивается температурами от 1160° до 810° С. Быстро охлажденный аустенит этого металла дает в конечном счете структуру высокоуглеродистого мартенсита большой твердости и весьма склонного к образованию трещин.

3) участок перекристаллизации ограничивается диапазоном температур 810-790° С, имеет переходную структуру от второго участка к четвертому.

4) четвертый участок характеризуется некоторой дополнительной графитизацией и коагуляцией карбидов по сравнению с исходной структурой и имеет, как правило, хорошие свойства.

Нагрев при сварке ниже 450-500°С не вызывает изменения структуры свариваемого чугуна.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- 1 Темплеты сварных соединений для макро- и микроанализа.
- 2 Реактивы и ванночки для травления, вата, спирт.
- 3 Биноккулярный микроскоп х 70, микроскоп МИМ – 7.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В данной работе студенты проводят металлографические исследования сварных соединений, полученных различными способами сварки.

При проведении исследования сначала необходимо изучить структуру основного металла, а затем уже приступить к изучению структур шва и зоны термического влияния.

Получив от преподавателя набор шлифов, каждый студент обязан проделать следующее:

- 1 Приготовить макро- и микрошлифы.
- 2 Выбрать реактивы и произвести травление шлифа.
- 3 Просмотреть макрошлиф и дать его эскиз, измерить параметры шва и зоны термического влияния, отметить дефекты шва и особенности, измерить твердость и построить графики.
- 4 Изучить микроструктуру основного металла, шва зоны термического влияния, дать зарисовку структуры и сделать ее описание, дать эскиз размещения найденных участков З.Т.В. в сварном соединении.
- 5 Составить письменный отчет о работе, в котором привести весь материал по исследованию, сделать выводы.

Сорогина Татьяна Петровна

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
для студентов специальности 150202.65
и направления подготовки 150707.62

Редактор Е. А. Могутова

Подписано в печать 26.11.13

Формат 60x84 1/16

Бумага тип №1

Печать цифровая

Усл. печ. л. 2,0

Уч.-изд. л. 2,0

Заказ 195

Тираж 20

Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет.