

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам
по дисциплине
«ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СВАРКИ»
И «ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ»
(для студентов специальности 6.050504)

Утверждено
на кафедры ОиТСП
протокол № 20 от 05.06.2012

Краматорск 2012

УДК 621.791

Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Термодинамика и тепловые процессы сварки» и «Теория сварочных процессов» (для студентов специальности 6.050504). / Сост.: В.М Карпенко, А.А. Богуцкий, С.В. Жариков, С.В. Бондарев. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 100 с.

Представлены лабораторные работы по дисциплинам «Термодинамика и тепловые процессы сварки» и «Теория сварочных процессов».

Содержат общие положения по организации лабораторного практикума. Описаны физические процессы, протекающие в зоне сварки, развитие которых определяется, с одной стороны, источником энергии, а с другой, - свойствами основного и присадочного металлов, а также других веществ, участвующих в процессе сварки. Даны общие сведения по разделам «Физика источников энергии и расчеты тепловых процессов при сварке», «Термодеформационные процессы и превращения в металлах при сварке» и «Физико-химические и металлургические процессы сварки».

Помогут студентам составить представление о всей сложности протекающих в зоне сварки процессов и влияния на них отдельных факторов, а также о применяющихся методах исследования.

Составители:

А.А. Богуцкий, ст. преп.,
С.В. Жариков, ст. преп.,
С.В. Бондарев, асс.

Отв. за выпуск:

СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Порядок проведения лабораторных работ
- 2 Содержание, порядок оформления и сдачи отчета
- 3 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ

Часть I. ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СВАРКИ

Лабораторная работа 1. Исследование производительности процесса нагрева и плавления электрода при дуговой сварке

Лабораторная работа 2. Исследование процесса нагрева и охлаждения металла при однопроходной сварке листов встык

Лабораторная работа 3. Исследование проплавления металла при дуговой сварке

Лабораторная работа 4. Исследование влияния режима сварки на свойства металла шва и околошовной зоны

Часть II. ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторная работа 1. Исследование дугового разряда постоянного тока

Лабораторная работа 2. Исследование эластичности сварочной дуги постоянного тока

Лабораторная работа 3. Исследование дугового разряда на переменном токе

Лабораторная работа 4. Исследование тепловых характеристик сварочной дуги

Лабораторная работа 5. Исследование переноса металла при механизированной сварке плавящимся электродом в среде защитных газов

Лабораторная работа 6. Деформирование металла при различных температурах сварки

Лабораторная работа 7. Исследование стойкости сталей к образованию холодных трещин

Лабораторная работа 8. Влияние легирующих элементов на механические характеристики шва

Лабораторная работа 9. Исследование металлургических процессов при автоматической сварке под слоем флюса

1 Порядок проведения лабораторных работ

Занятия проводятся согласно кафедральному расписанию лаборатории теории сварочных процессов. Работы выполняются одновременно всей группой (11-14 человек), которая разбивается на 2 подгруппы. Каждая подгруппа выполняет свою работу согласно графику.

Перед выполнением лабораторного практикума студенты получают вводный инструктаж по технике безопасности, расписываясь в специальном журнале.

Студент обязан заранее самостоятельно изучить лекционный материал и методические указания по выполняемой работе и быть готовым отвечать на вопросы для самопроверки.

Перед работой преподаватель контролирует уровень теоретической подготовки студентов. Студенты, плохо знающие теоретический материал, выполнению практической части работы не допускаются.

Полученные результаты в виде таблиц сразу же после выполнения экспериментов следует показать преподавателю, который определяет достоверность полученных данных и необходимость повторения того или иного опыта.

2 Содержание, порядок оформления и сдачи отчета

Отчет о каждой выполненной работе в обязательном порядке должен отражать следующие моменты: наименование и цель работы; задачи исследования; краткое описание методики эксперимента, которое при необходимости иллюстрируется эскизами, схемами; перечень используемого оборудования и материалов; результаты экспериментов в виде таблиц; обработку результатов экспериментов; графическую интерпретацию результатов работы; выводы.

Отчеты оформляются рукописным способом на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) с нанесением на нем рамки; пишутся черными, синими или фиолетовыми чернилами.

Все эскизы, схемы, графики и табличные рамки выполняются карандашом четко и ясно, с помощью линейки. Графики строятся с соблюдением ГОСТ 2.319-81 на масштабной бумаге или на основной с нанесением сетки.

Оценка за выполнение лабораторной работы выставляется преподавателем по результатам опросов, собеседований, с учетом активности студента в ходе выполнения работы. Работа считается выполненной студентом после подписания его отчета преподавателем.

Отчет о выполненной лабораторной работе должен быть представлен преподавателю перед выполнением следующей работы. Без отчета о предыдущей работе студент не допускается к выполнению следующей.

Перед зачетом отчеты обо всех выполненных работах сшиваются

вместе, оформляется титульный лист (см. приложение Д).

3. Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ

Студенты, не прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности и инструктаж на рабочем месте, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

В процессе выполнения работы соблюдаются следующие правила:

1. Перед началом работы следует проверить заземление сварочной аппаратуры.

2. Открывать распределительный шкаф для замены плавких предохранителей имеет право только лаборант.

3. Запрещается включать рубильники на распределительных шкафах, пускатели и сварочное оборудование без разрешения преподавателя или лаборанта.

4. Приступать к сборке электросхемы можно только при включенном напряжении питающей сети.

5. Включение экспериментального стенда допускается только после проверки схемы преподавателем и получения его разрешения.

6. При включенном оборудовании не следует прикасаться к его корпусу и клеммам, а также и клеммам измерительных приборов.

7. Все переключения в электрических схемах должны производиться только при отключенном питании.

8. При сварке открытой дугой необходимо пользоваться защитными экранами, масками, щитками со светофильтрами, исправность которых необходимо проверять каждый раз перед началом сварки.

9. Запрещается брать сварочный флюс, компоненты электродных покрытий голыми руками, сдувать их с поверхности детали, сварного шва.

10. Особенно опасной в отношении травмирования глаз является операция зачистки наплавленного металла от шлаковой корки и остатков флюса. Поэтому при зачистке швов следует проявлять максимум осторожности и работать в защитных очках.

11. Разбирать электрическую схему необходимо при выключенном напряжении сети, но только после разрешения преподавателя.

12. После выполнения работы студенты обязаны сдать лаборанту рабочее место.

Часть 1
ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СВАРКИ
Лабораторная работа 1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА
НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ**

Цель работы: изучить закономерности процессов нагрева и расплавления электродов при сварке.

Общие указания

Готовясь к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить рекомендуемую литературу [1, с. 136-142; 7, с. 171-178; 10, с. 483-492], подготовить табл. 1.1-1.6.

Работа может быть выполнена при одновременном участии не менее четырех человек.

Студенты должны знать, что при оценке производительности различных способов дуговой сварки неодинаковых типов сварных соединений, пользуются такими характеристиками, как мгновенная и средняя производительность наплавки.

Показатели производительности процесса наплавки определяются производительностью расплавления (или плавления) присадочного (электродного) металла. Таким показателем будет мгновенная производительность расплавления электродной проволоки:

$$g_p = q_{\text{э}} / S_{\text{к}}, \quad (0.1)$$

где g_p – мгновенная производительность расплавления, г/с;

$q_{\text{э}}$ – энергия, выделяемая в электроде, Вт;

$S_{\text{к}}$ – теплосодержание расплавленного и нагретого до кипения металла электрода, Вт·с/г.

Нагрев и плавление электродов происходят от двух источников: распределенного по объему - теплоты тока, проходящего через стержень электрода, и плоского сосредоточенного - энергии сварочной дуги, т.е.

$$q_{\text{э}} = q_{\text{э.д.}} + q_{\text{э.в.}}, \quad (0.2)$$

где $q_{\text{э.д.}}$ – энергия, выделяемая дугой на торце электрода, Вт;

$q_{\text{э.в.}}$ – джоулева энергия, выделяемая в стержне электрода при прохождении по нему тока, Вт.

Энергия, выделяемая дугой на торце электрода, зависит от эффективного приэлектродного падения напряжения $U_{\text{э}}$ и тока дуги $I_{\text{св}}$:

$$q_{\text{э.д.}} = U_{\text{э}} I_{\text{св}} = \eta_{\text{э}} U_{\text{э}} I_{\text{св}} = q_p (S_k - S_T), \quad (0.3)$$

где S_T – теплосодержание металла электрода, подогретого джоулевым теплом, Вт·с/г (Дж/г).

$\eta_{\text{э}}$ – эффективный КПД процесса нагрева электрода.

В связи с тем, что величина S_T переменная (минимальная в начале процесса плавления, максимальная в конце процесса плавления электрода при ручной дуговой сварке), мгновенная производительность расплавления меняется. Коэффициент неравномерности расплавления электродов выражается отношением скорости $V_{\text{э.макс}}$ (производительности $q_{p.\text{макс}}$) расплавления электрода в конце и скорости $V_{\text{э.0}}$ (производительности $q_{p.0}$) расплавления в начале процесса:

$$K_n = \frac{V_{\text{э.макс}}}{V_{\text{э.0}}} = \frac{g_{p.\text{макс}}}{g_{p.0}}. \quad (0.4)$$

Обычно при правильном протекании процесса $K_n = 1,1 \dots 1,3$. В этом случае, а также при механизированных способах сварки (в случае незначительных колебаний вылета электрода) мгновенную производительность расплавления можно считать равной ее средней величине:

$$g_p = \frac{\alpha_p I_{\text{св}}}{3600}, \quad (0.5)$$

где α_p – коэффициент расплавления, г/А·ч.

В процессе сварки не весь расплавленный металл переходит в сварочную ванну, образуя шов или валик на основном металле. Часть расплавленного металла разбрызгивается, испаряется, выгорает (окисляется). Конечно, теряется не только присадочный, но и расплавленный металл. Для упрощения все потери относят к присадочному металлу. Общие потери при сварке оцениваются коэффициентом потерь ψ_n :

$$\psi_n = \frac{g_p - g_n}{g_p} = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p}, \quad (0.6)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч;

g_n – производительность наплавки, г/с.

Рабочее задание

1. Овладеть методикой экспериментального исследования характеристик плавления присадочного металла при дуговой сварке.

2. Исследовать влияние состава электродных материалов на характеристики плавления присадочного металла.

3. Исследовать влияние плотности тока на неравномерность плавления электрода.

Оборудование, приборы и материалы

1. Посты ручной дуговой сварки постоянного и переменного тока, оборудованные измерительными приборами.

2. Устройство для улавливания брызг, секундомер, технические весы до 5 кг с разновесами, набор слесарного инструмента, набор клеем, штангенциркуль.

3. Пластины из малоуглеродистой стали размером (6-8)×50×250 мм, электродные стержни из проволоки Св-08А и электроды марки АНО-4 и УОНИ-13/45 диаметром 4-5 мм, мел, плавиковый шпат, проволока медная диаметром 0,6-1,0 мм.

Изучение работы экспериментальной установки

Установка для сварки на постоянном токе (рис. 1.1) состоит из источника питания GV (выпрямитель ВКСМ-1000), реостата балластного R типа РБ-301, амперметра RA с шунтом RS на 75 мВ 300 А, вольтметра PV, переключателя полярности Q, электрода Э.

Следует обратить внимание на место установки переключателя полярности Q.

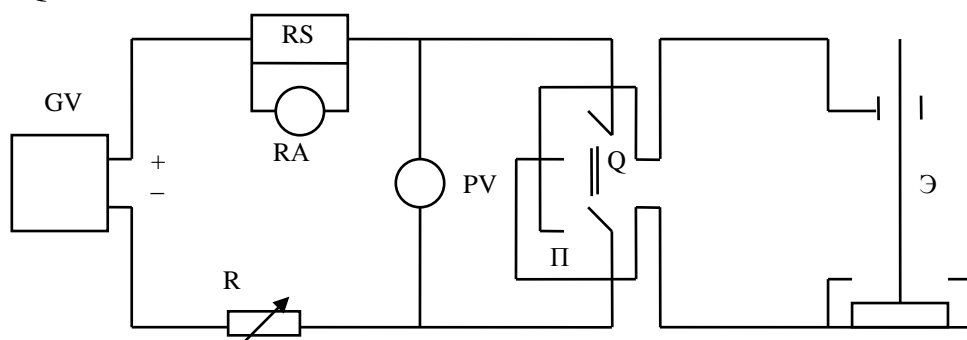


Рисунок 1.1 – Схема экспериментальной установки для сварки на постоянном токе

Установка для сварки на переменном токе (рис. 1.2) состоит из источника питания GT (сварочный трансформатор ТД500), трансформатора тока Т (300/5А), амперметра RA, вольтметра PV и электрода Э.

Порядок выполнения работы

1. На электродные стержни нанести тонким слоем растворы мела и плавикового шпата.

2. Поставить выключатель Q в положение "полярность обратная". Для

стального стержня без покрытия подобрать минимальный ток дуги, обеспечивающий устойчивое протекание процесса плавления электрода. Предварительно тщательно измерить исходную длину стержня и его диаметр в различных сечениях и направлениях и определить среднее значение $d_э$. Произвести наплавку, фиксируя при этом величины тока $I_{св}$ и напряжения дуги U_d , длительность процесса наплавки $\tau_{св}$. По окончании процесса наплавки измерить величину оставшегося огарка и вычислить длину расплавленного стержня $L_{рп}$.

Результаты опытов внести в табл. 1.1.

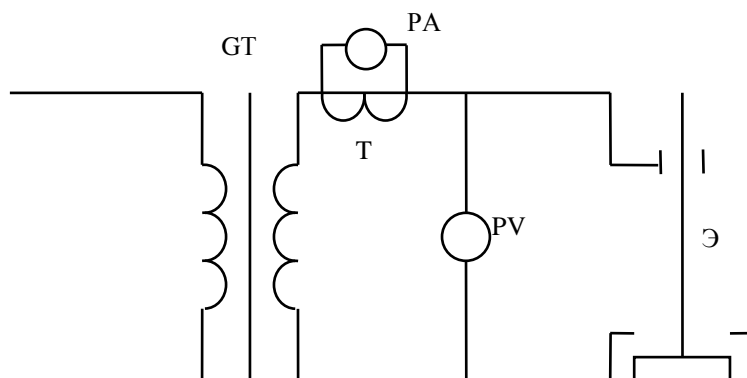


Рисунок 1.2 – Схема экспериментальной установки для сварки на переменном токе

Таблица 1.1 – Исследование влияния типа покрытия на плавление электродного стержня

Марка электрода (покрытие)	$d_э$, мм	Полярность	$L_{рп}$, мм	$I_{св}$, А	U_d	$\tau_{св}$, с

3. Выполнить эксперименты согласно п. 2 при сварке на прямой полярности. Результаты внести в табл. 1.1.

4. Выполнить эксперименты согласно пп. 2 и 3 последовательно для электродов: Св-08А + мел, Св-08А + CaF_2 , УОНИ-13/45, АНО-4. Результаты внести в табл. 1.1.

5. Выполнить эксперименты согласно п. 2 при наплавке электродами УОНИ-13/45 и АНО-4 на переменном токе. Результаты внести в табл. 1.1.

6. Для электродов АНО-4 и УОНИ-13/45 при сварке на обратной полярности установить характер неравномерности плавления по длине. Для этого следует предварительно разделить электрод на участки длиной по 50 мм (отсчет ведется от торца электрода) и отметить границы участков с помощью скруток из медной проволоки, после чего выполнить наплавку на минимальном токе дуги.

Момент зажигания дуги принимается за начало отсчета, и с помощью секундомера фиксируется время расплавления каждого участка

По приборам зафиксировать средние значения параметров режима.

Результаты внести в табл. 1.2

7. Выполнить эксперименты согласно п. 6 для средней и большой плотности тока в электродах. Результаты внести в табл. 1.2.

8. Взвесить стальную пластину, предназначенную для проведения эксперимента. Клеймить пластину. Результат ($m_{пл}$) записать в табл. 1.3.

Таблица 1.2 – Исследование влияния типа покрытия на неравномерность плавления электрода

Марка электрода	$I_{св}, A$	$U_{д}, B$	Длительность правления участков $\tau_{св}, c$							
			1	2	3	4	5	6	7	Σ

Таблица 1.3 – Исследование производительности плавления электрода

Клеймо пластины	Марка электрода	$m_{пл}, г$	$m_o, г$	$\tau_{св}, c$	$I_{св}, A$	$m_{пр}, г$	$\alpha_p, г/A \cdot ч$	$\psi, \%$	$\alpha_n, г/A \cdot ч$

Поместить пластину в устройство для улавливания брызг (рис. 1.3), предварительно установленное на сварочном столе.

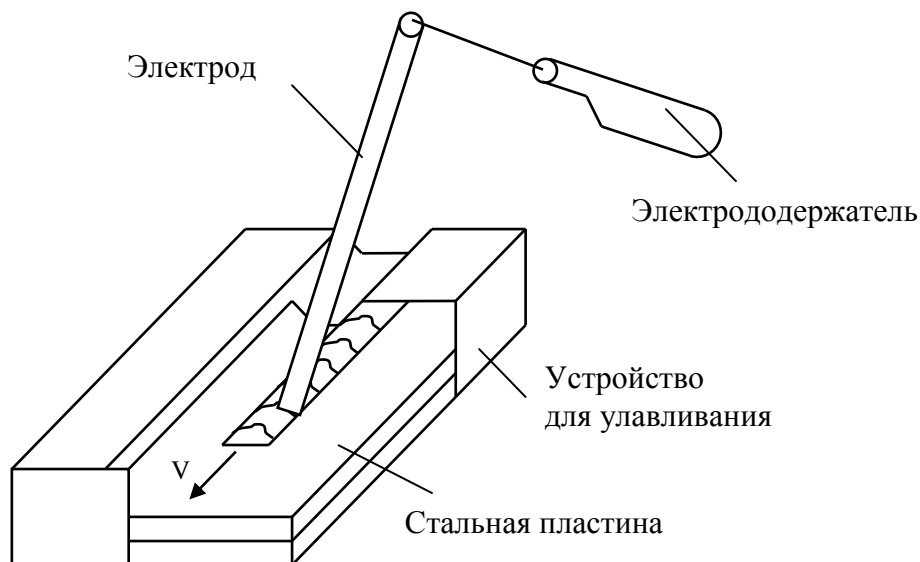


Рисунок 1.3 – Схема проведения опыта

Выполнить наплавку валика электродом УОНИ-13/45 (ток постоянный, полярность обратная, величина тока дуги $I_{св} = 50d_э$).

После выполнения наплавки (время наплавки τ_n фиксируется по секундомеру) пластина удаляется из устройства, очищается от шлака и брызг

и взвешивается. Значения массы наплавленного образца m_0 , времени наплавки $\tau_{св}$ и величины тока дуги $I_{св}$ внести в табл. 1.3. Шлак и брызги налипают на образец. Из образовавшейся смеси с помощью магнита выделяется металлическая фракция. Это и есть потери металла на разбрызгивание $m_{пр}$. Полученный результат необходимо записать в табл. 1.3.

9. Выполнить эксперименты согласно п. 8 для электрода АНО-4. Результаты внести в табл. 1.3.

Обработка результатов экспериментов

1. На основании данных табл. 1.1 следует рассчитать производительность процесса расплавления g_p для каждого из приведенных электродов:

$$g_p = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} \cdot \frac{L_{pn} \gamma}{\tau_{св}}, \quad (0.7)$$

где γ – плотность материала электрода.

Применительно к стальным электродам формула (0.7) может быть записана следующим образом:

$$g_p \approx 6,13 \cdot 10^{-3} \frac{d_{\text{э}}^2 L_{pn}}{\tau_{св}}. \quad (0.8)$$

Результаты расчетов внести в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Влияние типа покрытия на плавление электродного стержня и энергетические характеристики дугового разряда

Марка электрода (покрытие)	Род тока, полярность	q_p , г/с	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	T, К	$U_{\text{э}}$, В	$\eta_{\text{э}}$

2. Расчет эффективного приэлектродного падения напряжений в соответствии с зависимостью (0.3) может быть выполнен по формуле:

$$U_{\text{э}} = \frac{g_p (S_k - S_T)}{I_{св}}. \quad (0.9)$$

Теплосодержание капель электродного металла S_k в первом приближении можно принять постоянным и равным 1880 Дж/г. Величину S_T рассчитывают по формуле:

$$S_T = C_T \cdot T, \quad (0.10)$$

где C_T – удельная теплоемкость материала электрода при температуре T , Дж/(г·К), величина C_T принимается по прил. А

T – температура подогрева электрода током, К, определяется расчетным методом, разработанным М.М. Рыкалиным.

В виде, удобном для выполнения расчетов, результат решения уравнения теплового баланса может быть представлен следующим образом:

$$T = \frac{T_{\text{пр}} (D_1 + T_0) \cdot e^{n\tau_{\text{св}}} - D_1 (T_{\text{пр}} - T_0)}{(D_1 + T_0) \cdot e^{n\tau_{\text{св}}} + (T_{\text{пр}} - T_0)}, \quad (0.11)$$

где $T_{\text{пр}} = m d_{\text{э}} j^2 + T_0$ – предельная температура нагрева, К;

$n\tau_{\text{св}} = \frac{A}{m d_{\text{э}}} \cdot \left(\frac{T_{\text{пр}}}{D} + 1 \right) \cdot \tau_{\text{св}}$ – безразмерное время нагрева;

T_0 – начальная температура электродного стержня (температура окружающей среды), К;

$j = \frac{4I_{\text{св}}}{\pi d_{\text{э}}^2}$ – плотность тока в электроде, А/мм²;

A, D_1, m – постоянные коэффициенты, зависящие от многих факторов (табл. 1.5).

Температура нагрева электрода током может быть определена по номограмме (приложение В).

Таблица 1.5 – Значения постоянных коэффициентов в зависимости от типа покрытия, марки электрода и рода тока

Тип покрытия, марка электрода	Род тока	Коэффициенты		
		$A, \times 10^{-2}, (\text{мм}^4 \cdot \text{К})/(\text{А} \cdot \text{с})$	$D_1, \text{К}$	$m, (\text{мм}^3 \cdot \text{К})/\text{А}^2$
Без покрытия, с тонким покрыти-	постоянный	3,1	240	2,6
	переменный	3,7	300	
УОНИ-13 АНО-4	постоянный	2,4	200	2,5
	переменный	2,7	240	

3. Эффективный КПД нагрева электрода $\eta_{\text{э}}$ определяется зависимостью

$$\eta_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{U_{\text{д}}}. \quad (0.12)$$

Результаты расчетов вносятся в табл. 1.4.

Все расчеты лучше производить, используя ЭВМ.

По данным табл. 1.4 строятся сравнительные диаграммы, в которых по оси ординат переменными величинами являются η_3 и U_3 , а по оси абсцисс $I_{св}$.

Величина эффективного приэлектродного падения напряжения зависит от полярности и используемых электродных материалов:

- при прямой полярности

$$U_3 = U_a + \frac{\phi_6}{e_0};$$

- при обратной полярности

$$U_3 = U_k + \frac{\phi_6}{e_0};$$

- при переменном токе

$$U_3 = \frac{U_a + U_k}{2},$$

где U_a , U_k – соответственно анодное и катодное падение напряжения, В;

ϕ_6 – работа выхода;

e_0 – заряд электрона

4. По данным табл. 1.2 построить графики в координатах "Длительность плавления участков - Длина расплавленной части электрода", рассчитать фактическое значение коэффициента неравномерности плавления и построить график $K_n = f(I_{св})$ для двух электродов.

При выполнении последнего задания следует воспользоваться зависимостью (0.3) и учесть, что производительность расплавления отдельных участков электродного стержня обратно пропорциональна длительности плавления этих же участков (при постоянных прочих условиях). Поэтому выражение (0.4) можно трансформировать следующим образом:

$$K_n = \frac{t_1}{t_n}, \quad (0.13)$$

где t_1 и t_n – соответственно длительности первого и последнего участков электродного стержня (длина участков одинакова).

Далее, воспользовавшись приведенной выше методикой определения температуры подогрева электрода током, рассчитать последнюю для трех значений токов (при которых проводились эксперименты) при общей длительности плавления всех участков. Затем, используя данные прил. А, определить теплосодержание материала электрода при данной температуре, после чего рассчитать теоретическое значение коэффициента неравномерности плавления:

$$K_n = \frac{S_k - S_0}{S_k - S_T}. \quad (0.14)$$

Полученные результаты свести в табл. 1.6.

Таблица 1.6 – Влияние плотности тока на неравномерность плавления электрода

Марка электрода	$d_э$, мм	$I_{св}$, А	$j_{св}$, А/мм ²	Т, К	K_H	
					эксперим.	расчетн.

По данным табл. 1.6 построить график зависимости $K_H = f(I_{св})$, на основании которого сделать вывод о сходимости расчетных и экспериментальных данных, определить оптимальные точки для заданных электродов.

5. В соответствии с данными табл. 1.6 масса наплавленного металла m_H может быть определена как разница между массами образца m_0 и пластины $m_{пл}$:

$$m_H = m_0 - m_{пл}.$$

Масса расплавленного электродного металла m_p в данном случае может быть вычислена как сумма масс наплавленного металла и потерь на разбрызгивание с учетом потерь на угар и испарение:

$$m_p = 1,01(m_0 + m_{пл}),$$

где 1,01 – множитель, учитывающий потери на угар и испарение металла.

Тогда с учетом зависимостей (0.5) и (0.6) можно записать следующие выражение:

$$\alpha_H = 3600 \frac{m_H}{I_{св} \tau_{св}}, \quad (0.15)$$

$$\alpha_p = 3600 \frac{m_p}{I_{св} \tau_{св}}, \quad (0.16)$$

$$\varphi_H = \frac{m_p - m_H}{m_p} \cdot 100\%. \quad (0.17)$$

На основании полученных данных сделать вывод о влиянии типа покрытия на характеристики плавления электрода.

Контрольные вопросы

1. Какими источниками тепла нагревается электрод при сварке?
2. Что такое мгновенная производительность расплавления электрода?
3. Что такое средняя производительность расплавления электрода?
4. Что такое неравномерность расплавления электрода и чем она вызвана?
5. Что такое коэффициент расплавления электрода?
6. Что такое коэффициент наплавки?
7. Что такое коэффициент потери электродного металла на угар и разбрызгивание?
8. Опишите методику экспериментального определения величины коэффициента неравномерности плавления электрода.
9. Опишите методику расчетного определения величины коэффициента неравномерности плавления электрода.
10. Опишите методику экспериментального определения коэффициентов расплавления, наплавки, потерь на угар и разбрызгивание.
11. Как влияет плотность тока на неравномерность плавления электрода?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ОДНОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ ЛИСТОВ ВСТЫК

Цель работы: овладеть методикой экспериментального и расчетного определения температурного поля при дуговой сварке; исследовать влияние параметров режима сварки на характер распределения температуры при дуговой сварке.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии не менее 4-5 студентов.

Готовясь к выполнению лабораторной работы, следует изучить рекомендуемую литературу [7, с. 150-157; 10, с. 428-432, 455-464], заполнить табл. 1.7, ознакомиться с экспериментальной установкой, подготовить образцы для сварки.

Теория тепловых процессов при сварке дает возможность вычислить с достаточной точностью распределение температур в металле при сварке. Для этого необходимо правильно выбрать схемы нагреваемого тела и источника тепла. Кроме того, должны быть известны основные теплофизические величины свариваемых материалов.

Процесс распространения тепла при автоматической и полуавтоматической однопроходной сварке листов встык может быть описан схемами линейного быстродвижущегося источника тепла и плоского температурного поля в пластине:

$$T(y, \tau) = \frac{q_u}{V_{св} \delta \sqrt{4\pi\lambda c \gamma \tau}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{4a\tau} - b\tau\right) + T_0, \quad (0.18)$$

где $T(y, \tau)$ – температура металла пластины на расстоянии y до оси шва в момент времени τ после прохождения дугой соответствующего поперечного сечения, К;

$q_u = \eta_u U_{\delta} I_{св}$ – эффективная мощность дуги, Вт;

T_0 – температура металла перед сваркой, К;

η_u – эффективный КПД нагрева изделия дугой, в данном случае нужно принять $\eta_u = 0,8$;

$I_{св}$ – ток дуги, А;

U_{δ} – напряжение дуги, В;

$V_{св}$ – скорость сварки, см/с;

δ – толщина пластины, см;

c – средняя теплоемкость, Дж/(г·К);

λ – коэффициент теплопроводности Дж/(см·с·К);

γ – плотность металла;

$c\gamma$ – объемная теплоемкость, Дж/(см³·К)

$a = \lambda / c\gamma$ – коэффициент температуропроводности, 1/с;

b – коэффициент поверхностной теплоотдачи Дж/(см²·с·К).

Несмотря на то, что процессы распространения тепла достаточно точно описываются существующими уравнениями, в ряде случаев эти процессы необходимо исследовать экспериментально. Температуру металла изделия во время сварки и последующего охлаждения измеряют при помощи термопар. Чем сложнее температурное поле, тем большее число термопар необходимо.

Благодаря тому, что при односторонней сварке листов встык температура по толщине листа практически распределена равномерно, иногда достаточно расположить на нижней поверхности листа один горячий спай термопары, удаленной от оси шва на 10-20 мм. Температуры других точек T_i с координатой Y_i определяются с помощью соотношения

$$T_i = (T_1 - T_0) \exp \frac{y_i^2 - y_1^2}{4at} + T_0, \quad (0.19)$$

где T_i – известная температура заданной точки с координатой Y_i ;

T_0 – начальная температура.

Рабочее задание

1. Определить температурное поле при автоматической сварке стыкового соединения односторонним односторонним швом.
2. Сопоставить опытные данные с расчетными.

Оборудование, приборы и материалы

1. Аппарат сварочный типа АДПГ–502 с источником постоянного тока ($I_{ном} > 300A$), флюсовая подушка, приспособление для установки образца.
2. Термометры (хромель – алюмель) – 4шт, линейка металлическая.
3. Пластины из малоуглеродистой стали (4–5)×(100–150)×(200–250) мм – 4 шт., сверлильный станок, сверло диаметром 0,8мм, молоток, зубило.
4. Флюс типа АН–348А, электродная проволока Св–08А диаметром 2мм.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить пластины под сварку. Произвести на каждой пла-

стине разметку оси наложения валика и обозначить места установки термопары на расстояниях $Y_1=5\text{мм}$, $Y_2=15\text{мм}$, $Y_3=25\text{мм}$ от оси шва. Высверлить отверстия в этих точках.

2. Проверить работы пирометрических милливольтметров, последовательно нагревая спай каждой термопары. При необходимости определить поправочные коэффициенты к показаниям прибора.

3. Установить пластину в приспособление под сварочный аппарат таким образом, чтобы ось наложения валика находилась на флюсовой подушке, а к обеим поверхностям (лицевой и обратной) пластины был бы свободен доступ воздуха (между пластиной и сварочным столом должен быть зазор не менее 100 мм).

4. Наплавить на рекомендуемом режиме валик. В момент прохождения дугой поперечного сечения, в котором установлены термопары, включить секундомер и сделать первый отсчет по милливольтметру. Результат внести в табл. 1.8. В дальнейшем в течение 2-3 минут производить отсчеты по прибору в моменты, обозначенные в табл. 1.8.

5. Во время сварки зафиксировать среднее значение сварочного тока $I_{св}$, напряжение дуги U_d , общее время $\tau_{св}$ (с помощью второго секундомера). После сварки очистить поверхность шва от шлака, измерить длину валика и определить среднюю скорость сварки $V_{св}$ уточнить Y_1 , Y_2 , Y_3 . Результаты написать в табл. 1.8.

6. Повторить пп. 1-5 для второго и третьего заданных в табл. 7 режимов сварки. Результаты записать в табл. 1.8.

7. Нагреть пластину до $T_0 = 523\text{ К}$ и выполнить пп. 1-5 для первого заданного режима.

Обработка результатов эксперимента

1. По данным табл. 1.8 построить кривые изменения температуры в точках установки термопар (рис. 1.4). На кривых отметить моменты наступления максимальных температур τ_m .

2. Поскольку материал пластины известен, следует установить его теплофизические свойства и вписать их в табл. 1.8. Если в качестве материала использовалась малоуглеродистая сталь, то ее характеристики определяются по данным прил. А. При этом значения коэффициентов λ , c и α принимаются соответствующими температуре 773 К, а α – температуре 673 К.

По данным табл. 1.8 рассчитать удельную погонную энергию для первого и третьего режимов сварки и результаты занести в табл. 1.9.

$$\frac{q_{и}}{V_{св}\delta} = \frac{\eta_u I_{св} U_d}{V_{св}\delta} .$$

3. Воспользовавшись расчетной схемой быстродвижущегося линей-

ного источника тепла в пластине с теплоотдачей, найти по формуле (18) распределение температуры в пластине в тех же точках, где были установлены термопары. Результаты внести в табл. 1.8. Эти же результаты нанести на рис. 1.4. Полученные точки соединить штриховыми линиями. Установить соответствие между расчетными и экспериментальными данными.

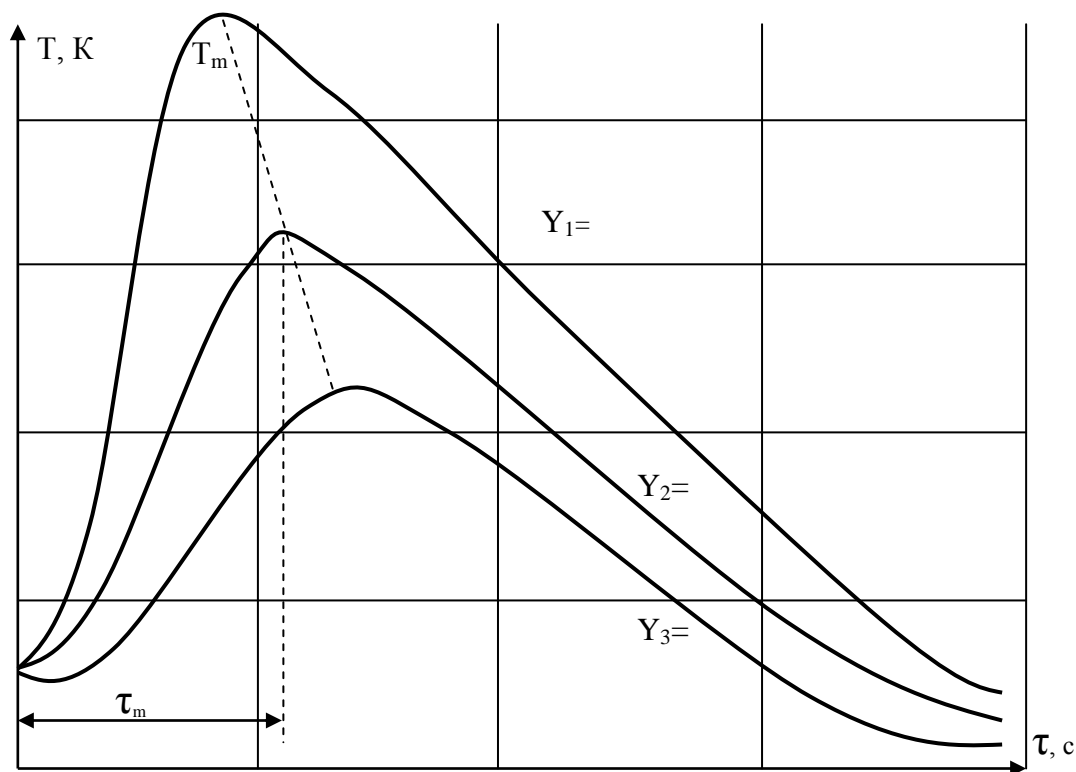


Рисунок 1.4 – Изменения температур в точках установки термопар

4. На основании уравнения (0.18) может быть получено выражение для расчета размера зоны термического влияния

$$2l = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \cdot \frac{q_u}{V_{cs} \delta \cdot c \gamma \sqrt{T_e - 273}} \quad (0.20)$$

где T_e – заданная температура К;

e – основание натурального логарифма

Величина максимальной температуры определяется по формуле

$$T_{\max} = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \cdot \frac{q_u}{V_{cs} \delta \cdot c \gamma \cdot 2y_0} \left(1 - \frac{by_0^2}{2a} \right) + T_0. \quad (0.21)$$

Примечание. Все расчеты в соответствии с пп. 3 и 4 лучше проводить, используя ЭВМ.

Таблица 1.7 – Мгновенные значения температуры

δ , см												
T_0 , К												
$I_{св}$, А												
$U_{д}$, В												
$V_{св}$, см/с												
τ , с	Температура в точках T , К (экспер.)											
	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$
0												
5												
10												
15												
20												
25												
30												
35												
40												
45												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
120												
140												
160												
180												

В соответствии с выражением (0.21) следует рассчитать максимальные температуры в точках пластины, где были установлены термопары. Результаты сравнить с экспериментальными.

В зависимости от материала пластины с помощью выражения (0.20) могут быть получены различные характеристики:

- для малоуглеродистой стали ширина зоны $2l$ нагревавшейся в процессе сварки выше температуры 870 К, при которой углеродистая сталь в значительной степени теряет упругие свойства;

- для низколегированной закаленной стали ширина зоны отпуска, который находится примерно между изотермами 870 и 1050 К,

$$\Delta = \frac{2l_{870} - 2l_{1050}}{2}.$$

Таблица 1.8 – Расчетные значения температур при сварке стыкового соединения

λ , Дж/см ² ·с·К									
C , Дж/г·К									
γ , г/см ³									
a , см ² /с									
α , Дж/см ² ·с·К									
T_0 , К									
$q_u / \sqrt{\pi \delta_{\text{св}}}$									
τ , с	Температура в точках T , К (расчет.)								
	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$	$Y_1=$	$Y_2=$	$Y_3=$
1									
3									
5									
7									
10									
20									
40									
60									
100									
180									
T_{max}									

Контрольные вопросы

1. Какова физическая сущность процессов распространения теплоты при сварке?
2. Каким образом влияют параметры режима на распространение тепла при сварке?
3. В каком случае принимается расчетная схема мощного быстро-движущегося линейного источника в пластине с теплоотдачей?
4. Как влияют теплофизические свойства металла на распределение температур при сварке?
5. Каким образом можно воздействовать на размеры зоны термического влияния?
6. Как выбрать схему нагреваемого тела и схему источника тепла в каждом конкретном случае?
7. Назовите краевые условия, используемые при решении практических задач нагрева и охлаждения при сварке.

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Цель работы: овладеть методикой расчетного и техникой экспериментального определения термического КПД процесса проплавления, площадей наплавки и проплавления. Изучить влияние факторов режима на производительность процесса проплавления при наплавке валика на массивное изделие.

Общие указания

Готовясь к лабораторной работе, необходимо изучить рекомендуемую литературу [10, с. 476-483], подготовить табл. 1.12 и 1.13. Работа может быть выполнена при одновременном участии не менее трех-четырех студентов.

При сварке (наплавке) плавящимся электродом наряду с плавлением электродного металла происходит расплавление (проплавление) на некоторую глубину основного металла. Сварной шов (рис. 1.5) образуется за счет смешивания проплавленного основного и расплавленного электродного металлов.

В поперечном сечении шов (наплавленный валик) характеризуется следующими параметрами: A – высота усиления шва; B – ширина шва; H – глубина проплавления; B_1 – ширина обратной стороны шва; A_1 – высота обратной стороны шва; H/B – относительная глубина проплавления; B/H – коэффициент формы шва; F_H – площадь наплавки; $F_{пр}$ – площадь проплавления; $F_{пр}/F_H$ – коэффициент площадей; $\mu = F_{пр} / HB$ – коэффициент полноты.

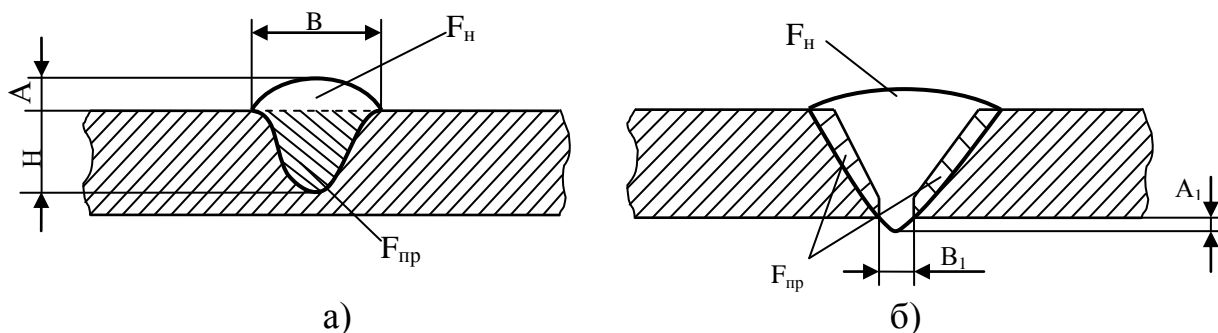


Рисунок 1.5 – Основные параметры сварного шва: а) наплавленный валик; б) стыковой шов

Все размеры шва зависят от режима и условий сварки. Для правильного выбора режима сварки, обеспечивающего требуемые размеры и форму шва необходимо знать закономерности процесса проплавления.

Эффективность процесса проплавления характеризуется термическим КПД η , который представляет отношение тепловой мощности $q_{пр}$, затрачи-

ваемой на проплавление, к эффективной тепловой мощности q_u :

$$\eta_t = \frac{q_{np}}{q_u} = \frac{F_{np} S'_{пл} V_{св}}{\eta_u U_{\partial} I_{св}}, \quad (0.22)$$

где F_{np} – площадь проплавления, см^2 ;

$V_{св}$ – скорость сварки, см/с ;

$S'_{пл}$ – объемное теплосодержание расплавленного металла, Дж/см^3 , для малоуглеродистой стали $S'_{пл} = 10500 \text{ Дж/см}^3$;

η_u – эффективный КПД нагрева изделия, $\eta_u = 0,8$.

Номограмма для нахождения η_t при наплавке на массивное тело построена в зависимости от безразмерного критерия ζ_v (прил. Б).

Рабочее задание

1. Произвести наплавку валиков на пластины, изготовить поперечные макрошлифы, измерить параметры зон наплавки и проплавления, вычислить значения термического КПД по экспериментальным данным.
2. Получить уравнение регрессии $\eta_t = f(\xi_v, H/B)$.
3. Рассчитать значения термического КПД η_t с помощью номограммы (см. прил. Б) и сопоставить расчетные и экспериментальные данные, установить величину и характер расхождений.
4. Выявить по экспериментальным данным влияние факторов режима сварки на коэффициент площадей.

Оборудование, приборы и материалы

1. Аппарат для автоматической сварки под флюсом или в углекислом газе (по указанию преподавателя), оборудованный измерительными приборами, секундомер, ножовка механическая, шлифовальный станок, эпидиаскоп, весы аналитические, клейма стальные (цифровые), линейка стальная, ножницы.
2. Материалы сварочные: флюс типа АН-348А (углекислота), проволока сварочная СВ-08А диаметром 3мм (Св-08Г2С диаметром 1,6мм), пластины из малоуглеродистой стали $(250 - 300) \times (150 - 200) \times (20 - 30)$ мм в количестве 2 шт., реактив для травления макрошлифов, бумага плотная.

Описание лабораторной установки

При проведении экспериментов должно быть использовано сварочное оборудование, регистрирующие приборы, мерительный инструмент, которые по техническим характеристикам и классам точности отвечают требованиям, приведенным ниже.

Механизмы подачи сварочных головок должны обеспечивать ста-

бильную равномерную скорость подачи проволоки. Допустимые колебания скорости подачи при изменении сопротивления в трактах сварочной аппаратуры не должны превышать $\pm 5\%$. Аналогичные требования предъявляются и к скорости перемещения сварочной дуги.

Класс точности измерительных приборов – не ниже 1,5. При проведении экспериментов необходимо обеспечить следующую точность измерения линейных параметров поперечного сечения сварного шва $\pm 0,2\text{мм}$, площадей наплавки и проплавления $\pm 4\%$.

Порядок выполнения работы

1. В зависимости от выданного преподавателями задания, варианты которого оговариваются в табл. 1.10 и 1.11, подобрать сварочное оборудование, проверить его работоспособность. Собрать схему.

Таблица 1.9 – Ориентировочные значения параметров режима при сварке под флюсом

Характеристики процесса	Порядковый номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Флюс	АН-348А								
Диаметр электрода, мм	3								
Вылет электрода, мм	34-38								
Ток сварочный, А	300	450	600	300	450	600	300	450	600
Напряжение на дуге, В	30	33	37	30	33	37	30	33	37
Скорость сварки, см/с	0,25			0,8			1,5		

Таблица 1.10 – Ориентировочные значения параметров режима при сварке в CO_2

Характеристики процесса сварки	Порядковый номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр электрода, мм	1,6								
Вылет электрода, мм	20-24								
Ток сварочный, А	120	300	500	120	300	500	120	300	500
Напряжение на дуге, В	22	31	40	22	31	40	22	31	40
Скорость сварки, см/с	0,25			0,8			1,5		

2. С помощью секундомера и стальной линейки установить минимальную скорость сварки и на посторонней пластине подобрать требуемые значения сварочного тока и напряжения на дуге. Произвести экспериментальную наплавку. Зафиксировать истинные значения параметров режима сварки, результаты внести в таблицу, построенную по форме табл. 1.10 или 1.11. Клеймить сварной шов.

3. Повторить опыты для других значений токов и напряжений (эксперименты 2 и 3).

4. Повторить переходы 2 и 3 для других скоростей сварки.

Примечание. Каждый последующий валик наплавляется на полностью охлажденную пластину. Для охлаждения можно использовать струю воды. Поскольку глубина проплавления меньше половины толщины пластины, то возможна наплавка с двух сторон пластины

5. Наплавленные пластины разрезаются с целью изготовления поперечных макрошлифов. Ширина вырезанного поперечного темплета должна составлять (15 - 20) мм. Для усреднения и повышения точности результатов эксперимента из каждой пластины следует вырезать по три темплета. При этом должны быть исключены начальный и конечный участки наплавленных валиков длиной 25 - 30мм

Вырезанные темплеты подвергаются шлифовке с одной стороны и травлению с целью выявления границ зон проплавления.

6. Подготовленные микрошлифы наплавленных валиков с помощью эпидиаскопа проектируются на бумагу при соответствующем увеличении. При этом следует помнить, что если линейные размеры увеличены в n раз, то площадь наплавки F_n и проплавления $F_{пр}$ – в n^2 . Фактор n может быть предварительно определен с помощью эталона, либо по результатам сравнения толщины пластины реальной и на экране.

На увеличенном изображении измеряются ширина валика B , глубина проплавления H высота усиления A , подсчитываются F_n и $F_{пр}$. Значения F_n и $F_{пр}$ могут быть определены методом взвешивания увеличенного изображения площади на аналитических весах с последующим сравнением с эталоном. Полученные результаты измерений внести в табл. 1.11.

Таблица 1.11 – Результаты измерений

Номер эксперимента	Ширина валика B , мм		Глубина проплавления H , мм		Площадь наплавки F_n , мм ²		Площадь проплавления $F_{пр}$, мм ²		Высота усиления A , мм	
	B_i	$B_{ср}$	H_i	$H_{ср}$	$F_{n i}$	$F_{n ср}$	$F_{пр i}$	$F_{пр ср}$	A_i	$A_{ср}$

Обработка результатов эксперимента

1. Используя данные табл. 1.10 или 1.11, рассчитать для каждого эксперимента значение эффективной тепловой мощности сварочной дуги

$$q_u = \eta_u U_d I_{св}$$

где η_u – эффективный КПД нагрева изделия дугой, при выполнении данной работы его значение можно применить усреднено равным 0,8.

Результаты расчетов внести в табл. 1.13

Таблица 1.12 – Данные экспериментов

Порядковый номер эксперимента	Эффективная тепловая мощность $q_{и}$, Вт	Безразмерный критерий ξ	Относительная глубина проплавления $H_{ср}/B_{ср}$	Термический КПД		Поправочный коэффициент $p = \eta'_t / \eta''_t$	Коэффициент площади $F_{пр}/F_{н}$	Коэффициент полноты μ	Коэффициент формы усиления шва $F_{н}/AB$
				Расчетный η'_t	Экспериментальный η''_t				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Используя полученные значения $q_{и}$ и данные табл. 1.10, 1.11, рассчитать безразмерный критерий

$$\xi_3 = \frac{q_{и} V_{св}}{a^2 S'_{н.л}}$$

где a – коэффициент температуропроводности, принимается соответствующим температуре (673 – 773)К и равным 0,08см²/с (см. прил. А).

3. Используя номограмму, определить теоретические значения η'_t . При этом значение относительной глубины проплавления H/B принимается равным 0,5.

4. Используя данные, приведенные в табл. 1.9 - 1.11, рассчитать экспериментальное значение термического КПД процесса проплавления η''_t .

5. Используя данные, приведенные в графах 3 и 5 табл. 1.13, рассчитать относительную глубину проплавления.

Результаты расчетов внести в табл. 1.13.

6. Произвести статическую обработку результатов и получить уравнения регрессии η'_t , $\eta''_t = f(\xi_3)$, $\eta''_t = f(\xi_3, H/B)$. Сравнить результаты.

7 Определить величину поправочного коэффициента $p = \frac{\eta''_t}{\eta'_t}$. Результаты внести в графу 7 табл. 1.13. Произвести статистическую обработку и получить зависимость. Сделать выводы

8 Используя данные, приведенные в графах 3, 5, 7, 9, 11 табл. 1.13, рассчитать коэффициенты площадей $F_{пр,ср}/F_{н,ср}$, полноты $\mu = F_{пр}/HВ$, формы усиления $F_{н}/AB$. Результаты представить в виде графиков сначала в функции эффективной тепловой мощности $q_{и}$, потом в функции параметра процесса $q_{и} \cdot V_{св}$. Сделать выводы о влиянии параметров режима сварки на формирование сварного шва.

Расчеты по п.6 лучше производить, используя ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Каков тепловой баланс различных дуговых процессов сварки?
2. Что представляет собой термический КПД проплавления?
3. Как влияют параметры режима сварки на величину термического КПД?
4. Каким относительным показателем характеризуется эффективность процесса проплавления?
5. Как выразить через основные параметры шва относительную глубину проплавления (коэффициент формы шва)?
6. Каковы пути повышения термического КПД, эффективности использования тепла дугового источника энергии?
7. Почему изменяются размеры шва при изменении скорости сварки?
8. Почему изменяются размеры шва при изменении напряжения (тока) дуги?
9. Дайте характеристику расчетного метода определения термического КПД процесса проплавления.
10. Опишите экспериментальный метод определения термического КПД процесса проплавления.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА СВАРКИ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВА И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ

Цель работы: овладеть методикой расчетно-экспериментального исследования влияния термического цикла сварки на твердость различных зон сварного соединения.

Общие указания

Готовясь к лабораторной работе, необходимо изучить рекомендуемую литературу [1, с. 153-157; 2, с. 117-134; 7, с. 313-336], подготовить табл. 1.14, 1.15.

Работа может быть выполнена при одновременном участии не менее трех человек

Студенты должны знать, что решающим фактором в формировании структуры и свойств сварных соединений, особенно из среднелегированных сталей, является скорость охлаждения. Охлаждение металла с достаточно большими скоростями способствует получению неравновесных структур. Снижение скорости охлаждения металла шва и околошовной зоны позволяет избежать образования закалочных трооститных троостомартенситных или мартенситных структур, характеризующихся повышенной твердостью, прочностью и низкой пластичностью, и обеспечить качественное сварное соединение.

Для любой марки стали можно построить экспериментально зависимость твердости HRC (HB) от скорости охлаждения.

Рабочее задание

1. Изучить зависимость твердости околошовной зоны основного металла от технологических факторов режима сварки.
2. Овладеть методикой экспериментального определения зависимости твердости от скорости охлаждения для данной марки стали в условиях сварочного нагрева.
3. Изучить методику расчетного определения режима сварки для получения заданной твердости.

Оборудование, приборы и материалы

1. Аппарат для автоматической сварки под флюсом или в углекислом газе (по указанию преподавателя), оборудованный измерительными приборами, секундомер, станок для порезки образцов, шлифовальный станок, рабочее место с вытяжкой для травления образцов, прибор для замера твердости на шлифах.

2. Материалы сварочные: флюс марки АН-348А (углекислота), проволока сварочная Св-08А диаметром 3 мм (Св-08Г2С диаметром 1,6 мм, или 2,0 мм), пластины из среднелегированной стали размером 200×15×(15-20) мм в количестве 3 шт., реактив для травления (3%-ный раствор HNO_3 спиртовой).

Описание лабораторной установки

При проведении экспериментов должны быть использованы сварочное оборудование, регистрирующие приборы, прибор для замера твердости и др., которые по техническим характеристикам и классам точности отвечают требованиям, приведенным ниже.

Механизмы подачи сварочных головок должны обеспечивать стабильную равномерную скорость подачи проволоки. Допустимые колебания скорости подачи не должны превышать $\pm 5\%$. Аналогичные требования предъявляются и к скорости перемещения сварочной дуги.

Класс точности измерительных приборов – не ниже 1,5.

Перед выполнением эксперимента необходимо убедиться в готовности аппаратуры. Для сварки следует использовать аппарат с постоянной скоростью подачи (система автоматического регулирования сварочной дуги с саморегулированием) и питанием от источника с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой.

Порядок выполнения работы

1. На посторонней пластине подобрать режим сварки $I_{\text{св}}$ и напряжение $U_{\text{д}}$, близкие к максимальным для данного диаметра электрода. Определить диапазон изменения скорости сварки $V_{\text{св}}$, в котором обеспечивается требуемое формирование шва и установить наименьшую, среднюю и наибольшую скорость.

2. Произвести наплавку первого валика при минимальной скорости сварки на расстоянии (30-40) мм от края пластины. Наплавленному валику дать охладиться до комнатной температуры на воздухе. При наплавке следует как можно точнее зафиксировать режим сварки. Результат внести в табл. 1.14. После охлаждения клеймить валик. Во время охлаждения пластина должна находиться на изоляторе. Допускается принудительное охлаждение после того, как температура образца снизится до (550-600)К.

3. Повторить п. 2 на второй пластине, но после наплавки образец быстро опустить в воду.

4. Повторить п. 2 на третьей пластине, предварительно подогрев ее в печи до температуры (493-523) К. Охлаждение после наплавки вести на воздухе.

Таблица 1.13 – Результаты измерений

Порядковый номер валика	Толщина пластин δ , мм	Ток сварочный $I_{св}$, А	Напряжение на дуге U_d , В	Скорость сварки $V_{св}$, см/с	Начальная температура T_0 , К	Условия охлаждения

5. Второй валик (на средней скорости сварки) наплавляется на расстоянии (30-40) мм от противоположного края первой пластины.

6. Наплавить второй валик (на средней скорости сварки) на вторую пластину. Охлаждение в воде

7. Наплавить второй валик на третью пластину, предварительно подогретую до температуры (493-523) К. Охлаждение после наплавки на воздухе.

8. Третий валик (на максимальной скорости сварки) наплавляется между двумя первыми (расстояние от наплавленного валика до ранее наплавленного выбирается таким образом, чтобы избежать отпуска закаленной зоны). Наплавка последовательно выполняется на каждую из трех пластин при условиях, оговоренных в пп. 2-7.

9. Из середины каждого образца вырезается поперечный темплет шириной порядка 20 мм. Противоположные стороны темплетов должны быть строго параллельны. Шлифы полировать на станке, травить. Время травления 10-15 с.

Обработка результатов эксперимента

1. Вдоль границы проплавления каждого шва по линии наибольшей твердости произвести замеры величины твердости. Обычно наибольшая твердость наблюдается на расстоянии 1,0-1,5 мм от границы сплавления. По результатам нескольких замеров найти среднюю величину твердости околошовной зоны для данного валика. Результаты внести в табл. 1.15.

2. Согласно Н.Н. Рыкалину скорость охлаждения при любой температуре $T > T_0$ металла в сварном соединении в общем случае описывается уравнением

$$V_{охл} = -\omega \frac{2\pi\lambda(T - T_0)^2}{(q_u / V_{св})}, \quad (0.23)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(см·с·К);

ω – безразмерный критерий процесса охлаждения.

Таблица 1.14 – Результаты экспериментов

Порядковый номер валика	Погонная энергия $q_u/V_{св}$, Вт/м	Критерий $1/\theta$	Критерий ω	Скорость охлаждения $V_{охл}$, °/с	Твердость околошовной зоны, HRC

Безразмерный критерий ω зависит от свойств свариваемого металла и условий сварки, выраженных через безразмерную величину $1/\theta$, и определяется по формуле

$$1/\theta = \frac{2q_u/V_{св}}{\pi\delta^2 c\gamma(T-T_0)}, \quad (0.24)$$

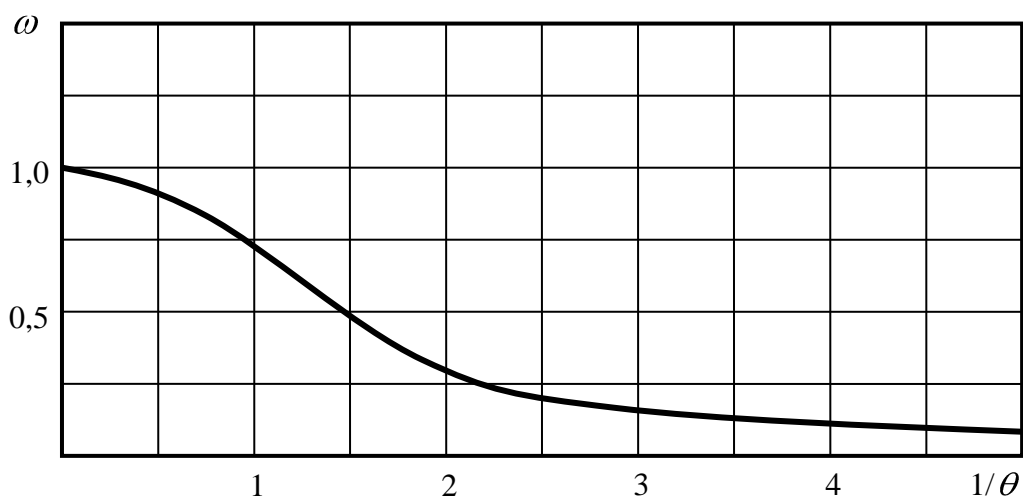
где $c\gamma$ – объемная теплоемкость, Дж/м³·К;

δ – толщина пластины, м

В зависимости от $1/\theta$ значения ω показано на рис. 1.6. При малых значениях $1/\theta$, т.е. при большой величине δ (практически при $\delta = 25$ мм, значения ω стремятся к 1.

В тех случаях, когда толщина образца $\delta = (5 - 10)$ мм расчет средней скорости охлаждения выполняется по следующей формуле:

$$V_{охл} = - \frac{2\pi\lambda c\gamma(T-T_0)^3}{q_u/(V_{св}\delta)}. \quad (0.25)$$

Рисунок 1.6 – Зависимость $\omega = f(1/\theta)$

На твердость металла околошовной зоны влияет скорость охлаждения в критическом интервале наименьшей устойчивости аустенита, поэтому в зависимости (0.23) и (0.25) следует подставлять $T = T_{\min}$, где T_{\min} – температура наименьшей устойчивости аустенита для данной стали

(873K).

На основании данных табл. 1.13, используя зависимости (23), (25), следует рассчитать погонную энергию и скорость охлаждения. Результаты внести в табл. 1.15.

3. По полученным замерам твердости и вычисленным скоростям охлаждения построить зависимость в координатах $HRC = f(V_{\text{охл}})$.

4. Практически приходится рассчитывать режим сварки так, чтобы твердость металла околошовной зоны не превышала заданной.

По заданной твердости, воспользовавшись построенным графиком $HRC = f(V_{\text{охл}})$, определить требуемую скорость охлаждения.

Для толщин металла $\delta = (10-25)$ мм расчет ведется методом последовательных приближений с использованием формул (23), (24). При $\delta = (5 - 10)$ мм и $\delta > 25$ мм расчет получается более простым и позволяет сразу получить значение погонной энергии $q_{\text{н}}/V_{\text{св}}$.

Найдя значение $q_{\text{н}}/V_{\text{св}}$ по технологическим соображениям задаться скоростью сварки и определить эффективную тепловую мощность, откуда можно вычислить $I_{\text{св}}$ и $U_{\text{д}}$ (величина эффективного КПД нагрева принимается равной 0,8).

Если расчет дает неосуществимую на практике величину погонной энергии (слишком большую), то, следовательно, без подогрева получить требуемую твердость не удастся. Необходимо уменьшить разность $(T_{\text{мин}} - T_0)$, т.е. увеличить начальную температуру T_0 за счет подогрева изделия и повторить весь расчет.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая сущность процесса распространения теплоты при сварке?

2. Каким образом можно воздействовать на размеры зоны термического влияния?

3. Как выбрать схему нагреваемого тела и схему источника тепла в каждом конкретном случае?

4. Как влияют теплофизические свойства металла на распределение тепла при сварке?

5. Какова цель построения зависимости $HRC = f(V_{\text{св}})$?

6. Какая взаимосвязь между скоростью охлаждения и степенью закалки металла околошовной зоны?

7. Каким образом можно воздействовать на скорость охлаждения околошовной зоны?

8. Как влияет предварительный подогрев на характер термического цикла металла околошовной зоны?

9. Как рассчитать режим сварки по заданной твердости металла околошовной зоны?

Часть 2
ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ
Лабораторная работа 1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПОСТОЯННОГО
ТОКА**

Цель работы: исследовать строение дугового разряда с неплавящимся электродом и определить его параметры.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии в ней не менее 5 человек.

Готовясь к лабораторной работе, необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, подготовить табл. 2.1 и 2.2, изучить рекомендуемую литературу [7, с. 90...103].

Следует вспомнить явление прохождения электрического тока через газы, которое получило название газовых разрядов. В технике различают и используют темный, тлеющий, дуговой, черновой и коронный разряд. Строгих количественных границ между ними провести не удастся, так как один вид разряда часто переходит в другой без заметного внешнего воздействия.

Понятие “дуговой разряд” охватывает все виды газовых разрядов, которые характеризуются большой плотностью тока, малым падением напряжения, не превосходящим нескольких десятков вольт и высокой температурой газа в разрядной области.

Дуга разграничивается на три области — катодную, столб и анодную, характеризующиеся падениями напряжений U_k , U_a , $U_{ст}$. Приэлектродные падения напряжений U_k и U_a не зависят от длины дуги. Падение напряжений в столбе дуги пропорционально длине столба дуги:

$$U_{ст} = K_d L_{ст},$$

где K_d — градиент потенциала столба дуги; величина, зависящая от физических свойств среды, в которой горит дуга.

Поскольку протяженность приэлектродных областей неизмеримо мала по сравнению с длиной столба дуги, то считают, что $L_{ст} \approx L_d$. Тогда:

$$U_{ст} = K_d L_d \quad (0.26).$$

Экспериментальное исследование распределения потенциала вдоль дуги представляет большие трудности по следующим причинам: во-первых, в силу малых линейных размеров катодной и анодной областей,

во-вторых, в области столба дуги имеют место высокие температуры, что затрудняет применение такого метода измерений, как метод зондов.

Кроме того, следует помнить, что зонд, введенный в столб дуги, представляет собой инородное тело, имеющее первоначальную температуру окружающей среды. Все это значительно искажает истинную картину.

На рис. 2.1. приведена примерная картина распределения напряжения в дуге. Длины отдельных областей показаны без соблюдения масштаба.

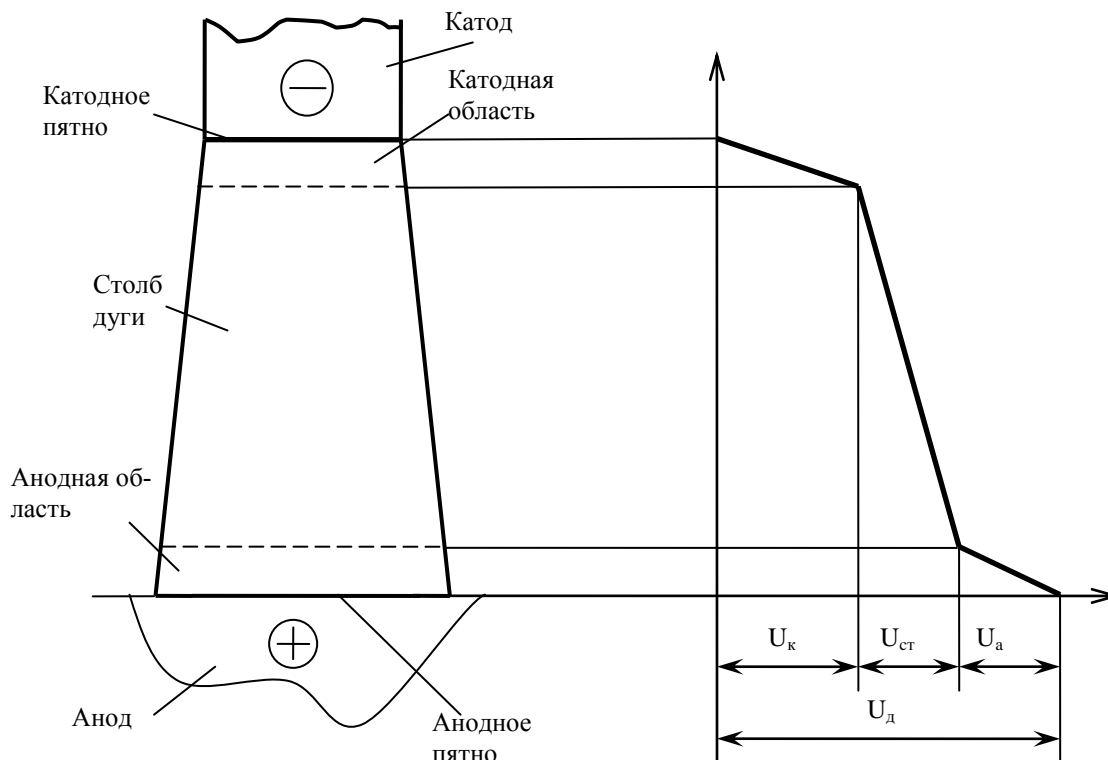


Рисунок 2.1 – Распределение напряжений по длине дуги

Рабочее задание

1. Пользуясь методом оптической проекции, ознакомиться со строением дуги постоянного тока, горящей в атмосфере воздуха:

- а) между двумя угольными электродами;
- б) между угольным и металлическим электродами, при прямой и обратной полярности.

Определить фактические значения длины дуги, диаметры активных пятен на электродах столба.

Описать цвет различных зон дуги.

По указанию преподавателя использовать угольные или графитовые электроды и пластины из малоуглеродистой стали, меди или алюминия.

2. Получить экспериментальные данные для вычисления коэффициентов уравнения Г. Айртона и построения вольтамперных статических характеристик дуги постоянного тока, горящей в среде воздуха:

- а) между угольными электродами;
- б) угольными и металлическими электродами, при прямой и обратной полярности.

Примечание. Объем задания, материал электродов и режимы горения дуги указывает преподаватель.

Оборудование, приборы и материалы

1. Источник питания сварочной дуги — выпрямитель ВКСМ-1000 и балластный реостат РБ301, вольтметр и амперметр (с шунтом на 300 А) постоянного тока, переключатель полярности.
2. Штатив с зажимом для электрода и механизмом вертикального перемещения электрода, экран, соединительные провода, линейка измерительная.
3. Электроды угольные (графитовые), металлические; пластины угольные (графитовые), металлические; поташ (углекислый барий).

Изучение работы экспериментальной установки

Установка (рис. 2) состоит из источника питания GV (выпрямитель ВКСМ-1000); реостата балластного R типа РБ-301; амперметра PA с шунтом RS на 75 мВ, 300 А; вольтметра PV; переключателя полярности Q; штатива Шт, с помощью которого можно плавно регулировать длину дуги; электроде Э1 установленного в подвижный зажим штатива, и электрода Э2, установленного в неподвижной обойме.

Следует обратить внимание на место установки переключателя полярности Q.

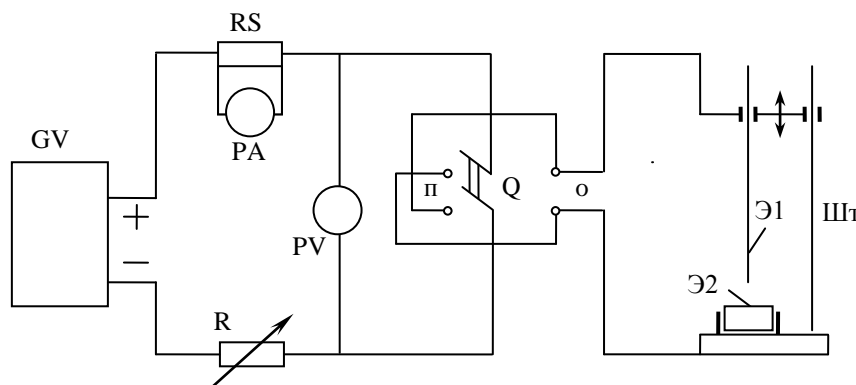


Рисунок 2.2 – Схема экспериментальной установки

Строение дуги можно наблюдать через светофильтр или с помощью оптической проекции дуги на экран. При наблюдении дуги через светофильтр происходит искажение истинной окраски различных зон дуги, и измерение её длины осуществить очень трудно. При проектировании дуги на экран (рис. 3) сохраняется окраска зон дуги и появляется возможность получить на экране увеличенное её изображение, пользуясь которым мож-

но достаточно точно измерить длину дуги, что необходимо для определения коэффициентов уравнения Г. Айртона и построения статических характеристик дуги.

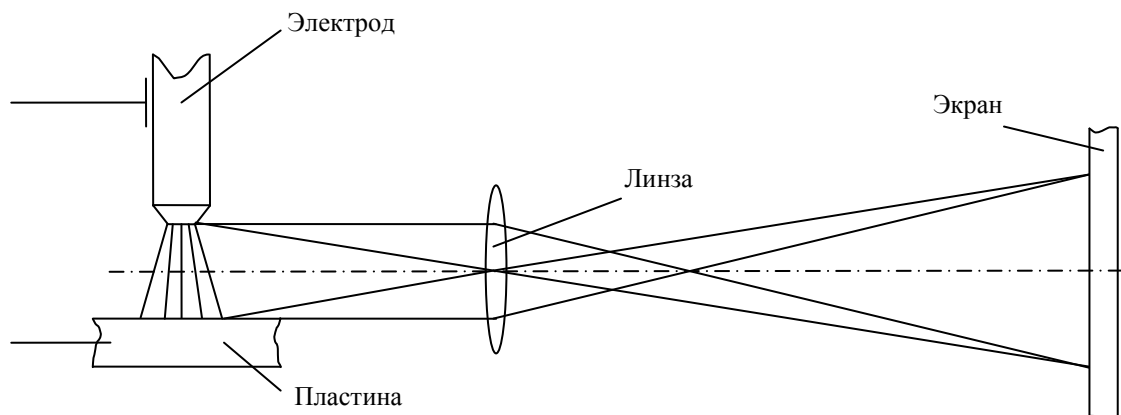


Рисунок 2.3 – Схема проектирования дуги на экране

Увеличенное изображение дуги на экран можно зарисовать, обводя контуры изображения карандашом. Зная степень увеличения изображения, определяют фактическую длину дуги.

Порядок выполнения работы

1. Собрать экспериментальную установку, схема которой приведена на рис.2.2.

2. Определить степень увеличения, для чего:

а) включить источник питания, установить с помощью балластного реостата заданный ток короткого замыкания, зажечь дугу прямой полярности (переключатель Q установлен в положение «п») с угольным электродом; дуга возбуждается замыканием электрода и пластины вспомогательным угольным электродом;

б) пользуясь щитком с линзой, спроектировать дугу на экран, добиться четкости изображения изменением расстояния между дугой, линзой и экраном;

в) измерить диаметр проекции электрода на экране;

г) погасить дугу и измерить диаметр электрода;

д) рассчитать степень увеличения.

$$K = \frac{\text{Диаметр проекции электрода}}{\text{Диаметр электрода}}.$$

3. Возбудить дугу при её минимально возможном токе, произвести зарисовку дуги и необходимые измерения в соответствии с п.1 рабочего

задания. Одновременно с измерением длины дуги зарисовать показания измерительных приборов. Диаметр столба определить в пяти различных поперечных сечениях. Проанализировать полученные данные и результаты свести в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Размеры зон дугового разряда

Электроды		Токи дуги $I_{св}$, А	Напряжение дуги U_d , В	Длина дуги L_d , мм	Диаметр, мм			Внешний вид дугового разряда (окраска отдельных
+	–				анодного пятна	катодного пятна	столба дуги	

4. Повторить п. 3 при токе дуги, равном 180...200 А, и результаты свести в табл. 2.1.

5. Установить длину разрядного промежутка примерно 2 мм. Возбудить дугу прямой полярности между угольными электродами при минимально возможном токе. После установления дугового разряда определить истинную длину дуги (с помощью проекции дуги на экран) и зафиксировать показания приборов. Результаты измерений внести в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Определение длины дуги

Электроды		Среда	Длина дуги L_d , мм	Напряжение дуги U_d , В	Ток дуги $I_{св}$, А
+	–				

Для исследований и практического применения чрезвычайно важна вольтамперная характеристика дуги $U_d=f(I_{св}, L_d)$ (рис. 2.4.).

Вольтамперная характеристика показывает, что дуга как вид газового разряда является нелинейным элементом электрической цепи, сопротивление которого зависит, от величины протекающего тока.

Области применения дуги весьма обширны, различные условия ее существования и, конечно, различны ее характеристики. На рис. 2.4 изображена некоторая “средняя” характеристика дуги со стальными электродами. В характеристике можно условно различить три области А, В и С.

В области (А) динамическое сопротивление дуги $K_{от} = \frac{\partial U_d}{\partial I_{св}} < 0$, в области (В) $K_{от}=0$, в области (С) $K_{от}>0$.

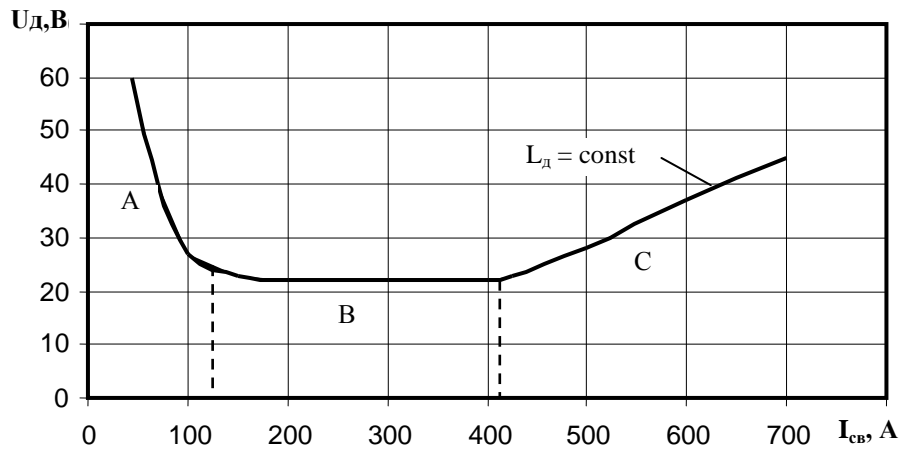


Рисунок 2.4 – Вольтамперная характеристика сварочной дуги

При заданной длине дуги L_d возможно бесконечное число вариантов дугового разряда, отличающихся напряжением дуги, температурой газа, диаметром столба, размерами электродных пятен и пр. Однако опыт показывает, что заданных условиях устанавливается один, вполне определенный стационарный режим дугового разряда. По аналогии со многими другими энергетическими процессами считают, что дуговой разряд подчиняется “принципу минимума”, т.е. протекает при минимальной энергии. Поскольку мощность разряда и величина тока заданы, то минимальная мощность достигается при наименьшем значении напряжения дуги U_{\min} . Из всего возможного многообразия только этот вариант устойчив.

Сложная зависимость между параметрами дуги выражается различными эмпирическими уравнениями. Одним из них является уравнение Г. Айртон, удовлетворительно описывающее “падающую” и “жесткую” ветви вольтамперной дуги (области A и B):

$$U_d = a + bL_d + \frac{c + dL_d}{I_{св}}, \quad (0.27)$$

где a , b , c и d – постоянные.

Для “жесткой” вольтамперной статической характеристики третий член уравнения (0.27), зависящий от тока дуги $I_{св}$, обращается в нуль:

$$U_d = a + bL_d. \quad (0.28)$$

Возрастающий участок кривой (см. рис. 2.4) уравнению Айртон не подчиняется. Возрастание напряжения дуги U_d при увеличении тока $I_{св}$ ($K_{дт} > 0$) можно объяснить увеличением плотности тока.

В соответствии с рис. 2.1. можно записать уравнение

$$U_d = U_a + U_k + U_{cm}. \quad (0.29)$$

Сопоставляя выражения (0.26), (0.28) и (0.29), можно уяснить физический смысл коэффициентов уравнения (0.27). Коэффициент a , очевидно, представляет собой сумму катодного и анодного падений напряжений для дуги с $K_{дт}=0$, т.е.

$$a = U_{\kappa} + U_a. \quad (0.30)$$

Для этого же случая коэффициент b есть градиент потенциала в столбе дуги, т.е. $K_d = b$; $\frac{c}{I_{св}}$ - переменная составляющая суммы приэлектродных падений напряжений, обусловленная значительной долей электростатической эмиссии, которая уменьшается по мере повышения температуры катодного пятна; $\frac{d}{I_{св}}$ - переменная составляющая градиента потенциала столба дуги, уменьшающаяся по мере увеличения проводимости столба дуги.

Ориентировочные значения коэффициентов уравнения Г.Айртон приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Величина коэффициентов α , b , c и d (газовая среда – воздух)

Электроды		α , В	b , В/мм	c , Вт	d , Вт/мм
+	–				
Уголь	Уголь	30...38	2,0	11...12	10,5
Железо	“	16	1,5	-	-
“	“	14...16	2,5	9...10	15,0
“	“	14...16	2,3	9...10	15,0
	(меловое покрытие)				
“	“	16...18	2,8	9...10	15,0
	(покрытие УОНИ-13)				

6. Повторить п. 5 5...7 раз, каждый раз увеличивая ещё на 10...20 А величину тока и на 1...3 мм первоначальную длину разрядного промежутка.

7. С помощью переключателя Q изменить полярность на обратную и повторить пп. 5 и 6.

8. Заменить графитовый нижний электрод на металлическую пластину и повторить пп.5, 6 и 7.

9. Выполнить задание п.8, каждый раз предварительно внося разрядный промежуток 1,5...2,0 г углекислого бария.

Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать коэффициенты уравнения Г. Айртона.
2. Проанализировать и дать графическую интерпретацию полученных уравнений $U_d = f(I_{св}, L_d)$. При проведении анализа следует обратить внимание на влияние среды, в которой горит дуга, и материала электродов на значения коэффициентов уравнения Г. Айртона.
3. Рассчитать динамическое сопротивление дуги:

$$K_{\partial m} = \frac{\partial U_{\partial}}{\partial U_{св}}.$$

Контрольные вопросы

1. Что называется сварочной дугой?
2. Строение дугового разряда. Характерные участки и зоны.
3. Процессы, протекающие в приэлектродных областях. Температура активных пятен.
4. Процессы, протекающие в столбе дуги. Градиент потенциала столба дуги. Температура столба дуги. Факторы, способствующие повышению температуры столба дуги.
5. Классификация дуговых разрядов.
6. Вольтамперная статическая характеристика сварочной дуги.
7. Физический смысл коэффициентов уравнения Г. Айртона.
8. Какие признаки отличают одну сварочную дугу от другой?
9. Как связаны между собой напряжение сварочной дуги, сварочный ток и длина дуги?
10. Что называют длиной дуги?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТИЧНОСТИ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: исследовать ионизирующие действие компонентов электродных покрытий, стабилизирующие свойства электродов и флюсов для дуговой сварки.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии в ней не менее 4 человек.

Готовясь к лабораторной работе, необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, подготовить табл. 2.4...2.10, изучить рекомендуемую литературу [10, с. 58...68; 11, с. 36...78].

Студенты должны знать, что для стабильного протекания процесса сварки прежде всего необходимо обеспечить физическую устойчивость дугового разряда.

Общепринятый критерий физической устойчивости сварочной дуги в настоящее время не разработан. В качестве такового применяют скорость перемещения активных пятен дуги, амплитуду частоту колебаний напряжения дуги, скорость спада тока в момент, предшествующий обрыву дуги, и другие переменные характеристики дуги, определенным образом связанные с пространственной неустойчивостью дуги. Одной из причин нарушения стабильности процесса сварки может быть недостаточный запас эластичности дуги.

Эластичность дуги – это способность дуги удлиняться в определенных пределах без её отрыва. Возмущения по длине дуги могут быть: при сбросе капли расплавленного металла с торца электрода различных перемещениях электрода — вдоль или поперек шва; местном нарушении правильности сборки свариваемых деталей (ступенчатость кромок); возбуждении дуги с короткого замыкания электродов с их последующим их разведением.

При возбуждении дуги в случае ручной дуговой сварки (РДС) амплитуда отрыва электрода составляет у опытного сварщика до 3 мм, у неопытного – до 6 мм. Если считать, что максимальные возмущения по длине дуги, то эластичность дуги должна обеспечивать горение дуги без обрывов при случайных удлинении её до 6 мм. В этом случае будет гарантирована нормальная работа сварщика любой квалификации.

Компоненты, из которых изготавливаются сварочные материалы, делятся на ионизирующие, шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие и легирующие. Не все компоненты повышают физическую устойчи-

вость дугового разряда, некоторые из них оказывают противоположное – гасящее действие на дугу.

Возникновение и существование дугового разряда между металлическими электродами обусловлено ионизацией газовой атмосферы дугового промежутка:



Для отрыва электрона от атома или молекулы необходимо затратить определенное количество энергии, которое называют работой ионизации φ :

$$\varphi = e_0 U_j,$$

где e_0 – заряд электрона;

U_j – потенциал ионизации.

Чем ниже потенциал ионизации атома или молекулы, тем легче можно образовать из одной нейтральной частицы две заряженные (электрон и положительно заряженный ион), легче создать проводящую атмосферу, необходимую для поддержания дугового разряда.

Поэтому для увеличения физической устойчивости дугового разряда в состав электродных материалов вводят вещества с низкими потенциалами ионизации (соли цезия, рубидия, калия, натрия).

Рабочее задание

1. Изучить методику К.К. Хренова – определение разрывной длины дуги.

2. Оценить ионизирующую способность различных компонентов сварочных материалов.

3. Провести сравнительное определение стабильности сварочной дуги при применении нескольких различных марок современных флюсов при постоянных значениях напряжения холостого хода U_0 , тока короткого замыкания $I_{кз}$, диаметра $d_э$ и вылета $L_в$ электродного (стального) стержня.

4. Определить влияние на разрывную длину дуги величины тока короткого замыкания (значения $I_{кз}$ задаются преподавателем) при неизменных марке флюса, марке, диаметре и вылете электродной проволоки, высоте засыпки флюса, типе источника питания и напряжении его холостого хода.

5. Определить влияние на разрывную длину дуги напряжения холостого хода источника питания (значения U_0 задаются преподавателем) при постоянных значениях тока короткого замыкания, диаметра и вылета электродного стержня, высоты засыпки флюса, неизменных марок флюса и типа источника питания.

6. Провести сравнительное определение стабильности сварочной дуги при применении различных марок современных покрытий электродов с учетом постоянства значений U_0 , $I_{кз}$, $d_э$, вылета электрода и неизменном типе источника питания.

7. Повторить пп.4 и 5, применяя вместо флюса какую-либо марку качественного электрода (задается преподавателем).

Примечание. Объем задания при проведении лабораторной работы определяется преподавателем.

Оборудование, приборы и материалы

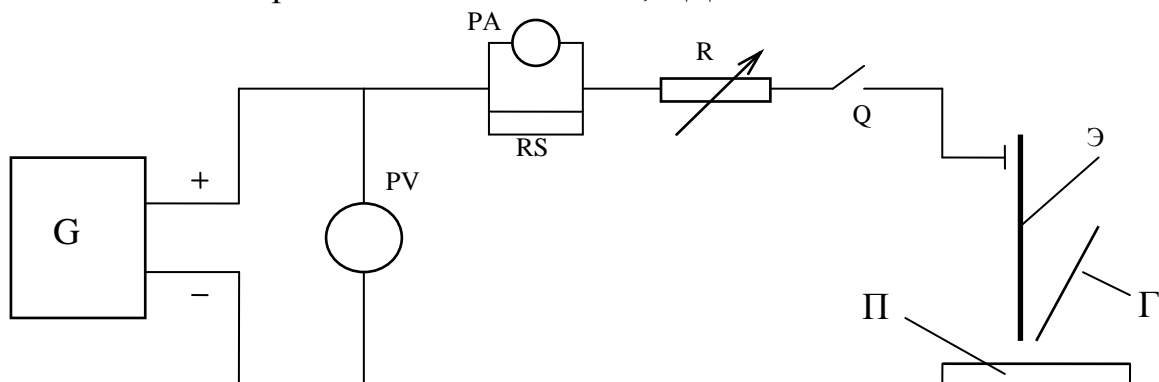
1. Источник питания постоянного тока с жесткой внешней характеристикой; реостат балластный типа РБ-301; амперметр и вольтметр постоянного тока; шунт измерительный.

2. Штатив для закрепления электродов (электродных стержней); штангенциркуль; мерительный шаблон; трубчатый ограничитель флюса; изоляционная прокладка под штатив; набор ручного инструмента сварщика.

3. Электродные стержни (стальные) в количестве 6-7 шт. одного и того же диаметра ($d_э \leq 4\text{мм}$); качественные электроды различных марок одного и того же диаметра ($d_э \leq 4\text{мм}$); флюсы 4...7 различных марок; компоненты электродных покрытий.

Изучение работы экспериментальной установки

Экспериментальная установка собирается по схеме, представленной на рис. 2.5. Источником питания сварочной дуги служит сварочный преобразователь с жесткой внешней характеристикой типа ПГС-500-1 или выпрямители типов ВДГ-601, ВДУ-505, ВДУ-1201. В тех случаях, когда п.5 рабочего задания не выполняется, в качестве источника питания могут использоваться выпрямители типов ВКСМ, ВДМ.



G – источник питания; PV – вольтметр постоянного тока;
RS – шунт измерительный; PA – милливольтметр;
R – реостат балластный РБ-301; Г – графитовый стержень;
Q – разъединитель; П – стальная пластина; Э – электрод

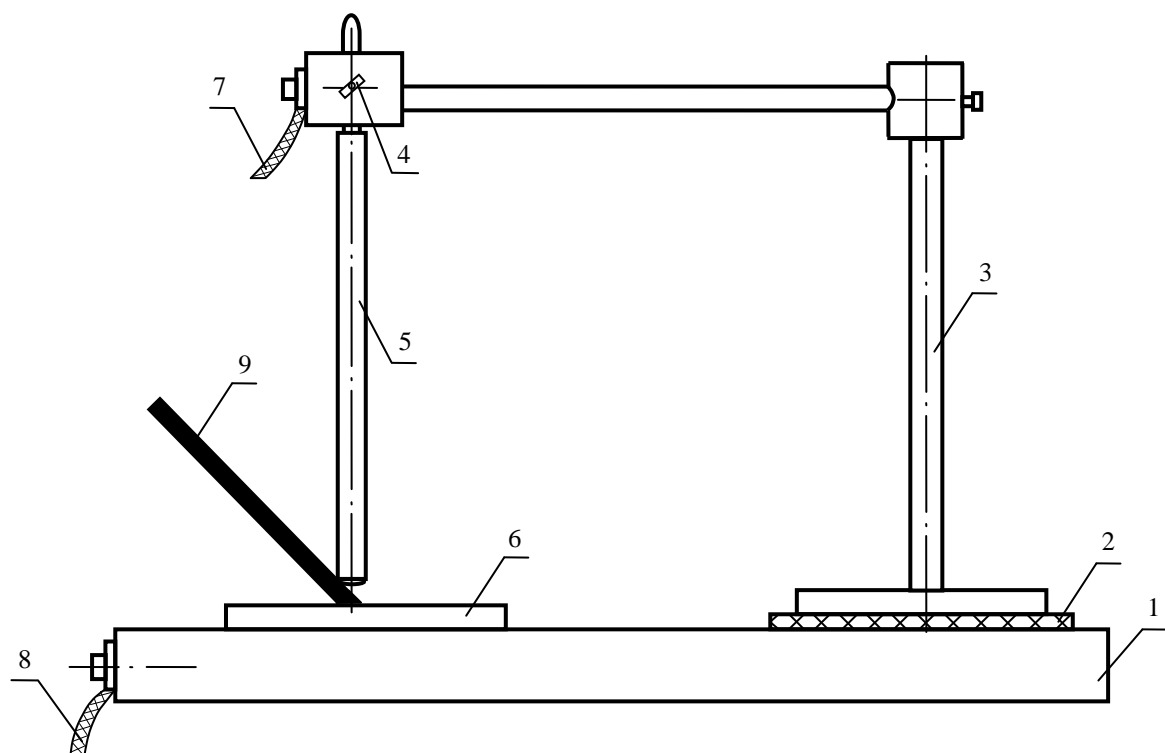
Рисунок 2.5 – Схема экспериментального стенда

В настоящее время наиболее распространенным критерием оценки эластичности дуги является разрывная длина дуги, определяемая по методике К.К. Хренова [3]. Данная методика использована в лабораторной работе.

На сварочный стол кладут зачищенную до металлического блеска пластину стали, подлежащую сварке, и устанавливают штатив, в котором вертикально закреплен соответствующий электрод (рис. 2.6). Под штатив укладывают изоляционную прокладку.

Нижний конец электрода с помощью шаблона устанавливают на расстоянии 2 мм от пластины. К столу и штативу подводят провода от источника питания.

После подачи напряжения заостренным угольным стержнем на короткое время замыкают зазор между концом электрода и пластиной.



- 1 – сварочный стол; 2 – изоляционная прокладка; 3 – штатив;
4 – зажим; 5 – электрод; 6 – стальная пластина;
7-8 – сварочные провода; 9 – угольный стержень

Рисунок 2.6 – Установка для определения разрывной длины дуги

Дуга должна гореть до естественного обрыва, который происходит вследствие возрастания длины дуги в процессе плавления электрода. После обрыва дуги выключают источник питания и с помощью шаблона измеряют расстояние между концом оплавленного электрода и бобышкой, наплавленной на пластину (рис. 2.7).

Это расстояние, равное длине дуги в момент её погасания, называется разрывной длиной дуги L_p . Разрывная длина дуги – это длина дуги, при

достижении которой обрыв дуги при данных условиях неизбежен. Разрывная длина дуги служит мерой эластичности дуги в заданных условиях. Чем больше разрывная длина дуги, тем выше эластичность дуги.

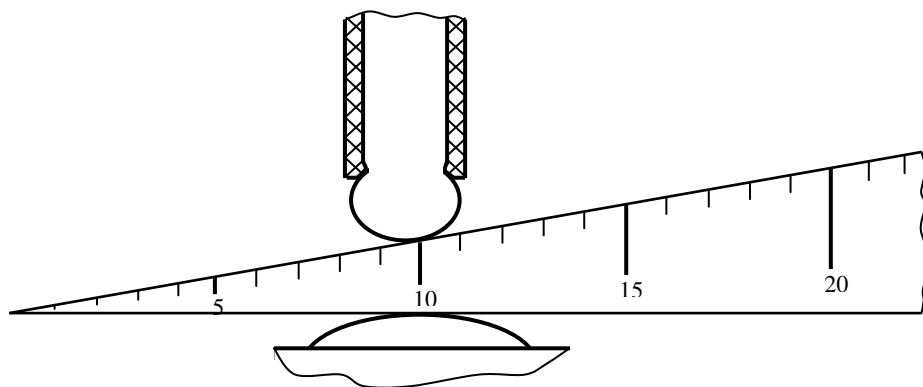


Рисунок 2.7 – Схема измерения разрывной длины дуги

Оценка эластичности дуги по методике К.К. Хренова носит статистический характер и требует большого количества опытов из-за значительного разброса результатов измерений. Следует отметить, что условия горения дуги при неподвижном электроде значительно отличается от реально существующих в процессе сварки и, особенно при возбуждении дуги. Средняя скорость удлинения дугового промежутка при этих испытаниях сравнительно невелика и равна скорости плавления электрода.

Условия существования дугового разряда зависят, прежде всего, от химического состава основного и электродного металла, газовой и шлаковой фаз, электрических параметров источника питания и сварочной цепи.

Для электрической цепи, состоящей из источника питания, дуги (потребителя энергии) и активного сопротивления всего контура, справедливо выражение

$$U_n = U_d + I_{св} R_k, \quad (0.31)$$

где U_n – напряжение на клеммах источника питания;

U_d – падение напряжения на дуге;

$I_{св}$ – сварочный ток;

R_k – активное сопротивление сварочного контура.

Падение напряжения на дуге включает сумму падений напряжений в приэлектродных областях $U_{ка}$ и падение напряжения в столбе дуги U_c :

$$U_{ка} = U_k + U_a;$$

$$U_c = K_d L_d,$$

где U_k – падение напряжения в катодной области;

U_a – падение напряжения в анодной области;

K_∂ – градиент потенциала столба дуги;

L_∂ – длина дуги.

Таким образом

$$U_\partial = U_{ka} + K_\partial L_\partial. \quad (0.32)$$

Совместное решение уравнений (0.31) и (0.32) позволяет получить выражение

$$L_\partial = \frac{U_n - U_{ka} - I_{cb} R_k}{K_\partial}. \quad (0.33)$$

Уравнение (0.33) определяет зависимость длины дуги как от электрических параметров сварочной цепи (U_n, I_{cb}, R_k), так и от химического состава основного и электродного металла.

При дуговой сварке режим (ток, напряжение) определяется пересечением внешней характеристики источника питания $U_n = f_1(I_{cb})$ со статической характеристикой дуги $U_\partial = f_2(I_{cb})$, что показано на рис. 2.8.

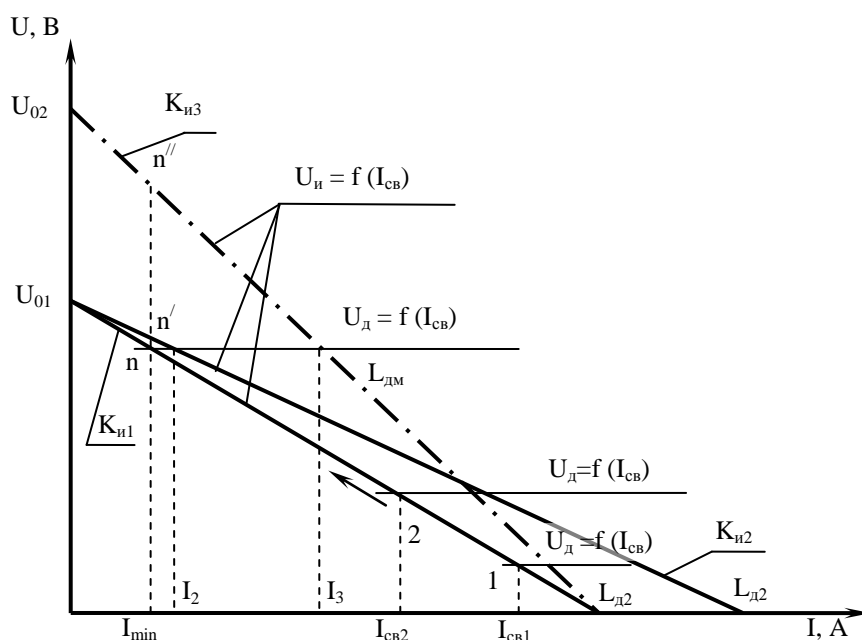


Рисунок 2.8 – Изменение режима горения дуги при изменении ее длины (электрод – неподвижный)

Например, какой-то первоначальный момент режим сварки соответствовал точке 1. Плавление электрода, неподвижно закрепленного в штативе, и переход каплей в сварочную ванну вызвал удлинение дуги до величины $L_{\partial 2}$. Этому положению будет соответствовать меньший ток дуги ($I_{cb2} > I_{cb1}$). Затем дуга вновь удлиняется, т.е. точка пересечения внешней

характеристики источника питания и статической вольтамперной характеристики как бы перемещается вдоль внешней характеристики источника питания по направлению стрелки на рис. 2.8. Наконец наступает момент (соответствующий точке n), когда при данных условиях ток дуги будет иметь какое-то пороговое значение $I_{ce} = I_{\min}$, ниже которого дуга не может существовать. Этому положению соответствует и максимальное напряжение дуги, и максимальная длина дуги $L_{\partial n} = L_p$. Чем выше напряжение источника питания при прочих идентичных условиях, тем больше разрывная длина в соответствии с уравнением (0.33).

Если уменьшить сопротивление сварочного контура $R_k (K_{u2} < K_{u2})$, то при той длине дуги ток $L_{\partial n}$ дуги будет больше ($I_2 > I_{\min}$). Это увеличивается степень ионизации столба дуги (повышается физическая устойчивость дуги). Разрывная длина дуги увеличивается (точка n' выше точки n). Аналогичным образом действует и увеличение напряжения холостого хода ($U_{02} > U_{01}, I_3 > I_2 > I_{\min}$, точка n'' выше точки n'). Следовательно, увеличение как напряжения холостого хода источника питания, так и тока короткого замыкания повышает эластичность дуги.

В условиях определения разрывной длины дуги (т.е. в условиях “сварки” без подачи электрода, что адекватно процессу заварки кратера) с течением времени происходит изменение всех основных параметров сварки – длины, тока и напряжения дуги. Поэтому при проведении эксперимента следует задаваться напряжением холостого хода и коэффициентов внешней характеристики источника питания K_n (или величиной тока короткого замыкания $I_{кз}$).

Стальные пластины толщиной 8...10 закрепляются на сварочном столе с помощью струбцины.

Поверхность электродных стержней должна быть очищена от следов ржавчины, технологической смазки и других загрязнений. При повторном использовании конец стержня тщательно зачищается (лучше – обрубается), торцы электродов очищаются от шлаковой корки.

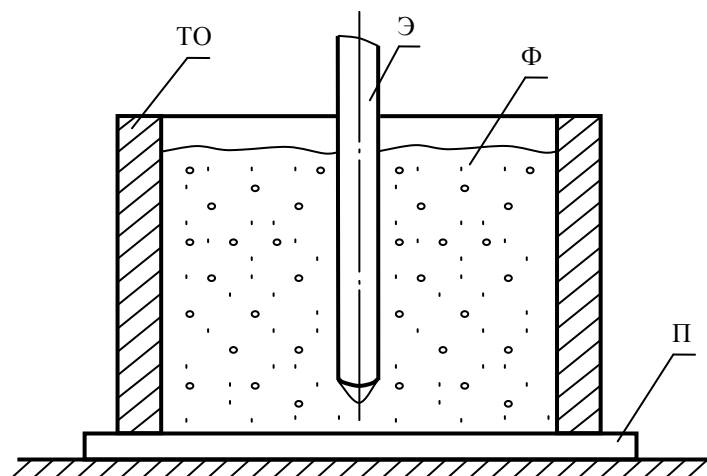
При испытании компонентов сварочных материалов и флюсов высота слоя компонента должна быть такой, чтобы дуга в процессе горения не могла выйти из-под него. Для того чтобы флюс или компонент не рассыпался, ставится трубчатый ограничитель флюса (рис. 2.9).

Электродный стержень может замыкаться на стальную пластину через железный порошок или тонкую стальную стружку.

Порядок выполнения работы

1. Наждачной бумагой зачистить до металлического блеска электродные стержни и стальные пластины, верхние, зажимные в штативе концы покрытых электродов.

С помощью абразивного круга заторцевать рабочие концы электродов. Один конец каждого электродного стержня заточить на конус.



Э – электродный стержень; ТО – трубчатый ограничитель флюса;

Ф – флюс или компонент сварочных материалов;

П – стальная пластина

Рисунок 2.9 – Схема исследования компонентов сварочных материалов и флюсов

2. Включить источник питания и установить заданную величину тока короткого замыкания. Отключить источник с помощью разъединителя Q.

3. Закрепить электродный стержень в штатив над пластиной, выдержав с помощью шаблона зазор 2 мм между пластиной и концом электрода. Электроды, заточенные на конус, доводятся до соприкосновения со стальной стружкой или железным порошком, предварительно помещенный в центр пластины. Установить трубчатый ограничитель флюса таким образом, чтобы электродный стержень находился в его центре. Засыпать в ограничитель испытуемый компонент сварочных материалов.

4. Включить разъединитель Q. При наличии контакта между электродом и пластиной через железный порошок или стружку дуга должна возбуждаться сразу и гореть до естественного обрыва.

5. Включить разъединитель Q.

6. Приподнять трубчатый ограничитель, удалить остатки испытуемого компонента, очистить оплавленный конец электрода и наплавленную на пластину бобышку от шлака.

7. Измерить разрывную длину дуги клиновым мерительным шаблоном.

8. Повторить пп. 2...7 еще 2...4 раза. При значительном разбросе результатов всю серию опытов с данным компонентом повторить. При отдельных выпадах произвести дополнительный контрольный эксперимент. Результаты опытов свести в табл. 2.4.

9. Повторить пп. 2...8, используя для опытов различные флюсы. Техника эксперимента остается прежней. Результаты опытов свести в табл. 2.5.

Таблица 2.4 – Ионизирующее действие различных веществ в сварочной дуге постоянного тока, полярность обратная

$I_{кз}= \quad A, U_o= \quad B, d_3= \quad \text{мм}$							
Наименование компонента	Химическая формула	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

Таблица 2.5 – Стабилизирующие свойства сварочных флюсов, ток постоянный, полярность обратная

$I_{кз}= \quad A, U_o= \quad B, d_3= \quad \text{мм}$							
Наименование флюса	Основа флюса	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

10. Выполнить опыт по определению разрывной длины дуги для заданной марки флюса при различных значениях тока короткого замыкания в соответствии с п.4 рабочего задания. При этом используется техника эксперимента, приведенная в пп. 2...8. результаты опытов свести в табл. 2.6. Эксперимент провести при обратной и прямой полярности.

Таблица 2.6 – Влияние величины тока короткого замыкания на разрывную длину дуги, флюс АН-348 А, ток постоянный

$U_o= \quad B, d_3= \quad \text{мм}$							
Ток короткого замыкания, А	Полярность	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

11. Выполнить опыты по определению разрывной длины дуги для заданной марки флюса при различных значениях напряжения холостого хода в соответствии с п. 5 рабочего задания. При этом используется техника эксперимента, приведенная в пп. 2...8. Результаты опытов свести в табл. 2.7. Эксперимент провести при обратной и прямой полярности.

12. Провести эксперименты, описанные в пп. 2...11 с качественными электродами заданных марок. При этом надобность в трубчатом ограничителе отпадает. Зазор между торцом электрода и пластиной не заполняется ни стружкой, ни железным порошком. Возбуждение дуги осуществляется путем кратковременного перемикаания разрядного промежутка угольным (графитовым) стержнем. Результаты опытов свести в табл. 2.8...2.10.

Таблица 2.7 – Влияние величины напряжения холостого хода на разрывную длину дуги, флюс АН-348 А, ток постоянный

$I_{кз} = \quad \text{А}, d_3 = \quad \text{мм}$							
Напряжение холостого хода, В	Полярность	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

Таблица 2.8 – Стабилизирующие свойства сварочных электродов, ток постоянный, полярность обратная

$I_{кз} = \quad \text{А}, U_o = \quad \text{В}, d_3 = \quad \text{мм}$							
Марка электрода	Газошлаковая основа покрытия	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

Таблица 2.9 – Влияние величины тока короткого замыкания на разрывную длину дуги, электроды УОНИ-13/45, ток постоянный

Режимы: $U_o = \quad \text{В}, d_3 = \quad \text{мм}$							
Ток короткого замыкания, А	Полярность	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

Таблица 2.10 – Влияние величины напряжения холостого хода на разрывную длину дуги, электроды УОНИ-13/45, ток постоянный

$I_{кз} = \quad \text{А}, d_3 = \quad \text{мм}$							
Напряжение холостого хода, В	Полярность	Разрывная длина дуги, мм					
		1	2	3	4	5	Среднее значение

Обработка результатов эксперимента

1. По данным табл. 2.4, 2.5, 2.8 построить сравнительные диаграммы вида, приведенного на рис. 2.10.

2. По данным табл. 2.6, 2.7, 2.9, 2.10 построить графики зависимостей $L_p = f(I_{кз})$ и $L_p = f(U_o)$. Сделать выводы с теоретическим обоснованием полученных результатов.

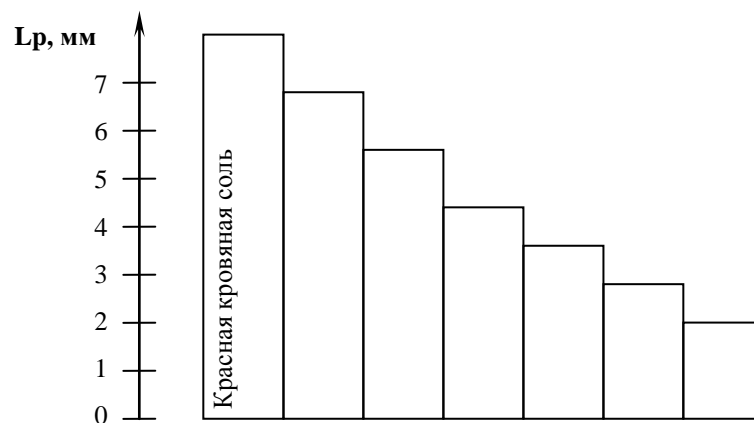


Рисунок 2.10 – Обработка ионизирующих свойств компонентов сварочных материалов

Контрольные вопросы

1. Что такое эффективный потенциал ионизации и как он зависит от состава атмосферы дуги?
2. За счет каких процессов обеспечивается перенос тока в столбе дуги?
3. Что такое степень ионизации и как она зависит от температуры ионизации и потенциала ионизации вещества?
4. Виды ионизации газа в дуге?
5. К какому из составляющих напряжение дуги можно приравнять эффективный потенциал ионизации?
6. Каково назначение ионизирующих компонентов сварочных материалов?
7. Как изменится энергия дугового разряда при увеличении содержания фтористых или хлористых солей в составе сварочных материалов, если величина тока и длины дуги останутся неизменными?
8. Как изменится производительность процесса расплавления металла в ходе сварки при увеличении щелочных, щелочноземельных веществ в составе сварочных материалов, если величина тока и длины дуги останутся неизменными?
9. Какой из следующих компонентов сварочных материалов SiO_2 , FeO , FeSi , CaF_2 , CaO – сильно понижает эластичность сварочной дуги? Повышает эластичность дуги?
10. Как будет изменяться разрывная длина дуги, если при постоянной величине напряжения источника питания увеличивать сопротивление сварочной цепи?
11. Как будет изменяться разрывная длина дуги, если при постоянной величине тока короткого замыкания увеличивать напряжение источника питания?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Цель работы: ознакомиться с особенностями дугового разряда на переменном токе.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии в ней не менее 5–6 человек.

Готовясь к выполнению лабораторной работы, следует ознакомиться с лабораторной установкой. Изучить рекомендуемую литературу [10, с.123...125].

Студентам необходимо знать, что по сравнению с дугой постоянного тока дуга переменного тока имеет следующие главные особенности:

1. В конце каждого полупериода, т.е. через каждые 0,01 с, при частоте $f=50$ Гц, электрический ток в дуге меняет свое направление. Катод и анод меняется местами, и каждый полупериод дуга гаснет и возбуждается вновь.

В те моменты, когда дуга не горит, происходит деионизация разрядного промежутка, охлаждаются активные пятна. Если остаточные ионизация и термоэлектронная эмиссия недостаточны, то зажигание дуги происходит при напряжении большем, чем напряжение дуги, т.е. $U_3 > U_d$, где U_3 – напряжение повторного зажигания; U_d – напряжение дуги (рис. 2.11). Чем менее мощная дуга, тем больше пики напряжения повторного зажигания (рис. 2.12).

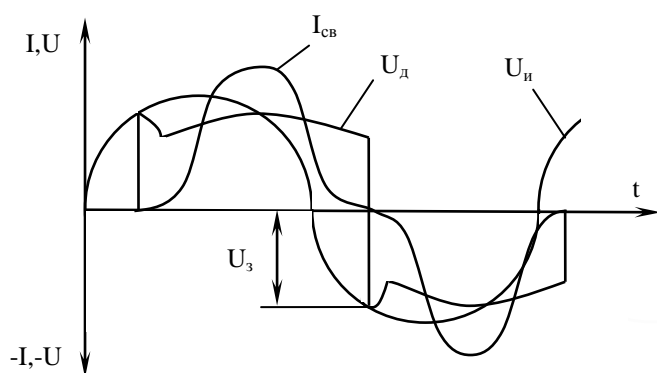


Рисунок 2.11 – Циклограмма дуги переменного тока

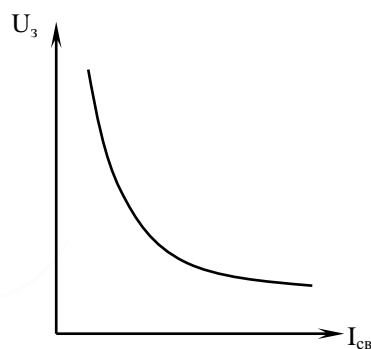


Рисунок 2.12 – Влияние тока дуги на напряжение повторного зажигания

С уменьшением времени существования остаточной термоэмиссии с

электродов, ускорением распада плазмы столба, удлинением дуги и ухудшением динамических свойств источника питания в горении дуги появляются и увеличиваются перерывы.

2. Так как дуга является нелинейным элементом электрической цепи, то ее мощность не равна произведению действующих значений тока и напряжения, как в случае синусоидальных токов. В общем случае

$$P_{\partial} = \lambda_{\partial} U_{\partial} I_{cv},$$

где $\lambda_{\partial} \approx 0,85 \dots 0,95$ – коэффициент мощности дуги, учитывающий искажение кривых тока и напряжения, их отличие от синусоид;

U_{∂} – действующее значение напряжения дуги, В;

I_{cv} – действующее значение тока дуги, А.

3. В связи с неодинаковыми условиями существования катодного пятна на электродах (различие в работах выхода ϕ_v , температуры плавлением $T_{пл}$ и кипения, формы электродов и теплоотвода от них) возможна асимметрия токов и напряжений в разные полупериоды горения дуги – так называемый вентильный эффект.

Например, при аргонодуговой сварке алюминия вольфрамовым электродом относительная асимметрия токов $\Delta i = i_w - i_{ae}$ может достигать 50% от значения i_w и более. В этом случае стационарная термоэлектронная эмиссия с W-катода и его остаточная эмиссия значительно больше, чем с «холодного» Al-катода по трем основным причинам:

а) $T_{nl}^w (\approx 4000K) \gg T_n^{Al} (\approx 950K)$;

б) катодное падение напряжения $U_k^{Al} \gg U_k^w$;

в) теплоотвод в массивное алюминиевое изделие больше, чем в W-стержень.

Вентильный эффект обычно ухудшает стабильность процесса, формирование шва, чистоту поверхности, прочностные свойства соединения. Кроме того, постоянная составляющая вредно сказывается на работе источников питания. В настоящее время пытаются использовать вентильный эффект для управления процессом проплавления металла при дуговой сварке.

Рабочее задание

1. Овладеть методикой исследования сварочных процессов с помощью шлейфовых и электронно-лучевых осциллографов;

2. Экспериментально исследовать влияние материала электродов на характер кривых тока и напряжения дуги переменного тока;

3. Овладеть методикой экспериментального определения коэффициента мощности сварочной дуги.

Оборудование, приборы и материалы

1. Сварочный трансформатор типа ТД-300, инструмент сварщика.
2. Осциллографы: шлейфового типа К-12-22, электронно-лучевой с двумя входными параметрами (при отсутствии такого осциллографа можно использовать любой с коммуникатором); измерительный комплект типа К-50; измерительные шунты, милливольтметр постоянного тока с нулем по середине.
3. Электроды: графитовый (угольный), стальной (без покрытия), качественные электроды двух-трех различных марок.
4. Пластины: угольная (графитовая), стальная, из сплава на основе алюминия (типа АМг).

Изучение работы экспериментальной установки

Экспериментальная установка собирается по схеме, представленной на рис. 2.13.

Питание сварочной дуги осуществляется от трансформатора Т типа ТД-300. Амперметр РА1 включен через трансформатор ТА во вторичную цепь и измеряет величину тока дуги $I_{св}$. Вольтметр Р измеряет напряжение на выходных клеммах трансформатора (напряжение дуги U_d). Ваттметр РВ измеряет мощность дуги. Милливольтметр РА2 постоянного тока с нулем посередине служит для измерения постоянной составляющей.

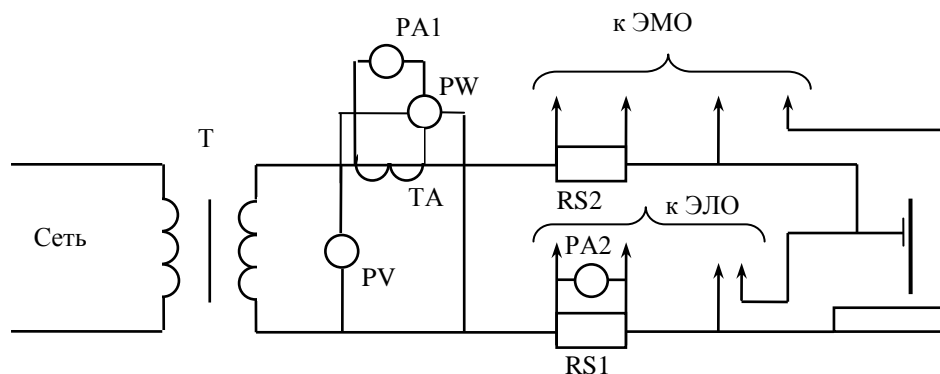


Рисунок 2.13 – Схема экспериментальной установки

При исследовании сварочных цепей применяют осциллографы: электронно-лучевые ЭЛО типа С1-76 и электромеханические ЭМО с магнитоэлектрическими гальванометрами типа К-12-22, Н-102, Н-105, Н-700, позволяющие производить измерения и запись быстроизменяющихся процессов.

Шлейфы гальванометров (вибраторов) ЭМО фиксируют изменение тока, протекающего в цепи шлейфа. Каждый гальванометр рассчитан на определенную величину тока, измеряемую миллиамперами. Для записи

сварочного тока гальванометр включает так же, как и амперметр, через шунт. Для записи напряжения дуги гальванометр включается так же, как и вольтметр, т.е. параллельно дуге (рис. 2.14).

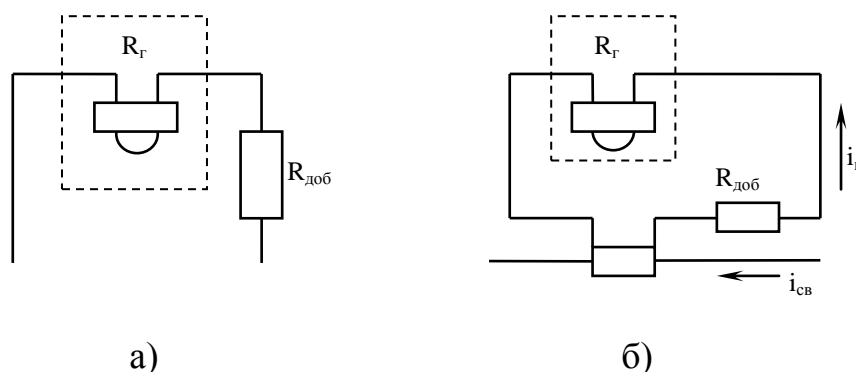


Рисунок 2.14 – Схема включения гальванометра для записи напряжения (а) и тока дуги (б)

Для ограничитель тока в цепь гальванометра включается добавочное сопротивление, величина которого выбирается из соотношений:

а) при записи напряжения дуги

$$R_{доб} = \frac{U_{\max}}{I_{св\max}} - R_z,$$

б) при записи тока дуги

$$R_{доб} = \left(\frac{I_{св.\max}}{I_z} - 1 \right) R_s - R_z,$$

где $I_{св.\max}$ – амплитудное значение тока дуги, А;

U_{\max} – амплитудное значение напряжения на разрядном промежутке, В; его можно принять равным амплитудному значению напряжения холостого хода трансформатора;

I_z – допустимый ток гальванометра, А;

R_s – сопротивление измерительного шунта RS, Ом;

R_z – сопротивление гальванометра, Ом.

Исследуемые процессы протекают во времени, которое отмечается специально отметчиком времени.

Для записи нулевых линий используют нерабочие гальванометры. Датчики гальванометров перед началом записи следует внести в нулевую точку гальванометра, записывающего нулевую линию.

Порядок выполнения работы

1. Пластины стальные и из сплава алюминия зачистить до металлического блеска. Угольные (графитовые) электроды заточить на конус с притуплением 5...6 мм.

2. Ознакомиться с устройством осциллографов, инструкциями обращения с ними. Выбрать гальванометры для записи тока и напряжения. При этом следует помнить, что собственная частота гальванометров должна превышать частоту протекающих процессов. Рассчитать величины добавочных сопротивлений. Собрать схему подключения осциллографов. Установить нулевые линии. Вывести в нулевые точки работающие гальванометры. Зарядить кассету. Снять осциллографы напряжения холостого хода трансформатора (участок 1)

3. Возбудить дугу между угольными электродами и при постоянной длине разрядного промежутка ($L_d = \text{const}$) снять осциллограмму тока и напряжение дуги (участок 2). Зафиксировать значения тока (прибор PA1), напряжения (прибор PV) и мощности (прибор PW) дуги, напряжение постоянной составляющей (прибора PA2). Результаты измерений внести в табл. 2.11.

4. Повторить п.3, возбудив дугу между угольным электродом и пластиной из сплава Al. Снять осциллограмму тока и напряжения (участок 3), зафиксировать значения U_d , $I_{св}$, P_d , результаты внести в табл. 2.11.

5. Повторить п.3, возбудив дугу между угольным электродом и стальной пластиной. Снять осциллограмму тока и напряжения (участок 4), зафиксировать значение U_d , $I_{св}$, P_d , результаты внести в табл. 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты эксперимента

Электроды	U_d , В	$I_{св}$, А	P_d , Вт	$I_{пс}$, мВ	λ_d	U_3 , В	$n_{п}$, %	t_r , с	$n_{кз}$, 1/с
С – С									
С – Fe									
С – Al									
Fe – Fe									

6. Произвести наплавку (длиной 20...30 мм) стальным стержнем (без покрытия), качественными электродами двух или трех марок на стальную пластину. Снять осциллограммы тока и напряжения (участки 5, 6 ...).

Примечания:

1. Во время проведения каждого опыта следует наблюдать за характером кривых тока и напряжения на экране электроннолучевого осциллографа ЭЛО.

2. Все наплавки следует стараться выполнять при постоянной величине тока и одинаковой длине дуги.

Обработка результатов эксперимента

1. По окончании опытов вынуть кассету из осциллографа, в фотолaborатории проявить бумагу или фотобумагу.

При просмотре осциллограммы, прежде всего надо отметить на ленте отдельные участки.

На участках 2, 3 и т. д. следует отметить наличие шлаков напряжения повторного зажигания, определить время горения t_r за период (приблизительно), относительное число перерывов в горении дуги (если такие имеются) n_p , наличие коротких замыканий, вызванных переходом капель электродного металла, $n_{кз}$ (участки 5, 6 и т. д.). Результаты внести табл. 2.11.

2. Сопоставить характер кривых на участках 2, 3 и т. д. с кривыми холостого хода (некоторое увлечение или уменьшение амплитуды напряжений на кривых в различных частях осциллограммы возможно за счёт, изменения длины дуги).

3. Определить смещение кривых относительно нейтральной оси, что характеризует выпрямляющее действие дуги. Изменение амплитуды особенно отчетливо видно на кривой тока, так как на кривой напряжения максимумы обычно размыты. Сопоставить эти результаты с показаниями прибора РА2.

4. Выполнить анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая сущность тока зажигания на кривой напряжения дуги переменного тока?

2. Чем обусловлено искажение кривых тока и напряжения дуги переменного тока?

3. Что такое коэффициент мощности сварочной дуги?

4. Каждое влияние оказывает мощность дуги на величину напряжении повторного зажигания?

5. Что такое «вентильный эффект» дуги переменного тока?

6. Чем обусловлена наличие асимметрии в осциллограмме дуги переменного тока?

7. Кою образом можно повысить устойчивость дугового разряда на переменном токе?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Цель работы: экспериментально изучить эффективную тепловую мощность сварочной дуги и освоить калориметрический метод исследования эффективности различных источников теплоты.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии в ней не менее 3 человек.

Готовясь к выполнению лабораторной работы, следует изучить рекомендуемую литературу [1, с. 166...119], подготовить табл. 2.13.

Только некоторая часть энергии, затраченной при сварке с использованием внешнего источника энергии, которым является сварочная дуга, вводится в металл.

Количество теплоты, введенной в металл в единицу времени, – это и есть эффективная тепловая мощность сварочного источника теплоты (дуги, электронного или светового луча и т. д.). Отношение эффективной тепловой мощности ко всей мощности, затраченной на сварку, называется эффективным коэффициентом полезного действия источника:

$$\eta_u = \frac{q_u}{U_d I_{св}}, \quad (0.34)$$

где q_u – эффективная тепловая мощность, Вт;

U_d – напряжение дуги, В;

$I_{св}$ – ток дуги, А.

Эффективный КПД является устойчивой характеристикой для каждого процесса и условий его осуществления. Обычно для определения КПД пользуются калориметрическим методом, но при этом рассчитывают η_u и q_u как средние величины всего процесса, в то время, как в процессе сварки или наплавки эти величины могут определенным образом изменяться. Например, если деталь нагревается теплом сварочного источника, то её способность к поглощению тепла со временем снижается и, естественно, падает эффективный КПД процесса.

Изменение количества тепла, поступающего в металл в единицу времени, приводит к неравномерности свойств сварного соединения, различной реакции свариваемых материалов на нагрев в разные моменты времени. В связи с этим регулирование эффективной мощности в различные периоды сварки является чрезвычайно важным вопросом, так как от

его правильного решения зависит стабильность свойств сварных соединений в различные периоды процесса сварки.

При непрерывно действующем неподвижном источнике температура различных точек тела изменяется, приближаясь к предельному состоянию. В связи с этим и эффективный КПД стремится к какому-то установившемуся значению.

Рабочее задание

1. Определить эффективную тепловую мощность q_u и эффективный КПД нагрева η_u при наплавке валика на пластину металлическими электродами с различными покрытиями (ионизирующим, качественным – основного и рутилового типа).

2. Определить q_u и η_u угольной дуги прямого действия как функцию длины дуги.

3. Установить влияние тока (в диапазоне 80...300 А) на эффективную тепловую мощность дуги при сварке в углекислом газе.

Примечание. Конкретное задание и объем выполняемой работы определяет преподаватель.

Оборудование, приборы, материалы

1. Калориметрическая установка; подставка под образцы в калориметрическом сосуде; столик для сварки под образец; секундомер; пост ручной дуговой сварки с измерительными приборами; пост автоматической сварки в углекислом газе плавящимся электродом; весы с разновесами.

2. Образцы-пластины размером (6...10)×(80...100)×(160...200) мм из малоуглеродистой стали (с хвостовиками); сварочная проволока Св-08Г2С диаметра 1,2...1,4 мм; электроды: угольный (графитовый), металлический с ионизирующим покрытием, качественные — с покрытием основного и рутилового типа (диаметр электродов — 4 мм); баллон с углекислотой; запас воды, имеющий температуру помещения, в количестве 10...12 л.

Изучение работы экспериментальной установки

Основным узлом экспериментальной установки является калориметр (рис. 2.15).

Калориметр состоит из внешнего корпуса 1 с двойными стенками, пространство между которыми заполнено водой, и калориметрического сосуда 2, установленного внутри корпуса на теплоизолирующей подставке 3. Корпус и сосуд изготовлены из латуни, никелированы и тщательно отполированы для уменьшения теплоотдачи. Над корпусом на стойках помещен кривошипный механизм 4 для привода мешалки 5, расположенного

внутри калориметрического сосуда. Температура воды внутри корпуса измеряется термометром 6, вставленным в отверстие корпуса.

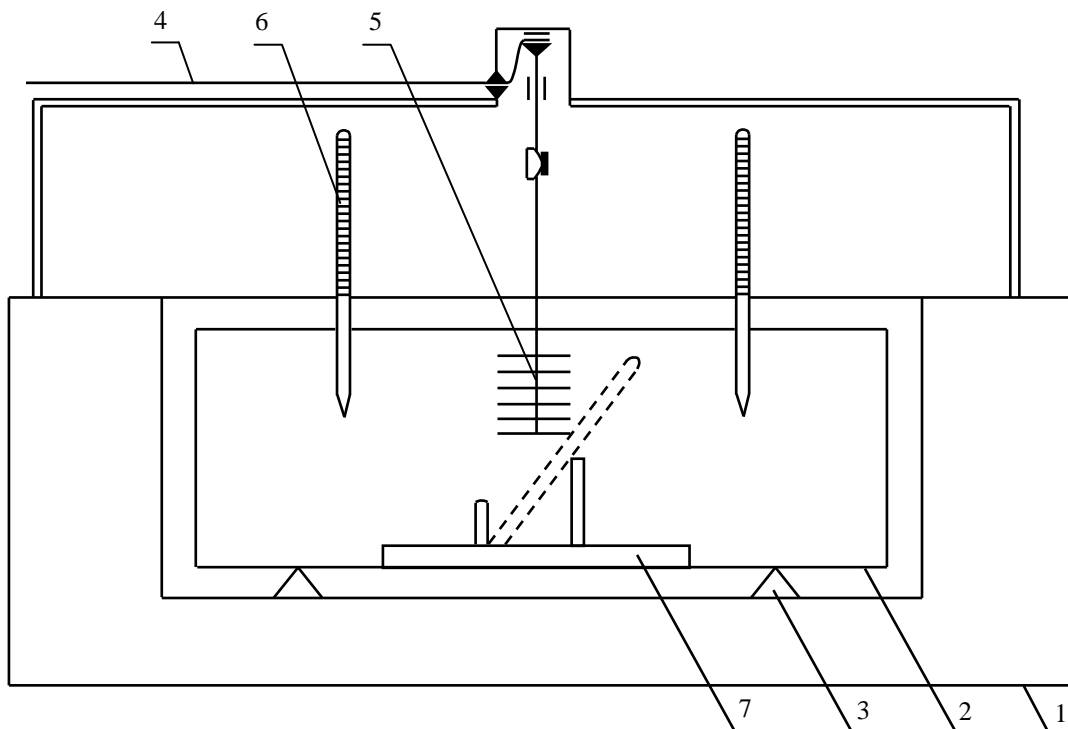


Рисунок 2.15 – Схема калориметрического опыта

Во время проведения наплавки (или нагрева неплавящегося электрода) образец-пластина 1 (рис. 2.16) с хвостовиком 2 должна быть установлена на подставку 3, оклеенную теплоизолирующим материалом 4. Обратный провод подводится к образцу с помощью электродержателя.

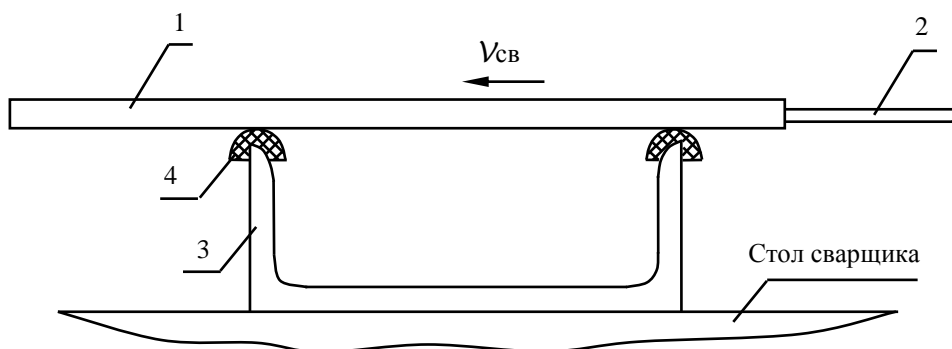


Рисунок 2.16 – Схема проведения наплавки

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с калориметром и подготовить его к работе:
 - а) вынуть калориметрический сосуд, поместить на его дно подставку под образец 7 (см. рис. 2.15);
 - б) наполнить сосуд водой, имеющей температуру помещения (уро-

вень воды – нижний край верхней заклепки ручки калориметрической заклепки); определить массу воды и в дальнейшем поддерживать ее постоянной;

в) установить сосуд в корпус калориметра на подставку 3 (см. рис. 2.16) так, чтобы высокая часть подставки 7 под образец была справа; щель должна быть перпендикулярна краю стола (рис. 17); при установке сосуда не расплескать воду;

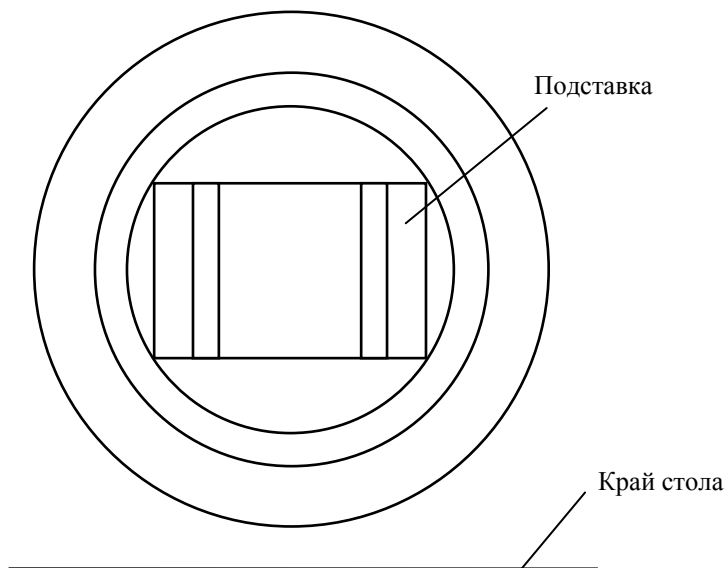


Рисунок 2.17 – Схема расположения подставки под образец в калориметрическом сосуде

г) погрузить в воду мешалку 5 (см. рис. 2.15) вырезами вправо и соединить ее с приводом 4 так, чтобы при работе последней мешалка не касалась дна сосуда, стенок и подставки под образец; верхнее кольцо мешалки не должно выходить на поверхность воды во избежание ее расплескивания; проверить работу мешалки;

д) установить калориметрический термометр, пропустив его через отверстие в верхней крышке при отжатом зажиме; отпустить зажим и проверить ход мешалки; после 1-2 мин работы мешалки зафиксировать показания термометра с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$.

2. Установить образец-пластину на подставку для наплавки (см. рис. 2.16). Произвести наплавку или нагрев образца в течение 10...20 с. Время наплавки (нагрева) выбирается с таким расчетом, чтобы получить теплосодержание образца порядка 25...40 кДж. Поскольку режим наплавки известен (задается преподавателем и предварительно проверяется на посторонней пластине), то время наплавки (нагрева) можно определить из соотношения

$$\tau_z = \frac{(25...40) \cdot 10^3}{\eta'_u U_{\partial} I_{св}},$$

где η'_u - ориентировочное значение эффективного КПД нагрева изделия дугой; выбирается на основании данных табл. 2.12.

После окончания наплавки (нагрева) фиксируются средние значения тока $I_{св}$ и напряжение дуги U_{∂} , а также время наплавки – горения дуги τ_z .

Таблица 2.12 – Значение η'_u при дуговой сварке

Разновидность процесса дуговой сварки	Сварка неплавящимся электродом	Сварка плавящимся электродом			
		РДС, электроды с ионизирующим покрытием	РДС, электроды качественные	Под флюсом	В углекислом газе
Величина η_u	0,45...0,60	0,65...0,75	0,75...0,85	0,75...0,90	0,7...0,92

3. Как только наплавка закончена, быстро, но осторожно взять образец за хвостовик и погрузить в калориметрический сосуд так, чтобы нижний край образца вошел в щель подставки (см. рис. 2.15).

Непосредственно перед погружением образца мешалку остановить, образец установить так, чтобы он не мешал работе мешалки, и немедленно включить мешалку.

Примечание. При погружении образца оберегать от повреждений термометр и мешалку.

После погружения образца нужно внимательно следить за показаниями термометра: сначала невооруженным глазом, затем через лупу.

Произвести отчет максимальной температуры с точностью до 0,01 °С.

4. Максимальная температура обычно устанавливается через 20...40 с после погружения образца. После отсчета установившейся температуры остановить мешалку и вынуть термометр. Образец извлечь, высушить и взвесить (без шлака). Рассчитать массу непогруженной части хвостовика (по размерам), вычесть из общей массы образца и зафиксировать массу погруженной части образца.

5. Результаты, полученные при выполнении пп. 1...4, — температура воды до и после опыта T_0 и T_K^0 ; температура образца до наплавки, равная температуре воздуха, T_B ; среднее значения тока $I_{св}$ и напряжения U_{∂} дуги; время горения дуги τ_z ; время переноса образца, т.е. время, прошедшее от момента окончания наплавки до момента опускания образца в калориметрический сосуд, τ_n , масса образца m_0 — должны быть внесены в табл. 2.13.

Таблица 2.13 – Результаты экспериментов

Электроды	Номер опыта	$I_{св}$, А	U_{∂} , В	τ_z , с	τ_n , с	T_k , К	T_b , К	T_0 , К	m_o , г	q_u , Дж/с	η_u
С											

6. Для каждого типа электрода опыт калориметрирования (пп.1...5) выполняется трижды. При этом следует сохранять массу воды в калориметрическом сосуде постоянной (восполняя между опытами износ и испарение воды) и тщательно фиксировать изменения начальной температуры. Если температура воды в сосуде перед погружением образца отличается от температуры окружающей среды более чем на 5...7 К, её следует сменить.

7. В соответствии с полученным заданием пп. 1...6 повторяются для каждого типа электрода и сварки в газе.

Примечания к пп. 2...7:

1. Наплавку ведут вручную или на автомате по осевой линии образца вдоль его большой стороны, начиная и заканчивая валик на расстоянии 10...15 мм от краев.

2. Для обеспечения постоянства условий и точности опытов при наплавке образцов обеспечить по возможности:

- постоянную скорость перемещения дуги при наплавке;
- соблюдение постоянства времени переноса образца в калориметрический сосуд после наплавки в пределах 1,5...2,5 с и измерение этого времени секундомером
- применение чувствительного термометра (типа Бекмана) в тех случаях, когда повышение температуры воды в калориметре при погружении образца составляет несколько десятых или сотых долей градуса.

Обработка результатов эксперимента

1. Выражение для расчета эффективной тепловой мощности дуги получим из уравнения теплового баланса

$$Q = Q_k + Q_{\Delta} + Q_n + Q_m = q_u \tau_z, \quad (0.35)$$

где τ_z - время горения дуги, с;

Q – энергия, введенная источником нагрева (дугой) в образец, Дж;

Q_k – энергия, затрачиваемая на нагрев воды в калориметре, Дж;

Q_{Δ} – энергия, определяемая разницей теплосодержания пластины-образца до и после опыта, Дж;

Q_n – энергия, теряемая на парообразование при погружение образца в калориметр, Дж, определяется в зависимости от мощности дуги (рис. 2.18);

Q_T – энергия теряемая в окружающую среду при нагреве и переносе образца за счет конвенции и радиации, Дж.

Таким образом, эффективная тепловая мощность дуги определяется отношением

$$q_u = \frac{Q_{\dot{e}} + Q_{\Delta} + Q_{\dot{i}} + Q_{\dot{o}}}{\tau_{\dot{a}}} . \quad (0.36)$$

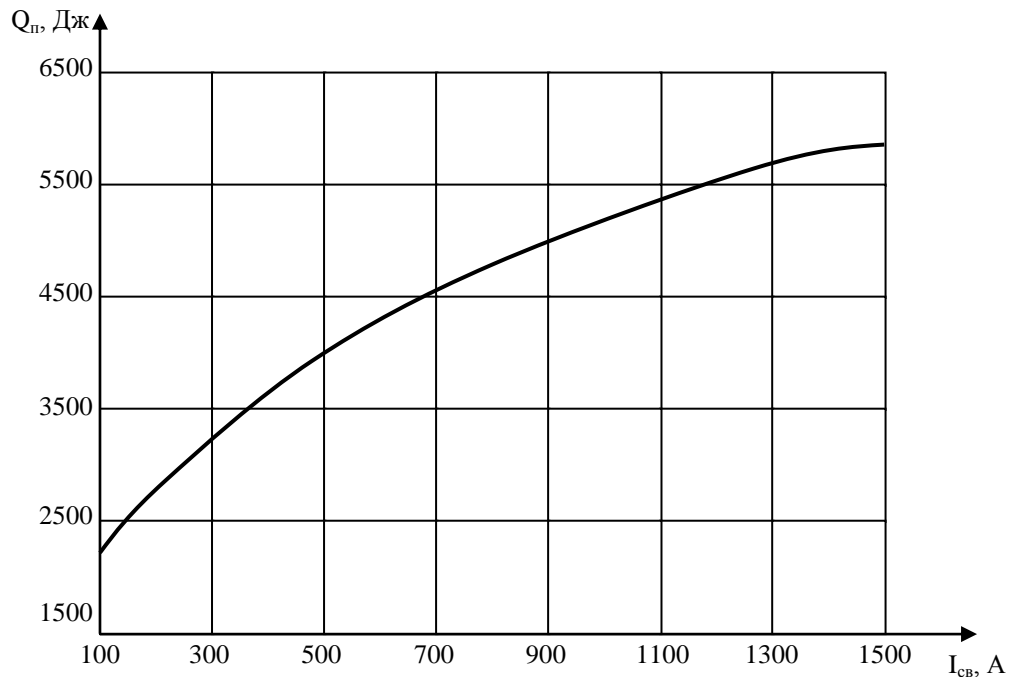


Рисунок 2.18 – Влияние сварочного тока $I_{св}$ на потери теплоты при парообразовании Q_p

2. Энергия, затрачиваемая на нагрев воды в калориметре, Q_k , определяется по формуле

$$Q_k = A(T_k - T_0) , \quad (0.37))$$

где T_k и T_0 – температура соответственно до и после опыта;

A – водный эквивалент калориметра, Дж/К,

$$A = c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{к.с.}} m_{\text{к.с.}} + \frac{2}{3} c_{\text{м}} m_{\text{м}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} , \quad (0.38)$$

где $c_{\text{в}}$, $c_{\text{к.с.}}$, $c_{\text{м}}$, $c_{\text{с}}$ – соответственно удельные теплоемкости воды, материала калориметрического сосуда, мешалки и стальной подставки под образец, Дж/(г·К); $c_{\text{в}}=4,17$ Дж/(г·К); $c_{\text{к.с.}}=c_{\text{м}}=0,38325$ Дж/(г·К) для латуни; $c_{\text{с}}=0,46$ Дж/(г·К);

$m_{\text{в}}$, $m_{\text{к.с.}}$, $m_{\text{м}}$, $m_{\text{с}}$ – соответственно массы воды в калориметре, калори-

метрического сосуда, мешалки, подставки под образец, г; $m_{к.с.}=570$ г, $m_m=275$ г, $m_i=182$ г.

Масса воды, заполняющая калориметрического сосуд до заданного уровня (нижний край верхней заклепки), составляет $m_в=2870$ г.

3. Энергия, определяемая разницей теплосодержания пластины-образца до и после опыта, Q_Δ :

$$Q_\Delta = C_o m_o (T_k - T_в), \quad (0.39)$$

где m_o – масса пластины-образца после наплавки, г;

C_o – удельная теплоемкость материала образца, Дж/(г·К), для малоуглеродистой стали $C_o=0,46$ Дж/(г·К);

$T_в$ – температура образца до опыта, равная температуре окружающего воздуха, К.

4. Потери энергии в окружающую среду Q_τ определяются как функция мгновенного теплосодержания образца, которое за время горения дуги считается возрастающим пропорционально величине τ_τ , а за время переноса образца в калориметр τ_n для простоты подсчетов принимается постоянным:

$$Q_\tau = bq_u \int_0^{\tau_{\bar{a}}} t dt + bq_u \tau_{\bar{a}} \tau_i, \quad (0.40)$$

После преобразований получим:

$$Q_\tau = \frac{\alpha}{c\rho\delta} q_u \tau_{\bar{a}} (\tau_{\bar{a}} + 2\tau_i),$$

где $b = \frac{2\alpha}{c\rho\delta}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность теплоотдачи в

окружающую среду, 1/с;

α – коэффициент полной поверхностной теплоотдачи образца, равный 0,00418 Дж/(см²·с·К);

$c\rho$ – объемная теплоемкость металла образца, равная для малоуглеродистой стали 5,434 Дж/(см²·К);

δ – толщина образца, см;

Q_k – теплота, поглощаемая калориметром, Дж,

5. Потери теплоты на парообразование Q_p , определяются на основании рис. 2.18.

6. Эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta_{и}$, определяется на основании зависимости (0.34).

7. Полученные результаты вносятся в табл. 2.13.

Контрольные вопросы

1. Каков тепловой баланс различных дуговых источников теплоты при сварке под флюсом, в защитных газах, штучными электродами, угольной дугой?
2. Что называется общей тепловой мощностью источника тепла и как она определяется?
3. Что называется эффективной тепловой мощностью источника тепла?
4. Что называется эффективным КПД процесса нагрева?
5. Как произвести измерение приращения теплосодержания тела калориметрическим методом?
6. Какие потери тепла имеются при проведении опыта и как они учитываются?
7. Как определяется эффективный КПД источника?
8. Каково влияние тока и напряжения дуги на величину эффективного КПД процесса нагрева?
9. Чем объяснить различие в величине η_u при сварке угольным, штучными электродами, под флюсами, в углекислом газе плавящимся электродом?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Цель работы: исследовать кинетику переноса электродного металла. К отчету приложить полученные осциллограммы.

Общие указания

Работа может быть выполнена при одновременном участии в ней не менее 5 человек.

Готовясь к выполнению лабораторной работы, следует изучить рекомендуемую литературу [10, с. 118...123].

Студенты должны знать, что основными силами, действующими на каплю, находящуюся на конце электрода, являются:

1. Силы тяжести, способствующие переносу металла в нижнем положении и препятствующую в потолочном. Оказывают наибольшее влияние при сварке на малых токах.

2. Силы поверхностного натяжения, удерживающие каплю на торце электрода. Уменьшение их приводит к измельчению капли.

3. Электродинамические силы пинч-эффекта. Чем выше плотность тока в электроде, тем сильнее они проявляются. Однако влияние этих сил на характер переноса металла противоречиво.

4. Реактивные силы (реактивное давление паров) и кинетическая энергия частиц плазмы противодействует отрыву капли и способствует более крупнокапельному переносу.

5. Электростатические силы, возникающие вследствие большого градиента потенциала (напряженности поля) в переходных областях дуги. Поскольку в столбе дуги градиент потенциала намного меньше, то создается перепад давлений ΔP , например, для катода

$$\Delta P = P_{кат} - P_{ст} = \frac{E_{кат}^2 - K_{\partial}^2}{8\pi}. \quad (0.41)$$

В результате возможна деформация металла ванны, вытягивание его в виде конуса от катода к аноду при сварке на обратной полярности.

6. Плазменные потоки. Как правило, затрудняют перенос металла, вызывая сдвиг капли металла в сторону от оси электрода или даже подъем ее над уровнем торца электрода.

В зависимости от длины разрядного промежутка и соотношения указанных выше сил при дуговой сварке могут наблюдаться различные виды

переноса электродного металла через дугу (см. прил. Г).

Крупнокапельный перенос с обрывами дуги имеет место при сварке в защитных газах (естественные обрывы) и ручной дуговой сварке (принудительные обрывы) как при прямой, так и обратной полярности. Преобладающими являются силы тяжести и поверхностного натяжения. Процесс возможен только в нижнем положении, характеризуется значительным угаром элементов.

Процесс сварки с периодическими короткими замыканиями имеет место при низких напряжениях дуги. Чем меньше эта величина, тем выше частота коротких замыканий. Скорость плавления электрода непрерывно изменяется, поэтому в данном случае говорят об интегральном саморегулировании:

$$V_n = \int_0^{T_y} V_{\vartheta}(t) dt ,$$

где V_n – скорость подачи электрода;

$T_{ц}$ – длительность одного цикла, т.е. промежуток времени от одного короткого замыкания до другого.

Перенос металла отдельными крупными каплями (независимо от полярности) имеет место при малых и средних плотностях тока. При сварке на прямой полярности размеры капли значительно больше, чем при обратной.

Давление дуги на анод значительно ниже, чем на катод, поэтому при обратной полярности размеры капель и потери электродного металла на разбрызгивание меньше. Тем не менее, уровень потерь при таком переносе максимален.

При увеличении плотности тока в электроде ($U_{\delta}=\text{const}$) крупнокапельный перенос переходит в перенос каплям среднего размера. Измельчение капель происходит благодаря увеличению силы пинч-эффекта.

Наиболее стабильна дуга при мелкокапельном (струйном) переносе металла, когда длина разрядного промежутка и положение столба в пространстве практически остаются неизменными. При этом наблюдаются минимальные потери электродного металла. Этот вид переноса легко достигается при сварке инертных газах и смесях на их основе.

При сварке же в многоатомных газах (CO_2 и др.) получение струйного переноса затруднено ввиду сильного сжатия катодного пятна, столба дуги и наличия значительных плазменных потоков.

Указанные выше разновидности переноса электродного металла находятся в тесной взаимосвязи (рис. 2.19).

Разграничительные линии образуют области А, Б, В и Г, соответствующие различным условиям горения дуги: в областях А и В имеют место процессы с обрывами дуги, но если в области В они обусловлены высоким значением напряжения источника питания, приводящим к увеличе-

нию скорости плавления электрода (перенос металла вида 1), то в области А они связаны с очень низким напряжением источника питания, что приводит к частым «утыканиям» электрода и невозможности установления устойчивого дугового разряда.

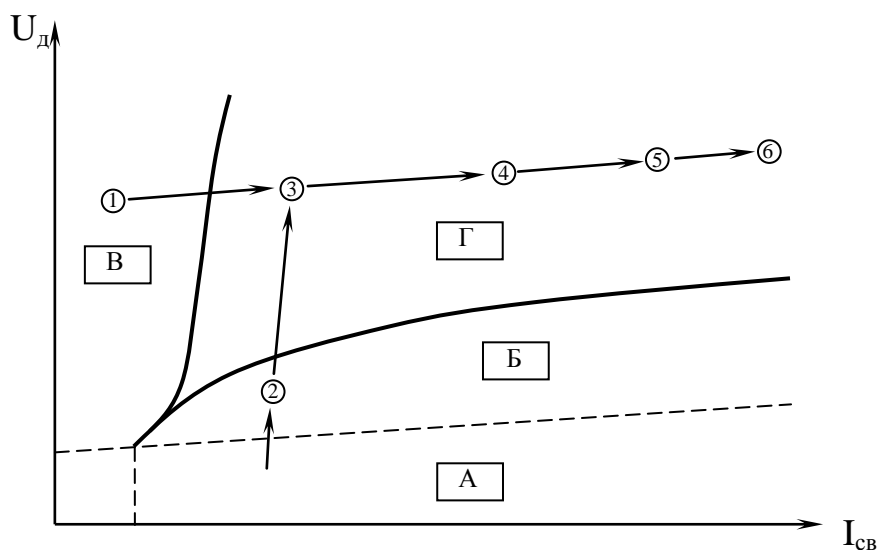


Рисунок 2.19 – Области существования различных видов переноса электродного металла

В области Б имеют место процессы с периодическими короткими замыканиями, в промежутке между которыми происходит горение дуги. Во время короткого замыкания осуществляется переход капли с электрода в ванну, т.е. в этой области мы имеем перенос типа 2. В области имеет место непрерывное горение дуги. В зависимости от плотности тока в электроде возможно существование переносов электродного металла 3, 4, 5 или 6 видов.

Изменяя один из параметров процесса сварки (U_d или $I_{св}$), можно переходить из одной области в другую, от одного вида переноса к другому (возможное направление движения обозначено на рис. 2.19 стрелками).

Рабочее задание

1. Определить характер переноса металла при сварке проволокой типа Св-08Г2С в зависимости от состава газовой атмосферы и исследовать влияние параметров режима сварки на характер переноса металла, выбрав по указанию преподавателя один из вариантов задания, приведенных в табл. 2.14.

2. Определить границу перехода процесс сварки в CO_2 от процесса сварки с короткими замыканиями к процессу без них в соответствии с одним из вариантов задания, приведенных в табл. 2.15.

Таблица 2.14 – Варианты задания на проведение эксперимента

Вариант задания	Диаметр электрода $d_э$, мм	Напряжение источника питания $U_и$, В	Пределы изменения сварочного тока $I_{св}$, А
Первый	1,2	22 30 38	120...350
Второй	1,4	25 30 37	150...400
Третий	1,6	27 30 36	180...450

Таблица 2.15 – Варианты задания на проведение эксперимента

Вариант задания	Диаметр электрода $d_э$, мм	Сварочный ток $I_{св}$, А	Пределы изменения напряжения источника питания $U_и$, В
Первый	1,2	90 160 230	19...30
Второй	1,4	100 180 260	21...30
Третий	1,6	130 210 300	23...30

Оборудование, приборы, материалы

1. Пост для автоматической сварки в защитных газах, оборудованный аппаратом типа АДПГ-500 и выпрямителем ВДУ-504 или ВДГ-601; смеситель газовый; баллон с CO_2 , Ar, O_2 .

2. Осциллограф электромеханический (ЭМО) типа Н-102 или К-12-22; Реостат балластный РБ-301; бумага или фотопленка для осциллографирования.

3. Пластины стальные размером $(6...12) \times (50...100) \times (350...4000)$ мм.

Изучение работы экспериментальной установки

Схема включения элементов экспериментальной установки представлена на рис. 2.20.

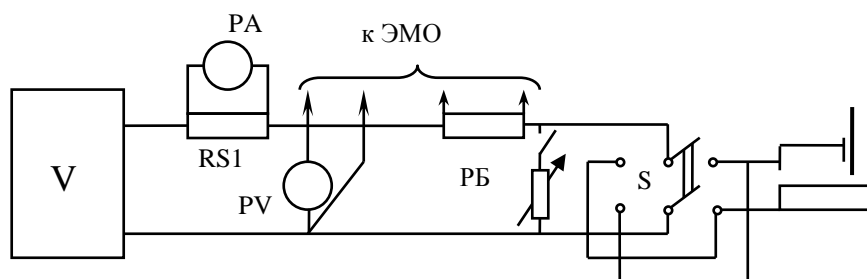


Рисунок 2.20 – Схема экспериментальной установки

Параметрами режима сварки – ток и напряжение – измеряются соответственно с помощью амперметра РА и вольтметра PV. Переключатель S служит для изменения полярности при сварке.

При изучении сварочных процессов широко применяют электромеханические осциллографы с магнитоэлектрическими гальванометрами, позволяющие производить измерения и запись быстроизменяющихся процессов.

Шлейфы гальванометров (вибраторов) осциллографа фиксируют изменение тока, протекающего в цепи шлейфа. Каждый гальванометр рассчитан на определенную величину тока, измеряемую миллиамперметрами. Для записи сварочного тока гальванометр включают так же, как и амперметр — через шунт. Для записи напряжения дуги гальванометр включается так же как и вольтметр, т.е. параллельно дуге. Для определения тока в цепь гальванометра включается добавочное сопротивление $R_{доб}$ (рис. 21), величина которого определяется следующими соотношениями:

а) для записи тока

$$R_{доб} = \left(\frac{I_{св.мах}}{I_z} - 1 \right) R_s - R_z ;$$

б) для записи напряжения дуги

$$R_{доб} = \frac{U_{мах}}{I_{св.мах}} - R_z .$$

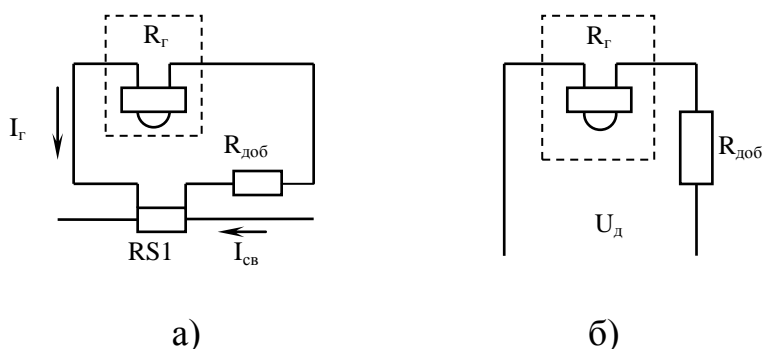


Рисунок 2.21 – Схема включения гальванометра для записи тока (а) и напряжения дуги (б)

Исследуемые процессы протекают во времени, которое отмечает специальный гальванометр — отметчик времени.

Для записи нулевой линии используют один из нерабочих гальванометров. Датчики рабочих гальванометров перед началом записи следует вывести нулевую точку гальванометра, записывающего нулевую линию.

Реостат балластный РБ используется для градуировки гальванометра тока.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство осциллографа. Подобрать необходимые добавочные сопротивления и включить их в цепь гальванометров. Проверить работоспособность гальванометров и внести их нулевую точку.

2. Включить выпрямитель, нагрузить на него балластный реостат и произвести градуировку гальванометра тока, одновременно фиксируя показания гальванометра.

3. Установить требуемый расход выбранного защитного газа, например Ar, проверить его подачу в зону сварки.

4. В соответствии с полученным заданием на посторонней пластине проверить исходный режим сварки.

5. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки ступенчато (рис. 22) изменять величину сварочного тока в заданных пределах (см. табл. 2.15) регулированием скорости подачи сварочной проволоки с одновременным осциллографированием процесса.

Ступенчатость изменения сварочного тока необходима для того, чтобы осциллографирование протекало в установившихся условиях. Для этого нужно, чтобы ($\tau_y \geq 5 \dots 7$) с. С учетом длительности переходных процессов время сварки на одной ступени $\tau \geq (7 \dots 8)$ с. Осциллографирование проводится на каждой “ступени”.

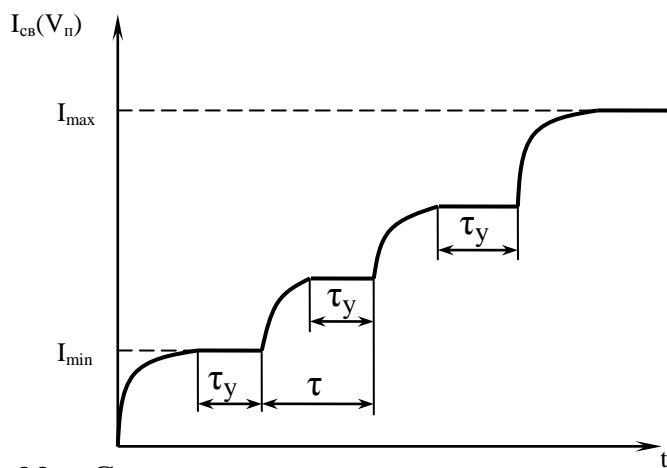


Рисунок 2.22 – Схема изменения сварочного тока

6. Повторить п.5 для двух других напряжений.

7. Повторить пп.5 и 6 при сварке в CO_2 , смесях $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$.
8. С целью выполнения п. 2 рабочего задания зафиксировать требуемый ток дуги ($V_n = \text{const}$). Проверить режим сварки в CO_2 при минимальном напряжении дуги (см. табл. 2.16).
9. Произвести наплавку валика на пластину. В процессе сварки ступенчатого (аналогично п.5) изменять величину напряжения, дуги в заданных пределах (см. табл. 2.15). Осциллографирование произвести в 3...4 установившихся состояниях.
10. Повторить пп.8...9 для двух других скоростей подачи проволоки.
11. Повторить пп.4...10 при сварке на прямой полярности.
12. Проявить осциллограммы.

Обработка результатов эксперимента

1. По типовым значениям тока и напряжения дуги, полученные при обработке осциллограммы процессов, определить характер переноса металла. Подсчитать количество капель электродного металла, переносимых в одну секунду, результаты внести в табл. 2.16.

Таблица 2.16 – Влияние состава защитной среды и плотность тока на характер переноса металла

Полярность	Режим сварки		Количество капель электродного металла, переносимых в 1 с, при газовой защитной среде.			
			$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	Ar+ CO_2	CO_2

2. Построить график зависимостей: $n = f(I_{св})$ при $U_{д} = \text{const}$, $n = f(U_{д})$ при $I_{св} = \text{const}$ для заданного состава защитной среды, диаграммы, отражающие влияние состава защитной среды на характер переноса при постоянных значениях тока и напряжения дуги.

3. По осциллограммам, полученным при выполнении пп.9 и 10, определить критические токи и напряжения перехода от одного вида переноса металла к другому при сварке в CO_2 на обратной полярности. Процесс с короткими замыканиями на осциллограммах характеризуется периодическим спадом напряжения во время короткого замыкания до нуля. Результаты обработки внести в табл. 2.17. Сюда же перенести аналогичные результаты, полученные при выполнении п. 7 подраздела 5 и касающиеся процесса сварки в CO_2 на обратной полярности.

4. По данным табл. 2.17 построить области существования различных видов переноса электродного металла при сварке в CO_2 на обратной полярности.

Таблица 2.17 – Влияние параметров режима сварки в CO_2 (полярность обратная) на характеристики переноса металла

Режим сварки		Количество коротких замыканий $n_{\text{кз}}$, 1/с	Количество капель электродного металла, переносимых в 1 с, n , 1/с	Вид переноса
$I_{\text{св}}$, А	$U_{\text{д}}$, В			

Контрольные вопросы

1. В чем принцип работы шлейфового осциллографа?
2. Что такое чувствительность гальванометра?
3. Как подобрать добавочное сопротивление в цепи включения гальванометра?
4. Какие виды переноса электронного металла возможны при сварке плавлением?
5. Какие силы действуют на каплю расплавленного электродного металла?
6. Как влияет режим сварки на характер переноса металла?
7. Как влияет состав защитной атмосферы на характер переноса металла?

Лабораторная работа 6

ДЕФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СВАРКИ

Цель работы: изучение процесса деформирования металла при нагреве до высоких температур в условиях затрудненного расширения и усадки.

Общие указания

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить рекомендованную литературу [7, с.310-318; 2], ознакомиться с теоретическими положениями и методическими советами по теме данной работы.

При сварке в результате местного нагрева мощными сосредоточенными источниками тепла в свариваемом соединении появляется значительный температурный градиент. Соседние участки металла шва и основного металла оказываются нагретыми до различных температур, а скорость их охлаждения различна, что приводит к затрудненному расширению нагреваемого металла и усадке его при охлаждении, в связи с чем возникают временные и остаточные деформации и напряжения, от величины и характера распределения которых зависит стойкость к образованию горячих и холодных трещин. Величина пластической деформации высокотемпературных зон металла шва и околошовной зоны (нагревающихся до температур, при которых предел текучести металла $\sigma_p \rightarrow 0$) может достигать 4...5% и составлять 2...3% в участках сварного соединения, нагреваемых до более низких температур [1, с.330].

Как высокотемпературная деформация, влияющая в основном на состояние границ зерен, так и низкотемпературная, приводящая к наклепу, могут существенно влиять на свойства металла различных зон сварных соединений и их эксплуатационные характеристики.

Значение пластической деформации как при нагреве, так и охлаждении металла следует определять из выражения

$$\xi_{VT} + \xi_{V\bar{T}} = \xi_{V\bar{O}} + \xi_{V\bar{\partial}} + \xi_{V\bar{a}}$$

где ξ_{VT} – относительное объемное изменение вследствие свободного расширения или сжатия нагреваемого металла:

$$\xi_{V\bar{O}} = \int_{\bar{O}_1}^{\bar{O}_2} \beta dT ;$$

где β – коэффициент объемного расширения либо сжатия; T_2-T_1 – температурный интервал нагрева или охлаждения, К;

ξ_{vi} – относительное изменение объема, вызванное полиморфным превращением;

$\xi_{v\partial}, \xi_{v\phi}$ – соответственно, относительная объемная упругая и пластическая деформации металла, расширению которого при нагреве либо сжатию вследствие охлаждения препятствует жесткая связь с металлом остальных зон сварного соединения и детали в целом;

$\xi_{v\bar{a}}$ – относительное объемное изменение участка металла в условиях расширения (усадки), затрудненного связью с остальными зонами сварного соединения.

Поскольку объемный коэффициент расширения связан с величиной линейного коэффициента расширения простой зависимостью $\beta \cong 3\alpha$, можно рассматривать процессы деформирования на примере линейной деформации стержня при одноосном напряженном состоянии.

Оборудование, приборы и материалы

1. Установка для определения свободного температурного расширения и стержневого образца.
2. Образцы из аустенитной стали, термопары хромель-алюминиевые.
3. Часовые индикаторы с ценой деления 0,01 мм. Потенциометр показывающий и регулирующий. Милливольтметры.

Порядок выполнения работы

1. Нагружение образца (с диаметром и длиной рабочей части соответственно 12 и 54 мм) осуществить зажимным устройством (рис. 1).

Примечание. Все детали зажимного устройства, кроме токоподводов, изготовлены из аустенитной стали 10X18H9T и мартенситной стали 20X13; для токоподводов использована бронза.

2. Образец 8 с приваренными на конденсаторной машине термопарами установить в зажимное устройство. Конусные головки образца зажимать болтами 16 между дисками 4, 5, 9, 10 с помощью разрезанных сухарей. Изоляция нагружающих колонок 14 односторонняя; для их изоляции от дисков использовать текстолитовые втулки 3 и шайбы 2.

3. Перед началом испытаний гайками 7 с помощью прорезных шайб 6 (устанавливаемых на колонки сбоку) затянули одну головку образца. На колонках, гайках и контргайках нарезана ленточная резьба. На нижнем диске закрепить плиту 11 с колонками для часовых индикаторов 1. После сборки зажимное устройство с испытываемым образцом установить с помощью токоподводящих шин, крепящихся к токоподводам 12, во вторичный контур контактной машины. Часовыми индикаторами (при нагреве образца током до заданной температуры) измерить температурное удлинение незащемленного образца ΔL_T .

Затем гайками нагружающих колонок затянуть вторую головку об-

разца. После нескольких циклов нагрева в заземленном состоянии и повторной затяжки гаек на колонках определить удлинение нагреваемого до заданной температуры заземленного образца.

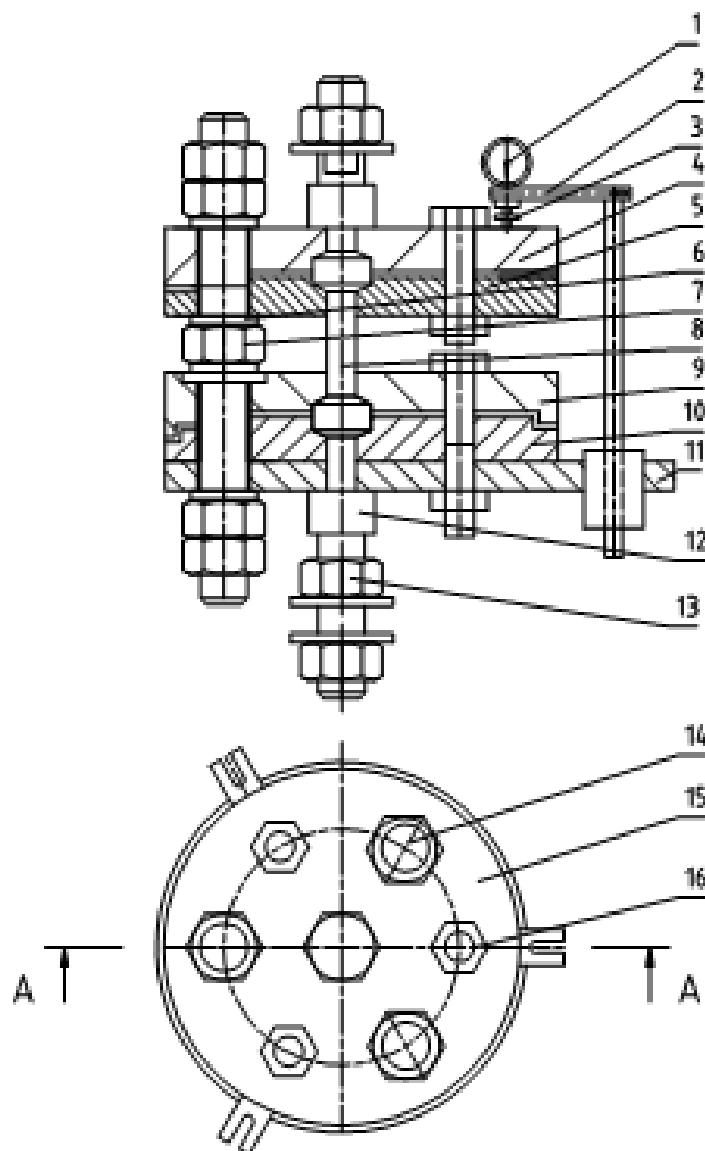


Рисунок 2.23 – Устройство для определения свободного термического расширения и деформации нагреваемого металла

Обработка результатов эксперимента

1. Величина упругопластической деформации стержня, жестко заземленного обоими концами (рис. 1):

$$\xi_o + \xi_\delta = \xi_o - \xi_{rr} - \xi_a,$$

при отсутствии полиморфных превращений:

$$\xi_o + \xi_\delta = \xi_o - \xi_a$$

Величина пластической составляющей при нагреве:

$$\xi_\delta = \xi_o - \xi_a - \xi_o$$

Для одноосного состояния значение упругой относительной деформации

$$\xi_{\sigma} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{E_i},$$

где n – количество интервалов, на которое условно разбивается диапазон нагрева T_2-T_1 таким образом, что в каждом i -том интервале значения предела текучести металла σ_i и модуля упругости E_i практически неизменны.

2. При нагреве сталей от $T_0=293$ К температурный порог пластической деформации T_d относительно невысок. Так, например, для аустенитной стали марки 10X18H10T при нагреве в условиях абсолютного жесткого заземления $T_s=T_0+\Delta T_s$, где

$$\Delta T_s \approx \frac{\sigma_s}{E \cdot \alpha} \approx \frac{240}{16 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} \approx 76 \text{ K}$$

порог пластической деформации достигается при температуре

$$T_s = 293 + \Delta T_s \approx 369 \text{ K}.$$

С дальнейшим повышением температуры выше T_s (рис. 2) прерывно увеличивается пластическая составляющая деформации ξ_p , а ξ_y снижается, если

$$\frac{\partial E}{\partial T} > \frac{\partial \sigma_s}{\partial T}; \quad \frac{\partial E}{\partial T} = \operatorname{tg} \varphi_1; \quad \frac{\partial \sigma_s}{\partial T} = \operatorname{tg} \varphi_2,$$

где φ_1, φ_2 – соответственно углы (расположенные во 2-й четверти) между касательными к кривым $E_T = f_1(T)$ и $\sigma_s = f_2(T)$ и абсциссой.

3. Охлаждение после нагрева до $T_{\max} < T_2$ (рис. 2), например, от $T_{\max}=T_1$ приводит к уменьшению упругой деформации сжатия. При $T=T_1$, $\xi_y=0$, по мере дальнейшего снижения температуры развиваются в интервале $T'_1 \dots T'_s$ упругая, затем (когда $T < T'_s$) и пластическая деформации растяжения.

В высокотемпературных зонах $T_2 < T_s = T_{\max} \leq T_{\text{пл}}$ (рис. 2) охлаждение от T_{\max} до T_2 приводит к развитию пластической деформации растяжения, а с дальнейшим снижением температуры развивается упругая деформация растяжения.

4. Величина пластической составляющей осевой деформации

$$\Delta L_p = \Delta L_T - \Delta L_3 - \Delta L_{\sigma},$$

где

$$\Delta L_{\sigma} \approx 1,1 \frac{\sigma_s}{E} L_0.$$

5. Для определения ΔL_{ϕ} использовать данные табл. 2.18.

6. Данные всех измерений и расчётов свести в табл. 2.19.

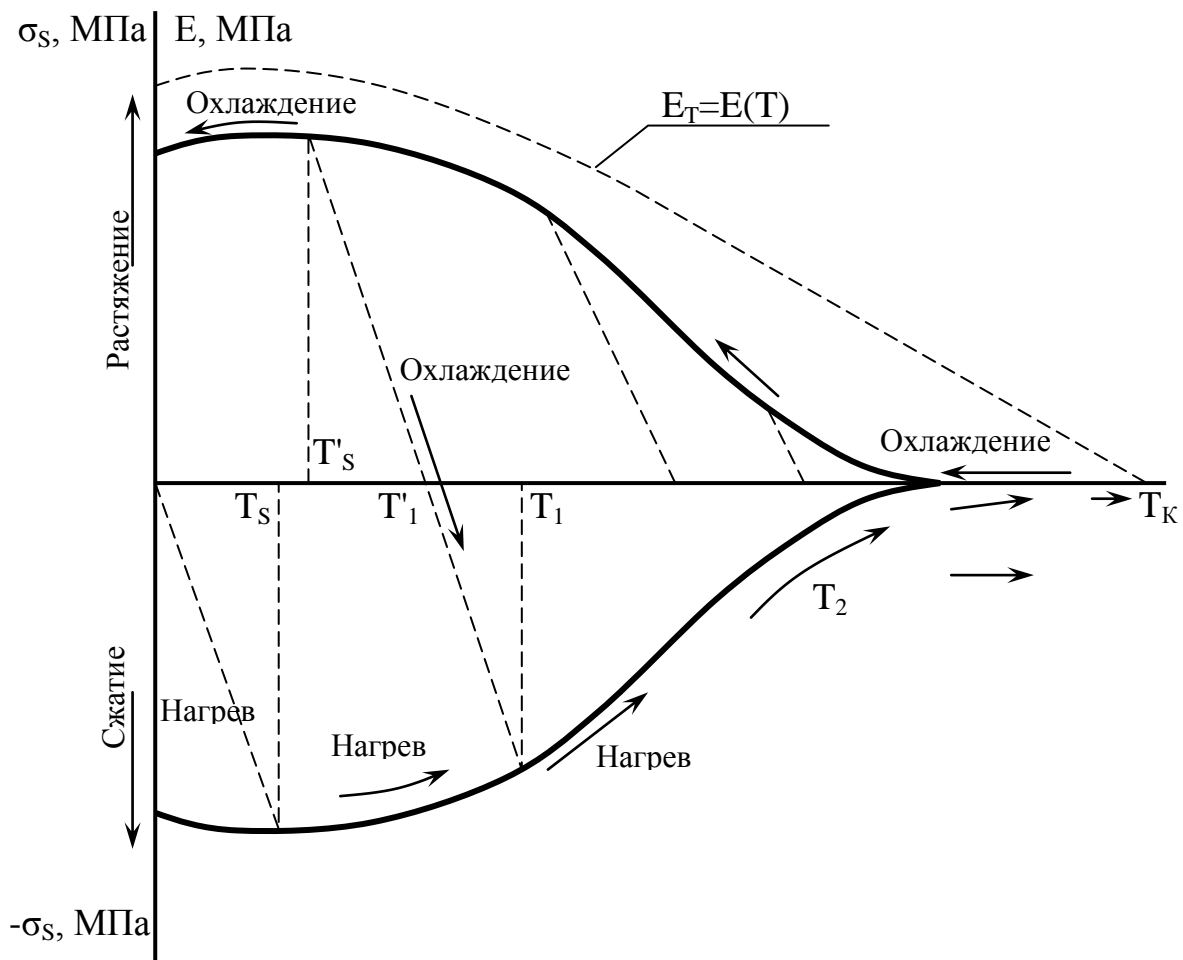


Рисунок 2.24 – Развитие деформаций в стержне при одноосном напряженном состоянии

Таблица 2.18 – Значения коэффициента расширения, модуля упругости и предела текучести аустенитной стали марки 10X18H9T

Коэффициент линейного расширения при T, К			Модуль упругости E, МПа, при T, К			Предел текучести σ_s , МПа, при T, К		
293-373	293-473	293-873	293	373	873	293	873	973
$16,6 \times 10^{-6}$	$16,7 \times 10^{-6}$	$19,5 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^5$	$1,93 \times 10^5$	$1,64 \times 10^5$	240	180	130

7. Значения ΔL_T , ΔL_3 и $\Delta L_{\gamma+p} = \Delta L_T - \Delta L_3$ следует определить в интервале значений $T_{\max} = T_2$ от 293 до 1293 К через каждые 150...200 К. Одновременно для построения кривых распределения температуры вдоль оси образца при каждом значении T_{\max} фиксировать температуры в точках 1, 3, 4, 5 (рис. 2.25, табл. 2.19).

8. По данным табл. 2.19 строятся зависимости: $\Delta L = f_1(T)$, $\Delta L_3 = f_2(T)$,

$$\Delta L_{y+p}=f_3(T), \Delta L_y=f_4(T), \Delta L_p=f_5(T).$$

Таблица 2.19 – Результаты экспериментов по определению деформации металла при нагреве

L_0	T_0	ΔL_T , мм, при T_{\max} , К					ΔL_3 , мм, при T_{\max} , К					$\Delta L_{y+p} = \Delta L_T - \Delta L_3$, мм, при T_{\max} , К				
мм	К	473	673	873	1073	1273	473	673	873	1073	1273	473	673	873	1073	1273

$\Delta L_{\sigma} \approx 1,1 \frac{\sigma_s}{E} L_0$, мм, при T , К		$\Delta L_p = \Delta L_T - \Delta L_3 - \Delta L_{\sigma}$, при T_{\max} , К			T_2, T_3, T_4, T_5 , при $T_{\max} = T_1^{*})$				
293	873	473	673	873	473	673	873	1073	1273
					T_1				
					T_2				
					T_3				
					T_4				
					T_5				

^{*)} T_1, \dots, T_5 – температуры в точках 1-5 (рис 3)

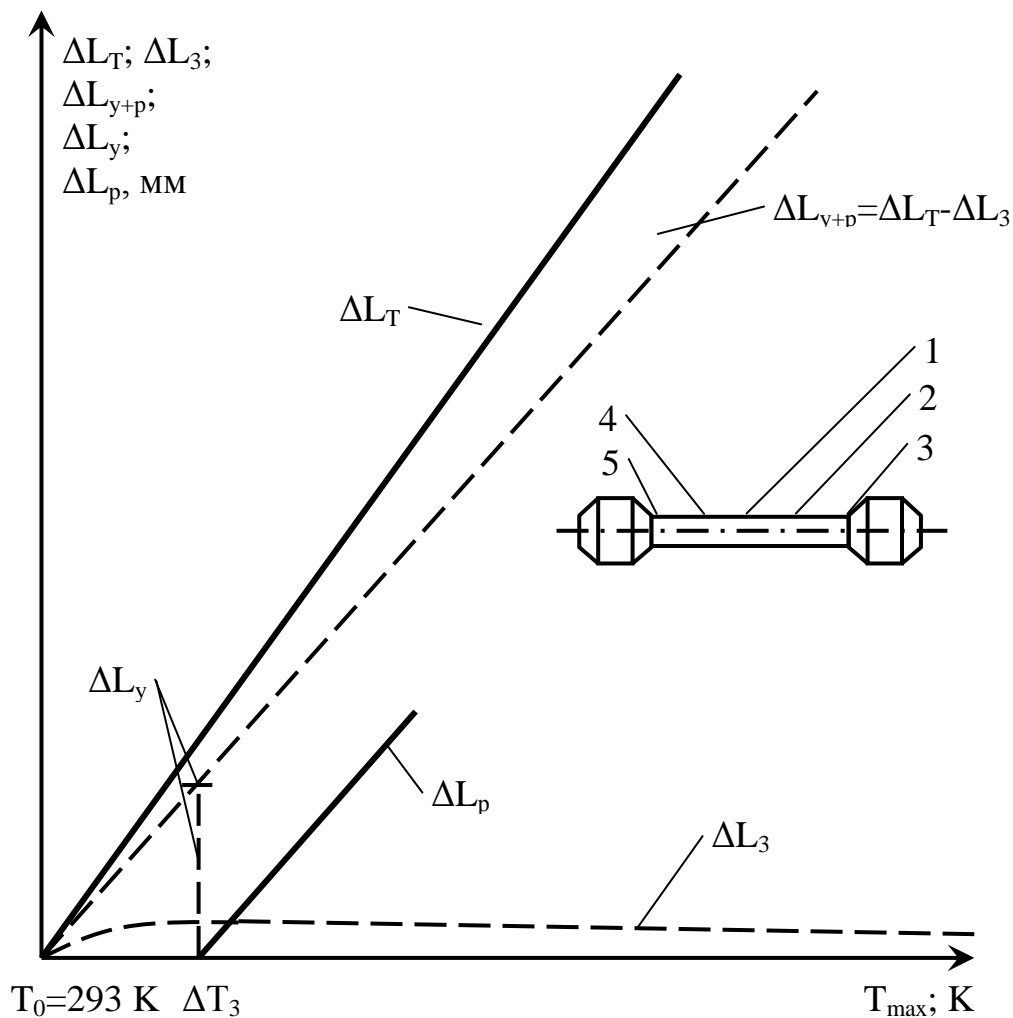


Рисунок 2.25 – Зависимости от температуры нагрева образца: ΔL_T , ΔL_3 , ΔL_{y+p} , ΔL_y , ΔL_p ; 1...5 точки приварки термопар

Контрольные вопросы

1. В чем отличие упругой деформации от пластической?
2. Что такое внутренняя деформация, и какова ее связь с внутренними напряжениями?
3. Причины, вызывающие напряжения и деформации при сварке.
4. Почему искусственное охлаждение и подогрев уменьшают остаточные деформации?
5. В каких случаях необходимо полностью снимать напряжения от сварки?
6. Способы исправления деформированных деталей.
7. Меры по предотвращению остаточных деформации сварных конструкций.

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ К ОБРАЗОВАНИЮ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

Цель работы: изучение механизма образования холодных трещин, освоение методики оценки стойкости сплавов к образованию холодных трещин на технологической пробе.

Общие указания

Одной из причин нарушения технологической прочности является образование холодных трещин. Представления о природе холодных трещин основываются на закалочной и водородной гипотезах [2, с.213-226; 6, с.6-78].

В основу этих гипотез положена теория хрупкого разрушения Гриффитса, предполагающая осуществление в металле готовых зародышевых трещин. В настоящее время для объяснения холодных трещин привлекается механизм замедленного разрушения, т.е. разрушения при статической нагрузке и комнатной температуре. Для описания процесса зарождения трещин используют схему Зинера. В соответствии с этой схемой проскальзывание по границам зерен, где действуют касательные напряжения, приводит к концентрации растягивающих напряжений на границах, перпендикулярных оси напряжений, что и создает трещину на стыке зерен.

Анализ накопленных практикой результатов показывает, что интенсивному образованию холодных трещин при температурах, близких к комнатной, в первую очередь, способствует повышение температуры закалки, скорости охлаждения, напряжения к их концентрации. Для оценки стойкости стали к образованию холодных трещин применяются методы количественной оценки и технологические пробы.

Методы количественной оценки сопротивления сварных соединений образованию холодных трещин основаны на теории замедленного разрушения и предусматривают механические испытания сварных образцов из основного металла, обработанных по циклу околошовной зоны. Испытания эти достаточно сложны и требуют специального оборудования, больших затрат времени.

Преимущество испытаний на технологических пробах по сравнению с количественными методами испытаний заключается в возможности детально моделировать весь технологический процесс и, следовательно, судить о сопротивлении образованию холодных трещин в условиях, близких к реальным. В большинстве случаев пробы представляют собой жесткое закрепление свариваемых элементов той или иной формы. Однако пробы не характеризуют запас технологической прочности, а пригодны лишь для сравнительной оценки материалов.

Технологическую прочность материалов оценивают по наличию или отсутствию трещин в пробах по относительной протяженности появления первой трещины.

Оборудование, приборы и материалы

1. Пост ручной дуговой сварки. Пробы с кольцевой канавкой из различных материалов (Ст.3, Х18Н10Т, 30ХГСА и др.).
2. Электроды с различными механическими свойствами и химическим составом (УОНИ-13/66, ЦЛ-11, ЭНИР-2, ЗТМ-2, ЗТМ-Л и др.).
3. Шлифовальная машина. Клеймо с цифрами, молоток. Реактивы для выявления макро- и микроструктуры. Микроскоп. Отрезной, фрезерный, шлифовальный станки.

Рабочее задание

1. Провести испытания на кольцевой пробе с канавкой при сварке различных сталей различными сварочными материалами, в состав которых входят легирующие (Cr, Ni, Mo, Mn, Si) и микролегирующие (Y, Ce и др.) элементы.
2. Проанализировать полученные материалы и сделать вывод об их стойкости против образования холодных трещин.

Порядок выполнения работы

1. На подготовленных под сварку образцах с кольцевой канавкой по заранее подобранному режиму произвести сварку (рис. 2.26). Режим сварки: $I_{св}=200...220$ А, $U_{д}=30...36$ В. Марка электрода задается преподавателем. Сварка выполняется по трем вариантам:
 - 1) Образец перед сваркой подогревают в печи до $T = 473$ К (200°C)... 523 К (250°C). После сварки охлаждают на воздухе.
 - 2) Сварка при комнатной температуре и охлаждение на воздухе.
 - 3) Сварка при комнатной температуре и охлаждение проточной водой.
2. Аналогичную серию экспериментов выполнить для другого основного металла при сварке электродом другого химического состава.
3. После полного охлаждения образцов шлифовальной машиной обработать их поверхность. Затем образцы протравить реактивом для выявления макро- и микроструктуры. После чего измерить длину трещин на каждом образце.

Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать эквивалент углерода $C_{\text{э}}$ для наплавленного металла и

определить необходимость в предварительном подогреве.

$$C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum \text{Ni} + Ti + Nb}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} + 5B,$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Ti, Nb, Ni, Cu, B – содержание соответствующих элементов, %.

Стали, имеющие эквивалент углерода менее 0,4 % не склонны к образованию холодных трещин и свариваются без ограничений. В случае если эквивалент углерода находится в пределах 0,4 ÷ 0,75 % - нужен предварительный подогрев, а при большем значении и сопутствующий.

Температура подогрева рассчитывается по формуле

$$T_{под} = 350 \cdot \sqrt{C_s - 0,25}.$$

2. Сравнить результаты расчетов с экспериментальными данными и сделать вывод о стойкости наплавленных образцов к образованию холодных трещин.

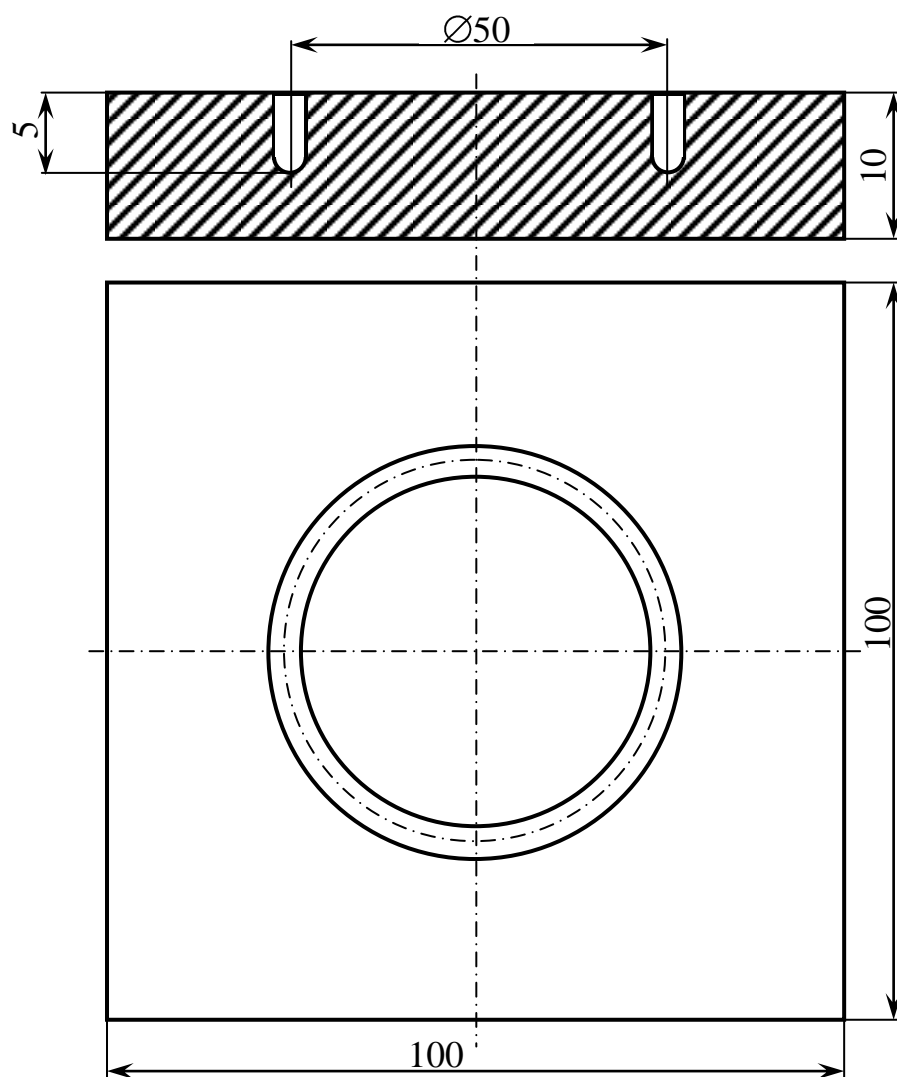


Рисунок 2.26 – Размеры и форма пробы с кольцевой канавкой

Контрольные вопросы

1. Что такое технологическая и эксплуатационная прочность конструкции?
2. В чем различия между кристаллизационными (горячими) и холодными трещинами?
3. Каков характер упруго-пластических деформаций, возникающих в металле шва при дуговой сварке?
4. Основные причины возникновения холодных трещин при сварке.
5. Какова роль водорода в образовании холодных трещин при сварке?
6. Как влияют различные элементы термического цикла при сварке на конечную структуру и на возникновение холодных трещин?
7. Как объясняется механизм образования холодных трещин при сварке с привлечением теории замедленного разрушения?
8. В чем смысл схемы Зинера?
9. Каковы пути повышения технологической прочности сварных соединений?
10. Какие факторы повышают склонность стали к образованию холодных трещин?

Лабораторная работа 8

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШВА

Цель работы: исследование влияния легирующих добавок на механические характеристики сварного соединения.

Общие указания

При подготовке к лабораторной работе изучить рекомендуемую литературу [3, с.76-134], ознакомиться с теоретическими положениями и методическими советами по теме данной работы, подготовить табл. 2.20.

Легирование металла шва при сварке имеет большое значение. Путем легирования получают необходимый состав металла шва, который обеспечивает прочность, коррозионную стойкость и другие служебные характеристики.

Некоторые из легирующих элементов, например, хром, титан, марганец, обладая большим сродством к кислороду, раскисляют металл, что благоприятно сказывается на формировании шва. В этом отношении особенно необходимо отметить редкоземельные элементы: иттрий, церий и другие, десятые или сотые доли которых в сварочных материалах или в основном материале улучшают гамму свойств сварных соединений; повышают пластичность, вязкость, коррозионную стойкость, жаропрочность, хладостойкость; увеличивают сопротивление горячим и холодным трещинам; повышают стабильность горения дуги за счет ионизирующих свойств, уменьшают степень разбрызгивания, позволяют производить сварку на прямой полярности, что способствует увеличению производительности.

Указанный эффект обеспечивается за счет структурных изменений металла шва и околошовной зоны - происходит очищение границ зерен от вредных примесей S, P, Pb, Sn; уменьшается содержание газов H_2 , N_2 , O_2 , находящихся в металле в свободном состоянии; измельчается структура (зерно), увеличивается сила связи между зернами и кристаллическими блоками.

Редкоземельные металлы, имея большое сродство с H_2 , N_2 , O_2 , S, связывают эти элементы в тугоплавкие соединения, которые находятся в металле шва в глобулярной мелкодисперсной форме, т.е. нейтрализуют их вредное действие.

Однако легирующие элементы в сталях должны находиться в определенном процентном отношении. Иначе может резко ухудшиться прочность и другие служебные свойства сварного соединения.

Для того, чтобы оценить влияние легирующих элементов на механические свойства шва и условия процесса сварки, необходимо в металле шва через сварочные материалы ввести такие элементы в количестве

большем, чем оптимальное.

Расчетное содержание вводимых элементов в металле шва можно определить по выражению

$$R_{ш} = \gamma_{эл} R_{эл} - \gamma_{эл} R_0 + \Delta R,$$

где $[R_{ш}]$ – аналитическое содержание элемента в электродном металле, %;

$\gamma_{эл}$ – доля участия электродного металла шва;

$[R_0]$ – аналитическое содержание элемента в основном металле;

ΔR – коэффициент усвоения данного элемента из составляющих покрытия, флюса или газа.

Для некоторых элементов эти коэффициенты при сварке под слоем флюса равны: $\Delta Mn=0,17...0,18$, $\Delta Si=0,12...0,13$, $\Delta C=0,03...0,035$, а по данным [2] при поочередной добавке в керамический флюс этих элементов $\Delta Mn=0,37...0,40$, $\Delta Si=0,44...0,50$, $\Delta C=0,50...0,55$, (для мелкогабаритных частей легирующего порошка менее 120 мкм). Для Y и Ce – 0,1...0,01 [2]

Механические свойства шва в обобщающем случае оцениваются условиями разрушения и при испытании образцов на разрыв, показателями пластичности и ударной вязкости.

Оборудование, приборы и материалы

1. Пост ручной и автоматической сварки.
2. Керамический флюс или АН-348А, АН-22. Сварочная проволока Св-08А. Пластины для наплавки размером 200х300х10; для сварки встык - размером 200-150х6 из стали 10ХСНД. стали 20, стали 3. Легирующие элементы.
3. Разрывная машина. Лупа. Твердемер. Микроскоп. Полировальный станок. Химические реактивы. Электроды. Отрезной станок. Фрезерный станок.

Порядок выполнения работы

Опыт 1.

1. Рассчитать необходимое количество легирующих элементов (ферросплавов) для введения во флюс, чтобы повысить их содержание в наплавленном металле в 2 раза по сравнению с их содержанием при наплавке (сварке) под флюсом без добавок. Для тех элементов, которые не входят в состав наплавленного металла, довести содержание до 0,5 %.

2. Приготовить смеси добавок с флюсом.

3. Выполнить наплавки на образцы поочередно под флюсами с добавками легирующих элементов. Контрольный шов - наплавка под флюсом без добавки. Параметры режима подобрать на условия обеспечения проплавления 2/3 толщины образца. Во время сварки вести наблюдение за

устойчивостью и другими условиями протекания процесса.

4. Образцы исследовать на наличие трещин, пор и других дефектов.

5. На всех образцах произвести замеры твердости в околошовной зоне и шве. Из средней части сваренных пластин вырезать образцы размером 200x10 для испытания на разрывной машине.

Опыт 2.

1. Выполнить наплавку и сварку пластин электродами исходного состава и содержащими различное количество легирующих и микролегирующих добавок.

Во время сварки определить технологические свойства электродов: стабильность дуги, разбрызгивание, формирование шва, легкость отделения шлака.

2. Определить наличие пор, трещин, подрезов и других дефектов.

3. На шлифах произвести замер твердости в металле шва и ЗТВ.

4. Изготовить образцы сварных соединений для испытаний на разрыв размером 200x10.

5. Изготовить шлифы для металлографических исследований – определения величины зерна и чистоты границ.

6. Все результаты свести в табл. 2.20, проанализировать и сделать выводы. В расчётах использовать данные табл. 2.21...2.23.

Таблица 2.20 – Влияние легирующих добавок на склонность металла шва к трещинам.

Номер образца	Легирующий элемент и расчёт его содержания в шве	Условие протекания процесса сварки	Наличие трещин в шве и ОШЗ	Твёрдость в шве и ОШЗ	Максимальное разрывное усилие образца	Размер зерна (мелкое, среднее, крупное)

Таблица 2.21 – Химический состав стали 10XCHД

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe
0,12	0,8...1,1	0,5...1,5	0,6...0,9	0,5...0,8	0,4...0,6	Ост

Таблица 2.22 – Химический состав ферросплавов

Ферросплавы	C	Si	P	S	Mn	Прочие
Ферромарганец	0,5	2,0	0,3	0,03	85	
Ферросилиций	-	74...80	0,05	0,04	75	
Ферротитан	0,15	2,0	0,5	0,05	-	8,0
Ферромolibден	2,0	2,0	2,0	0,03	-	55
Феррованадий	1,0	3,0	0,25	0,16	-	35
Ферровольфрам	0,5	0,8	0,06	0,10	0,5	72

Таблица 2.23 – Состав флюса

Компоненты	КВС-19	К-II
Марганцевая руда(45%Mn, 10%Si)	54	60
Кварцевый песок	32	20
Плавиковый шпат	7	10
Ферросилиций	7	10
Жидкое стекло	15...19	25

Контрольные вопросы

1. Пути легирования металла шва, их особенности, достоинства и недостатки.
2. Что такое межкристаллитная коррозия, причины ее возникновения и методы предотвращения?
3. Почему эквивалент углерода является критерием для оценки необходимости применения подогрева при сварке стали?
4. Что такое коэффициент перехода элемента?
5. Каков механизм рафинирования стали?
6. Влияние легирующих элементов на содержание газов в металле шва.
7. Механизм влияния РЗМ на механические характеристики шва.
8. Как можно улучшить свойства металла шва, приблизив их к свойствам свариваемого основного металла?
9. Какие металлы образуют металл сварного шва?
10. Как влияют отдельные стадии процесса сварки на структуру и свойства металла?

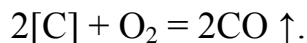
Лабораторная работа 9

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

Цель работы: экспериментальное исследование кремне- и марганцевосстановительных процессов при автоматической сварке сталей под слоем флюса.

Общие указания

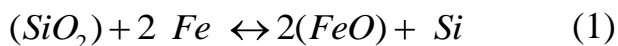
Широко применяемая для изготовления металлоконструкций кипящая малоуглеродистая сталь содержит; кремния – до 0,03% (следы), марганца – от 0,30 до 0,50% (стали марок МСт1, МСт2, МСт3), кислорода – от 0,2 до 0,04%. Отсутствие других сильных раскислителей в такой стали приводит к тому, что при высокой температуре в сварочной ванне и на расплавляемой электродной проволоке происходит интенсивное окисление углерода по реакции



Так как реакция окисления углерода продолжается в кристаллизующейся (задней, хвостовой) части сварочной ванны с образованием нерастворимого в металле газа, в сварном шве могут возникнуть поры. Чтобы предотвратить процесс порообразования из-за окисления углерода, необходимо иметь в сварочной ванне 0,1...0,2% кремния, который подавляет реакцию окисления углерода в период кристаллизации ванны (т.е. является в этих условиях более сильным раскислителем, чем углерод).

Для предупреждения горячих (кристаллизационных) трещин при сварке малоуглеродистых сталей в металле шва должно быть не менее 0,6...0,8 % марганца.

Требуемое приращение кремния (0,1...0,2%) и марганца (0,2...0,5%) по сравнению с их содержанием в основном металле можно обеспечить за счет применения электродной проволоки, легированной данными элементами. Однако при сварке кипящих малоуглеродистых сталей это экономически и технологически более целесообразно выполнить за счет применения высококремнистого высокомарганцовистого флюса. В этом случае переход кремния и марганца из шлака в металл осуществляется за счет, кремне- и марганце-восстановительных процессов по реакциям:

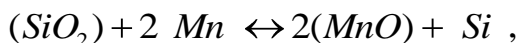


Переход кремния в шов в значительной степени зависит от содержания двуокиси во флюсе. Если сварка производится обычными малоуглеродистыми проволоками Св-08 или Св-08А (т.е. содержащими лишь следы кремния), то для получения в наплавленном металле 0,1...0,2% кремния, содержание SiO_2 во флюсе должно составлять не менее 40%, т.е. флюсы должны быть высококремнистыми, кислыми.

Для обеспечения в металле шва марганца в количестве 0,6...0,8% при сварке кипящей стали малоуглеродистой проволокой флюс должен содержать не менее 35% закиси марганца MnO .

Следовательно, при сварке кипящей малоуглеродистой стали малоуглеродистой сварочной проволокой, во избежание образования пор и горячих трещин надо применять высококремнистые высокомарганцовистые флюсы.

При содержании во флюсе одновременно окислов марганца и кремния будет протекать реакция



константа равновесия которой будет равна;

$$K = \frac{\text{MnO}^2 \text{ Si}}{\text{Mn}^2 \text{ SiO}_2} .$$

Если предположить, что протекание реакции мало изменит содержание MnO и SiO_2 в шлаке, то можно считать, что

$$K' = \frac{\text{Si}}{\text{Mn}^2} ,$$

или

$$\text{Si} = K' \text{ Mn}^2 .$$

Отсюда следует, что повышение исходной концентрации кремния в сварочной ванне должно привести к более энергичному восстановлению марганца.

Оборудование, приборы и материалы

1. Автомат для сварки под флюсом с измерительными приборами и источником питания.

2. Твердомер ТШ-2 с микроскопом оптическим МПБ-2. Наждачное точило. Сверлильный станок (с максимальным диаметром сверла до 8 мм).

Измерительный и слесарный инструмент, клейма цифровые стальные.

3. Образцы стальные 250x80 мм толщиной от 8 до 12 мм, Флюсы нескольких марок: а) высококремнистые высокомарганцовистые (типа АН-348А, ОСЦ-45); б) слабоокислительные низкокремнистые, содержащие в сумме не более 30% окислов кремния, марганца (например, ФЦ-П, АН-20, АН-22 и др.); в) низкокремнистые сильноокислительные флюсы (типа АН-17, АН-17М). Сварочные проволоки нескольких марок диаметрами от 2 до 4 мм (СВ-08А, СВ-08ГА, СВ-08Г2СА и др.).

4. Секундомер. Весы лабораторные (до 5 кг) с разновесами.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь для сварки автоматом.

2. Подобрать режимы сварки и произвести пятислойную наплавку валиков на образцы.

Примечание. Состав металла шва зависит, в первую очередь, от состава основного и электродного (присадочного) металлов и от доли участия основного металла в металле шва. Чтобы уменьшить количество факторов, влияющих на окончательные результаты, при исследовании процесса восстановления кремния и марганца из флюса необходимо анализировать состав наплавленного металла, а не металла шва. Для этого следует произвести наплавку не менее чем в 4-5 слоев.

3. Прошлифовать наружную поверхность и определить твердость НВ наплавленного слоя твердометром ТШ-2.

4. Определить химический состав наплавки при помощи спектрального или химического анализа. При этом нужно определить содержание в наплавке трех основных химических элементов - углерода, марганца, кремния.

5. Исследовать влияние содержания двуокси кремния SiO_2 и закиси марганца MnO во флюсе на протекание кремне- и марганцевосстановительного процесса.

6. Исследовать влияние режима на развитие кремне- и марганцевосстановительного процесса.

7. Определить влияние режима сварки на величину относительного веса расплавленного флюса.

8. Полученные данные свести в табл. 2.24.

Таблица 2.24 – Результаты исследования металлургических процессов при сварке под флюсом

№ слоя	Марка флюса	Марка электродной проволоки	Режим сварки		Химический состав, %			Твёрдость НВ
			$I_{\text{св}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	С	Si	Mn	

Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать изменение содержания этих элементов в наплавке сравнению с содержанием их в проволоке:

$$\Delta[R] = [R_n] - [R_{np}]$$

где $[R_n]$ – содержание элемента R в наплавке, %;

$[R_{np}]$ – содержание элемента R в проволоке, %.

Если $\Delta[R] > 0$, это свидетельствует о восстановлении данного элемента из флюса и легировании им наплавленного металла. Если $\Delta[R] < 0$, это говорит о выгорании и испарении данного элемента из сварочной ванны или на стадии расплавленной капли, находящейся на конце присадочной проволоки. При $\Delta[R] = 0$ можно сделать вывод о нейтральном характере воздействия газовой или шлаковой фазы на металлическую фазу.

2. Помимо химического состава металла и шлака на интенсивность протекания кремне- и марганце-восстановительных процессов оказывает влияние и режим сварки. С изменением режима сварки меняется относительная масса расплавленного флюса, т.е. отношение расплавленного флюса к расплавленному металлу. При наплавке долей основного проплавляемого металла можно пренебречь, тогда относительная масса ψ расплавленного флюса будет равна:

$$\psi = \frac{g_{\delta\ddot{e}}}{g_{\dot{y}}}$$

где $g_{\delta\ddot{e}}$ – количество расплавленной электродной проволоки;

$g_{\text{фл}}$ – количество расплавленного флюса.

Вес расплавленного флюса определяют по весу шлаковой корки $P_{\text{шл}}$ и ее длине $l_{\text{шл}}$:

$$g_{\text{фл}} = \frac{P_{\text{шл}}}{l_{\text{шл}}} V_{\text{св}},$$

где $V_{\text{св}}$ – скорость сварки, см/с,

Вес расплавленного электродного металла можно определить по скорости его подачи $V_{\text{пп}}$:

$$g_{\text{э}} = V_{\text{пп}} \cdot \gamma \cdot \frac{\pi d_{\text{эл}}^2}{4},$$

где γ – удельный вес металла, г/см³;

d_3 – диаметр электродной проволоки, см.

Большому напряжению дуги соответствует и относительно большое количество расплавленного флюса - шлака, приходящееся на единицу веса жидкого металла, что усиливает воздействие между флюсом-шлаком и металлической ванной.

Увеличение тока дуги приводит к ее углублению, увеличению количества расплавляемого электродного металла, т.е. уменьшает относительный вес шлака.

3. На основании полученных данных построить графики зависимости твердости наплавленного металла от режима сварки, содержания элементов в металле шва или их окислов во флюсе. Проанализировать зависимость относительного веса расплавленного флюса от режима сварки.

Контрольные вопросы

1. При каком содержании закиси марганца во флюсе последний именуется высокомарганцовистым?

2. При каком содержании двуокиси кремния во флюсе последний именуется высококремнистым?

3. Сколько кремния содержится в кипящей малоуглеродистой стали?

4. Сколько марганца содержится в кипящей малоуглеродистой стали?

5. С какой целью необходимо вводить кремний в сварочную ванну при сварке малоуглеродистой кипящей стали?

6. С какой целью необходимо легировать сварочную ванну марганцем при сварке малоуглеродистой кипящей стали?

7. Какое минимальное количество кремния необходимо ввести в сварочную ванну при сварке малоуглеродистой кипящей стали, чтобы предотвратить образование пор в металле шва?

8. Какое минимальное количество марганца необходимо ввести в сварочную ванну, чтобы предотвратить образование горячих трещин в металле шва?

9. Какое содержание двуокиси кремния необходимо иметь во флюсе, чтобы получить приращение кремния 0,1...0,2 % в наплавке при сварке кипящей стали проволокой Св-08А?

10. Какое содержание закиси марганца надо иметь во флюсе, чтобы получить приращение марганца в наплаве не менее 0,3-0,4% при сварке кипящей стали проволокой Св-08А?

11. Чем объясняется возможность протекания реакций (1) и (2) вправо при сварке?

12. Что такое относительный вес расплавленного флюса?

Список литературы

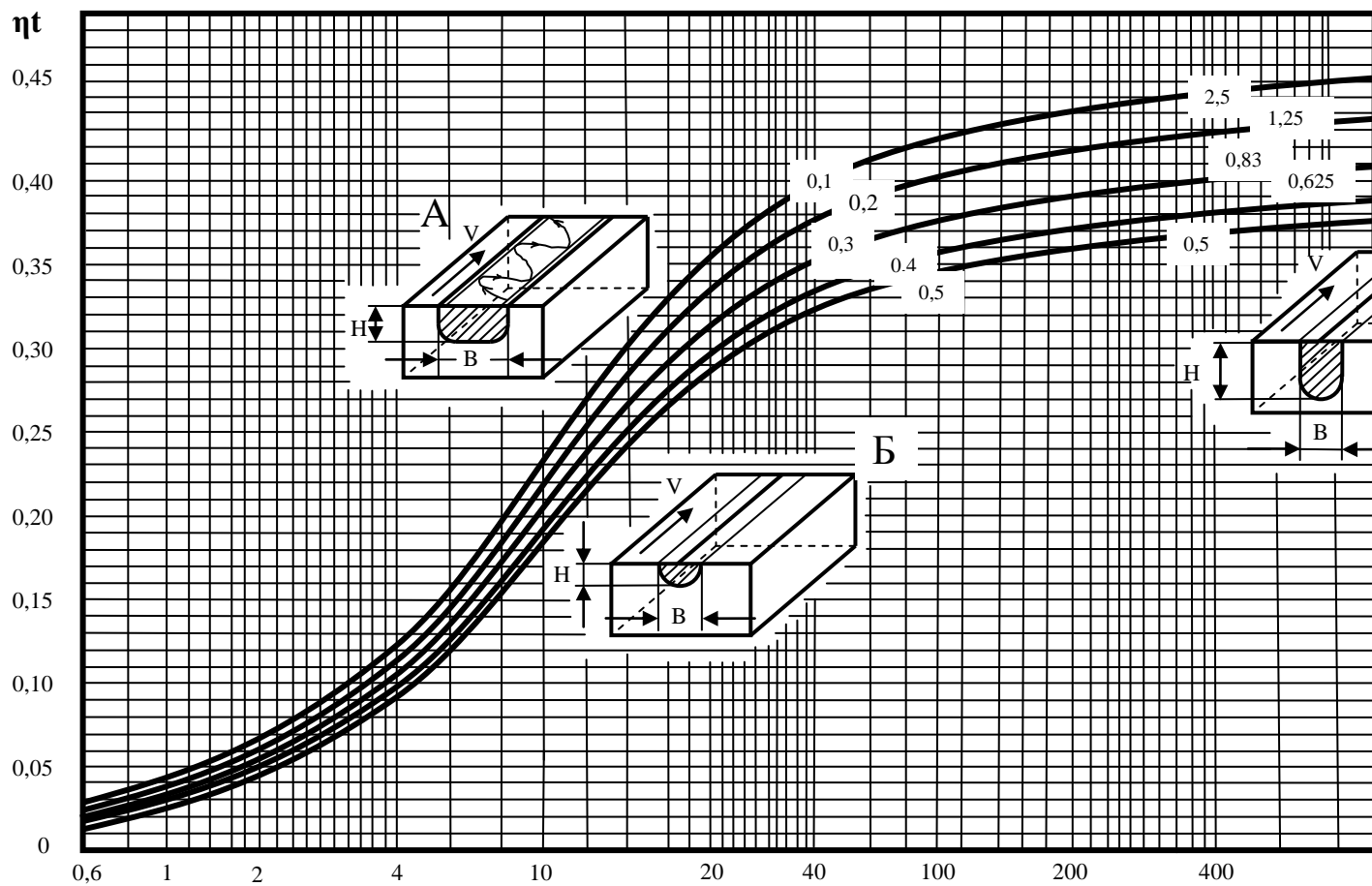
1. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – М.: Высш. шк., 1976. – 424 с.
2. Грабин В.Ф. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. - Киев: Наук. думка, 1981. - 280 с.
3. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1973,- 182 с.
4. Ефименко Н.Г., Калинин Н.А. Раскислительная способность редкоземельных металлов в сравнении с известными раскислителями //Сварочное производство» - 1978, - № 10. - С.3-4.
5. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
6. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. - М.: Металлургиздат, 1961. - 234 с.
7. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. М.: Высш. шк., 1977. – 392 с.
8. Справочник по сварке / Под ред. Е.В.Соколова. - М.Машгиз, 1961. - 387 с.
9. Стали с пониженным содержанием никеля: Справочник/ Под ред. М.В. Приданцева, Г.Л. Лившица. -М.: Металлургиздат, 1981.-200 с.
10. Фролов В.В., Винокуров В.А., Волченко В.Н. и др.; Теоретические основы сварки. Под ред. В. В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1970. – 592 с.
11. Хренов К. К. Сварка и пайка металлов. – М.: Машгиз, 1970 – 286 с.

Теплофизические свойства малоуглеродистой стали

Тем- пера- тура Т, К	Коэффи- циент теплопро- водности λ , Дж/(см·с· К)	Удель- ная тепло- ем- кость, с, Дж/г·К	Плот- ность γ , г/см ³	Коэффици- ент темпе- ратуропро- водности а, см ² /с	Коэффици- ент полной поверхност- ной тепло- отдачи b, Дж/(см ² ·с·К)	Тепло- содер- жание металла S, Дж/г
273	0,640	0,430	7,8	0,186	—	0
473	0,550	0,485	—	0,130	20,0 10 ⁻⁴	109
573	0,505	0,540	—	0,108	27,0 10 ⁻⁴	162
663	0,460	0,595	—	0,093	34,5 10 ⁻⁴	225
773	0,415	0,650	—	0,078	45,0 10 ⁻⁴	292
873	0,375	0,770	—	0,063	57,0 10 ⁻⁴	362,5
973	0,340	0,960	—	0,047	73,0 10 ⁻⁴	437,5
1040	0,330	1,330	—	0,034	95,0 10 ⁻⁴	492
1801 (тем- пера- тура плав- ления)	—	—	7,0	—	354,0 10 ⁻⁴	1380 (вклю- чая скры- тую теплоту плавле- ния)

Приложение Б

**График для расчетного определения термического КПД η_t при
наплавке на массивное тело**



А – уширенная зона – $H/B < 0,5$; Б – полукруглая зона – $H/B = 0,5$; В – углубленная зона – $H/B > 0,5$

Приложение В

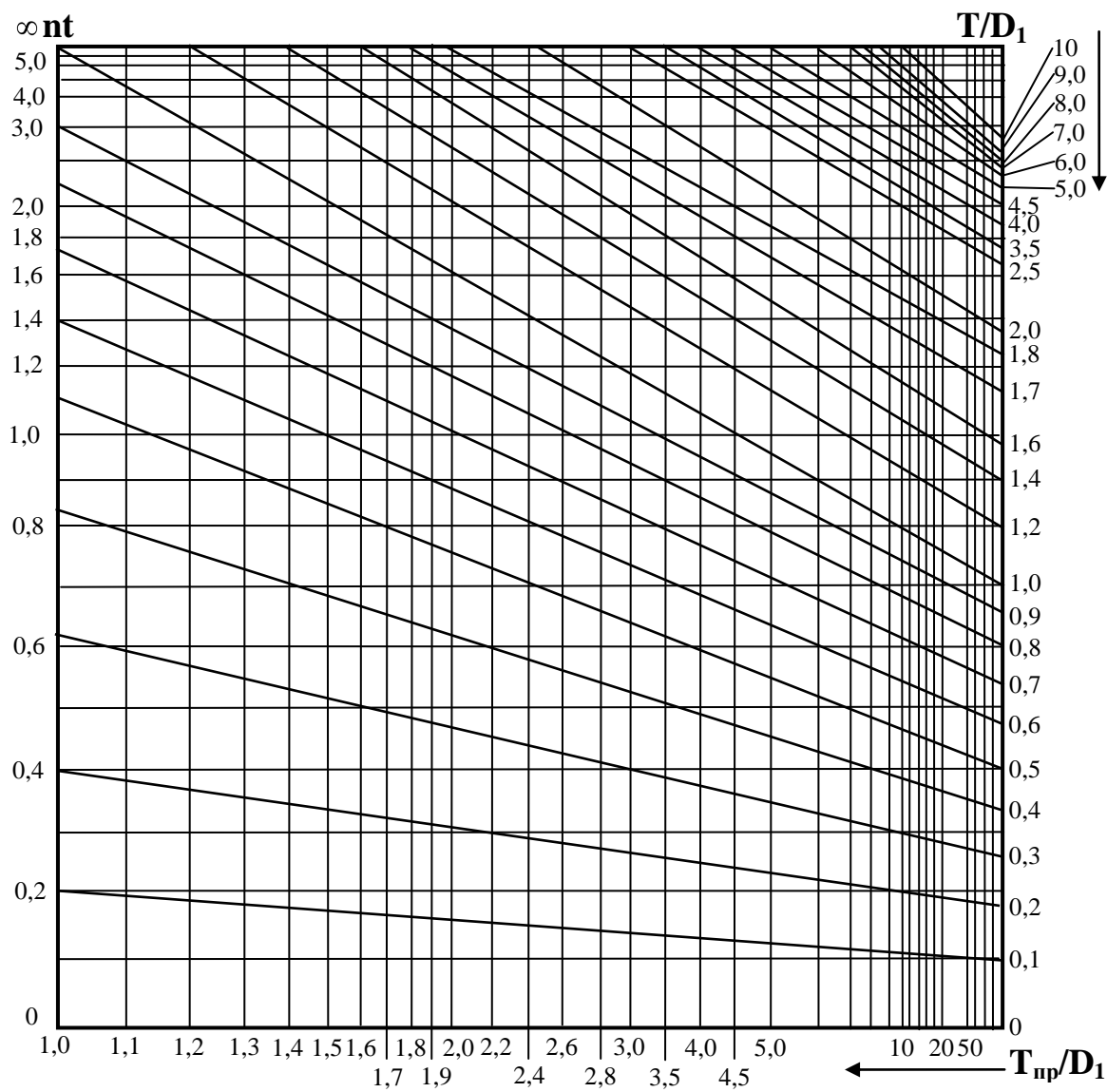
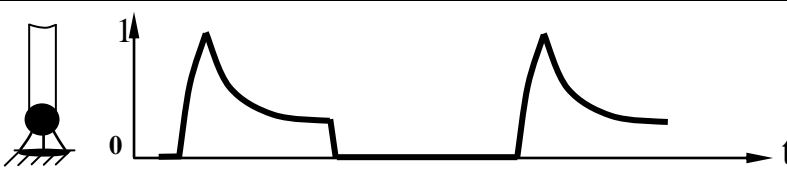
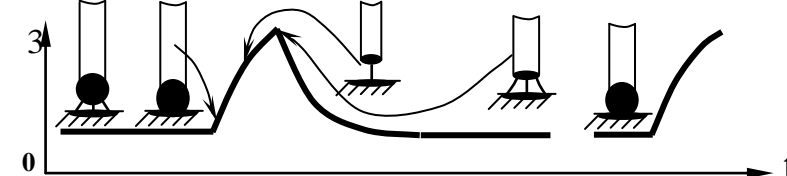
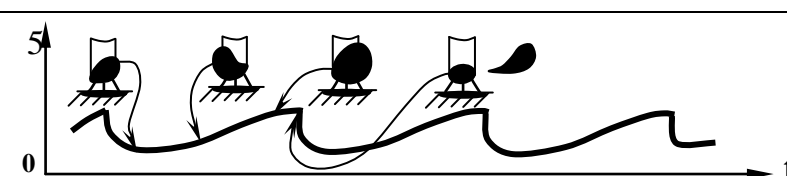
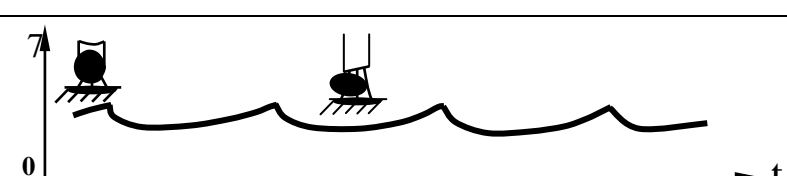
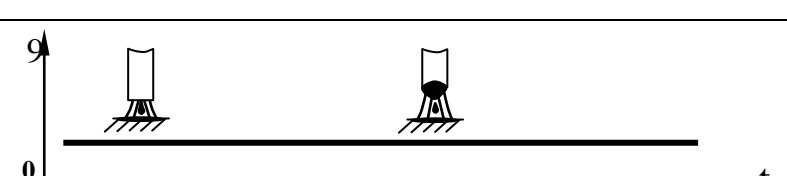
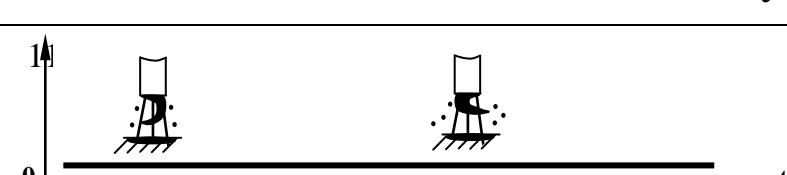


Рисунок В.1 - Номограмма для расчета процесса нагрева током электрода из малоуглеродистой стальной проволоки

Основные виды переноса электродного металла при дуговой сварке

Вид переноса	Основные характеристики	Основные стадии отрыва и перехода капли.
1. Крупнокапельный с обрывами дуги	1. Высокое напряжение при низкой плотности тока. 2. Скорость плавления электрода больше скорости его подачи. 3. Возможен переход капли коротким замыканием.	
2. Короткими замыканиями	1. Перенос металла без горения дуги. Горение дуги при отсутствии переноса металла. 2. Частота коротких замыканий определяется режимом сварки.	
3. Крупнокапельный без обрывов дуги	Боковое оплавление электрода и асимметричное расположение капли $d_k > 1,5 d_3$	
4. Перенос металла каплями среднего размера	$d_k = (0,8 \dots 1,5) d_3$	
5. Мелкокапельный (струйный) перенос	$d_k < 0,8 d_3$	
6. Неустойчивый струйный перенос	$d_k < 0,8 d_3$	

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

Кафедра «Оборудования и технологии сварочного производства»

Отчет по лабораторным работам
по дисциплине
ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Выполнил:
студент гр. СП-00-1

Иванов А.А.

Проверил:
асс. каф. СП

Бондарев С.В.

Краматорск 2012