

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки: 15.04.01 «Машины и технологии сварочного производства»  
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Управление параметрами режима аргодуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом

УДК 621.791.754.4'293.01.669.176

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Алексеев Алексей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусельников М.Э.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки: машины и технологии сварочного производства (15.04.01)

Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

Период выполнения: (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма предоставления работы:

магистерская диссертация <small>(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)</small>
---

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН**  
**Выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом работы:	04.06.2017
------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.03.2017	1. Литературный обзор.	15
15.03.2017	2. Постановка задачи.	10
29.03.2017	3. Подготовка материалов к проведению экспериментов.	11
06.04.2017	4. Проведение экспериментов	17
12.04.2017	5. Анализ результатов экспериментов	20
20.04.2017	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение.	12
27.04.2017	7. Социальная ответственность	9
03.05.2017	8. Заключение	6

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки: 15.04.01 «Машины и технологии сварочного производства»  
 Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

Утверждаю:  
 Зав. кафедрой ОТСП  
 \_\_\_\_\_ Киселев А.С.  
 (Подпись) (Дата)

### ЗАДАНИЕ

#### На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме: \_\_\_\_\_ магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ51	Алексеев Алексей Александрович

Тема работы:

Управление параметрами режима аргодуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.11.2015, 8934/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2017
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Аргодуговая сварка торированным вольфрамовым электродом пластин из алюминиевого сплава А7М.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор: сварка алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом в среде аргона.</li> <li>2. Объект и методы исследования.</li> <li>3. Исследование влияния параметров режима горения дуги переменного тока на форму проплавления, ширину зоны катодной очистки и стойкость вольфрамового электрода.</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>5. Социальная ответственность.</li> <li>6. Заключение</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цели и задачи.</li> <li>2. Материалы и методы.</li> </ol>

	3. Зависимости проплавляющей способности дуги и характера катодной очистки от частоты переменного тока. 4. Зависимости проплавляющей способности дуги и характера катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности. 5. Стойкость вольфрамового электрода при синусоидальной форме волны переменного тока 6. Стойкость вольфрамового электрода при прямоугольной форме волны переменного тока 7. Выводы
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1. Литературный обзор; 2. Объекты и методы исследования; 3. Экспериментальная часть; 4. Заключение.	Киселев Алексей Сергеевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Гусельников Михаил Эдуардович
<b>Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Литературный обзор	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	19.11.2015
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Зав. каф. ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ВМ51	Алексеев А.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ51	Алексеев А.А.

<b>Институт</b>	<b>Неразрушающего контроля</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОТСП</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машины и технологии сварочного производства

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b>	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и технологических</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчисления, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка сравнительной эффективности проекта</i>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Алексеев А.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ51	Алексеев Алексей Александрович

Институт	Не разрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машины и технологии сварочного производства

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Рабочим местом является отдельное помещение (научная лаборатория). Поскольку данное помещение находится внутри здания, на проектировщика возможны действия следующих факторов:</p> <p>Вредные факторы: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, повышенный уровень электромагнитных излучений.</p> <p>Опасные факторы: повышенный уровень ультрафиолетовой радиации, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, повышенная температура поверхностей оборудования, материалов.</p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>1. Техника пожарной безопасности на производстве (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ).</p> <p>2. Техника безопасности при работе с электро- и радиотехническими устройствами (ГОСТ 12.1.006-84).</p> <p>3. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.) ССБТ.</p> <p>4. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации;</li> <li>– Воздействие ионизирующего излучения при проведении рентгеноскопии;</li> <li>– Превышение уровня шума;</li> <li>– Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>– Анализ показателей микроклимата;</li> <li>– Воздействие инфракрасного излучения.</li> </ul>

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	При работе со сварочной установкой, которая соединена с сетью напряжения, возможны электрические замыкания (удары) для персонала и пожары. Согласно нормам, установлены средства пожаротушения. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ).
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Возможные ЧС на объекте: пожары, землетрясения. К мерам по предупреждению будут относиться: 1. Планирование защиты населения и территории от ЧС на уровне предприятия (организации); 2. Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала; 4. Подготовка работающих к действию условиях ЧС; 5. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также контроль за исправностью работы в помещении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусельников М.Э.	Кандидат технических наук		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Алексеев А.А.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 95 страницы, 28 рисунков, 5 таблиц, 49 источников информации.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, вольфрамовый электрод, оксидная пленка, аргон, дуговая сварка, переменный прямоугольный ток, катодное распыление, амплитудно-временные параметры режима сварки, качество сварного соединения.

Объектом исследования является проплавление пластин из алюминиевого сплава вольфрамовым электродом в среде аргона переменным током с различной формой волны.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование влияния параметров режима горения дуги переменного тока на ее проплавляющую способность, характер очистки поверхностной оксидной пленки и стойкость вольфрамового электрода.

В ходе экспериментальных исследований установлено влияние частоты переменного тока, формы волны и отношения прямой и обратной полярности на геометрические параметры проплавления пластины и ширину зоны катодной очистки от оксидной пленки. Определено влияние амплитудно-временных параметров начального импульса тока при зажигании дуги на стойкость вольфрамового электрода.

Результаты работы будут использованы при обосновании выбора варьируемых параметров режима аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом конструкций из алюминиевых сплавов ответственного назначения.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 и графическом редакторе КОМПАС 3D V16.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В выпускной квалификационной работе применены следующие обозначения и сокращения:

$I_{св}$  – сварочный ток;

$V_{св}$  – скорость движения тележки (сварки);

$f$  – частота переменного тока;

$R$  – соотношение продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности;

TIG – tungsten inert gas (вольфрам - инертный газ);

HAZ – heat affected zone (ЗТВ – зона термического влияния).

В выпускной квалификационной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 23949-80. Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия. Издание официальное;

- ISO6848-2004. Сварка и резка дуговые. Электроды неплавящиеся вольфрамовые. Классификация;

- ГОСТ 21631-76. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия;

- ГОСТ 10157-79. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия;

- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1);

- ГОСТ 12.1.019 (с изм.№1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

- ГОСТ 12.1.030 -81. Защитное заземление, зануление;

- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;

- ГОСТ 12.1. 045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;

- ГОСТ 949-73 - Баллоны стальные малого и среднего объема для газов.

## Содержание

Введение.....	12
1 Сварка алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом в среде аргона. 15	15
1.1 Физико-химические свойства алюминиевых сплавов. Их применение ....	15
1.2 Технологические особенности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов переменным током.....	16
1.3 Маркировка и подготовка рабочей поверхности вольфрамовых электродов .....	19
1.4 Пути повышения качества сварных соединений из алюминиевых сплавов	24
1.5 Применение переменного прямоугольного тока при сварке алюминиевых сплавов.....	25
1.6 Источники питания для аргонодуговой сварки алюминиевых сплавов ...	27
2 Объект и методы исследования .....	28
3 Исследование влияния параметров режима горения дуги переменного тока на форму проплавления, ширину зоны катодной очистки и стойкость вольфрамового электрода.....	29
3.1 Установка для проведения экспериментальных исследований .....	29
3.2 Экспериментальные исследования влияния параметров режима горения дуги переменного тока на характер проплавления.....	33
3.3 Экспериментальные исследования влияния параметров режима зажигания и горения дуги переменного тока на стойкость вольфрамового электрода.....	40
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 50	50
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	50
4.2 Анализ конкурентных технических решений .....	50
4.3 SWOT – анализ .....	51
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	54
4.5 Инициация проекта .....	55
4.5.1 Цели и результат проекта .....	55
4.5.2 Организационная структура проекта .....	56
4.5.3 Ограничения и допущения проекта.....	57
4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	57
4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
5 Социальная ответственность .....	63

5.1 Анализ вредных производственных факторов.....	63
5.1.1 Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения.....	64
5.1.2 Электрическая безопасность.....	66
5.1.3 Пожарная безопасность и мероприятия по ее обеспечению .....	67
5.1.4 Шум и вибрация .....	69
5.1.5 Исследование освещенности рабочей зоны .....	70
5.1.6 Воздушная среда и микроклимат производственного помещения.....	73
5.2 Чрезвычайные ситуации .....	75
5.3 Охрана окружающей среды .....	77
5.4 Техника безопасности на рабочих местах .....	78
Заключение .....	80
Список используемых источников.....	81
Приложение А .....	86
Приложение Б.....	95

## Введение

В настоящее время алюминиевые сплавы широко применяют для изготовления конструкций различного назначения.

Чистый алюминий используют для изготовления конструкций в химической, пищевой, электротехнической промышленности и в атомной энергетике [1]. Основными достоинствами алюминия и сплавов на его основе являются высокая коррозионная стойкость, малая плотность, однако высокая удельная прочность характерна только для алюминиевых сплавов.

При изготовлении сварных конструкций из алюминия и его сплавов возникает ряд причин, затрудняющих сварку. Одной из главных причин является наличие на поверхности изделия оксидной пленки  $Al_2O_3$ , которая прочно связана с металлом, имеет высокую плотность и обладает свойствами диэлектрика. Пленка окисла  $Al_2O_3$  плавится при температуре около  $2050\text{ }^{\circ}C$ , в то время, как алюминий при  $658\text{ }^{\circ}C$ . Поэтому при нагреве расплавленный алюминий удерживается в замкнутом объеме силами поверхностного натяжения прочной оксидной пленки, что препятствует сплавлению кромок свариваемых изделий.

С целью сплавления свариваемых кромок необходимо предпринимать меры для удаления оксидной пленки и защиты расплавленного металла от окисления в процессе сварки. Для этого можно использовать флюсы, основу которых составляют легкоплавкие смеси хлористых солей щелочных и щелочноземельных элементов, к которым добавляется небольшое количество фтористых соединений [1].

В настоящее время широко распространен способ электродуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом в среде инертного газа аргона. Разрушение оксидной пленки при этом способе сварки происходит за счет катодного распыления при обратной полярности сварочного тока. Поскольку в процессе аргонодуговой сварки оксидная пленка только разрушается, а не удаляется, как при сварке под слоем флюса, то к качеству предварительной обработки деталей перед сваркой предъявляются повышенные

требования с целью получения более тонкой и однородной пленки по всей поверхности свариваемых кромок пластин.

При ручной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом можно производить сварку на постоянном токе обратной полярности. При этом способе сварки недостатком является значительный перегрев вольфрамового электрода при больших плотностях сварочного тока, а также плохая устойчивость горения дуги.

Большие преимущества перед данным способом сварки имеет способ сварки на переменном токе. При этом способе разрушение оксидной пленки происходит в течение полупериода, когда свариваемое изделие является катодом. В течение другого полупериода, когда свариваемое изделие является анодом, производится интенсивный ввод тепла в изделие, и происходит оплавление очищенной от оксидной пленки поверхности.

Основным препятствием для сварки изделий из алюминия и его сплавов является неустойчивое горение дуги переменного синусоидального тока. Кроме того, из-за высокой теплопроводности зона разогрева металла значительна, что приводит в ряде случаев к провисанию металла сварочной ванны и прожогам.

Более перспективным является использование переменного прямоугольного тока. При такой форме тока, в отличие от синусоидальной, обеспечивается возможность независимого программирования амплитудно-временных параметров режима горения дуги прямой и обратной полярности, что позволяет управлять геометрическими размерами шва, эффективностью катодного распыления поверхностной оксидной пленки и динамическим воздействием на расплав сварочной ванны.

Целью магистерской диссертации является исследование влияния параметров режима горения дуги переменного тока на ее проплавливающую способность, характер очистки поверхностной оксидной пленки и стойкость вольфрамового электрода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить по экспериментальным данным влияние параметров горения дуги переменного прямоугольного и синусоидального тока на ее проплавляющую способность и интенсивность катодной очистки пластины из алюминиевого сплава от оксидной пленки;

- определить влияние параметров режима зажигания и горения дуги переменного тока на стойкость вольфрамового электрода.

# 1 Сварка алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом в среде аргона

## 1.1 Физико-химические свойства алюминиевых сплавов. Их применение

Алюминий – лёгкий, парамагнитный металл серебристо-белого цвета, легко поддающийся формовке, литью, механической обработке. Алюминий обладает высокой тепло- и электропроводностью, стойкостью к коррозии за счёт быстрого образования прочных оксидных плёнок, защищающих поверхность от дальнейшего взаимодействия.

Таблица 1.1 – Физические свойства алюминия и сплава АМг6 [2]

	Чистый алюминий	АМг6
Плотность (г/см <sup>3</sup> )	2,7	2,64
Теплопроводность (Вт/(м·град))	228	122
Теплоёмкость (Дж/г·град)	0,88	0,92
Температурный коэффициент линейного расширения (град <sup>-1</sup> )	$24,3 \cdot 10^{-6}$	$24,7 \cdot 10^{-6}$
Электропроводность (1/Ом·м)	$37 \cdot 10^6$	$14,86 \cdot 10^6$

Алюминий почти не подвержен коррозии, поскольку обладает высокой химической активностью. На его поверхности образуется прочная защитная пленка оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которая предохраняет металл от взаимодействия с классическими окислителями: H<sub>2</sub>O (t°); O<sub>2</sub>; HNO<sub>3</sub> (без нагревания). В связи с этим алюминий широко востребован в современной промышленности. Сплавы алюминия можно разделить на две группы – литейные и деформируемые [2].

Деформируемые алюминиевые сплавы – применяются для изготовления профилей (листов, плит, прутков, профилей, труб и т. д.), а также поковок и штамповых заготовок путем прессования, прокатки, штамповки иковки. Деформируемые подразделяются на:

- а) Упрочняемые термической обработкой:

- дуралюмины, «дюраль» (Д1, Д16, Д20, сплавы алюминия, меди, магния и марганца [Al-Cu-Mg-Mn]);

- сплав авиаль (АВ);

- высокопрочный сплав (В95);

- сплавы дляковки и штамповки (АК6, АК8, АК4-1).

б) Не упрочняемые термической обработкой:

- сплавы алюминия с марганцем (АМц) и алюминия с магнием (АМг2, АМг3, АМг5, АМг6) легко обрабатываются давлением (гибка, штамповка), хорошо свариваются и обладают хорошей коррозионной стойкостью.

Литейные алюминиевые сплавы – предназначенные для фасонного литья (как правило, хорошо обрабатываются резанием) [2, 3]:

- сплавы алюминия с кремнием (силумины) Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9);

- сплавы алюминия с медью Al-Cu (АЛ7, АЛ19);

- сплавы алюминия с магнием Al-Mg (АЛ8, АЛ27);

- жаропрочные алюминиевые сплавы (АЛ1, АЛ21, АЛ33).

## 1.2 Технологические особенности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов переменным током

Наибольшее применение при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов малой толщины (менее 4 мм) получил способ аргонодуговой сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом переменным током [3, 4]. Этот способ сварки является наиболее универсальным и обеспечивает возможность получения всех типов соединений в различных пространственных положениях и в труднодоступных местах.

Применение переменного тока, а также защитного инертного газа аргона вызвано металлургическими особенностями алюминия. Аргон используется для защиты металла сварочной ванны и рабочей поверхности вольфрамового электрода от воздуха. Очистка металла от оксидной пленки осуществляется в период горения обратной полярности путем катодного распыления. Применение дуги переменного тока в этом случае, в отличие от дуги постоянного тока

обратной полярности, энергетически более выгодно. Во-первых, снижаются потери на нагрев вольфрамового электрода и его расход. Во-вторых, повышается концентрация нагрева свариваемого металла. Однако использование дуги переменного тока в сварочных целях обладает рядом особенностей. В большей мере эти особенности проявляются при начальном и повторном зажигании дуги.

Начальное зажигание дуги переменного тока при сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом осуществляется, как правило, путем пробоя межэлектродного промежутка импульсами высокого напряжения [5]. Процесс начального зажигания протекает с характерными особенностями, в связи с тем, что полярность прикладываемого к электродам напряжения периодически изменяется, а теплофизические свойства вольфрама и алюминиевого сплава существенно различаются. В частности, осуществляется предварительный нагрев рабочей поверхности вольфрамового электрода до температуры, обеспечивающей требуемую плотность тока эмиссии, для надежного зажигания дуги в полупериод прямой полярности питающего напряжения [6].

В полупериод обратной полярности питающего напряжения характер процесса начального зажигания дуги существенно отличается от рассмотренного выше, так как создаваемая высоковольтным источником напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке обеспечивает практически безынерционный процесс автоэлектронной эмиссии с окисленной поверхности катода из алюминиевого сплава [3, 5, 7].

В следствии причин указанных выше и для обеспечения импульсного характера нагрева вольфрамового электрода, зажигание дуги на начальном этапе процесса сварки осуществляется лишь в полупериод обратной полярности питающего напряжения [3, 8]. Длительность задержки зажигания дуги прямой полярности на начальном этапе процесса сварки определяется диаметром вольфрамового электрода, его электрофизическими свойствами, формой рабочей поверхности, величиной сварочного тока и рядом других параметров. Для повышения надежности начального зажигания дуги и улучшения других технологических характеристик вольфрамовых электродов используют

легирование активирующими присадками. Однако при эксплуатации на определенных режимах таких вольфрамовых электродов происходит изменение структуры металла рабочей поверхности, что приводит к затруднению поступления легирующих элементов из глубины слоев, в следствии выгорания активирующих присадок [6, 9]. Кроме того, они в большей степени, чем электроды из чистого вольфрама, подвержены пусковой эрозии и растрескиванию рабочей поверхности при начальном зажигании дуги переменного синусоидального тока.

Период установления стабильного горения дуги переменного тока в начале процесса сварки, и, соответственно, длительность работы высоковольтного возбудителя, определяется заданной величиной тока. Такая зависимость подтверждается исследованиями по малоамперной дуге переменного тока, выполненными в ИЭС им. Е.О.Патона. Так, например, при напряжении холостого хода источника питания 200 В и заданном значении тока короткого замыкания 10 А период установления стабильного горения дуги составляет 1 с, а при значении тока короткого замыкания 5 А – 30 с [11]. При напряжении холостого хода сварочного трансформатора 70...80 В и токе менее 12...15 А дуга в полупериоды прямой полярности практически не зажигается [3].

По истечению периода установления стабильного горения дуги особенности ее повторного зажигания обусловлено различием теплофизических свойств электродов. Повторное зажигание дуги прямой полярности осуществляется при напряжении, величина которого незначительно отличается от напряжения горения дуги. Связано это с тепловой инерцией и термическим характером эмиссии вольфрамового катода, разогретого в предыдущий период горения дуги обратной полярности [3, 8]. Повторное зажигание дуги обратной полярности осуществляется лишь при повышенном напряжении на межэлектродном промежутке. Сначала при напряжении 60...80 В формируется тлеющий разряд, развитие которого приводит к росту тока и переходу в аномальную стадию. Напряжение горения аномального разряда составляет 200...240 В при токе 1 А. Дальнейшее увеличение тока приводит к

формированию дугового разряда. С учетом этих особенностей источник питания должен иметь напряжение холостого хода более 240 В. Однако на практике применяют сварочные трансформаторы с напряжением холостого хода не более 90 В в сочетании с генераторами импульсов высокого напряжения [3, 8].

Причиной появления вентильного эффекта дуги переменного тока является различие теплофизических свойств алюминия и электродов из вольфрама [5, 12]. В сварочной цепи возникает постоянная составляющая тока, которая создает постоянное магнитное поле в магнитопроводе трансформатора, что приводит к снижению коэффициента мощности сварочного трансформатора и искажению формы кривой тока [5]. Для повышения стабильности горения дуги переменного тока и улучшения энергетических характеристик трансформатора разработаны меры по компенсации постоянной составляющей тока [13].

В следствии неравномерного плавления при больших скоростях сварки, а также особенностей, описанных выше, происходит ограничение возможностей применения для питания дуги переменного синусоидального тока.

### 1.3 Маркировка и подготовка рабочей поверхности вольфрамовых электродов

Кроме высокой температуры плавления и низкой текучести, еще одной важной характеристикой материала электрода является работа выхода электронов: её величина заметно влияет на максимальную плотность тока термоэмиссионных электронов. Для повышения рабочего тока электрода желательно уменьшение работы выхода электронов. С этой целью в состав электродного материала вводят вещества, компоненты которых имеют меньшую величину работы выхода электронов в сравнении с материалом основы. Эти вещества называют активирующими присадками, а электродные материалы с такими присадками- активированными. В качестве активирующих присадок применяют: оксиды тория, иттрия, лантана и др. [17].

Основное преимущество неплавящихся электродов с активирующими присадками – повышенная стойкость, позволяющая выполнять сварку при

больших значениях тока дуги и меньших потерях электродного материала. Объясняется это тем, что активирующие присадки увеличивают электронную и уменьшают ионную составляющую в катодной области. Это приводит к снижению катодного падения напряжения [18].

С целью идентификации электродов на их торец наносится цветная маркировка в соответствии с требованиями стандартов страны изготовителя. Основные марки электродов, химический состав, диаметры и цветная маркировка представлены в таблице 1.2.

Таблица – 1.2 Марки вольфрамовых электродов [20]

Марка электрода	Вводимая присадка (вольфрам-основа)	Массовая доля присадки, %	Цветная маркировка
WP	$W \geq 99,8$	—	зелёный
WT 20	ThO <sub>2</sub>	1,70–2,20	красный
WY-20	YO <sub>2</sub>	1,8–2,2	тёмно-синий
WZ 8	ZrO <sub>2</sub>	0,70–0,90	белый
WL 20	LaO <sub>2</sub>	1,8–2,2	синий
WC 20	CeO <sub>2</sub>	1,80–2,20	серый

Следует отметить, что для разных марок вольфрамовых электродов свойственны разные электрические параметры дуги, что подтверждает работа [21]. Автор представил вольтамперную характеристику дугового разряда для чистого вольфрамового электрода и торированного вольфрамового электрода диаметром 3 мм и чистого вольфрамового электрода диаметром 1,5 мм.

Рекомендации по выбору диаметра электрода представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Рекомендации по выбору диаметра электрода

Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм
1	1,5-2

Продолжение таблицы 1.3

1,5	2
2	2-3
3	3-4
4	4
5	5

Перед сваркой электрод необходимо подготовить. Царапины и следы шлифования оказывают большое влияние на проводимость электрода, поэтому заточку необходимо выполнять таким образом, чтобы на рабочем конце риски от заточного камня располагались только в продольном направлении, как показано на рисунке 1.1. Если заточка электрода произведена на крупнозернистом абразивном круге или поперек оси электрода, гребни царапин, образовавшиеся при обработке, могут расплавиться при сварке и вызвать загрязнение сварного шва.

Вольфрам имеет большую твердость, чем большинство абразивных кругов, следовательно, и обрабатывать его нужно на алмазном круге или абразивном круге из боразона. На абразивном круге, на котором производится заточка вольфрамовых электродов, не должны обрабатываться никакие другие материалы. Частицы инородного материала, оставшиеся между зернами абразивного круга, затираются в царапины при заточке электрода. При сварке они постепенно переходят в сварочную ванну, вызывая тем самым загрязнение металла зоны сварки [22].

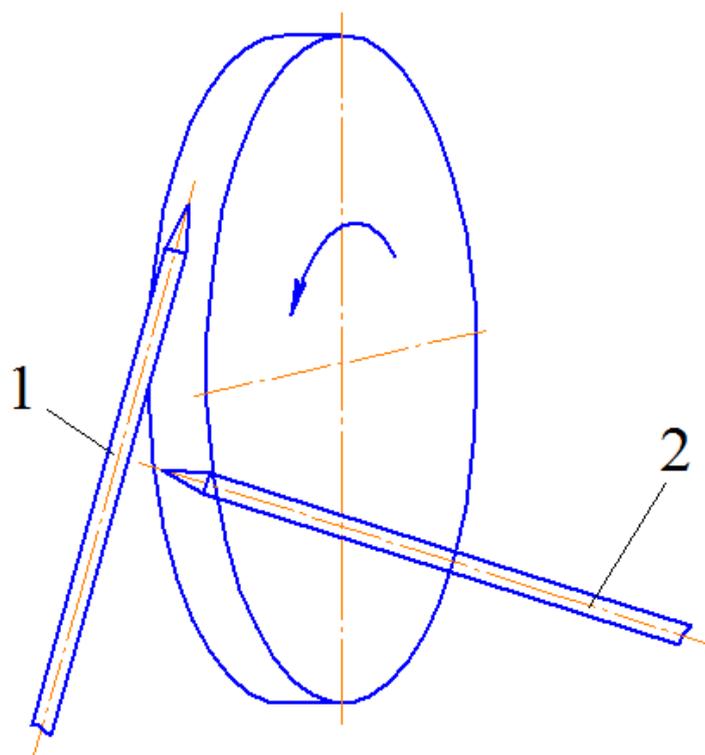


Рисунок 1.1 – Образец выполнения заточки электрода

1 – правильно; 2 – неправильно.

Известно, что форма заточки рабочей поверхности вольфрамового электрода определяет такие характеристики сварочной дуги, как распределение энергии и давление, оказываемое на сварочную ванну [29]. Благодаря этому можно обеспечить благоприятное воздействие на процесс сварки. С увеличением давления, которое определяется величиной притупления заострённой части рабочей поверхности электрода, повышается глубина проплавления и улучшается форма шва [21].

Заточка электродов - тема, на которую существует множество дискуссий. Существует множество мнений и теорий об остроте конца электрода. При различной величине угла заточки электрода  $\alpha$  изменяется ширина сварного шва, величина зоны термического влияния, устойчивость процесса сварки, глубина проплавления [23]. Согласно теории сварочных процессов, геометрическая форма рабочей поверхности электрода зависит от рода тока. Поскольку при сварке на постоянном токе прямой полярности большая часть энергии выделяется в свариваемом изделии, для электрода предпочтительна коническая

форма с острым или притуплённым концом. При этом угол заточки должен составлять  $14 \dots 60^\circ$ , а длина конуса заточки должна быть равна  $2 \dots 2,5$  диаметрам электрода (рисунок 1.2). Электродом с заостренным концом предпочтительно сваривать очень тонкие металлы ( $0,125-1,0$  мм). Вольфрамовые электроды марки ЭВЧ и электроды, легированные лантаном, подготовленные для сварки на переменном токе, имеют сферическую или шарообразную форму рабочего конца электрода, что является причиной оплавления ранее заострённой рабочей части электрода. Диаметр сферы должен быть не более  $1,5$  диаметра электрода.

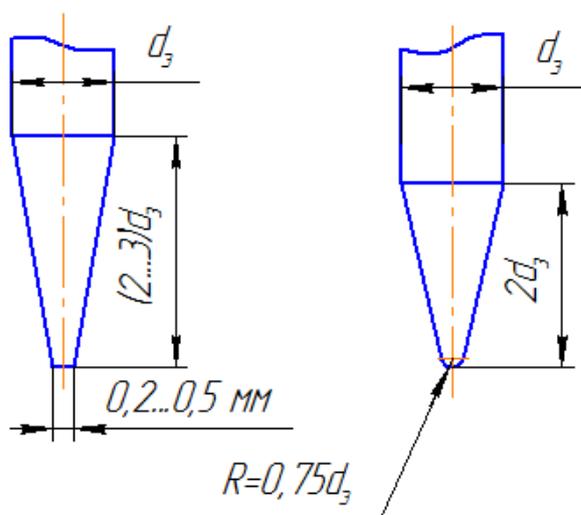


Рисунок 1.2 – Требования к заточке рабочей поверхности вольфрамового электрода

При большом сварочном токе и малом размере сферы возможна эрозия электрода и загрязнение металла сварного шва вольфрамовыми включениями. При большом диаметре сферы и малом сварочном токе дуга подвержена хаотическому перемещению за счёт блуждания катодных пятен.

При сварке более толстого металла желательно притуплять конец электрода, иначе может произойти перегрев и расплавление кончика электрода, вызывая при этом загрязнение металла сварного шва.

#### 1.4 Пути повышения качества сварных соединений из алюминиевых сплавов

Для получения высококачественных сварных конструкций из алюминия и его сплавов необходимо преодолеть ряд проблем, вызванных их специфическими физико-химическими свойствами, такими как склонность к пористости и к образованию холодных и горячих трещин, имеют высокую степень сродства к кислороду, а также высокий коэффициент термического расширения [4, 25]. Для повышения качества сварных соединений из алюминиевых сплавов измельчают структуру [25, 26], для этого подавляют направленный рост кристаллов за счет спонтанного возникновения новых центров кристаллизации в объеме жидкой фазы при колебаниях температуры в зоне кристаллизации. Эти условия обеспечиваются при перемешивании расплава под воздействием реверсируемого магнитного поля [25, 26] и при воздействии на дугу внешнего магнитного поля для низкочастотного колебания дуги в пространстве. Данные воздействия обеспечивают уменьшение склонности к образованию горячих трещин, снижается пористость сварного шва, ширина зоны термического влияния уменьшается, герметичность соединений повышается, и, следовательно, повышается качество сварного соединения.

Однако, использование этих способов при ручной аргодуговой сварке не представляется возможным, в следствии необходимости расположения массивных магнитных индукторов на сварочной горелке.

Как показали многочисленные исследования [13, 27, 28, 29 и др.], эффективным способом воздействия на качество сварки является периодическое изменение тепловой мощности дуги при амплитудной модуляции сварочного тока.

## 1.5 Применение переменного прямоугольного тока при сварке алюминиевых сплавов

Использование переменного прямоугольного тока для аргонодуговой сварки получило развитие в 1960-х годах [30, 31]. Основными преимуществами этой формы тока (рисунок 1.3) являются:

- расширение технологических возможностей процесса сварки благодаря возможности отдельной регулировки величины тока дуги прямой полярности, величины тока дуги обратной полярности, периода горения дуги прямой полярности, периода горения дуги обратной полярности.

- повышение стабильности горения дуги благодаря сокращению длительности коммутационных процессов при смене полярности тока.

Как показали многочисленные исследования [30, 31, 32, 33 и др.], асимметрия параметров режима горения дуги прямой и обратной полярности оказывает существенное влияние на целый ряд характеристик процесса сварки. Увеличение продолжительности горения дуги прямой и обратной полярностей [31, 32, 36, 37] и увеличение соотношения их величин тока [32, 34, 35] приводит к повышению глубины проплавления свариваемого металла, что объясняется присутствующей постоянной составляющей тока в сварочной цепи [32]. Для снижения тепловой нагрузки на вольфрамовый электрод, что повышает его стойкость, снижают энергию дуги обратной полярности [33, 34].

Соотношение длительностей горения дуги прямой и обратной полярностей определяет ширину шва [30, 31]. Так при уменьшении этого соотношения, за счет увеличения продолжительности горения дуги обратной полярности, ширина шва возрастает. При этом зависимость ширины шва от частоты не определена. В работе [36] авторами было зафиксировано уменьшение ширины шва при снижении частоты тока с 50 до 20 Гц. Однако в работе [33] при изменении частоты прямоугольного тока с 25 до 1000 Гц ширина шва практически не изменялась.

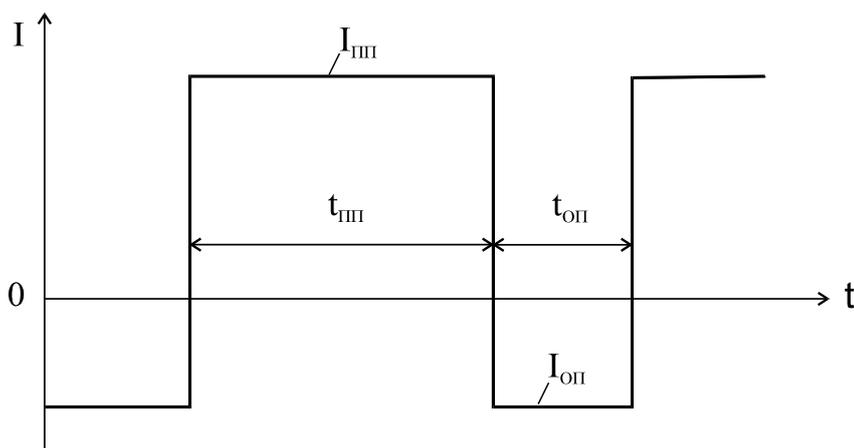


Рисунок 1.3 – Временная диаграмма тока в сварочной цепи:

$I_{\text{ПП}}$  - ток дуги прямой полярности;

$I_{\text{ОП}}$  - ток дуги обратной полярности;

$t_{\text{ПП}}$  - период горения дуги прямой полярности;

$t_{\text{ОП}}$  - период горения дуги обратной полярности.

Особое внимание в работах [30, 32, 33] уделено влиянию параметров режима горения дуги на эффективность катодного распыления поверхностной оксидной пленки. Критерием эффективности этого процесса являлась ширина зоны катодного распыления. Показано, что с увеличением соотношения периодов горения дуги прямой и обратной полярности ширина зоны катодного распыления уменьшается. При частоте переменного тока 100 Гц максимальным является соотношение периодов 11/1, так как в этом случае ширина зоны катодного распыления соизмерима с шириной шва [30].

Асимметрия параметров режима горения дуги прямой и обратной полярности является причиной пульсации её давления с частотой переменного тока. Динамическое воздействие на расплав сварочной ванны повышает плотность металла шва и способствует измельчению его структуры, что повышает конструкционную прочность соединения [31]. Оптимальными являются частоты переменного тока в диапазоне 30...60 Гц. При больших значениях частоты, в частности, свыше 300 Гц, пульсация давления дуги уменьшается и снижается прочность сварных соединений [36]. Применение

низкочастотной модуляции переменного прямоугольного тока интенсифицирует воздействие дуги на сварочную ванну [35].

Асимметрия параметров режима горения дуги прямой и обратной полярности оказывает влияние на стабильность горения дуги и ее пространственную устойчивость [32, 36, 37]. В работе [9] показана возможность повышения стабильности горения дуги за счет увеличения соотношения периодов протекания тока прямой и обратной полярности.

#### 1.6 Источники питания для аргодуговой сварки алюминиевых сплавов

Непрерывное совершенствование источников питания для сварки обусловлено разработкой новых технологических процессов и развитием элементной базы силовой электроники. Применение современных силовых полупроводниковых приборов и электронных систем управления в источниках питания способствует повышению точности регулирования и стабилизации параметров режима сварки, улучшению динамических свойств и расширению их технологических возможностей. В частности, применение полупроводниковых преобразователей, с целью формирования в сварочной цепи переменного прямоугольного тока, способствует повышению стабильности горения дуги при сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом и обеспечивает возможность управления тепловложением в электрод и изделие [31].

В зависимости от принципа построения силовых схем, источники питания для аргодуговой сварки алюминиевых сплавов переменным током с прямоугольной формой волны можно разделить на следующие типы:

- а) преобразующие постоянный ток сварочного выпрямителя;
- б) преобразующие однофазный переменный синусоидальный ток сварочного трансформатора;
- в) с промежуточным высокочастотным преобразованием энергии питающей сети;
- г) с индуктивными накопителями энергии.

## 2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является проплавление пластин из алюминиевого сплава вольфрамовым электродом в среде аргона переменным током с различной формой волны.

При проведении экспериментальных исследований применяли сварочное оборудование Matrix 200 AC/DC. Амплитудно-временные параметры режима начального зажигания дуги регистрировали цифровым осциллографом АКПП-4122/1V, при этом характер оплавления рабочей поверхности электрода оценивали визуально. Измерение параметров, характеризующих величину проплавления алюминиевой пластины, и ширину зоны катодной очистки производили с помощью штангенциркуля.

3 Исследование влияния параметров режима горения дуги переменного тока на форму проплавления, ширину зоны катодной очистки и стойкость вольфрамового электрода

### 3.1 Установка для проведения экспериментальных исследований

На рисунке 3.1 представлен экспериментальный стенд, в состав которого входят: сварочный аппарат Matrix 200 AC/DC – 1; баллон с аргоном высшего сорта – 2; газовый редуктор – 3; каркас – 4; устройство корректировки положения сварочной горелки – 5; сварочная горелка – 6; устройство для фиксации оплавляемых пластин – 7; тележка от сварочного автомата АДСВ-2 – 8; блок регулировки скорости сварки – 9.

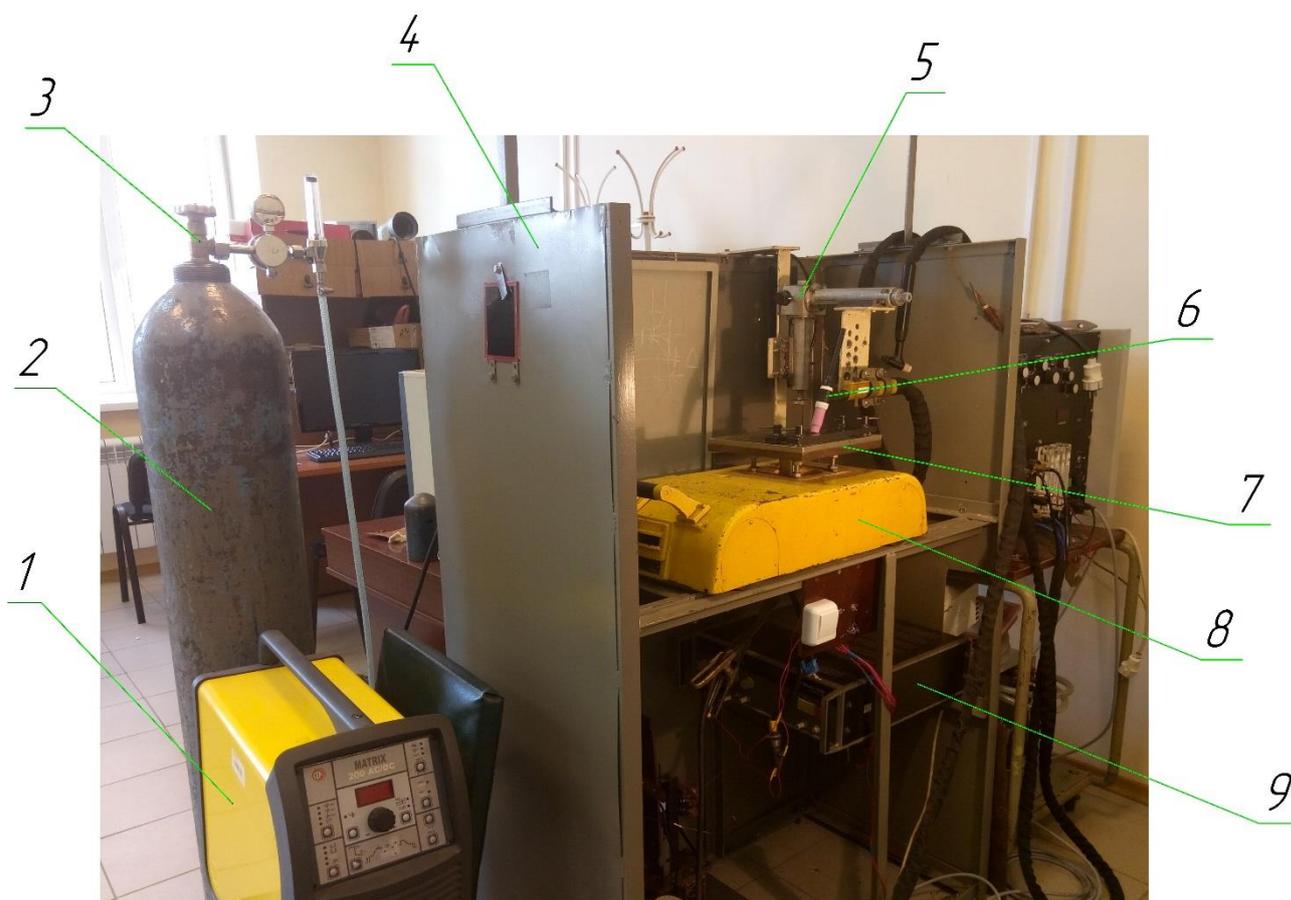


Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка

Данная установка позволяет регулировать скорость в пределах 5...15,5 м/ч (пониженная передача) и в пределах 6...44,5 м/ч (повышенная передача).

Технические характеристики аппарата Matrix 200 AC/DC представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Технические характеристики источника питания Matrix 200 AC/DC

Технические данные	Ед. изм.	TIG	MMA
Однофазное электропитание 50/60 Гц	В	230±20%	
Диапазон значений тока	А	5...200	5...160
Входная мощность при $I_2 \max$	кВА	3,8	
Напряжение холостого хода	В	100	100
Ток при ПВ (ПН) 100% ( $T=40^\circ$ )	А	130	105
Ток при ПВ (ПН) 60% ( $T=40^\circ$ )	А	200	125
Ток при ПВ (ПН) 30% ( $T=40^\circ$ )	А	110	160
Класс изоляции		F	
Класс защиты	IP	23	
Размеры	мм	560x220 x425	
Вес	кг	18	

Внешний вид источника питания Matrix 200 AC/DC приведен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Внешний вид источника питания Matrix 200 AC/DC

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 3.3.

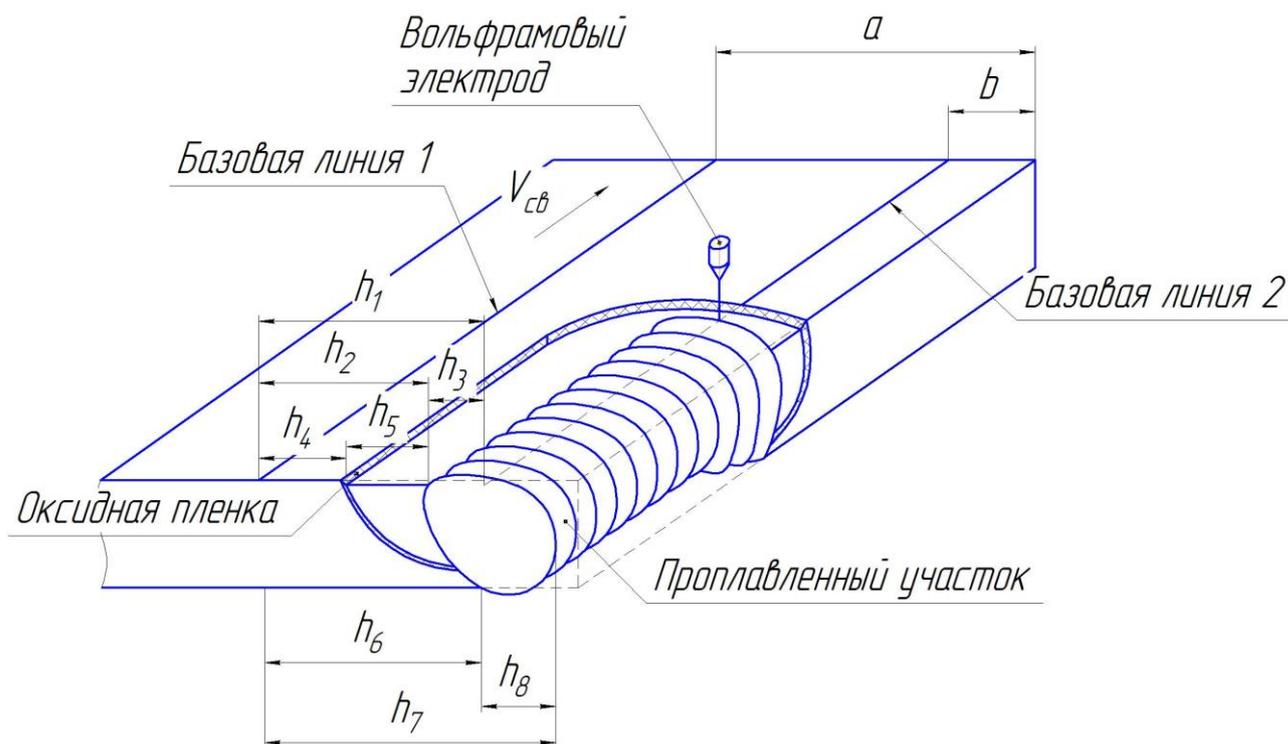


Рисунок 3.3 – Схема проведения эксперимента

Перед экспериментом были подготовлены алюминиевые пластины размером 100x50x3 мм из сплава А7М [38]. На пластинах были размечены:

- линия 1 – на расстоянии «а», равном 10 мм, от края пластины с обеих сторон, которая является базовой линией для последующих измерений;
- линия 2 – на расстоянии «b», равном 5 мм, от края пластины.

Подготовленные пластины фиксировали в устройстве 7 (рис. 3.1). По нанесенной на пластине базовой линии 2 корректировали положение рабочей поверхности электрода. Перемещения сварочной горелки осуществляли с помощью устройства 5 в горизонтальной плоскости, а также в вертикальной плоскости с целью установления заданного межэлектродного промежутка (2 мм).

Настройка режимов проплавления на аппарате Matrix 200 AC/DC была проведена согласно инструкции [39]. Варьируемые и фиксированные параметры режима горения дуги приведены в таблице 3.2. В качестве неплавящегося электрода использовали торированный вольфрамовый электрод WT-20 [20]

диаметром 1,6 мм, который перед экспериментом подготавливали согласно пункту 1.3. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта [40].

Протяженность проплавления составляла 42...45 мм.

Таблица 3.2 – Фиксированные и варьируемые параметры режима горения дуги

Параметр	Значение
Сварочный ток ( $I_{св}$ ), А	90
Скорость движения тележки ( $V_{св}$ ), м/ч	9
Частота тока (f), Гц	50
	100
	150
Соотношение продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности (R), %	85/15 (-35)
	70/30 (-20)
	50/50 (0)
Длина межэлектродного промежутка, мм	2
Диаметр электрода, мм	1,6
Программируемый диаметр электрода установленного в сварочную горелку (режим TIG), мм	1,0
	1,6
	2,4
Расход газа, л/мин	7

Геометрические параметры полученных проплавлений ( $h_3$ ,  $h_8$ ), а также ширина зоны катодной очистки ( $h_5$ ), были измерены с использованием штангенциркуля относительно линии 1. Вычисление этих параметров осуществляли согласно выражениям 3.1-3.3.

$$h_3 = h_1 - h_2; \quad (3.1)$$

$$h_5 = h_2 - h_4; \quad (3.2)$$

$$h_8 = h_6 - h_7. \quad (3.3)$$

Фиксирование геометрических параметров оплавленного участка и ширины зоны катодной очистки осуществляли 3 раза на расстоянии 15 мм от

начала проплавления с шагом 5 мм. Результаты измерений представлены в приложении Б.

Во второй части эксперимента дугу зажигали на расстоянии 2 мм. При этом были получены осциллограммы начального импульса тока. Регистрацию амплитудно-временных параметров тока в сварочной цепи осуществляли цифровым осциллографом АК ИП 4122/1V, при этом после каждого изменения программируемого диаметра электрода была проведена фотосъемка оплавленного участка его рабочей поверхности. При каждой смене формы волны, отношения прямой и обратной полярностей, частоты тока была осуществлена заточка электрода согласно пункту 1.3 на угол  $30^\circ$  с притуплением 0,2...0,5 мм.

### 3.2 Экспериментальные исследования влияния параметров режима горения дуги переменного тока на характер проплавления

Анализируя полученные данные из приложения Б были построены графики (рисунки 3.4...3.9).

На рисунке 3.4 представлены зависимости ширины проплавления от частоты и формы волны при фиксированном токе ( $I_{св}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{св}$ ) 9 м/ч:

-  $h_3=f(f_1)$  зависимость ширины проплавления от частоты тока при синусоидальной форме волны;

-  $h_3=f(f_2)$  зависимость ширины проплавления от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 85% к 15%;

-  $h_3=f(f_3)$  зависимость ширины проплавления от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 70% к 30%;

-  $h_3=f(f_4)$  зависимость ширины проплавления от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 50% на 50%.

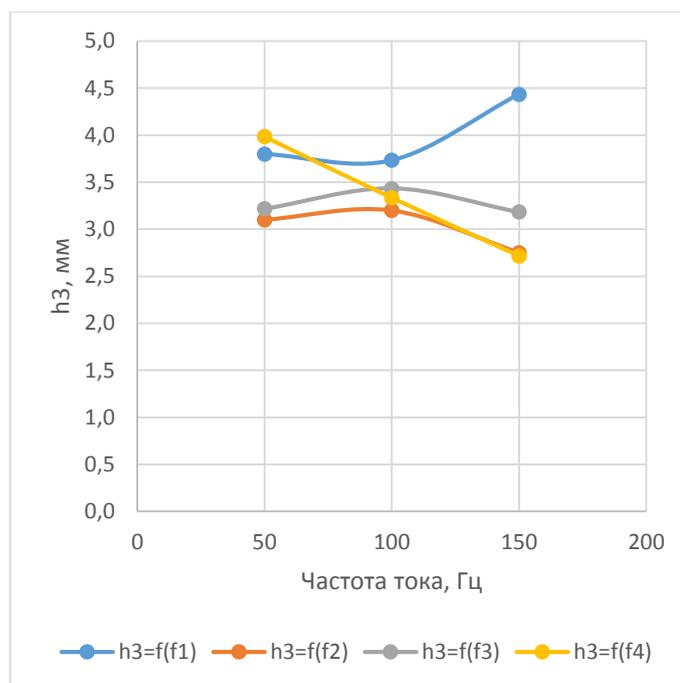


Рисунок 3.4 – Зависимость ширины проплавления от частоты переменного тока

Увеличение частоты переменного тока при синусоидальной форме волны приводит к увеличению ширины проплавления на 19%, однако при прямоугольной форме волны она уменьшается.

Увеличение соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности с 50%/50% до 85%/13% приводит к уменьшению ширины проплавления при частоте тока 50 Гц на 24%, но с увеличением частоты тока ширина проплавления становится одинаковой независимо от соотношения длительностей горения дуги прямой и обратной полярностей.

На рисунке 3.5 представлены зависимости ширины зоны катодной очистки от частоты и формы волны при фиксированном токе ( $I_{св}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{св}$ ) 9 м/ч:

- $h_5=f(f_1)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от частоты тока при синусоидальной форме волны;

- $h_5=f(f_2)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 85% к 15%;

-  $h_5=f(f_3)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 70% к 30%;

-  $h_5=f(f_4)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 50% на 50%.

Увеличение частоты переменного тока с 50 Гц до 150 Гц при синусоидальной форме волны приводит к уменьшению ширины зоны катодной очистки на 35%, в отличие от прямоугольной формы волны, в этом случае она увеличивается. При этом чем больше продолжительность прямой полярности, тем меньше изменяется ширина зоны катодной очистки. Увеличение частоты тока с 50 Гц до 150 Гц при соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 50% на 50% приводит к увеличению ширины зоны катодной очистки на 55%.

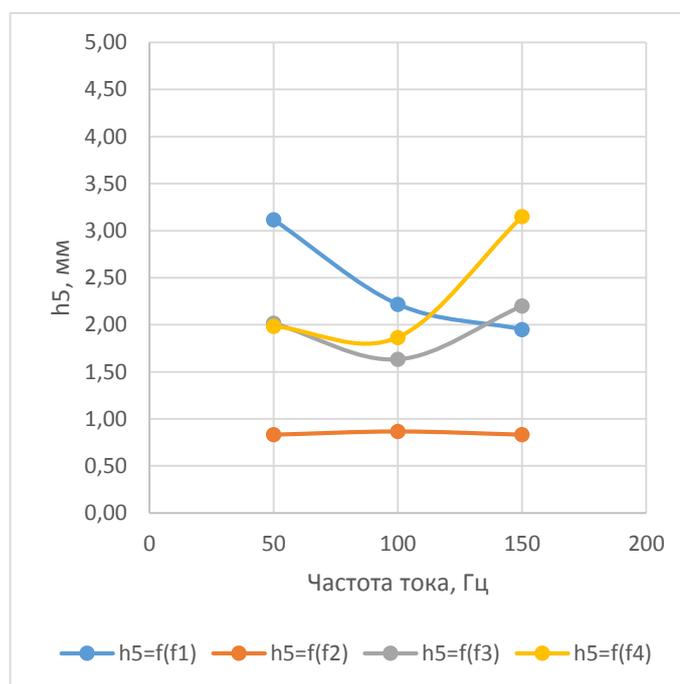


Рисунок 3.5 – Зависимость ширины зоны катодной очистки от частоты переменного тока

На рисунке 3.6 представлены зависимости ширины обратного валика от частоты и формы волны при фиксированном токе ( $I_{cb}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{cb}$ ) 9 м/ч:

-  $h_8=f(f_1)$  зависимость ширины обратного валика от частоты тока при синусоидальной форме волны;

-  $h_8=f(f_2)$  зависимость ширины обратного валика от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 85% к 15%;

-  $h_8=f(f_3)$  зависимость ширины обратного валика от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 70% к 30%;

-  $h_8=f(f_4)$  зависимость ширины обратного валика от частоты тока при прямоугольной форме волны и соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности 50% на 50%.

Увеличение частоты переменного тока с 50 Гц до 150 Гц при синусоидальной форме волны приводит к увеличению ширины обратного валика на 24%, в отличие от прямоугольной формы волны, в этом случае она уменьшается и при частоте 150 Гц проплавление отсутствует.

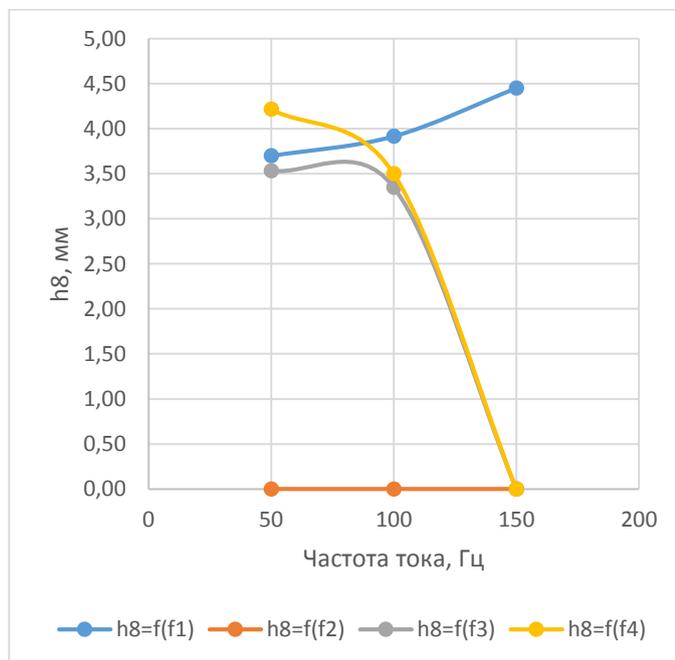


Рисунок 3.6 – Зависимость ширины обратного валика от частоты переменного тока

На рисунке 3.7 представлены зависимости ширины проплавления от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при фиксированном токе ( $I_{св}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{св}$ ) 9 м/ч:

-  $h_3=f(R1)$  зависимость ширины проплавления от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 50 Гц;

-  $h_3=f(R2)$  зависимость ширины проплавления от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 100 Гц;

-  $h_3=f(R3)$  зависимость ширины проплавления от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 150 Гц.

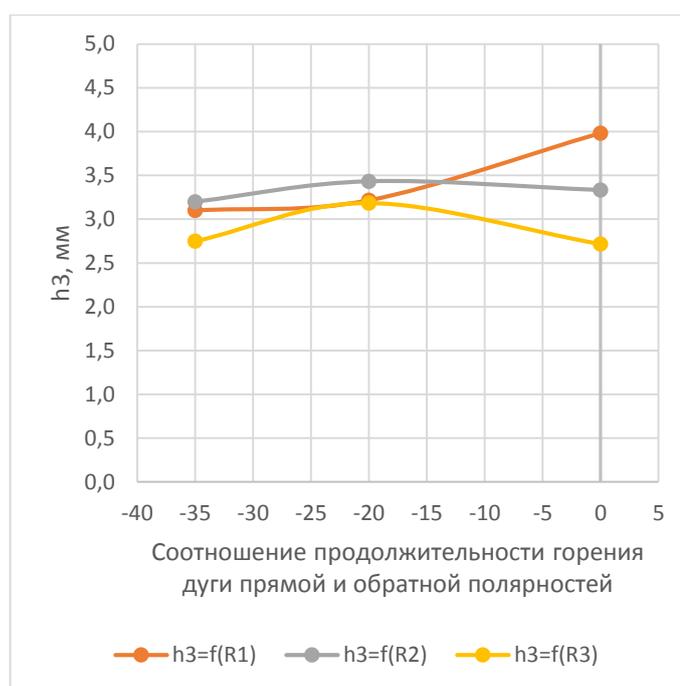


Рисунок 3.7 – Зависимость ширины проплавления от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности

Уменьшение соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности приводит к незначительному изменению ширины проплавления. При заданном равном (50% на 50%) соотношении продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности увеличение

частоты тока с 50 Гц до 150 Гц приводит к уменьшению ширины проплавления на 35%.

На рисунке 3.8 представлены зависимости ширины зоны катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при фиксированном токе ( $I_{св}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{св}$ ) 9 м/ч:

-  $h_5=f(R1)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 50 Гц;

-  $h_5=f(R2)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 100 Гц;

-  $h_5=f(R3)$  зависимость ширины зоны катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 150 Гц.

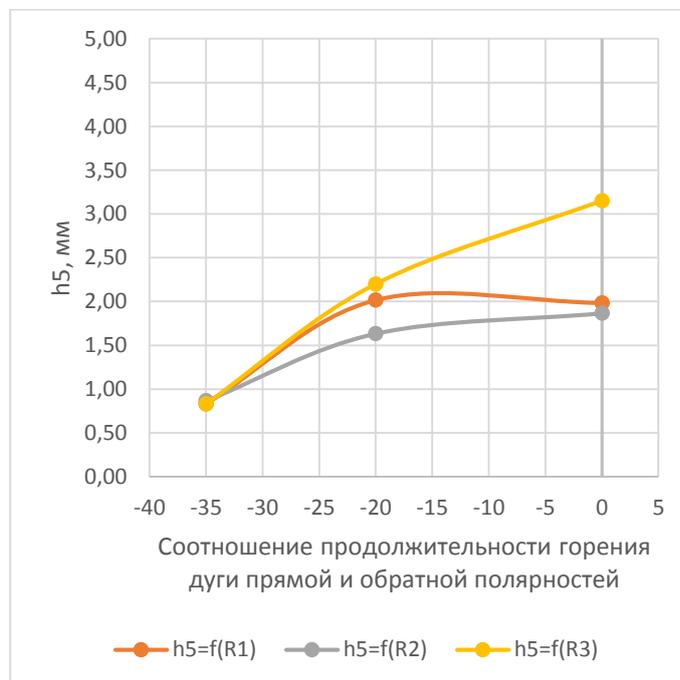


Рисунок 3.8 – Зависимость ширины зоны катодной очистки от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности

Уменьшение соотношения длительности горения дуги прямой и обратной полярности с 85%/15% до 50%/50% приводит к увеличению ширины зоны

катодной очистки. Так при частоте переменного тока 150 Гц ширина зоны катодной очистки при уменьшении соотношения возрастает на 250%.

На рисунке 3.9 представлены зависимости ширины обратного валика от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при фиксированном токе ( $I_{cb}$ ) 90 А и скорости движения тележки ( $V_{cb}$ ) 9 м/ч:

-  $h_8=f(R1)$  зависимость ширины обратного валика от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 50 Гц;

-  $h_8=f(R2)$  зависимость ширины обратного валика от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 100 Гц;

-  $h_8=f(R3)$  зависимость ширины обратного валика от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности при прямоугольной форме волны с частотой тока 150 Гц.

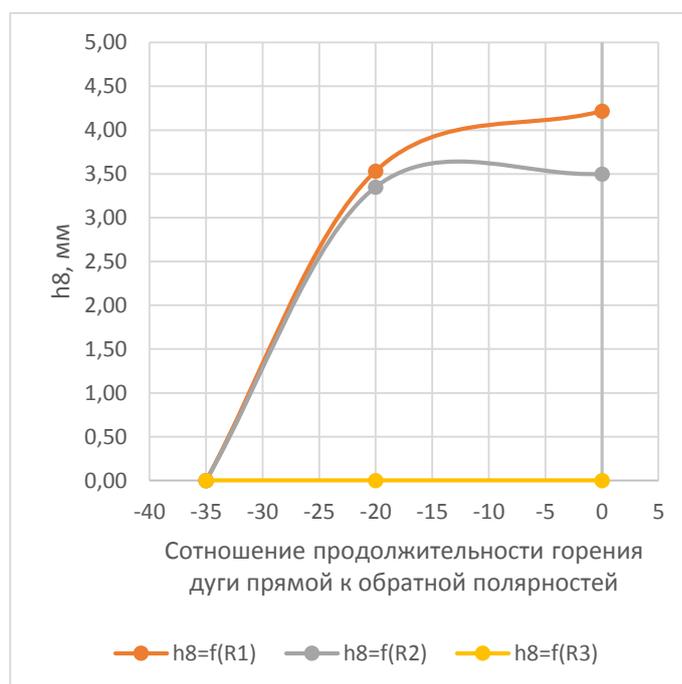


Рисунок 3.9 – Зависимость ширины обратного валика от соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности

При частоте переменного тока 50 Гц и 100 Гц уменьшение соотношения продолжительности горения дуги прямой и обратной полярности с 85%/15% до 50%/50% приводит к увеличению ширины обратного валика, при этом

увеличение частоты тока до 150 Гц существенно снижает проплавляющую способность дуги, о чем свидетельствует отсутствие обратного валика.

3.3 Экспериментальные исследования влияния параметров режима зажигания и горения дуги переменного тока на стойкость вольфрамового электрода

Амплитудно-временные параметры начального импульса тока при зажигании дуги представлены на осциллограммах (рисунки 3.10, 3.12, 3.14, 3.16, 3.18, 3.20, 3.22, 3.24). При этом изменения состояния рабочей поверхности вольфрамового электрода показано на рисунках 3.11, 3.13, 3.15, 3.17, 3.19, 3.21, 3.23, 3.25.

На рисунке 3.10 (а, б) представлена осциллограмма при синусоидальной форме волны, заданном диаметре электрода 1,0 мм, диаметре торированного электрода 1,6 мм, токе 90 А, частоте тока 50 Гц и скорости движения тележки 9 м/ч.

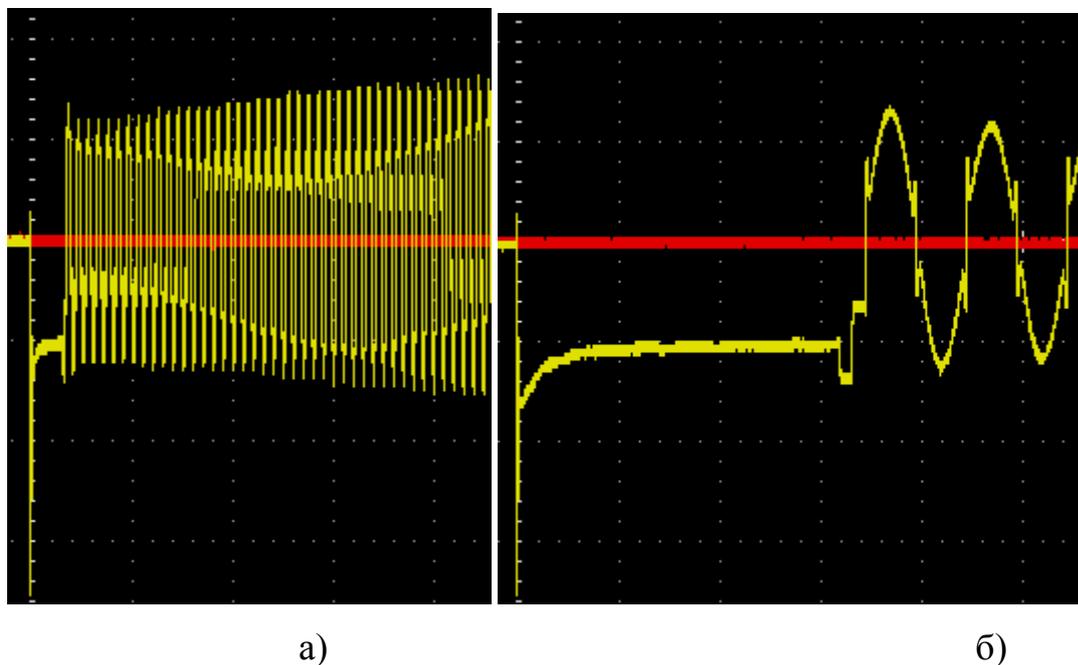


Рисунок 3.10 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=20$  мс/дел.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (50 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 64 мс.

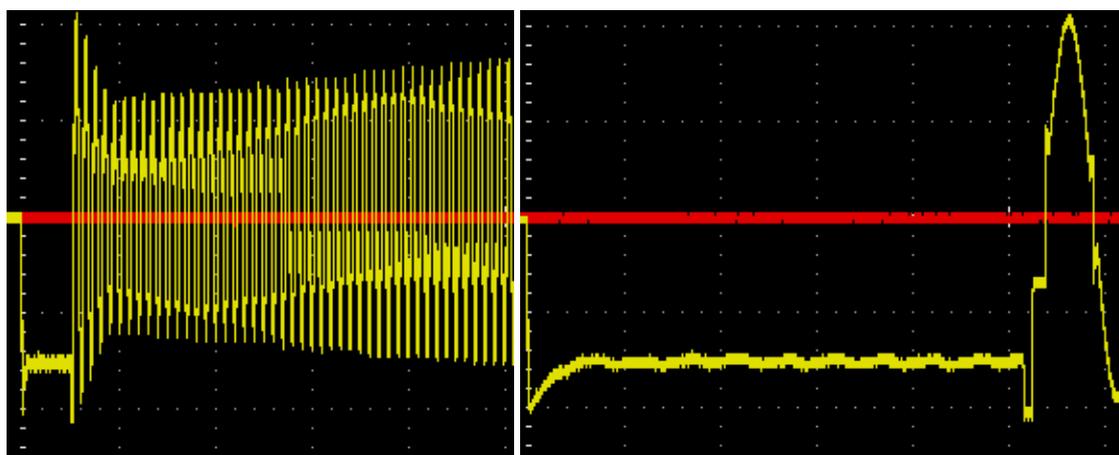
На рисунке 3.11 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования заданного режима.



Рисунок 3.11 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Выбранный режим начального зажигания дуги не является оптимальным, о чем свидетельствует неравномерное оплавление рабочей поверхности электрода (рисунок 3.11). При этом следы подготовки рабочей поверхности электрода отсутствуют.

На рисунке 3.12 (а, б) представлена осциллограмма при синусоидальной форме волны, заданном диаметре электрода 1,6 мм, диаметре торированного электрода 1,6 мм, токе 90 А, частоте тока 50 Гц и скорости движения тележки 9 м/ч.



а)

б)

Рисунок 3.12 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=20$  мс/дел.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (80 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 104 мс.

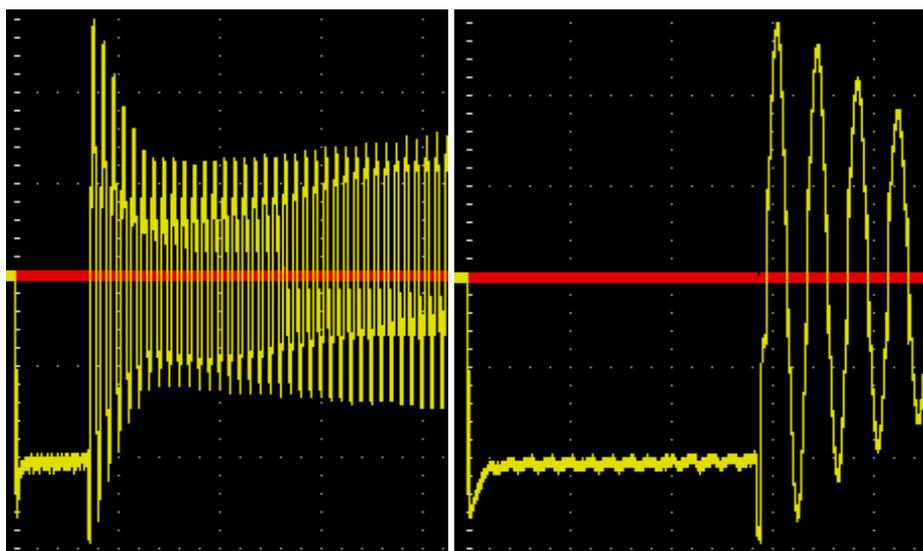
На рисунке 3.13 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования заданного режима.



Рисунок 3.13 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

На рабочем конце электрода образовалась сферическая поверхность, размерами соизмеримыми с его диаметром.

На рисунке 3.14 (а, б) представлена осциллограмма при синусоидальной форме волны, заданном диаметре электрода 2,4 мм, диаметре торированного электрода 1,6 мм, токе 90 А, частоте тока 50 Гц и скорости движения тележки 9 м/ч.



а)

б)

Рисунок 3.14 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=50$  мс/дел.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (100 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 140 мс.

На рисунке 3.15 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования заданного режима.



Рисунок 3.15 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Выбранный режим начального зажигания дуги не является оптимальным, о чем свидетельствует образование деформированной сферической поверхности размерами существенно больше диаметра электрода (рисунок 3.15). Это свидетельствует о большом тепловложении в анод. При этом следы подготовки рабочей поверхности электрода отсутствуют.

С увеличением амплитуды и продолжительности импульса обратной полярности в начальный момент зажигания дуги происходит увеличение тепловложения в вольфрамовый электрод. Оптимальным для синусоидальной формы волны является использование вольфрамового электрода диаметром равного программируемому.

На рисунке 3.16 (а, б) представлена осциллограмма при прямоугольной форме волны, заданном диаметре электрода 1,0 мм, диаметре торированного электрода 1,6 мм, токе 90 А, скорости движения тележки 9 м/ч, отношении прямой и обратной полярности 85% к 15% и частоте тока 50 Гц.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (50 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 64 мс.

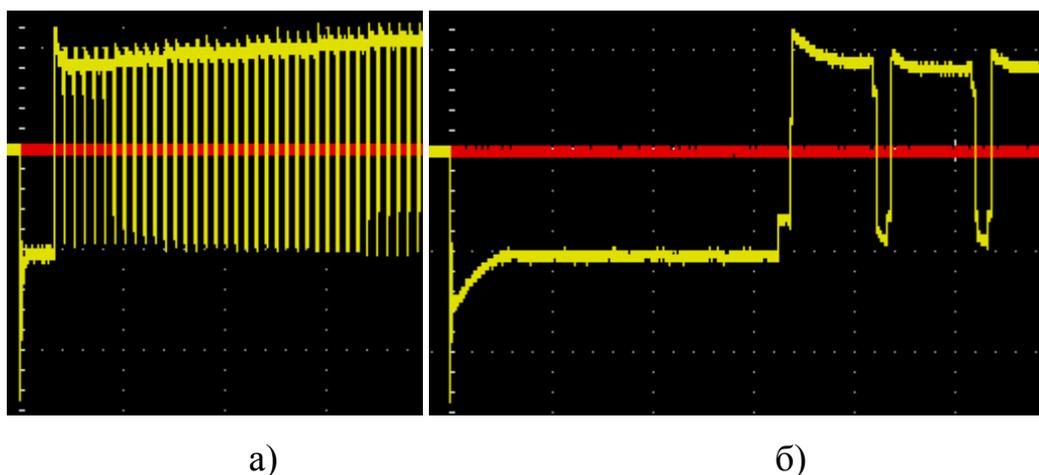


Рисунок 3.16 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=20$  мс/дел.

На рисунке 3.17 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования на заданном режиме.



Рисунок 3.17 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

При использовании выбранного режима зажигания дуги на рабочей поверхности электрода образуется полусфера диаметром 0,6 мм, при этом сохранились следы подготовки вольфрамового электрода.

На рисунке 3.18 (а, б) представлена осциллограмма при прямоугольной форме волны, заданном диаметре электрода 1,6 мм, диаметре торированного электрода 1,6 мм, токе 90 А, скорости движения тележки 9 м/ч, отношении прямой и обратной полярности 85% к 15% и частоте тока 50 Гц.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (80 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 104 мс.

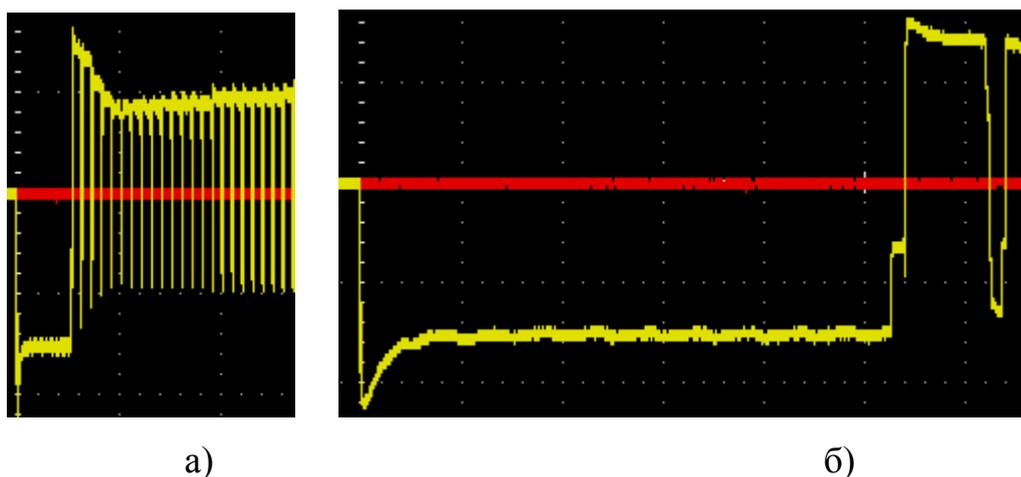


Рисунок 3.18 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=20$  мс/дел.

На рисунке 3.19 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования на заданном режиме.



Рисунок 3.19 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Оплавление рабочей поверхности возрастает, что свидетельствует о увеличении тепловложения в анод. Следы подготовки рабочей поверхности электрода сохранились.

На рисунке 3.20 (а, б) представлена осциллограмма при прямоугольной форме волны, заданном диаметре электрода 1,6 мм, диаметре торированного электрода 2,4 мм, токе 90 А, скорости движения тележки 9 м/ч, отношении прямой и обратной полярности 85% к 15% и частоте тока 50 Гц.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (100 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 140 мс.

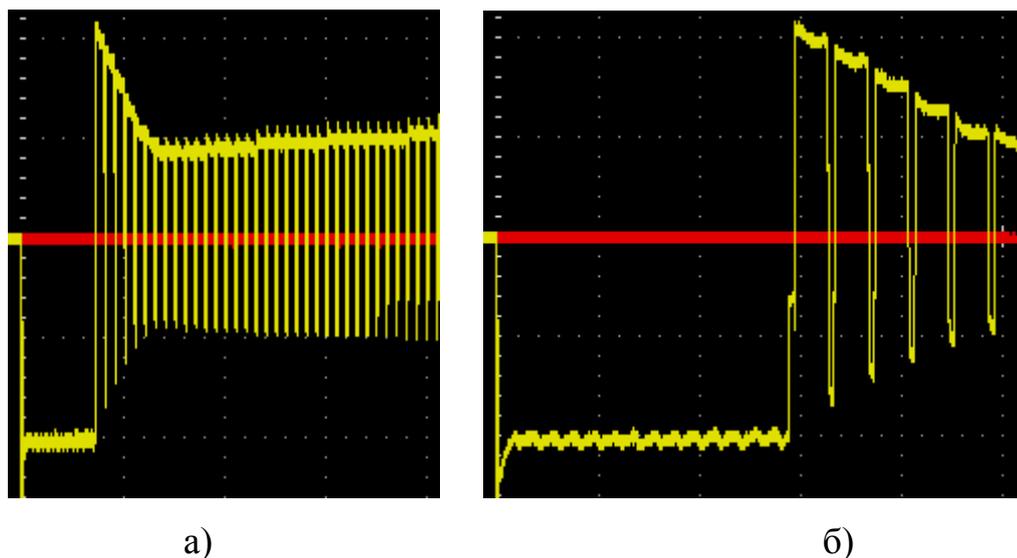


Рисунок 3.20 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=50$  мс/дел.

На рисунке 3.21 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования на заданном режиме.



Рисунок 3.21 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Выбранный режим начального зажигания дуги не является оптимальным, о чем свидетельствует образование сферической поверхности размерами соизмеримыми с диаметром электрода (рисунок 3.21). Это свидетельствует о больших тепловложениях в анод. При этом следы подготовки рабочей поверхности электрода отсутствуют.

На рисунке 3.22 (а, б) представлена осциллограмма при прямоугольной форме волны, заданном диаметре электрода 1,6 мм, диаметре торированного электрода 2,4 мм, токе 90 А, скорости движения тележки 9 м/ч, отношении прямой и обратной полярности 50% на 50% и частоте тока 50 Гц.

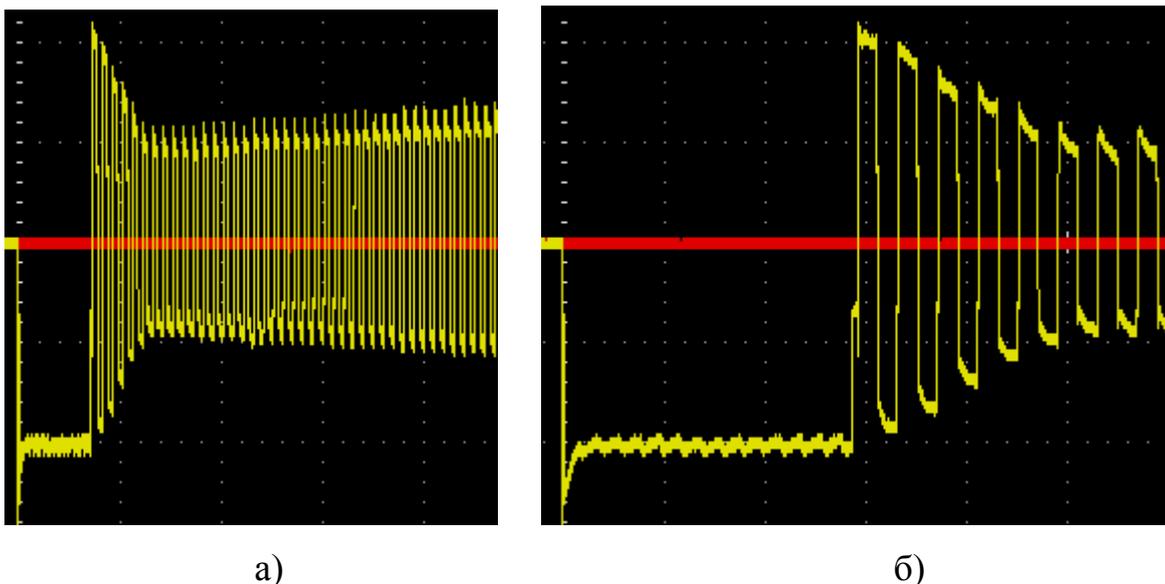


Рисунок 3.22 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_i=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=50$  мс/дел.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (100 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 140 мс.

На рисунке 3.23 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования на заданном режиме.



Рисунок 3.23 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Выбранный режим начального зажигания дуги не является оптимальным, о чем свидетельствует образование деформированной сферической поверхности размерами соизмеримыми с диаметром электрода (рисунок 3.23). Это свидетельствует о больших тепловложениях в анод. При этом следы подготовки рабочей поверхности электрода отсутствуют.

На рисунке 3.24 (а, б) представлена осциллограмма при прямоугольной форме волны, заданном диаметре электрода 1,6 мм, диаметре торированного электрода 2,4 мм, токе 90 А, скорости движения тележки 9 м/ч, отношении прямой и обратной полярности 85% к 15% и частоте тока 150 Гц.

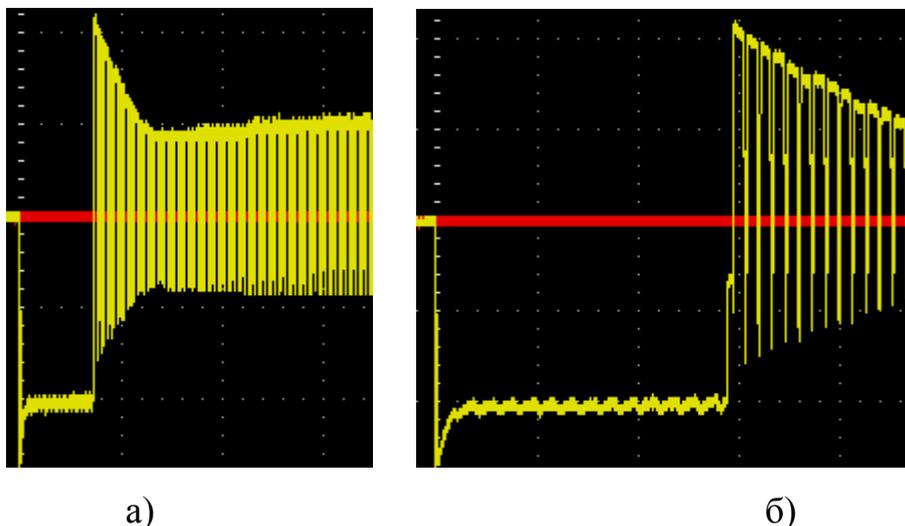


Рисунок 3.24 – Осциллограмма тока в начальный период существования дуги  $\mu_t=50$  А/дел.; а –  $\mu_t=200$  мс/дел.; б –  $\mu_t=50$  мс/дел.

Начальное зажигание дуги осуществляется на постоянном токе обратной полярности (100 А). При этом длительность горения дуги постоянного тока равна 140 мс.

На рисунке 3.25 представлена рабочая поверхность вольфрамового электрода после использования на заданном режиме.



Рисунок 3.25 – Рабочая поверхность вольфрамового электрода

Выбранный режим начального зажигания дуги не является оптимальным, о чем свидетельствует образование деформированной сферической поверхности размерами больше диаметра электрода (рисунок 3.25). Это свидетельствует о

больших тепловложениях в анод. При этом следы подготовки рабочей поверхности электрода отсутствуют.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В целевой рынок входят организации отраслей энергетики, коммунального хозяйства, пищевой промышленности, а также авиационной промышленности, т.е. отрасли в которых наблюдается широкое применение алюминиевых сплавов.

Для данных коммерческих организаций критерием сегментирования является строительство и ремонт. Сегментируем оборудование и технологию аргодуговой сварки модулированным прямоугольным переменным током алюминиевых сплавов по критериям строительство и ремонт. Так как никто не занимается этими разработками, данное направление не имеет конкуренцию.

Основными сегментами данного рынка являются атомная энергетика и авиационная промышленность, на них и будет направлена ориентация предприятия. В будущем возможна ориентация на пищевую промышленность и коммунальное хозяйство.

### 4.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 4.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
2. Затраты сварочного материала	0,2	5	1	5	1	0,2	1
3. Качество сварного соединения	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1 цена	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
2 Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3

## Продолжение таблицы 4.1

3 Конкурентно-способность работы	0,25	5	2	4	1,25	0,5	1
Итого	1	30	20	29	5	2,35	3,75

Где сокращения:  $B_{\phi}$ - Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом;  
 $B_{к1}$  – Механизированная сварка плавящимся электродом;  $B_{к2}$  – Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где:  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Итогом данного анализа является то, что метод предложенный в дипломе эффективнее, чем методы конкурентов.

#### 4.3 SWOT – анализ

SWOT анализ – это определение сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз по его осуществлению. Этот анализ проводят для выявления внешней и внутренней среды проекта. Проводится этот анализ в три этапа.

Первый этап.

Данный этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны проекта – это его факторы, которые характеризуют конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

К сильным сторонам проекта относятся:

Стабильное горение сварочной дуги – С1. Качественное формирование сварного шва – С2. Возможность сварки тонкостенных деталей – С3. Повышение производительности сварки за счет импульсного питания дуги – С4. Возможность использования технологии и оборудования для сварки других металлов – С5.

К слабым сторонам проекта относятся:

Акустический эффект – повышенный уровень шума при сварке – Сл.1.  
Отсутствие специализированного инструмента – Сл.2.

К возможностям проекта относятся:

Внедрение собственного способа сварки на рынке за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1. Финансовая поддержка спонсора – В2. Возможность закупки профессионального инструмента – В3.

К угрозам относятся:

Недостаток финансов на реализацию проекта – У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства – У2.

Второй этап.

Данный этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+
	В2	-	+	0	+	-
	В3	-	-	0	+	0

Третий этап.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 4.3 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Стабильное горение сварочной дуги – С1.</p> <p>Качественное формирование сварного шва – С2. Возможность сварки тонкостенных деталей – С3. Повышение производительности сварки за счет импульсного питания дуги – С4.</p> <p>Возможность использования технологии и оборудования для сварки других металлов – С5.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Акустический эффект – повышенный уровень шума при сварке – Сл.1.</p> <p>Отсутствие специализированного инструмента – Сл.2.</p>
<p>Возможности:</p> <p>Внедрение собственного способа сварки на рынке за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1.</p> <p>Финансовая поддержка спонсора – В2.</p> <p>Возможность закупки профессионального инструмента – В3.</p>	<p>Показ достоинств нашего способа сварки, на выставках, посвященных сварочным технологиям.</p> <p>Реклама в СМИ.</p> <p>Сотрудничество с аттестационными центрами по сварки, а также с НИИ.</p>	<p>Использование средств защиты слуха обеспечивающих безопасный уровень шума.</p> <p>Закупка необходимого специального инструмента за счет спонсора.</p>

## Продолжение таблицы 4.3

Угрозы: Недостаток финансов на реализацию проекта – У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства – У2.	Поиск спонсоров благодаря презентации способа сварки с демонстрацией достоинств.	Привлечение инвесторов-самых производителей специальных вспомогательных инструментов для сварки; взаимная работа с другими инновационными предприятиями с целью минимизации рисков не востребоваемости; поиск новых рынков.
--	--	---

## 4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 4.4 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Диаметр сварочной проволоки, мм	1	1.2	1
Б. Марка сварочной проволоки	Св-08А	Св-10Г2С	Св-04Х19Н9
В. Плазмообразующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Г. Стабилизирующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Д. Защитный газ	Ar	СО <sub>2</sub>	Пары металла и покрытия

Возможные варианты решения технической задачи:

- 1) А1Б1В2Г2Д3 – В первом случае, сварка низкоуглеродистых сталей при малых затратах на материал.
- 2) А2Б2В2Г2Д3 – Во втором случае, низкоуглеродистых или низколегированных сталей при малых затратах материал.

3) АЗБЗВ1Г1Д1 - В третьем случае, сварка хромистых (нержавеющих) сталей аустенитного класса, с повышенными требованиями к материалу.

#### 4.5 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

Устав проекта состоит из цели и результата проекта, организационной структуры проекта, ограничений и допущений проекта.

##### 4.5.1 Цели и результат проекта

В данном разделе приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ атомных реакторов ОАО Сибирский химический комбинат ЗАО «Авиастар-СП»	Получение технологии и оборудования разработанного способа сварки
Магазины комплектующих для сварочных аппаратов	Покупка деталей для сварочного оборудования

Таблица 4.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка и экспериментальное испытание технологии аргонодуговой сварки с амплитудно-временной модуляцией прямоугольного переменного тока
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка и аттестация технологии и оборудования, а также получение прибыли от их продажи.
Критерии приемки результата проекта:	Сертифицированное и аттестованное оборудование и технология.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Проект должен быть закончен в определенные сроки.
	Должна быть проведена соответствующая подготовка к продаже оборудования и технологии способа сварки.

#### 4.5.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определять роль каждого участника в данном проекте, а также необходимо прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Киселев Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры ОТСП НИ ТПУ	Руководитель проекта	отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	1000
2	Гордынец Антон Сергеевич, к.т.н., ассистент кафедры ОТСП НИ ТПУ	Исполнитель по проекту	специалист отвечающий за материальную часть проекта, программирование и разработку конструкции	700

## Продолжение таблицы 4.7

3	Алексеев Алексей Александрович	Исполнитель по проекту	специалист, выполняющий отдельные работы по проекту.	300
ИТОГО:				2000

## 4.5.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 4.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	250000 руб.
1.1. Источник финансирования	Собственные сбережения
2. Сроки проекта:	09.09.2014 – 5.06.2014
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	25.12.2013
2.2. Дата завершения проекта	5.06.2014

## 4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и оборудование.

Затраты на материал:

- Лист алюминиевого сплава АМг6 толщиной 1 мм, 150x500мм стоимость 800 руб. Стоимость с учетом транспортных расходов: 840 руб.
- Корпус сварочного аппарата 400 руб. Стоимость с учетом транспортных расходов: 420 руб.

- Диоды 500 руб. Тиристоры 1000 руб. Соединительные провода 300 руб. Дроссель 20 руб. Конденсаторы 130. Плата 200. Процессор 500. ЖК дисплей 800. С учетом транспортных расходов: 3500 руб.

Итого по статье: 4760 руб.

К статье «Специальное оборудование» можно отнести:

Ноутбук – стоимость с учетом транспортных расходов 17000 руб.

Осциллограф – стоимость с учетом транспортных расходов 13584 руб.

Мультиметр – стоимость с учетом транспортных расходов 925 руб.

Итого по статье: 31509 руб.

Расчет основной заработной платы.

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_m = Z_b \cdot k_p = 23264,86 \cdot 1,3 = 30243,2, \quad (4.2)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска)

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{T_{\text{р.м.}}} = \frac{30243,2}{22} = 1374,7, \quad (4.3)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$T_{\text{р.м.}}$  – количество рабочих дней в месяц (при 5-ти дневной рабочей недели  $T_{\text{р.м.}}=22$  раб.).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (доцент, к.т.н.) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 1374,7 \cdot 155 = 213078,5 \quad (4.4)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Произведем расчет заработной платы исполнителей по формулам 4.2, 4.3, 4.4 и внесем полученные данные в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы руководителя

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30243,2	1374,7	155	213078,5
Исполнитель 1	18221,96	1,3	23688,55	1076,7	140	150745,3
Исполнитель 2	8022,65	1,3	10429,45	474,1	130	61628,6

#### Дополнительная заработная плата персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10...15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп.рук.}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 213078,5 = 25569,4 \quad (4.5)$$

$$Z_{\text{доп.исп.1}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 150745,3 = 18089,4 \quad (4.6)$$

$$Z_{\text{доп.исп.2}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 61628,6 = 7395,4 \quad (4.7)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты – 0,12;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблица 4.10 приведены результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.10 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководителя	Исполнителя 1	Исполнителя 2
Основная зарплата, руб	213078,5	150745,3	61628,6
Дополнительная зарплата, руб	25569,4	18089,4	7395,4
Итого по статье $C_{зп}$	238647,9	168834,7	69024

Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 4765066 = 142952 \quad (4.8)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Накладные расходы.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70...90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80...100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 4765066 = 3812053 \text{ руб.}, \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов,

необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Группировка затрат по статьям

	Вид работ
Статьи	5
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	4760 руб.
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	31509 руб.
Основная заработная плата	425452,4 руб.
Дополнительная заработная плата	51054,2 руб.
Отчисления на социальные нужды	142952 руб.
Накладные расходы	381205,3 руб.
Итого плановая себестоимость	1036933 руб.

4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

В данной магистерской диссертации выбрана тема управление параметрами режима аргодуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом. С точки зрения ресурсоэффективности можно сказать, что применение разработанного режима сварки повышает производительность сварки на 180...200% по отношению к аналогам. При этом уровень качества сварных соединений значительно выше (на 130...180%) по сравнению с аналогами. Стоит отметить, что данная технология открывает возможность сварки фольги, т.е. деталей толщиной менее 1 мм.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данный способ сварки имеет много больше ресурсных, финансовых и экономических достоинств по сравнению с аналогами и тем самым является востребованным на рынке.

## 5 Социальная ответственность

При планировании и организации труда сварщиков, инженерно-технического персонала необходимо курировать вопросы выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению.

В связи с особенностями аргодуговой сварки алюминиевых сплавов при проведении сварочных работ предъявляются особые требования к выполнению правил техники безопасности. Невыполнение этих требований может привести к несчастным случаям: отравлению инертным газом, поражению лучистой энергией сварочной дуги и электрическим током, взрывом баллонов и т.д. Среди вредных газов, выделяющихся при сварке, прежде всего, следует отметить такие, как пары и окислы алюминия, марганца, хрома и др. В связи с множеством вредных факторов при производстве работ необходимо соблюдать технику безопасности, в соответствии с законодательством России [41].

Санитарно-гигиенические условия и обязательные мероприятия по охране труда в сварочном производстве регламентируются "Системой стандартов безопасности труда", "Строительными нормами и правилами" (СНиП), Правилами техники безопасности и производственной санитарии, Правилами устройства и эксплуатации отдельных видов оборудования, различными инструкциями, указаниями и другими документами.

Все лица, поступающие на работу, связанную с электросваркой, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры.

### 5.1 Анализ вредных производственных факторов

Широкое применение аргодуговой сварки при сварке как алюминиевых, так и других сплавов требует такой организации сварочных работ, которая обеспечила бы максимально возможную безопасность труда сварщиков.

При эксплуатации установок для аргонодуговой сварки обслуживающий персонал может подвергаться воздействию большой группы опасных и вредных факторов. Наиболее характерными являются:

- поражение электрическим током;
- поражение глаз и открытой поверхности кожи ультрафиолетовым излучением электрической дуги;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструмента, оборудования;
- отравление вредными газами, выделяющимися при сварке;
- ИК-излучение и тепловыделение от оборудования и нагретых поверхностей;
- возникновение пожара;
- шум и вибрация.

Таким образом, обслуживающий персонал при работе на данном оборудовании подвергается воздействию практически всех перечисленных факторов. Рассмотрим опасные и вредные факторы и методы защиты от их воздействия.

#### 5.1.1 Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения

Для ИК-излучения характерны электромагнитные волны с длиной волны 0,76...420 мкм. ИК-излучение испускается любым нагретым телом, температура которого определяет интенсивность и спектр излучаемой электромагнитной энергии. Тела, нагретые выше 1000 °С, являются источниками коротковолнового ИК-излучения (0,7...9 мкм). С уменьшением температуры тела до 50...1000 °С ИК-излучение характеризуется длинноволновым спектром [42].

В зависимости от длины волны меняется проникающая способность. Наибольшей способностью обладает ИК-излучение с  $\lambda=0,76...1,4$  мкм, которое способно проникать в ткани человека на глубину нескольких сантиметров. ИК-лучи длинноволнового диапазона задерживаются в поверхностных слоях кожи. Большая проникающая способность короткого ИК-излучения вызывает

непосредственное воздействие на жизненно - важные органы (оболочка мозга, глаза и др.), поэтому опасность его воздействия существенна.

При эксплуатации сварочного оборудования, как правило, нет мощных источников ИК-излучения. Оборудование нагревается умеренно, что не приводит к образованию опасного коротковолнового ИК-излучения. Его источником может стать зона взаимодействия сварочной дуги со свариваемым изделием.

Электрическая дуга во время сварки при эксплуатации является источником ИК и ультрафиолетового излучения, оказывающего вредное влияние на глаза своим действием. Испускаемые сварочной дугой невидимые ИК и УФ лучи вредно действуют на сетчатую и роговую оболочку глаза. Длительное воздействие дуги на незащищенный глаз (в течении 5...10 минут) вызывает через 1,5...2 часа сильные боли в глазах, слезотечение, светобоязнь, спазмы век и воспаление глаз. Облучение ультрафиолетовыми лучами в течении 1...3 часов вызывает ожог кожи наподобие солнечного. Испускаемые сварочной дугой невидимые инфракрасные лучи вызывают при длительном облучении незащищенных глаз общую потерю зрения [43].

Мерой защиты от излучения дуги является использование сварщиком защитных цветных стекол - светофильтров. Светофильтры кроме ионизирующего действия излучения дуги также обеспечивают полную защиту от брызг расплавленного металла, от раздражения слизистой глаза из-за выделяющихся при сварке аэрозолей, и т.д. Российской промышленностью выпускаются светофильтры марок С4...С8, в европейской классификации это соответствует DIN 9...13. Так для нашего случая, при аргонодуговой сварки алюминия на средних значениях тока (от 60 до 100 А), необходимо использовать светофильтр типа «С5» или «С6».

### 5.1.2 Электрическая безопасность

Электрический ток является важнейшим опасным фактором, воздействию которого может подвергаться персонал во время работы. Поражающее действие электрического тока зависит от следующих факторов:

- значение и длительность проникания тока через тело человека;
- род и частота тока;
- индивидуальные особенности человека.

Наиболее опасным является переменный ток с частотой 20...100 Гц.

Все оборудование сварочного цеха должно соответствовать «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) и действующим ГОСТам [44...46]. Кроме того, следует выполнять указания по эксплуатации и безопасному обслуживанию электросварочных установок, имеющихся в инструкциях заводов изготовителей.

Рассматривая сварочную палатку как рабочее помещение, следует отметить, что она относится к категории помещений с повышенной опасностью [47], так как присутствуют токопроводящие полы и отсутствует токопроводящая пыль. В соответствии с этим минимально допустимая степень защиты источника питания IP 11.

Для предотвращения поражения электрическим током применяются следующие основные методы защиты:

- изоляция, защитное заземление;
- недоступность токоведущих путей;
- использование двойной (рабочей и дополнительной изоляции);
- защитное отключение;
- применение специальных электротехнических средств;
- организация безопасной эксплуатации.

Корпус источника питания и корпус сварочной машины необходимо заземлять. Для присоединения заземляющего провода на электросварочном оборудовании должно быть предусмотрено крепление - болт диаметром 5...8 мм,

расположенный в доступном месте с надписью “Земля” (или условным обозначением “Земля”). Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых аппаратов запрещается [48].

Обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр, специальное обучение и соответственно аттестацию по электробезопасности не ниже 2 уровня. Также каждый работник обязан знать, как оказать первую помощь пострадавшему от действия электрического тока, а это достигается хорошей работой отдела охраны труда на предприятии, за счет методического материала и инструкций на месте работ, а также обучения персонала.

### 5.1.3 Пожарная безопасность и мероприятия по ее обеспечению

Наиболее вероятным и опасным случаем ЧС являются пожары. Сварочное производство относится к пожароопасным, что обусловлено наличием веществ и материалов в горячем состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр, пламени, твердых, жидких газообразных веществ, которые сжигаются в качестве топлива.

Здание сварочной лаборатории относится ко второй степени огнестойкости сооружений, к категории Г.

Основы противопожарной защиты предприятий определены федеральным законом 123-ФЗ от 22.07.2008 (с изменениями на 2 июля 2013 года).

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные. Пожарная безопасность предприятия может быть обеспечена следующими мероприятиями.

Во всех производственных, административных и вспомогательных помещениях должны быть вывешены таблички с указанием порядка вызова пожарной охраны.

Правила применения на территории объекта открытого огня, проезда транспорта, допустимость курения и проведения временных пожароопасных

работ устанавливаются общими объектными инструкциями о мерах пожарной безопасности.

Приказом устанавливается соответствующий противопожарный режим, в том числе:

- определены и обозначены места для курения;
- определены места и допустимое количество одновременно находящихся в помещении материалов;
- установлен порядок уборки горючих отходов, хранение промасленной спецодежды;
- определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и по окончании рабочего дня;
- регламентированы порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы;
- регламентированы порядок проведения временных огневых работ и других пожароопасных работ;
- определены действия работников при обнаружении пожара;
- определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначены ответственные за их проведение.

Руководитель работ совместно с работником, ответственным за пожарную безопасность объекта должен определить места установки противопожарного оборудования и обеспечить необходимым противопожарным инвентарем.

Объект необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или центральным пунктом пожарной связи.

Для быстрой ликвидации пожара вблизи сварочного места всегда должны быть ящик с песком и лопата, а также ручной огнетушитель. Огнетушители, применяемые при тушении пожара на участках с электроустановками, должны быть углекислотными. На участке, в специально оборудованных местах, должно находиться не менее двух огнетушителей ОУ - 5.

Пожарные краны, рукава, стволы, огнетушители и другие средства пожаротушения, необходимо содержать в исправности и хранить в определенных местах [48].

Для того чтобы предупредить несчастные случаи от взрыва баллонов с защитными газами, следует строго соблюдать правила обращения с ними. В первую очередь нельзя допускать перегрева баллонов, резких толчков и ударов.

Баллоны с газами следует хранить в одноэтажных складах с покрытиями легкого типа, оборудованных вентиляцией, без чердачных помещений. Стены склада необходимо выполнять из негорючих материалов; окна и двери должны открываться наружу. Высота складского помещения должна быть не менее 3,25 м; освещение должно быть выполнено во взрывозащищенном исполнении.

Необходимо тщательно следить за газовыми баллонами, а также рукавами, редуктором и другими составляющими газового комплекса установки. При неисправности того или иного узла установки эксплуатация запрещается, из-за угрозы неконтролируемого выхода газа в область проведения работ, что чревато потерей сознания или отравлением рабочего персонала.

Баллоны с защитными газами обязательно должны закрепляться в специальных стойках. Во время транспортировки, при замене пустого баллона, также необходимо соблюдение техники безопасности. Транспортировка баллона должна осуществляться на специальных ручных тележках или носилках. Запрещается переносить баллоны на руках [49].

#### 5.1.4 Шум и вибрация

Шумовое воздействие оборудования для аргонодуговой сварки мало и можно не применять средств защиты от шума и вибрации.

При сварке и сборке изделий используют шлифовальные машинки, которые создают дополнительный шум, вредно действующий на организм. У лиц, работающих в условиях постоянного шума, наблюдается повышенная утомляемость, нарушается концентрация внимания, точность и координация

движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что способствует росту травматизма на производстве.

Вибрации, воздействуя на организм человека, могут явиться причиной функциональных расстройств нервной и сердечно-сосудистой системы, а также опорно-двигательного аппарата. Увеличение интенсивности и длительности вибрации, в ряде случаев, приводит к развитию вибрационной болезни.

У лиц, работающих в условиях постоянного шума, наблюдается повышенная утомляемость, нарушается концентрация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что способствует росту травматизма на производстве.

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003–14 и санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки) [41].

Для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется организовывать 10...15 минутные перерывы после каждого часа работы и проводить комплекс профилактических мероприятий. Одним из направлений борьбы с шумом является создание шумопоглощающих устройств в самом технологическом оборудовании [48].

### 5.1.5 Исследование освещенности рабочей зоны

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через одно большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работах по сварке тонколистового алюминия в сочетании с работой на персональном компьютере в сочетании с работой и с нормативной и технической документацией согласно нормам, СП 52.13330.2011 регламентируется минимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении. Разряд зрительной работы 1Г [49, с. 3...6].

Световой поток, создаваемый каждой из ламп, рассчитывается по формуле (5.1)

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, \quad (5.1)$$

где  $F$  – световой поток одной лампы, лм;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 400$  лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>,  $S = 24$  м<sup>2</sup>;

$z$  – поправочный коэффициент,  $z = 0,9$ ;

$k$  – коэффициент запаса,  $k = 1,5$ ;

$\eta$  – коэффициент использования осветителей, %;

$n$  – число светильников в помещении.

Коэффициент  $k$  для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1.4 до 1.5.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения ( $i$ ), рассчитанный по выражению (5.2)

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.2)$$

где  $A$  - длина помещения, м,  $A = 7$  м;

$B$  - ширина помещения, м,  $B = 5$  м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 30\%$  и потолка  $\rho_n = 70\%$ .

По формуле (5.3) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ).

$$h = H - h_p - h_c, \quad (5.3)$$

где  $h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0,8$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0,15$  м;

$H$  - высота потолка в помещении, м,  $H = 3,2$  м.

Из расчетов следует, что  $h = 2,25$  м, тогда согласно выражению (5.2)

$$i = \frac{7 \cdot 5}{2,25 \cdot (7 + 5)} = 1,3 \quad (5.4)$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$  и  $\rho_n$  примем  $\eta = 49\%$ .

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СП 52.13330.2011, рассчитаем количество ламп в помещении, выразив отношение из формулы (5.1).

$$n = \frac{400 \cdot 35 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{1500 \cdot 0,49} = 25,7$$

Таким образом, люминесцентные лампочки дневного света (ЛД) в количестве 26 штук, мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

Для утилизации люминесцентных ламп необходимо заключить договор с компанией, имеющей лицензию на утилизацию отходов соответствующего класса опасности.

#### 5.1.6 Воздушная среда и микроклимат производственного помещения

Микроклимат в производственном помещении оказывает существенное влияние на здоровье и самочувствие людей. Значительные колебания микроклимата могут приводить к перегреву или переохлаждению организма, что снижает производительность труда и влечет за собой заболевания и травматизм. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда.

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.4.548-96, ГОСТ 12.1.005-88 и руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса утвержденное главным санитарным врачом – Р 2.2.2006-05 от 29 июля 2005 года. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа инженера-разработчика относится к категории 1а - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением [45...48].

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести Ia оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать требованиям таблицы 5.1.

Таблица 5.1 – Допустимые нормы и фактические значения параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	Ia	22,4	(20÷25)	36,5	(15÷75)	< 0,05	0,1
Теплый	Ia	23,3	(21÷28)	39,3	(15÷75)	< 0,05	0,1

Из таблицы 5.1 видно, что в анализируемой комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат помещения должен поддерживаться на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

При сварке в среде инертных газов пыли и вредных веществ выделяется меньше, чем при других способах сварки плавлением. Содержание в алюминиевом сплаве магния способствует еще большему выделению пыли. Однако при аргонодуговой сварке выделяющиеся вредные вещества могут достигать значительных количеств (Таблица 5.2). Поэтому на участке сварки в среде инертных газов необходима вытяжная вентиляция. При оборудовании вентиляции следует учитывать следующее обстоятельство: чрезмерно интенсивный отсос газов в непосредственной близости от зоны горения дуги может нарушить защиту ее инертным газом. Поэтому при расчетах вентиляционных устройств исходя из того, чтобы скорость воздуха на месте сварки была не более 0,3 м/с, расход удаляемого воздуха около 200 м<sup>3</sup>/ч, сопротивление отсосу 35 мм вод.ст.

Таблица 5.2 – Количество выделяющихся вредных веществ при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов

Электрод	Свариваемые сплавы	Количество выделений, г/кг*
Неплавящийся	Алюминиевые	5,0

\*- на кг наплавленного металла.

Вентиляция сварочных цехов и участков оборудуется в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86 (Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности). По этим нормам воздухообмен в час на один пост должен составлять от 500 до 1000 м<sup>3</sup>/ч. В тех случаях, когда трудно обеспечить необходимую вентиляцию, а содержание вредных газов и пыли превышает допустимые нормы, необходимо применять средства индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков. Когда концентрации газов в зоне дыхания не велики, можно использовать противопылевые респираторы типа ШБ-1 («Летосток», «Астра-2» и др.).

## 5.2 Чрезвычайные ситуации

На случай чрезвычайных ситуаций (военное положение, применение оружия массового поражения, вооруженные конфликты, экономическое, политическое, научно-техническое противостояние, а также бедствия природного либо техногенного характера) на предприятии необходим отдел по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям. Данный отдел является самостоятельным функциональным структурным подразделением системы организации и обеспечения безопасности производства и защиты обслуживающего его персонала в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.

Отдел в своей деятельности руководствуется: законами Российской Федерации, Постановлениями Правительства Российской Федерации, приказам и распоряжениями МЧС Российской Федераций, уставом, положениями и приказами предприятия.

Основными функциями отдела являются:

- анализ, прогнозирование и оценка возможных последствий при возникновении радиационной аварии на объекты, персонал и территорию промплощадки, санитарно - защитной зоны, зоны наблюдения и разработка мероприятий по их защите;

- организация и проведение под руководством комиссии по чрезвычайным ситуациям предприятия спасательных и других неотложных работ в зонах чрезвычайных ситуаций с привлечением для этих целей гражданских организаций гражданской обороны предприятия, сил и средств ГО и ЧС областного и городского уровня в соответствии с планом взаимодействия;

- подготовка, организация и проведение под руководством КЧСО комплексных, командно-штабных учений и тренировок в соответствии с планом общих мероприятий по ГО и ЧС предприятия;

- организация накопления, хранения и поддержания в готовности индивидуальных и коллективных средств защиты, специального имущества и материалов гражданской обороны;

- организация, совершенствование и поддержание в постоянной готовности локальных и объектовых систем оповещения, систем управления и связи;

- организация обучения и подготовки руководящего и командно-начальствующего состава, рабочих и служащих к действиям при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время.

- организация своевременного оповещения и сбора руководящего и командно-начальствующего состава, персонала и населения при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время;

- организация и контроль за проведением эвакуационных мероприятий при возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время;

- разработка, планирование и контроль за выполнением мероприятий по мобилизационной подготовке предприятия и др.

### 5.3 Охрана окружающей среды

Загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями связано в большей степени с загрязнением атмосферы.

Поэтому мероприятия по повышению экологической чистоты производства можно отнести к охране и рациональному использованию воздушного бассейна.

Эти мероприятия связаны с сооружением установок, для очистки воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией из цехов промышленных предприятий. Одним из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли являются электрофильтры. Их принцип основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего заряда, передачи заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах, с которых они затем удаляются механически. Также широкое применение для очистки газов от частиц пыли получили сухие пылеуловители – циклоны.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов. В качестве адсорбентов (поглотителей) применяют такие вещества, как глинозем, силикагель, активированный уголь и др.

Проектируемые и внедряемые в сварочное производство машины, оборудование, технологии не должны в процессе эксплуатации вызывать вредные экологические последствия. При разработке и внедрении технологических процессов предпочтение должно отдаваться безотходным и малоотходным технологиям [44...47].

Для утилизации мусора обязательно должен быть заключен договор со Спецавтохозяйством.

#### 5.4 Техника безопасности на рабочих местах

Перед началом работы вновь зачисленных в штат рабочих обязательно инструктируют по безопасности труда, а в последующем не реже чем один раз в три месяца для всех рабочих проводят повторный инструктаж. Не позднее месяца со дня зачисления рабочего в штат руководство организации обучает его безопасным методам производства работ. После окончания обучения, а в дальнейшем ежегодно проверяют знание рабочими безопасных методов и приемов выполнения работ.

При производстве сварочных работ предусматривают такую последовательность технологических операций, чтобы предыдущая операция не являлась источником производственной опасности при выполнении последующих. Для этого необходимо правильно организовать производственную площадку, участок работ и рабочие места.

Прежде всего на строительной площадке устанавливают для людей опасные зоны и обозначают их знаками безопасности установленной формы. Такими зонами являются зоны вблизи от неизолированных токоведущих частей электроустановок, вблизи не огражденных перепадов по высоте на 1,8 м и более, в местах перемещения труб, машин и оборудования, в местах производства погрузочно-разгрузочных работ. Проезды, проходы, погрузочно-разгрузочные площадки и рабочие места регулярно очищают от мусора (огарков электродов, кусков проволоки, стружки и др.). Проходы для рабочих, расположенные на стеллажах, уступах, откосах с уклоном более 20 градусов, оборудуют стремянками или лестницами с перилами. Стеллажи для сборки и сварки двигателей-маховиков должны быть смонтированы по утвержденному проекту. Рабочая поверхность стеллажа должна быть горизонтальной [46].

Сама планировка производственной площадки тщательно продумывается с точки зрения безопасности труда.

Сварочные работы характеризуется рядом факторов, которые при незнании безопасных приемов труда и нарушении правил безопасности могут

вызвать тяжелый производственный травматизм, как самих рабочих, так и лиц работающих поблизости (электрический ток, световая радиация дуги, тепловое воздействие дуги, вредные выделения, взрывоопасность и др.)

К обслуживанию электросварочных установок допускаются специалисты, имеющие соответствующие удостоверения и не ниже 2-й квалификационной группы по технике безопасности. Разрешается использование только источников сварочного тока, специально предназначенных для электросварочных работ. Размещение сварочного оборудования должно обеспечивать безопасный и свободный доступ к нему. Электросварочные установки должны включаться в электросеть только при помощи пусковых устройств [44].

## Заключение

Изучены особенности выбора параметров режима начального зажигания и последующего горения дуги при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом.

Показано, что изменение амплитудно-временных параметров режима горения дуги переменного тока оказывают существенное влияние на характер проплавления нагреваемой пластины, ширину зоны очистки от оксидной пленки и стойкость вольфрамового электрода.

Показано, что одним из основных нормируемых параметров режима сварки неплавящимся электродом является его диаметр.

## Список используемых источников

1. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х томах / Редкол.: Г.А. Николаев и др. - М.: Машиностроение, 1978. – Т.2 / Под ред. А.И. Акулова, 1978. – 462 с.
2. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. - Киев.: Наукова думка, 1981. – 608 с.
3. Белинский С.М., Каганский Б.А., Темкин Б.Н. Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. – Л.: Энергия, 1975. – 100 с.
4. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
5. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
6. Киселев А.С. Управление технологическими свойствами дуги переменного прямоугольного тока при сварке алюминиевых сплавов малых толщин неплавящимся электродом // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск, 1998. – 185 с.
7. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. – М.: Наука, 1968. – 244 с.
8. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
9. Елагин В.М., Кислюк Ф.И. О влиянии химического состава вольфрамового электрода на характер его разрушения и блуждание дуги // Сварочное производство. – 1972. – №6. – С.7-9.
10. Сварка алюминия и его сплавов / ВЦП. – № Л-60285. – М., 04.02.86. – 11 с. Пер. ст.: Welding and metal fabrication. – 1985. – V.53, №7. – P.293, 295.
11. Микроплазменная сварка / Б.Е. Патон, В.С. Гвоздецкий, Д.А. Дудко и др.- Киев: Наукова думка, 1979. – 248 с.

12. Тиходеев Г.М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги. – М.- Л.: АН СССР, 1961. – 254 с.

13. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х томах / Редкол.: Г.А. Николаев и др.- М.: Машиностроение, 1978. –Т.1 / Под ред. Н.А. Ольшанского, 1978. – 504 с.

14. Лапин И.Е., Косович В.А. Неплавящиеся электроды для дуговой сварки: Монография. РПК «Политехник» Волгоград 2001г., 181 с.

15. Бродский А.Я. Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1956. –393 с.

16. Сварка и свариваемые материалы: в 3-х т. /Т.2. Технология и оборудование: Справ. изд. /Под ред. В.М. Ямпольского. –М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. –574 с.

17. Свойства элементов: Справочник. Ч.1: Физические свойства / Под ред. Г.В.Самсонова. –М.: Металлургия, 1976. –600с

18. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением: учебник для машиностроительных техникумов. –3-е издание., переработанное. и допол. –Л.: Машиностроение, 1987. –461 с.

19. ГОСТ 23949-80. Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия. Издание официальное.

20. ISO6848-2004. Сварка и резка дуговые. Электроды неплавящиеся вольфрамовые. Классификация.

21. Lancaster J.F. The electric arc in welding. International institute of welding: The physics of welding, Oxford, Great Britain. 1984. –203p

22. Аргонодуговая сварка алюминиевых сплавов для строительных конструкций. Технологические рекомендации. Москва-1963.

23. Кляпицын В. А. и др. Сварка встык тонких полос неплавящимся электродом в аргоне /Кляпицын В. А., Черный В. А., Голяев В. И. и др.// Сварочное производство, –1978, –№10, –45 с.

24. Пензаэлектрод. Сварка в защитном газе. Электроды. [электронный ресурс] – Режим доступа <http://penzaelektrod.ru>. – Загл. с экрана.

25. Абралов М.А., Абдурахманов Р.У. Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов. - Ташкент: Фан, 1989. – 232 с.

26. Структура и свойства металла швов на сплаве АМг6 при сварке с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.В. Сыроватка, А.Ф. Грищенко и др. // Автоматическая сварка. 1972.- №11. С. 16-19.

27. Автоматическая сварка неплавящимся электродом тонколистовых алюминиевых сплавов импульсной дугой / Г.А. Славин, А.В. Петров, С.В. Петров, С.В. Смирнова, Г.М. Короткова // Сварочное производство. – 1965. №12. – С. 18-20.

28. Оптимизация параметров режима сварки тонколистовых алюминиевых сплавов с наложением на дугу кратковременных импульсов тока / Г.А. Славин, Н.М. Трохинская, В.И. Рязанцев и др. // Сварочное производство. – 1986. – №1. – С. 14-15.

29. Шигаев Т.Г. Сварка модулированным током // Итоги науки и техники. Сер. Сварка. – Т.17. – М.: ВИНТИ, 1985. – С. 91-133.

30. Дуговая сварка алюминия переменным током с прямоугольной формой волны // Экспресс – информация. Автоматизированный электропривод, электротехнология и электроснабжение промышленных предприятий. – М.: ВИНТИ, 1970. – №9. – с.14-23.

31. Рабкин Д.М., Воропай Н.М., Мишенков В.А. Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов при прямоугольной волне кривой переменного тока // Автоматическая сварка. – 1968. – №7. – с. 74-75.

32. Короткова Г.М., Славин Г.А., Филиппов М.А. Исследование процесса сварки дугой переменного тока прямоугольной формы // Сварочное производство. 1971.- № 10. – с. 4-6.

33. Сварка тонких алюминиевых пластин неплавящимся электродом в инертном газе от источника переменного тока с прямоугольной формой импульсов тока / Syoji Moritaka, Ikkai Toshikage, Onuma Akira, Ishimaru Kazuyuki

// Есэцу гаккайси, J. Jap. Weld. Soc. – 1978.V.47, №11. – р.747-752 (Отд. вып. РЖ "Сварка", 1979, 6.63.247).

34. Влияние полярности тока при дуговой сварке неплавящимся электродом в инертном газе алюминия от источника переменного тока с тиристорным регулятором / Okada Toshiyuki, Iwamoto Yasuhiro, Wakino Yoshihiko // Кэйкиндзоку есэцу. J. Light Metal Weld. and Constr. – 1978. – V16, №12. – р. 537-543 (Отд. вып. РЖ "Сварка", 1979, 5.63.153).

35. Сварка сплава 1420 / Патон Б.Е., Ищенко А.Я., Чаюн А.Г. – В кн.: Металловедение алюминиевых сплавов.: – М.: Наука, 1985. – с.48-55.

36. Аргодуговая сварка сплава 1420 модулированным ассиметричным током прямоугольной формы / Р.В. Илюшенко, И.Е. Склабинская, Н.Г. Третьяк - В кн.: Тез. докл. III Всесоюзной конференции по сварке цветных металлов. – Тольятти, 1986. – с. 16-17.

37. A better way to weld aluminum // Welding Design and Fabrication. – 1977. V.50. №8. – р. 61-62.

38. ГОСТ 21631-76. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.

39. CEA Costruzioni Elettromeccaniche Annettoni S.p.A. [Электронный ресурс], Italia / URL: <http://www.ceaweld.com/portal/cea/download/manuali#>

40. ГОСТ 10157-79. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.

41. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).

42. ГОСТ 12.1.019 (с изм.№1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

43. ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление, зануление.

44. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

45. ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

46. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. - Главгосэнергонадзор России. Дата введения 2003.01.01. – М.: ЗАО "Энергосервис".

47. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1999. – 318с.

48. ГОСТ 949-73 – Баллоны стальные малого и среднего объема для газов

49. СНиП 23-05-2010. Естественное и искусственное освещение.

## Приложение А

### Раздел №1

#### Управление параметрами режима аргодуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Алексеев Алексей Александрович		

Консультант кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Слободян М.С.	к.т.н		

Консультант – лингвист кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Казанцев А.Ю.	к.филол.н.		

## 1 TIG welding of aluminum alloys. The ways to improve the quality of welded joints

### 1.1 Characteristics of aluminum alloys

The main physical and chemical characteristics of aluminum are listed below, contrasted with those of steel, the metal with which the bulk of engineers are more familiar. As can be seen from this list there is a number of important differences between aluminum and steel which influence the welding behavior:

- the difference in melting points of two metals and their oxides. The oxides of iron all melt close to or below the melting point of the metal; aluminum oxide melts at 2323 K, some 1673 K above the melting point of aluminum. This has important implications for the welding process, as will be discussed later, since it is essential to remove and disperse this oxide film before and during welding in order to achieve the required welding quality;

- the oxide film on aluminum is durable, highly tenacious and self-healing. This gives the aluminum alloys excellent corrosion resistance, enabling them to be used in exposed applications without additional protection. This corrosion resistance can be improved further by anodizing – the formation of an oxide film of a controlled thickness;

- the coefficient of thermal expansion of aluminum is approximately twice that of steel which can mean unacceptable buckling and distortion during welding;

- the coefficient of thermal conductivity of aluminum is six times that of steel. The result of this is that the heat source for welding aluminum needs to be far more intense and concentrated than that for steel. This is particularly so for thick sections, where the fusion welding processes can produce lack of fusion defects if heat is lost too rapidly;

- the specific heat of aluminum – the amount of heat required to raise the temperature of a substance – is twice that of steel;

- aluminum has high electrical conductivity, only three-quarters that of copper but six times that of steel. This is a disadvantage when resistance spot welding where the heat for welding must be produced by electrical resistance;

- aluminum does not change color as its temperature rises, unlike steel. This can make it difficult for the welder to judge when melting is about to occur, making it imperative that adequate retraining of the welder takes place when converting from steel to aluminum welding;

- aluminum is non-magnetic which means that arc blow is eliminated as a welding problem;

- aluminum has a modulus of elasticity three times that of steel which means that it deflects three times as much as steel under load but can absorb more energy on impact loading;

- the fact that aluminum has a face-centred cubic crystal structure means that it does not suffer from a loss of notch toughness as the temperature is reduced. In fact, some of the alloys show an improvement in tensile strength and ductility as the temperature falls, EW-5083 (Al, Mg, 4.5% Mn), for instance, showing a 60% increase in elongation after being in service at minus 473 K for a period of time. This crystal structure also means that formability is very good, enabling products to be produced by such means as extrusion, deep drawing and high energy rate forming;

- aluminum does not change its crystal structure on heating and cooling, unlike steel which undergoes crystal transformations or phase changes at specific temperatures. This makes it possible to harden steel by rapid cooling but changes in the cooling rate have little or no effect on the aluminum alloys [22, 29, 49].

## 1.2 Technological features of argon-arc welding by non-consumable electrode of aluminum alloys with alternating current

The method of arc welding with melting has found the greatest application. In particular, in the manufacture of structures made of aluminum alloys of small thickness (less than 4 mm), argon arc welding with a non-consumable (tungsten) electrode with alternating current is used [3, 4]. This welding method is the most universal and

provides the possibility of obtaining all types of connections in different spatial positions and in hard-to-reach places.

The supply of a welding arc with an alternating current, as well as the use of an inert protective gas, is associated with the metallurgical features of welding aluminum and its alloys. Thus, inert gas argon is used to expel air from the welding zone and to protect it from the effect on the metal of the weld pool and the working surface of the tungsten electrode. At the same time, the removal of the refractory oxide film from the welded surfaces is carried out by cathode sputtering during the arc-reversal arc. The application of the AC arc in this case, in contrast to the DC arc of the reverse polarity, is energetically more advantageous. Firstly, the losses for heating the tungsten electrode and its consumption are reduced. Secondly, the concentration of heating of the weld metal increases. However, the AC arc has a number of features that determine whether it can be used for welding purposes. These features are manifested more in the initial and repeated excitation of the arc.

The initial excitation of an AC arc when welding aluminum alloys with a non-consumable electrode is usually carried out by breakdown of the interelectrode gap by high-voltage pulses [5]. In connection with the fact that the polarity of the voltage applied to the electrodes varies periodically, and the thermophysical properties of tungsten and aluminum alloy are significantly different, the initial excitation process proceeds with characteristic features. In particular, in order to reliably excite the arc in the half-period of direct polarity of the supply voltage, it is necessary to preheat the working surface of the tungsten electrode to a temperature that provides the required emission current density [6].

In the half-period of the reverse polarity of the supply voltage, the nature of the initial arc excitation process differs significantly from that considered above, since the electric field strength created by the high-voltage source in the interelectrode gap provides a practically inertialess process of field emission from the oxidized cathode surface of an aluminum alloy [3, 5, 7].

For the above reasons, at the initial stage of the welding process, reliable excitation of the arc occurs only in the half-periods of the reverse polarity of the supply

voltage, which ensures the pulse character of the heating of the tungsten electrode [3, 8]. The duration of the excitation of the arc of direct polarity at the initial stage of the welding process is determined by the electrophysical properties of the tungsten electrode, its diameter, the shape of the working surface, the magnitude of the welding current, and a number of other parameters. Increasing the reliability of the initial excitation of the arc and improving the other technological characteristics of tungsten electrodes is facilitated by doping with activating additives. However, with the initial excitation of an arc of an alternating sinusoidal current, such electrodes are subject to starting erosion and cracking of the working surface to a greater extent than electrodes of pure tungsten. In addition, under the certain operating conditions, the activating additives burn out, the structure of the metal changes in the working section of the electrode, which makes it difficult for the additive to come from the deep layers [6, 9].

The period of the steady burning of the arc of the alternating current at the beginning of the welding process, and, accordingly, the duration of the operation of the high-voltage exciter, is determined by the preset current value. This dependence is confirmed by studies of a low-amperage arc of an alternating current carried out in the electric welding Institute E.O. Patona. So, for example, with an idling voltage of 200 V power supply and a set value of short-circuit current of 10 A, the period for establishing stable arc burning is 1 s, and for a short-circuit current of 5 A - 30 s [11]. At an idling voltage of a welding transformer of 70...80 V and a current of less than 12...15 A, the arc is not practically excited during half-periods of direct polarity [3].

The features of the repeated excitation of the arc after the period of establishing the stability of its combustion are also due to the difference in the thermophysical properties of the electrodes. The repeated excitation of an arc of direct polarity is carried out at a voltage whose magnitude is slightly different from the arc burning voltage. This is due to the thermal inertia and thermal character of the emission of the tungsten cathode, heated in the previous period of arc combustion by reverse polarity [3, 8]. Repeated excitation of an arc of reverse polarity occurs only at an increased voltage on the interelectrode gap. First, at a voltage of 60...80 V, a glow discharge is formed, the development of which leads to an increase in the current and a transition

to the anomalous stage. The burning voltage of the anomalous discharge is 200...240 V at a current of 1 A. A further increase in the current results in the formation of an arc discharge. With these features in mind, the power supply should have an idling voltage of more than 240 V. However, in practice, welding transformers with an idling voltage of not more than 90 V in combination with high-voltage pulse generators are used [3, 8].

The difference in the thermophysical properties of electrodes made of tungsten and aluminum alloy is the cause of the arc effect of an AC arc [5, 12]. A constant current component appears in the welding circuit, which creates a constant magnetic field in the magnetic circuit of the transformer. This leads to a distortion of the shape of the current curve and a decrease in the power factor of the welding transformer [5]. To improve the power characteristics of the transformer and increase the stability of AC arc burning, measures have been developed to compensate for the DC component of the current [13].

Thus, the noted features of welding aluminum alloys with a non-consumable electrode, as well as uneven melting at high welding speeds, significantly limit the possibilities of applying an alternating sinusoidal current to the arc supply.

### 1.3 Ways to improve the quality of welded joints from aluminum alloys

Obtaining welded joints of high quality of aluminum and its alloys involves overcoming a number of problems due to the specific physico-chemical properties of these metals. These properties include: a high degree of affinity for oxygen, an increased tendency to pore formation, a large coefficient of thermal expansion, the tendency of many alloys to formation of hot and cold cracks [4, 25]. One of the ways to improve the quality of welded joints from aluminum alloys is grinding the primary structure of the weld metal [25, 26]. Condition for obtaining fine-grained structure of the weld metal is to suppress the directional growth of the crystals due to the spontaneous formation of new crystallization centers in the liquid phase volume with temperature fluctuations in the crystallization zone. Such conditions are created by melt mixing being affected by a reversible electromagnetic field [25, 26] and in the low-

frequency oscillation arc in space due to the influence of an external magnetic field. As a result of such exposure porosity of welds and tendency to hot cracking, reduce the tightness of the joints, improves the width of HAZ reduces, and therefore the quality of welded joints increases.

However, despite the whole complex of positive properties, the use of such methods of improving the quality of manual welding is not possible, as an obligatory condition for this is the location of massive magnetic inductors directly on the welding torch.

As shown by numerous studies [13, 27, 28, 29, etc.], an effective way of influencing the welding quality is a periodic change in the heat capacity of the arc with the amplitude modulation of the welding current.

#### 1.4 The application of the alternating rectangular current during welding aluminium alloys

In 1960s the method of argon-arc welding tungsten electrode alternating rectangular current was developed [30, 31]. The main advantages of this form of current in the welding circuit are as follows. First, it significantly increases the stability of arc burning due to the reduction in the duration of the switching process when you change the polarity of the current. Second, the technological capabilities of the welding process expand due to the separate regulation of the basic parameters of the regime: the magnitude of the arc current straight polarity, the magnitude of the arc current of reverse polarity, the arc polarity, the arc reverse polarity.

The results of experimental studies of this method of welding is given in many works [30, 31, 32, 33, etc.]. In each of these works there is a significant influence of the asymmetry parameters of the mode arc direct and reverse polarity of the whole complex characteristics of the welding process.

Thus, the depth of penetration of the weld metal, characterizing the efficiency of the heat source, increases with the ratio of values of arc current straight and reverse polarity [32, 34, 35] and durations of combustion [31, 32, 36, 37], due to the presence of a constant component of current in the welding circuit [32]. Reducing arc energy of

reverse polarity reduces the thermal loading of the tungsten electrode and therefore increases its resistance [33, 34].

The weld width is mainly determined by the ratio of the durations of the arc straight and reverse polarity [30, 31]. The increase in this ratio, in particular, by reducing the duration of the arc reverse polarity, reduces the width of the joint. The effect of AC frequency on bead width is not clearly defined. The authors [36] observed a reduction of the seam width as the frequency decreases the arc current from 50 to 20 Hz. It is shown that changing the frequency of the alternating rectangular current is in the range of 25...1000 Hz practically does not affect the width of the seam [33].

Special attention [30, 32, 33] is paid to the influence of mode parameters arc on efficiency of cathode sputtering of the surface oxide film. The criterion of efficiency of this process was the width of the zone of cathode sputtering. It is shown that with increase in the ratio of the periods of arc-on direct and reverse polarity zone width of cathode sputtering is reduced. When the AC frequency of 100 Hz, the maximum is the ratio of the periods of 11/1, as in this case, the width of the zone of cathode sputtering is commensurable with the width of the joint [30].

The asymmetry parameters of the mode arc straight and reverse polarity is the reason for the surge pressure with the frequency of the alternating current. The dynamic effect on the molten weld pool increases the density of the weld metal and contributes to the grinding of its structure, which increases the structural strength of the connection [31]. Optimal is the frequency of the alternating current in the range of 30...60 Hz. For large values of the frequency, in particular above 300 Hz, the pulsation of the arc pressure reduces as well as the strength of the welded joints decreases [36]. The application of low-frequency modulation of the alternating rectangular current intensifies the impact of the arc on the weld pool [35].

The asymmetry parameters of the mode arc straight and reverse polarity affects the stability of the arc and its spatial stability [32, 36, 37]. The research shows the possibility of increasing the stability of arc burning due to an increase in the ratio of the periods of current flow direct and reverse polarity [9].

## 1.5 Power Sources for TIG welding of aluminum alloys

Continuous improvement of power sources for welding is due to the development of new technological processes and development of element base of power electronics. The use of modern power semiconductor devices and electronic control systems in power source helps to increase accuracy of regulation and stabilization of parameters of a welding regime, to improve dynamic properties and technological capabilities. In particular, the application of semiconductor converters, with the aim of forming an alternating rectangular current in the welding circuit, promotes the stability of the arc when welding aluminum alloys with non-consumable electrode and provides the ability to control heat input in the electrode and the product [31].

Depending on the principle of the construction of power diagrams, power sources for TIG welding of aluminum alloy alternating current with a rectangular waveform can be divided into the following types:

- 1) converting single-phase alternating sinusoidal current, the welding transformer;
- 2) converting the DC current of the welding rectifier;
- 3) with inductive energy storage;
- 4) with intermediate high frequency energy conversion of the supply network.

## Приложение Б

Таблица – Экспериментальные данные

№ опыта	Частота	Форма волны	Соотношение продолжительности прямой к обратной полярностей	h <sub>з</sub> , мм				h <sub>5</sub> , мм				h <sub>8</sub> , мм			
				1	2	3	средн.	1	2	3	средн.	1	2	3	средн.
1.1	50	прямоуг.	-35	3,0	3,15	3,15	3,1	0,7	0,9	0,9	0,83	-	-	-	0,00
1.2	50	прямоуг.	-20	3,2	3,1	3,35	3,22	2,05	2,15	1,85	2,02	3,50	3,40	3,70	3,53
1.3	50	прямоуг.	0	3,55	4,2	4,2	3,98	2,45	1,7	1,8	1,98	3,70	4,50	4,45	4,22
2.1	100	прямоуг.	-35	2,85	3,3	3,45	3,2	1,1	0,8	0,7	0,87	-	-	-	0,00
2.2	100	прямоуг.	-20	3,15	3,65	3,5	3,43	1,75	1,45	1,7	1,63	2,95	3,15	3,95	3,35
2.3	100	прямоуг.	0	3,3	3,3	3,4	3,33	1,4	2,2	2,0	1,87	3,40	3,60	3,50	3,50
3.1	150	прямоуг.	-35	2,6	2,7	2,95	2,75	0,75	0,95	0,8	0,83	-	-	-	0,00
3.2	150	прямоуг.	-20	3,15	3,15	3,25	3,18	1,7	2,3	2,6	2,2	-	-	-	0,00
3.3	150	прямоуг.	0	2,5	2,8	2,85	2,72	3,5	3,0	2,95	3,15	-	-	-	0,00
4.1	50	синус.	0	3,65	3,8	3,95	3,8	3,05	3,05	3,25	3,12	3,65	3,60	3,85	3,70
4.2	100	синус.	0	3,3	3,9	4,0	3,73	1,9	1,95	2,8	2,22	3,80	3,90	4,05	3,92
4.3	150	синус.	0	4,7	4,35	4,25	4,43	2,0	1,8	2,05	1,95	4,45	4,45	4,45	4,45