

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка алгоритмов управления дугой, горящей в динамическом режиме УДК 621.791.754.011

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шарков А.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н, профессор		31.05.2020

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А.	к.филол.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		

Томск – 2020г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии и машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
Профессиональные компетенции	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение. 2. Литературный обзор состояния вопроса сварки неплавящимся электродом в аргоне. 3. Модель дуги горячей в динамическом режиме. 4. Разработка модели сварочной ванны. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность. 7. Заключение и выводы.
<p>Перечень графического материала</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист (название работы), цель, задачи. 2. Литературный обзор 3. Материалы, оборудование и методы исследования. 4. Сварочная дуга в динамическом режиме 5. Модель сварочной ванны 6. Технологические характеристики процесса 7. Экономическая часть, и социальная ответственность. 8. Заключение и выводы.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основная часть магистерской диссертации</p>	<p>Гордынец Антон Сергеевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук Юрий Митрофанович</p>
<p>Часть магистерской диссертации на английском языке</p>	<p>Марцева Татьяна Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>1.4 Разработка модели дуги горячей в динамическом режиме 1.4.1 Модель дуги горячей при малых токах 1.4.2 Модель дуги горячей при больших токах 1.4.3 Модель дуги с плавящимся анодом</p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		28.01.202 0г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шарков Алексей Игоревич		28.01.202 0г

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
 Уровень образования магистратура
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	1 Литературный обзор	25
25.02.2020	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2020	3 Экспериментальная часть	35
15.04.2020	4 Выводы	10
22.04.2020	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2020	6 Социальная ответственность	10
13.05.2020	7 Часть магистерской диссертации на английском языке	5

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		30.01. 2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н.		30.01. 2019

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ81	Шаркову А.И.

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01/Машиностроение

Тема ВКР

Разработка алгоритмов управления дугой горячей динамическом режиме

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): Материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с определением информацией в установке, аналитических материалах, расчетов бюллетенях, нормативно-правовых документах;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30.2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> <p><i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i></p>	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		26.02.2020 г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шарков А.И.		26.02.2020 г

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ81	Шаркову Алексею Игоревичу

ШКОЛА	ИШНКБ	Отделение	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Тема дипломной работы: «Разработка алгоритмов управления дугой горячей в динамическом режиме»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Данное исследование направлено на разработку метода повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов : <ul style="list-style-type: none"> • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> • Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность:	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, абразивная пыль, перегоревшие люминесцентные лампы) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

<p>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае..</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>– Трудовой кодекс РФ; – ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования – ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования – ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов – СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах – ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		15.02.2020.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шарков А.И.		15.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 страниц, 27 рисунков, 20 таблиц, 31 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: столб дуги, динамический режим горения дуги, алгоритмы, неплавящийся электрод, автоматическая сварка.

Объектом исследования является сварочная дуга, горящая в динамическом режиме

Цель работы – исследование и разработка алгоритмов сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горящей в динамическом режиме и технических средств для его реализации.

В процессе исследования проводился анализ методов повышения эффективности и способы сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги, проведен анализ моделей столба дуги и предложены алгоритмы управления дугой.

В результате исследования были разработаны методики снятия динамической характеристики дуги и осциллограмм тока и напряжения дуги. Разработана эмпирическая модель на основе критерия Пекле и даны зависимости определения геометрических размеров сварного шва от параметров режима сварки.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: простое в изготовлении и эксплуатации оборудование, имеющий высокую надежность и широкий диапазон регулирования сварочных параметров.

Область применения: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой, электрической промышленности, а также в коммунальном, сельском хозяйстве и кораблестроении

Экономическая эффективность: сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии

является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата. Запатентовать данный способ сварки. Подготовить документацию по сборке сварочного аппарата, аттестовать его в национальном агентстве контроля сварки и внедрить его в промышленность.

Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Импульсное питание – подача импульсов питания с высокой величиной и частотой.

В настоящей работе использованы следующие сокращения.

- I_d - ток дуги.
- Др – дроссель.
- ИП - сварочный источник питания.
- U_d – напряжение на дуге.
- $I_{св}$ – сварочный ток.
- $U\partial$ – полное напряжение дуги.
- U_a – падение напряжения на аноде.
- U_k – падение напряжения на катоде.
- $\beta l(\partial)$ – падения напряжения столба.
- T – период собственного колебания ячейки.
- L – индуктивность дросселя первой ячейки.
- C – емкость конденсатора первой ячейки.
- t_v – полная длительность второго этапа.
- t_n – полная длительность импульса.
- t_c – длительность среза импульса.
- t_ϕ – длительность фронта импульса.
- k – количество ячеек формирующего элемента.
- E_d – ЭДС сварочной дуги.
- R_d – динамическое сопротивление сварочной дуги.
- ВАХ – вольт амперная характеристика.
- H – глубина сварочной ванны.
- B – ширина сварочной ванны.
- L – длина сварочной ванны.

- F – поверхность зеркала ванны.
- G – масса сварочной ванны.
- V – объем сварочной ванны.
- $L_{\text{гол}}$ – головную часть ванны.
- $L_{\text{хвост}}$ – хвостовая часть ванны.
- $I_{\text{и}}$ – ток импульса.
- $I_{\text{п}}$ – ток паузы.
- $V_{\text{св}}$ – скорость сварки.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- НРБ-99/2009 – Нормы радиационной безопасности.
- ГОСТ 2.708 –81 – ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.730 – 73 – ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
- ГОСТ 2.728–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.

Резисторы, конденсаторы.

- ГОСТ 2.725–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.

Устройства коммутирующие.

Оглавление

Введение.....	17
1 Анализ состояния вопроса сварки дугой горячей в динамическом режиме	19
1.1 Характеристики процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне .	19
1.2 Статическая устойчивость энергетической системы источник питания - дуга	21
1.3 Сущность динамического режима горения.....	25
1.4 Разработка модели дуги горячей в динамическом режиме.....	26
1.4.1 Модель дуги горячей при малых токах	27
1.4.2 Модель дуги горячей при больших токах	28
1.4.3 Модель дуги с плавящимся анодом	31
1.5 Методы повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом.....	32
1.6 Заключение	33
2 Разработка алгоритма сварки дугой горячей в динамическом режиме....	35
2.1 Требования к параметрам алгоритма импульсного питания	35
2.2 Выбор системы импульсного питания	37
2.3 Функциональная схема и состав установки.....	40
2.4 Принципиальная электрическая схема и ее описание	41
2.4.1 Силовая часть	41
2.4.2 Общая схема управления	42
2.4.3 Импульсное устройство	43
2.4.4 Схема управления импульсным устройством	46
Выводы по главе:	48
3 Модель сварочной ванны.....	50
3.1 Основные характеристики ванны. Силы, действующие на ванну.....	50
3.2 Лабораторные исследования	52
3.3 Исследование формирования сварного шва с использованием алгоритма с укороченными импульсами сварочного тока.....	56

Выводы по главе:	58
4 Экспериментальная часть	59
4.1 Методика снятия осциллограмм тока и напряжения	59
4.2 Оценка стойкости вольфрамового электрода	63
Выводы по главе:	66
5 Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	67
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	67
5.2 Анализ конкурентных технических решений.....	68
5.3 SWOT – анализ.....	70
5.4 Структура работ в рамках научного исследования	73
5.5 Определение трудоемкости выполнения работ.....	73
5.6 Разработка графика проведения научного исследования.....	74
5.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	78
5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования...	83
6 Социальная ответственность.....	86
6.1 Производственная безопасность	87
6.2 Экологическая безопасность	106
6.3 Безопасность в условиях ЧС.....	106
Перечень нормативно – технической документации.....	108
Заключение	109
Список используемых источников.....	110
Приложение А	114

Введение

Сегодня актуальной задачей является улучшение эффективности и повышение качества создаваемых металлоконструкций. Один из путей ее решения – разработка и последующее внедрение в производство технологических процессов и оборудования, которые отвечают мировым стандартам.

Сварка – лидер среди технологических способов получения неразъемного соединения металлоконструкций различного назначения. Перспективным направлением является развитие автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом корневого слоя многослойного шва и изделий малых толщин. Этот способ позволяет получать с минимальными затратами в цеховых или монтажных условиях неразъемные соединения, идентичные основному металлу по химическому составу, механическим и служебным свойствам. Так же по мобильности и экономичности он составляет серьезную конкуренцию лазерным и электронно-лучевым способам сварки.

Несмотря на достоинства процесса сварки, неплавящимся электродом в аргоне производительность оставляет желать лучшего. По этой причине существует тенденции разработки мероприятий по повышению эффективности данного процесса. Известные внутренние и внешние методы повышения эффективности в какой-то степени улучшают процесс и повышают его производительность, но имеют существенные трудности в практическом применении. Например, их применение затруднительно при сварке корневых слоев, при сварки в разделке, при сварке с изменяющим пространственным положением. Внутренние методы управления не обеспечивают активное управление процессом, а внешние методы управления реализуются достаточно громоздкими устройствами. Исследования, проведенные автором в СКБ «Электросварка» показали, что применение процесса сварки неплавящимся

электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме перспективно. При этом значительно возрастают эффективность процесса и возможности регулировки, которые позволяют активно управлять формированием шва. Способам улучшения технологических характеристик электрической дуги неплавящимся электродом, горячей в аргоне уделено достаточно много внимания. Перспективным направлением считается сжатие дуги, за счет перевода ее в динамический режим горения. Осуществление такого перевода возможно благодаря протеканию кратковременных мощных униполярных импульсов тока, большого амплитудного значения через дуговой промежуток.

Динамический режим горения дуги исследовался такими учеными как Пентегов И.В., Славин Г.А. и Лебедев В.К. Их работы показывают как динамический режим влияет на геометрические размеры шва, структуру, даётся обоснование длительности импульсов, представлены математические зависимости. Однако вопросы технической реализации процесса сварки не освещены. Также в данных работах нет технологических рекомендаций.

В соответствии с этим в работе проведен анализ современного состояния вопроса сварки дугой горячей в динамическом режиме. Разработан алгоритм и техническое устройство позволяющее повысить эффективность сварки неплавящимся электродом в аргоне.

1 Анализ состояния вопроса сварки дугой горячей в динамическом режиме

Одним из способов повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне, является период горения дуги в динамическом режиме, обеспечивающий контрагирование столба дуги и примыкающих к нему активных пятен. При возбуждении дуги на постоянном токе, процесс горения установится спустя $(1-10) \cdot 10^{-5}$ с после её возбуждения. Это создает предпосылки к созданию динамического режима при питании дуги импульсами с меньшей длительностью.

1.1 Характеристики процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне

Характеристика энергетической системы источника питания - дуга. Источник питания для дуговой сварки и сварочная дуга представляет собой единую энергетическую систему, в которой каждый из них выполняет свои определенные функции, а их характеристики взаимно согласованы. Эта система в общем виде представлена на рис. 1.

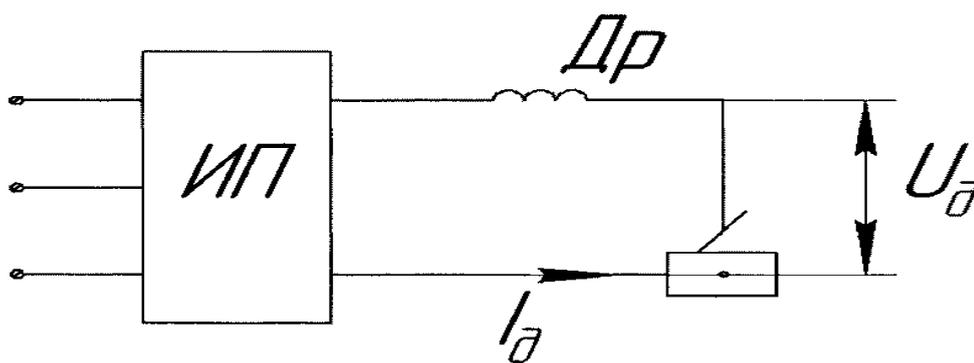


Рисунок 1 – Система источник питания – дуга (U_d - напряжение дуги; I_d - ток дуги; D_p - дроссель; ИП - сварочный источник питания)

Основной задачей источника питания является преобразование

параметров энергии электрической сети в параметры необходимые для питания сварочной дуги.

Сварочная дуга является основным потребителем энергии. В сварочной дуге электрическая энергия главным образом преобразуется в тепловую энергию, при этом в ряде случаев необходимо учитывать процессы тепло и массопереноса через дуговой промежуток.

Как элемент электрической цепи - сварочная дуга представляет собой нелинейный элемент. В общем виде вольт-амперная статическая характеристика сварочной дуги имеет V-образную характеристику

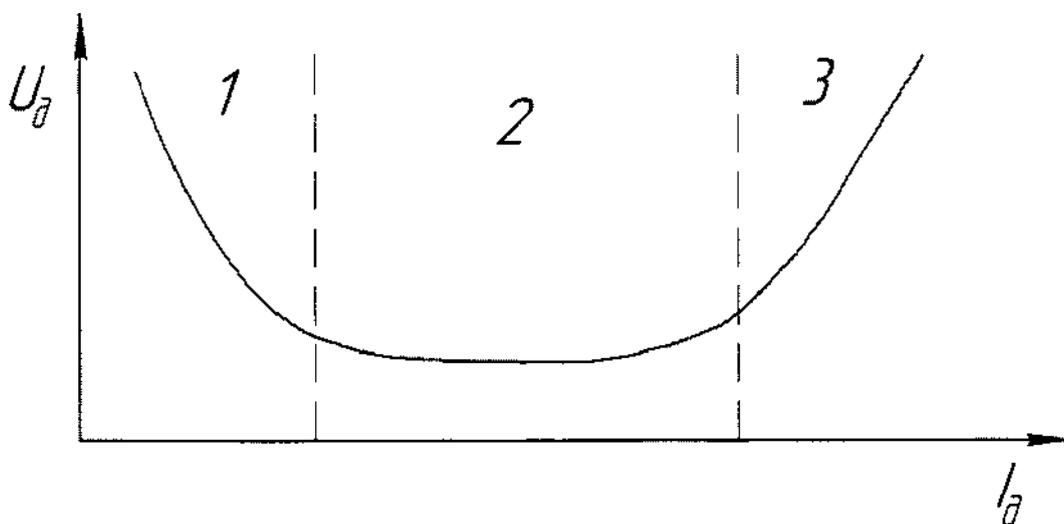


Рисунок 2 – Общий вид вольт-амперной характеристики сварочной дуги.

Можно выделить три области:

1 – область малых режимов (0,5 - 10) А, где форма характеристики падающая.

2 – область средних режимов с умеренными плотностями тока (сварка электродами с покрытием, неплавящимся электродом в аргоне и др.). В этой области напряжение $U_d = E_d$; E_d - пассивная против Э.Д.С. сварочной дуги.

3 – область сварки при высоких плотностях тока. В этой области напряжение дугового промежутка может быть предоставлено в виде:

$$U_d = E_d + I_d R_d; \quad (1)$$

где R_d - динамическое сопротивление сварочной дуги.

При реализации сварочного процесса можно выделить два основных момента процесса:

1. Возбуждение дуги.
2. Стабильное горение дуги, при котором образуется сварной шов.

С точки зрения режима работы также выделяются два этапа:

1. Состояние установившегося равновесия, когда I_d и u_d в течение длительного времени остаются неизменными. Зависимость между током и напряжением дуги в этом состоянии называется статической вольтамперной характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника питания временной ВАХ источника питания.

2. Состояние неустановившегося равновесия или иначе - динамический режим (при возбуждении дуги или возмущениях). Зависимость между U_d и I_d называется динамической характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника динамической характеристикой источника, которые значительно отличаются от статической.

1.2 Статическая устойчивость энергетической системы источник питания - дуга

Статическая устойчивость безотносительно рода тока обычно рассмотрена при следующих допущениях:

1. сварочная дуга не обладает инерцией;
2. источник питания обладает некоторой электромагнитной инерцией, которая обуславливается индуктивностью сварочных проводов и обмоток самого источника.

Система будет устойчивой, если после окончания переходного процесса вызванного каким-либо возмущением, она вновь вернется в прежнее состояние или близкое к прежнему состоянию.

На рис. 3 представлены внешняя характеристика источника питания U_u

$=A(I)$ - кривая 1 и статическая характеристика дуги $U_u = f_2(I)$ - кривая 2.

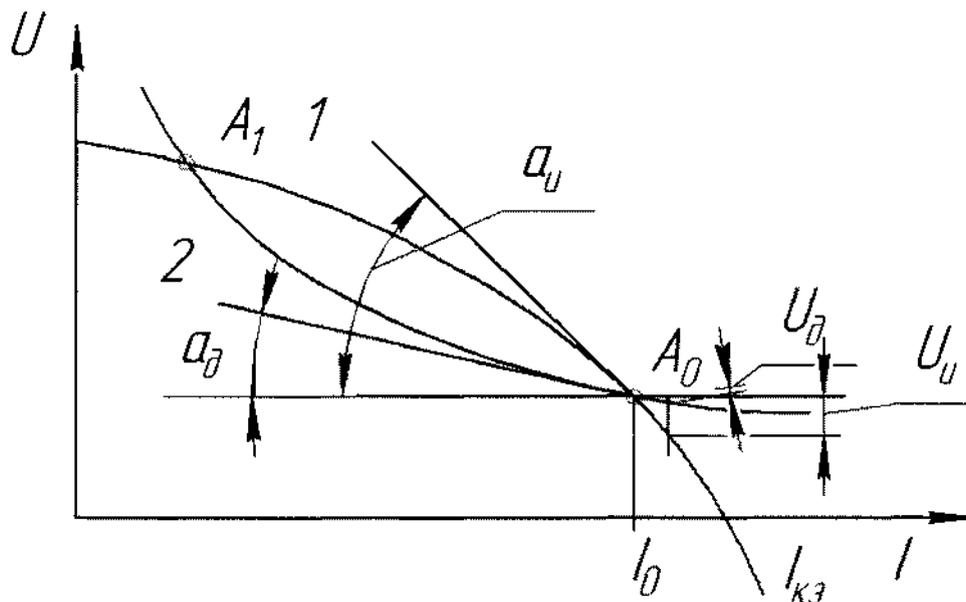


Рисунок 3 – Статические характеристики источника -1 и дуги - 2.

Установившееся состояние системы определяется точками пересечения этих характеристик A_0 и A_1 , в которых ток и напряжение дуги в установившемся состоянии равны току и напряжению источника.

Для определения статической устойчивости режимов в т. A_1 и A_0 необходимо проанализировать поведение системы при малых отклонениях от состояния равновесия.

Анализ проведем относительно точки A_0 , а затем распространим его и на режим в т. А. На рис. приняты следующие обозначения:

$$\begin{cases} a_g = \arctg \rho_g, \\ a_u = \arctg \rho_u, \end{cases} \quad (2)$$

где a_g и a_u - угла наклона касательных в т. A_0 соответственно характеристика дуги и источника.

$$\rho_g = \frac{dU_g}{dI}; \quad (3)$$

$$\rho_u = \frac{dU_u}{dI};$$

где ρ_g - динамическое сопротивление дуги, ρ_u - динамическое сопротивление источника.

Пусть, вследствие какого либо возмущения ток увеличился на величину $+\Delta J$, при этом возникает своеобразный дефицит напряжения ΔU . Для поддержания горения дуги требуется большое напряжение, чем обеспечивает источник питания. Поскольку уменьшение напряжения источника ΔU_u , больше чем уменьшение напряжения дуги ΔU_d , то ΔU определяется следующим выражением:

$$\Delta U = \Delta U_u - \Delta U_d; \quad (4)$$

Т.к. источник питания обладает индуктивностью L , то в переходном процессе содержит напряжение ΔU будет уравниваться ЭДС самоиндукция и на этапе переходного процесса будет справедливо уравнение:

$$L \frac{d\Delta J}{dt} = \Delta U_u - \Delta U_d; \quad (5)$$

Учитывая, что

$$\operatorname{tg} \alpha_u = \frac{dU_u}{dJ} = \frac{dU_u}{\Delta J}; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_g = \frac{dU_g}{dJ} = \frac{dU_g}{\Delta J};$$

ΔU_u и ΔU_g определяются как:

$$\Delta U_g = \operatorname{tg} \alpha_g \cdot \Delta J; \quad (7)$$

$$\Delta U_u = \operatorname{tg} \alpha_u \cdot \Delta J;$$

В выражениях (7) заменяем $\operatorname{tg} \alpha_g$ и $\operatorname{tg} \alpha_u$ через динамические сопротивление и подставим выражение (5), в результате получим:

$$L = \frac{d\Delta J}{dt} = \rho_u \cdot \Delta J - \rho_g \Delta J; \quad (8)$$

После преобразований в окончательном виде получим однородное дифференциальное уравнение первого порядка относительно переменной ΔJ , описывающее переходный процесс в системе источника питания - дуга.

$$L = \frac{d\Delta J}{dt} = \Delta J(\rho_u - \rho_g) = 0 \quad (9)$$

Согласно критерию оценки устойчивости САР, системы в которых

переходные процессы описываются однородным дифференциальным уравнением первого порядка, будут устойчивые, если положительны коэффициенты левой части уравнения. Следовательно, условие устойчивости можно записать в следующем виде:

$$K_y = \rho_d - \rho_u > 0; \quad (10)$$

где K_y - коэффициент статической устойчивости энергетической системы источник питания - дуга. Решением уравнения (9) будет:

$$I = \Delta J \cdot e^{-\frac{K_y}{L} \cdot t_c}; \quad (11)$$

где $t_c = \frac{L}{K_y}$ постоянная времени системы источник питания дуга.

Система будет находиться в состоянии устойчивого статического равновесия, если малое отклонение тока от заданного значения с течением времени будет уменьшаться. Если это отклонение будет расти, то состояние равновесия системы будет неустойчивым.

В общем виде основное условие устойчивости в следующем виде: коэффициент устойчивости системы при дуговой сварке K_y , равный разности производных уравнений статических характеристик дуги и источника питания в рабочей точке, должен быть положительным. Физический смысл этого определения можно формулировать следующим образом: в устойчивой системе источник питания - дуга угол наклона статической характеристики источника питания в рабочей точке к оси токов должен быть больше угла наклона статической характеристики дуги.

Графически для V образной характеристики дуги по областям для устойчивой системы это можно представить в виде следующих сочетаний характеристики дуги и источника.

При умеренных плотностях тока, в частности при аргоно - дуговой сварке неплавящимся электродом (как в нашем случае) напряжение дуги мало зависит от тока т.е.:

$$\frac{dU_d}{dJ} = \rho_d \approx 0; \quad (12)$$

Поэтому часть разрабатываемой системы, питающей дежурную дугу, должна иметь крутопадающую характеристику.

$$\frac{dU_u}{dJ} = \rho_u < 0; \quad (13)$$

Это обеспечивает не только устойчивость режима горения дуги, но и ее эластичность и естественное ограничение тока короткого замыкания.

Кроме того при крутопадающей внешней характеристике источника питания отклонения сварочного тока при изменениях длины дуги будет незначительным, что благоприятно сказывается на постоянстве теплового режима и формировании шва.

1.3 Сущность динамического режима горения

При устойчивом дуговом разряде размеры столба дуги и активного пятна на свариваемом металле, а также распределение энергии в нем обусловлены мощностью разряда, составом газовой атмосферы, теплофизическими и геометрическими параметрами электродов. Известно, что дуговой разряд приобретает свойства устойчивого разряда через $(1-10) \cdot 10^{-5}$ с после его возбуждения. Постоянная времени нарастания тока равна 0,002 с и практически не зависит от материала и толщины электродов.

При питании дуги повторяющимися импульсами тока время установления устойчивого разряда может измениться за счет неполной деионизации дугового разряда в промежутках между импульсами. Значение

этого промежутка времени обусловлено полнотой протекания процесса ионизации в течение импульса и деионизации в паузу, которые, в свою очередь, зависят от энергетических и временных характеристик процесса.

Можно предположить, что если длительность протекания тока между электродами будет меньше длительности перехода дугового разряда в устойчивое состояние, то диаметр активного пятна на металле не достигнет величины, соответствующей мгновенным значениям тока и напряжения импульсов, а дуговой разряд будет характеризоваться при равных других условиях большей плотностью вводимой энергии и большей проплавляющей способностью. Такой режим горения сварочной дуги в дальнейшем будем называть динамическим режимом.

Проплавляющую способность дуги оценивали по глубине и ширине проплавления, при условии постоянства вводимой в металл тепловой энергии на различных режимах. Эффективную тепловую мощность определяли каллометрированием.

Для питания дуги применяли специально разработанные источники кратковременных импульсов тока.

Типичные осциллограммы тока и напряжения дуги приведены на рис. 4.

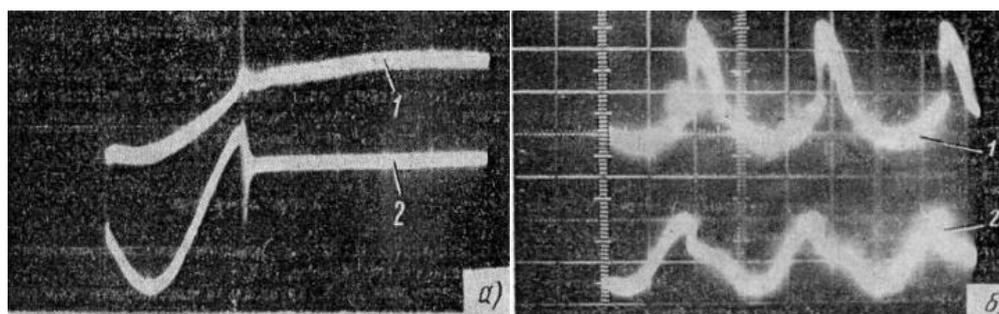


Рисунок 4 – Осциллограммы тока (а) и напряжения дуги (б) [1]

1.4 Разработка модели дуги горячей в динамическом режиме

Перспективность применения дуги горячей в динамическом режиме, в сравнении с другими способами сварки, показана в 1 главе. Однако

разрабатывать новое оборудование и технологию процесса сварки не возможно без исследования (изучения) свойств дуги и процессов ее контрагирования. Сварочная дуга, горящая в аргоне между неплавящимся электродом и плавящимся изделием, имеет колоколообразную форму столба как показано на рисунке 5.

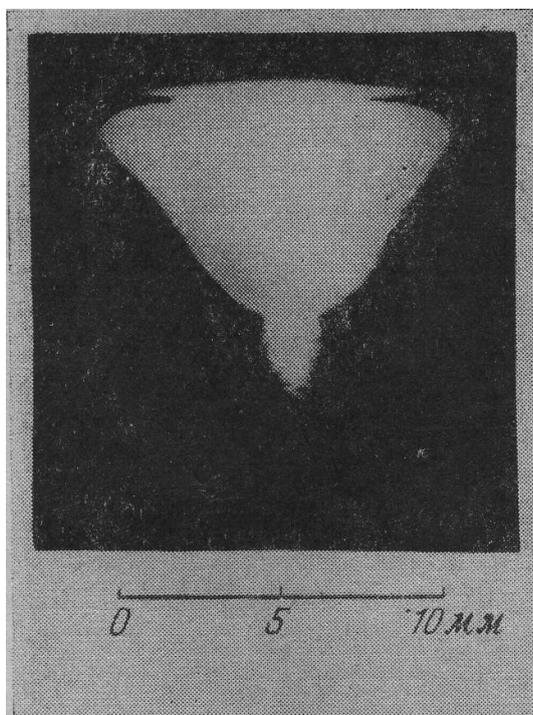


Рисунок 5 - Сварочная дуга, горящая в аргоне [21]

Это обусловлено действием плазменных потоков направленных с электродов, формирование которых зависит от действующего значения сварочного тока. Согласно литературным данным сварочную дугу можно разделить: горящую при малых токах или горящую при больших токах; статический режим горения или динамический режим горения.

1.4.1 Модель дуги горячей при малых токах

К данной модели можно отнести сварочные дуги действующее значение тока, в которых не превышает 30 А [21]. Дуга, горящая при малых токах между неплавящимся вольфрамовым электродом и водоохлаждаемым медным анодом,

представляет собой цилиндрический столб, в котором движение компонентов плазмы происходит в обоих направлениях хаотично. От анода к катоду движутся ионы, а от катода к аноду движутся электроны. Отсутствие каких-либо сильных потоков позволяет привести такую дугу к цилиндрической. Схематичное строение дуги представлено на рисунке 6.

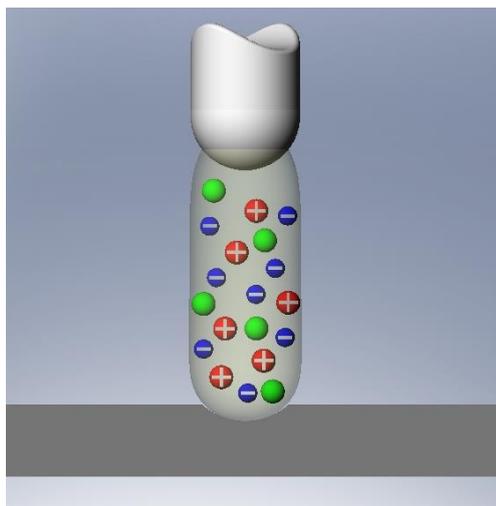


Рисунок 6 – Форма столба дуги горящей при малых токах

Цилиндрическая дуга, как говорилось ранее, считается квазинейтральной. Движение компонентов плазмы осуществляется под воздействием электромагнитных сил. Ионы, образованные в прианодном слое (зоне ионизации), не сносятся к периферии столба дуги в связи с тем, что гидродинамическое течение газа вблизи поверхности анода минимально, т.е. ионы движутся в столб дуги и далее к поверхности катода.

1.4.2 Модель дуги горящей при больших токах

Сварочные дуги, в которых действующее значение тока превосходит 30А, ведут себя по-иному. В дугах этой группы увеличение тока приводит к переходу от дуг высокого давления с явно выраженным катодным пятном, к дугам без явно выраженного катодного пятна. Большие действующие значения

сварочного тока способствуют формированию плазменных потоков с электродов. Дуга, горящая между неплавящимся электродом и медным водоохлаждаемым анодом, становится пространственно устойчивой, движение компонентов плазмы происходит от катода к аноду. Сформированные потоки плазмы обуславливают форму столба дуги – конусообразная (колокообразная) рисунок 7.

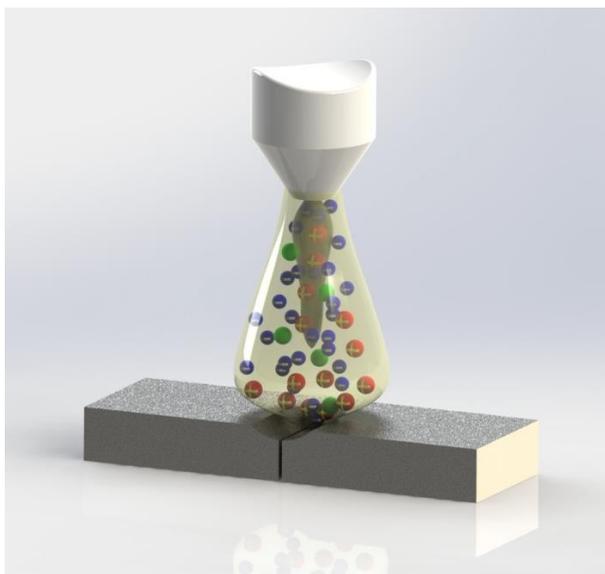


Рисунок 7 – Форма столба дуги при больших действующих значениях сварочного тока

Большие значения сварочного тока способствуют увеличению поперечного сечения столба дуги, участок поверхности катода, охватываемый плазмой увеличивается, в результате чего дуга, кажется длиннее. Поток плазмы с катода занимает соосное направление с электродом и воздействует с максимальным давлением в центральной части анодного пятна.

Изучение процессов на катоде связано с протеканием тока через относительно холодный электрод (катод) в плазму столба дуги. Потоки с электродов сопутствуют движению компонентов плазмы, состоящей из электронов, положительных ионов различных атомов и молекул в разных степенях ионизации, различных отрицательных ионов и более сложных образований. Конкретный состав плазмы зависит от температуры столба дуги.

В большинстве случаев рассматривают только два рода носителей зарядов: электроны и положительные ионы [23, 24, 21, 25, 26, 27].

У катода располагается объемный отрицательный заряд - электроны, а у анода объемный положительный - ионы. Электроны, находящиеся в прикатодной области, нарушают термодинамическое состояние в данной зоне из-за большого количества, но при переходе из прикатодной области в столб дуги свободные электроны частично рекомбинируются, частично отдают свою энергию при соударениях с другими составляющими плазмы или себе подобными [24]. Вся подводимая к столбу энергия воспринимается наиболее легкими и подвижными электронами, которые в результате упругих столкновений с атомами и ионами, нагревают их.

На движении электронов катодные потоки оказывают не значительное влияние. Скорость движения электронов на порядок превышает скорость катодных потоков. Скорость ионов мала, что способствует к тому, что скорость течения катодных потоков преобладает над скоростью движения ионов. Ионы при этом изменяют свое направленное движение от анода к катоду, на движение от катода к аноду. При этом количество ионов вблизи анода, будет соответствовать числу ионов обеспечивающих электрическую нейтральность. Образование новых [21, 24] ионов путем термической ионизации будет небольшим и обуславливается только тем количеством ионов, которое было вынесено на периферию столба дуги гидродинамическим течением. Малое анодное падение потенциала объясняется термическим характером процессов в области анодного падения. При хорошо сформированной катодной струе значение анодного падения напряжения составляет всего (1 ± 2) В. На анодное падение напряжения так же влияет длина дуги.

1.4.3 Модель дуги с плавящимся анодом

Описание моделей, представленное выше, дано, когда дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и медным водоохлаждаемым анодом. В реальном процессе сварки дуга горит между неплавящимся электродом и плавящимся изделием, что вносит свои коррективы на форму столба дуги как показано на рисунке 8.

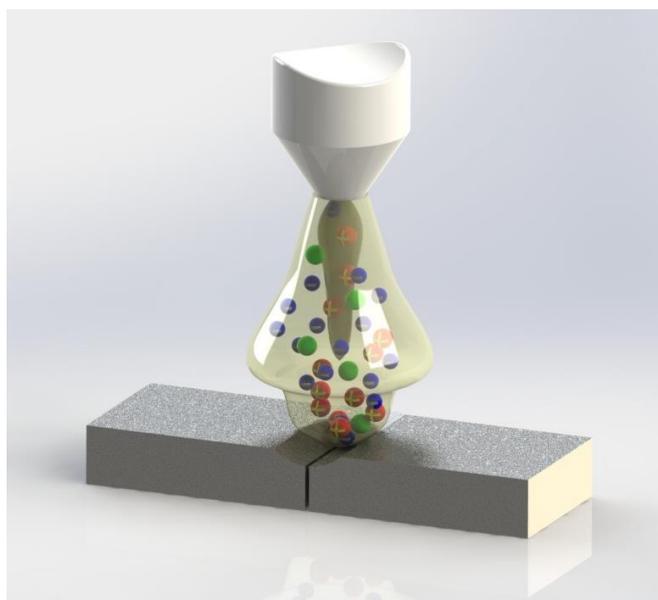


Рисунок 8 - Модель дуги, горящей между неплавящимся и плавящимся электродом при токах свыше 30 А

В связи с тем, что анод плавится, т.е. является испаряющимся на его поверхности под действием электромагнитных сил, формируются анодные потоки в противовес катодным. Потоки, направленные с анода не такие скоростные и сильные как катодные из-за размеров анодной области. Анодная область при стационарном режиме сварки или при импульсном режиме по своим размерам превосходит размеры катодной области, поэтому концентрация струй с анода меньше на единицу площади. Плазменные потоки, с катода двигаясь к аноду, продавливают анодный поток, в центральной части столба дуги изменяя тем самым направление последнего и увлекая его к периферии столба. Достигнув анода, катодный поток меняет свое направление и начинает

двигаться вдоль поверхности анода, где под действием анодных струй изменяет свое направление и уже движется новый общий поток анодных и катодных струй. На периферии анодной области анодные потоки преобладают над потоками с катода, что и приводит к изменению формы столба дуги.

В бочкообразной модели, движение потоков плазмы равных по величине наблюдается как от катода, так и от анода. Взаимодействие потоков приводит к уширению центральной части столба дуги. Данный вид моделей более сложен в описание основных параметров столба дуги и силового воздействия на расплавленный металл сварочной ванны. Изменение величины тока и температуры происходит по всему столбу дуги как от центра к периферии, так и по мере удаления от электрода к свариваемой поверхности. Изменяется и величина силового воздействия дуги: по оси дуги давление в расширенной области меньше давлений в области сужения канала.

1.5 Методы повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом

Повышение эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в среде аргона возможно при сжатии столба дуги, которое достигается физическими или химическими средствами.

При использовании химических средств сжатие столба происходит за счет сужения зоны проводимости вследствие развития окислительно-восстановительных реакций. Сжатие свободно горячей дуги в данном случае устанавливается и поддерживается путем подачи в зону сварки небольшого количества расходуемых химических веществ, активизирующих химические реакции. К таким средствам можно отнести: введение кислорода, углекислого газа, азота, галоидных соединений в виде флюсов или газов.

Введение в защитную среду активных газов (O_2 , CO_2 , N_2) не более 8 – 10% от общего объема всего расходуемого газа оказывает положительное

воздействие на металл сварного шва. При этом улучшается структура шва, увеличиваются значения механических свойств, наблюдается стабилизация активного пятна на электродах. Добавление 3 – 5% активного газа позволяет получить наибольший положительный эффект воздействия, с увеличением глубины проплавления на 20 – 25%.

Использование галогенидов позволяет сжать анодное пятно и сузить зону проводимости столба дуги. Аналогично действию при введении активных газов, использование флюсов позволяет увеличить глубину проплавления и стабилизировать геометрию сварного шва.

Использование химических средств повышения эффективности позволяет управлять проплавающей способностью дуги и способствует улучшению качества соединения при сварке в инертных газах. Однако данные средства не позволяют управлять, вкладываемой в процессе сварки тепловой мощностью и сложны в применении (изготовлении смеси, нанесении и удалении флюсов и т.д.).

Физические средства позволяют достичь эффекта сжатия за счет изменения преимущественно физических параметров разряда путем специально подготовленной рабочей поверхности электродов, использование высокочастотного напряжения или режимов с импульсной модуляцией тока, наложение продольного или поперечного магнитного поля и т.д. Большинство этих приемов ограничено в применении и являются частными случаями решения специфических задач.

1.6 Заключение

Анализ внутренних и внешних методов повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне показал ограниченные возможности при практическом применении из за их конструктивной технологической сложности в то же время наиболее свободным от указанных

сложностей но наименее исследовательным и более перспективным является процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Такой процесс, реализуемый при импульсной модуляции сварочного тока, позволяет контрагировать столб дуги и примыкающих к нему активных пятен, благодаря чему концентрированно вводить тепло в изделие. Однако сварочно-технологические свойства дуги горячей в динамическом режиме в научно-технической литературе практически не отражены. Ввиду достоинств такого процесса и перспективность его применения исследование такого процесса является актуальным.

На основании этого цель настоящей работы может быть сформулирована следующим образом: исследование и разработка процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме и технических средств для его реализации.

Задачи исследования:

- 1 разработка импульсной системы питания дуги обеспечивающий динамический режим горения дуги;
- 2 разработать способы сварки для корневых слоев и изделий малой толщины, на основе динамического режима горения.
3. разработать методики проведения эксперимента.

2 Разработка алгоритма сварки дугой горячей в динамическом режиме

Проведенный обзор научно-технической литературы показал недостаточность информации по источникам питания обеспечивающих динамический режим горения сварочной дуги и алгоритмам с укороченными импульсами. В литературных источниках имеется информация по форме, длительности и частоте следования импульсов. Поэтому вопрос разработки источников питания обеспечивающих динамический режим горения сварочной дуги является актуальным.

2.1 Требования к параметрам алгоритма импульсного питания

На основе теоретических и экспериментальных исследований, в том числе и проведенных в настоящей работе, требования к параметрам алгоритма, реализующим процесс горения сварочной дуги с неплавящимся электродом в аргоне в динамическом режиме для разработки, конструирования и последующего анализа можно представить в следующем виде:

- амплитуда импульсов, которая кроме технологических требований будет ограничиваться допустимой нагрузкой на электрод и возможностями коммутирующих приборов по величине тока и скорости его нарастания. (С технологической стороны имеет значение, максимально требуемое давление дуги для формирования технологического отверстия и динамики процессов в столбе дуги, а так же постоянной времени столба);

- длительность импульсов ограничивается величиной в несколько сотен микросекунд (до 450мкс) [1]. Данный предел по длительности импульса позволит получить динамически горящую дугу, за счет отставания процессов эмиссии за изменением параметров дуги. По технологическим характеристикам малая длительность импульса позволит получить ширину шва соизмеримую с диаметром электрода;

- частота следования импульсов будет регламентироваться как допустимой нагрузкой на электрод, не позволяющей нарушения рабочей поверхности, так и пропускной способностью коммутирующих элементов. Помимо этого предел регулирования зависит от технологических свойств самой дуги;

- форма импульса тока находится в зависимости от постоянной времени столба дуги, которая показывает время запаздывания процессов протекающих в столбе относительно его размеров. С технологической стороны форма импульса влияет на условия защиты зоны сварного шва. Крутой передний фронт импульса обеспечивает быстрое нарастание тока, а более пологий срез импульса (задний фронт) позволяет исключить эффект «захлопывания» столба;

- введение дежурного тока, между импульсами, необходимо для непрерывности горения дуги и пространственной устойчивости. Дежурный ток позволяет держать дуговой промежуток в ионизированном состоянии, в результате чего возбуждение дуги происходит с торца электрода и происходит поддержание постоянства параметров сварки. С технологической стороны дежурная дуга позволяет получать сварной шов, отвечающий требованиям, без видимых дефектов и полученных при качественной защите;

- возможность плавно управлять частотой следования импульсов;

- возможность управления длительностью импульсов – ступенчато.

На основании предварительного анализа параметров импульсного режима дуги горящей в динамическом режиме по литературным данным можно определить ориентировочно их следующие величины:

- ток импульса должен находиться в диапазоне от 120 до 400А.

- частота следования импульсов от нескольких сотен герц до десятков килогерц.

- длительность импульса не должна превышать 500 мкс.

- форма импульса должна быть близка к прямоугольной.

- ток дежурной дуги составляет порядка 12-15А.

- характеристика источника дежурного тока крутопадающая.

2.2 Выбор системы импульсного питания

Основываясь на ориентировочные величины динамического режима по длительности и амплитуде импульсов, произведен выбор из разработанных систем импульсного питания сварочной дуги. В качестве накопителей энергии электрической сети и перевода ее в импульсную систему питания могут быть рассмотрены: конденсаторы; химические элементы; маховые массы; магнитные элементы; коаксиальные кабели и формирующие линии.

При разряде конденсатора накопленная энергия варьирует частоту следования разрядных импульсов от долей герц до нескольких сотен и даже тысяч герц [16, 17]. В импульсных режимах могут быть использованы конденсаторы, специально сконструированные для этих целей и общего применения. Однако в любом случае при выборе конденсаторов должны быть учтены особенности их работы при импульсных нагрузках. Учет особенностей должен производиться по следующим показателям: способен ли конденсатор данного типа обеспечить формирование или передачу импульса, не является ли такой режим разрушающим для конденсатора. Допустимая импульсная нагрузка, на конденсаторе определяется исходя из следующих параметров импульсного режима: значений положительных и отрицательных пиков напряжения и тока, размаха переменного напряжения на конденсаторе, длительности нарастания и спада напряжения, периода и частоты следования импульсов, наличия постоянной составляющей [17].

Катушка индуктивности или дроссель также являются накопителями энергии, только здесь, в отличие от конденсатора, энергия электрического тока преобразуется в энергию магнитного поля. При замыкании электрической цепи напряжение на катушке изменится, достигнув своего максимума, и далее плавно спадает до нуля. Ток в этот период плавно изменяется по тому же

закону, но от нуля до максимума. [19] Использовать магнитные элементы в качестве накопителя энергии при сварке предложено в работе [20].

Помимо конденсаторов и дросселей в качестве накопителей энергии применяют химические элементы. Электрохимические накопители энергии используют энергию химических реакций для накопления и возврата энергии. Такие накопители называются «гальваническими элементами» или «батареями» [21, 22]. Процесс накопления энергии при использовании аккумуляторов происходит за счет химических реакции протекающих между электродами, погруженными в раствор электролита. Энергия, освобождающаяся при химическом превращении, может использоваться как электрическая. Токи, протекающие через аккумулятор, имеют предел по верхнему значению, который равен 300А. Использование аккумулятора в качестве накопителей энергии, в частности для дуги, горящей в динамическом режиме не целесообразно, из-за повышенных тепловых потерь и как следствие низкого КПД по сравнению со стационарным режимом, и другими накопителями энергии.

Для создания импульсов тока обеспечивающих режим динамического горения сварочной дуги наиболее интересна однородная искусственная формирующая линия [9, 10].

Линия состоит из n $L - C$ ячеек с одинаковыми значениями индуктивностей дросселей L и емкостей конденсаторов C . При анализе процессов в такой линии обычно учитывают сопротивления дросселей пренебрегая потерями в конденсаторах.

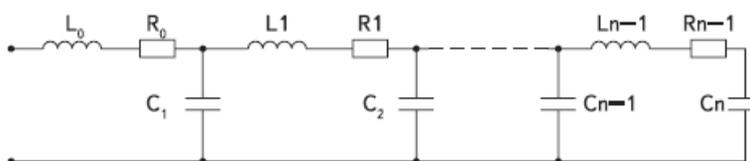


Рисунок 9 - Эквивалентная схема ОИЛ

В такой системе осуществляется заряд конденсаторов через зарядный дроссель L_{zd} и зарядный тиристор, а разряд на дуговой промежуток осуществляется через разрядный тиристор. Разряд такой линии позволяет получить импульсы прямоугольной формы, с крутыми фронтами и срезом (рисунок 10).

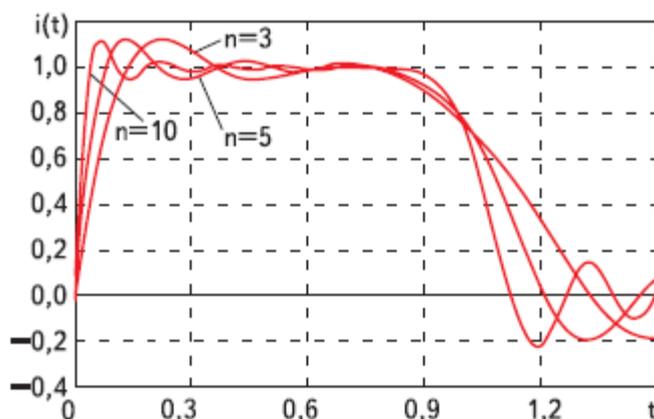


Рисунок 10 - Временные зависимости токов нагрузки ОИЛ

Приведенные временные зависимости токов нагрузки ОИЛ, работающей в согласованном режиме, для различного числа ячеек. Достижение полного разряда линии осуществляется при прохождении разрядной волной двойной длины линии и отражении ее от замкнутого конца. Недостатком является ограничение частоты формирования импульсов из-за наличия достаточно длительного этапа предварительного заряда конденсаторов и возможность протекания сквозного тока, приводящего к срыву работы.

Кроме однородной искусственной линии в качестве устройства для формирования импульса и накопителя энергии используют коаксиальные кабели или полосковые линии [26]. Такие линии используются для формирования импульсов наносекундного диапазона длительности. Но их практическое применение сопряжено с конструктивными трудностями; ограниченным диапазоном длительности (от 20нс до 0,5мкс); невысоким рабочим напряжением.

Анализ литературных данных по разным видам накопителей энергии и их принципы работы, по формированию импульсов (разряд на сварочную дугу),

позволяет считать, что наиболее оптимальным является использование искусственной формирующей линии. Формирующая линия, выполненная из идентичных ячеек, отвечает требованиям, предъявляемым к создаваемой системе импульсного питания по форме импульсов, амплитуде, длительности.

2.3 Функциональная схема и состав установки.

Для проведения исследования процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме разработана экспериментальная установка, функциональная схема которой представлена ниже на рисунке 11.

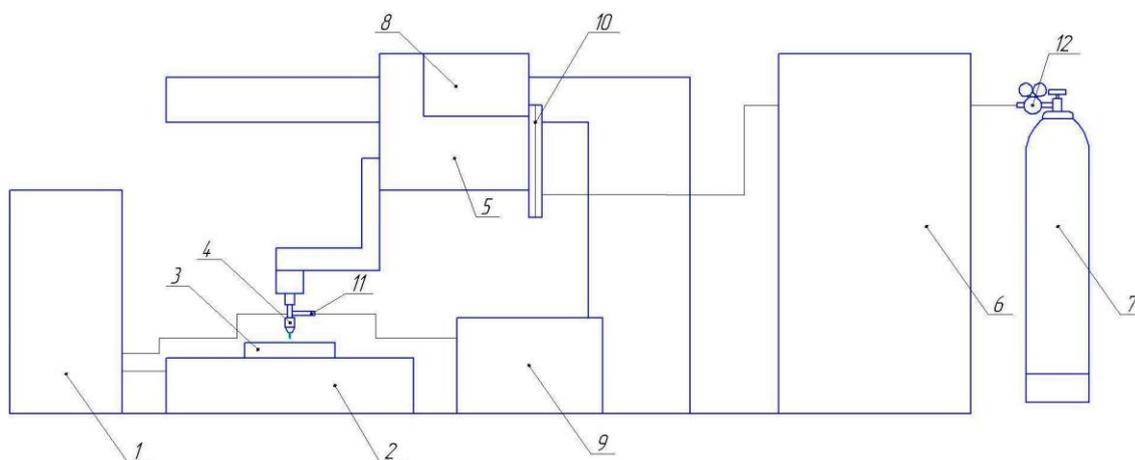


Рисунок 11 – Схема экспериментальной установки

В состав установки входят следующие устройства: 1 – импульсный источник питания; 2 – манипулятор; 3 – изделие, образец; 4 – автомат; 5 – шкаф управления; 6 – газовый баллон; 7 – пульт управления; 8 – осциллограф С8-13; 9 – расходомер; 10 – шунт; 11 – газовый редуктор.

2.4 Принципиальная электрическая схема и ее описание

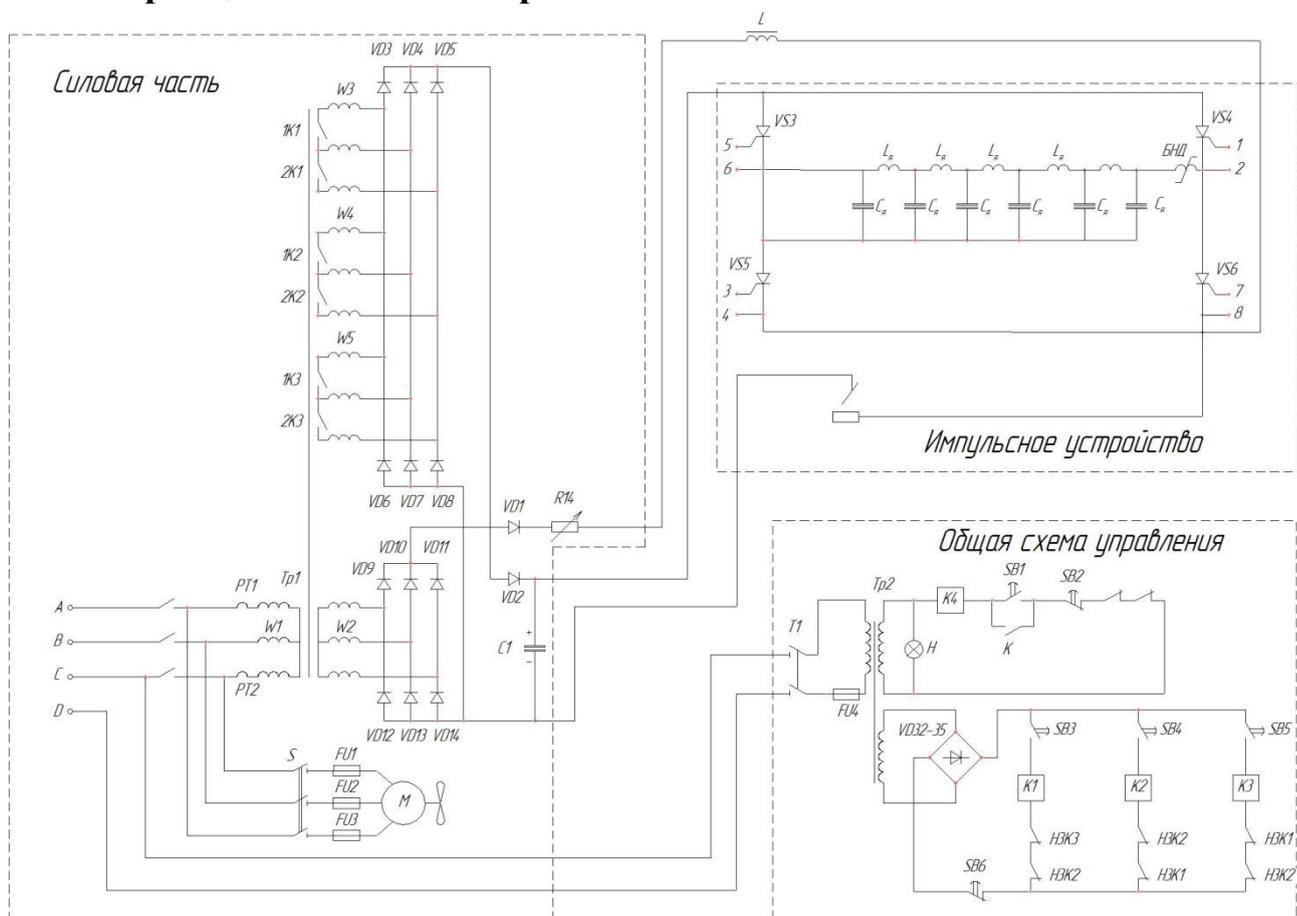


Рисунок 12 – Принципиальная электрическая схема

2.4.1 Силовая часть

Силовая часть включает в себя понижающий трехфазный трансформатор $Tr1$ с четырьмя комплектами вторичных обмоток $W2$ и $W3$, $W4$, $W5$, соединённых в звезду; два силовых выпрямителя; трехфазный асинхронный короткозамкнутый двигатель M - привод вентилятора; два выпрямителя, собранных по трехфазной мостовой схеме; выпрямитель на вентилях $VD9...VD14$ через блокирующий диод $VD1$. регулируемый резистор $R14$ и дроссель L питает дежурную дугу прямой полярности. Этот выпрямитель питается от трёх фазной обмотки $W2$. Выпрямитель на вентилях $VD3...VD8$ через импульсное устройство питает дугу импульсами тока. Параллельно

выпрямителю подключена батарея конденсаторов С1. Вентиль VD2 блокирует частично разряд конденсатора через выпрямитель за счет обратных токов.

Выпрямленное напряжение может иметь три различных значения, в зависимости от того, какой комплект вторичных обмоток (W3, W4 или W5) подключен к выпрямителю.

Охлаждение выпрямительных мостов осуществляется вентилятором, который при настройке схемы можно отключать пакетным выключателем S.

2.4.2 Общая схема управления

Общая схема управления включает в себя понижающий трансформатор Tr2, первичная обмотка которого подключается к фазному напряжению 220 В тумблером Т1 через предохранитель FU4. Одной из вторичных обмоток трансформатора запитывается обмотка магнитного пускателя К. Для включения трансформатора следует нажать кнопку пуск (SB1), при этом при срабатывании контактора замыкаются три контакта в цепях первичной обмотки силового трансформатора Tr1 и контакт К, шунтирующий пусковую кнопку. Для выключения трансформатора нажать кнопку стоп (SB2). Лампа накаливания Н показывает наличие напряжения на вторичной обмотке трансформатора. От вторичной обмотки трансформатора Tr2 через мостовую схему выпрямления, выполненную на диодах VD32...VD35, запитываются обмотки магнитных пускателей К1, К2, К3, которые включаются пусковыми кнопками соответственно SB3, SB4, SB5, а выключаются кнопкой стоп (SB6). Причём благодаря включению нормально закрытых контактов каждого магнитного пускателя в цепи питания обмоток двух других контакторов исключается одновременное включение более одного контактора. Благодаря этому, к выпрямителю на диодах VD3...VD8 может быть подключено только одна из вторичных обмоток силового трансформатора Tr1.

2.4.3 Импульсное устройство

На рисунке 13 представлено импульсное устройство. Оно состоит из формирующего элемента Φ , в виде искусственной формирующей линии, состоящей из n $L_{я} - C_{я}$ ячеек, каждая из которых состоит из последовательно включенных конденсатора $C_{я}$ и дросселя $L_{я}$, причем свободные выводы обкладок конденсаторов соединены вместе, а точки соединения конденсатора и дросселя предыдущих ячеек соединены со свободными выводами дросселя последующих ячеек, а в качестве последнего дросселя использован быстронасыщающийся дроссель БНД, индуктивность которого, в насыщенном состоянии, равна индуктивности дросселей ячеек и однофазной мостовой схемы, выполненной на тиристорах $VS3 - VS6$.

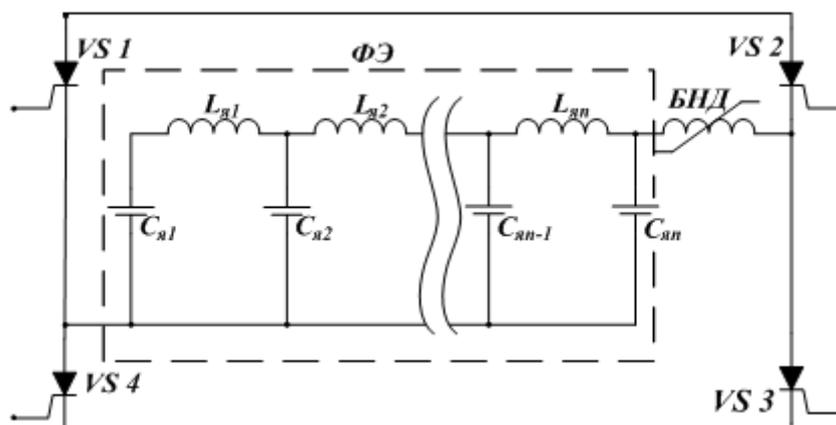


Рисунок 13 – Схема импульсного устройства

В диагональ мостовой схемы между точками соединения анодов с катодами тиристоров включена искусственная формирующая линия - к одной точке общей точкой соединения обкладок конденсаторов, а к другой оставшимся свободным выводам быстронасыщающегося дросселя. Другая диагональ тиристорного моста включена последовательно в сварочную цепь. Благодаря включению искусственной формирующей линии в диагональ тиристорного моста и наличию батареи конденсаторов, подключенной к

выходным клеммам выпрямителя, при поочередном включении пар тиристорov, находящихся в противоположных плечах Т моста VS3, VS6 и VS4, VS5, будет происходить перезаряд искусственной формирующей линии на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного её заряда от источника питания минуя дуговой промежуток.

Устройство работает следующим образом. При подаче управляющих импульсов на тиристоры VS3 и VS6 находящихся в противоположных плечах тиристорного моста конденсаторы $C_{я}$ имеют заряд с минусом на нижних обкладках и с плюсом на верхних обкладках. Конденсатор C_1 всегда заряжен от выпрямителя с плюсом на верхней обкладке. При открытии тиристорov VS3 и VS6 под действием суммарного напряжения источника питания и напряжения заряженных конденсаторов $C_{я}$ происходит перезаряд искусственной формирующей линии по цепи: плюс выпрямителя - тиристор VS3 - искусственная формирующая линия - быстронасыщающийся дроссель БНД - тиристор VS6 - изделие - дуговой промежуток (между изделием и электродом) - электрод - минус выпрямителя. В конце процесса перезаряда полярность конденсаторов C сменится на противоположную - плюс на нижних обкладках, минус на верхних обкладках.

При открытии пары тиристорov VS4 и VS5 процесс перезаряда искусственной формирующей линии происходит аналогично.

При очередном открытии пар тиристорov VS3 и VS6, VS4 и VS5 через дуговой промежуток будет протекать импульс тока перезаряда искусственной формирующей линии, что исключает необходимость предварительного её заряда от источника питания.

В схему импульсного устройства (рисунок 14) встроены два тиристора установленные встречно друг-другу, с целью изменять длительность импульса сварочного тока и тем самым управлять тепловложением в изделие – реализуется алгоритм с укороченными импульсами. Работа такого устройства заключается в следующем при очередной подаче управляющих импульсов на

тиристоры, стоящие в противоположных плечах тиристорного моста, происходит процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. По каналам обратной связи происходит отслеживание длины дугового промежутка и параметров столба дуги в период паузы. Изменение данных параметров в сторону увеличения приводит к срабатыванию тиристоров встроенных в середину импульсного устройства и тем самым отключению части формирующего элемента. Отключение части ячеек позволяет изменить длительность импульса сварочного тока, тем самым изменив тепловложение в изделие. При достижении параметров дежурной дуги (тока и напряжения), происходит подключение ячеек ранее исключенных от формирования импульса тока.

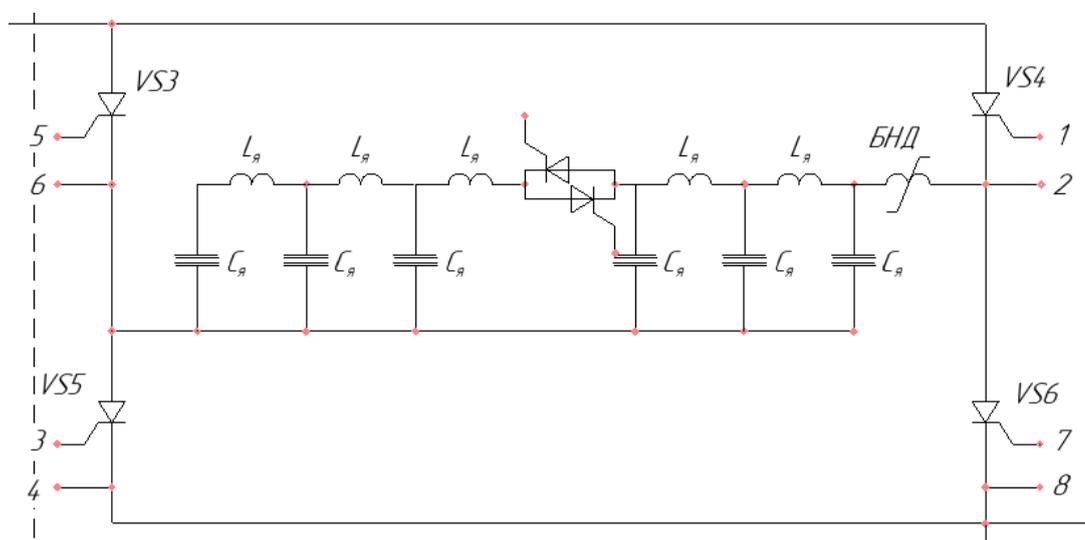


Рисунок 14 – Схема импульсного устройства с дополнительными тиристорами

Форма импульса будет близка к прямоугольной. Амплитуда импульсов приближенно определяется по выражению 6:

$$I_{им} = \frac{U + U_c - U_\delta}{2\rho}, \quad (14)$$

где U – напряжение источника питания 1;

U_c – напряжение заряда формирующей линии;

U_δ – напряжение дугового промежутка;

$\rho = \sqrt{\frac{L_{я}}{C_{я}}}$ - волновое сопротивление формирующей линии;

$L_{я}$ - индуктивность дросселя ячейки формирующей линии;

$C_{я}$ - ёмкость конденсатора ячейки формирующей линии.

Длительность импульса определяется выражением (15):

$$t_{ум} = 2,2 \times n \times \sqrt{L_{я} \times C_{я}}; \quad (15)$$

где n – количество ячеек формирующей линии.

Активная длительность фронта импульса определяется по формуле (16):

$$t_{\phi} \cong 0,61 \times \sqrt{L_{я} \times C_{я}} \cong 0,27 \times \frac{t_{ум}}{n}; \quad (16)$$

Активная длительность среза импульсов найдем из выражения (17):

$$t_c \cong (0,0675 \times n \times 0,23) \times \sqrt{L_z \times C_z}; \quad (17)$$

Амплитуда импульсов устанавливается напряжением холостого хода источника питания. Максимальная частота следования импульсов ограничивается длительностью импульсов и определяется выражением (18):

$$f_{max} < \frac{1}{t_{ум}}. \quad (18)$$

2.4.4 Схема управления импульсным устройством

Управление тиристорами VS3 – VS6 мостовой схемы импульсного устройства осуществляется схемой управления, функциональная схема которого представлена на рисунке 15.

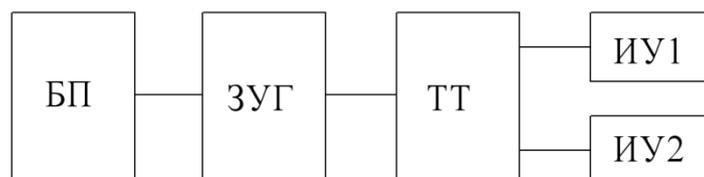


Рисунок 15 - Функциональная схема электрической схемы управления импульсным устройством

Питание схемы управления осуществляется от блока питания БП, состоящего из понижающего трансформатора Тр4, первичная обмотка которого подключается тумблером Т2 через предохранитель FU5 к напряжению 220 В. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется выпрямителем на диодах VD28 - VD31. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном VD15 с падением части напряжения на балластном сопротивлении R1 и сглаживается конденсаторным фильтром. От этого напряжения питается схема управления. Частота работы установки задаётся задающим управляющим генератором частоты ЗУГ, частоту которого можно изменять от нескольких герц до десятков килогерц при соответствующем снижении длительности импульсов.

Управляющий генератор выполнен на однопереходном транзисторе ОПТ, базой которого через сопротивления R4 и R5 подключены к питающему сопротивлению, а эмиттер подключен к конденсатору C2 времязадающей цепи, выполненной на упомянутом конденсаторе C2 и сопротивлениях R2, R3. Генератор является релаксационным генератором. При заряде конденсатора C2 по экспоненциальному закону через сопротивления R2 и R3 от источника питания до пробивного напряжения перехода эмиттер – база 2 – ОПТ происходит мгновенный разряд конденсатора на сопротивление R5. Изменяя величину сопротивления R2 можно в широких пределах изменять частоту генерации. Последовательность импульсов R5 поступает на два входа тиристорного триггера, который осуществляет деление частоты на два. С двух выходов триггера далее передаются две последовательности импульсов с частотой уменьшенной в два раза и смещённых относительно друг друга на пол периода. Тиристорный триггер выполнен на тиристорах VS5, VS6, в катодные цепи которого включены соответственно диоды VD16, VD17, защищающие тиристоры от обратных напряжений. В анодные цепи тиристоров включены сопротивления R7 и R9. Между анодами тиристоров VS5 и VS6 включена цепочка из последовательно соединённых конденсатора C3 и первичной

обмотки импульсного трансформатора Тр3. Вторичные обмотки 1Тр3 и 2Тр3 импульсного трансформатора являются выходами тиристорного триггера, которые выдают импульсы при смене состояния триггера. Входами триггера являются управляющие электроды тиристоров VS5 и VS6, на которые через сопротивления R6 и R8 одновременно поступает последовательность импульсов с сопротивления R5 генератора частоты. По типу тиристорный триггер является Т – триггером, у которого, при каждом поступлении импульса на оба входа одновременно, изменяется состояние, и первичная обмотка трансформатора Тр3 поочередно генерирует разнополярные импульсы во вторичных обмотках 1Тр3 и 2Тр3. Эти обмотки включены: 1Тр3 через диоды VD25, VD26 в базовую цепь транзистора VT1; 2Тр3 через диоды VD23, VD24 в базовую цепь транзистора VT2, таким образом, что каждый из этих транзисторов открывается импульсами одной полярности сдвинутых относительно друг друга на пол периода. На транзисторах VT1 и VT2 выполнены импульсные усилители. В коллекторные цепи транзисторов включены импульсные трансформаторы Тр5 и Тр6, первичные обмотки которых зашунтированы в обратном направлении диодами VD18 и VD27 для снятия перенапряжения. При поочередном срабатывании импульсных усилителей с их вторичных обмоток снимаются импульсы напряжений, которые поочередно открывают попарно тиристоры импульсного устройства VS1, VS3 – VS2, VS4. В результате этого при открытии указанных пар тиристоров через дуговой промежуток проходят импульсы сварочного тока. Тумблер Т3 служит для включения и выключения импульсов импульсного устройства.

Выводы по главе:

1. созданная установка обеспечивает питание дуги импульсами длительность которых не превышает 80 мкс, с формой импульсов близкой к

трапецеидальной. При этом срез импульса превышает фронт импульса по длительности в 4 раза, что предотвращает схлопывание столба дуги. Установка имеет широкие регулировочные возможности по частоте следования импульсов (за счет исключения этапа предварительного заряда конденсаторов формирующей линии) в диапазоне от 600 до 5000Гц;

2. Для подвода высокочастотной энергии от источника к сварочной дуге используется коаксиальный кабель;

3. Для управления тепловложением в изделие предложен способ питания дуги по алгоритму с укороченными импульсами сварочного тока.

3 Модель сварочной ванны

Сварочная ванна при дуговой сварке неплавящимся электродом образуется в результате расплавления основного металла. Затвердевая, металл сварочной ванны, образует металл шва, поэтому форма шва по существу зависит от формы ванны. Умение управлять формой ванны позволяет получать требуемую форму шва.

3.1 Основные характеристики ванны. Силы, действующие на ванну

Образование сварочной ванны происходит в результате расплавления основного и присадочного (электродного) металла, если такой применяется [27]. Металл ванны, находящийся в жидком состоянии, кристаллизуется, образуя металл шва, таким образом, форма ванны обуславливает форму шва.

Залогом неразрушающего соединения является выполнение корневого слоя сварного соединения без дефектов и отвечающего всем требованиям предъявляемым руководящим документом. Особенно это важно при выполнении соединений, где металл шва, контактирует с агрессивной средой, способствующей разрушению. Для грамотного выполнения корневого слоя необходимо знать такие вещи как: процесс кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны; силы, действующие на сварочную ванну; оптимальные параметры сварочной ванны; процесс распределения теплоты в изделии и многое другое.

Основными характеристиками ванны являются ее геометрические размеры (рисунок 16): глубина H ; ширина B ; длина L ; поверхность зеркала ванны F ; масса G или объем V . Эти характеристики зависят от теплофизических свойств материала изделия, основных параметров режима сварки и

энергетических показателей системы (источник питания – сварочная дуга - изделие).

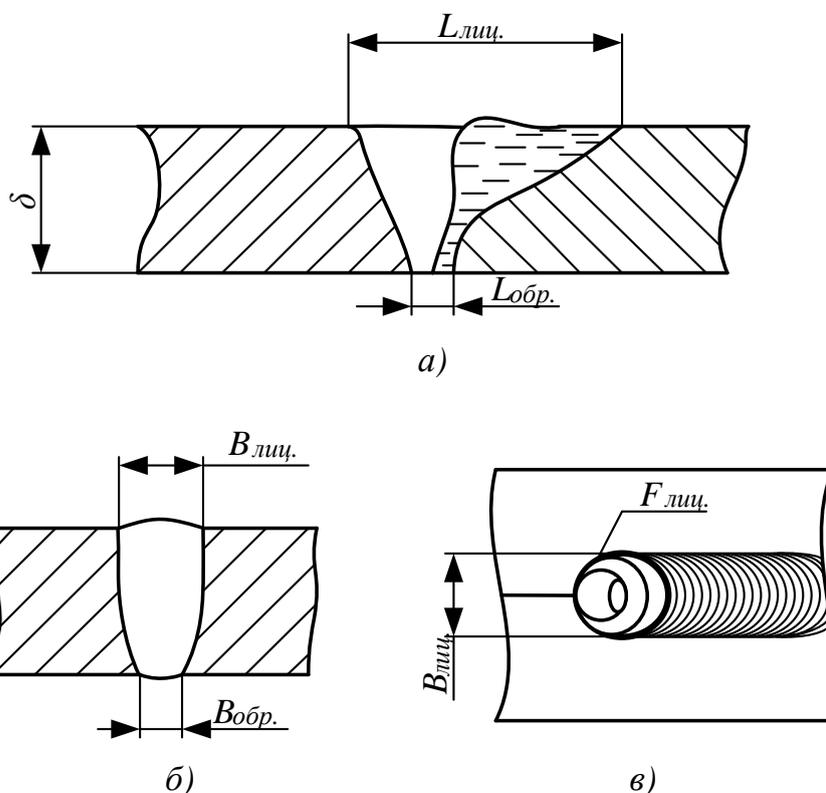


Рисунок 16 – Схема сварочной ванны при сварке со сквозным проплавлением: а и б – продольное и поперечное сечения; в – вид сверху.

При сварке с образованием сквозного отверстия глубина ванны - Н может не учитываться, в связи с полным проплавлением металла изделия. Ширина и глубина ванны изменяется по длине непрерывно, поэтому различают головную – $L_{гол}$ и хвостовую – $L_{хвост}$ часть ванны. В головной части плавится основной металл, поперечное сечение увеличивается в направлении противоположном направлению движения дуги. В хвостовой части металл ванны кристаллизуется, поперечное сечение уменьшается.

Оценка объема геометрических размеров ванны при помощи математических формул является сложной задачей, решение которой получено для частных случаев с определенными ограничениями.

В процессе сварки форма и размеры сварочной ванны зависят не только от теплофизических свойств металла параметров режима, но и от внешних сил действующих как на поверхности ванны, так и внутри нее. Сварочная ванна [28] находится под действием статических сил, т.е. в статическом равновесии, Процесс поддержания этого условия саморегулирующийся и зависит от толщины жидкой прослойки под дугой и объема самой ванны.

Силы (давления) в зависимости от принятой терминологии разделяют на поверхностные и объемные силы [29]. Поверхностные силы воздействуют на поверхности сварочной ванны, к ним относят: давление дуги; газокINETическое и электромагнитное давление; давление заряженных частиц и испаряющегося металла ванны; силы поверхностного натяжения. Объемные силы действуют непосредственно в сварочной ванне, к ним относят: электродинамические и гидродинамические силы в ванне; гравитационные силы; силы внутреннего трения в жидком металле. При сварке все перечисленные силы могут как помогать, так и отрицательно сказываться на формировании сварного шва в зависимости от того в каком пространственном положении идет сварка. В связи с этим согласно работе [29] силы в системе дуга – сварочная ванна – шов разделяют на три группы: силы воздействия источника энергии; силы в сварочной ванне; силы поверхностного натяжения на границе фаз.

3.2 Лабораторные исследования

Для определения параметров режима сварки металлических пластин дугой горячей в динамическом режиме проводились лабораторные исследования.

Для питания дуги применяли специально разработанный источник питания кратковременных импульсов тока большого амплитудного значения. Сварку пластин производили на установке АДСВ – 5.

Экспериментальная установка, представленная на рисунке 16 содержит: сварочную горелку 4 (для аргодуговой сварки); разработанный источник питания, состоящий из трехфазного выпрямителя 1, батареи конденсаторов большой емкости 2 и импульсного устройства 3; электрод 5; изделие 6 в прижимном приспособлении, механизм перемещения горелки 9 с блоком управления 10; безиндуктивный шунт 7 и подключенный осциллограф 8.

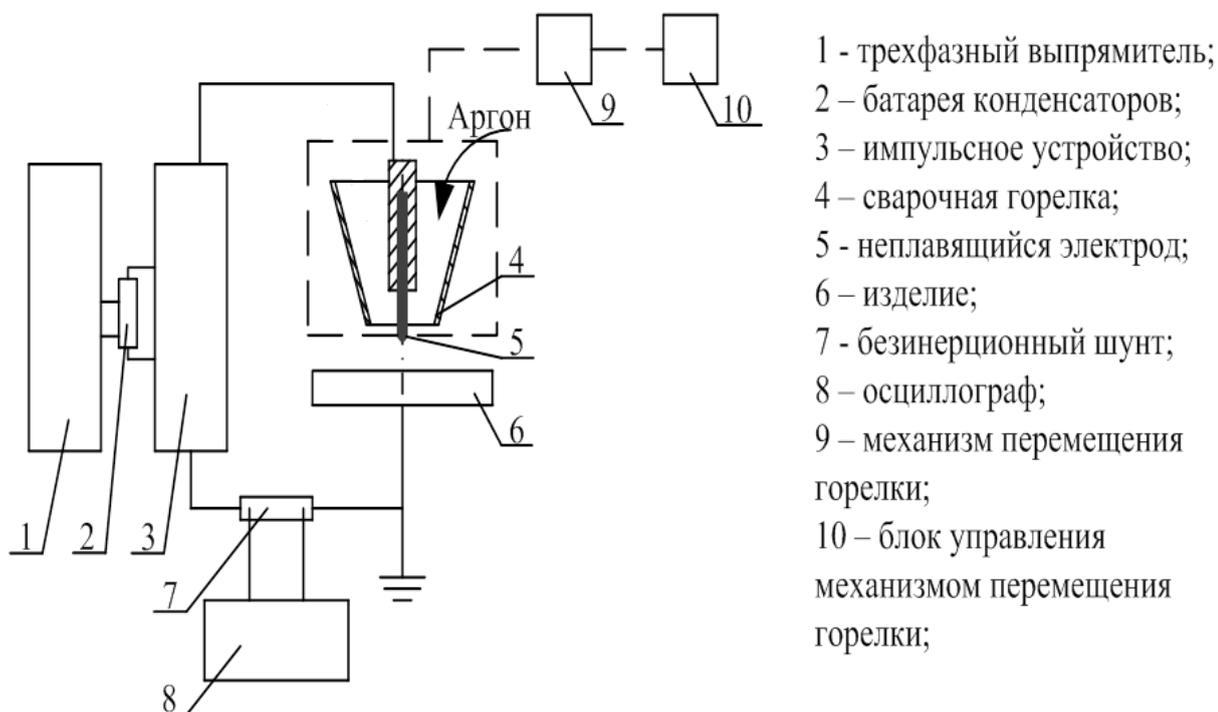


Рисунок 17 – Экспериментальная установка

Импульсное устройство позволяет получать кратковременные импульсы тока длительностью до 100 мкс, что обеспечивает динамический режим горения дуги. Частота следования импульсов регулируется в диапазоне от 700 Гц до 3300 Гц. Для обеспечения непрерывности горения дуги при малой частоте следования импульсов, между импульсами протекает дежурный ток 12-18 А.

Сварка образцов производилась в среде аргона неплавящимся электродом со сферической рабочей поверхностью; диаметром 3 мм марки ЭВЛ с притуплением острого конца электрода. В течение 20 сек, после установления процесса сварки в динамическом режиме происходило, отключение питания

сварочной дуги и одновременный выдув металла сварочной ванны. Обмер образцов производился с помощью экспериментального микроскопа и микрошлифов. Образец закреплялся в прижимном приспособлении. Схема сборки которого представлена на рисунке 17. Образцы без разделки собирались в слепой зазор.

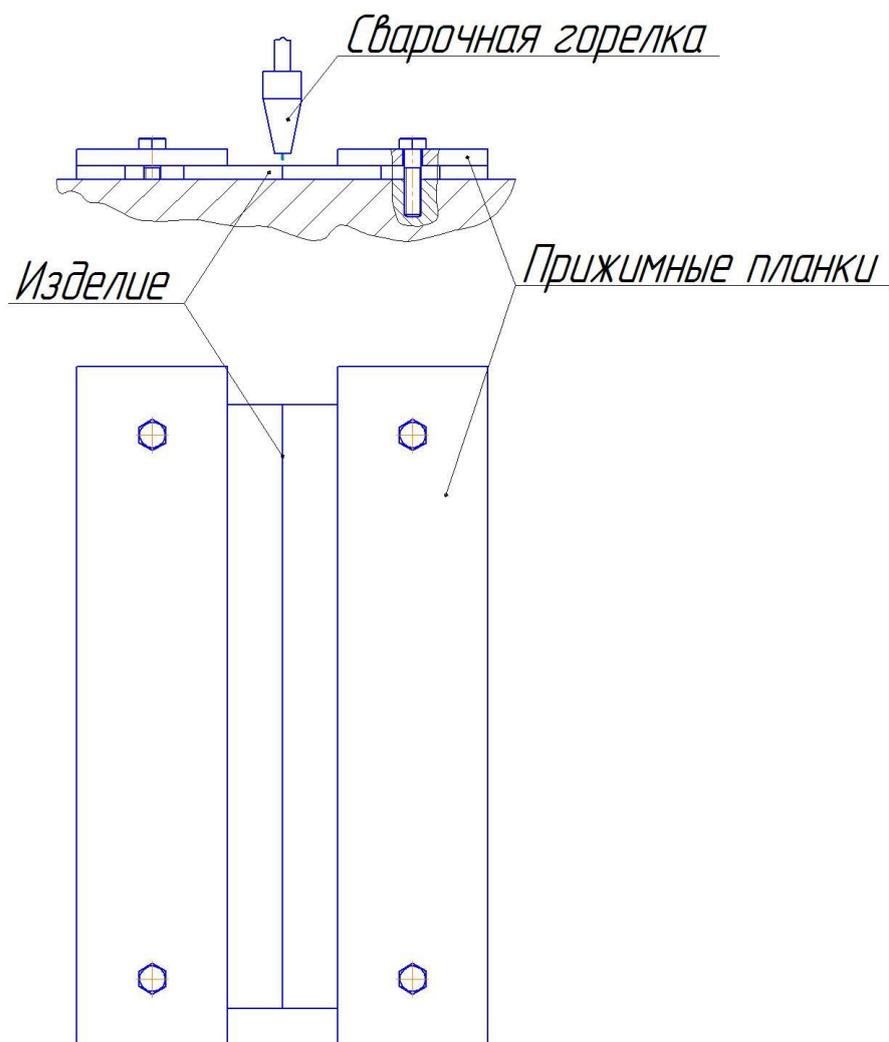
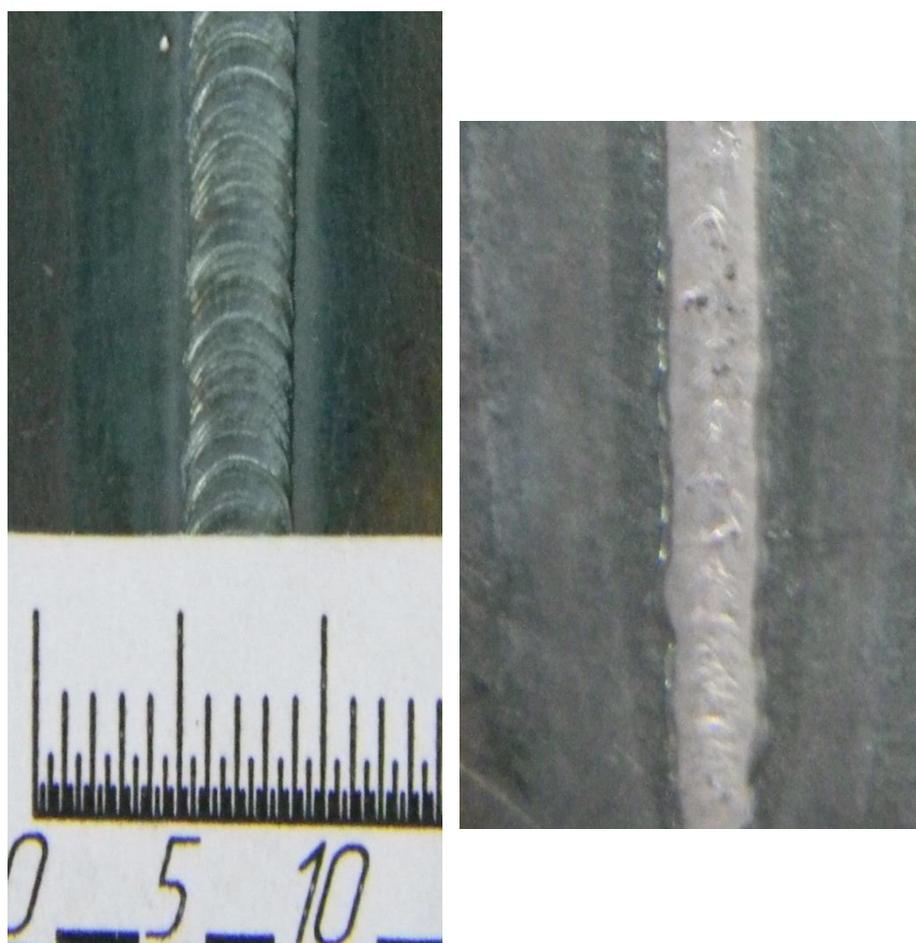


Рисунок 18 - Схема сборки в приспособление

Сварочная головка устанавливается вдоль стыка, зажигание дуги происходит контактным методом закорачиванием дугового промежутка при помощи угольного электрода. Питание дуги осуществляется от источника питания через коаксиальный кабель. Использование такого кабеля позволяет снизить потери энергии.

Экспериментальное подтверждение перевода стационарной дуги в динамический режим горения проводилось при сварке пластин в стык. Параметры режима сварки: $I_u = 300$ А; $I_{d,d} = 15$ А; $U_u = 24$ В; $U_{d,d} = 6$ В; $f = 2800$ Гц. Длительность импульсов составляет 65 мкс. Качество сварного шва оценивалось визуально по изменению внешнего вида. Внешний вид представлен на рисунке 19.



а – прямая сторона

б – обратная сторона

Рисунок 19 – Внешний вид сварного шва

Полученные образцы сварных швов имеют мелкочешуйчатую поверхность. Ширина шва с лицевой и обратной стороны одинаковая и составляет 3 мм, что свидетельствует о концентрированном вводе тепла в

изделие. Сплавление образцов происходит по всей длине без видимых дефектов. Малая протяженность ОШЗ позволяет улучшить механические свойства сварного шва и снизить напряжения.

3.3 Исследование формирования сварного шва с использованием алгоритма с укороченными импульсами сварочного тока

Исследование формирования шва при сварке с управляемым тепловложением (алгоритм с укороченными импульсами), проводилось по методике представленной выше.

При динамическом режиме горения сварочной дуги, плавление металла происходит не мгновенным значением тока импульса, а средним значением тока импульса и дежурной дуги. В период импульса в сварочную ванну поступает большое количество энергии, которое не успевает распространиться в изделии за столь короткий промежуток времени (время импульса) и продолжает свое распространение на период паузы. Частое следование импульсов способствует тому, что под сварочной дугой (период паузы или период импульса) металл изделия находится всегда в жидком состоянии, а при сварке изделий малой толщины это приводит к излишнему тепловложению, увеличению ЗТВ, дополнительным напряжениям в сварном шве и методам их последующего устранения. Для снижения всех этих параметров и предлагается модуляция сварочного тока в виде укорочения основных импульсов сварочного тока.

В экспериментальную установку устанавливались пластины без дополнительной разделки кромок в «слепой» зазор, выполненные из стали 40 размером 250×60×1мм. Параметры режима сварки аналогичны указанным ранее, см. п.3.3.

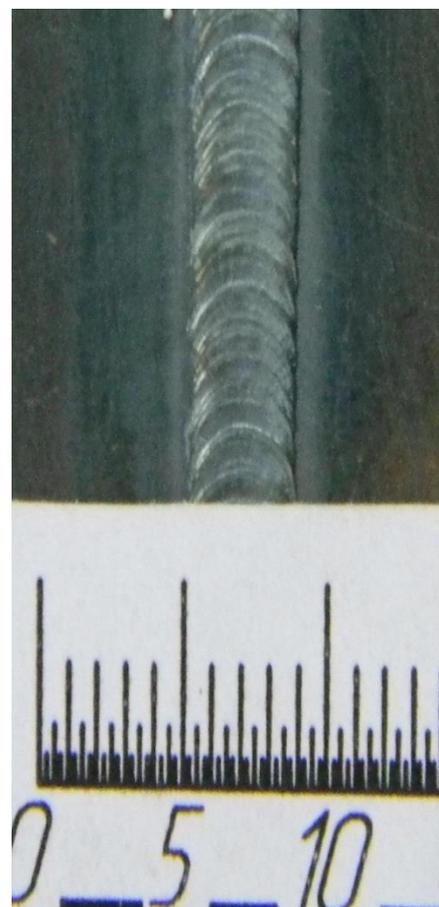
Для сравнительного обмера сварного шва образцов при одинаковых параметрах режима сварки с выполнением шва по основному режиму

(длительность импульса всегда постоянна) и с использованием алгоритма (длительность импульса может изменяться) проводилось по 10 проходов сварочной головки.

Выполненные сварные швы при сварке на основном режиме и по алгоритму (укороченные импульсы) представлены на рисунке 20.



Сварной шов выполненный по алгоритму



Сварной шов выполненный на основном режиме

Рисунок 20. Сварные швы выполненные при основном способе сварке дугой горячей в динамическом режиме и по алгоритму.

Проведенные исследования показали, что выполнение сварных швов из металлических пластин толщина которых не превышает 1,5 мм рекомендуется с использованием динамического режима горения сварочной дуги по алгоритму

(укороченные импульсы). Как видно на рисунке при использовании данного способа сварки уменьшается ширина сварного шва и ЗТВ, что позволяет оценить уменьшение тепловложения в изделие по сравнению с ранее разработанным способом сварки дугой горячей в динамическом режиме. Согласно визуальной оценке сварного шва: сохраняется мелкочешуйчатая поверхность; ширина сварного шва с лицевой стороны пропорциональна обратной стороне; сплавление без видимых подрезов и дефектов и тд.

Выводы по главе:

Составлена методика определения параметров сварочной ванны со сквозным проплавлением.

Применение алгоритмов управления параметрами режима сварки позволяют получать сварные швы отвечающие заданным параметрам при сварке изделий толщиной от 0,5 мм до 4 мм.

4 Экспериментальная часть

4.1 Методика снятия осциллограмм тока и напряжения

Физические процессы, протекающие в дуге, питаемой мощными импульсами тока, изучены мало. Более доступные экспериментальному исследованию вольт - амперные характеристики электрической импульсной дуги изучены при сварке в аргоне [31].

Изучение динамических характеристик дуги при импульсно-дуговой сварке необходимо для определения свойств импульсной дуги как нагрузки и позволяет получить необходимые исходные данные для расчета и конструирования источников питания, а также для технологических целей [31].

Вследствие больших скоростей изменения напряжения и тока при импульсно-дуговой сварке динамические характеристики могут быть определены только при использовании регистрирующих приборов с малой инерционностью, например с помощью электронного осциллографа [32].

На рисунке 21 представлена принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме. Для регистрации напряжения и тока дуги используем осциллограф универсальный запоминающий С8 - 13.

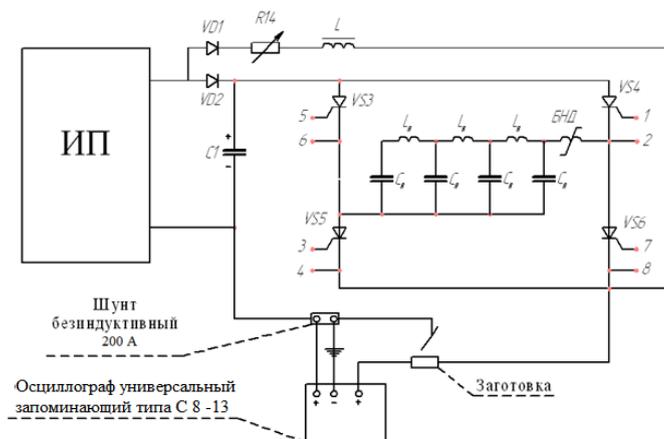


Рисунок 21 – Принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме

На рисунке 22 представлена принципиальная схема проведения записи динамической вольт - амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме.

Для регистрации динамической вольт - амперной характеристики дуги используем электронный осциллограф С1 – 19Б с двумя блоками управления БПУ - 1. В данном случае осциллограф имеет два блока усиления, что позволяет снимать ток и напряжение одновременно и получать динамическую характеристику на экране осциллографа (петлю гистерезиса). По оси ординат - напряжение, по оси абсцисс - ток. Петля гистерезиса определяется амплитудой и скоростью нарастания, накладываемого на дугу возмущения. Чем больше скорости изменения тока, тем больше динамические характеристики отличаются от статической.

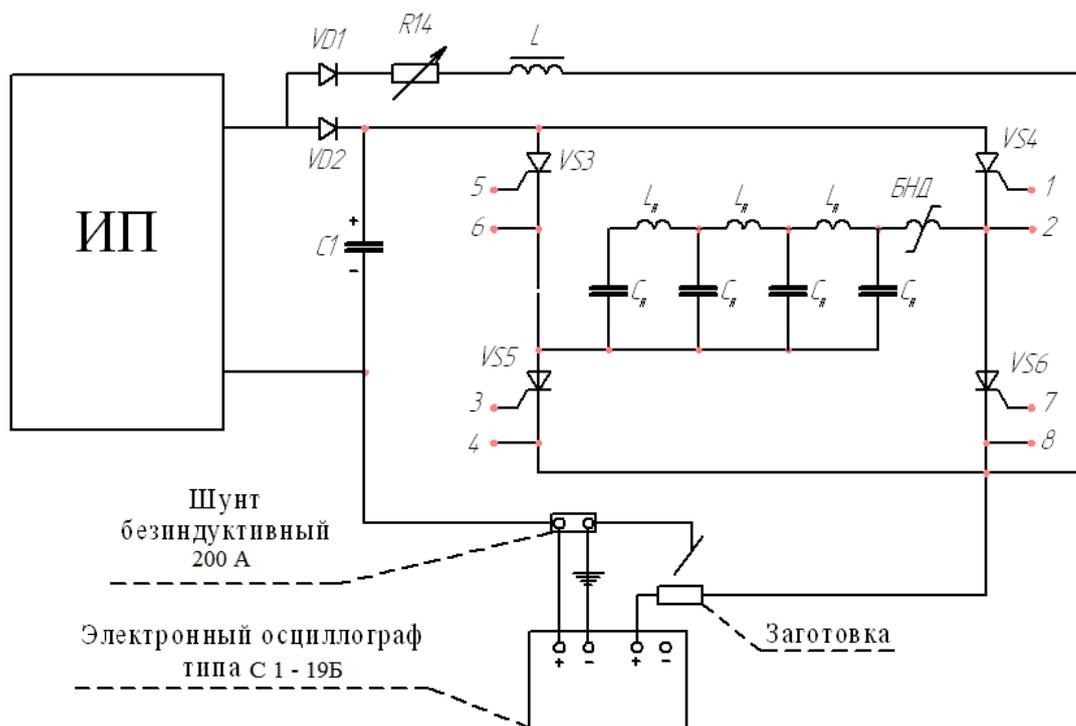


Рисунок 22 – Принципиальная схема проведения записи динамической вольт – амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме

Цель эксперимента:

- получить реальные зависимости тока и напряжения от времени;

- получить динамическую характеристику.

Оборудование, приспособления, инструмент:

- экспериментальная установка для питания динамической дуги;
- сварочный автомат АДСВ-5;
- осциллограф универсальный запоминающий С1 - 70;
- электронный осциллограф С1 – 19Б;
- шунт безиндуктивный 150 А.

Параметры режима сварки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры режима сварки

I_w	$I_{д.д.}$	U_w	$U_{д.д.}$	l_d	f
A	A	B	B	$мм$	$кГц$
350	15	32	6	1,2	0,6 - 3,2

Ход эксперимента:

Опыт 1. Получить реальные зависимости тока и напряжения от времени:

- подключить осциллограф С1 - 70, как показано на рисунке 20;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель, питающий импульсное устройство;
- включить подачу аргона;
- зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство;
- на осциллографе С1 - 70 зарегистрировать осциллограммы тока и напряжения.

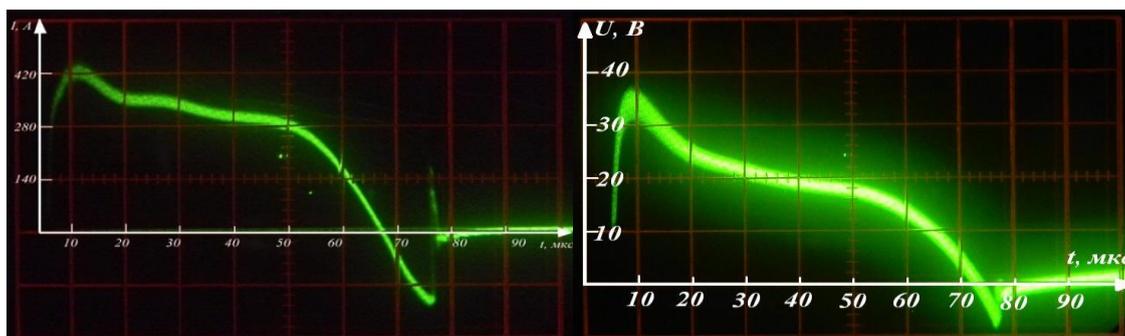


Рисунок 23 – Типичные осциллограммы тока и напряжения

Опыт 2. Получить динамическую вольт – амперную характеристику:

- подключить осциллограф С1 - 19Б, как показано на рисунке 16;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель, питающий импульсное устройство;
- включить подачу аргона;
- зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство;
- на осциллографе С1 – 19Б зарегистрировать динамическую вольт – амперную характеристику дуги.

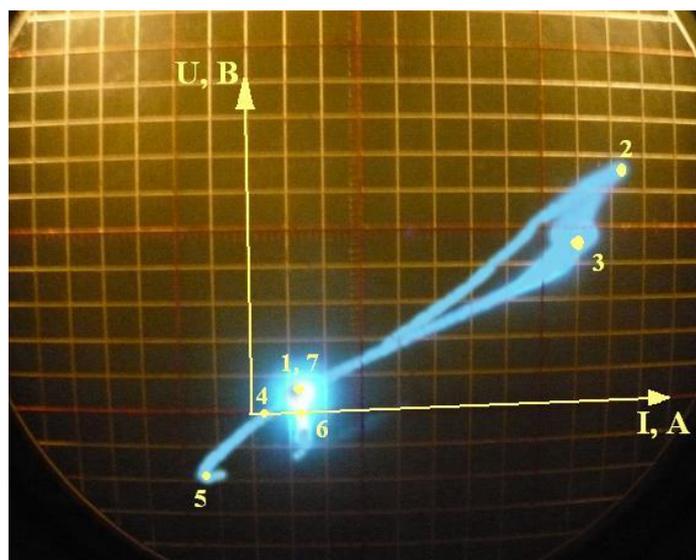


Рисунок 24 – Динамическая вольт амперная характеристика дуги

В ходе эксперимента были получены зависимости тока и напряжения дуги от времени, и динамическая вольт – амперная характеристика дуги. На представленных осциллограмме тока дуги и напряжения видно, что импульсы по форме близки к прямоугольной, скорость нарастания импульсов и их продолжительность обеспечивает динамический режим горения дуги. При быстром изменении тока недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной, что в свою очередь приводит к увеличению напряжения.

Ввиду большей концентрации теплового потока при сварке дугой горячей в динамическом режиме требуется среднее значение тока меньшее на 30 - 40 %, чем при сварке в непрерывном режиме при сохранении высокой устойчивости физического горения дуги и сохранении высокой технологической устойчивости процесса сварки.

4.2 Оценка стойкости вольфрамового электрода

Состояние рабочей поверхности вольфрамовых электродов существенно влияет на стабильность горения дуги. Она снижается при разрушении рабочей поверхности электродов и образовании вблизи нее «короны».

В ходе работы проводили оценку работоспособности вольфрамовых электродов, изменяя форму рабочей поверхности в условиях длительной работы. Для сравнения в аналогичных условиях сравнивали электроды, заточенные на конус и со сферической формой рабочей поверхности. Формы рабочих поверхностей представлены на рисунке 25.

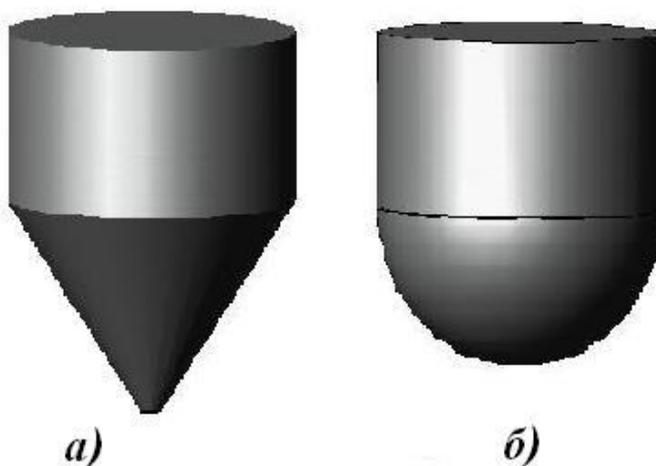


Рисунок 25– Внешний вид электродов подвергавшихся испытанию: а) острозаточенный электрод с притуплением; б) электрод со сферической рабочей поверхностью.

Круглые электроды диаметром 3 мм затачивали на конус 30° и 90° при вершине. Притупление составляло 1 мм. Сферическую поверхность получали скруглением торцевых кромок радиусом 1,5мм. Все электроды изготовлены из торированного вольфрама. Рабочий конец электродов заточенных на конус с углом 30° после 1 – 2 мин работы оплавился с образованием «короны» размеры которой со временем увеличивались. Через 5 – 7 мин работы электрода под «короной» наблюдается формирование сферы из оплавленного металла электрода, в дальнейшем его отрыв и разрушение торца электрода, сопровождаемое снижением стабильности горения дуги. Дальнейшее использование электрода приводило к разрушению рабочей поверхности, что вызывает необходимость восстановления.

Электроды, заточенные на конус с углом при вершине 90° , обеспечили работоспособность выше, чем описанные ранее. Ход разрушения аналогичен электродам с углом при вершине 30° . Период работы составляет 30 мин.

Круглые электроды со сферической рабочей поверхностью показали высокую стабильность горения дуги в течении всего времени работы. В период горения дуги наблюдалось незначительное эрозионное разрушение рабочей

поверхности, в дальнейшем приведшее к образованию «короны» на расстоянии 3 мм от крайней точки рабочей части электрода. Наличие «короны» не оказывает влияния на стабильность горения дуги. Последующее использование электрода не изменило форму рабочей поверхности. В целом время работы электрода составило 2 часа.

Электроды со сферической поверхностью позволяют стабилизировать положение катодного пятна, что приводит к снижению перегрузки центральной части рабочей поверхности, по сравнению с острозаточенными электродами. На вылете электрода температура распределяется равномерно, это препятствует осаждению окислов и паров металла, вызывающих образование короны. Кроме того создается возможность оттеснения окислов и паров металла от электрода потоком защитного газа.

Изменение внешнего вида рабочей поверхности и качество сварного шва оценивалось визуально по изменению внешнего вида.

При использовании рекомендуемой формы рабочей поверхности с углом затачивания 45° и токах свыше 350А в импульсе длительностью несколько миллисекунд, наблюдается нарушение ее геометрической формы, приводящее к нарушению формирования шва. В зоне расположенной над катодным пятном из-за воздействия большого среднего значения тока происходит перегрев материала электрода. Рабочая поверхность оплавляется и приобретает сферическую форму. Над оплавленной зоной формируется «корона» с одновременным интенсивным разрушением поверхности электрода. Дальнейшая работа электрода приводит к его разрушению над «короной» (откалыванию тела электрода). Помимо разрушения рабочей поверхности появляется эффект блуждания дуги, связанный с хаотичным самопроизвольным перемещением активного пятна. Внешний вид сварного шва извилистый, несимметричный относительно оси, формируются подрезы, наплывы металла, металлические включения в металле шва и т.д.

Использование динамического режима горения позволяет снизить требования к форме рабочей поверхности электрода. Проведенные исследования при использовании электродов со сферической рабочей поверхностью показали, что дуга горит симметрично оси электрода, при отсутствии блуждания дуги. Положение дуги соосно с осью электрода достигается за счет протекания через дуговой промежуток кратковременных импульсов сварочного тока большого амплитудного значения. Во время импульса тепловые процессы в электроде не успевают разогреть рабочую поверхность электрода до температуры соответствующей амплитудному значению тока. В связи с этим катодное пятно не изменяет своих размеров и положения, что позволяет концентрированно вводить тепловую энергию в изделие. Аналогичный процесс происходит и при использовании остро заточенных электродов, в первые минуты работы до момента оплавления.

Выводы по главе:

Отрицательная часть динамической характеристики может быть объяснена тем, что при резком снижении тока и напряжения процессы деионизации отстают от изменения параметров режима и в столбе дуги избыточный отрицательный заряд. И столб дуги превращается в активную противоЭДС за счет которой протекает обратный ток, через тиристоры моста до рассасывания заряда на p-n переходах.

Установлено, что для каждой толщины изделия необходимо свое значение дежурного тока.

Установлено, что при сварке дугой горячей в динамическом режиме требования к геометрии электрода с точки зрения формирования шва менее критичны.

5 Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Суть выпускной квалификационной работы по теме «Разработка алгоритмов управления дугой, горячей в динамическом режиме» заключается в исследовании и разработке процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне, дугой горячей в динамическом режиме.

Таблица 2 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	2, 3	2	1
	Возможность сварки тонколистового металла	3	2	1, 2

1- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме;

2- Аргонно-дуговая сварка;

3- Ручная дуговая сварка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом

режиме, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

К целевым рынкам, в которых будут применяться результаты данного исследования, можно отнести предприятия, работающие в разных отраслях нефтяной, газовой, электрической промышленности, а также в коммунальном, сельском хозяйстве и кораблестроении.

Данная выпускная квалификационная работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации «Кузбассэнерго» (г. Кемерово). Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники данной организации.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

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

Продолжение таблицы 3

3 Конкурентно-способность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итого	1	28	26	21	5	2,35	3,75

Где сокращения: Б_ф- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме; Б_{к1} – Аргонно-дуговая сварка; Б_{к2}- Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot BiK \quad (19)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

Vi – вес показателя (в долях единицы);

Bi – балл i -го показателя.

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

5.3 SWOT – анализ

Таблица 4 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>С1. Отсутствие данного процесса для повышения эффективности сварки неплавящимся электродом (отсутствие конкурентов на рынке).</p> <p>С2. Широкая область применения</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Актуальность проекта</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя</p> <p>С6. Наличие патента на разработку</p> <p>С7. Экономия электроэнергии</p>	<p>Сл.1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл.2. Перенастройка оборудования</p> <p>Сл.3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
Возможности	Угрозы
<p>В1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В2. Регулирование производительности</p> <p>В3. Повышение эффективности сварки неплавящимся электродом</p> <p>В4. Применения для оборудования работающего в полевых условиях.</p>	<p>У1. Появление конкурентов</p> <p>У2. Государство не даст средства для реализации темы.</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p> <p>У4. Незначительная зависимость от поставщика</p>

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Возможности проекта	1 В	+	+	+	+	0	0	0
	2 В	0	+	+	0	0	0	+
	3 В	+	+	+	+	+	0	+
	4 В	+	+	+	+	+	0	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: В1С1С2С3С4; В2С2С3С7; В3С1С2С3С4С5С7; В4С1С2С3С4С5С7.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности и проекта	1 В	+	+	-
	2 В	+	+	-
	3 В	+	+	-
	4 В	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл1Сл2; В2Сл1Сл2; В3Сл1Сл2; В4Сл1Сл2.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта						
		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7
Угрозы проекта	1 У	-	-	-	-	0	-	-
	2 У	-	-	-	0	-	-	0
	3 У	0	-	-	+	0	0	0
	4 У	+	+	0	0	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У3С4; У4С1С2.

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У	-	0	0
	2 У	-	-	0
	3 У	0	0	0
	4 У	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У4Сл2.

5.4 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 9 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

5.5 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (20)$$

где: $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -

ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (21)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.6 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (22)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (23)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 10).

После заполнения таблицы 9 строим календарный план-график (таблица 11)

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания дипломной работы. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей

Таблица 9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожi}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Проведение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студент	7	8	8	10	11	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 11- Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ а-от	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	ставление и утверждение темы та	Руководитель	3	★										
2	ализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	★	◆									
3	иск и изучение материала по	Студ.-рук.	2		★									
4	бор направления исследований	Руководитель	2		◆									
5	ендарное планирование работ	Руководитель	3			◆								
6	учение литературы по теме	Студент	15			★	★	★						
7	дбор нормативных документов	Студ.-рук.	5				★	◆						
8	учение установки	Студент	6					★						
9	делирование плазмотрона	Студент	3						★					
10	учение результатов	Студент	3								★			
11	оведение расчетов по теме	Студент	10								★			
1 2	Анализ результатов	Студ.-рук.	3									★	◆	
1 3	Вывод по цели	Студент	4											★

★ – студент; ◆ – руководитель.

5.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i N_{расхи} \quad (24)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 12 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z_M), руб.		
		Ис п.	Ис п.	И сп.	Ис п.	Ис п.	Ис п.	И сп.	Ис п.	Ис п.
Бумага	лист	150	100	13	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Сварочная проволока	кг.	0,5	0,5	0,5	80	80	80	63	63	63
ПГ,СГ,ЗГ	лит.	1	1	1	12	12	12	18	18	18
Итого								197	1978	1978

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/ п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	-	-	30	-	-	30	-	-
Итого:								30	-	-

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 14.

Таблица 14 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнитель по категориям	Трудоемкость, чел.дн.			Заработная плата, приходящаяся на один			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.			
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6	8	8	8			
2.	Анализ актуальности	Рук.-студ.	1	1	1	4,4	5	5	5			
3.	Поиск и изучение	Студ.-рук.	1	1	1	4,4	5	5	5			
4.	Выбор направления	Руководитель	1	2	2	3,6	4	8	8			
5.	Календарное планирование	Руководитель	2	2	2	3,6	8	8	8			
6.	Изучение литературы по	Студент	10	0	0	0,8	8,9	8,9	,9			
7.	Подбор нормативных	Студ.-рук.	3	4	4	4,4	14,8	9,7	9,7			
8.	Изучение установки	Студент	4	6	6	0,8	3,6	5,4	,4			
9.	Модернизация установки	Студент	2	3	4	0,8	1,8	2,7	,6			
10.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4	9,8	9,8	,8			
11.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8	2,7	2,7	,7			
Итого:								69,7	4,2	5,1		

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (25)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} \quad (26)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (27)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840

Продолжение таблицы 15

Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений	0,302					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей})k_{\text{нр}} \quad (28)$$

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 357807,5 \cdot 0,16 = 57249,2$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 16 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	37353	36720,5	36636,5	Пункт 3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	207000	115000	138000	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4
6. Накладные расходы	57249,2	43452,9	47324,5	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	415056,7	315033,8	343102,5	Сумма ст. 1- 6

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (29)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{415056,7}{415056,7} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{315033,8}{415056,7} = 0,76; I_{\text{финр}}^{\text{исп}3} = \frac{343102,5}{415056,7} = 0,83;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} \sum a^i b^i, \quad (30)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 17).

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. ПГ,СГ,ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,8;$$

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финi}}, \quad (31)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{1} = 4,55; \quad I_{исп2} = \frac{3,15}{0,76} = 4,14; \quad I_{исп3} = \frac{3,8}{0,83} = 4,57;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{испi}}{I_{испmax}}, \quad (32)$$

Таблица 17 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,76	0,83
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,15	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,14	4,57
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,98

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6 Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования является процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Данное исследование направлено на разработку метода повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в среде газа аргона.

В данном разделе была поставлена задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке;
- движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно - сосудистой и нервной систем.
- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;
- влияние шума имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.);

– напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

6.1 Производственная безопасность

Таблица 18 - Опасные и вредные факторы при проведении процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка листовых заготовок; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. Недостаточная освещённость рабочей зоны; 4. Загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке; 5. Высокая яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация; 6. Напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки; 7. Повышенная температура поверхностей оборудования.	1. Движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; 2. Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением; 3. Находящиеся баллон под давлением.	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ[5], ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ[6], ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ[7], ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ[8], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[9], СанПиН 2.2.4.548–96[10], СН 2.2.4/2.1.8.562–96[11], СН 2.2.4/2.1.8.566–96[12], СП 52.13330.2011[13], СанПиН 2.2.2.540-96[14].

Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Внутренний баланс организма человека во многом зависит от внешних условий. Микроклимат помещения, в котором человек находится долго, играет существенную роль в формировании иммунитета, работоспособности, возможности комфортно отдохнуть и расслабиться. Состояние внутренней среды здания может не только плодотворно влиять на здоровье человека, но и оказывать негативное воздействие. Таким образом, чем дольше мы пребываем в неventилируемом помещении, тем сильнее это сказывается на работе нашего организма. Теперь разберем влияния каждого фактора на организм.

Температура помещения – самый важный показатель комфортности. От температуры напрямую зависит и влажность воздуха. Низкие температуры провоцируют отдачу тепла организмом человека, тем самым снижая его защитные функции. Если в помещении установлена некачественная теплотехника, то люди будут постоянно страдать от переохлаждений, подвергаться частым простудам, инфекционным заболеваниям и т.д. Очень высокая температура в помещении (более $27C^0$) влечёт за собой не меньшие проблемы. Борясь с жарой, организм выводит соль из организма. Такая ситуация также чревата снижением иммунитета, нарушением водно-солевого баланса, который регулирует работу многих систем в организме.

Влажность воздуха – это фактор, который в большой степени зависит от температуры. Если в помещении нет специальных увлажнителей воздуха, то чем выше температура, тем суше будет воздух. Здоровый человек, попав в помещение с сухим воздухом, почувствует дискомфорт уже через 10-15 минут. Если же человек уже простужен, он начнёт кашлять. В меру влажный воздух

(мера=40-60%) создаст комфортные условия для работ и отдыха. В зимний период он способствует укреплению иммунитета, так как не позволяет пересыхать слизистой и становится уязвимой для вирусов. В летний период при комфортной влажности легче переносить жару, поддерживать здоровое состояние кожи и пр.

Скорость движения воздуха – фактор микроклимата, на который многие вообще не обращают внимания. Но дело в том, что в зависимости от температуры воздуха скорость его движения влияет на организм по-разному. Например, при температуре до 33-35 С⁰ скорость в 0,15 м/с комфортна, так как при этом воздух оказывает освежающий эффект. Если температура выше 35С⁰, то эффект будет обратным.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для категории работ легких Ia приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Температура, °С	Влажность, % относ.	Скорость движения, м/с
19-22	40-60	0,2

Таблица 19.2 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Температура, °С	Влажность, % относ.	Скорость движения, м/с
15-28	20-80	0,5

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной

вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для сварки изложены в ГОСТ 12.1.035–81. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения импульсного устройства. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 80 дБА, ГОСТ 12.1.003-2014.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) Изоляции источников шумов;
- 2) Проведение акустической обработки помещения;
- 3) Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

СИЗ:

- Вкладыши – предназначены для закрытия слухового прохода. Существуют одноразовые и многоразовые варианты. Материал, из которого они изготавливаются, бывает твердым, эластичным или волокнистым. Вкладыши – это минимальный уровень защиты, они «поглощают» всего 10-20 дБ.
- Наушники. Они полностью закрывают ухо «ракушкой». Могут крепиться на жестком или мягком оголовье, часто встречаются встроенные в головной убор. Наушники снижают воздействие на 20-30 дБ.
- Шлемы и каски применяются при более высоком уровне шумов, одновременно с берушами или наушниками. Их возможности – уменьшить акустическую нагрузку на 30-50 дБ.
- Костюмы. Это комбинация каски и специального поглощающего жилета.

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Допустимый уровень электромагнитного излучения на рабочем месте регулируется разделом VII [4].

Природа воздействия состоит во взаимодействии магнитных, электромагнитных и электростатических полей с организмом человека.

При воздействии на организм человека полей большой напряженности возможно нарушение работы различных систем человеческого организма. Нормируются следующие воздействия:

Напряженность электростатического поля.

Предельно – допустимый уровень ЭСП при воздействии менее одного часа за смену закреплен на уровне 60 кВ/м. при воздействии более одного часа за смену ПДУ вычисляется по формуле :

$$E_{\text{пду}} = 60/\sqrt{T} \quad (33)$$

где T – время воздействия.

Постоянное магнитное поле

ПДУ ПМП оценивается в общем для всего тела работающего и локально для отдельных частей тела в зависимости от времени воздействия. Уровень воздействия измеряется либо относительно напряженности поля в кА/м, либо относительно магнитной индукции в мТл.

Согласно данным уровням напряженности или индукции нормируется время пребывания в зоне воздействия фактора.

Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц).

Оценка и нормирование синусоидального (периодического) магнитного поля (далее - МП) частотой 50 Гц также осуществляется по напряженности (Н) в А/м или индукции (В) в мкТл для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия в зависимости от времени пребывания работающего в переменном магнитном поле за смену. ПДУ воздействия также нормируются по времени относительно уровня воздействия.

Таблица 20 – Электромагнитное излучение

Электромагнитное излучение	
при напряженности эл.маг. поля 10 мкВт/см ²	время контакта – 8 часов
при напряженности эл.маг. поля 10-100 мкВт/см ²	время контакта не более 2 часов
при напряженности эл.маг. поля 100-1000 мкВт/см ²	время контакта не более 20 минут
Для населения	1 мкВт/см ²

СКЗ:

К средствам коллективной защиты обслуживающего персонала относятся стационарные экраны (различные заземленные металлические конструкции – щитки, козырьки, навесы сплошные или сетчатые, системы тросов) и съемные экраны.

СИЗ:

В качестве средств индивидуальной защиты от электромагнитных полей промышленной частоты служат индивидуальные экранирующие комплекты.

Наличие токсикантов

В процессе проведения работ одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов при выполнении монтажно – сборочных работ (пайка, наладка и т.д.). Испаренные летучие продукты применяемых при пайке припоев и флюсов могут нанести вред здоровью человека. Согласно [6] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Свинцово – оловянные припои имеют максимальный первый класс опасности, и имеют ПДК 0,05 мг/м, присутствуют в основном в виде аэрозолей.

Флюсы, в частности применяемый ФКСп, в [5] отсутствуют, однако его компоненты там присутствуют:

Канифоль имеет 3 класс опасности и ПДК 4мг/м, способна вызвать аллергические реакции и присутствует в виде аэрозоля. Спирт этиловый имеет 4 класс опасности, ПДК 1г/м и присутствует в виде паров.

Воздействие свинца вызывает анемию, гипертензию, почечную недостаточность, иммунный токсикоз и токсичность для репродуктивных

органов. Неврологические и поведенческие последствия воздействия свинца считаются необратимыми. Спирт и канифоль способны вызвать аллергические реакции и обладают местно-раздражающим действием, однако менее вредны по сравнению с воздействием свинца.

Правила организации процессов пайки и монтажа регулируются [4].

В основном все мероприятия направлены на удаление паров свинца и прочих продуктов пайки путем применения местной и общей принудительной вентиляции с последующей фильтрацией, рециркуляция не допускается.

Также применяется периодическая очистка поверхностей от осаждающихся на них продуктов пайки.

Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–79. Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила

электрической безопасности:

СИЗ:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку;

- запрещается при включении установки.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

СКЗ:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;
- зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током. Безопасные номиналы $I=0.1$ А, $U=(12-36)$ В, $R_{\text{заземления}} = 4$ ом

Производственные помещения по степени опасности поражения людей электрическим током в соответствии с ПУЭ подразделяется на три категории. Производственное помещение относится к третьей категории, т.е. к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» (агрессивная среда) и «особую опасность» (установки работающие под напряжением свыше 1000В).

Недостаточная освещённость рабочей зоны

Согласно СП 52.13330.2011 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 30$ м, ширина $B = 15$ м, высота = 7 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 2$ м. Согласно СП 52.13330.2011 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 30 \times 15 = 450 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c=50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{П}}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3=1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z=1,1$.

Выбираем лампу тёпло-белого света ЛТБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2850$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (34)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 4$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 7 - 4 = 3 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = B/L = 15/3,3 = 4,5 \Rightarrow 5$$

Число светильников в ряду:

$$Na = A/L = 30/3,3 = 9$$

Общее число ламп:

$$N = 2 \cdot Na \cdot Nb = 2 \cdot 5 \cdot 9 = 90$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется из уравнения:

$$L = Na \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam};$$

$$L_1 = \frac{L - N \cdot L_{lam}}{Na + \frac{2}{3}};$$

$$L_1 = \frac{30000 \text{ мм} - 9 \cdot 265 \text{ мм}}{8 + \frac{2}{3}} = 3186 \text{ мм} - \text{расстояние вдоль цеха}$$

$$L_1 = \frac{15000 \text{ мм} - 5 \cdot 1227 \text{ мм}}{4 + \frac{2}{3}} = 1900 \text{ мм} - \text{расстояние от торцов}$$

Размещаем светильники в пять рядов. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

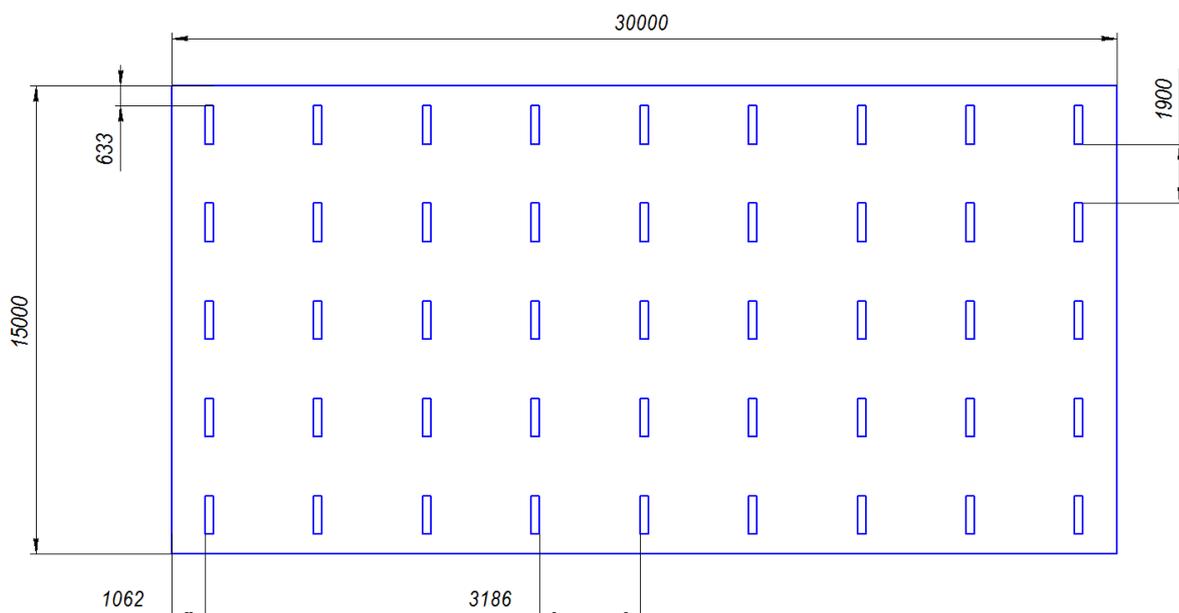


Рисунок 26 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A \cdot B / h \cdot (A + B) = 15 \cdot 30 / 3 \cdot (15 + 30) = 3,3$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 3,3$ равен $\eta = 0,53$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot \eta = 200 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 90 \cdot 0,53 = 3113 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2850 \text{ лм} - 3113 \text{ лм}}{2850 \text{ лм}} \cdot 100\% = -9\%$$

Таким образом: $-10\% \leq -9\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом.

Источником возникновения аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом при работе с установкой, являются подвижная часть машины.

Аварии происходят, прежде всего, во время ручного устранения нарушений производственного процесса. Тем не менее, люди могут оказаться на пути движения машин и механизмов при выполнении других заданий, таких как:

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,
- контроль,
- ремонт.

Наиболее распространенной, принимаемой в этой связи с целью повышения личной безопасности, является защита человека от опасных движений машины с помощью некоторых видов устройств безопасности, таких как защитные ограждения машин, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Внутренние движущиеся детали таких машин должны быть недоступны для прикосновения, а наружные движущиеся детали не должны иметь острых выступов, острые кромки должны быть притуплены.

Загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке. 3й класс опасности.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушения. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема

кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (PЗ), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать.

Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

Для улавливания конденсата паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке у места его образования при автоматической электросварке и наплавке изделий следует применять поворотные-подъемные наклонные панели одно или двухстороннего равномерного всасывания. Низ панелей необходимо располагать над местом сварки на расстоянии не выше 350 мм. Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, при сварке в инертных газах – должен составлять не более 0,3 м/с.

Согласно Гигиеническим нормативам ГН 2.2.5.2100-06 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" и Дополнению N 2 к ГН 2.2.5.1313-03, ПДК углерода диоксида (двуокиси углерода, углекислого газа) составляет: максимальная разовая - 27000 мг/м³, среднесменная - 9000 мг/м³. Относится к третьему классу опасности.

Высокая яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.

Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых ослепительно ярких световых лучей и невидимых глазом так называемых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Интенсивность лучистой энергии в основном зависит от силы сварочного тока и величины напряжения. Видимые световые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологически переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают главным образом тепловым эффектом, их

интенсивность зависит от мощности дуги. При современных способах сварки тепловая радиация на рабочем месте может составлять 0,5—6 кал/см²*мин. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Учитывая, что при электросварке на сварщика действуют не только прямая ультрафиолетовая радиация, но и рассеянная, отраженная от окружающих поверхностей, необходимо окрашивать стены кабин и

сварочных цехов, переносные ширмы в светлые матовые тона с применением цинковых белил, желтого крона или титановых белил, которые поглощают ультрафиолетовые лучи. Кожа и глаза сварщика должны быть защищены от воздействия лучей дуги. Кожа тела защищается специальной рабочей одеждой, лицо защищается щитком или шлемом, кисти рук — рукавицами, а глаза — специальными стеклами-светофильтрами, вставляемыми в щиток или шлем. В масках или шлемах между темным и прозрачным стеклами должен быть зазор 0,5—1 мм, чтобы защитить глаза от перегрева.

Напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Напряженность труда – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

Организация и проведение мероприятий по снятию нагрузки осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов. К некоторым таким мерам относятся: внедрение профилактических мероприятий, способствующих снижению монотонности работы, разработка рациональных (физиологически обоснованных) режимов труда и отдыха (оздоровительная физкультура, физкультпаузы и др.), снижение норм выработки и др.

Повышенная температура поверхностей оборудования

При выполнении процессов сварки, резки, наплавки, напылении и пайки металлов на работающих может воздействовать и такой вредный

производственный фактор как повышенная температура поверхностей оборудования.

При сварке повышенной температурой обладают: поверхность вольфрамового электрода, кромки соединяемых деталей (деталь). Температура электрической дуги достигает 4000°С при этом свариваемые детали значительно нагреваются и прикосновение к ним вызывает ожог.

Горячая деталь внешне ничем не отличается от холодной и поэтому не воспринимается как источник опасности.

Работник при производстве сварочных работ должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты. В процессе повседневной деятельности для исключения данного вредного фактора необходимо:

- применять в процессе работы сварочные аппараты, другое оборудование в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей;

- не пользоваться приспособлениями, оборудованием обращению с которым он не обучен и не проинструктирован;

- поддерживать порядок на рабочих местах, не допускать нарушений правил складирования материалов и конструкций;

- быть внимательными во время работы и не допускать нарушений требований безопасности труда;

- пользоваться средствами индивидуальной защиты.

- пользоваться контактными термометрами, термокарандашами или термокрасками;

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная

безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

По степени пожарной опасности, согласно [6], лабораторию можно отнести к категории ВЗ, так как в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°C.

В лаборатории, где проводились исследования, причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий, включающих в себя организационные и технические мероприятия. Общие требования по ПБ даны в [12].

К организационным мероприятиям относятся:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в лаборатории.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

К техническим мероприятиям относятся:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.

2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом.

По окончании работы в лаборатории сотрудник уходящий последним, обязан:

- а) выключить прибор из сети;
- б) выключить рубильник;
- в) выключить освещение.

В Помещении на случай пожара должен находиться огнетушитель ОУ-8, предназначенный для тушения пожаров на электрических установках или оборудовании под напряжением. Пенный огнетушитель ОХВП - 10 предназначен для тушения огня в тех местах, где нет напряжения.

Для своевременной ликвидации элементов возгорания используют световые, тепловые и дымовые датчики, реагирующие на наличие того или иного фактора.

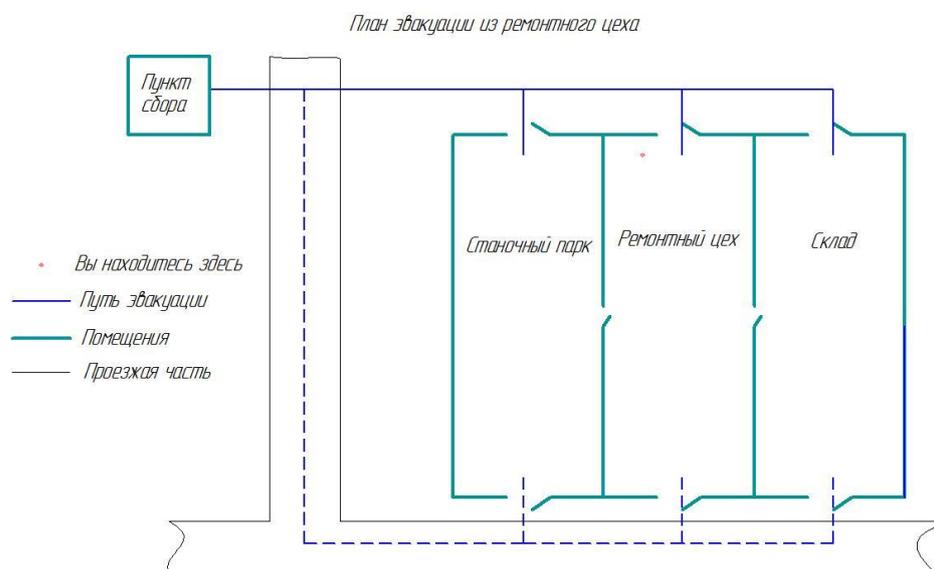


Рисунок 27 - План эвакуации людей при пожаре

6.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в ремонтном цеху необходимо осуществлять сбор (установить контейнеры с обозначенным назначением), сортировку и прессовку металлолома, огарков с последующей транспортировкой в перерабатывающие предприятия. Также с помощью промышленных пылесборников собрать пыль, и упаковать её и транспортировать на ближайший строительный объект.

Вышедшие из работы лампы, подлежащие переработке, необходимо собирать в коробки (до установленного объема) для транспортировки на перерабатывающее предприятие.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов. Абразив после очистки швов направлять в строительную промышленность, вольфрамовые электроды – на изготовление крючков и мормышек для рыбаков.

6.3 Безопасность в условиях ЧС

Чрезвычайная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности

людей. В данной работе невозможно охватить весь спектр возможных ЧС, основное внимание уделено двум вариантам ЧС:

1) природная – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как и сотрудникам, работающим на предприятии, так и самому предприятию.

В случае сотрудников предприятие должно предпринять меры направленные на снижение вероятности получения сотрудниками травм в результате переохлаждения – сократить количество работающих сотрудников (не привлекать сотрудников к работе в период сильных холодов без острой необходимости), обеспечить сотрудников транспортом и держать в готовности средства первой помощи, применяемые при переохлаждении.

В случае предприятия – уделить особое внимание состоянию тепловых и водонесных линий коммуникации во избежание их промерзания, также предусмотреть возможность резервного отопления (электродотельная или тепловые пушки) при отказе основной магистрали для недопущения разморозки здания.

2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место.

Для недопущения несанкционированного проникновения на рабочее место на предприятии применяется система контроля и управления доступом, каждый сотрудник имеет ключ – карту для прохода через пропускной пункт. На лицевой стороне карты размещается фотография и ФИО сотрудника, на задней стороне ключ – карты – номер пропуска.

Пропускные пункты расположены на входе и внутри предприятия, контроль осуществляется, в том числе визуальное на соответствие фотографии, для попадания в искомое помещение нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически исключает несанкционированный доступ.

Перечень нормативно – технической документации

1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
2. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
3. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
4. СП 952-72 Санитарные правила организации процессов пайки мелких изделий сплавами, содержащими свинец.
5. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
6. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
7. Трудовой кодекс РФ;
8. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
9. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования
10. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
11. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
12. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

Заключение

В результате исследований проведенных в данной работе на базе известной научной информации и собственных результатов экспериментов разработаны алгоритм с укороченными импульсами в динамическом режиме горения дуги; методика снятия динамической характеристики дуги и осциллограмм тока и напряжения дуги. Технологические исследования показали устойчивость горения дуги, широкие регулировочные возможности и хорошее формирование шва с концентрированным вводом тепла при реализации алгоритма. Созданная система питания дуги, планируется для сварки изделий малых толщин и корневых слоев. Показано, что при помощи дуги горячей в динамическом режиме можно формировать швы с заданными размерами.

Список используемых источников

1. Славин Г.А., Столпнер Е.А., Некоторые особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока. // Сварочное производство.-1967г.-№2. - С. 3-5.
2. Кулишенко Б.А., Еремин Е.Н. Влияние углекислого газа на некоторые технологические свойства дуги при сварке неплавящимся электродом. // Сварочное производство. – 1978. - №2. – С. 38-39.
3. Бучинский В.Н. Стабильность горения дуги при сварке в смесях аргона с углекислым газом и кислородом. // Автоматическая сварка. – 1982. - №6. – С. 69.
4. Коротов А.Т., Плиско В.П. Полуавтоматическая сварка в смеси аргона и углекислого газа трубопроводов из стали 0Х18Н10Т. // Автоматическая сварка. – 1969. - №3. – С. 69.
5. Новокрещенов М.М., Виноградов В.А., Романенков Е.И., Рыбаков Ю.В., Гума В.В. Влияние азота на свойства столба сварочной дуги в аргоне. // Сварочное производство. – 1974. - №3. – С. 1-3.
6. Патон Б.Е., Замков В.Н., Прилуцкий В.П., Порицкий П.В. Контракция сварочной дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне. // Автоматическая сварка. – 2000. - №1. – С. 3-9.
7. Савицкий М.М., Кушниренко Б.Н., Олейник О.И. Особенности сварки сталей вольфрамовым электродом с активирующими флюсами (АТIG-процесс). // Автоматическая сварка. – 1999. - №12. – С. 20-28.
8. Савицкий М.М., Мельничук Г.М., Карида В.Л., Дмитриев В.И. Применение активирующего флюса при сварке неповоротных стыков трубопроводов на монтаже атомных электростанций // Автоматическая сварка. – 1981. - №11. – С.71-72.
9. Ющенко К.А., Коваленко Д.В., Коваленко И.В. Применение активаторов при дуговой сварке вольфрамовым электродом в инертных газах сталей и сплавов. // Автоматическая сварка. – 2001. - №7. – С. 37-43.

10. Казаков Ю.В., Столбов В.И., Корягин К.Б., Бушев Ю.Г., Кудрявцев Ю.В., Плиско В.Н. Влияние активирующих флюсов на строение сварочной дуги, горящей в аргоне. // Сварочное производство. – 1985. - №4. – С. 30-32.
11. Бурдаков С.М., Чернов А.В., Полетаев Ю.В., Полежаев С.В. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения. // Сварочное производство. – 2001. - №11. – С. 13-16.
12. Селянников В.Н., Блинков В.А., Казаков Ю.В., Баженов В.И. О формировании сварного шва в продольном магнитном поле при аргонодуговой сварке. // Сварочное производство. – 1975. - №11 – С. 5-7.
13. Болдырев А.М., Биржев В.А. Влияние продольного магнитного поля на проплавливающую способность сварочной дуги прямой полярности // Сварочное производство. – 1982. - №4. – С. 10-11.
14. Биржев В.А., Болдырев А.М. О влиянии продольного магнитного поля на сварочную дугу прямой полярности // Автоматическая сварка. – 1982. - №1. – С. 17-19.
15. Чернышев Г.Г., Григоренко В.В., Киселев О.Н. Математическая модель аргонодуговой сварки в квадрупольном магнитном поле // Сварочное производство. – 1989. - №8. – С. 31-33.
16. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Сериков В.А., Геворкян Р.Л. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. // Электричество. – 1967. - №8.- С. 54-61.
17. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Ермилов М.А., Сериков В.А., Хомин В.Д. К расчету главных размеров синхронного генератора работающего на импульсную нагрузку. // Электричество. – 1968. – №12. – С. 29-34.
18. <http://www.amfilakond.ru/prim2.shtml> - Все о конденсаторах. Применение и эксплуатация.
19. Легостаев В.А., Пентегов И.В. Энергетические характеристики индуктивных накопителей для сварки. // Автоматическая сварка. – 1973. - №3. – С. 35-39.

20. http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/ind_emk.html - Индуктивности и емкости.
21. Некрасов В.И., Гаврилов Г.Н. Некоторые особенности импульсного разряда аккумуляторной батареи. // Электричество. – 1968. - №12. – С. 82-83.
22. Дитрих Берндт Доклад на тему «Конструкторский уровень и технические границы применения герметичных батарей. Сравнение герметичных и герметизированных батарей». Эрланга. – 1993.
23. Сипайлов Г.А., Ивашин В.В., Лоос А.В. Генератор больших импульсных мощностей со ступенчатой или трапецеидальной формой тока. // Электричество. – 1967. - №5. – С. 71-75.
24. Зайцев А.И., Князьков А.Ф. О формировании импульсов тока. Доклады к 1-ой конференции по автоматизации производства. Томск. - 1969. – С. 97-104.
25. Пат. РФ 2294269, МПК В23К 9/09, Н03К 3/53. Устройство для формирования импульсов сварочного тока. Князьков А.Ф., Князьков С.А., Лолу Я.С., Проняев А.Б. – Заявл. 27.10.2005.
26. Иццохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Советское радио. 1972. – 592 с.
27. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. -448 с.
28. *Елистратов А.П. Некоторые особенности формирования шва при сварке со сквозным проплавлением*
29. Полосков С.И., Ищенко Ю.С., Букаров В.А. Анализ факторов, определяющих формирование сварочной ванны при орбитальной сварке неповоротных стыков труб (обзор) // Сварочное производство. – 2003. - №2. – С. 11 -19.
30. Рыкалин Н.Н., Бекетов А.И. Расчет термического цикла околошовной зоны по очертанию плоской сварочной ванны // Сварочное производство. – 1967. - №9. – С. 22-25.

31. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. -448 с.

Приложение А

1. Development of control algorithms for an arc burning in dynamic mode

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шарков Алексей Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Татьяна Александровна	к. филол. н.		

1.4 Development of a model of the arc burning in a dynamic mode

Promising application of the arc burning in a dynamic mode, in comparison with other methods of welding, is shown in chapter 1. However, it is not possible to develop new equipment and technology of welding without researching the properties of the arc and the processes of its contraction. Welding arc burning in argon between non-consumable electrode and a consumable product has a bell-shaped form as it is shown in figure 5.

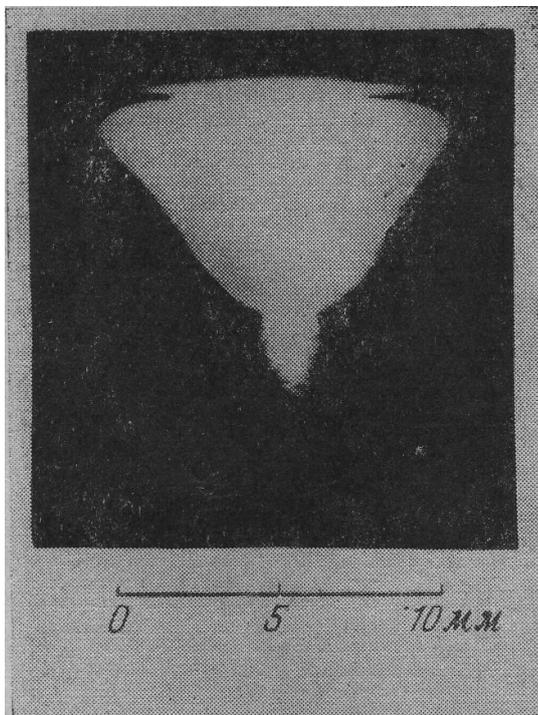


Figure 5 - Welding arc burning in argon

This is due to the influence of plasma flows directed from the electrodes, whose formation depends on the effective value of welding current. According to the literature, welding arc can be divided into: the one burning at low currents or the one burning at high currents, static combustion mode or dynamic mode of combustion.

1.4.1 Model arcs burning at low currents

This model can contain welding arc with the current, which does not exceed the 30A. Arc, burning at low currents between non-consumable tungsten electrode and water-cooled copper anode, looks like a cylindrical column, where the motion of plasma components occurs randomly in both directions. Ions move from the anode to the cathode, and electrons move from the cathode to the anode. The absence - or strong flows can give an arc a cylindrical shape.

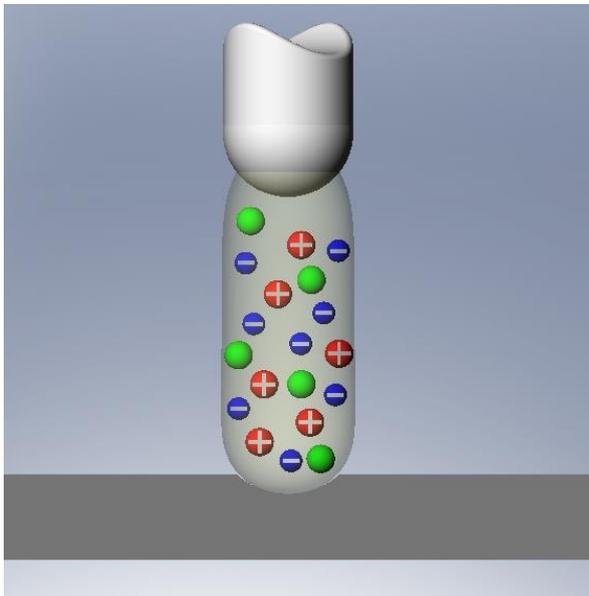


Figure 6 - The shape of the column of the arc burning at low currents

Cylindrical arc, as mentioned earlier, is considered quasi-neutral. Movement of plasma components is carried out under the influence of electromagnetic forces. Ions formed in the anode layer (the ionization zone) do not communicate to the periphery of the arc column due to the fact that the hydrodynamic flow of gas near the anode surface is minimal, i.e. ions move in the arc column and then to the cathode surface.

1.4.2 The model of the arc burning at high currents

Arc in which the welding current is much larger than 30 A, behaves differently. Cathode flows are formed in this type of arcs; they make the arc spatially stable and contribute to the movement of the components of the plasma from the cathode to the anode. Shaped cathode flows cause the shape of the arc column, which is considered a cone shaped arc.

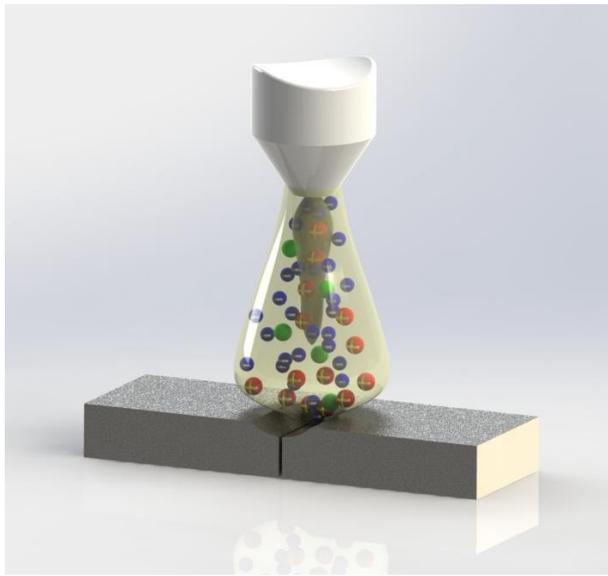


Figure 7 - The shape of the column of the arc burning at high currents

Increase in welding current leads to an expansion of the arc column, the cathode surface covered in plasma is prolonged, resulting in a longer arc seams. Cone-shaped area at the anode surface gets somewhat reduced. The arc column while shortening is flattened, due to the increase in diameter of the heated gas in the arc column. When the arc is lengthened, the speed of plasma flow from the cathode side increases, due to growing differences between the cross-section of the column to the arc length. In the central region of the arc, motion of the plasma flow is observed from the electrode to a product, on the periphery, the plasma is virtually motionless. Upon reaching the plasma flow of the anode surface, direction from the arc on the anode surface is changed and then subjected to the forces of the electrode.

Flows from the electrodes are accompanied by movement of the components of plasma consisting of electrons, positive ions of various atoms and molecules in different degrees of ionization, various negative ions and more complex formations. The specific composition depends on the temperature of the plasma arc column. In most cases, only two kinds of carriers: electrons and positive ions are considered.

At the cathode, there is a negative volumetric charge - electrons, while at the anode positive volume - ions. The electrons in the cathode region, violate the thermodynamic state in the area because of the large quantity, but the transition from the cathode in the arc column, free electrons partly recombine and partly give up their energy in collisions with other components of the plasma or similar ones. All the energy supplied to the post is perceived by the lightest and most mobile electrons, which as a result of elastic collisions with atoms and ions, heat them.

Cathode flows have no significant impact on the motion of electrons. The velocity of the electrons exceeds the velocity of a cathode flow. Ion velocity is low, which contributes to the fact that the rate of cathode flow prevails over the speed of the ions. Ions at the same time exchange their directional movement from the anode to the cathode into the movement from the cathode to the anode. The number of ions near the anode, will match the number of ions and provide electrical neutrality. The formation of new ions by thermal ionization is small and is caused by the number of ions, which were issued to the periphery of the arc column hydrodynamic flows. Little anode potential drop is explained by thermal nature of the processes in the anode fall. In a well, the formed cathode jet value of the anode voltage drop is of only $(1 \pm 2) B$. At the anode, voltage drop also affects the length of the arc.

1.4.3 The model of the arc with consumable anode

Description of the models offered above, is given when the arc burns between non-consumable tungsten electrode and water-cooled copper anode. In the real process of welding arc burns between non-consumable electrode and a consumable product that brings about changes in the shape of an arc column.

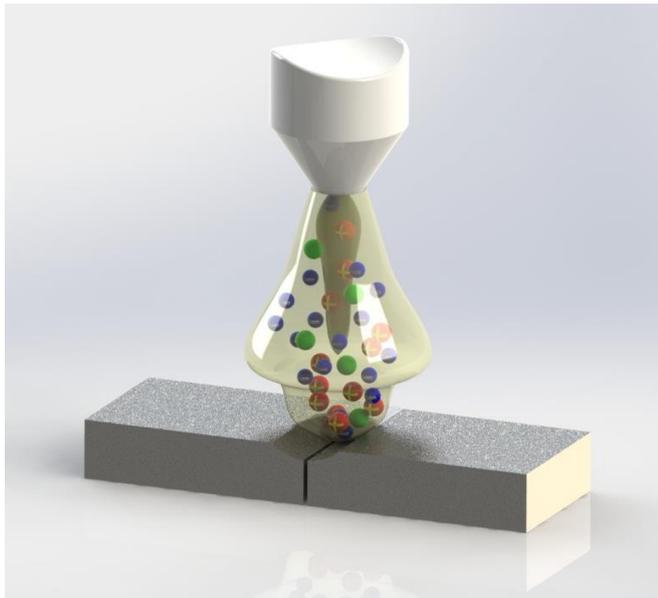


Figure 8 - Model of an arc burning between a non-consumable electrode and a consumable electrode at currents above 30 A

Due to the fact that the anode melts, i.e. evaporates at the surface under the action of electromagnetic forces, the anode flows are formed, as opposed to the cathode. Flows directed from the anode are not as speedy and powerful as those of the cathode because of the size of the anode region. Anode area at steady state welding or pulsed mode of its size exceeds the size of the cathode area, so the concentration of the jet from the anode is less per unit area. Plasma flows from the cathode to the anode driving, forces anode flow in the central part of the arc column thus changing the direction of the latter and dragging it to the periphery of the column. Reaching the anode, a cathode flow changes direction and begins to move along the surface of the anode, where under the influence of anode jet changes its direction and is moving the new total flow of anode and cathode jets. At the periphery of the anode area anodic currents prevail over flows from the cathode, which leads to a change in the shape of the arc column.

The transition from one kind of arc to the other is not instantaneous. In a number publications the authors take the arc column as a nonlinear energy storage system having inertia. In this regard, the arc column, as well as other types of energy storage, has a time constant to defining a time lag of processes from the existing

parameters of the arc. The time constant of the arc column is in the range of $10^{-4} - 10^{-5}$ s, but we should distinguish between the time constant of the arc column from the time constant of the electrical processes associated with the equipment.

Physical processes occurring in the arc, fed by powerful current pulses have been studied little. More accessible to experimental investigation of the volt - ampere characteristics of electric pulsed arc welding have been studied in argon.

Study of dynamic characteristics of the arc with a pulsed-arc welding is necessary to determine the properties of pulsed arc as the load and allows us to obtain the necessary input data for calculation and design of power supplies, as well as for technological purposes.

Due to high rates of change in voltage and current in pulsed arc welding dynamic characteristics can be determined only when using recording devices with low inertia, for example an oscilloscope.

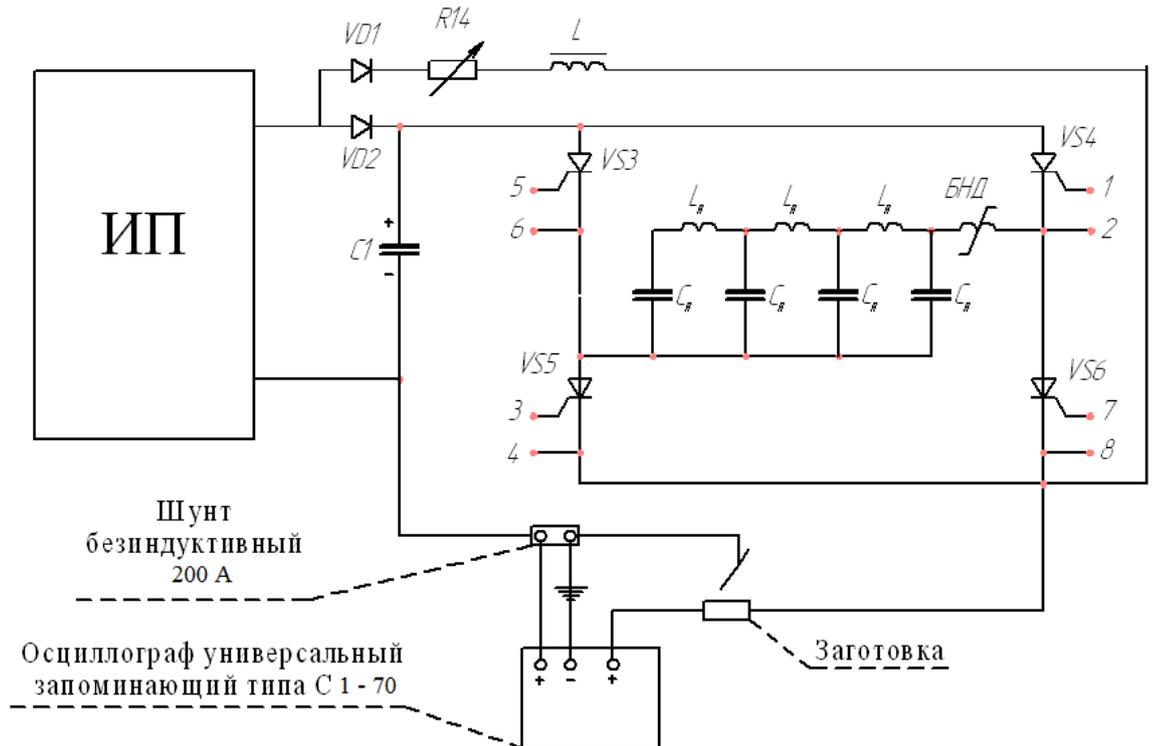


Figure 20 - Schematic diagram of recording and measuring voltage and current of an arc burning in dynamic mode

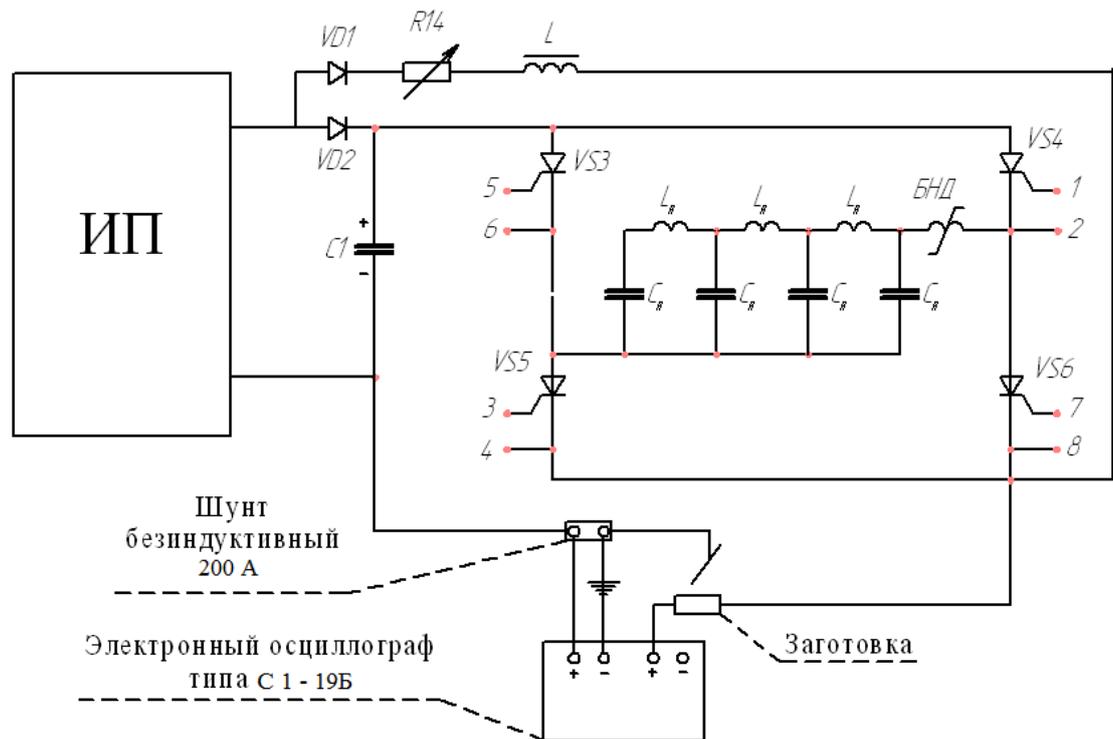


Figure 21 - Schematic diagram of recording dynamic volt - ampere characteristics of an arc that burns in dynamic mode

To register the dynamic volt - ampere characteristics of the arc an oscilloscope C1 - 19b with two control units BPU – 1 is used. In this case, the oscilloscope has two sets of amplification, which allows you to take the current and voltage at the same time and receive dynamic response on the oscilloscope screen (the hysteresis loop). On the ordinate axis – there is voltage, on the abscise axis – the current. Hysteresis loop is determined by the amplitude and slew rate imposed on the arc of the perturbation. The greater the rate of current change, the more dynamic characteristics are different from static. The purpose of the experiment is:

- to get the real current and voltage depending on the time;
- to obtain the dynamic response.

Materials needed:

- mild steel plate 250x50x1,5 mm;
- tungsten rod with a diameter 1,6 mm;
- pure argon.

Equipment, devices, tools:

- the experimental setup for powering a dynamic arc;
- welding machine ADSV - 5;
- storage oscilloscope universal C1 - 70;
- oscilloscope C1 - 19b;
- non-inductive shunt, 200 A.

The experiment:

Experiment 1. Get a real dependence of the current and voltage on the time:

- connect the oscilloscope C1 - 70;
- switch on the rectifier, supply chain simmer and rectifier feeding the pulse device;
- switch on supply of argon;
- light the arc on duty by a carbon electrode;
- enable automatic ADSV - 5 with a constant speed welding head;
- enable pulse device;
- on an oscilloscope C1 - 70 to register the current and voltage.

Experiment 2. For dynamic volt - ampere characteristic:

- connect the oscilloscope C1 - 19b;
- switch on the rectifier, supply chain and simmer rectifier feeding a pulse device;
- switch on supply of argon;
- light the arc on duty by a carbon electrode;
- enable automatic ADSV - 5 with a constant speed welding head;
- enable pulse device;
- on an oscilloscope C1 - 19b register dynamic volt - ampere characteristic of the arc.

In the course of the experiment we obtained dependences of the current and voltage of the arc on time, and dynamic volt - ampere characteristic of the arc. At the current waveform we can observe that the pulses are similar in shape to rectangular, the rate of growth of pulses and their duration provides a dynamic mode of arcing.

With the rapid change in the current, the lack of thermal emission is compensated by one, which in turn leads to increased tension.

Because of the greater concentration of heat flow during welding arc burning in a dynamic mode requires the average current less 30 - 40% than when welding in a continuous mode while maintaining a high physical stability of the arc and maintaining high technological stability of the welding process.

1.4 Phenomenological model of the arc burning in a dynamic mode

The presented models of the arc are made for permanently burning arcs. Change in the value of current is either for a considerable period of time, or remains constant during the welding. Arc, burning in the dynamic mode, cannot be described in any of the existing models. The transition from small to large currents is called dynamic or transient mode, its duration is approximately 450 - 500 ms. Based on the total order that the arc was burning in the dynamic mode, the pulse duration should not exceed the duration of the transition regime, i.e. less than 450 microseconds. The proposed mode for an arc burning in a dynamic mode is as follows: pulse duration varies from 30 to 70 microseconds, a current pulse of more than 250 A and the current pause in the range of 8 to 12 A. This mode does not allow the momentum to be achieved during the post arc parameters of the stationary state of the current value.

Using the accumulated knowledge, we describe a model of arc welding in argon between non-consumable electrode and a consumable product in the dynamic mode. Any description of the process includes some assumptions:

- plasma arc column represents a single continuum, rather than a set of individual discrete particles, in which the mean free path of particles and their sizes are small compared with the geometric dimensions of the flow;
- the environment of the arc column is homogeneous and isotropic throughout the volume;
- the size of the anode and cathode are commensurate. The temperature of the active spots on the electrodes depends on the average current. Because of the short

duration of the pulse, the temperature did not have time to change and reach a value corresponding to the parameter pulse current. The lag in temperature change is related to the delay processes in the arc and depends on the time constant of the arc;

- properties of the arc burning in a dynamic mode, determined by its column and processes occurring in it allow us to take the constancy of the sum of the electrode voltage drop $U = U_a U_i \leq \text{const}$ on the interval of the pulse;

- the distribution of heat in the arc column occurs in a radial direction;

- thermophysical coefficients are constant, equal to average values, independent on any factors.