

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

Школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки машиностроение 15.04.01
Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Управление процессом дуговой сварки покрытыми электродами воздействием на параметры режима

УДК 621.791.753.042.4.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение. Машины и технологии сварочного производства.	Гнюсов С.Ф.	д.т.н		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
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 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
<i>Профессиональные компетенции</i>	
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

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

Школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки машиностроение 15.04.01
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гньюсов С.Ф.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович

Тема работы:

Управление процессом дуговой сварки покрытыми электродами воздействием на параметры режима	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.10.2016, 8896/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Процесс ручной дуговой сварки и наплавки покрытыми электродами. Определение влияния варьирования параметрами режима сварки (ток, длительность импульса, длительность паузы, амплитуда импульса, амплитуда паузы) на формирование шва и переноса электродного металла в сварочную ванну.</p>
<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. Обзор литературы; 2. Проведение экспериментальных исследований; 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения; 4. Социальная ответственность; 5. Заключение.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
1-2	Киселев А.С.
3	Данков А.Г.
4	Мезенцева И.Л.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	
Введение	
1 Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и технологических</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчисления, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.
<i>3. 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. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	К.И.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Семенчук В.М.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Процесс дуговой сварки и наплавки покрытыми электродами модулированным током. Обоснование выбора амплитудно-временных параметров модулированного тока при ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Рекомендации по выбору специализированного сварочного оборудования.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность.</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>Выявление вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ превышения уровня шума; - Анализ недостаточной освещенности; - Отклонение показателей микроклимата; - Анализ загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны <p>Выявление опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ поражения электрическим током; - Анализ поражения расплавленным металлом
<p>2. Экологическая безопасность.</p>	<p>Воздействие на окружающую среду посредством образования отходов при ручной дуговой сварке</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</p>	<p>Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации. Одной из причин возникновения пожара является короткое замыкание, а также наличие разбрызгивания расплавленного металла при проведении сварочных работ.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Семенчук В.М.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страниц, 29 рисунков, 25 таблиц, 26 источника.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, наплавка, покрытые электроды, модуляция тока, перенос электродного металла, стабильность процесса сварки.

Объектом исследования является процесс ручной дуговой сварки и наплавки при модуляции сварочного тока.

Цель работы – разработка рекомендаций по выбору параметров режима при дуговой сварке и наплавке покрытыми электродами модулированным током

В процессе проведения экспериментальных исследований определена степень влияния импульсного изменения энергетических параметров на стабильность тепломассопереноса при дуговой сварке и наплавке покрытыми электродами. Определено влияние амплитудно-временных параметров режима на условия формирования сварного шва и наплавленного металла, а также критерии выбора специализированного сварочного оборудования.

Степень внедрения: разработан алгоритм модуляции тока.

Область применения: строительство и ремонт магистральных трубопроводов, в том числе в условиях Крайнего Севера; восстановление элементов различной техники, подверженных абразивному износу.

Экономическая эффективность работы: повышение производительности выполнения сварочных и наплавочных работ.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ Пожарная безопасность. Термины и определения.
2. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.
3. СНиП 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5. ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ Работы электросварочные. Требования безопасности.
6. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охраны природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
7. ГОСТ 5264–80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
8. ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры.

Список основных обозначений и сокращений

$I_{св}$ – сварочный ток

$I_{и}$ – сварочный ток импульса

$I_{п}$ – сварочный ток паузы

$t_{и}$ – длительность импульса

$t_{п}$ – длительность паузы

$I_{ср}$ – средняя эффективная сила тока

$I_{эф}$ – эффективная сила тока

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания

$I_{ст}$ – ток горячего старта

$I_{ф}$ – ток форсирования

$U_{хн}$ – напряжение холостого хода

$U_{д}$ – напряжение сварочной дуги

d – диаметр электрода

f – частота импульсов

G – жесткость модулированного тока

M – глубина модулированного тока

μ_t, μ_I, μ_U – цена деления по времени, току и напряжению сварки

q – эффективная тепловая мощность

η – эффективный к.п.д. нагрева металла дугой

$V_{св}$ – скорость сварки

K_d – коэффициент вариации

$\bar{\tau}_{кз}$ – среднее значение длительности короткого замыкания

N – количество коротких замыканий

$\sigma(\tau_{кз})$ – среднее квадратичное отклонение длительности короткого замыкания

СМТ – сварка модулированным током

СПТ – сварка на постоянном токе

ОСН – остаточные сварочные напряжения

Содержание

Введение.....	12
1 Обзор литературы.....	13
1.1 Общие представления о сварке покрытыми электродами модулированным током	13
1.2 Особенности каплепереноса при сварке покрытыми электродами...	16
1.3 Определение влияния параметров режима модуляции тока на стабильность процесса сварки	22
1.4 Погонная энергия	26
2 Экспериментальная часть	27
2.1 Выбор оборудования для проведения экспериментальных исследований.....	27
2.2 Проведение экспериментальных исследований.....	29
2.2.1 Исследование влияния способа сварки на частоту коротких замыканий, их длительность и коэффициент вариации длительности коротких замыканий	35
2.2.2 Исследование изменения значений погонной энергии, затраченной при сварке образцов.....	40
2.2.3 Анализ экспериментальных исследований тепловых полей при сварке облицовочного слоя шва в нижнем положении	42
2.3 Влияние параметров режима сварки на структуру металла шва	45
2.3.1 Металлографические исследования сварных швов, выполненных сваркой на постоянном и модулированном токе.....	45
2.3.2 Исследование влияние различных режимов дуговой сварки плавящимся электродом на величину остаточных напряжений в шве и околошовной зоне	47
2.3.3 Исследование влияния рода тока и алгоритма его модуляции на служебные свойства металла сварного шва.....	52
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	55
3.1 Предпроектный анализ	55
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	55

3.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
3.1.3	SWOT – анализ	59
3.2	Планирование управления научно-техническим проектом.....	62
3.2.1	План проекта.....	62
3.2.2	Бюджет научно-технического исследования	65
4	Социальная ответственность	70
4.1	Производственная безопасность.....	71
4.1.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	71
4.1.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	76
4.2	Экологическая безопасность	78
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
4.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
	Заключение	84
	Список публикаций.....	85
	Список использованных источников	86
	Приложение А.....	89

Введение

Одним из наиболее распространенных способов получения неразъемных соединений является дуговая сварка плавящимся электродом. Однако использование данного способа связано с определенными трудностями. На основе анализа массового применения технологий сварки при производстве конструкций ответственного назначения, установлено, что одним из главных недостатков, влияющих на эксплуатационные показатели сварной конструкции, является несоблюдение предельных значений параметров режима сварки. Это способствует развитию процесса хрупкого разрушения механически нагруженных изделий и конструкций, особенно в условиях низких климатических температур.

В частности, одной из проблем является нестабильный перенос электродного металла в сварочную ванну, сопровождающийся повышенным разбрызгиванием. Это негативно отражается на технологическом процессе изготовления сварных конструкций: необходимы дополнительные операции по очистке поверхности деталей от брызг металла, что в целом снижает эффективность производства.

В связи с этим выделяют две основные задачи с точки зрения совершенствования процесса сварки плавящимся электродом: разработка алгоритма модуляции тока при ручной дуговой сварке и наплавке, а также уменьшение разбрызгивания электродного металла [1]. Решение данных задач реализуют посредством воздействия энергетических параметров режим сварки и наплавки.

К настоящему времени известен ряд способов, повышения эффективности каплепереноса и применения модулированного тока. Значимый вклад в данном направлении внесены учеными: Князьковым А.Ф., Сараевым Ю.Н., Лебедевым В.К., Патоном Б.Е., Вагнером Ф.А., Воропаем Н.М., Дудко Д.А., Дюргеровым Н.Г., Подолой Н.В., Шигаевым Т.Г. и многими другими.

1 Обзор литературы

1.1 Общие представления о сварке покрытыми электродами модулированным током

Процесс сварки модулированным током (СМТ) предполагает периодическое, заранее запрограммированное изменение энергетических параметров системы источник питания – сварочная дуга между высоким (импульс) и низким (пауза) уровнями. В течение импульса тока расплавляется основная часть электродного и свариваемого металла, а в последующий период паузы происходит кристаллизация большей части металла сварочной ванны [2].

СМТ позволяет более тонко, чем непрерывная сварка, обеспечивать дозирование теплоты, поступающей в сварочную ванну. Эта особенность СМТ позволяет значительно облегчить сварку в вертикальном и потолочном положениях. При выполнении сварки в указанных пространственных положениях сварщик вынужден регулировать жидкотекучесть ванны и совершать различные манипуляции концом электрода для обеспечения удовлетворительного формирования шва. При этом сварщик постоянно находится в напряженном состоянии и не может обеспечить стабильность качества шва [2].

Модулирование сварочного тока представляет возможность освободить сварщика от трудоемкой операции по дозированию теплоты, вводимой в сварочную ванну и переложить ее на специальное устройство – модулятор. Сварщику же остается лишь заполнять разделку шва, техника сварки значительно упрощается и становится доступной даже начинающему [2].

Наложение импульсов тока на дугу небольшой мощности при сварке плавящимся электродом позволяет получить управляемый мелкокапельный

перенос электродного металла. Если амплитудное значение тока импульса превышает критическую для данных условий величину, а частота следования импульсов ≥ 25 Гц, то каждым импульсом в сварочную ванну будет переноситься одна капля электродного металла. Под термином «критический ток» понимают такую величину сварочного тока, при которой размер переносимых через дуговой промежуток капель металла резко уменьшается, а частота их образования соответственно увеличивается. Средняя величина тока при этом на 30-40% меньше номинального значения. За счет устранения коротких замыканий дугового промежутка каплями электродного металла значительно улучшается стабильность процесса сварки, характер переноса капель практически не зависит от пространственного положения шва [2].

Преимущества СМТ:

- обеспечивается управляемый мелкокапельный перенос электродного металла при средних токах дуги;
- снижаются тепловложения в основной металл при неизменной глубине проплавления, размеры зоны перегрева, остаточные напряжения и деформации сварного соединения;
- улучшаются качество наплавленного металла шва и механические свойства, обеспечиваются условия для однородного формирования сварного шва независимо от его пространственного положения;
- измельчается структура металла шва и зоны термического влияния за счет воздействия пульсирующего теплового поля;
- облегчаются сварка неповоротных стыков трубопроводов и укладка шва в труднодоступных местах.

Параметры режима СМТ помимо обычных включают: ток в период импульса, ток в период паузы, время импульса и время паузы. Кроме того, нашли применение производные параметры – жесткость $G = \frac{t_p}{t_{и}}$ и глубина

модулирования сварочного тока $M = \frac{I_{и}}{I_{п}}$. Эффективная сила тока дуги может определяться либо как средняя величина

$$I_{ср} = \frac{I_{и} \cdot t_{и} + I_{п} \cdot t_{п}}{t_{и} + t_{п}}, \quad (1)$$

либо как среднеквадратическая величина [2]

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{I_{и}^2 \cdot t_{и} + I_{п}^2 \cdot t_{п}}{t_{и} + t_{п}}} \quad (2)$$

Существуют два основных вида переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом: «длинной дугой» - без замыкания дугового промежутка и «короткой дугой» - перенос электродного металла осуществляется во время коротких замыканий дугового промежутка [3].

Основными параметрами импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом «длинной дугой» помимо известных являются амплитуда импульса $I_{и}$, длительность импульса $t_{и}$, паузы $t_{п}$ и цикла $T_{ц} = t_{и} + t_{п}$, частота импульсов $f = 1/T_{ц}$, базовый ток $I_{б}$ или ток паузы, скорость нарастания тока импульса и его спада [3].

Характерная особенность импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом – управляемый перенос электродного металла. Существуют две разновидности управляемого переноса при сварке «длинной дугой» [3]:

- импульс тока обеспечивает перенос капли электродного металла;
- при каждом импульсе тока от электрода отделяется и переносится в сварочную ванну несколько капель – такой процесс называется импульсно-дуговой сваркой с прерывисто струйным переносом металла.

Суть импульсно-дуговой сварки «длинной дугой» заключается в наложении мощных кратковременных импульсов тока на сварочную дугу средней мощности. При этом происходит резкое увеличение электродинамических сил, которые формируют жидкий металл на торце

электрода в виде капли и сбрасывают его строго в сварочную ванну в любом пространственном положении последней. Это дает возможность осуществлять мелкокапельный перенос при сварочном токе основного режима ниже критического значения, при котором в случае стационарного режима сварки с ростом тока уменьшается размер переносимых капель электродного металла [3].

1.2 Особенности каплепереноса при сварке покрытыми электродами

Одними из главных факторов, влияющих на перенос электродного металла в ванну являются тип покрытия электрода и наклон вольт амперной характеристики источника питания.

При ручной дуговой сварке покрытым электродом выпрямитель имеет комбинированную внешнюю характеристику (рисунок 1), состоящую из четырех постоянных участков и четырех, возникающих в зависимости от ситуации. Участок 1 подпитки (85 В, 20 А) необходим для заполнения пауз между включениями тиристорov. Пологопадающий участок 2 представляет собой естественную характеристику выпрямителя при полнофазном включении тиристорov (55 В, 0,03 В/А). На крутопадающем участке 3 наклон 0,4-2 В/А может настраиваться в зависимости от пространственного положения шва. Основной вертикальный участок 4 используется для настройки сварочного тока в диапазоне 20-500 А. Для выполнения специальных функций, например при сварке электродом диаметров 4 мм с установленным сварочным током $I_d=150$ А, настраиваются положения еще четырех участков, обеспечивающих ток ограничения длительного короткого замыкания $I_{кз}$ (участок 7), ток горячего старта $I_{ст}$ (участок 6), ток форсирования при капельном переносе $I_{ф}$ (участок 5), а также напряжение ограничения длительного холостого хода $U_{хн}$ (точка 8) [4].

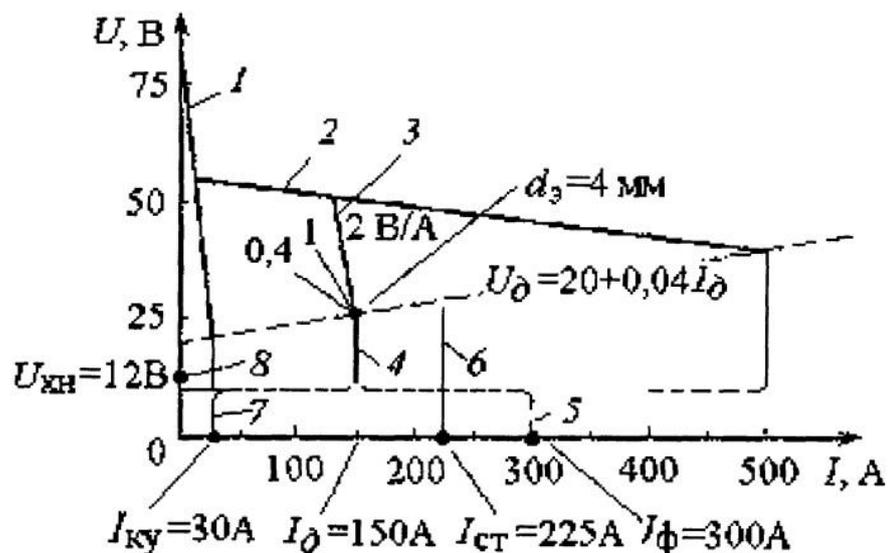


Рисунок 1 – Внешние характеристики выпрямителя[4]

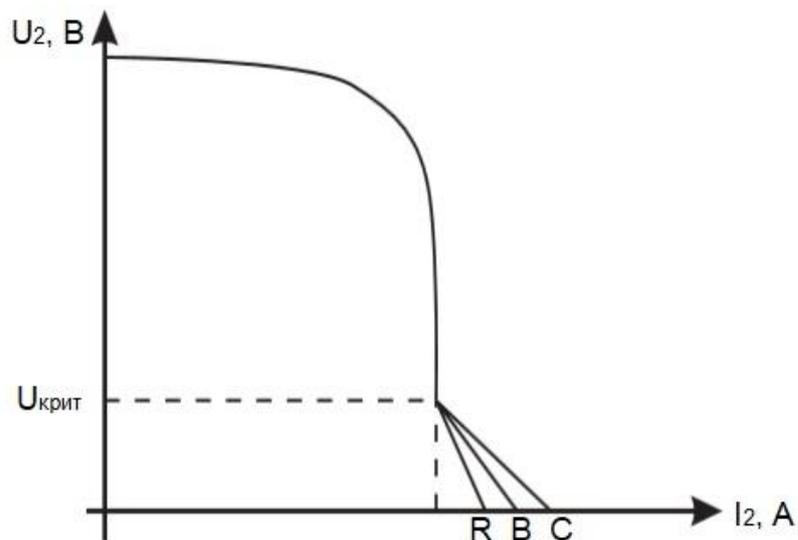


Рисунок 2 – Принцип регулировки тока дуги в период короткого замыкания: R – рутиловое покрытие;

B – основное покрытие; C – целлюлозный покрытие

В зависимости от состава покрытия, геометрии торца электрода, коэффициента массопокрывания, режима сварки, как показано в работах [6, 10, 11] характер переноса металла может существенно изменяться.

А.А. Ерохин [10] показал, что путем нанесения на сварочную проволоку однокомпонентного покрытия из мрамора, кварцевого песка и плавикового шпата возможно изменить распределение энергии в дуге, и, следовательно, скорость плавления электрода и массу капли, а также положение катодного пятна и

направление сил, действующих на каплю. Это значительно изменяет характеристику капельного переноса. Например, мрамор уменьшает массу капель, переходящих через дуговой промежуток, а кварцевый песок и плавленый шпат - увеличивают. Измельчение капель при увеличении содержания мрамора в покрытии можно объяснить тем, что при его расположении образуется мощный газовый поток, способствующий отрыву более мелких капель. Образующаяся в таком случае все более глубокая втулочка из покрытия придает газовому потоку большую направленность. Более того, увеличение окислительного потенциала покрытия способствует росту окисленности электродных капель и снижению поверхностного и межфазного натяжения на границе металл-шлак [11].

Введение в электродное покрытие кремнезёма, обладающего высокой работой выхода электронов, вызывает увеличение эффективного падения напряжения в приэлектродных областях, что приводит к повышению реактивного давления паров, и, следовательно, укрупнение электродных капель.

В работе [6] показано, что состав покрытия существенно влияет на число коротких замыканий, вызванных переходом капель через дуговой промежуток. К элементам, которые повышают число коротких замыканий можно отнести полевого шпата, калиево-натриевого жидкого стекла.

Благоприятное влияние полевого шпата и калиевого жидкого стекла на перенос металла происходит из-за резкого изменения эмиссии электронов с катода, при этом увеличивается площадь активного пятна и, снижается плотность тока в нем. Повышение температуры капель, вызванное увеличением поверхности теплопередачи через активное пятно, и снижение реактивного давления паров вследствие уменьшения плотности тока в активном пятне приводят к измельчению капель при сварке.

На рисунке 3 схематично показан переход капель при использовании четырех основных типов покрытия.

Целлюлозный тип (рисунок 3, а) характеризуется переходом материала в виде средних или крупных капель. Покрытие состоит большей частью из

органических компонентов, сгорающих в дуге и образующих при этом защитный газ для защиты места сварки. Так как покрытие содержит кроме целлюлозы и других органических веществ лишь небольшие доли стабилизирующих дугу элементов, при сваривании почти не образуется шлака. Кислый тип, при котором покрытие большей частью состоит из железной и марганцевой руды, выделяет в атмосферу дуги большие количества кислорода и снижает его поверхностное натяжение. В результате получается переход материала в форме мелких капель и жидкий металл шва.

Покрытие рутилового типа большей частью состоит из диоксида титана в форме минерального рутила (TiO_2) или ильменита ($TiO_2 \cdot FeO$) либо из искусственного диоксида титана. Электроды этого типа также характеризуются переходом материала в форме мелких или средних капель, спокойным расплавлением с малым количеством брызг.

В случае основного покрытия, состоящего из основных оксидов кальция (CaO) и магния (MgO), переход расплавленного металла характеризуется средними и крупными каплями, а сварочная ванна получается вязкотекучей.

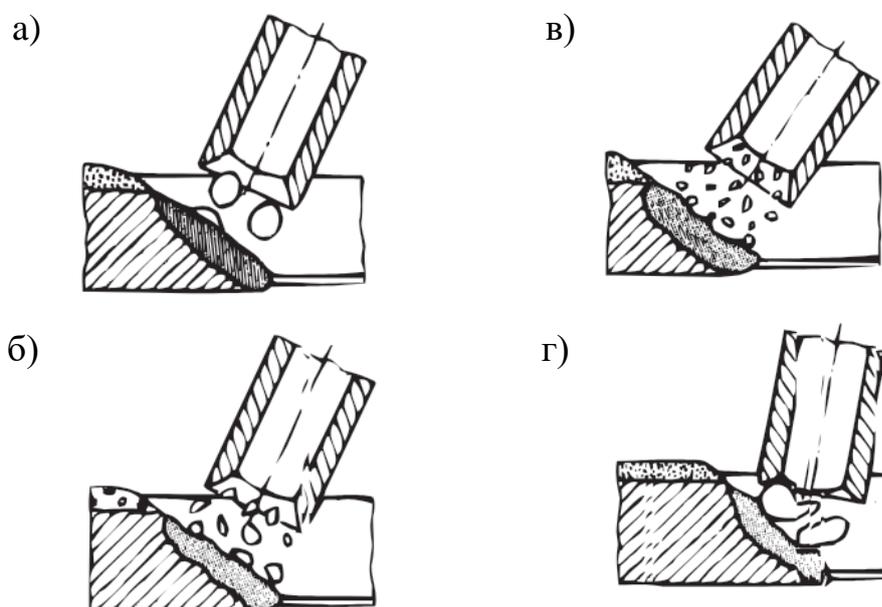


Рисунок 3 – Переход капель при использовании различных покрытий: а) целлюлозное; б) рутиловое; в) кислое; г) основное.

О влиянии толщины (коэффициента массы) покрытия на размеры капель существуют разные мнения, но во многом они сходятся к тенденции уменьшения

капель при увеличении толщины покрытия.

При сварке электродом с толстым покрытием, стержень 1 электрода (рисунок 4) плавится быстрее, и торец его оказывается несколько прикрытым "чехольчиком покрытия" 2. Интенсивное газообразование в небольшом объеме «чехольчика» приводит к явлению газового дутья 3, ускоряющего переход капель металла в сварочную ванну [12].

Согласно [13], размеры капель уменьшаются при увеличении толщины покрытия лишь до определенных размеров.

В работе [13] также показано, что с увеличением коэффициента массопокрытия от 20 до 70% секундный выход газов, образующихся при разложении мрамора в процессе плавления покрытия увеличивается от 0,034 до 0,060г/с, что вызывает увеличение аэродинамической силы более чем в 4,5 раза и способствует измельчению электродных капель.

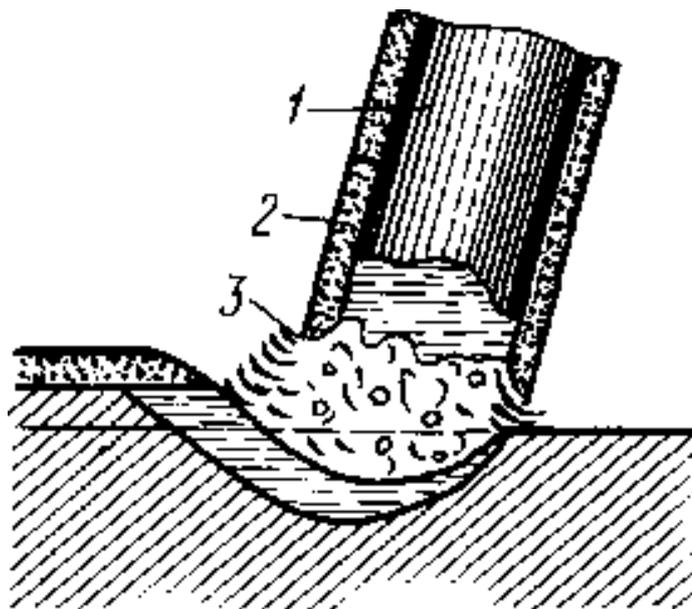


Рисунок 4 – Сварка электродом с толстым покрытием [12]

Из работы [6] следует, что существует еще одно решение для получения более мелкокапельного переноса – выполнение электродного покрытия двухслойной конструкции. При этом во внутреннем слое располагается мрамор, а в наружном слое оставляют фторид кальция, что значительно уменьшается отрицательное влияние фторидов на перенос металла.

При сварке на прямой полярности перенос электродного металла более

мелкокапельный, чем на обратной [6, 10]. Исследователи объясняют это поведением катодного пятна, которое в присутствии фторидов в покрытии сжимается и беспорядочно перемещается по поверхности капли, вызывая отрыв от капли маленьких частиц. Принимая во внимание результат работы [10], на прямой полярности давление на каплю больше, чем на обратной, из-за чего капля также дробится.

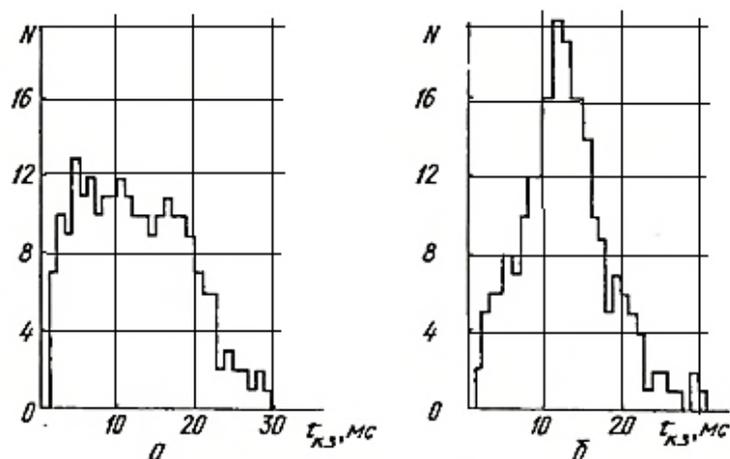


Рисунок 5 – Зависимость частоты переноса металла от полярности тока при сварке постоянным током электродами УОНИ-13/55 ($d_3 = 4$ мм, $I_{св} = 130$ А): а – прямая полярность, $\tau_{к.з} = 11,6$ мс; $\sigma_{\tau_{к.з}} = 7,2$ мс, б - обратная, $\tau_{к.з}^{pc} = 12,8$ мс; $\sigma_{\tau_{к.з}} = 5$ мс [14]

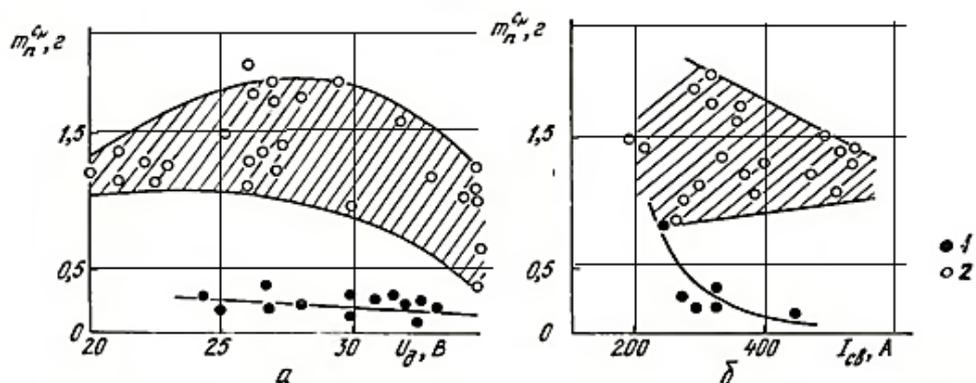


Рисунок 6 – Зависимость массы переходящих капель от полярности тока при изменении напряжения дуги (а) и режима сварки (б), электроды УОНИ-13/45, $d_3 = 8$ мм: 1 - прямая полярность; 2 – обратная [14]

Влияние силы тока на размеры капель при сварке покрытыми электродами наиболее полно исследовано А.А. Ерохиным [10] и А.Г. Мазелем [5].

Установлено, что с увеличением сварочного тока уменьшается размер капель и время перехода их через дуговой промежуток, а частота коротких замыканий увеличивается.

1.3 Определение влияния параметров режима модуляции тока на стабильность процесса сварки

В работе [15] рассматривалось влияние параметров режима модуляции тока на стабильность процесса сварки, которое было определено по осциллограммам напряжения между электродом и изделием и тока в сварочной цепи. Критерием стабильности процесса сварки модулированным током служило отсутствие залипания электрода в период низкого энергетического уровня.

Особенностью процесса модулированным током является чередование высокого и низкого энергетических уровней. При этом в период низкого энергетического уровня высока вероятность нарушения процесса сварки из-за отсутствия условий по активизации разрушения перемычки жидкого металла между электродом и сварочной ванной, что способствует нежелательному «примерзанию» электрода к изделию [15].

В работе [15] приведены осциллограммы тока и напряжения, зарегистрированные при различных масштабах времени при сварке модулированным током с дополнительными стабилизирующими импульсами тока в период низкого энергетического уровня при отключенном (рисунок 7а, 7б, 7в, 7г) и подключенном датчике состояния межэлектродного промежутка (рисунок 8).

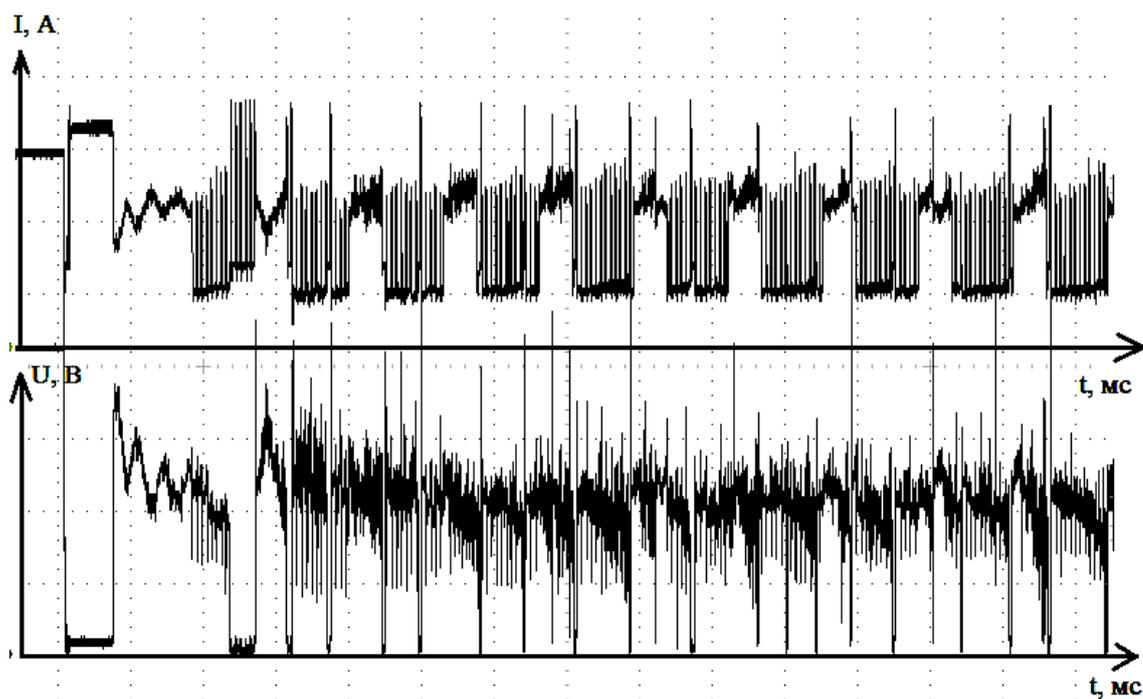


Рисунок 7а – Осциллограмма тока и напряжения с отключенным датчиком состояния межэлектродного промежутка [15]

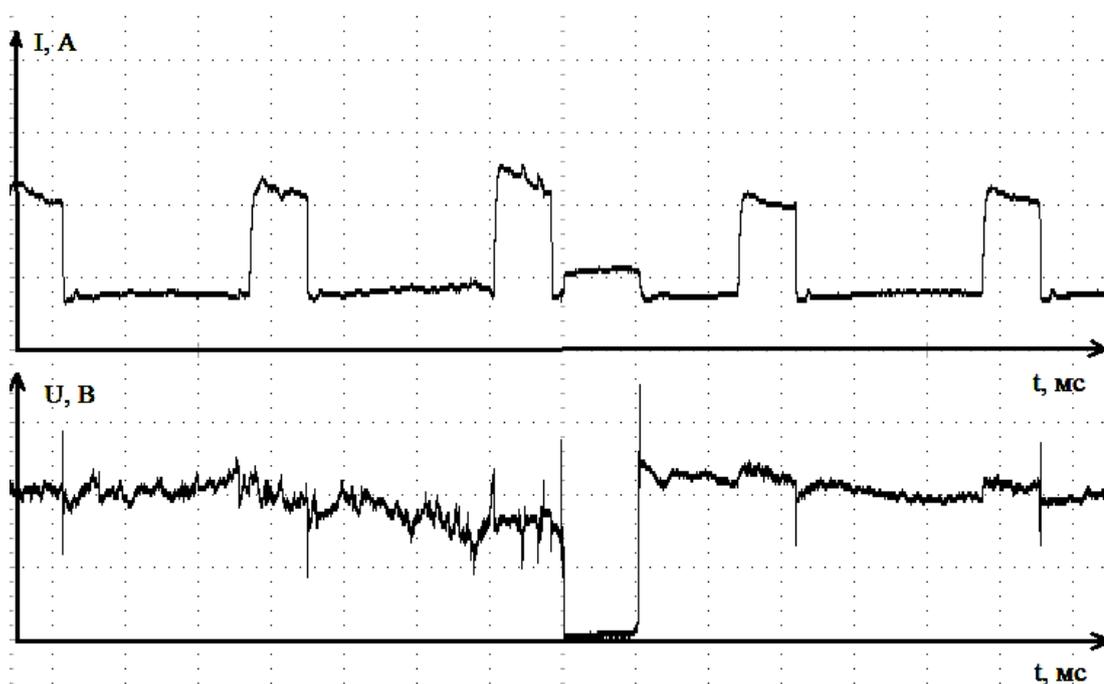


Рисунок 7б

($\mu_t = 10$ мс/дел; $\mu_I = 50$ А/дел; $\mu_U = 10$ В/дел) [15]



Рисунок 7в

($\mu_t = 10$ мс/дел; $\mu_I = 50$ А/дел; $\mu_U = 10$ В/дел) [15]

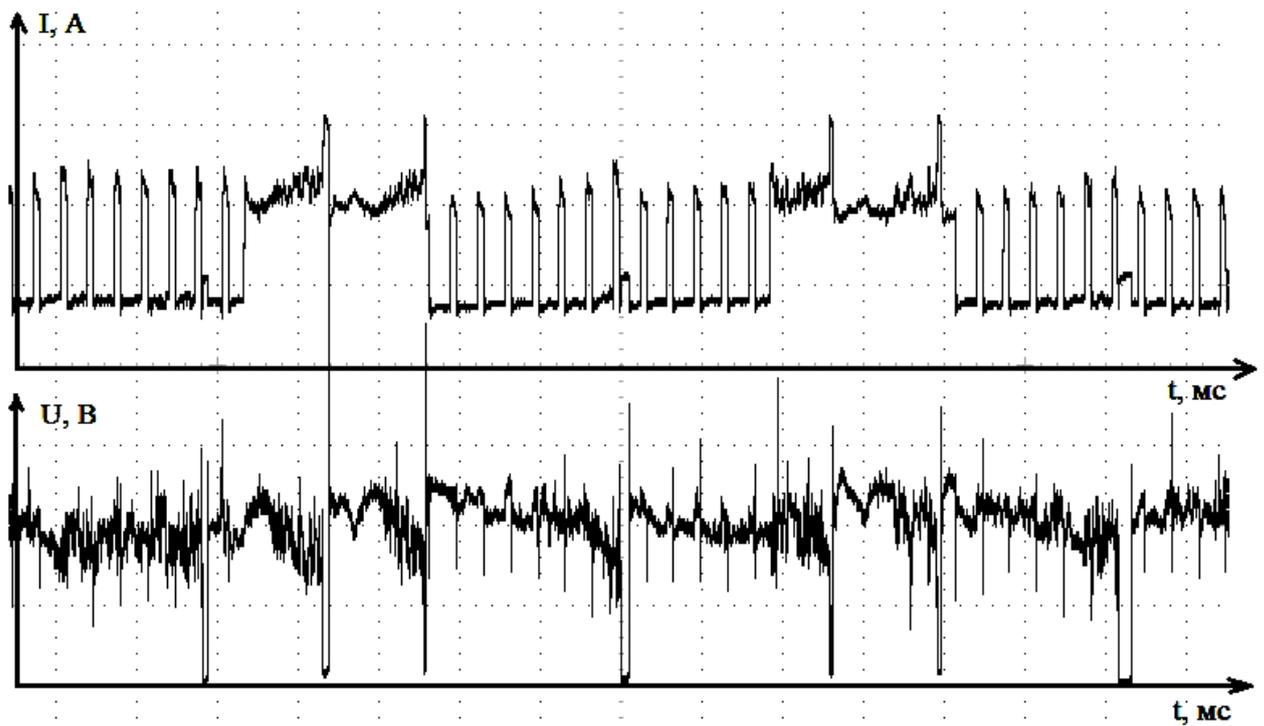


Рисунок 7г

($\mu_t = 100$ мс/дел; $\mu_I = 50$ А/дел; $\mu_U = 10$ В/дел) [15]

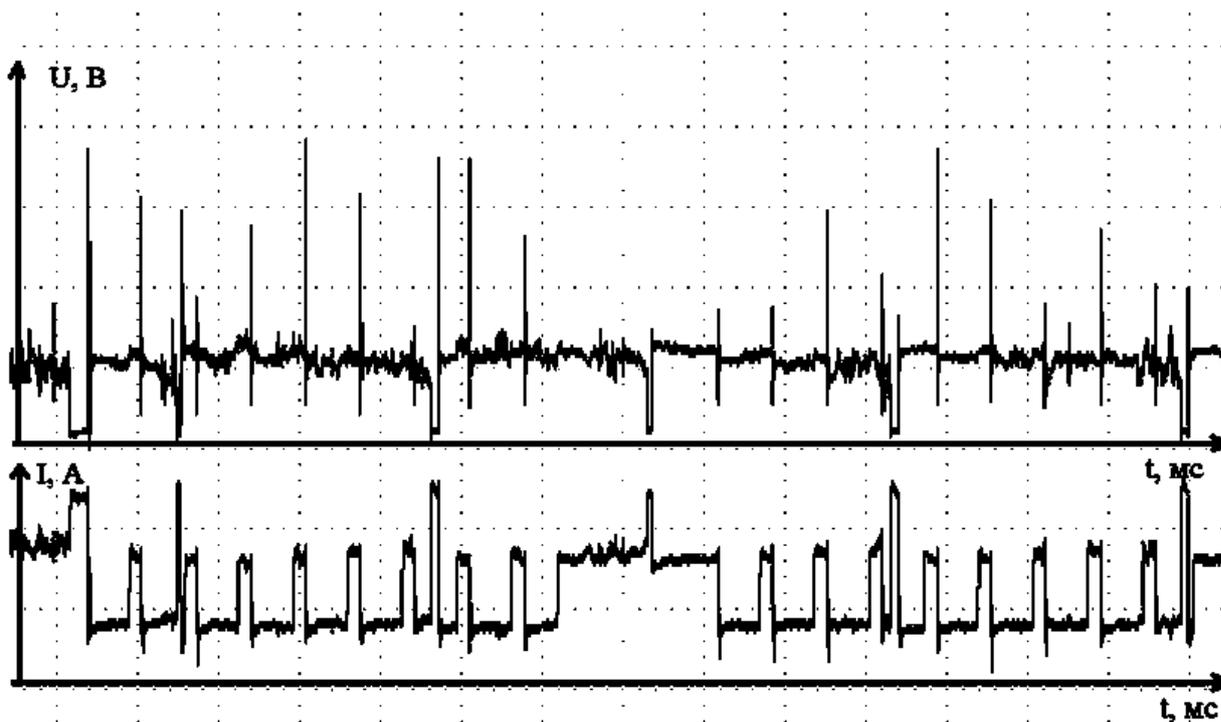


Рисунок 8 – Осциллограмма тока и напряжения при подключенном датчике состояния межэлектродного промежутка

($\mu_t = 50$ мс/дел; $\mu_I = 50$ А/дел; $\mu_U = 20$ В/дел) [15]

Из анализа осциллограмм, приведенных в работе [15] видно, что кратковременные короткие замыкания в период протекания тока паузы способствуют активизации процесса разрушения перемычки в период переноса электродного металла и, тем самым, существенно повышают стабильность процесса сварки.

Из этого следует, что создание сварочных систем, способных управлять переносом капли за счет изменения амплитудно–временных параметров импульсов тока является стратегически приоритетным направлением исследовательской деятельности и практических разработок. А полученные результаты экспериментов в работе [15], подтверждают необходимость принудительной активизации разрушения перемычки жидкого металла в момент его перехода в сварочную ванну в процессе дуговой сварки покрытыми электродами модулированным током.

1.4 Погонная энергия

Количество тепла, вводимое дугой в свариваемое изделие в единицу времени, называют эффективной тепловой мощностью дуги q . Она включает в себя тепло, непосредственно выделяющееся на катодном или анодном пятне на изделии; тепло, поступающее с каплями электродного металла, покрытия или флюса; тепло, вводимое в изделие из столба дуги [16].

Эффективную тепловую мощность можно определить по формуле [16]

$$q = 0,24 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}} \cdot \eta \text{ кал/с}, \quad (3)$$

Скорость нагрева изделия при дуговой сварке характеризуется эффективным к.п.д. нагрева металла дугой η , представляющим отношение эффективной мощности к полной тепловой мощности дуги. Численная величина η зависит от вида дуговой сварки, типа сварного соединения, длины дуги, скорости сварки, от рода тока и полярности тока, марки электрода и др. [16].

Значения $\eta_{\text{н}}$ для сварки штучными покрытыми электродами – $0,7 \div 0,85$. Количество тепла, вносимое дугой в изделие на единицу длины шва, называется погонной энергией сварки. Погонная энергия зависит от эффективной мощности дуги и от скорости сварки и выражается отношением [16]

$$\frac{q}{V_{\text{св}}} = \frac{0,24 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}} \cdot \eta}{V_{\text{св}}} \text{ кал/см.} \quad (4)$$

2 Экспериментальная часть

2.1 Выбор оборудования для проведения экспериментальных исследований

При проведении экспериментальных исследований при сварке на постоянном токе (СПТ) применяли сварочный выпрямитель ВКСМ-1000 с комплектным балластным реостатом РБ-302 (рисунок 9).

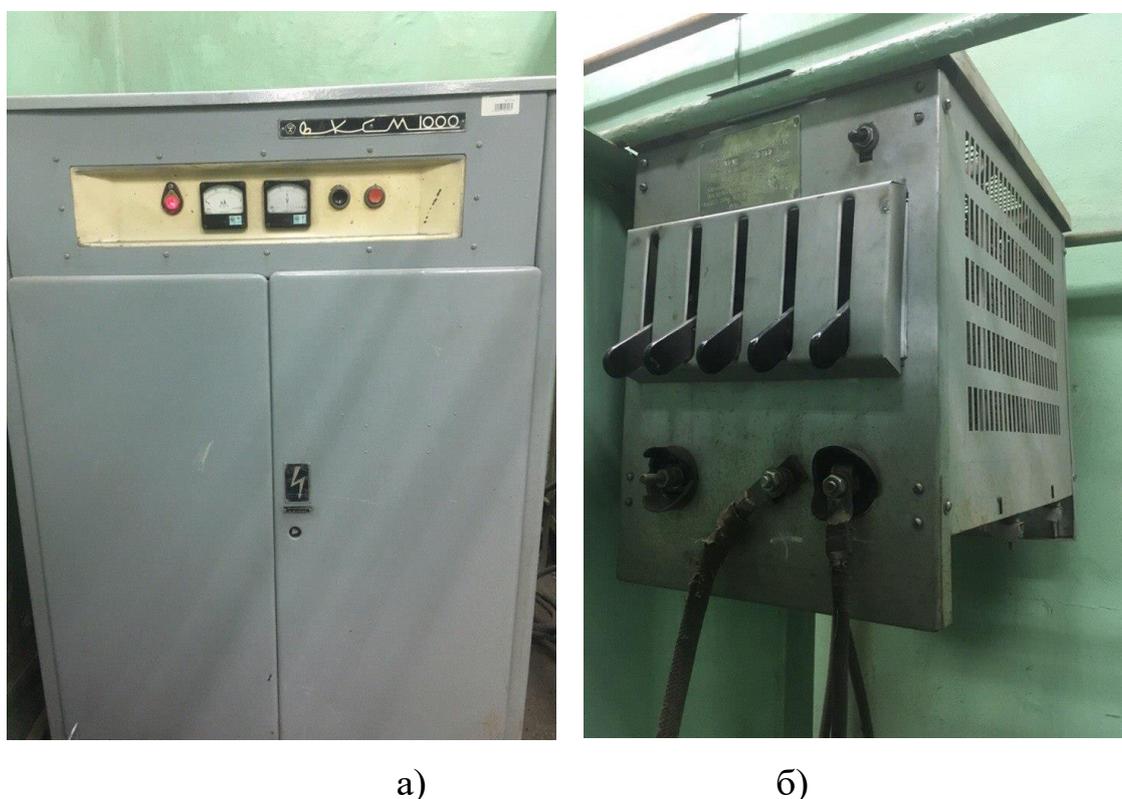


Рисунок 9 – Сварочный выпрямитель ВКСМ-1000 (а) с комплектным балластным реостатом РБ-302 (б)

Также для сварки в режиме импульсного изменения энергетических параметров режима (СМТ) применяли установку УДИ-203 (рисунок 10), которая представляет собой импульсно-регулируемое сопротивление, подключаемое последовательно в цепь сварочного выпрямителя. В качестве полупроводникового коммутатора тока используется тиристорный ключ.



Рисунок 10 – Установки УДИ-203

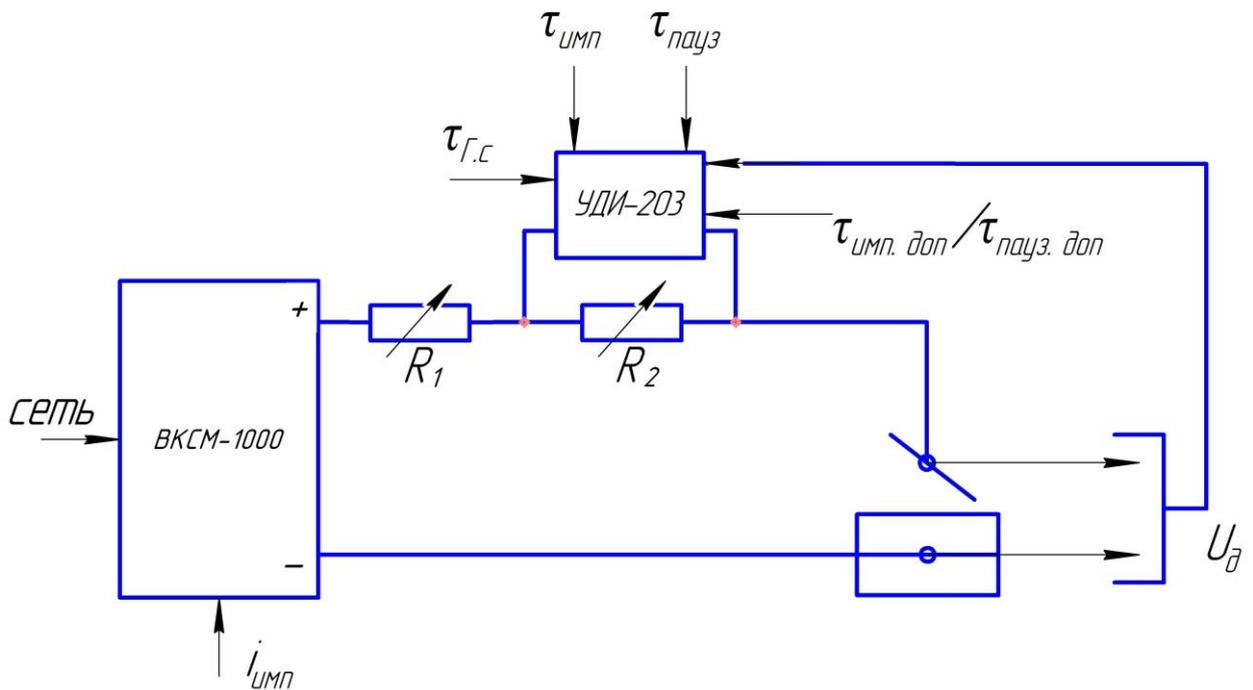


Рисунок 11 – Функциональная схема экспериментальной установки

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 11. В ее состав входит: сварочный выпрямитель ВКСМ-1000, установка УДИ-203, токоограничительный резистор. Регулируемыми

параметрами являются величина тока импульса; ток паузы, регулируемый реостатами R_1 и R_2 . Временные параметры определяются органами управления установки УДИ-203, задается время «горячего старта» $\tau_{г.с}$, время импульса $\tau_{имп}$, время паузы $\tau_{пауз}$, время дополнительных импульсов $\tau_{доп.имп}$ и время дополнительной паузы $\tau_{доп.пауз}$.

В процессе сварки производили регистрацию основных энергетических параметров (тока и напряжения) при помощи цифрового запоминающего осциллографа «АКИП-4122/1V», дифференциального пробника «Pintek Electroniks DP-50» и токосъемного блока «Current probe PR 1030». Регистрацию термических циклов производили тепловизором «Therma CAM™ P65HS».

2.2 Проведение экспериментальных исследований

Основной задачей, требующей решения при выполнении исследований, связанных с тепломассопереносом при дуговой сварке, является обоснование условий, при которых происходит формирование неразъемного соединения. Нагрев и охлаждение обрабатываемого изделия вызывают разнообразные физические и химические процессы в самом материале: плавление, перенос электродного металла, кристаллизация расплава, напряжения и деформации, возникающие в зоне неразъемного соединения и определяющие эксплуатационные показатели всего изделия. Наиболее полную характеристику протекающих в изделии процессов могут дать температурные поля его поверхности.

Основными показателями тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом являются: частота перехода электродного металла в сварочную ванну в виде отдельных капель, их теплосодержание, длительность их нагрева до момента отрыва от электрода. Для случая сварки с короткими замыканиями дугового промежутка, важным показателем стабильности

теплопереноса является коэффициент вариации длительностей коротких замыканий [17]. Кроме того, одним из основных показателей, отражающих изменение во времени характеристики нагрева и остывания обрабатываемого металла, является термический цикл сварки [18]. Как правило, весь процесс сварки может характеризоваться семейством кривых термических циклов, которые можно получить обработкой результатов тепловизионной съемки. Важным показателем затрачиваемой энергии при формировании неразъемного соединения является погонная энергия, которую рассчитывали в соответствии с общепринятой методикой.

При проведении исследований осуществляли сварку пластин из листовой стали 09Г2С размерами 150×300×12 мм с углом скоса кромок $(25\pm 2)^\circ$. Стык собирали с зазором 2,5 – 3,0 мм. Для исключения коробления пластин в процессе сварки и после ее завершения использовали специальный кондуктор. Сварку осуществляли в три прохода с использованием электродов диаметром 3 (3,2) мм для сварки корневых швов (КШ), и 4 мм, для сварки заполняющих (ЗШ) и облицовочных швов (ОШ), химический состав которых приведены в табл. 1. Конструктивные элементы сварного соединения соответствовали ГОСТ 5264–80.

Одну партию образцов сваривали на постоянном токе обратной полярности (СПТ), а другую – в режиме импульсного изменения энергетических параметров режима (СМТ). При СПТ использовали сварочный выпрямитель ВКСМ-1000 с комплектным балластным реостатом РБ-302, а при СМТ дополнительно включали в сварочную цепь полупроводниковый коммутатор тока УДИ-203. Энергетические параметры режимов ручной дуговой сварки покрытыми электродами представлены в табл. 2. Характерные осциллограммы тока и напряжения представлены на рис. 12, 13, 14, 15

Таблица 1 – Химический состав электродов

Марка электрода	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Mo, %	S, %	P, %	KCV, Дж/см ²	σ _в , МПа	Отн. удл. δ ₅ , %
Уони-13/мороз, Россия	0,075	0,3	0,7	2,8	-	0,010	0,017	210	660	22,0
LB-52U, Япония	0,06	0,52	1,01	0,01	0,01	0,005	0,011	100 при -40 °С	540	34
LB-62D, Япония	0,06	0,61	1,25	0,57	0,25	0,005	0,011	150 при -20 °С	650	29

Таблица 2 – Энергетические параметры дуговой сварки

Род тока, № образцов	Электрод	Слой шва	Средн. напр., В	Ср. ток, А	К-во КЗ	T _{кз ср} , мс	K _d	I _{кз ср} , А	Погон. энергия, кДж/м
СПТ 2017-1П-1,2	Уони-13/мороз	Корн. слой шва	20,8	81,9	72	5,6	0,3	114,8	1256
		Заполн. слой шва	23,3	151,6	34	8,0	0,3	218,4	2045
СМТ 2017-1М-3,4	Уони-13/мороз	Корн. слой шва	20,0	92,2	70	5,6	0,4	159,9	1348
		Заполн. слой шва	22,0	143,3	36	7,7	0,4	258,0	1957
СПТ 2017-2П-5,6	LB-52U	Корн. слой шва	22,7	94,5	23	5,3	0,3	136,6	1010
	LB-62D	Заполн. слой шва	22,2	167,6	34	11-9	0,3	235,1	1917
СМТ 2017-2М-7,8	LB-52U	Корн. слой шва	20,2	94,1	49	5,3	0,3	161,5	1018
	LB-62D	Заполн. слой шва	21,4	156,7	29	10,3	0,3	226,3	2176

Результаты статистической обработки осциллограмм тока и напряжения дуги, приведены в табл. 3 – 6, в виде усредненных показателей массопереноса: количества коротких замыканий и их длительностей, коэффициента вариации длительностей коротких замыканий и значений погонной энергии при сварке. По полученным значениям были построены столбчатые диаграммы, представленные на рис. 16 – 19.

Расчет коэффициента вариации производили в соответствии с выражением

$$K_d = \frac{\sigma(\tau_{кз})}{\bar{\tau}_{кз}}, \quad (5)$$

где $\bar{\tau}_{кз} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i$ – среднее значение длительности короткого замыкания; τ_i – значение длительности короткого замыкания; N – количество коротких замыканий; $\sigma(\tau_{кз}) = \sqrt{\frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^N (\tau_i - \bar{\tau})^2}$ – среднее квадратичное отклонение длительности короткого замыкания.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны электроды УОНИ 13/мороз, предназначенные для сварки низколегированных сталей класса К-60, применение которых, за счет дополнительных легирующих элементов (Ni и Mo), обеспечивает у испытуемых образцов, повышение значений ударной вязкости, особенно при более низких температурах испытаний, вплоть до минус 60 °С. А в качестве альтернативы при сравнении показателей тепломассопереноса при ручной дуговой сварке, были выбраны электроды Японской фирмы "Kobesteel", ltd(LB-52U и LB-62D).

Анализ осциллограмм тока и напряжения дуги (рис. 10, 11, 12, 13) показывает, что, несмотря на указанные недостатки, периодичность плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну, в основном, сохраняется в процессе сварки всеми марками электродов.

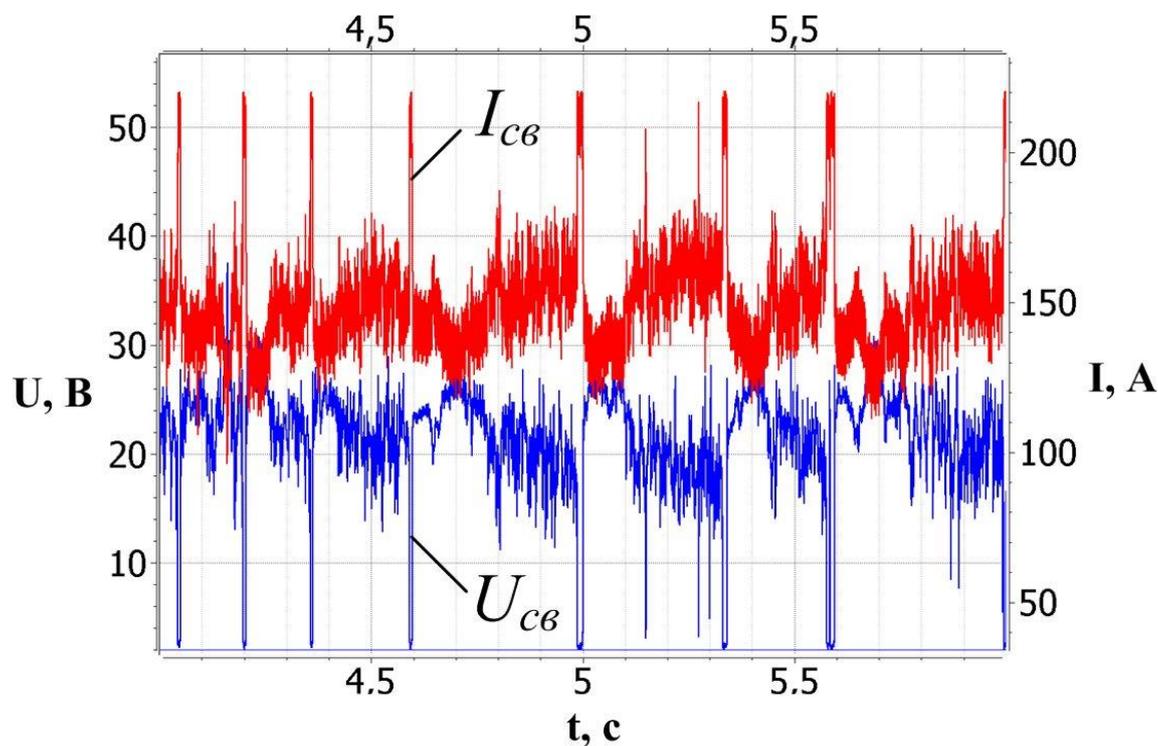


Рисунок 12 – Осциллограмма тока и напряжения при СПТ электродами
УОНИ 13/мороз

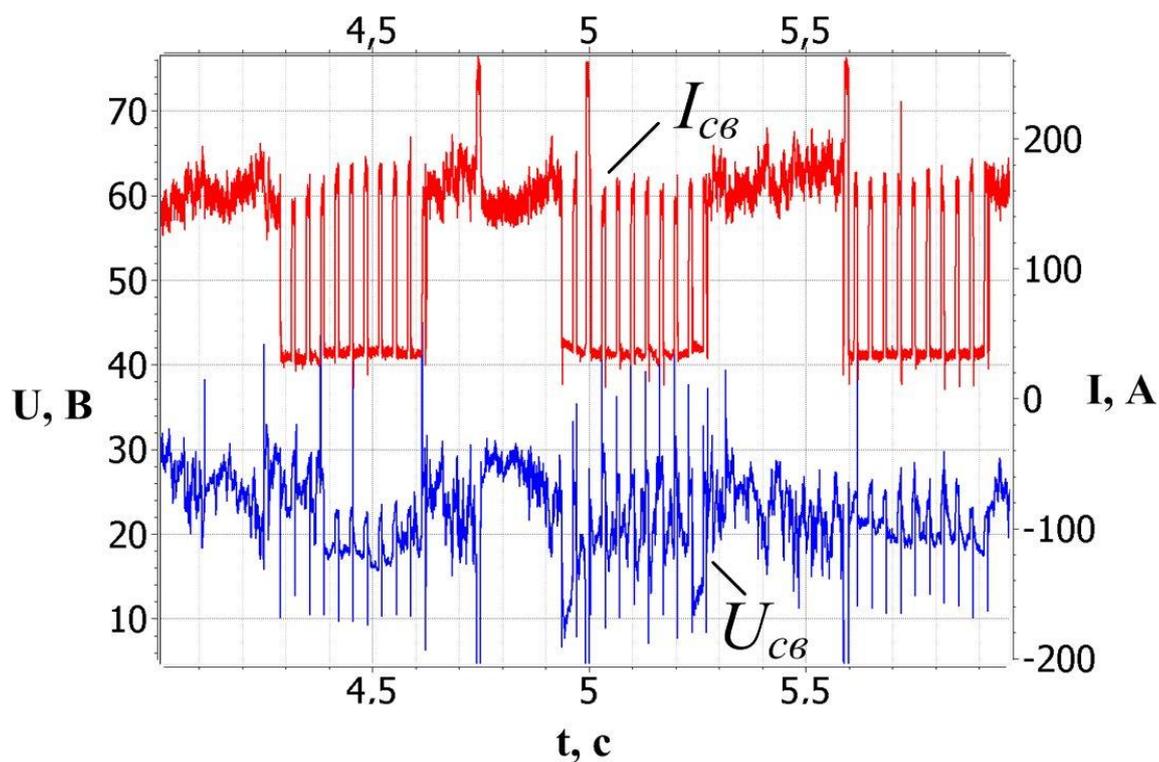


Рисунок 13 – Осциллограмма тока и напряжения при СМТ
электродами УОНИ 13/мороз

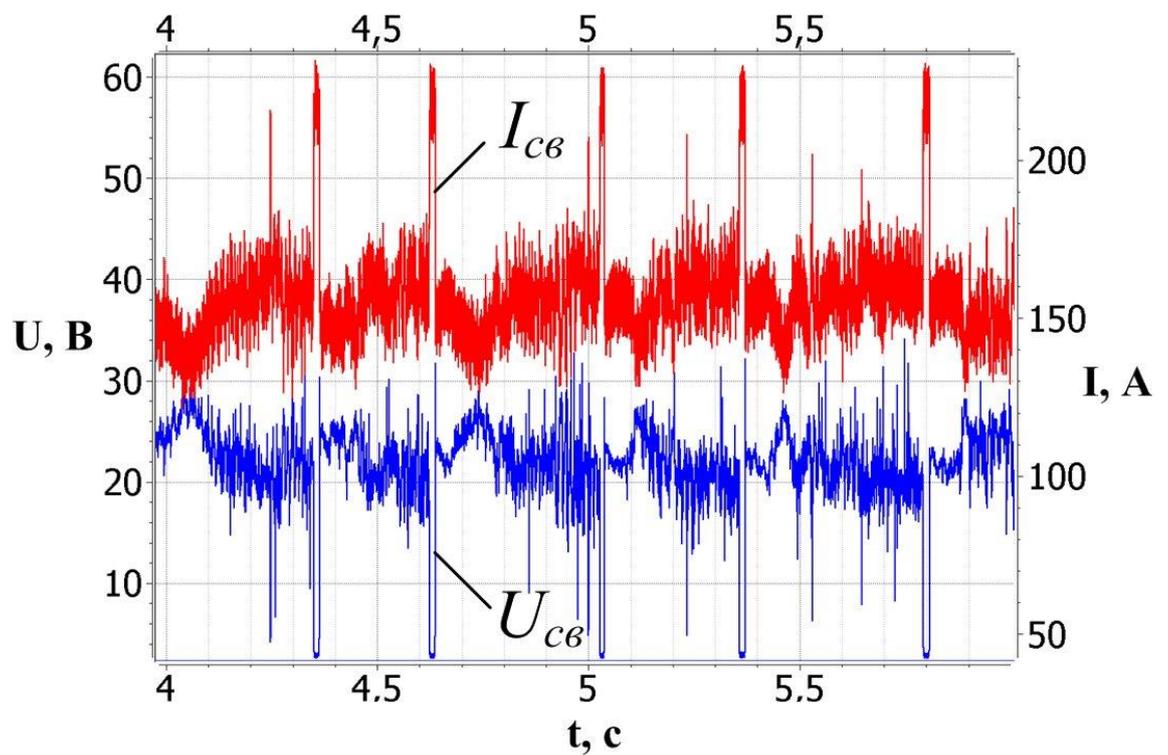


Рисунок 14 – Осциллограмма тока и напряжения при СПТ электродами LB-52U

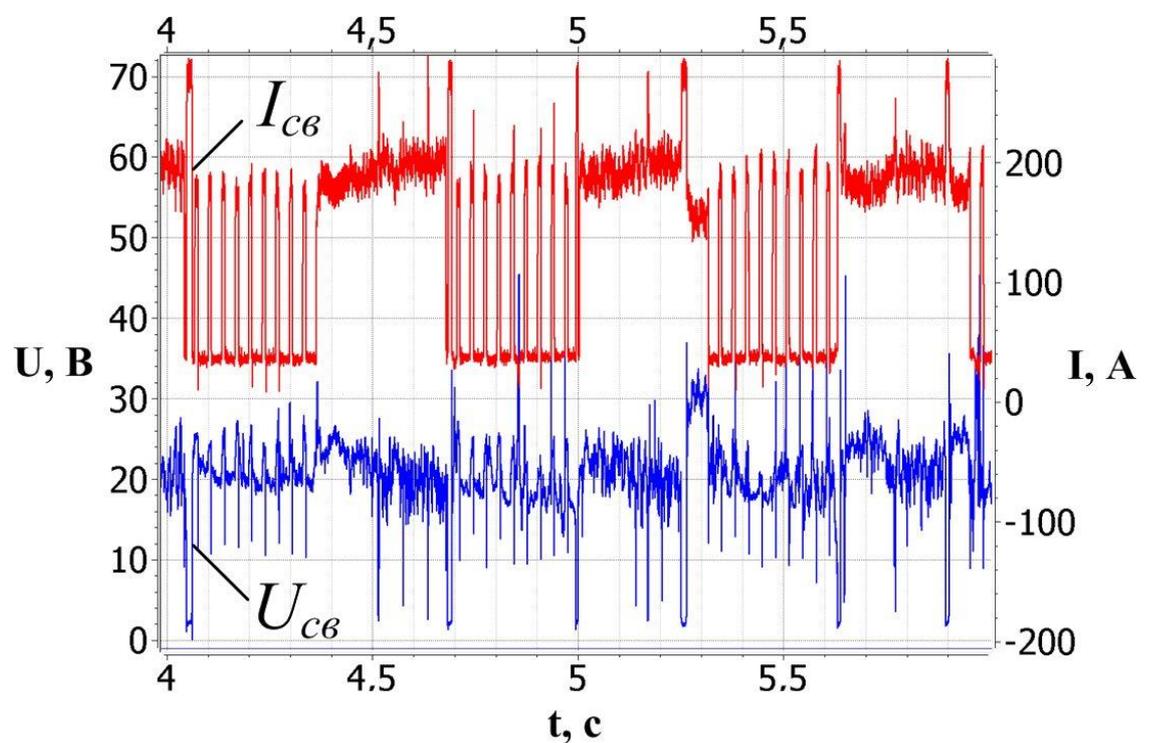


Рисунок 15 – Осциллограмма тока и напряжения при СМТ электродами LB-52U

2.2.1 Исследование влияния способа сварки на частоту коротких замыканий, их длительность и коэффициент вариации длительности коротких замыканий

Анализ усредненных значений количества коротких замыканий, экспериментально зафиксированных на временном интервале 10 секунд, табл. 3 и столбчатые диаграммы, приведенные на рисунке 16, показывает, что частота коротких замыканий при СПТ электродами УОНИ 13/мороз диаметром 3 мм, в 2,5÷3 раза выше, чем при сварке электродами LB-52U.

Таблица 3 – Количество коротких замыканий на временном интервале 10 с

Диаметр электрода, мм	Марка электрода	СПТ	СМТ
3	УОНИ 13/мороз	72	69
4	УОНИ 13/мороз	35	36
3	LB-52U	24	29
4	LB-62D	34	29

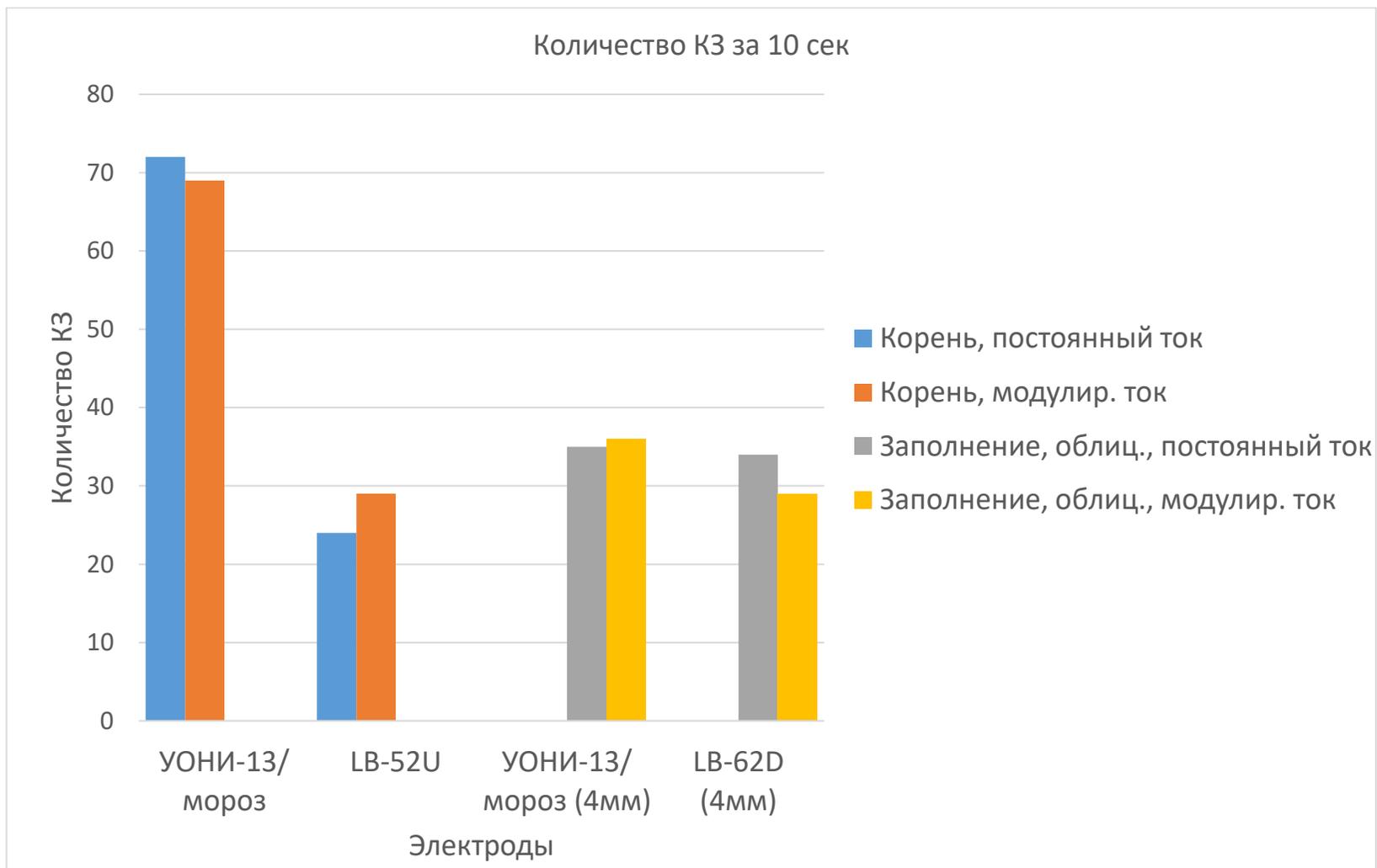


Рисунок 16 – Количество коротких замыканий за 10 сек

Анализ изменений средних значений длительностей коротких замыканий и коэффициента вариации длительности коротких замыканий, представленных в табл. 4 и 5, рис. 17 и 18, показывает, что длительность коротких замыканий при сварке электродами 3 (3,2) мм, по сравнению со сваркой электродами 4 мм, независимо от способа сварки, возрастает. Это характеризует перенос электродного металла в сварочную ванну как крупнокапельный, что способствует увеличению их общего теплосодержания и, соответствующему увеличению теплосодержания расплава.

Таблица 4 – Изменение средних значений длительностей коротких замыканий

Диаметр электрода, мм	Марка электрода	СПТ	СМТ
3	УОНИ 13/мороз	5,5	5,6
4	УОНИ 13/мороз	8,0	8,1
3	LB-52U	5,3	5,3
4	LB-62D	11,8	10,1

Таблица 5 – Изменение коэффициента вариации длительности коротких замыканий

Диаметр электрода, мм	Марка электрода	СПТ	СМТ
3	УОНИ 13/мороз	0,3	0,36
4	УОНИ 13/мороз	0,28	0,42
3	LB-52U	0,3	0,31
4	LB-62D	0,34	0,34

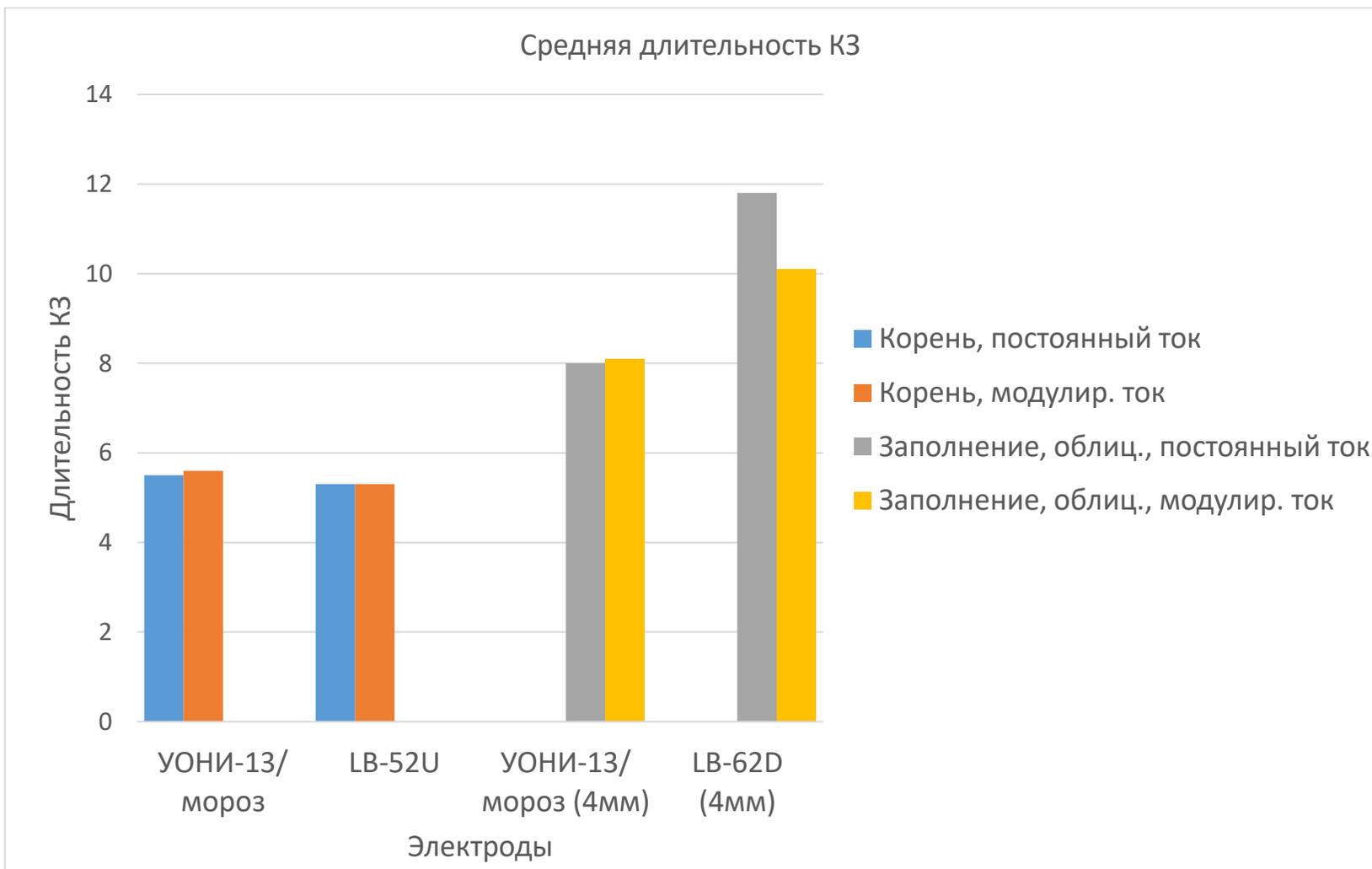


Рисунок 17 – Длительность коротких замыканий за 10 сек

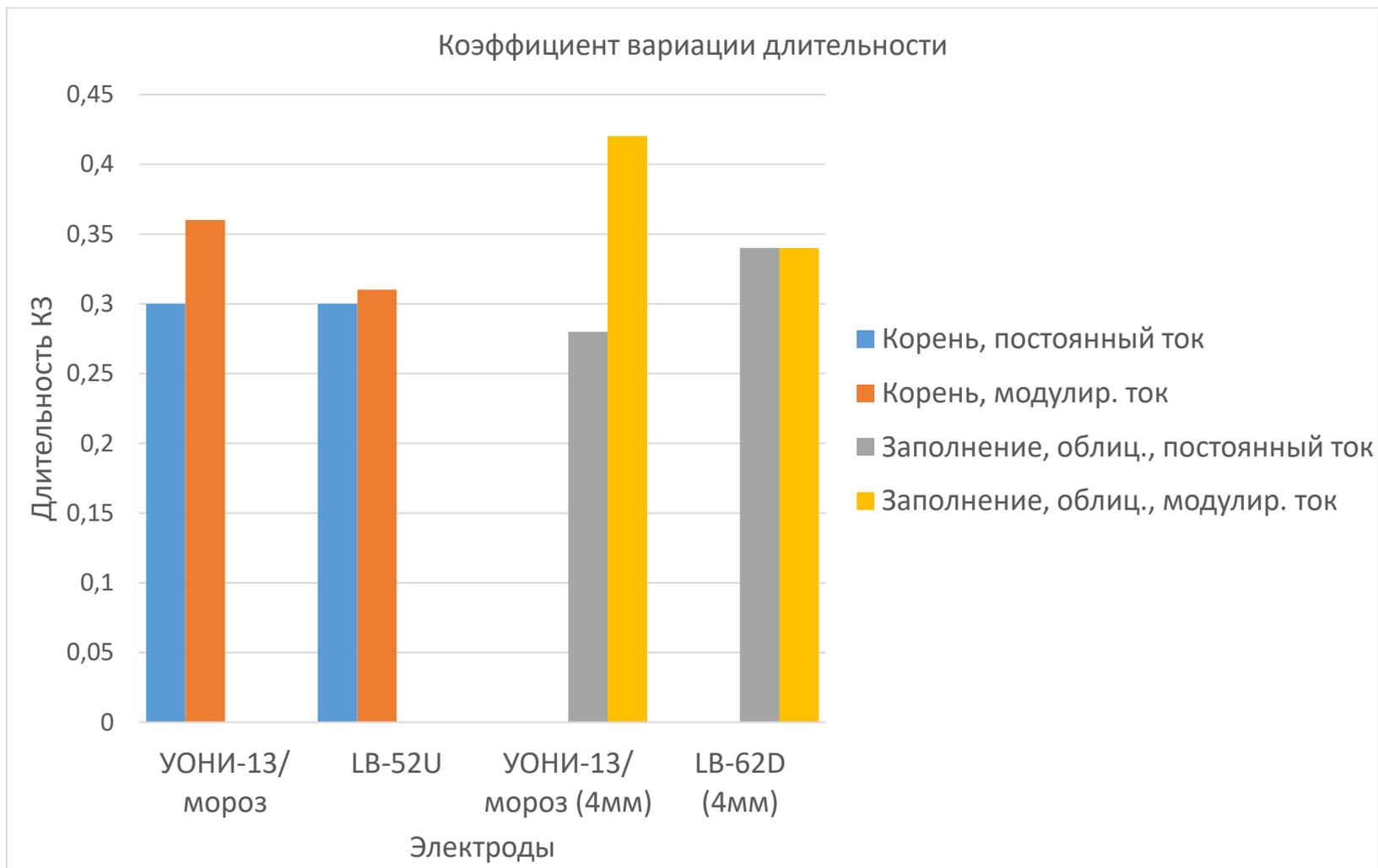


Рисунок 18 – Коэффициент вариации длительности коротких замыканий

В качестве общей тенденции к показателю стабильности технологического процесса, характеризуемого коэффициентом вариации длительности коротких замыканий, можно отнести то, что при сварки в режиме СМТ, он во всех случаях возрастает. Исключение составляет коэффициент вариации длительности коротких замыканий при сварке электродами марки LB-62D, Япония. При этом, он практически не меняется, при смене режимов сварки, что свидетельствует о высоких качественных показателях этих марок электродов.

2.2.2 Исследование изменения значений погонной энергии, затраченной при сварке образцов

Значения погонной энергии, рассчитанной в соответствии с общепринятой методикой [13], учитывающей энергетические параметры технологического процесса, приведены в табл. 6 и представлены в виде гистограмм на рис. 19.

Таблица 6 – Погонная энергия

Диаметр электрода, мм	Марка электрода	Погонная энергия, кДж/м	
		СПТ	СМТ
3	УОНИ 13/мороз	1300	1350
4	УОНИ 13/мороз	2050	1900
3	LB-52U	1000	1000
4	LB-62D	2100	2175

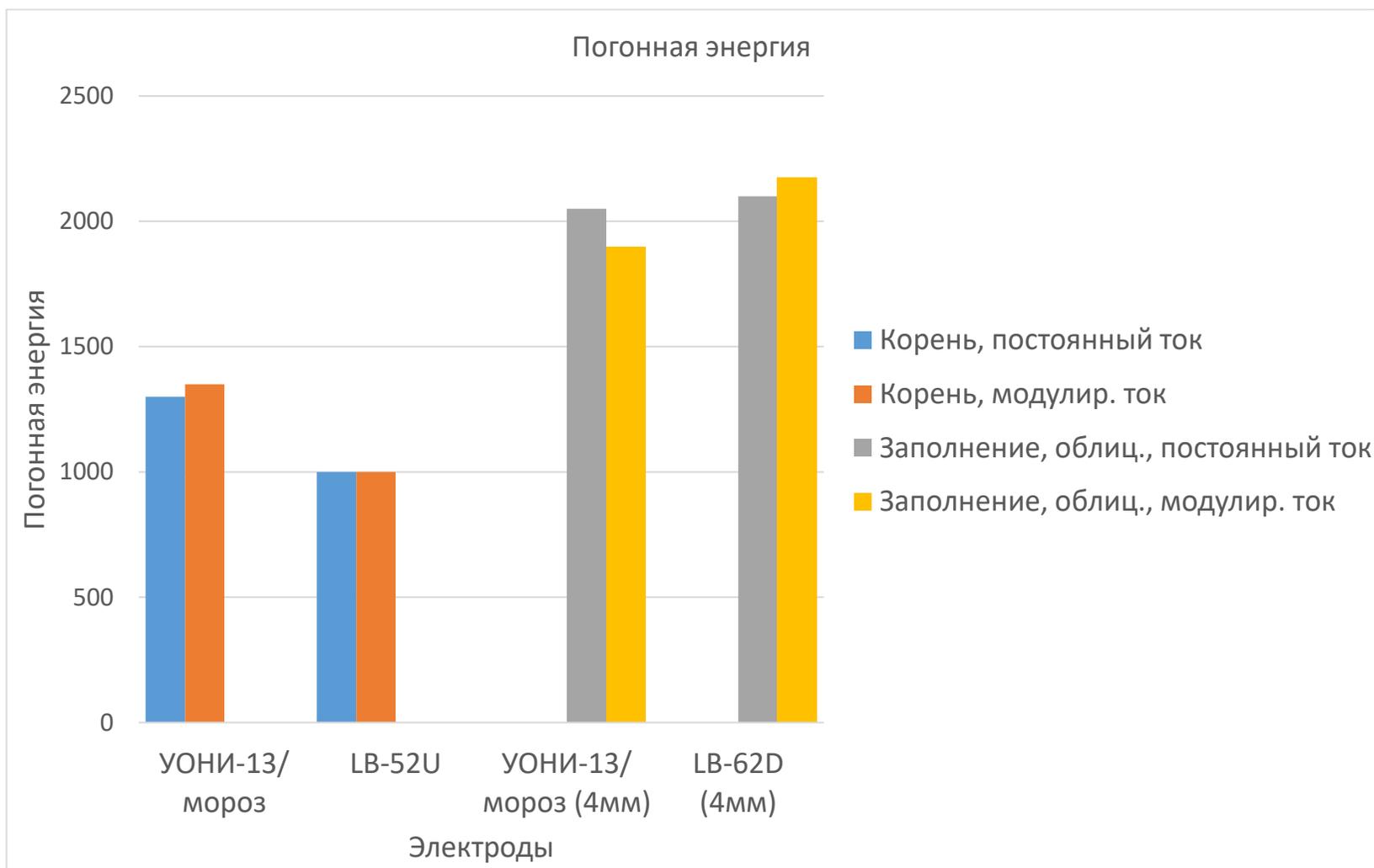


Рисунок 19 – Погонная энергия, затраченная при сварке корневых и заполняющих слоев

Анализ, представленных зависимостей показывает, что кроме естественного увеличения погонной энергии, связанного режимами, устанавливаемыми при применении электродов диаметром 3 (3,2) мм (случай сварки корневого шва), и электродов диаметром 4 мм (случай сварки заполняющего слоя и облицовки), имеет место и колебание значений погонной энергии при смене режимов сварки СПТ и СМТ. При этом, если при сварке электродами УОНИ 13/мороз диаметром 3 мм имеет место увеличение погонной энергии при переходе от режима СПТ к режиму СМТ, то при сварке теми же электродами LB-52U диаметром 3,2 мм значение погонной энергии при СМТ и СПТ остается постоянным.

Другая картина наблюдается при сварке электродами диаметром 4 мм. Для всех марок электродов значение погонной энергии для режима СМТ, выше, чем для режима СПТ. Это увеличение связано со снижением скорости сварки во втором случае, что способствует увеличению значений погонной энергии, даже несмотря на уменьшение среднего значения тока сварки.

2.2.3 Анализ экспериментальных исследований тепловых полей при сварке облицовочного слоя шва в нижнем положении

Интегрированную оценку тепловложения при сварке можно осуществить путем экспериментальных исследований тепловых полей [19]. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного и присадочного металла, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния, эксплуатационные свойства сварных соединений [20, 21]. Теоретические и экспериментальные исследования явлений тепломассопереноса имеют большое практическое значение, наряду с изучением сложных физико-химических процессов и структурных превращений, протекающих при сварке.

На рис. 20 приведены тепловизионные картины поверхности изделия в процессе сварки электродами УОНИ13/мороз, 4 мм и LB-62D, 4 мм в режимах: постоянного тока (СПТ) и низкочастотной модуляции сварочного тока (СМТ).

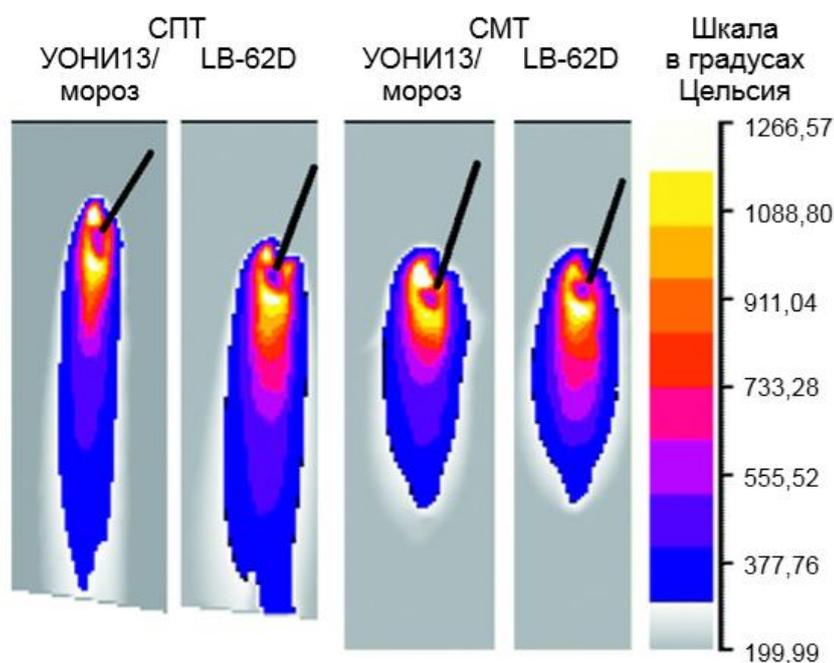


Рисунок 20 – Распределение температурных полей при сварке электродами УОНИ13/мороз и LB-62D диаметром 4 мм в режимах: постоянного тока (СПТ) и импульсного изменения энергетических параметров (СМТ)

На полученных термограммах представлена картина изменения температурных полей свариваемого изделия. Однако определить координаты точек, соответствующих конкретной изотерме, по полученным изображениям затруднительно. Это является следствием того, что тепловизионную съемку процесса сварки проводили под углом к оси шва и под углом к плоскости свариваемых пластин. Кроме того, температура, которую показывает тепловизор, зависит не только от истинной температуры поверхности, но и от коэффициента излучения материала поверхности. Если коэффициент излучения маленький, (в случае идеальной гладкой поверхности), то тепловизионная картина поверхности будет в большей степени отражать излучение от окружающей среды, чем излучает сама поверхность изделия. Это является

особенностью тепловизионной съемки, которую следует учитывать при анализе получаемых результатов.

На рис. 21, а—г: красный цв. — СПТ; синим цв. — СМТ; Вертикальная ось, в градусах Цельсия. Горизонтальная ось, в миллиметрах.

Анализируя распределение температурных полей, представленных на рис. 20, можно отметить, что, несмотря на различие применяемых для сварки электродов, в целом характер тепловых полей остается одинаковым для выбранного способа сварки и существенно меняется при переходе из режима постоянного тока (СПТ), в режим импульсного изменения энергетических параметров режима (СМТ). При этом длина сварочной ванны уменьшается в среднем на 25—30 %, что подтверждается кривыми термического цикла сварки и температурными полями.

С целью получения фронтальной картины температурных полей, пригодной для дальнейшего исследования, полученные данные были обработаны с помощью приложения ThermoLab и системы MATLAB [22]. Для получения координат точек изотермы, относительно реальных размеров свариваемых пластин были проведены необходимые геометрические преобразования. Это общепринятый подход при исследованиях тепловых процессов различных технологий сварки [23—25].

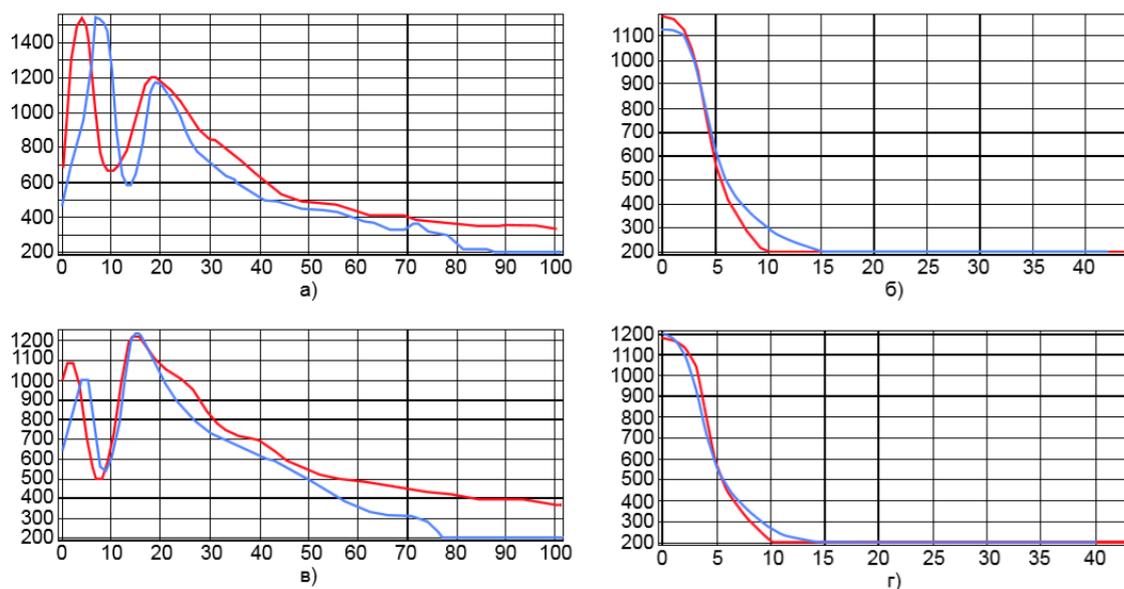
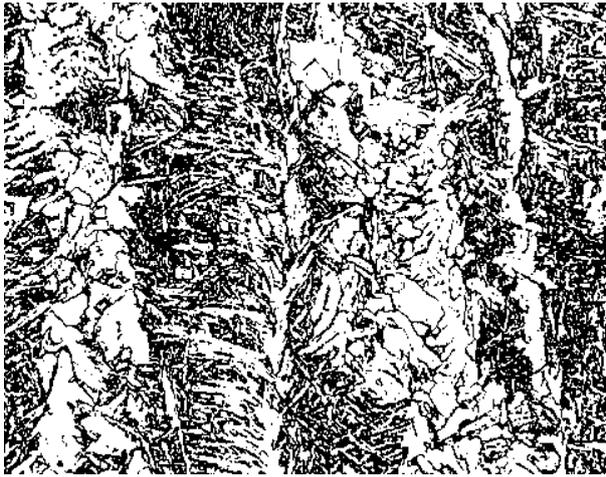


Рисунок 21 – Кривые термического цикла сварки, построенные: а — вдоль длины сварочной ванны при сварке электродами УОНИ13/мороз; б — перпендикулярно сварочной ванне при сварке электродами УОНИ13/мороз; в — вдоль длины сварочной ванны при сварке электродами LB-62D; г — перпендикулярно сварочной ванне при сварке электродами LB-62D

2.3 Влияние параметров режима сварки на структуру металла шва

2.3.1 Металлографические исследования сварных швов, выполненных сваркой на постоянном и модулированном токе

Для проведения исследования были изготовлены микрошлифы в поперечном сечении сварного соединения. Металлографические исследования микрошлифов образцов, изготовленных из сварных соединений стали 09Г2С, проводили на стереомикроскопе «Stemi2000- С» и оптическом микроскопе Neophot 32 при увеличениях 20 и 100-200 соответственно. Для выявления структуры образцов применяли химическое травление поверхности 4-х процентным раствором азотной кислоты.



а)

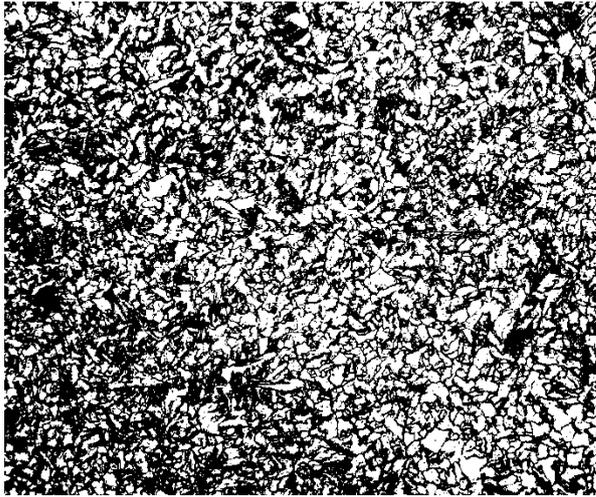


б)

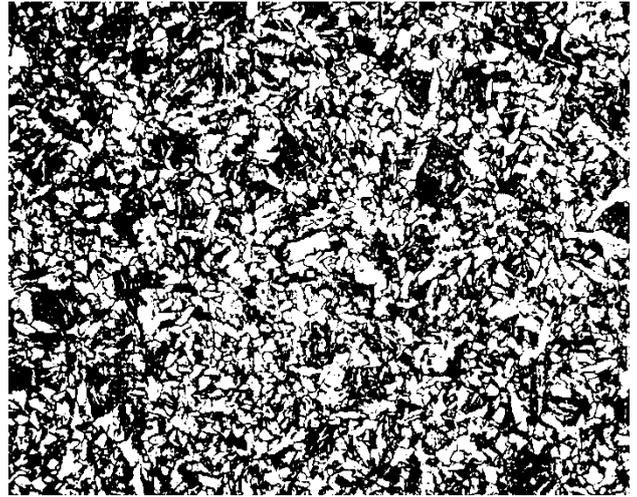
Рисунок 22 – Микроструктуры металла шва в облицовочном слое, полученных СМТ (а) и СПТ (б) с применением электрода марки LB-52U

Исследования микроструктуры металла шва облицовочного слоя всех образцов показали, что они имеют крупнозернистую столбчатую структуру, где зерна вытянуты в одном направлении. Выявлено, что при адаптивной импульсно-дуговой сварке столбчатые кристаллиты тоньше и длиннее чем при сварке на постоянном токе, что связано с особенностями импульсного режима обработки, при котором тепловое воздействие сочетается с ударным. Происходит многократное перемешивание расплава с разбиением ветвей дендритов и образованием множества новых центров кристаллизации.

Металл шва, заполняющего и корневого слоев всех образцов, имеют характерную мелкозернистую структуру с равномерным распределением зерен феррита, перлита и бейнита, что особенно часто встречается при многослойной сварке (рис. 23). Структура заполняющего и корневого слоев после затвердевания подвергается повторному нагреву при наложении последующих слоев, в результате которого протекает процесс нормализации (перекристаллизация) и происходит измельчение структуры. Выявлено, что при сварке с модуляцией тока размер зерен металла шва меньше, чем при сварке на постоянном токе.



а)



б)

Рисунок 23 – Микроструктуры металла шва в заполняющем слое, полученных СМТ (а) и СПТ (б) с применением электрода марки LB-52U

Установлено, что при адаптивной импульсно-дуговой сварке независимо от марки применяемого электрода происходит измельчение структуры металла шва по сравнению со сваркой на постоянном токе, что достигается за счет регулируемого тепловложения, интенсивного многократного перемешивания сварочной ванны при импульсном воздействии дуги, управления процессами плавления и кристаллизации металла шва.

2.3.2 Исследование влияние различных режимов дуговой сварки плавящимся электродом на величину остаточных напряжений в шве и околошовной зоне

Исследование распределений остаточных сварочных напряжений (ОСН) в шве и околошовной зоне проводили с помощью портативного рентгеновского определителя напряжений. Рентгеновский метод основан на измерении межплоскостных расстояний в кристаллической решетке, определенных по относительному смещению дифракционных максимумов. Определяются абсолютные значения механических напряжений с тонкого приповерхностного

слоя, при этом глубина проникновения излучения равна около 10 мкм]. Напряжения измеряли в поперечном (σ_y) и продольном (σ_x) направлении относительно оси шва пластины в точках, расположенных на различном расстоянии от центра шва.

Перед измерением остаточных напряжений производится подготовка поверхности участка контроля, которая состоит из следующих этапов:

– шлифовка мелкой наждачной бумагой участка вокруг выбранной точки рентгеносъемки от краски и окалины;

– снятие усиления в зоне металла шва шириной около 40-50 мм, для обеспечения плотного соприкосновения коллимационного устройства прибора на измеряемый участок поверхности;

– химическое травление поверхности выбранного участка съемки смесью азотной и соляной кислоты на глубину в пределах около 100 мкм. Затем травленный участок обильно промывается водой и обрабатывается спиртом.

Результаты измерений ОСН сварных проб со стороны облицовочного и корневого швов с указанием погонных энергий сварки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты измерений ОСН сварных проб

Образец	Слой шва	Пог. Энерг., кДж/м	Ср. пог. энергия, кДж/м	Значение продольных ОСН в каждой точке измерения, МПа			Ср.знач . ОСН, МПа	Значение поперечных ОСН в каждой точке измерения, МПа			Ср. Ошибка ОСН, МПа
				1	2	3		1	2	3	
2017-1П-1 УОНИ 13/Мороз	Корнев.	1170	1732	289	270	192	250	225	56	107	129
	Заполн.	1998									
	Облиц.	2030		61	278	197		179	111	56	
2017-6П-23 LB-52U LB-62D	Корнев.	982	1673	289	186	186	220	64	32	77	58
	Заполн.	2190									
	Облиц.	1848		-89	268	274		151	122	161	

Продолжение таблицы 7

2017-1М-4 УОНИ 13/Мороз	Корнев.	1416	1826	232	271	216	240	224	199	229	217	
	Заполн.	2127										
	Облиц.	1937		-20	177	140	99	-18	68	47	32	
2017-6М-23 LB-52U LB-62D	Корнев.	1041	1685	233	187	222	214	292	209	135	212	
	Заполн.	1885										
	Облиц.	2131		308	306	221	278	101	116	56	91	

На рис. 24 и 25 представлены графики распределений остаточных напряжений со стороны облицовочного и корневого шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электрода УОНИ 13/Мороз.

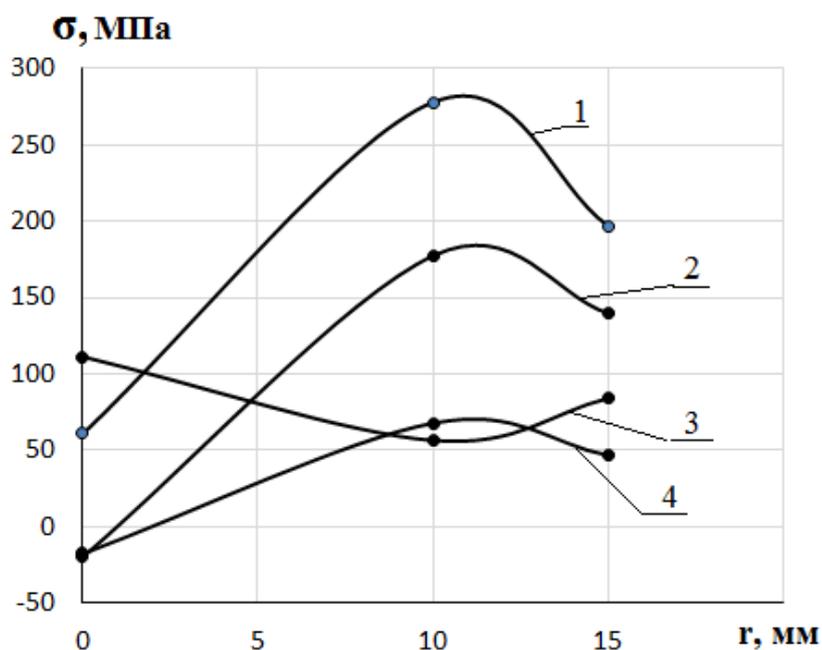


Рисунок 24 – Распределение остаточных напряжений со стороны облицовочного шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электрода УОНИ 13/Мороз: 1.Продольные напряжения при СПТ; 2.Продольные напряжения при СМТ; 3.Поперечные напряжения при СПТ; 4.Поперечные напряжения при СМТ.

Со стороны облицовочного шва среднее значение продольных ОСН в сварном соединении, полученной СПТ электродами УОНИ 13/Мороз составило 179 МПа, а поперечных – 84 МПа. При СМТ среднее значение продольных остаточных напряжений 99 МПа, поперечных – 32 МПа (рис. 24). Среднее значение продольных ОСН в сварном соединении со стороны корневого шва, полученной СПТ электродами УОНИ 13/Мороз составило 250 МПа, а поперечных - 129 МПа. В случае СМТ среднее значение продольных остаточных напряжений 240 МПа, поперечных 217 МПа (рис. 25). Сравнение обоих режимов сварки показало, что при СМТ распределение формируемых остаточных напряжений по уровню ниже, чем при СПТ.

Сравнение уровней распределений остаточных напряжений на поверхностях с двух сторон сварного соединения показало, что со стороны облицовочного шва уровень остаточных напряжений в среднем ниже, чем со стороны корневого шва в обоих режимах сварки.

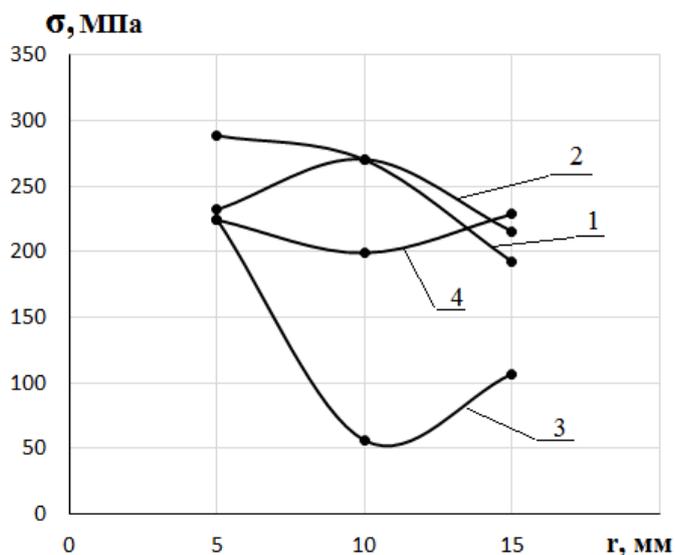


Рисунок 25 – Распределение остаточных напряжений со стороны корневого шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электрода УОНИ 13/Мороз: 1.Продольные напряжения при СПТ; 2.Продольные напряжения при СМТ; 3.Поперечные напряжения при СПТ; 4.Поперечные напряжения при СМТ.

На рис. 26 и 27 представлены графики распределений остаточных напряжений со стороны облицовочного и корневого шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электродов LB-52U, LB-62D.

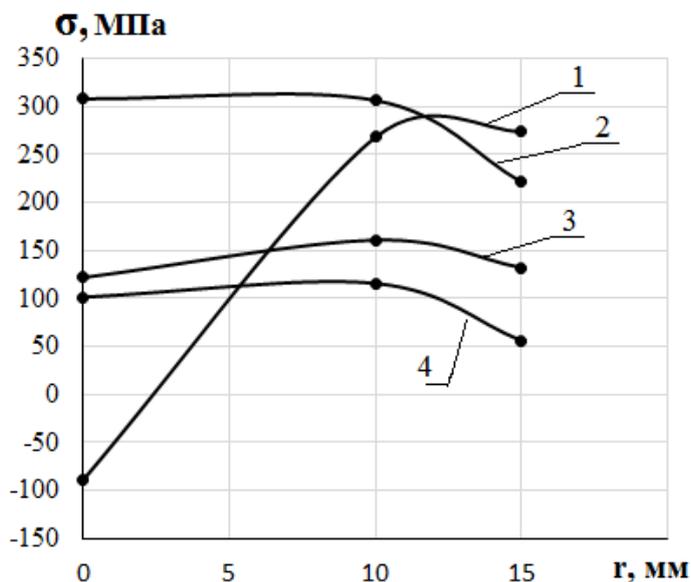


Рисунок 26 – Распределение остаточных напряжений со стороны облицовочного шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электродов LB-52U, LB-62D: 1. Продольные напряжения при СПТ; 2. Продольные напряжения при СМТ; 3. Поперечные напряжения при СПТ; 4. Поперечные напряжения при СМТ.

Со стороны облицовочного шва среднее значение продольных ОСН в сварном соединении, полученной СПТ электродами LB-52U и LB-62D составило 151 МПа, а поперечных 138 МПа. При СМТ среднее значение продольных остаточных напряжений – 278 МПа, поперечных – 91 МПа (рис. 26). Средние значения продольных остаточных напряжений со стороны корневого шва в сварном соединении, полученной СПТ электродами LB-52U и LB-62D составило 220 МПа, а поперечных 58 МПа. В случае СМТ среднее значение продольных остаточных напряжений – 214 МПа, а поперечных - 212 МПа (рис. 27). Сравнение обоих режимов сварки показало, что при СМТ электродами LB-52U

и LB-62D распределение формируемых остаточных напряжений по уровню выше, чем при СПТ.

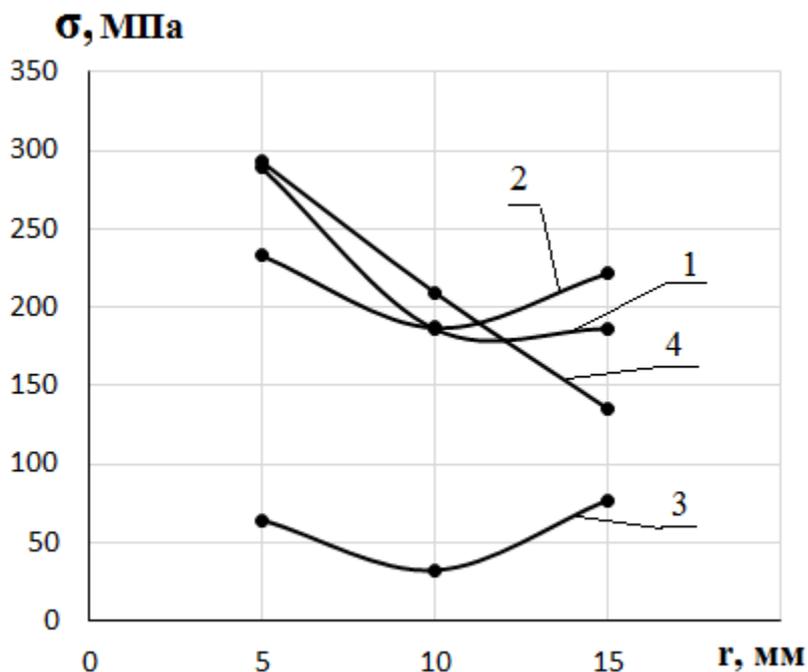


Рисунок 27 – Распределение остаточных напряжений со стороны корневого шва пластины из стали 09Г2С при различных режимах сварки с применением электродов LB-52U, LB-62D: 1. Продольные напряжения при СПТ; 2. Продольные напряжения при СМТ; 3. Поперечные напряжения при СПТ; 4. Поперечные напряжения при СМТ.

2.3.3 Исследование влияния рода тока и алгоритма его модуляции на служебные свойства металла сварного шва

Наплавку валиков производили электродами LB-52U диаметром 3,2 мм на постоянном токе обратной полярности и модулированном токе. Каждый следующий валик наплавляли после полного охлаждения пластины до комнатной температуры, чтобы исключить термическое влияние на ранее наплавленный металл.

На рисунке 28 представлен образец пластины с наплавленными валиками. Каждый полученный валик пронумерован согласно очередности наплавки и соответствующего рода тока: 1, 2.

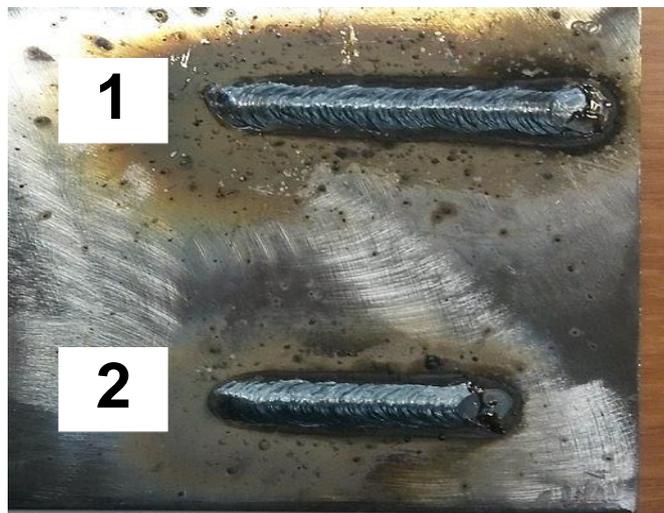


Рисунок 28 – Внешний вид наплавленных валиков: 1 – постоянный модулированный ток; 2 – постоянный ток обратной полярности

Полученные сварные швы подвергали визуально-измерительному контролю, по результатам которого дефекты не обнаружены. С целью анализа влияния рода тока на свойства металла шва, исследовали его макро- и микроструктуру (рисунок 29).

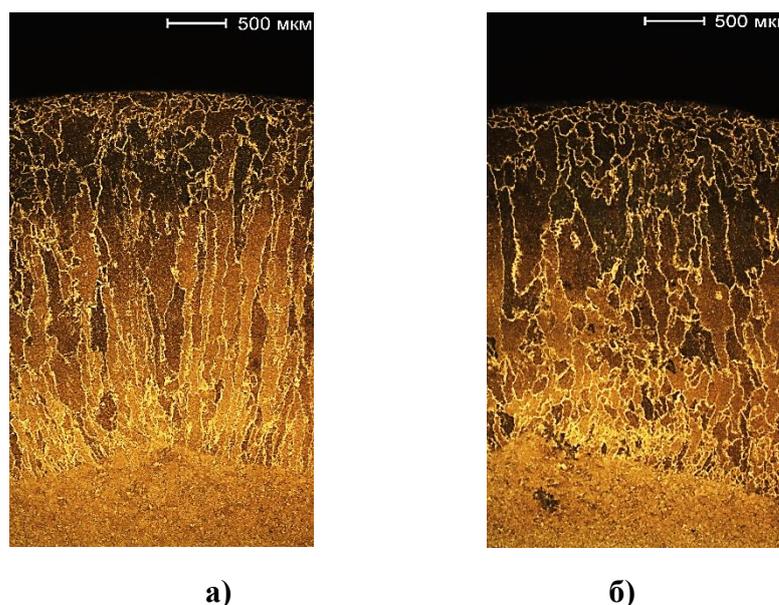


Рисунок 29 – Микроструктура металла швов: а) постоянный ток обратной полярности; б) постоянный модулированный ток

Анализ микроструктуры металла наплавленных валиков показал, что применение модулированного тока способствует получению мелкозернистой структуры металла шва (рисунок 29, б) по сравнению с постоянным током обратной полярности (рисунок 29, а).

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В целевой рынок входят организации отраслей добычи и транспортировки полезных ископаемых, мостостроения и машиностроения т.е. отрасли в которых наблюдается широкое применение сварочных и ремонтных работ.

В основном в этих отраслях возникает необходимость получения качественного неразъемного соединения, так как многие конструкции, получаемые при производстве, работают в условиях Крайнего Севера.

Для получения качественного сварного соединения и наплавленного металла, необходима разработка рекомендаций по выбору параметров режима при дуговой сварке и наплавке покрытыми электродами модулированным током .

Основываясь на этих предпосылках, произвели сегментирование рынка, где в качестве критериев выбрали размер компании и отрасли в промышленности . Карта сегментирования рынка представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли в промышленности		
		НГДО	Мостостроение	Машиностроение
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 ПАО "Газпром"	 ООО "ЦДТ-Строй"	 ПАО "АВТОВАЗ"
 ПАО "НК "Роснефть"		 "Ростсельмаш"

Как видно из таблицы 8, наиболее перспективным сегментом в отраслях добычи и транспортировки полезных ископаемых, мостостроения и машиностроения, для формирования спроса, является сегмент мелких и средних предприятий. Поэтому целесообразно ориентироваться на эти предприятия, так как они заинтересованы в повышении качества сварных конструкций, причиной чего является постоянный рост требований к качеству трубопроводов и сварных конструкций, особенно работающих при минусовых температурах.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [26].

В ходе исследования проанализированы конкурентные технические решения, используемые на сегодняшний день в промышленности России и стран зарубежья в области сварки модулированным током. Широкое применение нашел способ уменьшения силы тока при разрыве перемычки. Однако на сегодняшний день применяют разные техники для осуществления данного метода сварки.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты (таблица 9). Используемые техники управления процессом дуговой сварки покрытыми электродами воздействием на параметры режима:

- 1) А – ручная дуговая сварка с шунтированием тока при коротком замыкании;
- 2) В – ручная дуговая сварка с технологией STT-2;
- 3) С – ручная дуговая сварка с технологией Cold weld.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в (таблице 9), подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 [26].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (6)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) [26]

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _A	Б _B	Б _C	К _A	К _B	К _C
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,12
3. Уровень качества сварных соединений	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3

Продолжение таблицы 9

4. Энергоэкономичность	0,06	5	3	4	0,3	0,18	0,24
5. Надежность	0,06	5	1	3	0,3	0,06	0,18
6. Уровень производимого шума	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
7. Необходимость в высококвалифицированных специалистах	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,08	5	1	2	0,4	0,08	0,16
9. Простота эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	2	3	0,25	0,2	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	1	2	0,3	0,06	0,12
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	2	2	3	0,1	0,25	0,2
3. Цена	0,06	5	3	4	0,3	0,18	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
5. Срок окупаемости	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,15
6. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	75	44	56	4,75	2,9	3,32

Исходя из проведенного выше анализа (таблица 9) можно сделать вывод, что технология "А" имеет ряд преимуществ над своими аналогами. При

использовании данной технологии значительно снижается процент брака и повышается производительность работы что, безусловно, повышает количество и качество выпускаемых изделий. Также за счет более рационального использования электрода, уменьшается количество потерь электродного металла, что снижает себестоимость выпускаемых изделий, при этом за счет повышения качества нет необходимости снижать цену на товар. Также стоит отметить наличие широкого диапазона возможностей при использовании данной технологии, а именно возможности использования электродов любого покрытия, что не могут обеспечить аналоги.

3.1.3 SWOT – анализ

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

Первый этап

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

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

К сильным сторонам проекта относятся:

- разработка алгоритма модуляции тока – С1;
- возможность применения к любым видам дуговой сварки с короткими замыканиями – С2;

- сварка деталей разных толщин – С3;
- уменьшение трудозатрат на очистку около шовной зоны от брызг – С4;
- возможность использования технологии и оборудования для сварки других металлов – С5.

К слабым сторонам проекта относятся:

- использование дополнительного электронного оборудования – Сл.1;
- требуется незначительное повышение мощности источника питания – Сл.2.

К возможностям проекта относятся:

- внедрение алгоритма модуляции тока на рынок за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1;
- финансовая поддержка спонсора – В2;
- возможность распространения разработки для стран зарубежья – В3.

К угрозам относятся:

- недостаток финансов на реализацию проекта – У1;
- отсутствие спроса на новые технологии производства – У2.

Второй этап

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

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

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

Продолжение таблицы 10

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	+	+	+
	У2	+	-	+	-	-
	У3	-	-	+	-	+
Слабые стороны						
Возможности		Сл.1	Сл.2			
	В1	+	-			
	В2	+	-			
	В3	+	+			
Угрозы		Сл.1	Сл.2			
	У1	-	+			
	У2	-	-			
	У3	+	-			

Анализ интерактивной матрицы показал следующие направления проекта: В1С3С5, В2В3С4С5, В1В2Сл.1Сл.2, У1С3, У2С1С3, У3С3, У3Сл.1Сл.2.

Третий этап

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

Таблица 11 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Разработка алгоритма модуляции тока.</p> <p>С2. Возможность применения к любым видам дуговой сварки с короткими замыканиями.</p> <p>С3. Сварка деталей разных толщин.</p> <p>С4. Уменьшение трудозатрат на очистку около шовной зоны от брызг.</p> <p>С5. Возможность использования технологии и оборудования для сварки других металлов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Использование дополнительного электронного оборудования.</p> <p>Сл2. Требуется незначительное повышение мощности источника питания</p>
--	---	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Внедрение алгоритма модуляции тока на рынок за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок.</p> <p>В2. Финансовая поддержка спонсора.</p> <p>В3. Возможность распространения разработки для стран зарубежья.</p>	<p>В1С3С5 – возможность использования технологий для сварки других материалов не взирая на толщину, В2В3С4С5 – некоторые виды сплавов вообще не рекомендуется дополнительно механически очищать.</p>	<p>В1В2Сл.1Сл.2 – с повышением цен на комплектующие резко возрастет первоначальный вклад в массовое производство.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Недостаток финансов на реализацию проекта.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>	<p>У1С3 – некоторые компании не захотят рисковать, применяя новые технологии, У2С1С3 – шов станет длинней, потребует проработки новых тех. карты.</p>	<p>У1Сл.2; У3Сл.1Сл.2 – Внедрение алгоритма модуляции тока потребует повышения мощности источника, а у многих они и так работают на пределах своих возможностей.</p>

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 План проекта

Таблица 12 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Утверждение темы	3	11.02	13.02	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов по теме	11	14.02	24.02	Дипломник
3	Составление плана	4	25.02	28.02	Руководитель
4	Календарное планирование работ	3	1.03	3.03	Руководитель
5	Изучение литературы по теме	15	4.03	18.03	Дипломник

Продолжение таблицы 12

6	Изучение зарубежной литературы	11	19.03	29.03	Дипломник
7	Разработка методики многофакторного эксперимента	3	30.03	1.04	Руководитель, Дипломник
8	Проведение эксперимента, сварка образцов	24	2.04	25.04	Руководитель, дипломник
9	Статистическая обработка результатов эксперимента	15	26.04	10.05	Дипломник
10	Анализ качества и структуры сварных швов	15	11.05	25.05	Руководитель, Дипломник
11	Разработка методики прогнозирования качества сварных соединений	11	26.05	05.06	Руководитель, Дипломник
12	Вывод по цели	11	06.06	16.06	Руководитель, дипломник
Итого:		126			

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Утверждение темы	Руководитель	3	▨													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	11		■												
3	Составление плана	Руководитель	4		▨												
4	Календарное планирование работ	Руководитель	3			▨											
5	Изучение литературы по теме	Дипломник	15			■	■										
6	Изучение зарубежной литературы	Дипломник	11				■	■									
7	Разработка методики многофакторного эксперимента	Руководитель, Дипломник	3					▨	■								
8	Проведение эксперимента, сварка образцов	Руководитель, дипломник	24						▨	■	■						
9	Статистическая обработка результатов эксперимента	Дипломник	15								■	■					
10	Анализ качества и структуры сварных швов	Руководитель, Дипломник	15									▨	■				
11	Разработка методики прогнозирования качества сварных соединений	Руководитель, Дипломник	11											▨	■		
12	Вывод по цели	Руководитель, дипломник	11													▨	■

▨ – руководитель, ■ – дипломник

3.2.2 Бюджет научно-технического исследования

Таблица 14 – Группировка затрат по статьям

Статьи						
№	Сырье, материалы, покупные изделия и покупные полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы
1.	Листы толщиной 12 мм из конструкционной стали 09Г2С	Сварочный выпрямитель ВКСМ-1000 с комплектным балластным реостатом РБ-302. Установка УДИ-203	Руководитель	Руководитель	Руководитель	Печать и Ошибка! материалов исследования
2.	Листы толщиной 5 мм из конструкционной стали 09Г2С	Сварочный инвертор ФЕБ Магма-315	Дипломник	Дипломник	Дипломник	Оплата услуг связи
3.	Электроды УОНИ-13/мороз	Цифровой осциллограф «АКИП-4122/1V»				Оплата электроэнергии
4.	Бумага					
5.	ПК					
6.	USB флеш-диск					
Итого руб.:	85135	2981300	295244,72	34829,36	68501,18	97522,22
Плановая себестоимость	Σ3562532,48					

Расчет стоимости материальных затрат производилось по действующим прейскурантам и договорным ценам. В стоимость материальных затрат включили транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье представлены в таблице 15.

В статью специальное оборудование для экспериментальных работ включили все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Определение стоимости спецоборудования производили по действующим прейскурантам, а также учли доставку и монтаж в размере 15 % от его цены. Результаты по данной статье представлены в таблице 16.

Таблица 15 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лист толщиной 12 мм из конструкционной стали 09Г2С	кг	1	30240	30240
Лист толщиной 5 мм из конструкционной стали 09Г2С	кг	1	315	315
Электроды УОНИ-13/мороз	комплект	1	210	210
Бумага	пачка	3	270	810
ПК	штука	1	52000	52000
USB Флеш-диск	штука	1	1500	1500
Итого по статье				85135

Таблица 16 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Сварочный выпрямитель ВКСМ-1000 с комплектным балластным реостатом РБ-302.	1	2300	2645

Продолжение таблицы 16

2.	Сварочный инвертор ФЕБ Магма-315	1	240	276
3.	Цифровой осциллограф «АКИП-4122/1V»	1	52,4	60,3
Итого по статье				2981,3

Основная заработная плата

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Руководитель	74	3486,04	257966,96
2.	Дипломник	116	321,36	32277,76
Итого по статье $Z_{осн}$				295244,72

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	126	126
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	24	42
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	102	84

Для руководителя:

$$Z_{м} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = 34190 \cdot 10,4 / 102 = 3486,04 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 3486,04 \cdot 74 = 257966,96 \text{ руб.}$$

Для дипломника:

$$З_m = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

$$З_{дн} = 2410,2 \cdot 11,2/84 = 321,36 \text{ руб.}$$

$$З_{осн} = 321,36 \cdot 116 = 32277,76 \text{ руб.}$$

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	К _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	3486,04	74	257966,96
Дипломник	1854	1,3	2410,2	321,36	116	32277,76

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (7)$$

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

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	257966,96	32277,76
Дополнительная зарплата	30956,03	3873,33
Зарплата исполнителя	288922,99	36151,09
Итого по статье С _{зп}	325074,08	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (8)$$

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

Таблица 21 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления, руб.
Руководитель	257966,96	30956,03	78298,13
Дипломник	32277,76	3873,33	9796,94
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%		
Итого по статье $C_{внеб}$			68501,18

Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (9)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 70%

Таблица 22 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	257966,96	30956,03	86676,89
Дипломник	35992,32	3873,33	10845,32
Коэффициент накладных расходов	70 %		
Итого по статье $C_{накл}$			97522,22

Объект исследования процесс дуговой сварки покрытыми электродами

В этом разделе будут рассматриваться вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. А также будет проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволит определить средства индивидуальной и коллективной защиты, и решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации в целом.

Рабочим местом являлось отдельное помещение (лаборатория), в котором проводили эксперимент по выявлению алгоритма модуляции тока при ручной дуговой сварке. Использовали: специализированное сварочное оборудование, свариваемый материал и покрытые электроды.

Так как данное помещение находится внутри здания, на сварщика возможны действия следующих вредных и опасных факторов: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, электрический ток, пожар. Воздействие вредных производственных факторов на работающих может привести к заболеванию и снижению производительности труда.

4.1 Производственная безопасность

4.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Анализ превышения уровня шума

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 системы питания для сварки в динамическом режиме изложены в ГОСТ 12.1.035–81.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – источник питания для сварки, процесс сварки. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 85 дБА, ГОСТ 12.1.035–81.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

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

Анализ недостаточной освещенности

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах составляет 200 лк (СНиП 23-05-2010).

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной нагрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий, коэффициент естественного освещения (КЕО) не должен превышать 2,1 %, а коэффициент пульсации освещенности ($K_{п}$) не должен быть больше 10 % (СНиП 23-05-95*).

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

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. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в

течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Пб согласно СНиП 2.2.4. 548-96. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (СНиП 2.2.4. 548-96)

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °C						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °C					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Ошибка влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Ошибка влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
16-20	40-60	0,2	15-22	15-75	0,2-0,4	19-21	40-60	0,2	16-27	15-75	0,2-0,5

Не нормированная температура или концентрация влажности воздуха в помещении может быть вызвана не правильной эксплуатацией отопительных приборов, не правильно подготовленной внутренней обстановки помещения в различные времена года. Все данные пункты приводят к отклонению показателей микроклимата внутри производства. Такие факторы могут привести к различным простудным заболеваниям и снижениям работоспособности персонала и сварщика, в частности.

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Методом борьбы с отклонениями показателей микроклимата является сравнение норм данных показателей с СанПиН 2.2.4.548 – 96, и доведения определенных параметров до нормированных условий. Это достигается при

помощи установки терморегуляционных приборов, поддерживающих определенную температуру и влажность воздуха в каждом производственном помещении, а также утепления помещения искусственными наполнителями, для зимнего периода работы.

Анализ загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточно-вытяжной. Свежий воздух обычно подают в цех через общецеховую вентиляционную установку, а загрязненный воздух удаляют из цеха общецеховой вентиляцией, а также местными устройствами.

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местный отсос можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего».

Нередко источник выделения вредных веществ укрывают зонтом, под которым находится рабочий, что совершенно недопустимо, так как через зону дыхания в этом случае проходят все вредные вещества. Поэтому, на рабочих местах в зоне сварки нужно установить аппаратуру с отсасывающим поворотным рукавом.

Сварочные участки, сообщающиеся проемами со смежными помещениями, где не проводится сварка, должны иметь вытяжную вентиляцию с механическим побуждением.

Токсичные включения, входящие в состав сварочного аэрозоля, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний (пневмокониоз, развития фиброзных изменений в легких). Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные

пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания.

Основными вредными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

В таблице 24 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей.

Таблица 24 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли
Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

В сварочных цехах на стационарных рабочих постах, а также, где это возможно, на нестационарных постах следует устанавливать местные отсосы.

В специальных помещениях или металлических шкафах для хранения баллонов со сжиженным газом должна быть предусмотрена естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений или шкафов.

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна соответствовать нормам, приведенным в таблице 25.

Таблица 25 – Скорость движения воздуха, создаваемая отсосами у источников выделения вредных веществ

Процесс сварки	V, м/с
Сварка ручная	≥0,5

Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами, составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшееся количество вредных веществ (10-20%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

4.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Анализ поражения электрическим током

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:

- 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;

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

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- 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.

Анализ поражения расплавленным металлом

Наиболее опасным фактором неблагоприятно воздействующий на здоровье человека в процессе ручной дуговой сварки является разбрызгивание расплавленного металла из зоны сварки. Это явление также может быть причиной местных ожогов, так как температура плавления металлов может достигать +3400 °С. Причиной разбрызгивания электродного металла и металла шва является высокое подаваемое напряжение на электрод. При взаимодействии электрода с изделием происходит короткое замыкание, сопровождающееся разбрызгиванием расплавленных капель металла.

К средствам защиты от выплеска расплавленного металла из зоны сварки относятся сварочная маска, куртка и брюки из огнеупорного материала, огнеупорные рукавицы (краги), специальные ботинки сварщика.

4.2 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. Охрану природы можно представить, как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Многие предприятия сейчас внедряют новейшие технологии в процесс эксплуатации, отчистки и утилизации отходов производства. Применение сварки в динамическом режиме значительно сокращает время изготовления деталей, но приводит к увеличению затрат электроэнергии, количества электростанций и их мощностей. Соответственно, рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как глобальное потепление климата, загрязнение атмосферы и водного бассейна Земли вредными и ядовитыми веществами, опасность аварий в ядерных реакторах, изменение ландшафта Земли. Целесообразным является разработка и внедрение систем с малым потреблением энергии.

При сварочных работах образуются следующие отходы:

- сварочный шлак;
- остатки и огарки сварочных электродов;
- остатки стальной проволоки;
- флюсы.

Утилизация отходов сварки, особенно остатков электродов, становится регламентированной процедурой. Сбор стальных огарков производится непосредственно на месте сварочных работ с сортировкой согласно марке изделия. Далее, металлолом взвешивается и может быть реализован в место переработки.

Так как работать приходится с металлом, то необходимо сдавать остатки металла в металлолом. Из-за выделения вредных веществ при сварке, необходимо использовать вентиляцию. С ее помощью можно добиться рассеивания воздуха в помещении. Используется вентиляция, которая по коммуникациям будет выдувать воздух на улицу. Выбросы воздуха из-за малых концентраций вредных веществ специально не очищаются.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

При проведении исследований была выявлена возможная ЧС, это пожар, короткое замыкание – является частой причиной возникновения пожаров.

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

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности

людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.

2. Курить только в отведенных для курения местах.

3. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу.

4. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности помещение оборудовано рубильниками для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению систем питания для сварки в динамическом режиме, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86.

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

- Расстояние от стены до источника питания должно быть не менее 0,5 м.

- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м.

- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и

максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.

- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.

- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).

- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.

- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.

- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

В целях общего поддержания безопасности создаются следующие мероприятия:

- Планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне организации;

- Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;
- Выявление угроз пожара и оповещение персонала;
- Подготовка работающих к действиям в условиях ЧС;
- Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

Заключение

Анализ полученных результатов показал, что для сварки образцов модулированным током электродами диаметром 4 мм требуется более высокая погонная энергия, чем при сварке образцов постоянным током, что объясняется увеличением общего времени сварки. При этом длина сварочной ванны в режиме СМТ, уменьшается, в среднем на 25...30 %, что подтверждается экспериментально полученными картинами тепловых полей и кривыми термического цикла сварки.

Исследования микроструктуры металла шва облицовочного слоя всех образцов показали, что металл шва имеет крупнозернистую столбчатую структуру с вытянутыми зёрнами в одном направлении, при этом модуляция сварочного тока способствует уменьшению размера зёрна.

При сварке модулированным током электродами УОНИ 13/Мороз уровень остаточных напряжений в шве и околошовной зоне ниже, чем при сварке постоянным током. Однако применение электродов LB-52U и LB-62D, способствует увеличению уровня остаточных напряжений.

Список публикаций

1. Сараев Ю.Н., Лунев А.Г., Киселев А.С., Гордынец А.С., Нестерук Д.А., Хайдарова А.А., Чинахов Д.А., Семенчук В.М. – Исследование влияния энергетических параметров дуговой сварки покрытыми электродами на стабильность тепломассопереноса. // Сварочное производство. – 2018. – №2. – С. 3-13

Список использованных источников

- 1 Управление переносом электродного металла при сварке в CO_2 с короткими замыканиями дугового промежутка. Ю. Н. Сараев // Автоматическая сварка. -1988.- № 4.
- 2 Шигаев, Т. Г. Сварка модулированным током // Итоги науки и техники. Сварка. Том 17. М. - 1989. - С. 91 - 132.
- 3 Импульсные технологические процессы сварки и наплавки / Ю. Н. Сараев. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994. – 108с.
- 4 Милютин В.С., Шалимов М.П., Шанчуров С.М. Источники питания для сварки // Высшее образование. – 2007. – С. 216-217.
- 5 Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги // «Машиностроение», 1969, - с. 178.
- 6 И.К.Походня, В.Н. Горпенюк, С.С.Миличенко и др. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е.О. Патона. – Киев : Наук. Думка. - 1990.- 224 с.
- 7 Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах // Издание 2-е, переработанное. К.: «Екотехнолопя», 2007. - с.192.
- 8 Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов; под ред. В. В. Фролова. – М.:Машиностроение, 1974. - 768 с.
- 9 Marcel Joseph Marie Hermans. A Study of Short Circuit Arc Welding. - Delft. Delft University Press. III. -1997.
- 10 Ерохин А.А., Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. - М. : Машиностроение, 1964. - 256 с.
- 11 В. Д. Макаренко, Р. В. Палий, М. Ю. Мухин и др.; Технологические свойства монтажной сварки трубопроводов. Под ред. В. Д. Макаренко. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2001. - 1 с.: ил.

- 12 Геворкян В.Г. Основы сварочного дела // Учебник для строит. спец. техникумов. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1985. – С. 168, ил.
- 13 Баженов В.В., Овчинников В.А. Физические основы защиты плавящегося металла при дуговой сварке покрытыми электродами // Сварочные материалы.- Киев: ИЭС, 1972. - С. 37- 49 .
- 14 Походня И.К. Метод исследования процесса плавления и переноса электродного металла // Автоматическая сварка. - 1964. - № 2
- 15 Управление процессом дуговой сварки покрытыми электродами воздействием на параметры режима. В.М. Семенчук // Выпускная квалификационная работа. – 2016. – С. 58
- 16 Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ: - 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1986. – С. 208
- 17 Ланкин Ю.Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом // Автоматическая сварка. — 2011. — №1. — с. 7-15.
- 18 Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке / Кархин В.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2015. – 572 с
- 19 Сливинский А. А., Жданов Л. А., Коротенко В. В. Теплофизические особенности импульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах // Автоматическая сварка. 2015. № 11. С. 32—39
- 20 Graf M. Niederhoff K. Toughness behavior of heataffected zone (HAZ) in submerged-arc welded large-diameter pipe (Pipe line technology conference / Oostende (Belgium). 1990. N 10. P. 131—139.
- 21 Рыбаков А. А., Филипчук Т. Н., Костин В. А. Особенности микроструктуры и ударная вязкость металла сварных соединений труб из высокопрочной стали с ниобием и молибденом // Автоматическая сварка. 2015. № 3—4. С. 17—25.
- 22 Чинахов Д. А., Давыдов А. А., Нестерук Д. А. Методика обработки температурных полей при сварке плавлением. Сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А. А. Воробьева "Становление и развитие научных исследований в высшей школе":

— Т. 2 / Томский политехнический университет. Томск: Изд. Томского политехнического университета. 2009. С. 48—51.

23 Traidia A., Roger F., Guyot E., Schroeder J., Lubineau G. Hybrid 2D-3D modelling of GTA welding with filler wire addition // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012. N 5. P. 3946—3963.

24 Hua W., Paul A. Colegrove, Jorn M. Hybrid modelling of the contact gap conductance heat transfer in welding process // Advances in Engineering Software. 2014. N 68. P. 19—24.

25 Tong L. G., Gu J. C., Yin S. W., Wang L., Bai S. W. Impacts of torch moving on phase change and fluid flow in weld pool of SMAW // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. N 100. P. 949—957.

26 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

27 ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ Пожарная безопасность. Термины и определения.

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

29 СНиП 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

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

31 ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ Работы электросварочные. Требования безопасности.

32 ГОСТ 17.4.3.04-85 Охраны природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

33 ГОСТ 5264–80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

34 ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры.

Приложение А

Реферат. Ведение. 1 Обзор литературы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Семенчук Вячеслав Максимович		

Консультант школы отделения электронной инженерии ИШНКБ:

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

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Игна О. Н.	д. п. н.		

Abstract

Final qualifying work contains 85 pages, 29 figures, 25 tables, 26 sources.

Key words: manual arc welding, surfacing, coated electrodes, current modulation, electrode metal transfer, welding process stability.

The object of the study is the process of manual arc welding and surfacing during the modulation of the welding current.

The purpose of the work is to develop recommendations for the selection of parameters of the mode during arc welding and surfacing with covered electrodes by modulated current.

In the course of experimental studies, the degree of influence of the pulse change of energy parameters on the stability of heat and mass transfer in arc welding and surfacing with covered electrodes is determined. The influence of the amplitude-time parameters of the regime on the conditions of formation of the weld and weld metal, as well as the criteria for the selection of specialized welding equipment.

Degree of implementation: the current modulation algorithm is developed.

Scope: construction and repair of main pipelines, including in the Far North; restoration of elements of various equipment prone to abrasive wear.

Economic efficiency: increase of productivity of welding and surfacing works.

Introduction

One of the most common methods of obtaining permanent joints is arc welding with a melting electrode. However, the use of this method is associated with certain difficulties. Based on the analysis of the mass application of welding technologies in the production of structures for responsible purposes, it is found that one of the main drawbacks that affect the performance of the welded structure is the failure to comply with the limit values of the welding mode parameters. This contributes to the development of the process of brittle destruction of mechanically loaded products and structures, especially in conditions of low climatic temperatures.

In particular, one of the problems is the unstable transfer of electrode metal into the weld pool, accompanied by increased spattering. This has a negative impact on the manufacturing process of welded structures: additional operations are required to clean the surface of the parts from metal splashes, which generally reduces the production efficiency.

In this regard, there are two main objectives from the viewpoint of improvement of process of consumable electrode welding: development of the algorithm modulation of the current at manual arc welding and surfacing, as well as the reduction of spattering of the electrode metal [1]. The solution of these problems is realized by means of influence of energy parameters of welding and surfacing mode.

To date, there are a number of ways of increasing the efficiency of calepinus and applying a modulated current. A significant contribution in this direction made by scientists: A.F. Knyzhkov, Yu.N. Saraev, V.K. Lebedev, B.E. Paton, F.A. Wagner, N.M. Voropaev, D.A. Dudko, N.G. Dyurgerov, N.V. Podola, T.G. Chagaevym and many others.

1 Literature review

1.1 General ideas about welding with covered electrodes by modulated current

The process of welding with modulated current (SMT) involves a periodic, pre-programmed change in the energy parameters of the power supply system—the welding arc between high (pulse) and low (pause) levels. During the current pulse, the main part of the electrode and the metal to be welded is melted, and during the subsequent period of pause, the greater part of the metal of the weld pool is crystallized [2].

SMT allows more than continuous welding, to provide dosing of heat entering the weld pool. This feature of the SMT can greatly facilitate welding in vertical and ceiling positions. When performing welding in these spatial positions, the welder is forced to adjust the fluidity of the bath and perform various manipulations of the electrode end to ensure satisfactory seam formation. At the same time, the welder is constantly in a tense state and cannot ensure the stability of the seam quality [2].

Modulation of the welding current is able to free the welder from labor-intensive operations for metering of heat input to the weld puddle and put it on a special device—the modulator. The welder only has to fill in the seam butchering technique of welding is greatly simplified and becomes accessible to even a beginning [2].

The superposition of current pulses on the arc of low power when welding with a melting electrode allows to obtain a controlled small-scale transfer of the electrode metal. If the amplitude value of the pulse current exceeds the critical value for these conditions, and the pulse repetition rate ≥ 25 Hz, then each pulse in the weld pool will be transferred one drop of electrode metal. The term "critical current" means such a value of welding current, at which the size of the metal droplets transferred through the arc interval decreases sharply, and the frequency of their formation increases accordingly. The average current value is 30-40% less than the nominal value. Due to the elimination of short-circuits of the arc gap by electrode metal droplets, the stability

of the welding process is significantly improved, the nature of the droplet transfer practically does not depend on the spatial position of the weld [2].

The advantages of SMT:

- a controlled atomized electrode metal transfer at average currents of the arc;
- heat input to the base metal is reduced at a constant penetration depth, the size of the overheating zone, residual stresses and deformation of the welded joint;
- the quality of weld metal and mechanical properties are improved, conditions for uniform formation of the weld regardless of its spatial position are provided;
- the structure of the weld metal and the zone of thermal influence is crushed due to the impact of the pulsating thermal field;
- welding of fixed joints of pipelines and laying of joints in hard-to-reach places are facilitated.

Mode settings in addition to the usual SMT include: the current in the pulse period, the current in the pause period, the pulse time and the pause time. In addition, derived parameters such as stiffness $G = \frac{t_n}{t_n}$ and depth of modulation of welding current $M = \frac{I_n}{I_n}$ were used. The effective arc current can be defined as either an average or a RMS value [2].

There are two main types of transfer of electrode metal in pulsed arc welding with a melting electrode: "long arc" - without closing the arc gap and "short arc" - the transfer of the electrode metal is carried out during short circuits of the arc interval [3].

A characteristic feature of pulsed arc welding with a melting electrode is the controlled transfer of the electrode metal. There are two types of controlled transport in long arc welding [3]:

- the current pulse ensures that the transfer of electrode metal drop;

- each current pulse separates and transfers a few drops from the electrode to the weld pool – this process is called pulsed arc welding with intermittent jet transfer of metal.

The essence of pulse-arc welding "long arc" is the imposition of powerful short-term current pulses on the welding arc of average power. In this case, there is a sharp increase in the electrodynamic forces that form a liquid metal at the end of the electrode in the form of a drop and drop it strictly into the weld pool in any spatial position of the latter. This makes it possible to carry out fine-grained transfer at the welding current of the main mode below the critical value, in which the size of the transferred droplets of the electrode metal decreases with the growth of the current in the case of a stationary welding mode [3].

1.2 Features cae pinus when welding with coated electrodes

One of the main factors affecting the transfer of electrode metal to the bath are the type of electrode coating and the slope of the volt-ampere power supply characteristics.

In manual arc welding with a covered electrode, the rectifier has a combined external characteristic (Fig. 1), consisting of four constant sections and four arising depending on the situation. The feed phase 1 (85 V, 20 A) is necessary to fill the pauses between the inclusions of thyristors. The decaying section 2 is a natural characteristic of the rectifier at full-phase inclusion of thyristors (55 V, 0.03 V/A). On the steep section 3, the slope of 0.4-2 V / A can be adjusted depending on the spatial position of the seam. The main vertical section 4 is used to adjust the welding current in the range of 20-500 A. to perform special functions, for example, when welding with an electrode diameter of 4 mm with an installed welding current $I_D=150$ A, the positions of four more sections are adjusted, providing the current limit of the long short circuit I_{cz} (section 7), the hot start current is I_{st} (section 6), the boost current during drip transfer I_f (section 5), as well as the voltage limit of the long idle stroke U_{ch} (point 8) [4].

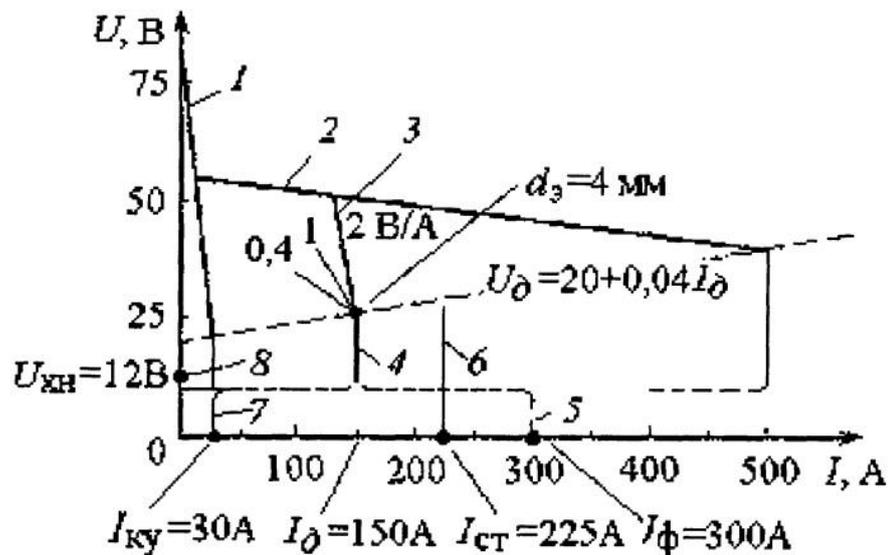


Figure 1 – external characteristics of the rectifier[4]

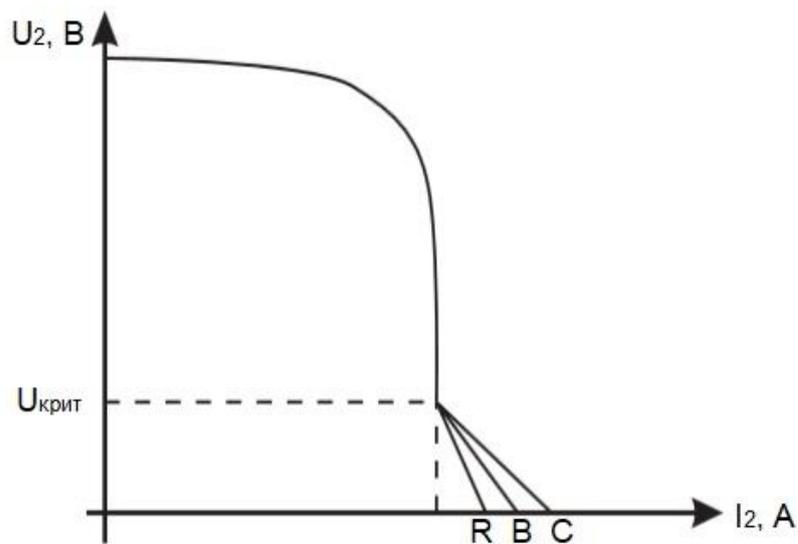


Figure 2 – principle of arc current regulation during short circuit: R-rutile coating; B-main coating; C-cellulose coating

Character depends on structure of a covering, electrode end face geometry, mass coverage ratio, welding conditions parameters, as shown in works [6, 10, 11]

A.A. Yerokhin [10] showed that by drawing on a welding wire of a one-component covering from marble, quartz sand and plaviky spar it is possible to change an energy distribution in an arch and, therefore, melting rate of an electrode and mass of a drop, and also the provision of a cathodic spot and the direction of forces operating

on a drop. It considerably changes the characteristic of dropwise transfer. For example, marble reduces the mass of the drops passing through an arc interval, and quartz sand and fluorspar - increase. A refinement of drops at increase in the content of marble in a covering can be explained to that at its arrangement the potent gas stream promoting a separation of more shallow drops is formed. More and more deep vtulochka which is formed in that case from a covering gives to a gas stream a larger orientation. Moreover, the increase in an oxidation potential of a covering promotes body height of an oxidation state of electrode drops and decrease surface tension and interfacial energy on border metal-slag [11].

Introduction to an electrode covering of the silicon dioxide possessing a high work function of electrons causes increase in an efficient voltage drop in the near-electrode areas that leads to increase of reaction pressure of vapors and, therefore, integration of electrode drops.

In work [6] it is shown that the structure of a covering significantly influences number of the short-circuits caused by transition of drops through an arc interval. It is possible to carry feldspar, potassium sodium silicate to elements which raise number of short-circuits.

The beneficial effect of feldspar and potash liquid silica glass on transfer of metal happens because of decrease in an emission of electrons from the cathode, thus the area of the fissile spot increases and, the current density in it decreases. The temperature increase of drops caused by increase in a heat delivery surface through the fissile spot, and decrease in reaction pressure of vapors owing to decrease of a current density in the fissile spot leads to a refinement of drops when welding [7].

In figure 3 transition of drops when using four main types of a covering is schematically shown. The cellulose type (figure 3, a) promotes transition of material in the form of averages or large drops. The covering consists of organic components. The sour type (figure 3, b), a covering consists of iron and manganese oxide, promotes transition of material in the form of shallow drops in molten metal of a seam. The covering of rutilovy type (figure 3, c) consists of dioxide of a titanium in the form of mineral rutile (TiO_2) or an ilmenite ($\text{TiO}_2 \text{FeO}$) or of simulated dioxide of a titanium.

Promotes transition of material in the form of shallow or average drops, quiet fusion with a trace amount of splashes. The main covering, (figure 3, d) consists of oxides of calcium (SAO) and magnesium (MGO), promotes transition of molten metal averages and large drops, and the welding bathtub turns out plastic [16].

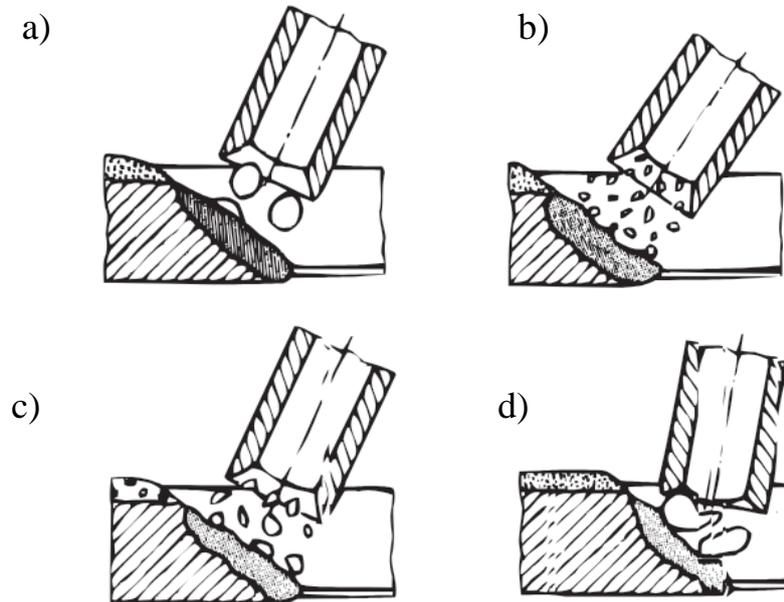


Figure 3 – Transition of drops when using various coverings [16]: a) the cellulose; b) rutilovy; c) the sour; d) basic

There are different opinions about the effect of the thickness (mass coefficient) of the coating on the size of the drops, but in many ways they converge to the trend of reducing the drops with increasing coating thickness.

When welding with a thick-coated electrode, rod 1 of the electrode (figure 4) melts faster, and the end of it is somewhat covered with a "cover" 2. Intensive gas formation in a small volume of "case" leads to the phenomenon of gas blast 3, accelerating the transition of metal droplets into the weld pool [12].

In [13] it is also shown that with the increase of the mass-coating coefficient from 20 to 70%, the second output of the gases formed during the decomposition of marble during the melting of the coating increases from 0.034 to 0.060 g/s, which causes an increase in the aerodynamic force by more than 4.5 times and contributes to the grinding of electrode drops.

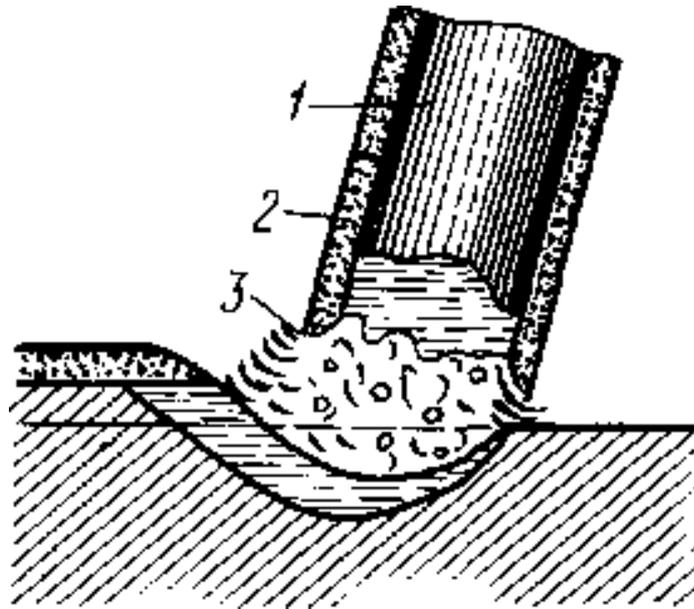


Figure 4 - welding with a thick-coated electrode [12]

From the work [6] it follows that there is another solution for obtaining a more fine – grained transfer-the implementation of the electrode coating of a two-layer structure. At the same time, marble is located in the inner layer, and calcium fluoride is left in the outer layer, which significantly reduces the negative effect of fluorides on the transfer of metal.

When welding on a straight polarity, the transfer of the electrode metal is more fine-grained than on the reverse [6, 10]. The researchers explain this by the behavior of the cathode spot, which in the presence of fluorides in the coating is compressed and moves randomly on the surface of the droplet, causing separation from the droplet of small particles. Taking into account the result of [10], the pressure on the drop is greater than on the reverse one on the direct polarity, because of which the drop is also split.

Influence of current intensity on the sizes of drops when welding by the covered electrodes is fully investigated by A.A. Yerokhin [14] and A.G. Mazel [6]. It is established that with increase in welding current the size of drops and time of their transition through an arc interval decreases, and the frequency of short-circuits increases.

1.3 Determining the effect of current modulation parameters on the stability of the welding process

In [15] the influence of the current modulation parameters on the stability of the welding process, which was determined by the oscillograms of the voltage between the electrode and the product and the current in the welding circuit, was considered. The criterion of stability of the welding process by modulated current was the absence of electrode sticking during the period of low energy level.

A feature of the modulated current process is the alternation of high and low energy levels. At the same time, during the period of low energy level, there is a high probability of violation of the welding process due to the lack of conditions for activating the destruction of the liquid metal bridge between the electrode and the welding bath, which contributes to the undesirable "freezing" of the electrode to the product [15].

In [15], current and voltage waveforms are presented, which are registered at different time scales when welding by modulated current with additional stabilizing current pulses during the period of low energy level when disconnected (figure 7a, 7b, 7c, 7d) and connected sensor of the interelectrode interval state (figure 8).

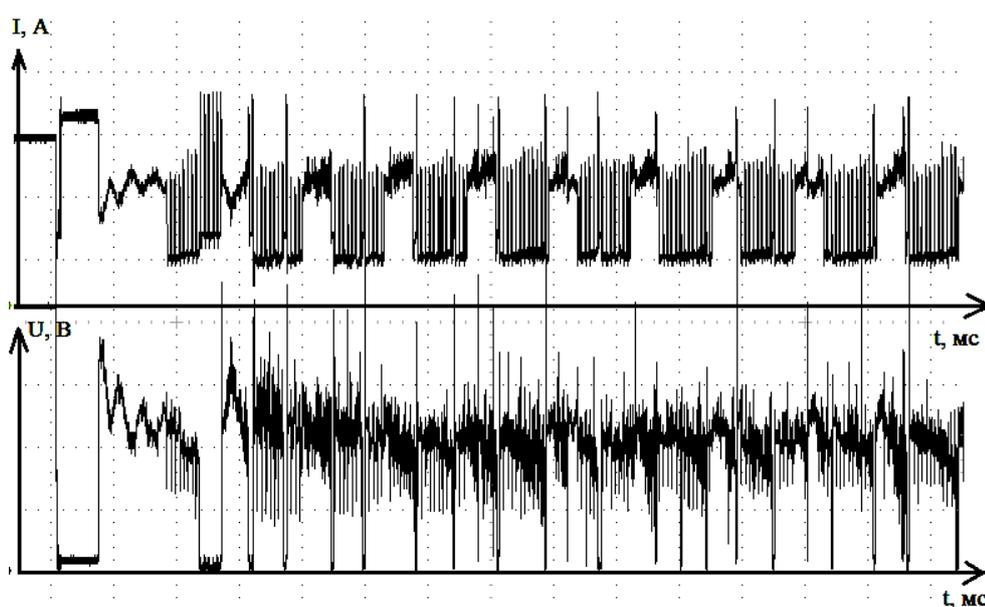


Figure 7a – Oscillogram of voltage and current disabled status sensor electrode gap [15]



Figure 7b

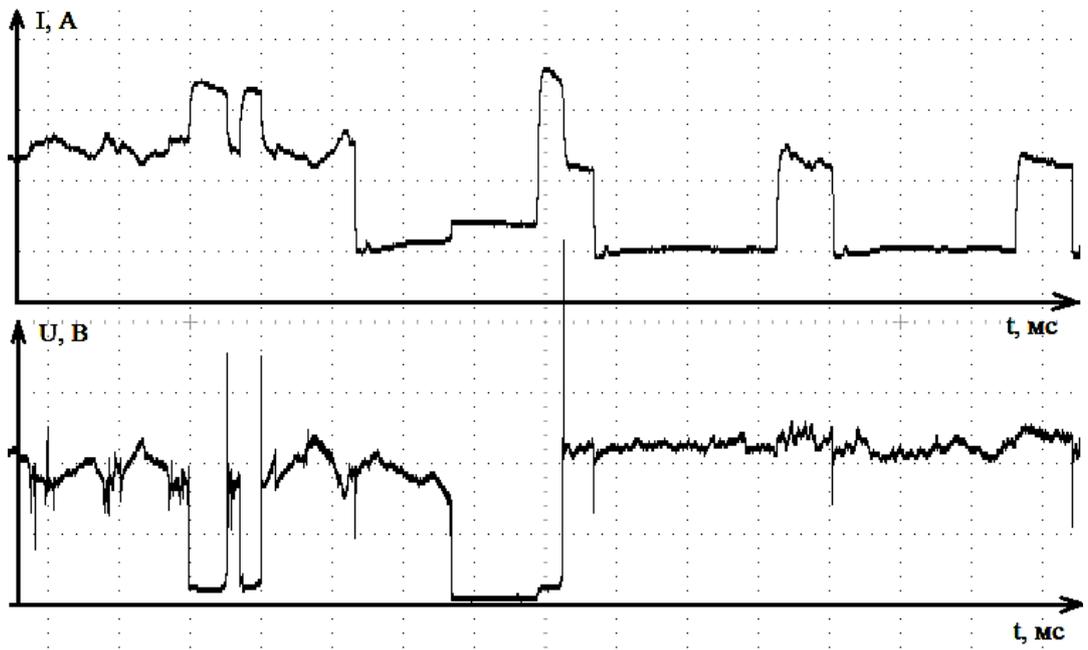


Figure 7c

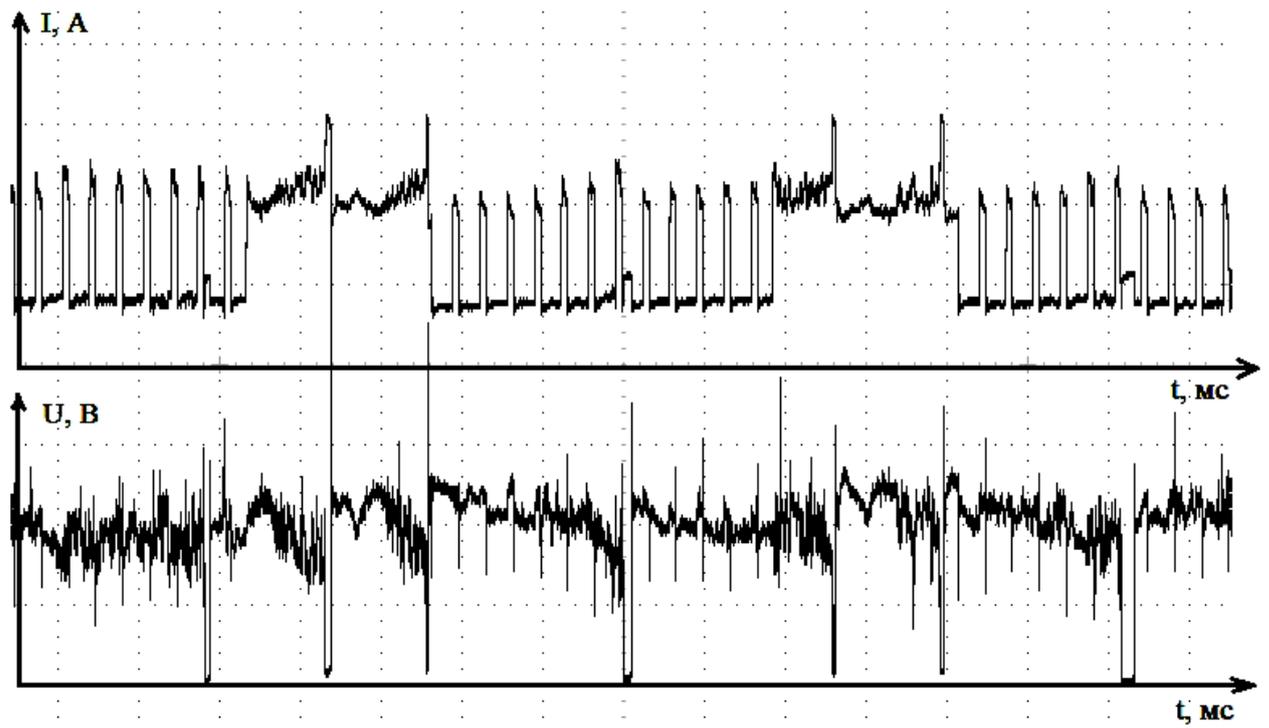


Figure 7d

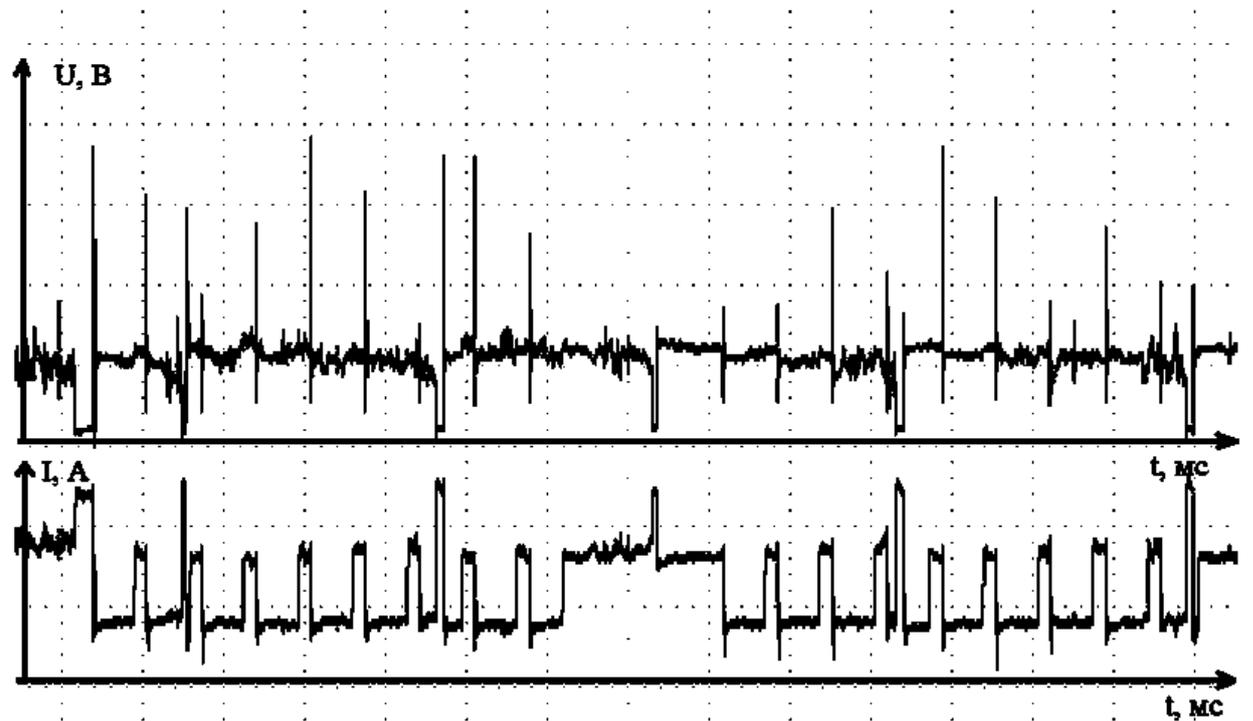


Figure 8 – Oscillogram of current and voltage when connected to the status sensor of the interelectrode gap

From the analysis of the oscillograms given in [15] it can be seen that short-term short-circuits during the flow of the pause current contribute to the activation of the jumper destruction process during the transfer of the electrode metal and, thereby, significantly increase the stability of the welding process.

It follows from this that the creation of welding systems that can control the transfer of droplets due to changes in the amplitude–time parameters of the current pulses is a strategic priority for research and practical development. And the obtained results of experiments in [15] confirm the need for forced activation of the destruction of the liquid metal jumper at the time of its transition to the welding bath in the process of arc welding with the covered electrodes by modulated current.

1.4 Running energy

The amount of heat introduced by the arc into the welded product per unit time is called the effective heat power of the arc q . It includes heat directly released on the cathode or anode spot on the product; heat coming with drops of electrode metal, coating or flux; heat introduced into the product from the arc column [16].

The effective thermal power can be determined by the formula [16]

$$q = 0,24 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{CB}} \cdot \eta \text{ cal / s}, \quad (3)$$

The heating rate of the product during arc welding is characterized by an effective efficiency of metal heating by an arc η , which represents the ratio of the effective power to the total thermal power of the arc. The numerical value η depends on the type of arc welding, type of weld, arc length, welding speed, the kind of current and polarity of the current, the electrode brand, etc. [16].

Values η_n for welding with coated electrodes - 0,7÷0,85. The amount of heat introduced by the arc into the product per unit length of the weld is called the running energy of welding. Running energy depends on the effective arc power and welding speed and is expressed by the ratio [16]

$$\frac{q}{V_{\text{CB}}} = \frac{0,24 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{CB}} \cdot \eta}{V_{\text{CB}}} \text{ cal / s}, \quad (3)$$