

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

Институт Юргинский технологический институт
Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль
«Оборудование и технология сварочного производства»
Отделение промышленных технологий

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
ВЛИЯНИЕ ТИПА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РДС НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

УДК 621.791.75.03:621.311.6-027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10A52	Садыков И.Д.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОПТ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОПТ	Крюков А.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЦТ	Лизунков В.Г.	к.п.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И.о. руководителя ОТБ	Солодский С.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.о. руководителя	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОПТ	Кузнецов М.А.	К.Т.Н.		

Юрга – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные, математические знания, знания в области экономических и гуманитарных наук, а также понимание научных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности
P2	Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире.
P3	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения задач хранения и переработки информации, коммуникативных задач и задач автоматизации инженерной деятельности
P4	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях машиностроения и смежных отраслей.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на производственных предприятиях и в отраслевых научных организациях.
P7	Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в машиностроении, при производстве иных металлоконструкций и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ и средств автоматизации инженерной деятельности
P8	Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения, металлоконструкций и узлов для нефтегазодобывающей отрасли, горного машиностроения и топливно-энергетического комплекса, а также опасных технических объектов и устройств, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов и деталей.
P9	Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.
P10	Проводить эксперименты и испытания по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий, в том числе с использованием способов неразрушающего контроля

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения, иных металлоконструкций и узлов.
P12	Проектировать изделия машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы их изготовления, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и технологическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности.
P13	Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P14	Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.

Студент гр. 10А52

И.Д. Садыков

Руководитель ВКР

Д.П. Ильященко

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

Институт Юргинский технологический институт
 Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль
«Оборудование и технология сварочного производства»
 Отделение промышленных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 И.о. руководителя ОПТ
М.А. Кузнецов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломный проект

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

Студенту:

Группа	ФИО
10А52	Садыкову Ильдару Дазмировичу

Тема работы:

Влияние типа источника питания РДС на стабильность плавления и переноса электродного металла	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	31.01.2019 г. № 9/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>Материалы преддипломной практики</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. Объект и методы исследования. 3. Результаты проведенного исследования. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Технологическая и конструкторская часть	Ильященко Д.П.	
Социальная ответственность	Солодский С.А.	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лизунков В.Г.	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОПТ	Ильященко Д.П.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10А52	Садыков И.Д.		

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

Институт Юргинский технологический институт

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Оборудование и технология
сварочного производства»

Отделение промышленных технологий

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 – 2019 учебного года)

Форма представления работы:

Дипломный проект

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ Вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2019	Обзор литературы	20
25.03.2019	Объекты и методы исследования	20
15.04.2019	Расчеты и аналитика	20
16.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
31.05.2019	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОПТ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОПТ	Кузнецов М.А.	К.Т.Н.		

Юрга – 2019 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
10А52	Садыкову Ильдару Дазмировичу

Институт	Юргинский технологический институт	Отделение	Промышленных технологий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

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

Влияние типа источника питания РДС на стабильность плавления и переноса электродного металла

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Определение капитальных вложений в оборудование и приспособление*

2. *Определение капитальных вложений в здание, занимаемое оборудованием и приспособлением*

3. *Определение затрат на основные материалы*

4. *Определение затрат на вспомогательные материалы*

5. *Определение затрат на заработную плату*

6. *Определение затрат на амортизацию и ремонт оборудования*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Основные показатели эффективности ИП (технико-экономические показатели проекта)*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЦТ	Лизунков В.Г.	к.п.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10А52	Садыков И.Д.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
10А52	Садыкову Ильдару Дазмировичу

Институт	Юргинский технологический институт	Отделение	Промышленных технологий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание технологического процесса, проектирование оснастки и участка сборки-сварки бесстыкового пути на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) <p>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы); - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> – <i>действие фактора на организм человека;</i> – <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> – <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i> 	<p>Действие выявленных вредных факторов на организм человека. Допустимые нормы (согласно нормативно-технической документации). Разработка коллективных и рекомендации по использованию индивидуальных средств защиты.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Источники и средства защиты от существующих на рабочем месте опасных факторов (электробезопасность, термические опасности и т.д.). Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>

<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Вредные выбросы в атмосферу.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Перечень наиболее возможных ЧС на объекте.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<p>Система вентиляции участка</p>

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И. о. руководителя ОТБ	Солодский С.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
10А52	Садыков И.Д.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 72 с, 8 рис., 11 табл., 63 источников.

Ключевые слова: сварка, наплавка, стабильность, источник питания.

Объектом исследования является стабильность процесса сварки, при использовании источников питания реализующие различные формы преобразования энергии.

Цель работы - оценка влияния типа источника питания на стабильность плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования на реальном объекте. Исследовали влияние типа источника питания (форма преобразование энергии) на стабильность переноса капель электродного металла и их размер, санитарно - гигиенические характеристики воздуха рабочей зоны.

Научная новизна работы. Использование инверторного источника питания в сравнении с диодным выпрямителем обеспечивает:

1. Уменьшение объема переносимых капель в сварочную ванну в среднем на 38 %, что повышает эффективность перехода химических элементов с электрода в металл шва;

2. Уменьшение средней длительности горения дуги на интервалах плавления электрода и периода формирования капель электродного металла в среднем на 70 %, что способствует снижению перегрева переносимых капель на 28%;

3. Улучшению санитарно гигиенических характеристик воздуха рабочей зоны на 15%.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 и представлена на диске CD-R (в конверте на обороте

обложки).

Abstract

Final qualifying work 59 C, 8 Fig., 11 table., 63 sources.

Key words: welding, surfacing, stability, power supply.

The object of the study is the stability of the welding process, using power sources that implement various forms of energy conversion.

The aim of the work is to assess the influence of the type of power supply on the stability of melting and transfer of electrode metal in the weld pool.

In the course of the work, experimental studies were carried out on a real object. The influence of the type of power supply (form of energy conversion) on the stability of the transfer of electrode metal droplets and their size, sanitary and hygienic characteristics of the air of the working area was studied.

Scientific novelty of the work. The use of an inverter power source in comparison with a diode rectifier provides:

- 1.Reducing the volume of transferred droplets in the weld pool by an average of 38 %, which increases the efficiency of the transition of chemical elements from the electrode to the weld metal;

- 2.A decrease in the average duration of arc burning at intervals of melting of the electrode and the period of the formation of electrode metal drops on average by 70 %, thereby reducing overheating-borne drops to 28%;

- 3.Improvement of sanitary hygienic characteristics of the working area air by 15%.

Final qualifying work is done in a text editor Microsoft Word 2016 and is presented on CD-R (in an envelope on the back cover).

Оглавление

Введение	16
Цель и задачи исследования	18
1 Обзор литературы	19
1.1 Кинетика плавления и перенос электродного металла при РД	19
1.2 Физическая модель процесса РДС	20
1.3 Источники питания для РДС	22
1.4 Трудности сварки чугуна	30
2 Объект и методы исследования	32
2.1 Определение стабильности горения дуги при РДС	32
2.2 Определение влияния параметров каплепереноса на размер переносимых капель электродного металла при РДС	35
2.3 Методика определения теплосодержания электродных капель при сварке	36
2.4 Методика определения качественной и количественной составляющих сварочного аэрозоля	37
3 Результаты проведенного исследования	39
3.1 Стабильность процесса РДС при использовании источников питания различных типов	39
3.2 Влияние типа источника РДС на параметры переносимых электродных капель	43
3.3 Изменения теплосодержания переносимых электродных капель в зависимости от типа источника питания	44
3.4 Санитарно-гигиенические характеристики воздуха рабочей зоны сварщика при использовании источников питания с различными динамическими свойствами	

	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
5 Социальная ответственность	50
5.1 Производственная безопасность при сварке	50
5.2 Анализ вредных и опасных факторов при выполнении сварочных работ	51
5.3 Излучения	51
5.4 Сварочные аэрозоли	52
5.5 Электрический ток	54
5.6 Шумы и вибрации	56
5.7 Освещение	57
5.8 Микроклимат	58
5.9 Экологическая безопасность	60
5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	60
5.11 Организационные вопросы обеспечения безопасности.	63
Заключение	65
Список используемых источников	66
Диск CD-R	В конверте на обложке
Графический материал	На отдельных листах
Титульный лист	Демонстрационный лист
Актуальность работы и современное состояние	Демонстрационный лист
Цель и задачи	Демонстрационный лист
Стабильный процесс сварки	Демонстрационный лист
Научный задел по тематике ВКР	Демонстрационный

	ЛИСТ
Методика проведения эксперимента	Демонстрационный лист
Осциллограммы тока в сварочной цепи	Демонстрационный лист
Обработка осциллограмм тока в сварочной цепи	Демонстрационный лист
Результаты обработанных осциллограмм тока	Демонстрационный лист
Расчёт тепловложения в каплю электродного металла при РДС	Демонстрационный лист
Среднестатистические расчётные данные	Демонстрационный лист
Результаты анализа выделенной пыли	Демонстрационный лист
Вывод	Демонстрационный лист
Апробация работы	Демонстрационный лист

Введение

Большинство технических систем ответственного назначения представляют собой крупногабаритные металлоконструкции, изготавливаемые с применением различных технологий сварки. Стремление конструкторов к применению для их изготовления нового поколения сталей и сплавов с целью повышения эксплуатационных свойств может быть вполне оправдано, поскольку при этом повышаются прочностные характеристики как всего изделия в целом, так и отдельных ресурс-соопределяющих узлов и деталей. Вместе с тем, какими бы уникальными свойствами не обладал используемый для создания металлоконструкции материал, в процессе ее изготовления указанные свойства ухудшаются из-за наличия зон структурной неоднородности, появляющихся в результате повторного расплавления и кристаллизации металла шва из расплава.

Одним из наиболее перспективных путей обеспечения равнопрочности металлоконструкции в целом является применение для ее изготовления технологических процессов на основе высококонцентрированных потоков энергии, которые вследствие быстрого нагрева зоны соединения и такого же быстрого ее охлаждения способствуют минимальным структурным изменениям, а следовательно, и минимальным напряжениям и деформациям. В последнее время на рынок сварочного оборудования вышло огромное количество новых источников питания, обеспечивающих различное энергетическое воздействие на расплавленные капли электродного металла. Отмеченное обстоятельство требует проведения комплексных теоретических и экспериментальных исследований процессов тепломассопереноса электродного металла, сопровождающих его плавление, перенос и кристаллизацию металла шва из расплава при формировании сварных соединений и наплавленных покрытий методами сварки и наплавки, что, несомненно, является актуальной задачей ориентированных фундаментальных исследований. Результатом проводимых исследований может стать установление корреляции между характеристиками тепломассопереноса

капель электродного металла, теплосодержанием сварочной ванны и структурой, физико-механическими и эксплуатационными свойствами неразъемных соединений материалов, что позволит сформулировать рекомендации для повышения ресурса и живучести изделий технических систем, имеющих сварные соединения и наплавленные покрытия.

В настоящее время рядом российских и зарубежных фирм - производителей сварочного оборудования выпускаются установки, реализующие различные алгоритмы управления переносом электродного металла при РДС (ТМА), такие как Fronius, Австрия, Lincoln Electric, США, ESAB , Швеция), УКП (Технотрон, Россия), ВКЗ (ИТС, Россия) и т.д. Как правило, данные установки включают в себя быстродействующие инверторные источники питания, способные с частотой, достигающей сотен Гц, управлять параметрами режима сварки (время короткого замыкания, скорость нарастания тока во время короткого замыкания и др.). Однако, на данный момент не существует комплексной методики, которая могла бы объективно оценивать сварочные свойства оборудования, реализующего управляемый перенос электродного металла.

Цель и задачи исследования

Цель работы:

1. Оценка влияния типа источника питания на стабильность плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Экспериментально исследовать влияние типа источника питания (форма преобразование энергии) на стабильность переноса капель электродного металла и их размер, санитарно-гигиенические характеристики воздуха рабочей зоны.

2. Теоретически определить геометрические размеры переносимых капель электродного металла и величину теплосодержания в зависимости от параметров каплепереноса электродного металла.

1 Обзор литературы

1.1 Кинетика плавления и перенос электродного металла при РД

Показатели технологического процесса сварки – стабильность горения дуги, потери металла на разбрызгивание, возможность сварки в различных пространственных положениях шва – во многом зависят от характера переноса электродного металла [1-6].

Исследованию кинетики плавления и переноса электродного металла при РД посвящены работы авторов: А.А. Ерохина [7], А.Г. Мазеля [8], И.К. Походни [9], И.И. Зарубы [10], Р.И. Дедюха [11], Н.А. Азарова [12], С.П. Шатило [13], S. Brandi [14], J.F. Lancaster [15,16] и других, которые [17–20] показали, что:

- основная часть металла, около 85 %, переносится в виде капель [21];
- размеры и форма капель, частота их переноса зависят от теплофизических свойств металла электрода, состава покрытия, толщины покрытия, диаметра электрода, режима сварки, полярности и соотношения сил, действующих на расплавленный металл электрода [22] на различных этапах плавления и переноса;
- от характера переноса металла зависит стабильность процесса сварки.

ГОСТ 25616-83 регламентирует сравнительно оценивать сварочно технологические свойства источников питания по следующим параметрам:

- 1 Начальное зажигание дуги;
- 2 Стабильность процесса сварки;
- 3 Разбрызгивание металла;
- 4 Качество формирования шва;
- 5 Эластичность дуги.

1.2 Физическая модель процесса РДС

Сварка неразрывный комплекс показана на рисунке 1.1 в результате которого необходимо обеспечить равнопрочность основного металла и металла сварного шва и ЗТВ. Какими способами можно сделать проанализируем Анализ физической модели процесса РДС поможет установить, какими способами можно это сделать.

Процесс плавления электрода разделим на три стадии различающиеся по температурным, геометрическим, гидродинамическим и физико-химическим характеристикам. Первая стадия – начало плавления электрода 5. Длина дуги, сопротивление межэлектродного промежутка, напряжение дуги и потери энергии на излучение в окружающее пространство максимальны. Жидкий металл на торце электрода разогревается дугой, температура которой не менее 6000К, и удерживается на торце электрода поверхностным натяжением, превышающим гравитационные силы, но постепенно уменьшающимся из-за повышения температуры металла и появления на нем шлаковой пленки (процент составляющих компонентов 7 и 8 может меняться от 0 до 100%). Во время нагрева происходят такие процессы, как диссоциация компонентов покрытия электрода, испарение воды и взаимодействие шихтовых материалов в твердом состоянии [23]. При плавлении электрода образуются капли металла.

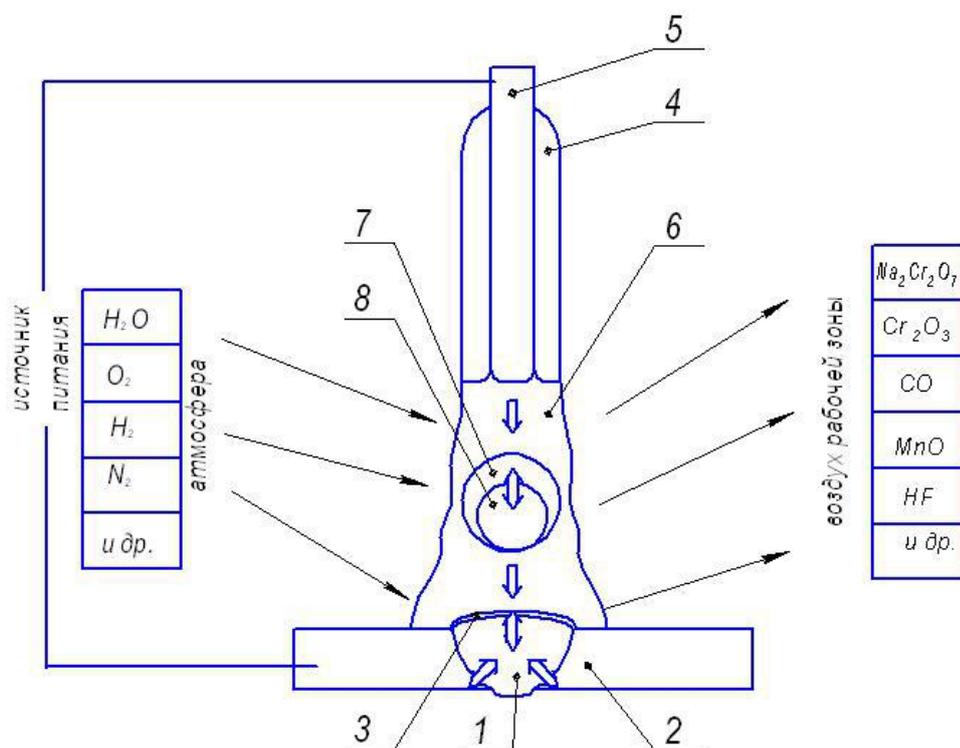


Рисунок 1.1 Блок-схема плавления электрода и формирования металла шва:

1 – наплавленный металл; 2 – основной металл; 3 – шлак; 4 - обмазка электрода; 5 металлический стержень электрода; 6 – газовая атмосфера; 7- шлаковая фаза капли; 8 – металлическая фаза капли

Вторая стадия – перенос металла с электрода в сварочную ванну. Может происходить путем отрыва каплей от электрода под действием пинч-эффекта, либо путем перетекания капли с образованием короткого замыкания. Авторами работ [24, 25] установлено, что химические реакции при сварке почти полностью заканчиваются на стадии капли, идет интенсивное взаимодействие каплей со шлаком и газом.

Третья стадия – сварочная ванна. В этот период происходит взаимодействие каплей расплавленного металла со шлаком и газом, с расплавленным металлом сварочной ванны и основным металлом рисунок 1.1.

Проанализировав физическую модель процесса РДС, можно сделать вывод, что повысить эксплуатационные характеристики наплавленного металла шва можно путем увеличения коэффициент перехода легирующих элементов из покрытых электродов, минимизировав потери легирующих

элементов в шлаковую и газовую составляющую, через управляемое тепловое воздействие на химический состав капли электродного металла.

Проанализировав выше сказанное, можно сделать вывод повысить прочностные характеристики наплавленного металла, можно увеличив коэффициент перехода легирующих элементов из покрытых электродов, минимизировав потери легирующих элементов в шлаковую составляющую и газовую составляющую. В работах Новожилова Н.М. [25] приводятся сведения, что удельная поверхность электродных капель примерно в 5-22 раза превышает удельную поверхность сварочной ванны, удельная же скорость окисления металла электродных капель примерно в 39 раз больше, чем удельная скорость окисления металла сварочной ванны. Исследованиями установлено [26], что химические реакции при сварке почти полностью заканчиваются на стадии образования капли, идет интенсивное взаимодействие капель со шлаком и газом. Следовательно, химическим составом металла сварного шва можно управлять путем воздействия на химический состав капли электродного металла.

Решение проблемы обеспечения равнопрочности сварного шва и основного металла возможно за счет применения при РДС источники питания нового поколения.

1.3 Источники питания для РДС

В зависимости от вида энергии и характера ее преобразования различают следующие типы источников питания [27]:

Трансформатор – понижает переменное напряжение сети до необходимого при сварке.

Выпрямитель – преобразует энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока.

Генератор – преобразует механическую энергию вращения его вала в электрическую энергию постоянного тока.

Преобразователь является комбинацией трехфазного асинхронного двигателя переменного тока и сварочного генератора и, следовательно, преобразует сетевую энергию в используемую для сварки энергию постоянного тока.

Агрегат состоит из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока, в нем для получения сварочного тока используется химическая энергия сгорания жидкого топлива.

Основные этапы развития источников питания для сварки [28,29]:

В 1905 г. австрийский профессор Розенберг разработал специальный сварочный генератор поперечного поля, у которого с ростом сварочного тока изменялось напряжение дуги. Это один из самых первых шагов в развитии регулируемых источников питания.

В 1907 г. на заводе Lincoln Electric был выпущен генератор с изменяемым напряжением. Через 20 лет русский ученый В. П. Никитин получил патент на первый в мире однокорпусный комбинированный трансформатор-регулятор для дуговой сварки.

В России серийное производство источников питания для сварки началось с 1924 г., когда на Санкт-Петербургском заводе «Электрик» под руководством В. П. Никитина был создан первый отечественный генератор СМ-1, а затем и сварочный трансформатор СТН в комбинации с реактивной обмоткой

В начале 50-х гг. появились полупроводниковые селеновые диоды. Это позволило разработчикам создать сварочные выпрямители, состоящие из трансформатора и выпрямительного диодного блока.

Позже, в 70-е гг. с появлением силовых кремниевых тиристорov стало возможно плавно изменять сварочный ток и выходные ВАХ сварочных аппаратов не за счет трансформатора, а на основе обратных связей и фазовой регулировки угла включения тиристорov.

В 1977 г. на рынке сварочного оборудования появился источник питания Hiiark-250 финской фирмы Кетрри, собранный на базе "скоростных тиристоров", обеспечивших преобразование постоянного тока в переменный с частотой

2 - 3 кГц. Это стало началом развития инверторных источников питания в сварочной технике.

К началу XXI в. мировой объем продаж сварочного оборудования составил около 12 млрд долл. США. Из них на долю сварки плавлением пришлось около 6 млрд долл. США. В свою очередь, из этого объема на ручную сварку покрытым электродом пришлось 21 %, механизированную сварку в защитных газах — 69 %, автоматическую сварку под флюсом и электрошлаковую сварку — 8%, специальные способы сварки — 2% [27].

В настоящее время основным направлением развития источников является не количественный рост, а качественное совершенствование. В номенклатуре выпускаемых источников питания происходят изменения перечня оборудования. Прекращен выпуск преобразователей, но в большом количестве производятся агрегаты с двигателями внутреннего сгорания.

Снижается доля трансформаторов, особенно в сфере промышленного использования, хотя они находят спрос в строительстве и в быту. Увеличивается доля выпрямителей, причем наибольший относительный рост производства у самых прогрессивных разновидностей — универсальных выпрямителей и инверторных источников (рисунок 1.2). Значительно увеличивается номенклатура и объем выпуска специализированных источников. Традиционным направлением совершенствования источников является снижение затрат при их изготовлении и эксплуатации. Это достигается, в частности, использованием более совершенных материалов — тонкой трансформаторной стали, мощных циклоустойчивых вентилях, стойкой кремний органической изоляции. Перспективные конструкции, использующие дорогие комплектующие, такие, как транзисторные модули и синергетические системы управления, или воплощающие в себе результат трудоемких

технологических исследований, также находят своего покупателя, если позволяют поднять качество сварных конструкций на ранее недостижимый уровень. С этой целью непрерывно ведется работа по совершенствованию сварочных свойств источников. Успешно решаются вопросы улучшения возбуждения дуги, уменьшения разбрызгивания металла, управления переносом электродного металла и формированием шва.



а

б

Рисунок 1.2 Источники питания для дуговой сварки : а – диодный выпрямитель; б – инверторный выпрямитель

Мировое производство оборудования для дуговой сварки в 2006 г. достигло 3 млрд. долларов, из них около 70% приходится на так называемые инверторные сварочные источники питания, причем их доля, как наиболее перспективных, с каждым годом увеличивается [29].

Источники питания для дуговой сварки являются одним из важнейших составляющих сварочного производства. Качество сварного шва напрямую зависит от их характеристик. Применительно к источникам питания подход «цена-качество» сварки необъективен. Необходимо учитывать надежность

аппаратов, условия эксплуатации, требования к питающей сети, в том числе при работе от генераторов.

Широкие технологические возможности, наличие синергетики, удобство пользователя, и в то же время наличие защиты от несанкционированного доступа к регулировкам - эти требования уже обязательны для современного производства.

Стандартом ISO 9001 сварка определена, как «специальный процесс, где результаты не могут быть полностью проверены последующим осмотром и испытанием изделия. Необходимо требовать непрерывного контроля параметров процесса, чтобы гарантировать, что указанные требования выполнены». Рекомендовано иметь систему, которая регистрирует критические параметры процесса, в первую очередь энергетические и хранит информацию таким образом, что это может быть восстановлено» [30].

Все выше перечисленное предъявляет дополнительные требования к источникам питания, в первую очередь касающиеся доступности оборудования для испытаний при сертификации и аттестации, а так же наличия встроенных систем контроля и диагностики.

Для получения качественного сварного соединения источники питания дуги должны обладать свойствами, требуемыми процессом сварки и проявляющимися при высоких технико-экономических показателях. С другой стороны, как всякое электротехническое устройство, источник питания должен быть рассчитан на конкретные режимы работы, т.е. на определенную нагрузку и определенные условия эксплуатации (температуру, влажность, давление, пространственное положение сварного шва), при которых все его свойства проявляются оптимально [30].

Традиционные источники (диодные выпрямители) характеризуются очень высокой индуктивной нагрузкой, реактивной мощностью, которая не связана с выполнением полезной работы, а расходуется на создание электромагнитных полей тем самым, создавая дополнительную нагрузку на силовые линии питания.

Приводимые в различных источниках данные [31,32] по экономии электроэнергии при использовании инверторных источников по сравнению с традиционными источниками существенно разнятся 10- 80 раз.

Проведенные исследования и расчеты [31-34] свидетельствуют о существенной экономии энергопотребления в случае с применением инверторных источников питания, как с точки зрения активной энергии примерно на 25-30%, так и ее реактивной составляющей практически более чем в 10 раз. Снижение полной потребляемой мощности, и соответственно, токов, составляет порядка 100%. что означает снижение нагрузки сети, расходов на токоподводящий кабель и электрораспределительную аппаратуру. Окупаемость инверторных источников питания при сварке, только за счет экономии электроэнергии, в том числе при нахождении источника в режиме холостого хода, примерно за год компенсирует его более высокую стоимость.

Если в начале 80-х годов прошлого века переход на инверторную технику был в основном обусловлен существенной экономией электропотребления и снижения массы и габаритов, то в настоящее время, развитие инверторной технологии и микропроцессорной техники, обеспечивают возможность оптимизации и формирование сколь угодно сложных циклов сварки и форм внешней характеристики, тотального контроля за формированием, отрывом и переносом в сварочную ванну каждой капли присадочного металла и процессом плавления основного металла [30].

Инверторные источники с микропроцессорным управлением имеют возможность работы в системе синергетики с многочисленными программами, занесенными в память, которые облегчают эксплуатацию источников питания и делают их пригодными для использования не очень опытным персоналом. Системы с синергетикой поддерживают постоянные условия сварки даже при значительных колебаниях длины дуги и вылета при сварке труднодоступных участков шва, за счет программного обеспечения происходит регулировка процесса сварки так, чтобы дуга всегда наилучшим образом соответствовала условиям в текущий момент времени. Международный стандарт

ГОСТ Р МЭК 60974-1-2004 «Источники питания для дуговой сварки» является основным документом [30].

Потребителю зачастую сложно сориентироваться в широкой гамме типов сварочного оборудования и приобрести такое, которое обеспечивало бы оптимальное соотношение цены и качества. Выбор сварочного оборудования базируется либо на принципе преемственности (т. е. новое оборудование выбирается того же или близкого типа, что и эксплуатируемое на предприятии), либо осуществляется для новой номенклатуры изделий исходя из соображений субъективного характера — непосредственные испытания при сварке и практическая оценка сварочных свойств. И тот и другой путь в целом оправданы, однако в первом случае это приводит к отказу от внедрения новых перспективных образцов, а во втором — определяется конкретными условиями испытаний, качеством используемых материалов, способом подготовки образцов, квалификацией и приобретенными навыками сварщика, что в итоге может привести к принятию неверного решения [35].

Объективную информацию о сварочно-технологических свойствах (СТС) оборудования, а следовательно, и о применимости его для конкретного производства могут дать результаты испытаний. Единственным нормативным документом, регламентирующим методы и порядок таких испытаний, является ГОСТ 25616-83 [30]. Упомянутый документ предъявляет особые требования к количеству и качеству образцов для сварки и условий ее выполнения при испытаниях, а также требует наличия регистрирующей аппаратуры для контроля параметров первичной и вторичной цепей. Однако выводы, получаемые в результате испытаний, носят скорее качественный характер по количеству набранных баллов — «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», а при наличии современной регистрирующей системы полученная информация используется не в полном объеме.

Применение специализированных средств обработки экспериментальной статистической информации о динамике контролируемых параметров

позволяет получать дополнительные сведения о СТС оборудования и определять пути их улучшения.

Испытания источников питания по ГОСТ 25616-83 [30], не дают необходимой информации о преимуществах либо недостатках конкретного образца источника питания. Более эффективными могут быть сравнительные испытания нового образца источника питания с ранее применяемым образцом того же класса. Путем обработки статистических данных сравнительных испытаний можно получить численные оценки характеристик СТС (частоты коротких замыканий, средней скорости нарастания тока при коротких замыканиях, коэффициента наклона статической вольт-амперной характеристики и др.) нового оборудования и его аналога, т.е. инвертор Nebula 315 и ВД 306.

В настоящее время рядом российских и зарубежных фирм - производителей сварочного оборудования выпускаются установки, реализующие различные алгоритмы управления переносом электродного металла при РДС (ТМА), такие как Fronius, Австрия, Lincoln Electric, США, ESAB , Швеция), УКП (Технотрон, Россия), ВКЗ (ИТС, Россия) и т.д. Как правило, данные установки включают в себя быстродействующие инверторные источники питания, способные с частотой, достигающей сотен Гц, управлять параметрами режима сварки (время короткого замыкания, скорость нарастания тока во время короткого замыкания и др.). Однако, на данный момент не существует комплексной методики, которая могла бы объективно оценивать сварочные свойства оборудования, реализующего управляемый перенос электродного металла. В этой связи разработка критериев объективной оценки, а также методики оперативной оценки сварочных свойств таких установок являются актуальными задачами.

В предыдущих работах [36-39] было установлено влияние источника питания на стабильность процесса и эксплуатационные свойства при сварке сталей, однако снижение теплосодержания капле элекродного металла может оказать положительное влияние и при сварке чугуна.

1.4. Трудности сварки чугуна

В судовом машиностроении одним из основных конструкционных материалов является серый чугун, из него изготавливают дорогостоящие базовые детали дизелей и различных механизмов, от качества ремонта которых зависит долговечность узла или агрегата в целом. Основными причинами отказов чугунных деталей являются значительные статические и циклические напряжения, коррозионно-эрозионный износ, абразивный износ, работа деталей в условиях изнашивания и циклических нагрузок [40]. Разработка технологии восстановления ответственных чугунных деталей сваркой или наплавкой – одна из актуальных задач судоремонтной практики. Эта задача в целом для сварки и наплавки не только весьма сложна, но часто трудноразрешима при необходимости обеспечения высококачественного сварного соединения на уровне прочности основного металла. Чугун обладает плохой технологической свариваемостью, обусловленной тем, что металлы как наплавленный, так и околошовной зоны имеют склонность к образованию закалочных хрупких структур и трещин вследствие больших скоростей охлаждения, тепловых и усадочных напряжений. Его низкая прочность и практически полное отсутствие пластичности способствуют образованию трещин при сварке и наплавке как в наплавленном, так и в основном металле [40–44]. Правильный выбор химического состава присадочного материала, создание необходимых условий для кристаллизации сварочной ванны и последующего охлаждения соединения являются важными факторами в управлении процессом формирования структуры наплавленного металла и зон сплавления и термического влияния чугуна [42, 43]. Технология восстановления ответственных чугунных деталей сваркой или наплавкой должна обеспечивать следующие требования к качеству сварного соединения: равнопрочность основному металлу, обрабатываемость режущим инструментом, изменение размеров детали после сварки в пределах полей

допусков; постоянство качества наплавки (сварки); высокая производительность процесса.

Наиболее перспективными материалами для восстановления ответственных чугунных деталей при необходимости получения высококачественного сварного соединения являются сплавы на никелевой, медной и медноникелевой основе [40–46], так как никель и медь не образуют карбидов с углеродом. Расплавленный никель может растворять значительное количество углерода, который выделяется при охлаждении, как правило в виде графита. Никель также способствует графитизации Ni–Fe–C сплавов. Модифицированный металл на основе никеля, несмотря на значительное содержание углерода (до 1,5%), сочетает достаточную прочность с пластичностью. Такие свойства сохраняются в широком диапазоне легирования железом и в присутствии примесей (кремния, фосфора и др.), неизбежных при наплавке на чугун. Кроме того, никелевые сплавы при легировании их кремнием и бором имеют температуру плавления, близкую к температуре плавления чугуна.

2 Объект и методы исследования

Исследования проводимые в рамках выполнения ВКР состояли из теоретических и экспериментальных. Теоретические исследования, в свою очередь, включали: математический расчет размера переносимых электродных капель; определение теплосодержания электродных капель. Экспериментальные исследования состояли из лабораторных экспериментов: осциллографирование тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием; исследование воздуха рабочей зоны при РДС. Лабораторные эксперименты включали в себя исследования влияния динамических свойств источников питания, реализующих различные методы (традиционные – диодный выпрямитель, высокочастотные – инверторный выпрямитель) преобразования энергии на повышение стабильности процесса и эксплуатационные свойства сварных соединений.

2.1 Определение стабильности горения дуги при РДС

Параметры режимов сварки плавящимся электродом, такие как длительность короткого замыкания дугового промежутка ($\tau_{к.з.}$, мс), длительность цикла – период образования и переноса капли ($T_{к.з.}$, мс), значения тока (максимальное – $I_{тах}$ и минимальное $I_{тин}$, А); скорость нарастания тока ($V_{нарастания} I_{св}$ и $V_{спада} I_{св}$, А/с), являются основными для оценки стабильности тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом. При этом авторами работ [47–50] в качестве критериев стабильности предлагается выбирать среднеквадратичные отклонения длительностей короткого замыкания ($\sigma_{\tau_{к.з.}}$) и их частоты ($\sigma_{T_{к.з.}}$), а авторами работы [51] – среднеквадратичное отклонение амплитудного значения тока короткого замыкания ($\sigma_{I_{св.мах}}$) и

коэффициенту вариации скорости нарастания тока короткого замыкания ($K_{V_{I_{св.мах}}}$).

Оценку стабильности процесса сварки можно осуществлять с помощью обработки осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием от выпрямителей инверторного и диодного (рисунок 2.1), полученных с использованием осциллографа цифрового запоминающего АКИП-4122/10, дифференциального пробника Pintek Electronics DP-50, съемника current probe PR 1030 и программы OWON_Oscilloscope_2.0.8.26.



Рисунок 2.1 Экспериментальная установка осциллографирования процесса сварки

При исследовании характеристик теплопереноса в зависимости от динамических свойств источников питания использовали инверторный выпрямитель Fubag INTIG 200 SYN PLUS, реализующий метод высокочастотного преобразования энергии, или диодный выпрямитель

ВД-306Э, реализующий традиционный метод преобразования энергии (наиболее применяемый в промышленности), а также наиболее применяемые в судостроительной отрасли покрытые электроды марки ОЗЧ-4.

Поскольку большинство параметров режима сварки являются случайными величинами, авторы работ [52, 53] предлагают считать процесс сварки дискретным Марковским процессом с непрерывным временем.

Точность результата измерений повышалась путем увеличения количества отсчетов одной и той же величины. В соответствии с ГОСТ 8.207–76 процедура обработки результатов таких измерений содержит следующие этапы:

- предотвращение появления систематических погрешностей и исключение грубых выбросов;
- вычисление среднеарифметических значений:

$$x' = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}, \quad (2.1)$$

где $x_1 \dots x_n$ – результаты измерения величины, x' – среднее значение измеряемой величины;

- вычисление среднеквадратичного отклонения (самый распространенный критерий для оценки стабильности энергетических параметров режима): сварочного тока и напряжения, длительностей короткого замыкания дугового промежутка, длительностей полного цикла образования и переноса капли [100]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - x')^2 + \dots + (x_n - x')^2}{n}}, \quad (2.2)$$

где $x_1 \dots x_n$ – результаты измерения величины, x' – среднее значение измеряемой величины (формула 2.1), n – число измерений;

- вычисление коэффициента вариации параметра K_v – относительный непосредственный критерий стабильности параметра:

$$K_{vx} = \frac{\sigma}{x'}, \quad (2.3)$$

где K_{vx} – коэффициент вариации, σ – среднеквадратичное отклонение (формула 2.2), x' – среднее значение измеряемой величины (формула 2.1).

2.2 Определение влияния параметров каплепереноса на размер переносимых капель электродного металла при РДС

При изучении процесса переноса капель электродного металла принимают следующие допущения [54]: столб дуги неподвижен и соосен с электродом, а капля расплавленного металла имеет форму сегмента или шара. Приняв, что расплавленная капля на торце электрода имеет форму шарового сегмента с основанием, равным сечению электрода, массу переносимой капли можно определить по формуле [55]

$$R = \sqrt[3]{\frac{-1 \cdot \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{24 \cdot a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right) - \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{24 \cdot a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{1}{4} - \frac{1}{27^2} \cdot \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^6}}{12a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{12a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}} \quad (2.6)$$

$$\text{где } c = \frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3};$$

$$b = \frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma};$$

$\tau_{к.з.}$ – время короткого замыкания при переходе капли с торца электрода в сварочную ванну, с;

a – коэффициент $0,33 \cdot 10^{-4}$ Г/с³;

π – математическая константа, равная отношению длины окружности к длине её диаметра, иррациональное число $\pi \approx 3,14$;

γ – плотность жидкого металла, г/мм³;

R – радиус кривизны поверхности капли, мм;

r_0 – радиус электродного стержня, мм.

Таким образом, формула (2.6) показывает, что чем меньше время короткого замыкания дугового промежутка, тем меньше радиус капли

переносимого электродного металла, что согласуется с данными работы [56]:
 $D_k = 0,2\tau_k$.

Объем переносимой капли электродного металла, имеющей форму шарового сегмента с основанием, равным сечению электрода, можно определить по формуле [57]

$$V = [2R^3 + (2R^2 + r_0^2)\sqrt{R^2 - r_0^2}] \cdot 10^{-3}, \text{ мм}^3. \quad (2.7)$$

Площадь активной поверхности капли расплавленного электродного металла можно найти по формуле [58]

$$S = 2\pi R((R - \sqrt{R^2 - r_0^2}) + r_0), \text{ мм}^2. \quad (2.8)$$

2.3. Методика определения теплосодержания электродных капель при сварке

Расчет энергии, вложенной в каплю электродного металла в зависимости от энергетических характеристик источника питания, можно осуществить, используя данные осциллографирования дугового промежутка.

Количество теплоты, потраченной на нагрев, плавление и перенос капли электродного металла, можно оценить, произведя расчет температуры перегрева капель при их переходе через дуговой промежуток с короткими замыканиями по формуле [59]:

$$\Delta T_k = \frac{1}{c} \left(\frac{q_1}{a \cdot \tau_{к.з}^2} - \frac{1}{K} \right), \quad (2.9)$$

где ΔT_k – превышение средней температуры жидкого металла на электроде над температурой плавления,

$^{\circ}\text{C}$; c – средняя теплоемкость жидкого металла, Дж/г $\cdot^{\circ}\text{C}$,

$c = 0,84$ Дж/г $\cdot^{\circ}\text{C}$; q_1 – тепловая мощность дуги на торце электрода, Дж/с;

K – коэффициент, характеризующий массу металла, которая может быть расплавлена единичной энергией, г/Дж,

$K = 1,5 \cdot 10^{-3}$ г/Дж; $\tau_{к.з}$ – время пребывания капли на торце электрода, с;
 a – коэффициент $0,33 \cdot 10^{-1}$ г/с³.

Существующие изменения теплосодержания капель электродного металла при использовании источников питания с энергетическими характеристиками окажет влияние и на картину распределения тепловых полей по свариваемому изделию.

2.4 Методика определения качественной и количественной составляющих сварочного аэрозоля

Исследование санитарно-гигиенических характеристик воздуха рабочей зоны проводили на специализированной аппаратуре с привлечением сотрудников ФГАОУ ВО "Дальневосточный Федеральный Университет".

Разовое определение концентраций вредных веществ должно производиться при непрерывном или последовательном отборе проб ТССА и ГССА в течение 15-минутного стандартного отрезка времени. Если чувствительность методов анализа позволяет в течение 15 минут отобрать не одну, а несколько последовательных проб, то для сопоставления с величинами ПДК концентрацию того или иного наиболее опасного и характерного вредного вещества, выделяющегося в составе ТССА и/или ГССА, следует находить как среднюю величину из результатов измерений, выполненных за указанный период времени.

Методика определения санитарно-гигиенических характеристик воздуха рабочей зоны заключалась в следующем:

- 1) определение температуры и влажности в помещении с помощью психрометра перед проведением каждого отбора воздуха;

2) определение составляющей СА, используя газоанализатор (до сварки, во время сварки, после сварки в течение 10 минут).

Время работы аспиратора: 15 минут при определении ТССА и 5 минут – ГССА при каждом отборе пробы, протягивая за это время 0,2 м³ воздуха. Количество образующегося сварочного аэрозоля при сварке определяли по разности весов фильтров, через которые осуществлялось протягивание воздуха:

$$P = \frac{M_1 - M_2}{V},$$

где M_1 – масса фильтра после сварки и контрольного времени, г;

M_2 – исходная масса фильтра, г;

V – объем протянутого через фильтр воздуха, м³.

В дальнейшем проводилось определение отдельных компонентов СА по методикам, представленным в таблице 2.1.

Используемое оборудование для проведения исследований составляющих компонентов воздуха рабочей зоны сварщика РДС: газоанализатор «ЭЛАН» – предназначен для измерения массовой концентрации СО; аспиратор – для отбора проб воздуха типа М822.

Таблица 2.1 – Методики определения компонентов сварочного аэрозоля

Наименование определяемого элемента	НД на метод определения
Сварочный аэрозоль	МУ № 4945-88
Двуокись азота	МУ № 1638-77
Фтористый водород	МУ № 2246-80
Хромовый ангидрид	МУ № 4945-88
Оксид хрома	МУ № 4945-88
Марганец	МУ № 4945-88
Углерода оксид	«ЭЛАН-СО-50»

3 Результаты проведенного исследования

3.1 Стабильность процесса РДС при использовании источников питания различных типов

Согласно п. 2.1 провели исследования о влиянии скорости изменения основных энергетических параметров одного микроцикла режима сварки источника питания на стабильность процесса наплавки по параметрам режима, приведенным в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры режимов экспериментальной наплавки

Тип источника питания – выпрямитель	Марка электродов	Средние значения параметров режима (осциллограф АКПП-4122/10)
Диодный	ОЗЧ-4	Ток $84,9 + 2,7$ А Напряжение $21,9 + 0,6$ В Расчетная скорость сварки $0,25$ м/мин
Инверторный		Ток $85,6 + 2,5$ А Напряжение $21,2 + 0,6$ В Расчетная скорость сварки $0,25$ м/мин

Анализ полученных результатов (таблица 3.1) показывает увеличение числа коротких замыканий дугового промежутка при идентичном значении параметров режима наплавки, свидетельствующее о преимуществах инверторного выпрямителя перед диодным выпрямителем, выражающиеся в сокращении периода между короткими замыканиями, что может свидетельствовать о переносе электродного металла более мелкими каплями.

Кроме того, наряду с показателями динамических свойств источников питания большое значение для обеспечения стабильности плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну имеют и применяемые для сварки и наплавки материалы.

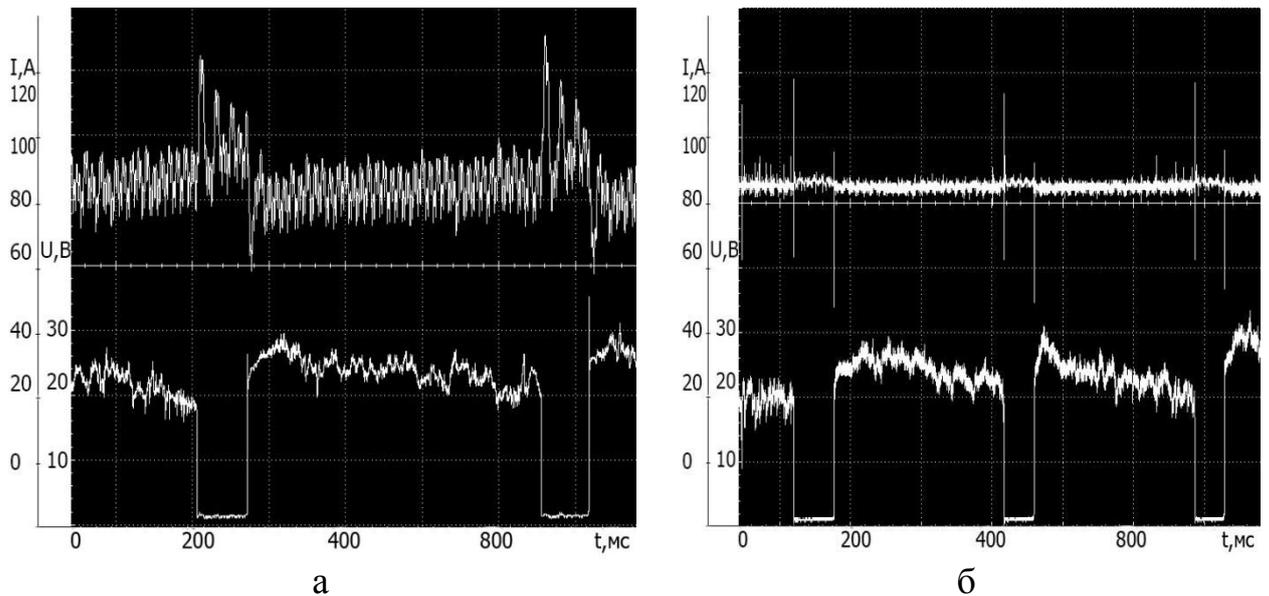


Рисунок 3.1 Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм):
а – диодный выпрямитель; б – инверторный выпрямитель

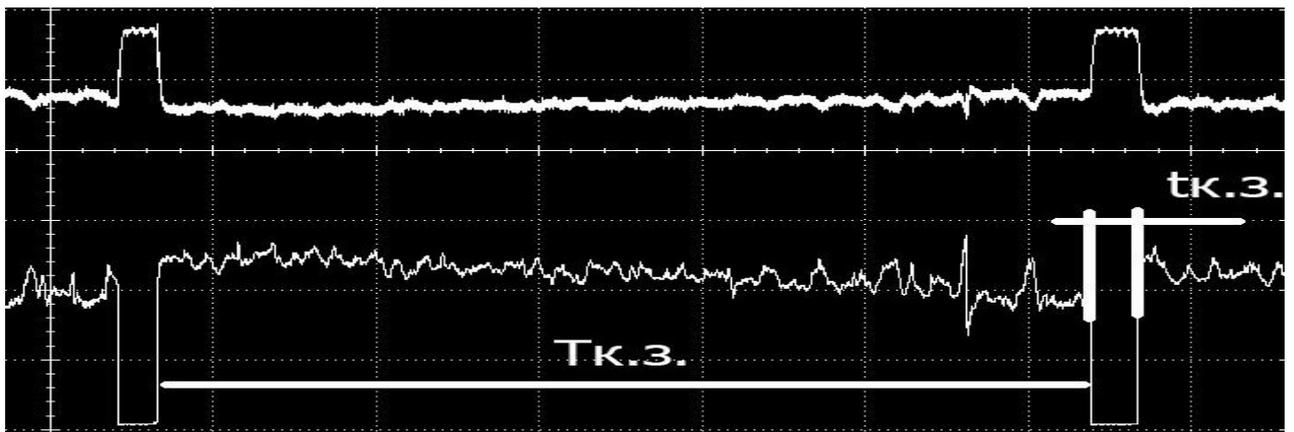


Рисунок 3.2 Схема определения параметров каплепереноса электродного металла

Различные картины изменения тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием, представленные на рисунке 3.1 можно объяснить с позиций более высоких качественных показателей выпрямленного напряжения. Частота преобразования у источника инверторного питания достигает до 200 кГц, в то время как у диодного выпрямителя – до 300 Гц, что оказывает влияние на коэффициент пульсации напряжения у инверторного выпрямителя который достигает 25 %, а у традиционного диодного выпрямителя – 65 % [45]. Учитывая вышесказанное, а также то, что при тепловой постоянной времени дуги $10^{-5} \dots 10^{-3} \text{с}$ в более коротком интервале

провала тока межэлектродный промежуток не успевает существенно остыть и деионизироваться, поэтому использование электродов с меньшим количеством ионизирующих элементов в покрытии при сварке от инверторного выпрямителя – более целесообразно, в связи с более стабильным процессом.

В работах [56, 59, 69] установлено, что уменьшение размеров переносимых капель электродного металла способствуют бездефектному получению швов, повышению пластичности, а именно ударной вязкости при низких температурах. Осциллограммы тока и напряжения в сварочной цепи (рисунок 3.1, 3.2), при использовании источников питания с различной формой преобразования энергии, были проанализированы и статистически обработаны.

Анализ результатов, приведенных в таблице 3.1, 3.2 показывает уменьшение времени перехода капли и увеличение количества коротких замыканий при использовании инверторного выпрямителя. То есть происходит более мелкокапельный перенос электродного металла [24, 26]. Это предположение подтвердят или, опровергнут расчеты по разработанной методике определения геометрических размеров переносимых капель расплавленного электродного металла, описанной в п. 2.2.

Таблица 3.2 – Результаты статической обработки параметров переноса капель электродного металла

Параметры	Тип источника питания	Марка электрода
		ОЗЧ-4
Длительность КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс± Среднеквадратичное отклонение длительности КЗ, $\sigma_{\tau_{к.з.}}$, мс	Диодный	61,3±9,4
	Инверторный	37,1±11,8
Длительность цикла $T_{к.з.}$, мс± Среднеквадратичное отклонение длительности цикла $\sigma_{T_{к.з.}}$, мс	Диодный	750±295
	Инверторный	310,2±34,9

Полученные осциллограммы процессов сварки (рисунок 3.1, 3.2) при использовании источников питания с различной формой преобразования энергии были проанализированы с учетом амплитудных значений параметров

режима каплепереноса (рисунок 3.4). Полученные результаты представлены в таблице 3.3.

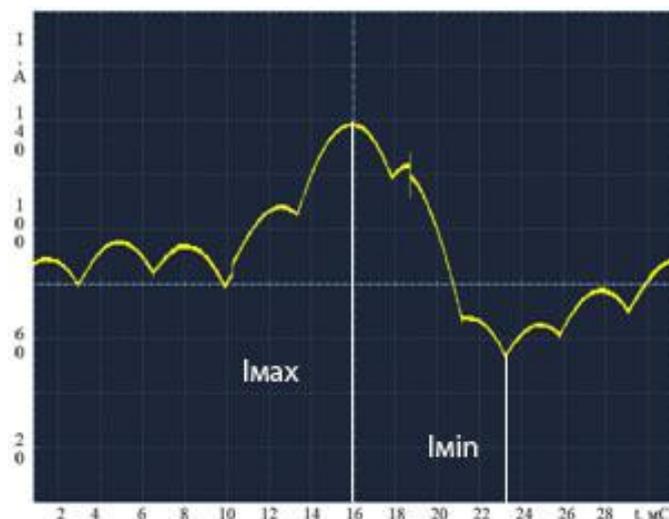


Рисунок 3.3 Схема определения амплитудных значений параметров режима сварки (сварочный ток, А)

Таблица 3.3 – Результаты статистически обработанных осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием

Параметры	Тип источника питания – выпрямитель	Марка электрода
		ОЗЧ-4
$I_{\text{тах}}, \text{ А}$	Диодный	127±6,5
	Инверторный	88,1±0,9
$I_{\text{тин}}, \text{ А}$	Диодный	58,28±1,8
	Инверторный	83±1,1
$\frac{I_{\text{о}}}{I_{\text{мах}}} \rightarrow 1$	Диодный	0,68
	Инверторный	0,97

Анализ результатов, приведенных в таблицах 3.2, 3.3, подтверждает изменение характеристик массопереноса, в том числе частоты и размеров переносимых капель электродного металла, путем сокращения длительности горения дуги, стабилизации амплитуды тока короткого замыкания, а также увеличения скоростей нарастания и спада тока короткого замыкания.

Применение инверторных источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами по сравнению с традиционно применяемыми

диодными выпрямителями обеспечивает повышение стабильности процесса сварки и эффективности тепломассопереноса, в том числе:

- уменьшение времени короткого замыкания переносимыми каплями сварочного электрода и сварочной ванны в среднем на 40 %, что повышает эффективность перехода химических элементов с электрода в металл шва;
- уменьшение средней длительности горения дуги на интервалах плавления электрода и периода формирования капель электродного металла в среднем на 57 %, что способствует снижению перегрева свариваемого изделия.

3.2. Влияние типа источника РДС на параметры переносимых электродных капель

Используя методику, описанную в разделе 2.3, математическую формулу (2.6) и учитывая параметры переноса капель электродного металла (таблица 3.2), рассчитали геометрические размеры переносимых капель электродного металла, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Среднестатистические расчетные данные массы и радиуса переносимых капель электродного металла

Источника питания	Марка электродов	$\tau_{к.з.}, 10^{-3} \text{ с}$	Масса капли $m, \text{ г}$	Площадь поверхности капли $S, \text{ мм}^2$
Диодный выпрямитель	ОЗЧ-4	$61,3 \pm 9,4$	$7,49 \pm 0,03$	$7,68 \pm 1,18$
Инверторный выпрямитель		$37,1 \pm 11,8$	$4,65 \pm 0,04$	$1,67 \pm 1,38$

Анализ данных таблицы 3.5 позволил установить, что использование инверторного выпрямителя позволяет уменьшить объем переносимой одной

капли электродного металла на 48 %, что обеспечивает более стабильный мелкокапельный перенос, особенно при использовании покрытых электродов марки ОЗЧ-4.

Для подтверждения адекватности полученных результатов теоретического расчета, представленного в таблице 3.5, были обработаны кадры высокоскоростной киносъемки (программами КОМПАС и ВЕГАС) рисунок 3.4, которые удостоверяют полученные расчетные данные, представленные в таблице 3.4.



Рисунок 3.4 Кадр кинограммы переноса электродного металла при РДС (инверторный выпрямитель, электроды марки ОЗЧ-4)

3.3. Изменения теплосодержания переносимых электродных капель в зависимости от типа источника питания

С помощью методики, описанной в разделе 2.4, и учитывая параметры переноса капель электродного металла таблица 3.2, была использована программа для ЭВМ [61], позволяющая оценить температуру перегрева электродных капель при РДС рисунок 3.5. Расчетные данные представлены в таблице 3.5.

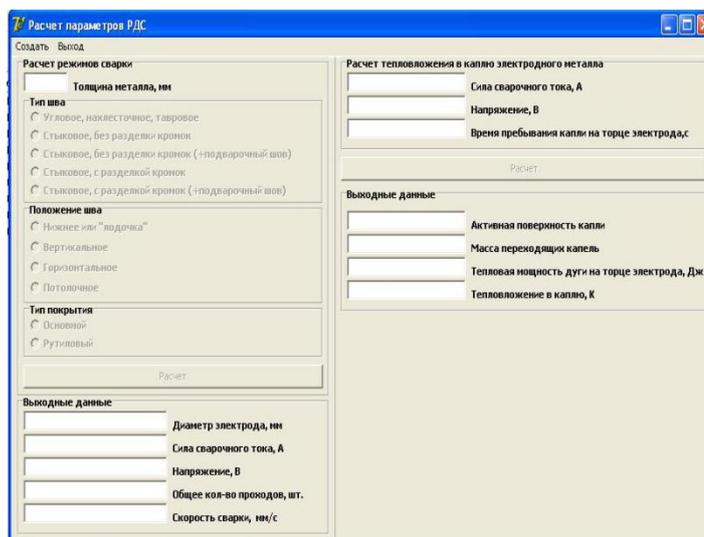


Рисунок 3.7 Окно программы для ЭВМ «Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС»

Таблица 3.5 – Температура перегрева капель электродного металла [62, 63]

Тип источника питания – выпрямитель	Марка электродов	$\tau_{к.з.}, 10^{-3}с$	$\Delta T_{к}$ средние, $^{\circ}C$
Диодный	ОЗС-4	61,3±9,4	778
Инверторный		37,1±11,8	565

Различное теплосодержание капель электродного металла (таблица 3.6) и время пребывания капли на торце электрода (таблица 3.2) влечет за собой изменение в размерах переносимых капель. Капли разного размера имеют разную активную поверхность, взаимодействующую со шлаком и атмосферой, а соответственно, и полноту протекания металлургических реакций [25].

3.4 Санитарно-гигиенические характеристики воздуха рабочей зоны сварщика при использовании источников питания с различными динамическими свойствами

В процессе дуговой сварки происходит взаимодействие расплавленного

металла со шлаком и газами. При этом образуется сварочный аэрозоль, состоящий из твердых частиц и газовой фазы. В результате взаимодействия сварочного аэрозоля и оптического излучения на организм возможны профессиональные заболевания сварщиков.

Результаты исследования составляющих компонентов сварочного аэрозоля, образующихся при РДС (вытяжная вентиляция выключена) с применением различных типов источника питания, представлены в таблице 3.6.

Из таблицы 3.6 видно, что при использовании инверторного выпрямителя наблюдаются меньшие концентрации сварочного аэрозоля и марганца, т. е. снижается риск токсичного отравления и воспаления слизистой оболочки дыхательных путей сварщика и вспомогательных рабочих. Инверторный выпрямитель ограничивает ток короткого замыкания, что обеспечивает меньшее выгорание легирующих элементов.

Таблица 3.6 – Результаты анализа выделений пыли, газов и других примесей при РДС с использованием источника питания с различными энергетическими характеристиками

Условия отбора проб	Наименование определяемого элемента	Единица измерения	Источник питания – выпрямитель		Предельно допустимая концентрация
			диодный	инверторный	
Материалы ОЗЧ-4 Ø 3 мм, СЧ-35	Оксид Fe	мг/м ³	13,34	12,03	20,0
	Марганец		0,48	0,3	2,0
	Фтористый водород		1,97	1,6	0,5
	Хром шести валентный		0,18	0,09	
	Сварочный аэрозоль		14	12	не регламентируется

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время на всех предприятиях России одна из важнейших проблем - это энерго - и ресурсосбережение, связана, в том числе, и со сварочными работами.

Из опыта Восточной и Западной Европы известно, что стоимость сварочных работ при ручной дуговой сварке может быть разделена на следующие части:

- 35% стоимость электродов;
- 35% оплата труда сварщиков;
- 2% оборудование и принадлежности (стоимость св. аппарата, кабелей и пр.);
- 28% стоимость электроэнергии.

Проблема повышенного потребления энергии крупными промышленными предприятиями существует давно, а в связи с постоянным увеличением роста тарифов на потребляемую электроэнергию, это накладывает отпечаток и на себестоимость выпускаемой продукции, что ведет к снижению конкурентной привлекательности по сравнению с отечественными и зарубежными конкурентами - производителями, поэтому предприятиям требуется искать всё новые пути к решению этой проблемы.

Современное сварочное оборудование, построенное на базе инверторных источников, в отличие от традиционных выпрямителей, позволяет получить не только качественную сварку (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания, уменьшение зоны термического влияния), но и существенную экономию электроэнергии за счет высокого КПД.

Для оценки снижения потребления электрической энергии и эффективности замены наиболее применяемого источника питания ВД-306 на

инверторный источник питания нового поколения Fubag INTIG 200 SYN PLUS произвели расчет экономической целесообразности такой замены.

Таблица 4.1 - Технические показатели источников питания ручной дуговой сварки плавлением

Параметр	ВД-306	Fubag INTIG 200 SYN PLUS
Максимальный ток, А	315	180
Максимальная мощность в нагрузке (P2), кВт	9,77	10
КПД, %, не менее	70	40
Потребляемая мощность при максимальной нагрузке, кВА	24	7,9

Стабильность процесса сварки оценивали по осциллограммам тока и напряжения представленных на рисунке 3.1. При использовании цифрового инверторного источника (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 5 А) осциллограммы показывают более стабильный процесс (рисунок 3.1, б), чем от диодного выпрямителя (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 69 А) (рисунок 3.1, а), тем самым происходит меньше пиковая нагрузка на электрические сети [5].

Различные технические характеристики источников питания и осциллограммы процессов сварки (рисунок 3.1) позволяют предположить и различное потребление электрической энергии. Для проверки этого предположения был произведен расчет ориентировочной стоимости электроэнергии потребляемой за год работы на одном сварочном посту в режиме ручной сварки электродом.

При расчетах было условно принято количество рабочих дней в году - 247, время непрерывной работы источника - 70%, что соответствует 750 часам, а стоимость 1 кВА/час -2,5 руб.

Получается, что при покупке инверторного источника мы тратим на 5000 руб. больше, но за один год мы экономим на электроэнергии при односменной работе -11428 руб. и 22856 руб. – при двухсменной работе на один пост (см. таблицу 4.1). Количество же сварочных постов на промышленных предприятиях г. Юрги от 10 до 50 штук - так что годовая экономия электроэнергии становится довольно ощутимой.

Таблица 4.2 - Экономические показатели источников питания дуговой сварки плавлением

Оборудование	Стоимость, руб	Потребляемая мощность, кВа	Стоимость электроэнергии за 1 год работы, руб одно/двухсменная работа
Выпрямитель ВД-306	25000	24	17028/34057
Инвертор Fubag INTIG 200 SYN PLUS	30000	7,9	5600/11200

5 Социальная ответственность

Исследуемая в данной работе сварочная дуга, получаемая при использовании источников питания с различными динамическими характеристиками (трехфазный выпрямитель ВД-306, выпрямитель инверторного типа Fubag INTIG 200 SYN PLUS), относится к области электродуговой сварки, поэтому в работе приводится анализ вредных и опасных производственных факторов, характерных именно для этой сферы производственной деятельности.

В процессе сварки, сварщик подвержен воздействиям комплекса опасных и вредных производственных факторов различной природы: излучение, сварочные аэрозоли, искры и брызги расплавленного металла и шлака, электромагнитные поля, газы, сильный акустический эффект. Все вышеперечисленные факторы вызывают болезни либо отклонения в здоровье человека.

5.1 Производственная безопасность при сварке

Электрическая сварка металлов сопровождается наличием вредных и опасных производственных факторов, к числу которых относятся:

- высокая температура поверхностей материалов и оборудования;
- большая температура воздуха в зоне работы;
- чрезмерная величина напряжения электрической цепи, причем её замыкание может пройти через человека;
- высокая яркость света;
- высокий уровень ультрафиолетового излучения;
- много пыли и загазованности воздуха рабочей зоны;

- брызги, искры и выброс расплавленного металла;
- высокий уровень ионизирующего излучения в зоне работы сварщика;
- высокий уровень шума при использовании прямоугольного переменного тока высокой частоты.

5.2 Анализ вредных и опасных факторов при выполнении сварочных работ

Электродуговая сварка должна выполняться в соответствии с требованиями по ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда, Работы электросварочные». Требования безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 Ф3123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность». Общие требования по ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность». Общие требования по ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные». А также в соответствии с санитарными правилами при сварке, резке и наплавке металлов, которые утверждены министерством здравоохранения.

5.3 Излучения

Электрическая сварочная дуга — сильный источник лучистой энергии. Электрическая дуга излучает невидимые инфракрасные, видимые световые и невидимые ультрафиолетовые лучи. Являясь составными частями одного лучевого потока, эти лучи вызывают различные заболевания. Невидимые инфракрасные лучи, особенно при длине волны от 0,00076 до 0,0015 мм и длительном облучении, вызывают общую потерю зрения. Это заболевание

носит название катаракта хрусталика. При правильном подборе защитных стекол инфракрасные лучи полностью поглощаются. Видимые световые лучи, имея длину волны от 0,00076 до 0,0004 мм, при кратковременном облучении действуют ослепляюще, а при длительном вызывают ослабление зрения. Это объясняется тем, что яркость видимых лучей электрической дуги больше примерно в 10 000 раз яркости лучей, которые могут быть переносимы без напряжения незащищенным глазом. Ультрафиолетовые лучи, имея длину волны от 0,0004 до 0,00022 мм, даже при сравнительно кратковременном облучении (в течение нескольких 72 минут) вызывают заболевание глаз. Это заболевание носит название светобоязнь и сопровождается острой болью и слезотечением. Светобоязнь при нормальном исходе проходит через 2—3 дня, не вызывая никаких последствий. Облучение ультрафиолетовыми лучами в течение 1—3 час. вызывает ожог кожи. Ожог кожи наблюдается, главным образом, у сборщиков и у работающих вблизи мест сварки. У сварщиков тело защищается во время работы одеждой, лицо и шея щитком, а руки рукавицами. Для предупреждения ожогов кожи и заболевания глаз под действием лучей электрической дуги необходимо предусматривать, помимо индивидуальных средств защиты, коллективные средства. Эти общие средства должны надежно предохранять от лучей лиц, окружающих сварщика. К ним относятся:

- 1) кабины с дверями, закрытыми брезентовыми занавесками, в случае, когда сварочные работы ведутся на одном месте;
- 2) переносные щиты и ширмы, если сварочные работы носят временный характер.

5.4 Сварочные аэрозоли

Наиболее опасным фактором при проведении сварочных работ является выделение сварочного аэрозоля в рабочей зоне. Так, по статистике, более

половины профессиональных заболеваний сварщиков - это заболевания органов дыхания и различные патологии, связанные с вдыханием сварочного аэрозоля. Сварочный аэрозоль представляет собой совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, обмазки электродов, содержащего порошок проволоки или флюсов. Его состав зависит от состава сварочных и свариваемых материалов. В основном сварочный аэрозоль состоит из железа и его окислов, но в него могут также входить такие вещества и их соединения, как марганец, хром, никель, алюминий, медь, цинк, фтор, кремний, азот и другие. Из-за собственных маленьких размеров (которые могут составлять менее 1 мкм) сварочный аэрозоль беспрепятственно проникает вглубь отделов легких и частично остается в их стенках, а далее всасывается в кровь. Если сварочный аэрозоль содержит значительное количество марганца, то, распространяясь по крови в организме, этот элемент может вызывать тяжелейшее заболевание, то есть марганцевую интоксикацию. При этом обычно страдает центральная нервная система, и изменения в организме носят необратимый характер. В настоящее время установлено, что компоненты сварочного аэрозоля могут увеличивать риск возникновения онкологических и сердечнососудистых заболеваний, а также могут уменьшить длительность жизни человека.

В соответствии с ГОСТ 12.3.003—75 средства индивидуальной защиты органов дыхания следует применять при отсутствии местных отсосов. В некоторых случаях местные вытяжные устройства не могут обеспечить требуемых параметров воздушной среды, поэтому также необходимо применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Когда концентрации газов в зоне дыхания невелики, можно применять противопылевые респираторы. Практика показывает, что ткань респираторов можно применять для защиты от микробных и нетоксических пылей. Ткань отличается хорошими пылезадерживающими свойствами, обладает малой массой и небольшим сопротивлением дыханию.

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

В таблице 5 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей.

Таблица 5.1 - Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДГ, 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

5.5 Электрический ток

Несмотря на сравнительно низкое напряжение источников сварочного тока при электродуговой сварке, возможно поражение работающих электрическим током. При этом поражение может быть даже смертельным.

В связи с этим при электродуговой сварке необходимо строго выполнять правила техники безопасности в отношении защиты от поражения электрическим током. Основные пункты этих правил следующие:

-сварочные провода на всей длине должны иметь надежную изоляцию. Их присоединение к контактным болтам клеммных досок источников сварочного тока необходимо производить с помощью наконечников;

-электрододержатель должен быть снабжен изолированной рукояткой. Место крепления сварочного провода к держателю также должно быть надежно изолировано. Особенно тщательно следует изолировать части электрододержателя при работе в труднодоступных, а также в сырых местах и при повышенной температуре окружающего воздуха;

-корпус мотора сварочной машины и кожух сварочного трансформатора должны быть подключены к общей сети заземления медным проводом сечением не менее 6 мм² или стальной шиной сечением не менее 12 мм². Кроме того, у сварочного трансформатора кожух должен быть соединен с магнитопроводом медной шиной сечением не менее 6 мм². Медная шина к магнитопроводу крепится пайкой мягким припоем. К кожуху трансформатора шина крепится болтом для заземления;

-сварщик не должен самостоятельно производить присоединение сварочной установки к силовой сети, постановку плавких вставок на щите силовой сети, отключать сварочную установку от сети, а также производить ремонт подключенной к сети установки. Все эти работы должны выполняться электромонтерами с соблюдением общих электротехнических правил для силовых установок;

-спецодежда сварщика должна быть сухой и исправной. Куртка, брюки, фартук и рукавицы должны быть из брезента или сукна. Ботинки или кожаные сапоги должны иметь кожаную подошву, прикрепленную деревянными гвоздями. Резиновые подошвы ботинок и сапог должны быть приклеены путем горячей вулканизации или клеем;

-во время работы сварщик должен находиться на резиновом коврике, сухих деревянных досках, сухом асбесте или другой изоляционной подкладке;

-при работе в сухих помещениях лампы местного электрического освещения должны питаться током с напряжением не выше 36 В, а в сырых помещениях и закрытых сосудах не выше 12 В;

-при сильном поражении электрическим током, когда пострадавший не подает признаков жизни, необходимо до прихода врача делать искусственное дыхание до тех пор, пока пострадавший не очнется. Для этого пострадавшего укладывают на спину, под лопатки подкладывают мягкий сверток так, чтобы голова была немного ниже туловища. Ворот, пояс должны быть расстегнуты, рот раскрыт, язык вытянут. При этом челюсти необходимо разжать куском дерева, деревянной рукояткой инструмента, куском текстолита. После этого

оказывающий помощь становится со стороны головы пострадавшего берет руки около локтей, отводит их назад и в этом положении удерживает 2—3 секунды (вдох). Затем руки ведут к груди, прижимают к ней, выдерживают в этом положении 2—3 секунды (выдох), снова отводят назад, повторяя ритмично указанные движения.

Выполнение указанных выше пунктов правил техники безопасности позволяет предохранить работающих от поражения электрическим током. При сварочных работах необходимо всегда помнить, что напряжение в сварочной цепи (особенно при холостом ходе) опасно для жизни человека. Эта опасность возрастает в случае, когда кожа человека влажная или повреждена.

5.6 Шумы и вибрации

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-2014 и санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых по линейной характеристике шумомера в активных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 2000, 4000, 8000Гц.

Борьба с вибрациями должна происходить в самом источнике возникновения. Это происходит при конструировании, а также изготовлении оборудования. Снижение уровня вибраций может быть достигнуто виброгашением, которое чаще реализуется путем установки вибрирующих агрегатов на самостоятельные виброгасящие основания (фундамент). Также используют динамическое гашение колебаний, вибродемпфирование и изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- Изоляции источников шумов;
- Проведения акустической обработки помещения;
- Создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;
- Защита от шумов - заключение вентиляторов в защитный кожух.

5.7 Освещение

Сварщикам приходится выполнять операции, различающиеся по точности зрительной работы: разметку, сборку, чтение чертежей, сварку, контроль сварных соединений и др. Наличие источников повышенной яркости вызывает необходимость частой переадаптации зрения: каждый раз при переходе от вспомогательных операций, выполняемых без щитка, к сварке, выполняемой обязательно со щитком.

Создание высоких уровней освещенности мест сварки (порядка десятков тысяч люкс) с тем, чтобы все операции можно было выполнять со щитком, экономически не выгодно и практически сложно. Уровни освещенности для сварочных работ установлены в соответствии с действующими нормативными документами для люминесцентных ламп 150 лк, а для ламп накаливания 50 лк с учетом наличия в поле зрения самосветящихся элементов.

Характер технологических операций в лаборатории (работа на нефиксированных местах) определяет целесообразность создания системы общего освещения, локализованного или равномерного общего использованием переносных светильников местного освещения. С учетом возможности использования газоразрядных источников света целесообразно повысить уровни освещенности при электросварочных работах до 500 лк при общем и местном освещении и до 300 лк при одном общем освещении.

Светильники, окна и световые фонари необходимо очищать по мере загрязнения (не реже одного раза в три месяца).

Окраску стен целесообразно выполнять специальными красками, обладающими высоким коэффициентом отражения для видимой части спектра и низким коэффициентом — для ультрафиолетовых лучей.

Правильно спроектированное освещение в производственных помещениях обеспечивает хорошую освещенность рабочей поверхности, а также рациональное направление света, при этом отсутствуют резкие тени и блики на поверхностях. Неправильное устройство освещения в производственном помещении может затруднить работу, вследствие чего повышается утомляемость, снижается производительность труда, а также это может стать причинами травматизма и глазных заболеваний. Если светильники и проводки подобраны неправильно, то это может стать причиной пожара.

5.8 Микроклимат

На производственный микроклимат установлены нормы системой стандартов безопасности труда по ГОСТу 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий 79 учитывают время года и характер производственного помещения. Нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Па согласно СНиП 2.2.4. 548-96 см. в таблице 6.

Таблица 5.2 - Нормы метеорологических условий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °С						Теплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °С					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Тем пера тура возд уха, °С	Отн осит ельн ая влаж ност ь, %	Скор ость дви жен ия возд уха, м/с	Тем пера тура возд уха, °С	Отн осит ельн ая влаж ност ь, %	Скор ость дви жен ия возд уха, м/с	Тем пера тура возд уха, °С	Отн осит ельн ая влаж ност ь, %	Скор ость дви жен ия возд уха, м/с	Тем пера тура возд уха, °С	Отн осит ельн ая влаж ност ь, %	Скор ость дви жен ия возд уха, м/с
22- 24	40- 60	Не боле е 0,1	20- 25	15- 75	Не боле е 0,1	23- 25	40- 60	Не боле е 0,1	21- 28	15- 75	0,1- 0,2

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточновытяжной. 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».

5.9 Экологическая безопасность

Под экологической безопасностью понимают комплекс организационнотехнических мер, направленных на обеспечение соответствия природоохранной деятельности предприятия нормативным требованиям. В свете повышения уровня экологической ответственности безопасность предприятия для окружающей среды и населения в известной степени определяет его конкурентоспособность.

В лаборатории используются люминесцентные лампы, которые содержат в себе опасные для организма человека вещества. Поэтому данные лампы следует утилизировать на специализированные предприятия.

А также в лаборатории скапливается бытовой мусор, который необходимо вывозить для утилизации. Для этого необходимо составлять договоры на вывоз бытового мусора.

Так как работать приходится с металлом, то необходимо сдавать остатки металла в металлолом. Из-за выделения вредных веществ при сварке, необходимо использовать вентиляцию.

5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Сварщик и уборщик обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться. Применение инвентаря пожаротушения для других целей запрещается.

Во время работы нельзя допускать попадания искр расплавленного металла и выбрасывать электродные огарки на сгораемые конструкции и материалы. Для огарков необходимо иметь несгораемый ящик.

В помещениях, где производят сварку, запрещается хранить сгораемые и огнеопасные материалы. Если в помещении применяют (или ранее применяли) растворители и другие легкосгораемые воспламеняющиеся материалы, то сварку можно производить только с разрешения заведующего лабораторией и по согласованию с пожарной охраной.

На сварочном посту в лаборатории, опасными факторами пожара являются: открытый огонь (сварочная дуга, пламя газовой сварки и резки); искры и частицы расплавленного металла, которые возникают при электросварке и резке; повышенная температура изделий, которые подвергаются сварке и резке.

Травмы от пожаров могут возникнуть от воспламенения горючих материалов, находящихся вблизи мест производства сварочных и газорезательных работ, а также от неисправного состояния электрической проводки.

Причинами пожаров технического характера на месте проведения сварочных работ являются: неисправность электрооборудования (короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления); плохая подготовка оборудования к ремонту; несоблюдение графика планового ремонта; износ и коррозия оборудования и т. д. Причинами пожаров организационного характера являются: небрежное отношение с открытыми источниками огня, неправильное хранение пожароопасных веществ; несоблюдение правил пожарной безопасности и т. д.

К организационным мероприятиям относятся: обучение сварщика противопожарным правилам, проведение бесед, инструкций, организация добровольных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности.

К эксплуатационным мероприятиям относятся; правильная эксплуатация, профилактические ремонты, осмотры и испытания сварочного оборудования и устройств и т. д.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных норм и правил при устройстве и установке сварочного оборудования, систем вентиляции, подвода электропроводки, защитного заземления, зануления и отключения.

К режимным мероприятиям относятся: запрещение курения в неустановленных местах, проведение сварочных и других огневых работ в пожароопасных местах.

Пожарную технику согласно ГОСТ 12.4-009—83, предназначенную для предотвращения пожаров на объектах, подразделяют на следующие группы, пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы); установки пожаротушения; установки пожарной сигнализации; огнетушители; пожарное оборудование; пожарный ручной инвентарь; пожарные спасательные устройства.

К ручным огнетушителям относятся пенные, углекислые, углекислотнобромэтиловые и порошковые.

Огнетушитель химический пенный ОХП-Ю предназначен для тушения пожаров химической пеной, которая образуется в результате воздействия щелочной и кислотной частей заряда.

Огнетушитель ручной углекислотный ОУ-2 предназначен для тушения очага горения различных веществ (за исключением тех, которые могут гореть без доступа воздуха) и электроустановок, находящихся под напряжением.

Для приведения в действие раструб огнетушителя направляют на очаг горения и поворачивают маховичок вентиля до упора.

Углекислотно-бромэтиловые огнетушители предназначены для тушения горячих твердых и жидких металлов, а также электроустановок, находящихся под напряжением.

Порошковые огнетушители предназначены для тушения небольших очагов загораний щелочных металлов, кремнийорганических соединений.

5.11 Организационные вопросы обеспечения безопасности.

К электросварочным работам под руководством заведующего лабораторией допускаются учащиеся не моложе 15 лет, прошедшие инструктаж по охране труда, медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья. Длительность рабочего дня сварщика при работе в особо вредных условиях ограничена шестью часами. Сварщикам предоставляется дополнительный отпуск.

Обучающиеся должны соблюдать правила внутреннего распорядка учебного заведения, расписание занятий, установленный режим труда и отдыха.

Электросварочные работы производятся в присутствии мастера производственного обучения, под его постоянным руководством и наблюдением.

Допустимая продолжительность работ в лаборатории не превышает 3ч в день.

При работе на электросварочном оборудовании необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

О несчастном случае следует уведомить заведующего лабораторией, который сообщает об этом администрации учреждения.

При неисправности оборудования необходимо прекратить работу и поставить об этом в известность мастера производственного обучения.

В процессе работы следует соблюдать правила ношения спецодежды, пользования индивидуальными и коллективными средствами защиты, соблюдать правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

При невыполнении или нарушении инструкции по охране труда учащиеся привлекаются к ответственности, а со всеми обучающимися проводится внеплановый инструктаж по охране труда.

Сварщик, приступая к работе, должен проверить наличие и исправность оборудования, заземляющих устройств, защитных ограждений и приспособлений.

Сварщик обязан содержать в чистоте и порядке рабочее место, не загромождать проходы и проезды, складывать заготовки и готовые изделия в отведенных местах.

Сварщику запрещается:

- касаться электропроводки и корпусов работающих электродвигателей, установленных на оборудовании;

- самостоятельно подключать электросварочное оборудование к электрической сети; - стоять под поднятым и перемещаемым грузом;

- производить работы, курить в цехах, на рабочем месте и на участках, где применяют и хранят легковоспламеняющиеся материалы и газы.

Сварщик обязан знать правила и приемы оказания первой помощи пострадавшему.

После выполнения сварочных работ сварщик обязан:

- отключить сварочную аппаратуру от сети;

- отсоединить провод с электродержателем от сварочного оборудования и убрать их для хранения в специально отведенное место;

- тщательно осмотреть рабочее место и принять меры, исключающие возможность возникновения очага пожара;

- в случае возникновения пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации очага возгорания имеющимися средствами;

- очистить стекло, защищающее светофильтр шлем-маски (щиток) от брызг металла, убрать инструмент и защитные средства в отведенное для хранения место.

Заключение

Применение инверторных источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами по сравнению с традиционно применяемыми диодными выпрямителями обеспечивает повышение стабильности процесса сварки и эффективности тепломассопереноса, в том числе:

- уменьшение объема переносимых капель в сварочную ванну в среднем на 38 %, что повышает эффективность перехода химических элементов с электрода в металл шва;
- уменьшение средней длительности горения дуги на интервалах плавления электрода и периода формирования капель электродного металла в среднем на 28 %, что способствует снижению перегрева свариваемого изделия;
- улучшению санитарно гигиенических характеристик воздуха рабочей зоны на 15%.

Список литературы

1. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
2. Походня И. К. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
3. Заруба И. И. Природа коротких замыканий дуги при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. – 1973. – № 5. – С. 14-17.
4. Пат. РФ2322331 МПК В23К 9/173 В23К 9/09. Способ ручной электродуговой сварки плавящимся электродом модулированным током корневого шва / Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И., Князьков В. Л., Качаев Д. В. – Заявл. 26.06.2006.
5. Пат. РФ2371288 МПК В23 9/173 В23К 9/09 Способ ручной электродуговой сварки плавящимся электродом модулированным током корневого шва / Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И., Князьков В. Л. – Заявл. 07.07.2008.
6. Мазель А. Г. О стабильности процесса ручной дуговой сварки модулированным током / А. Г. Мазель, Р. И. Дедюх // Сварочное производство. – 1978. – № 12. – С. 11-13.
7. Ерохин, А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А.А. Ерохин. – Москва : Машиностроение, 1973. – 448 с.
8. Мазель, А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги / А.Г. Мазель. – Москва : Машиностроение, 1969. – 178 с.
9. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / под. ред. И.К. Походня. – Киев : Наукова думка, 1990. – 222 с.
10. Новые сварочные источники питания / И.И. Заруба. – Киев : Издательство «Вища школа», 1992. – 144 с.
11. Дедюх, Р.И. Физические и технологические свойства сварочной дуги // Р.И. Дедюх. – Томск : Издательство ТПУ, 2002. – 92 с.
12. Азаров, Н.А. Разработка скоростного процесса сварки

модулированным током корневых слоев шва трубопроводов электродами с основным видом покрытия : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва : МИНГ им. И.М. Губкина, 1988. – 19 с.

13. Шатило, С.П. Модель переноса электродного металла при ручной дуговой сварке / С.П. Шатило, В.Д. Макаренко // Сварочное производство. – 1995. – № 9. – С. 3–5.

14. Brandi, S. Analysis of metal transfer in shielded metal arc welding / S. Brandi, C. Taniguchi, S. Liu // Welding Journal. – 1991. – № 7. – P. 261–270.

15. Lancaster, J.F. Metallurgy of welding / J.F. Lancaster. – 5th ed. – London : Chapman & Hall, 1993.

16. Lancaster, J.F. The physics of welding / J.F. Lancaster. – 2nd ed. – Oxford : Pergamon, 1986.

17. A study of the mechanism for globular metal transfer from covered electrodes / J.H. Chen, D. Fan, Z.Q. He, J. Ye, Y.C. Luo // Welding Journal. – 1989. – 68(4). – S. 145–150.

18. The Effect of the Use of PTFE as a Covered-Electrode Binder on Metal Transfer / Vaz, Claudio Turani; Bracarense, Alexandre Queiroz // SOLDAGET & INSPECAO. – 2013 – Vol. 20, № 2. – P. 160–170.

19. Vaz, C.T. Influência do polímero utilizado como aglomerante em eletrodos revestidos básicos sobre a formação de ferrita acicular no metal de solda [doctor thesis]. Belo Horizonte : Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. [[Links](#)]

20. Todenese, P.J. A química da formação do cordão na soldagem TIG. Soldagem e Inspeção. 2013; 18(3): 287–300. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242013000300011>

21. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счет автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу : дис. ... канд. техн. наук / Виктор Леонидович Князьков. – Барнаул, 2006. – 165 с.

22. Веревкин, А.В. Повышение эффективности сварки в CO₂ неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения

импульсного питания сварочной дуги : дис. ... канд. техн. наук / Веревкин Алексей Валерьевич. – Томск, 2010. – 143 с.

23. Шатило С.П., Макаренко В.Д. Модель переноса электродного металла при ручной дуговой сварке // Сварочное производство. – 1995. - №9.- С.3-5.

24. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги. «Машиностроение», 1969, 178 с.

25. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. М. – Машиностроение. – 1979. – 231 с.

26. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико – химические закономерности. «Машиностроение». 1973, - 448с.

27. Источники питания для сварки / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. – М.: Айрис-пресс, 2007. -384 с.

28. www.autowelding.ru.

29. Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением : учебник для среднего профессионального образования / В. С. Милютин, Р. Ф. Катаев . – М. : Академия, 2010 . – 368 с.

30. Козлов И.К. преимущества инверторных источников питания дуговой сварки/ <http://www.diatet.ru>.

31. Макаров И.В.Сварочный трансформатор или инвертор. Что дороже? // Сварщик профессионал. № 5. 2006. -С.23.

32. Ильященко Д. П. , Чинахов Д. А. Влияние типа источника питания на тепло- и массоперенос при ручной дуговой сварке // Сварка и диагностика. - 2010 - №. 6 - С. 26-29

33. Il'yashchenko D. P. , Zernin E. A. Determination of metal losses through splashing using different power sources // Welding international. - 2011 - Vol. 25 - №. 1 - С. 69-72.

34. Ильюшенко В.М., Бутараков Г.А. и др. Сравнительные испытания сварочно-технологических свойств инверторных источников питания// Автоматическая сварка. №4. 2009. С.42-45.

35. ГОСТ 25616-83 Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств. – Введен с 01.01.84.
36. Il'yashchenko D. P. , Chinakhov D. A. , Ivanov K. V. , Sadykov I. D. Improving Hygienic Characteristics of Coated Electrodes for Welding High-Alloy Steels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017 - Vol. 50 - №. 1, Article number 012047. - p. 1-6
37. Il'yashchenko D. P. , Chinakhov D. A. , Sadykov I. D. Effect Of Dynamic Characteristics of Power Supplies on Aerosol Composition While Welding With Coated Electrodes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 142 - №. 1, Article number 012007. - p. 1-7.
38. Il'yashchenko D. P. , Chinakhov D. A. , Danilov V. I. , Sadykov I. D. Physical Nature of the Processes in Structure Forming, Phase and Chemical Composition of pipe Permanent Joints when TTA Welding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 125 - №. 1, Article number 012010. - p. 1-6.
39. Ильященко Д. П. , Садыков И. Д. Стабильность процесса РДС при использовании покрытий для защиты, свариваемой поверхности // Научно-технический вестник Поволжья. - 2016 - №. 4. - С. 50-52.
40. Леонтьев Л.Б. Технологическое обеспечение надежности судового оборудования. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. 544 с.
41. Грецкий Ю.Я. Образование соединения при дуговой сварке конструкционных чугунов. I. Роль графитной фазы основного металла // Автоматическая сварка. 1980. № 6. С. 1–4. 5.
42. Грецкий Ю.Я. Образование соединения при дуговой сварке конструкционных чугунов. II. Условия качественного сплавления // Автоматическая сварка. 1980. № 8. С. 27–29.
43. Иванов Б.Г., Журавицкий Ю.И., Левченков В.И. Сварка и резка чугуна М.: Машиностроение, 1977. 208 с.
44. Стеренбоген Ю.А., Хорунов В.Ф., Грецкий Ю.А. Сварка и наплавка чугуна. Киев: Наукова думка, 1966. 210 с. 10.

45. Богачев И.Н. Металлография чугуна. Свердловск: Изд-во черной и цветной металлургии, 1962. 392 с.
46. Браславский В.М., Бараз А.А. Деформационное упрочнение деталей машин // Вестник машиностроения. 1983. № 7. С. 42–44.
47. Оборудование для дуговой сварки : справочное пособие / под ред. В.В. Смирнова. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
48. Ланкин, Ю.Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом / Ю.Н. Ланкин // Автоматическая сварка. – 2011. – № 1. – С. 7–15.
49. Макаренко, В.Д. Технологические свойства монтажной сварки трубопроводов / В.Д. Макаренко, Р.В. Палий, М.Ю. Мухин и др.; / под ред. В.Д. Макаренко. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 118 с.
50. Панибратцев, Б.К. Исследование стабильности и разработка технологии автоматической сварки в среде углекислого газа неповоротных стыков магистральных трубопроводов большого диаметра : дис. ... канд. тех. наук / Б.К. Панибратцев. – Москва, 1979. – 196 с.
51. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / под. ред. И.К. Походня. – Киев : Наукова думка, 1990. – 222 с.
52. Юшин, А.А. Разработка критериев оценки сварочных свойств установок для дуговой сварки с управляемым каплепереносом : дис. ... канд. техн. наук / Алексей Александрович Юшин. – Москва, 2012. – 165 с.
53. Ульянова, О.В. Информационно-измерительная система для аттестации источников питания дуговой сварки на основе параметров марковской модели процесса плавления: дис. ... канд. техн. наук / О.В. Ульянова. – Волгоград, 2006. – 158 с.
54. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов / В.Л. Князьков, А.Ф. Князьков. – Кемерово : Изд-во ГУ КузГТУ, 2008. – 104 с.
55. Ильященко Дмитрий Павлович. Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства

неразъемных соединений при ручной дуговой сварке: диссертация кандидата
Технических наук: 05.02.10 / Ильященко Дмитрий Павлович; [Место защиты:
ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук], 2017 - 137 с.

56. Макаренко, В.Д. Особенности ручной дуговой сварки корневых швов неповоротных стыков нефтепроводов, эксплуатируемых в условиях Западной Сибири / В.Д. Макаренко, К.А. Муравьев, А.И. Калянов // Сварочное производство. – 2005. – № 12. – С. 38–41.

57. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1968 – 47 с.

58. Ильященко, Д.П. Методика расчета объема капли расплавленного электродного металла ТГА / Д.П. Ильященко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – С. 235–237.

59. Макаренко, В.Д. Расчет кинетических характеристик электродных капель при их переходе через дуговой промежуток в процессе сварки покрытыми электродами / В.Д. Макаренко, С.П. Шатило // Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 6–10.

60. Горпенюк, В.Н. О связи между изменением электрических параметров и дефектообразование в сварном шве / В.Н. Горпенюк, В.Е. Пономарев // Тез. докл. Всесоюзной конференции по сварочным материалам. – Киев : ИЭС, 1983. – С. 82–84.

61. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015615010. Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС / Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов. – 06 мая 2015 г.

62. Il'yashchenko, D.P. Calculation of the Heat Content of the Electrode Total Droplet When Applying Power Supplies for Manual Arc Welding With Different Volt-Ampere Characteristic / D.P. Il'yashchenko, D.A. Chinakhov, Yu.T. Gotovshchik // Applied Technics and Taterials. – 2015. – Vol. 756. – P. 101–104.

63. Ильященко, Д.П. Методика расчета теплосодержания капли расплавленного электродного металла в зависимости от динамических

параметров источников питания РДС / Д.П. Ильященко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 126–129.