

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ДУГОВАЯ СВАРКА ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ МОДУЛИРОВАННЫМ ПЕРЕМЕННЫМ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ ТОКОМ

УДК 621.791.753.042.4.52.622.691.4.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Селюков Владимир Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭИ	А.С. Гордынец	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	В.Н. Фадеева	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	А.Г. Дашковский	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

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

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.С. Киселев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ71	Селюкову Владимиру Васильевичу

Тема работы:

ДУГОВАЯ СВАРКА ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ МОДУЛИРОВАННЫМ ПЕРЕМЕННЫМ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ ТОКОМ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 3645/ С от 13.05.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Объектом исследования являются опытные образцы из стали 09Г2С, полученные РДС четырьмя разными способами : постоянным током обратной полярности, постоянным модулированным, переменным прямоугольным, модулированным переменным прямоугольным током с целью определения влияния рода тока и его модуляции на микроструктуру металла шва.
--	--

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>	1. Обзор литературы по теме исследования. 2. Постановка цели задач исследования. 3. Материалы и методы исследования. 4. Результаты и обсуждение. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность. 7. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Внешний вид и схема подключения инвертора сварочного тока ИСТ-201 2. Снимки макро и микроструктуры сварных соединений полученных OLYMPUS GX51 3. Демонстрационный материал (презентация) в Microsoft Office PowerPoint 2007.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основная часть магистерской диссертации	Гордынец Антон Сергеевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич
Часть магистерской диссертации на английском языке	Смирнова Ульяна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1.1 Основные понятия и определения. 1.2 Актуальность проблемы 1.3 Технологические свойства сварочной дуги 1.4 Сварка на переменном токе	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.01.2019
---	------------

Задание выдал руководитель/консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н		30.01.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
IBM71	Селюков Владимир Васильевич		30.01.2019

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения (весенний семестр 2019 учебного года)

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2019	1 Литературный обзор	25
25.02.2019	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2019	3 Экспериментальная часть	35
15.04.2019	4 Выводы	10
22.04.2019	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2019	6 Социальная ответственность	10
13.05.2019	7. Часть магистерской диссертации на английском языке	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель/Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н.		30.01.2019
Ассистент	А.С. Гордынец	к.т.н.		30.01.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н.		30.01.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1BM71	Селюкову Владимиру Васильевичу

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость применяемого оборудования для проведения сварочных работ, тарифные ставки рабочих, стоимость электроэнергии</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Обосновать выбор приобретаемого оборудования и материалов</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Привести затраты на приобретение оборудования и материалов</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать трудозатраты, энергозатраты, затраты на материалы, эксплуатацию оборудования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Селюков В.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1BM71	Селюкову Владимиру Васильевичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса).</i>	<i>Помещение с искусственной вентиляцией воздуха расположено на 1 этаже. В помещении размещены источники питания для сварки; площадь помещения 375 м².</i>
<i>2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.</i>	<i>ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность <i>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования</i> <i>1.2. Обоснования мероприятий по защите исследователя от опасных и вредных факторов</i>	- Шум на рабочем месте. - Микроклимат помещения. - Повышенный уровень вибрации. - Освещённость рабочей зоны. - Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением. - Повышенная температура поверхностей оборудования.
2. Экологическая безопасность <i>2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду</i>	Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <i>3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте</i> <i>3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае ЧС</i>	Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации. Одной из причин возникновения пожара является короткое замыкание, а также наличие разбрызгивания расплавленного металла при проведении сварочных работ.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии	- Правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. - Социальная защита работников.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Селюков В.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 110 страниц, 19 рисунков, 24 таблиц, 28 источника. Ключевые слова: ручная дуговая сварка, покрытые электроды, модуляция тока, перенос электродного металла, структура сварного шва, модулированный, разбрызгивание электродного металла. Объектом исследования является технология сварки переменным прямоугольным током. Цель работы – практическое применение ручной дуговой сварки модулированным переменным прямоугольным током. В процессе проведения экспериментальных исследований определяли влияние сварки модулированным током на механические свойства сварного шва, его структуру. В результате исследования получен результат, подтверждающий возможность практического применения ручной дуговой сварки модулированным переменным током взамен ручной дуговой сварки стационарной дугой. Область применения: проведение дальнейших исследований на кафедре оборудования и технологии сварочного производства. Экономическая эффективность работы: повышение производительности и качества выполнения сварочных работ.

Abstract

The final qualification work includes 110 pages, 19 figures, 24 tables, 28 sources. The keywords: manual arc welding, coated electrodes, current modulation, electrode metal transfer, weld structure, modulated, electrode metal spatter. The object of research is the technology of welding with alternating rectangular current. The purpose of the work is the practical application of manual arc welding with modulated alternating rectangular current. In the process of conducting experimental studies, the effect of modulated-current welding on the mechanical properties of the weld and its structure was defined. According to the study, the result has confirmed the possibility of practical application of manual arc welding with modulated alternating current instead of manual arc welding with a stationary arc. Scope: conducting further research at the equipment and technology of welding production department. Economic efficiency of the work: increase of productivity and quality of performance of welding works.

Нормативные ссылки.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения;
- ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- СТП ТПУ 2.5.01-2014 Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления;
- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- НРБ-99/2009 – Нормы радиационной безопасности;
- СН 245-71 – Санитарные нормы проектирования промышленных зданий;
- СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

Реферат	8
Введение	14
1. Литературный обзор	16
1.1 Ручная дуговая сварка покрытыми электродами при строительстве газопроводов	16
1.1.1 Область применения ручной дуговой сварки в строительстве газопровода	16
1.1.2 Техника ручной дуговой сварки покрытыми электродами газопроводов	17
1.1.3 Перенос электродного металла в сварочную ванну при ручной дуговой сварке	21
1.1.4 Достоинства и недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами при строительстве, монтаже газопровода	23
1.2 Общие представления о сварке модулированным током	25
1.3 Влияние параметров режима сварки модулированным током на формирование сварного шва	28
2. Методика проведения экспериментов	32
2.1 Материалы и методы исследования	32
2.2 Выбор электродов	33
2.3 Выбор оборудования	34
2.4 Методика подготовки шлифов	36
2.5 Травление шлифа	38
2.6 Измерение микротвердости	39
3. Экспериментальная часть	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	49
4.1 Предпроектный анализ	49
4.1.1 Потенциальные потребители исследования	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50

4.1.3 FAST-анализ	52
4.1.4 SWOT-анализ	55
4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации	57
4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	59
4.2 Инициация проекта	59
4.3 Планирование управление проектом	61
4.3.1 План проекта	61
4.3.2 Определение трудоемкости и определение работ	62
4.4 Бюджет научного исследования	66
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	66
4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	67
4.4.3 Расчет фонда заработной платы	69
4.4.4 Расчет дополнительной заработной платы	71
4.4.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	71
4.4.6 Расчет накладных расходов	72
4.4.7 Формирование бюджета затрат НТИ	72
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
5. Социальная ответственность	75
5.1 Производственная безопасность	75
5.1.1 Анализ вредных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования	76
5.1.2 Расчет искусственного освещения	82
5.2 Экологическая безопасность	84
5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	84
5.3 Безопасность в ЧС	86

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования	86
5.3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	86
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	88
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	89
5.4.3 Социальная защита работников на предприятии	91
Заключение	93
Список использованных источников	94
Приложение А	97

Введение

Надёжность сварных соединений металлоконструкций технических устройств в электроэнергетической, нефтегазодобывающей, горнодобывающей, химической, машиностроительной и других отраслях промышленности существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства.

При сварке металлоконструкций, трудно поддающихся методам рациональной механизации, автоматизации и роботизации, ручная дуговая сварка электродами с покрытием (РД) является, одним из ведущих технологических процессов. Объясняется это гибкостью, простотой, универсальностью и меньшими затратами на вспомогательные операции и оборудование. Но этим причинам РД сварка при ремонте, монтаже и реконструкции технических устройств, таких как газопровод, не имеет альтернативы.

Однако при сварке в монтажных условиях к величине тока со стороны электрода и изделия предъявляются противоречивые требования. С целью удержания сварочной ванны в пространственных положениях отличных от нижнего сварочный ток необходимо снизить, а для обеспечения требуемых сварочно-технологических свойств электрода ток должен быть значительно больше величины, обеспечивающей удержание сварочной ванны. Сварщик решает эту задачу, выполняя электродом различные манипуляции, вплоть до обрыва дуги, что приводит к образованию дефектов, как при сварке корня шва, так и заполняющих слоев.

Выполнение указанных противоречивых требований возможно методами импульсной модуляции сварочного тока [1, 2]. По сравнению со сваркой стационарной дугой, сварка модулированным током имеет ряд основных преимуществ это улучшение формирования шва во всех пространственных положениях, повышение механических свойств, сварных соединений, улучшение дегазации сварочной ванны, снижение сварочных

деформаций и др [3]. Значимый вклад в данном направлении внесен учеными: Потапьевским А.Г., Зарубой И.И., Князьковым А.Ф., Сараевым Ю.Н., Лебедевым В.К., Патоном Б.Е., Вагнером Ф.А., Воропаем Н.М., Дудко Д.А., Дюргеровым Н.Г., Подолой Н.В., Шигаевым Т.Г. и многими другими.

1. Литературный обзор

1.1 Ручная дуговая сварка покрытыми электродами при строительстве газопроводов

1.1.1 Область применения ручной дуговой сварки в строительстве газопровода

При строительстве газопровода одной из самых востребованных профессий является профессия сварщика. Сварка, как способ соединения труб в газопроводе, используется наиболее часто, так как именно сварное соединение является наиболее прочным и надежным. Кроме того, при таком виде соединений не требуется применение никакой специальной запорной арматуры, а значит и обслуживание газопровода существенно облегчается. Это очень важно, так как во многих случаях доступ к месту соединения труб в газопроводе бывает затруднен.

Самым распространенным способом сварки при работе с газопроводами является ручная дуговая сварка. Конечно, скорость работы при применении такого способа сварки ниже, чем скорость сварки с применением автоматического или механизированного способа – если при ручной сварке максимальная скорость составляет 20 метров в час, то при автоматической может достигать 60 метров в час. Но довольно часто сварочные работы по трубопроводу просто невозможно производить при помощи автоматизированной сварки. При этом ручная сварка труб может применяться практически в любом месте и при любом положении стыка труб – и вертикальном, и горизонтальном, и нижнем, и потолочном [4].

Для строительства магистральных трубопроводов, в том числе и газопроводов, применяют трубы стальные бесшовные, электросварные прямошовные, спиральношовные и других специальных конструкций из спокойных и полуспокойных углеродистых сталей диаметром до 500 мм, из спокойных и полуспокойных низколегированных сталей диаметром до 1020 мм и низколегированных сталей термически или термомеханически упрочненном состоянии диаметром до 1420 мм.

Важной составляющей характеристикой труб является ее климатическое исполнение в зависимости от условий строительства и эксплуатации.

Сталь для труб должна быть хорошо свариваемой дуговыми способами сварки [5].

При строительстве систем газоснабжения кроме требований рабочих проектов следует соблюдать требования СНиП 3.01.01-85, СНиП 3.05.02-88, СНиП 3.01.03-84, СНиП III-4-80, СНиП 3.01.04-87, а также «Правил безопасности в газовом хозяйстве» и "Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденных Госгортехнадзором.

Сварные соединения трубопроводов должны отвечать требованиям ГОСТ 16037-80.

1.1.2 Техника ручной дуговой сварки покрытыми электродами газопроводов

Ручная дуговая сварка плавящимся покрытым электродом (далее – РДС) - дуговая сварка плавящимся электродом, выполняемая вручную с использованием покрытого электрода. Сущность способа: к электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источников сварочного тока подводится постоянный или переменный сварочный ток (рис. 1.1). Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Расплавляющийся металлический стержень электрода в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну. В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность.[6]

При соединении труб стыки могут быть как поворотными, так и неповоротными. Кроме того, последовательность сварных работ зависит и от диаметра труб.

При сварке стыков труб используют следующие технологические варианты ручной дуговой сварки:

корневой слой шва и «горячий» проход выполняют электродами с целлюлозным видом покрытия, последующие слои – электродами с основным видом покрытия;

все слои шва – электродами с целлюлозным видом покрытия;

все слои шва – электродами с основным видом покрытия.

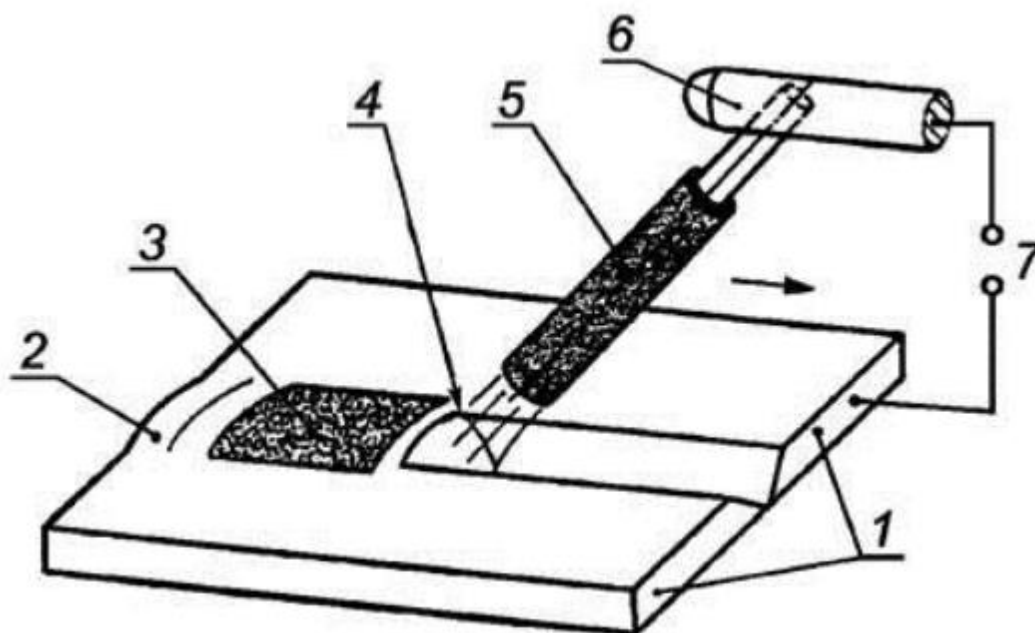


Рисунок 1.1 – Схема ручной дуговой сварки покрытыми электродами
1 – заготовка; 2 – сварной шов; 3 – шлак; 4 – дуга; 5 – покрытый электрод; 6 – электродержатель; 7 – источник питания.

Применение электродов с целлюлозным видом покрытия для сварки корневого шва позволяет увеличить темпы сварки, производительность и качество работ.

От механики выполнения корневого слоя шва во многом зависит качество сварного шва и эксплуатационная надежность стыков трубопроводов в целом. Для обеспечения требуемого качества сварку корневого слоя шва следует выполнять методом «замочной скважины»: в процессе сварки

сварщик постоянно должен наблюдать за торцом электрода. Наличие просвета (замочной скважины) позволяет сварщику осуществлять непрерывное наблюдение за процессом плавления кромок.

Угол наклона при сварке корневого, «горячего» и последующих проходов указан на рисунке 1.2.

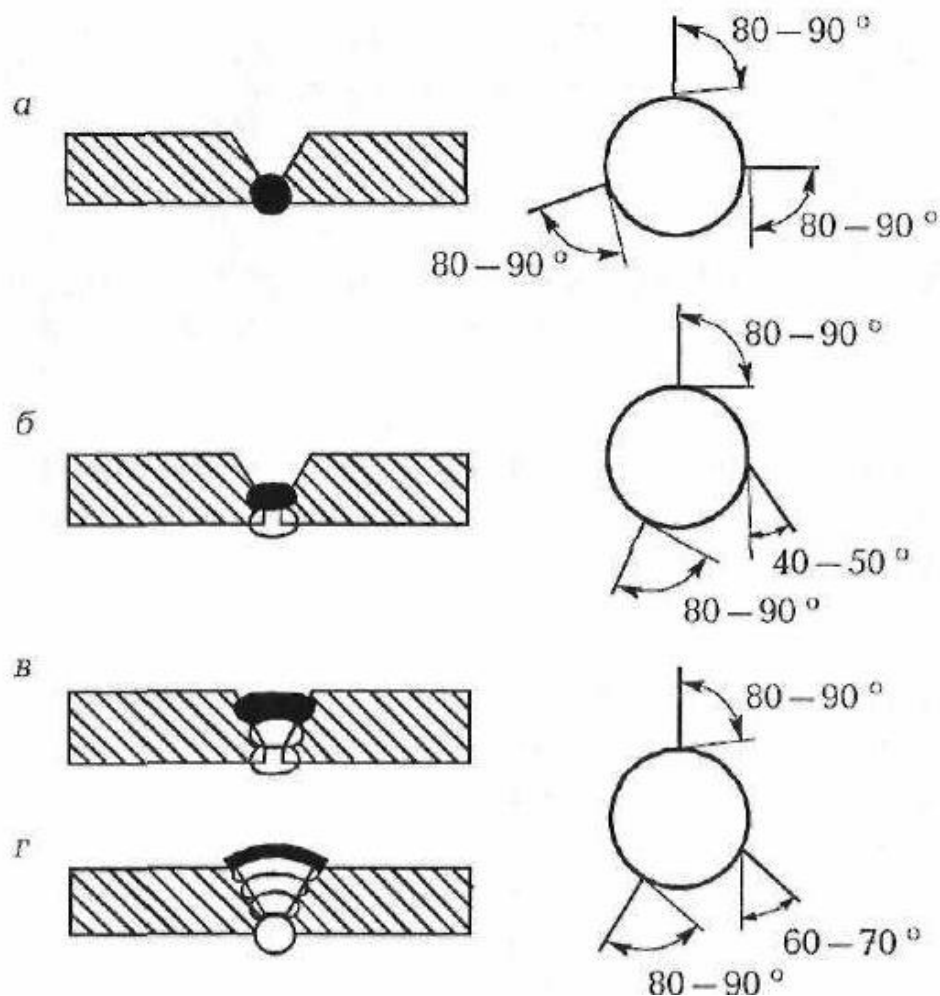


Рисунок 1.2 — Типичный угол наклона электрода с целлюлозным видом покрытия в зависимости от пространственного положения сварки и последовательности выполнения слоев шва а – корневой слой, б – «горячий» проход, в – заполняющие слои; г – облицовочный шов.

При выполнении «горячего» прохода сварщик осуществляет колебательные движения торцом электрода вдоль оси шва. Такая техника выполнения шва позволяет шлак и часть расплава из сварочной ванны давлением дуги и концентрированного газового потока, образующегося при

сгорании целлюлозного покрытия, уводить вверх, обнажая дно сварочной ванны.

Таким образом, в задачу сварщика при "горячем" проходе входит не столько наплавление второго слоя, сколько удаление любых наружных дефектов с корневого слоя, получение ровной "подложки" для последующих слоев и в определенной степени модифицирование микроструктуры металла корневого слоя. Кроме того, такая техника сварки в вертикальном положении шва позволяет удерживать сварочную ванну от стекания.

Третий слой варят практически без колебаний, только перемещая торец электрода вдоль шва. Если данное место стыка собрано с максимальным зазором и разделка широкая, то осуществляются колебательные движения поперек шва.

Четвертый и последующие слои сваривают традиционными зигзагообразными колебательными движениями.

Сварка сверху вниз специальными электродами с основным видом покрытия осуществляется следующим образом.

Исходное положение электрода относительно трубы при всех пространственных положениях сварки должно быть перпендикулярно к касательной окружности в точке возбуждения дуги (рис.1.3).

Сварку корневого слоя шва выполняют электродами диаметрами 3 или 3,25 мм; при этом зазор выставляется ближе к верхнему пределу обычно рекомендуемого диапазона (2,5 — 3 мм).

Сварку осуществляют легким опиранием на свариваемые кромки и ведением электрода сверху вниз без поперечных колебаний. Усилие на электрод в отличие от варианта сварки электродами с целлюлозным видом покрытия минимально. Скорость сварки должна быть не менее 10, но не более 15 м/ч. Толщина корневого слоя шва из-за повышенного коэффициента наплавки и меньшей скорости сварки (в сравнении с электродами с целлюлозным покрытием) не меньше, чем суммарная толщина корневого слоя шва плюс "горячего" прохода при сварке электродами с целлюлозным видом

покрытия. Благодаря особенностям формирования корневого слоя шва сварка электродами этого вида осуществляется без образования зашлакованных карманов, формы этого шва более плавные, чем в случае электродов с целлюлозным видом покрытия, шлифовка абразивным кругом после сварки не требуется, шлак отделяется хорошо, ввиду формирования низководородистого металла и благоприятной формы наружной поверхности корневого слоя, проведение "горячего" прохода необязательно.

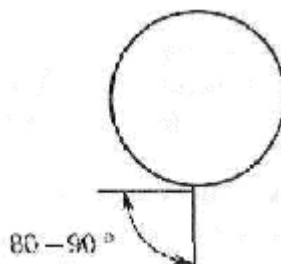


Рисунок 1.3 – Положение электрода в начальный момент сварки электродами с основным покрытием

Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва обычно осуществляется электродами диаметром 4 мм без поперечных колебаний (многоваликовые слои) с высокой линейной скоростью до 26 м/ч. Низкое разбрызгивание и повышенный коэффициент наплавки делают эти электроды при сварке заполняющих слоев конкурентоспособными электродам с целлюлозным видом покрытия диаметром 5 и даже 5,5 мм.[7]

1.1.3 Перенос электродного металла в сварочную ванну при ручной дуговой сварке

При дуговой сварке плавящимся электродом металл с электрода переносится в сварочную ванну в виде капель, нагретых до температур, значительно превышающих температуру плавления, и в виде паров.

Основные этапы образования и переноса жидкого металла с электрода в сварочную ванну при дуговой сварке плавящимся электродом показаны на рис.1.4.

Под действием тепла дуги на торце электрода образуется и растет капля жидкого металла, удерживаемая силами поверхностного натяжения. По мере ее увеличения в результате действия силы тяжести и электромагнитных сил форма капли изменяется, длина дуги в целом сокращается. Это уменьшает напряжение дуги и увеличивает силу тока. Дальнейшее увеличение капли приводит к замыканию дугового промежутка и ее отрыву.

При увеличении силы тока средний размер капель уменьшается, они чаще отрываются от электрода и, пересекая дуговой промежуток, попадают в ванну.

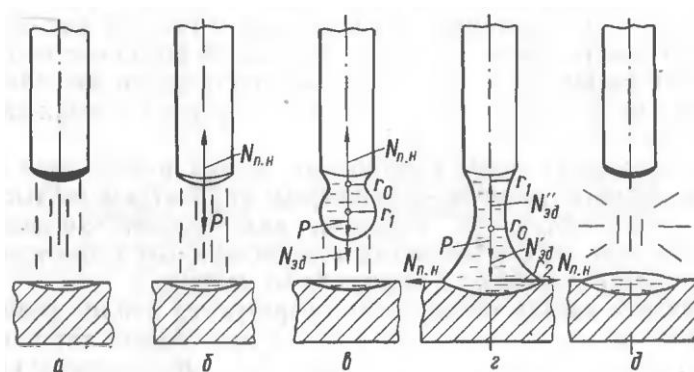


Рисунок 1.4 – Этапы образования и переноса жидкого металла с электрода в сварочную ванну а, б – образование капли на торце электрода; в – появление шейки на стыке жидкого металла с твердым металлом электрода; г – замыкание капель дугового промежутка; д – разрыв образованного мостика и возникновение дуги.

В результате взрывообразного процесса отрыва частей капель от торца электрода некоторые из них отбрасываются в сторону в виде брызг металла.

Потери на разбрызгивание увеличиваются с увеличением силы тока.

При достаточно большой плотности тока в электроде его плавление имеет характерный струйный перенос.

При сварке штучными толстопокрытыми электродами или электродами с качественным покрытием под действием дуги плавится и частично переходит в газообразное состояние не только металл, но и покрытие. При этом обычно плавление покрытия несколько отстает от плавления электродного стержня, образуя «чехольчик». И в этом случае капли,

пересекающие дуговой промежуток, могут быть как крупными, сопоставимыми с диаметром электродного стержня, так, и мелкими.

Шлак, получающийся в результате расплавления покрытия, переносится в дуге частично в виде капель, а частично в виде шлакового покрова на каплях металла и внутри их. Газовыделение при плавлении электрода, в частности при наличии «чехольчика» покрытия на торце электрода, приводит к интенсивному газовому дутью, направленному от электрода к ванне. Кроме того, газы в ряде случаев образуются и внутри капель, например в результате окисления углерода в стали и образования СО. В связи с этим многие капли, особенно мелкие, являются пустотелыми, с малой средней плотностью.[8]

1.1.4 Достоинства и недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами при строительстве, монтаже газопровода

Ручная сварка, как известно, классифицируется на множество режимов работы и способов, подразумевает использование различных устройств, оборудования и приспособлений, но конечная цель всегда остается одной – изготовить и получить в конечном результате качественный шов. Это качество во многом зависит не только от того, какие виды ручной сварки используются, но и от множества различных факторов и нюансов, например материалы, с которыми будет работать сварка, внешнее состояние и оценка поверхности, которая сваривается, качество подготовленных для сваривания кромок и так далее. Одним словом, выбирая ту или иную технику для сварки, нельзя говорить, что предопределяется конечный результат.

В зависимости от того, какая форма изделия используется при сварке, и какой размер этого изделия, возможна работа в различных положениях относительно пространства. Так, такие положения разделяются на нижние и потолочные, а также вертикальные и горизонтальные, соответственно. Это тоже довольно важный момент, поскольку от этого может зависеть способ ручной сварки.

Наиболее распространенная дуговая при изготовлении и сваривании металлических сварных конструкций – это сварка покрытыми электродами. Это объяснимо по нескольким причинам, однако популярность ручной сварки заключается и простоте и мобильности данной техники сваривания в целом, аппаратов и оборудования, которые используются, а также использования ее в любом из вышеперечисленных пространственных положений. Кроме того, дуговая сварка дает возможность работать даже в труднодоступных местах. [9]

Однако у этой технологии есть недостатки.

В первую очередь, низкая производительность. Это связано не только с отсутствием автоматизированных и механизированных установок, а и с высоким коэффициентом потери электродного материала в результате разбрызгивания. Если говорить о мобильности и невозможности использовать другие виды сварки в монтажных условиях трубопровода, то ручная дуговая сварка является отличным решением проблемы, однако имеет смысл применять технологии, повышающие качество сварного шва и производительность путем изменения крупнокапельного переноса металла на мелкокапельный и струйный.

Ручная дуговая сварка позволяет выполнять любые сварные швы в любых пространственных положениях, что делает ее незаменимой в строительстве газопроводов и других трубопроводов. Однако стоит заметить, что при сварке в положениях отличных от нижнего, под действием силы тяжести, сварочная ванна стекает, ухудшая формирование сварочного шва. В этом случае конечный результат, а именно качественный шов, будет напрямую зависеть от умений и квалификации сварщика. Кроме того, сложно переоценить роль корневого шва при сварке трубопровода, который определяет прочность всей конструкции.

Немаловажным является и то, что переизбыток тепловых вложений в сварочный шов сказывается на структуре шва, вызывая рост кристаллов.

Кроме этого, большие тепловложения в изделие способствуют большим сварочным деформациям и остаточным напряжениям. Данное обстоятельство будет немаловажным при строительстве газопровода с высоким давлением газа.

Поэтому остается немаловажным контролировать процесс сварки, а именно правильно регулировать режимы. Но для расплавления электродного покрытия и поддержания стабильной дуги необходим ток определенного значения, который называется критическим. Поэтому данное решение проблемы имеет ограничения.

Если же технологией предусмотрен высокий сварочный ток то, чтобы предупредить протекание расплавленного металла во внутрь трубы, сварку выполняют при наименьших зазорах от 1 до 2 мм при толщине стенки труб от 5 до 25 мм. Кроме того, первый слой следует наваривать так, чтобы получить плоскую или несколько вогнутую поверхность шва. Это обеспечивает лучший провар корня шва и более качественное формирование последующего слоя. И в данной ситуации сварщик обязан следить за тем, чтобы не было прожогов.

Немаловажной характеристикой сварного шва является его структура, особенно это важно при сварке и эксплуатации труб в условиях крайнего севера. Но, к сожалению, этот параметр средствами ручной дуговой сварки контролировать практически невозможно.

Все вышеперечисленные недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами возможно решить, применив технологию ручной дуговой сварки модулированным током.

1.2 Общие представления о сварке модулированным током.

Процесс сварки модулированным током (СМТ) предполагает периодическое, заранее запрограммированное изменение энергетических параметров системы источник питания – сварочная дуга между высоким (импульс) и низким (пауза) уровнями. В течение импульса тока расплавляется основная часть электродного и свариваемого металла, а в последующий

период паузы происходит кристаллизация большей части сварочной ванны [10].

Основная схема изменения силы тока при РД сварке покрытым электродом, модулированным током приведена на рис. 1.5.

СМТ позволяет более тонко, чем непрерывная сварка, обеспечивать дозирование теплоты, поступающей в сварочную ванну. Эта особенность СМТ позволяет значительно облегчить сварку в вертикальном и потолочном положениях. При выполнении сварки в указанных пространственных положениях сварщик вынужден регулировать жидко-текучесть ванны и совершать различные манипуляции концом электрода для обеспечения удовлетворительного формирования шва. При этом сварщик постоянно находится в напряженном состоянии и не может обеспечить стабильность качества шва [5].

Модулирование сварочного тока представляет возможность освободить сварщика от трудоемкой операции по дозированию теплоты, вводимой в сварочную ванну и переложить ее на специальное устройство – модулятор.

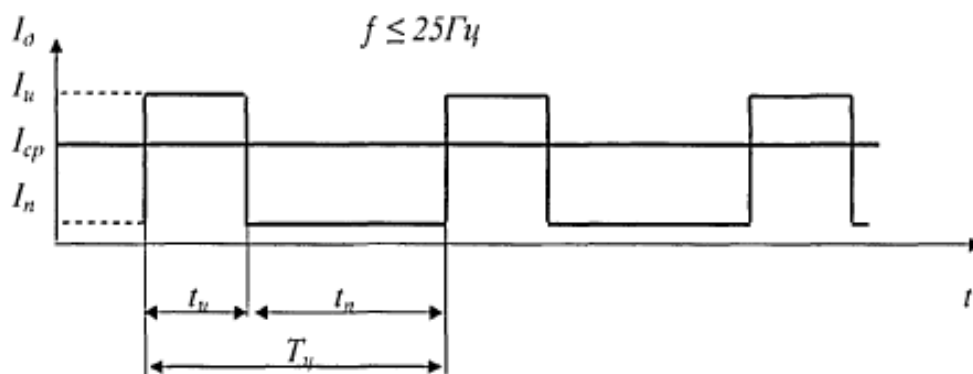


Рисунок 1.5 - Схема изменения тока при способах сварки модулированным током применяемая для улучшения формирования металла шва во всех пространственных положениях за счет уменьшения размеров сварочной ванны и увеличения скорости кристаллизации

I_i – ток импульса; I_p – базовый ток (ток паузы); $I_{ср}$ – средний ток; t_i – продолжительность импульса; t_p – продолжительность паузы; $T_{ц}$ – продолжительность цикла модуляции сварочного тока.

Сварщику же остается лишь заполнять разделку шва, техника сварки значительно упрощается и становится доступной даже начинающему [10].

Наложение импульсов тока на дугу небольшой мощности при сварке плавящимся электродом позволяет получить управляемый мелкокапельный перенос электродного металла. Если амплитудное значение тока импульса превышает критическую для данных условий величину, а частота следования импульсов ≥ 25 Гц, то каждым импульсом в сварочную ванну будет переноситься одна капля электродного металла. Под термином «критический ток» понимают такую величину сварочного тока, при которой размер переносимых через дуговой промежуток капель металла резко уменьшается, а частота их образования соответственно увеличивается. Средняя величина тока при этом на 30-40% меньше номинального значения. За счет устранения коротких замыканий дугового промежутка каплями электродного металла значительно улучшается стабильность процесса сварки, характер переноса капель практически не зависит от пространственного положения шва [10].

Преимущества СМТ:

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

- облегчаются сварка неповоротных стыков трубопроводов и укладка шва в труднодоступных местах.

1.3 Влияние параметров режима сварки модулированным током на формирование сварного шва.

Одним из основных преимуществ процесса сварки модулированным током являются лучшие, чем при сварке стационарной дугой, условия выполнения швов в различных пространственных положениях. Трудность выполнения швов в отличных от нижнего пространственного положения заключается в текучести сварочной ванны под действием различных сил.

Эта проблема решается сваркой модулированным током, с помощью которого регулируется объем сварочной ванны и время ее кристаллизации.

При сварке модулированным током критерием текучести ванны может служить скорость кристаллизации в ней металла во время $t_{\text{п}}$. Эта скорость определяет как текучесть ванны, так и ее массу в единицу времени, которые обеспечивают возможность сварки в различных пространственных положениях. Текучесть и масса ванны могут быть сведены к минимуму путем регулирования режимов сварки, главным образом значение $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$.

Формирование швов тесно связано с существованием и кристаллизацией сварочной ванны.

Если сварочная ванна имеет небольшую глубину при данной ширине, обеспечивается направленный рост кристаллов. Если при той же ширине ванны глубина ее велика, неизбежен радиальный, т.е. направленный к оси шва в его поперечном сечении, а не осевой рост кристаллов. Действительно, при сварке в узкую разделку, когда ширина разделки мала, а глубина ее велика, имеет место направленный к оси шва рост кристаллов. Однако при сварке модулированной дугой характер кристаллизации меняется.

Сварка модулированным током предопределяет использование только узкой разделки свариваемых деталей с относительно большой толщиной стенки. В этом случае сварочная ванна характеризуется малым коэффициентом формы. Сварка стационарной дугой в этих условиях

неизбежно приводит к росту кристаллов в направлении оси шва. Пульсация тепловой мощности дуги устраняет этот недостаток, кристаллы растут снизу вверх (при многопроходной сварке корневого шва к облицовочному), а расплавление и кристаллизация металла сварочной ванны при сварке модулированным током принципиально отличаются от процессов кристаллизации характерных при сварке стационарной дугой.

Изменение цикличности пульсации тока и напряжения на дуге можно регулировать тепловое воздействие дуги на металл шва. Пульсации тока и напряжения вызывают соответствующую пульсацию температуры в сварочной ванне и в зоне термического влияния, позволяя периодически переплавлять металл сварочной ванны, проводить локальную термическую обработку, смещать положение точек A_{c1} и A_{c3} .

Пульсация электрических параметров дуги способствует интенсивному механическому перемешиванию жидкого металла ванны, так как механическое давление дуги увеличивается и уменьшается вместе со сварочным током.

Следовательно, в процессе сварки происходит перемешивание жидкого металла ванны, причем по оси шва перемещаются массы жидкого металла в большом объеме и более интенсивно, чем в поперечном направлении шва. Это относится к случаю сварки швов в разделку. При сварке швов без разделки кромок волнообразные перемещения жидких масс ванны способствуют интенсивному механическому перемешиванию расплава со всеми вытекающими отсюда благоприятными последствиями.

В общем виде после каждого цикла пульсации дуги кристаллизуется некоторый объем металла шва, т.е. жидкая ванна кристаллизуется циклически небольшими слоями во время $t_{\text{д}}$.

Рассмотрим влияние характера изменения мощности дуги на процесс кристаллизации шва. Когда мощность дуги в процессе пульсации изменяется от своего максимального значения до минимального по вертикальной прямой, процесс кристаллизации сварочной ванны уподобляется кристаллизации

слитка. Направленность роста кристаллов зависит только от формы сварочной ванны. При малом коэффициенте ее формы кристаллы растут к наиболее нагретой центральной части ванны.

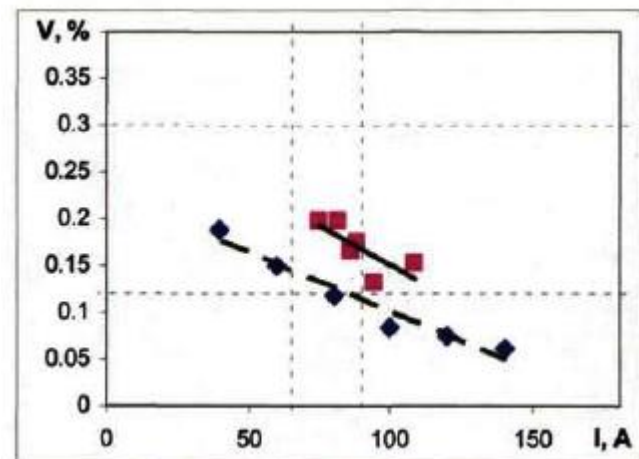
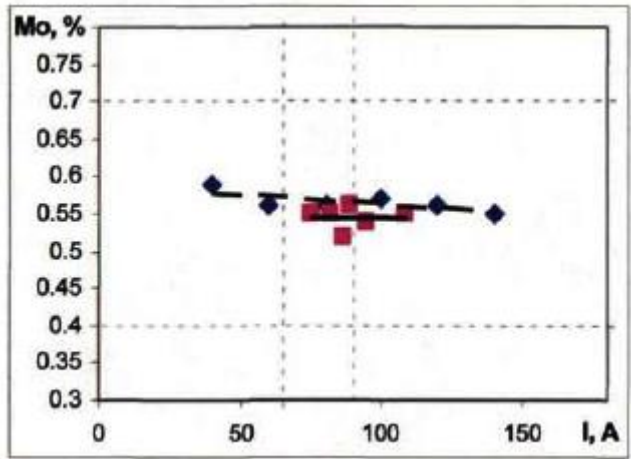
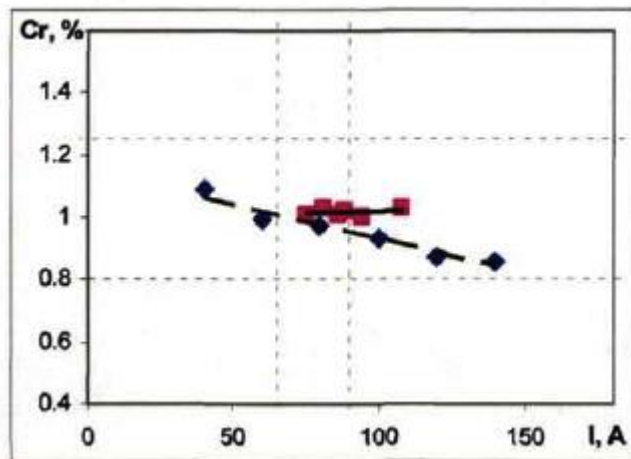
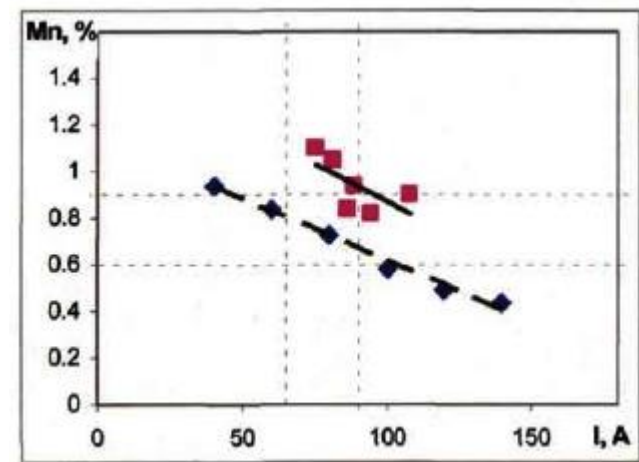
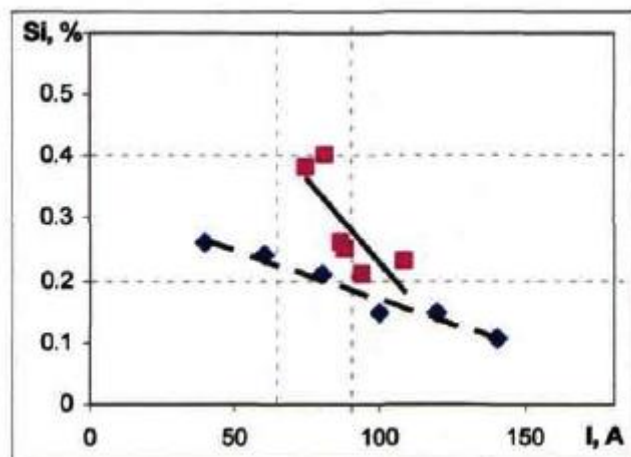
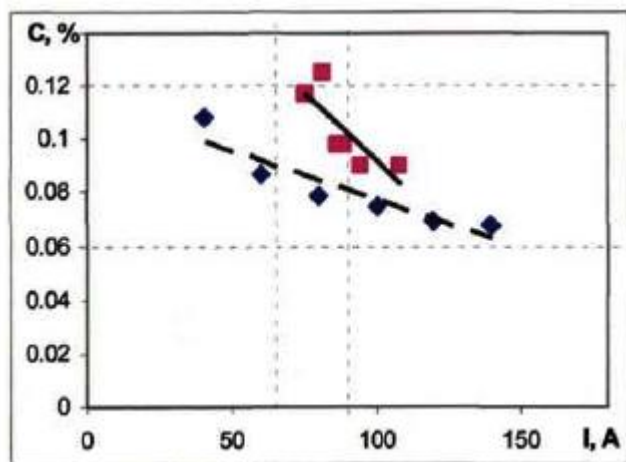
Если изменение мощности дуги происходит по плавной кривой и уменьшающиеся постепенно тепловложения позволяют затвердевать объемам сварочной ванны, расположенным глубже.

Количественное соотношение жидкой и твердой фаз в остывающем шве регулируется минимальной мощностью, необходимой также для предотвращения затухания дуги, крутизной ниспадающей кривой и времени $t_{\text{п}}$. Практически режимы сварки назначаются таким образом, чтобы вся сварочная ванна в продольном сечении шва была покрыта тонким слоем жидкого металла.

Влияния параметров режима сварки модулированным током на химический состав металла при сварке в стационарном режиме и сварке модулированным током приведены в работе [3].

Изменение химического состава металла шва в зависимости от способа сварки представлены на рис.1.6. Из рисунка видно, что при сварке модулированным током происходит меньшее выгорание химических элементов, кроме молибдена. Так же показан режим сварки, выделенный горизонтальными и вертикальными линиями, наиболее благоприятно влияющий на химический состав металла шва.

Таким образом, с точки зрения качества сварного шва, выполняемого модулированным током, первостепенное значение имеют следующие факторы: многократные переплавы каждой порции металла, механическое перемещение объемов жидкого металла сварочной ванны, послойная кристаллизация металла сварочной ванны, наличие жидкого металла над затвердевающими слоями кристаллизации шва и, как следствие этого, направленный снизу вверх рост кристаллов при затвердевании сварочной ванны.



◆ - стационарный режим, ■ - режим сварки с модуляцией

Рисунок 1.6 – Влияние режима сварки на хим.состав металла шва

2. Методика проведения экспериментов.

2.1 Материалы и методы исследования.

Для проведения эксперимента была выбрана сталь 09Г2С, образцы имели толщину 12 мм. Сталь является конструкционной, низколегированной, имеет высокую механическую прочность. В процессе сварки сталь подвергается перегреву и не закалочной структуре, это ведет к тому, что пластические свойства сталь сохраняет.

Механические свойства и химический состав представлены в таблице 2.1 и таблице 2.2, соответственно.

Таблица 2.1 - Химический состав в % материала 09Г2С

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0,12	0,5 – 0,8	1,4 – 1,6	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 2.2 – Механические свойства материала 09Г2С

Сортамент	Размер	Напр.	σ_b	σ_T	ψ_5	y	KCU
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
Лист, ГОСТ 5520-79	10		430- 490	265- 345	21		590-640

Химический состав и механические свойства по ГОСТ 19281-89.

Поскольку одна из важнейших характеристик марки – возможность сварки без ограничений, ее использование в химической, строительной, судостроительной, нефтегазовой отраслях и машиностроении позволяет создавать сложнейшие конструкции. Для сварочных работ с маркой, в т.ч. и многослойной, можно использовать любые электроды в связи с низким содержанием углерода в самом материале. Сварные конструкции из стали 09Г2С значительно легче других применяемых конструкций, что позволяет экономить на строительстве.

Высокая механическая устойчивость 09Г2С к крайне низким температурам предоставляет возможность протягивать нефте – и газопроводы

на севере РФ, изготавливать сварные переходы, тройники, фланцы и другие детали трубопроводов с уникальными морозостойкими качествами. В то же время из нее изготавливают паровые котлы, емкости, необходимые для работы в условиях высоких температур. Двухслойные антикоррозийные листы и профили для сельскохозяйственных машин – еще одна сфера применения сплава 09Г2С.

Сварка стали 09Г2С может производиться как без подогрева, так и с подогревом до 100-200 °С. Сталь имеет малое количество углерода, что делает сварку довольно простой, при этом сталь не закаливается и не перегревается в процессе сварки. Поэтому не происходит увеличение зернистости и не снижается пластичность металла. Также эта сталь не склонна к отпускной хрупкости, а вязкость после отпуска не снижается. Для сварки 09Г2С можно применять любые электроды, которые предназначены для сварки низколегированных и малоуглеродистых сталей.

2.2 Выбор электродов.

В данной работе использовались электроды с основным покрытием марки LB 52U. LB-52U – сварочный электрод с пониженным содержанием водорода, что позволяет значительно улучшить характеристики сварного шва. Использование данного электрода позволяет получить отличный наплавленный металл шва и аккуратный корневой чешуйчатый валик без дефектов при сварке с одной стороны соединения. Электрод LB 52U обеспечивает высокую ударную вязкость и его часто используют для сварки труб, морских конструкций и сооружений типа резервуаров, которые необходимо сваривать только с одной стороны. Обеспечивает намного лучшую стабилизацию дуги и проплавление, чем другие низководородные электроды. Высокая эластичность сварного шва позволяет электродам этой марки производить сварочные работы в различных климатических условиях на любых участках магистральных трубопроводах.

Для LB 52U характерно пониженное содержание водорода, в связи с этим улучшается качество сварочного шва.

Химический состав электродов представлен в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Химический состав в %, электродов марки LB 52U

Диаметр электрода, d, мм.	C	Si	Mn	P	S	Ni*	Cr*	M*	V*
2,6	0,06	0,52	1,00	0,011	0,005	0,01	0,03	0,01	следы
3,2	0,06	0,51	1,02	0,011	0,006	0,01	0,02	0,01	следы
4,0	0,06	0,49	1,02	0,013	0,004	0,01	0,03	0,01	следы

Электроды LB 52U применяются в случаях, когда необходимо повысить прочность обратной стороны сварочного шва. Электрод данного типа является незаменимым, когда сварка швов возможна только с одной стороны.

2.3 Выбор оборудования

При проведении экспериментальных исследований переменным прямоугольным током повышенной частоты применяли инвертор сварочного тока ИСТ–201 разработанный сотрудниками кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Томского политехнического университета [16]. Предложенный способ сварки обеспечивает расширение технологических возможностей применения и стабилизацию качества сварных соединений в условиях действия производственных магнитных полей. Задавая ту или иную величину опорного напряжения, можно концентрировать или рассредотачивать тепловой поток дуги в широких пределах, т.е. использовать производственные магнитные поля для

управления положением дуги в пространстве в интересах технологического процесса сварки или наплавки.

Инвертор ИСТ–201 предназначен для совместного использования со стандартным источником питания постоянного тока и подключают его в сварочную цепь посредством байонетных разъемов (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Внешний вид и схема подключения инвертора сварочного тока ИСТ-201

Для сварки переменным модулированным током в сварочную цепь совместно с инвертором сварочного тока ИСТ-201 подключали модулятор, структурная схема установки представлена на рисунке 2.2. В ее состав входит: сварочный трансформатор ИПКТМ, инвертор сварочного тока ИСТ-201, 2 единицы токоограничительного резистора.

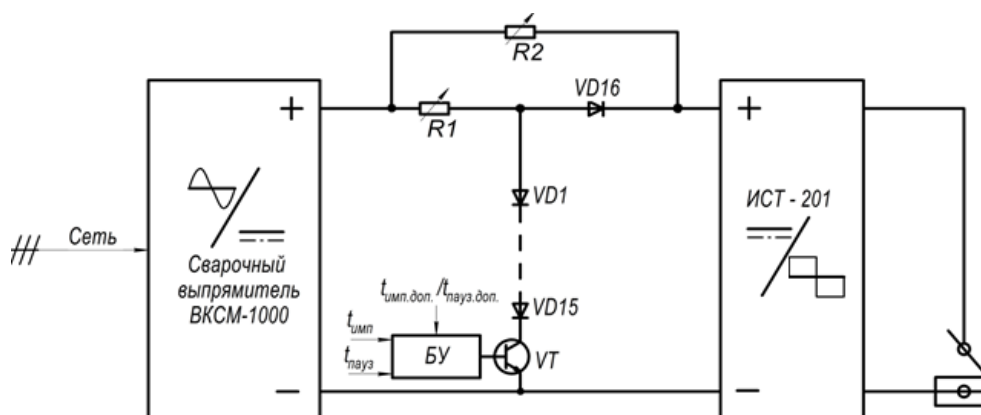


Рисунок 2.2 – Структурная схема для сварки переменным модулированным током

Регулируемыми параметрами являются: ток импульса; ток паузы; длительность импульсатока $\tau_{\text{имп}}$; длительность паузы тока $\tau_{\text{пауз}}$; длительность дополнительного импульса тока $\tau_{\text{доп.имп}}$; длительность дополнительной паузытока $\tau_{\text{доп.пауз}}$.

2.4 Методика подготовки шлифов

Изготовление шлифов для исследования микротвёрдости состоит из нескольких этапов.

Окончательная поверхность шлифа должна быть плоской и блестящей (зеркальной), без видимых дефектов (царапин, задиров). По неправильно выполненному шлифу будет невозможно судить о реальной структуре металла, она будет искажена. По этой причине приготовление шлифов разделяется на этапы, которые выполняются в чёткой последовательности и никак иначе [11].

Первый этап. Отрезка и заторцовка шлифа. Отрезка образца производилась на отрезном станке МЕСАТОМЕ T260 (рис. 2.3). Тиски станка позволяют закреплять образцы в горизонтальном и вертикальном положениях. Станок имеет две скорости резки: 3200 и 3800 об/мин.



Рисунок 2.3 – Отрезной станок Mecatome T260

Далее исследуемую поверхность образца заторцовывали на плоскость на наждачном круге. Отрезку и заторцовку образца обязательно необходимо вести с охлаждением водой, иначе он нагреется, что приведёт к искажению структуры металла.

Второй этап. Шлифование образца. После заторцовки производим шлифование образца на плотной бумаге с применением алмазных паст (ГОСТ 25593) разных номеров (зернистость красной пасты 60/40, голубой пасты 28/20 и зеленой пасты 10/7).

Шлифование выполняется вручную следующим образом. Начинаем шлифование на пасте с более крупными абразивными частицами и заканчиваем пастой с более мелкими частицами. Прижимаем образец заторцованной поверхностью к бумаге с пастой, водим в одном направлении пока все риски не будут соответствовать направлению шлифования. Затем шлифуем на пасте с более мелкими частицами абразива в перпендикулярном направлении к тем рискам, которые у нас получились на предыдущей пасте пока они не исчезнут. Если не соблюдать данную последовательность шлифования останутся риски, которые не выводятся при полировании и затрудняют дальнейший анализ микроструктуры образца. При переходе на следующий номер пасты необходимо полностью удалить остатки старой пасты предыдущего номера (промыть, вытереть тканью со спиртом и протереть сухой ветошью).

Важным в процессе изготовления шлифа является то, чтобы заторцованная и отшлифованная поверхность получилась идеально плоской, края не должны быть завалены. Для достижения такого результата при изготовлении образец зажимали в струбцину, имеющую ту же твердость, что и шлиф. После окончания шлифования образец промывали водой для удаления частиц абразивного материала, затем полировали.

Третий этап. Полирование выполнялось на плоском круге, который вращался с помощью двигателя. Круг покрыт сукном, которое в процессе

полирования нужно смачивать водой с мельчайшим порошком, пастой ГОИ, для лучшего выведения царапин и ускорения процесса, но переусердствовать с пастой не нужно, так как излишки частиц могут создать новые царапины. В процессе полирования образец прижимается к кругу равномерно всей плоскостью. Во время полирования образец нужно постоянно поворачивать. Прекращается полирование после того как выведены все оставшиеся риски и поверхность образца имеет зеркальный блеск [12].

2.5 Травление шлифа

Травление выполняли следующим образом. Полностью подготовленный образец определённое время выдерживали в специальном растворе - «травитель», затем шлиф промывали сначала водой, а затем спиртом и сушили. В результате травления на поверхности микрошлифа образовывались выступы и впадины, характеризующие микроструктуру сплава. В нетравленном виде полированный шлиф под микроскопом имеет вид светлого круга.

Для анализа эвтектических карбидов использовали травитель следующего химического состава: 20 мл. HCl ; 1 мг. CuCl_2 ; 15 мл. H_2O ; 65 мл. $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Травление проводили при температуре 20 °С, время травления 10 с.

Микроструктуру наплавленных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа Olympus GX51 (рис. 2.4), снабженного анализатором изображений SIAMS 700.



Рисунок 2.4 – Микроскоп Olympus GX51

2.6 Измерение микротвердости

Для испытания металлов на микротвердость методом вдавливания в качестве наконечника применяются алмазные пирамиды. Наиболее распространена пирамида с квадратным основанием и углом при вершине между противоположащими гранями в 136° . На рисунке 2.5 изображен наконечник данного типа. При испытании однородного материала с помощью такого наконечника значения твердости почти не зависят от применяемой нагрузки в интервале от 1 г. до 1 кг.

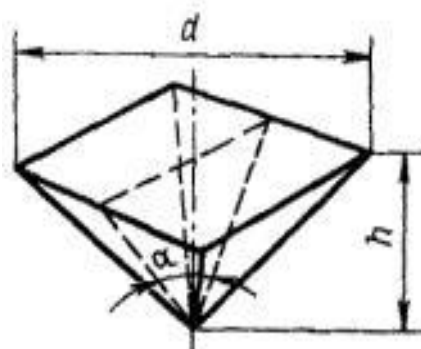


Рисунок 2.5 – Стандартный пирамидальный наконечник.

Размеры отпечатка, полученного в материале в результате вдавливания какого-либо наконечника, уменьшаются при удалении нагрузки за счет упругой деформации материала. Поэтому различают отпечаток при неснятой нагрузке и отпечаток при снятой нагрузке. Обычно при испытании с помощью конуса, шарика или квадратной пирамиды, измеряется отпечаток после снятия нагрузки и удаления наконечника, т.е. восстановленный отпечаток [13].

Хорошо выполненные алмазные пирамиды наконечников должны иметь острые ребра, вершина не должна иметь закругления, грани должны быть плоскими, тщательно отполированными, в целях уменьшения коэффициента трения между алмазом и исследуемым материалом [13].

Алмаз позволяет получать пирамиду, удовлетворяющую этим условиям. Таким образом, обеспечивается максимально возможное

геометрическое подобие при получении отпечатков под различными нагрузками.

Приборы для определения твердости микроскопических элементов структуры отличаются тем, что нагрузка под действием которой происходит вдавливание, измеряется всего лишь граммами или десятками граммов. Размеры отпечатков при этом колеблются от нескольких микронов до десятков микронов и требуют для своего замера микроскоп, составляющий существенную часть прибора. Применение малых нагрузок позволяет получать неповрежденные отпечатки даже на весьма хрупких материалах или структурных составляющих [13].

Процесс измерения микротвердости начинался с установки образца на испытательный стол микротвердомера HV-1000 (рисунок 2.6). Важно при установке добиться параллельной плоскости образца, на которую будут проставляться дорожки, по сравнению с плоскостью стола. При не соблюдении параллельности плоскостей возникает большая погрешность в измерениях. По данным измерениям невозможно наблюдать необходимую зависимость.

Модификация HV-1000 оснащена поворотной револьверной головкой, на которой могут быть установлены одновременно один наконечник и два объектива. Цикл приложения нагрузки автоматизирован, запускается сенсорной клавишей, вмонтированной в корпус твердомера. Переход к системе измерения длины диагоналей отпечатка с помощью микрометрической головки после цикла приложения нагрузки и переход к повторению цикла приложения нагрузки осуществляется оператором [14].



Рисунок 2.6 – Стационарные микротвердомеры HV-1000

Измерительная головка микроскопа позволяет производить измерения диагоналей отпечатков в мкм, перевод измеренных значений в числа твёрдости Виккерса осуществляется по таблицам, которые входят в комплектацию прибора (для модификации HV-1000) [14].

После установки настраивались параметры ($F = 500$ г. сила, с которой алмазная пирамида действует на поверхность образца, $t = 10$ с. – время вдавливания алмазной пирамиды, HV – измерения проводятся по методу Виккерса) микротвердомера. Следующим этапом исследования являлось проставление дорожек уколов. Уколы проставлялись в линию с шагом 200 мкм. Измерения проводились по вертикальной линии (1) как показано на схеме (рисунок 2.7).

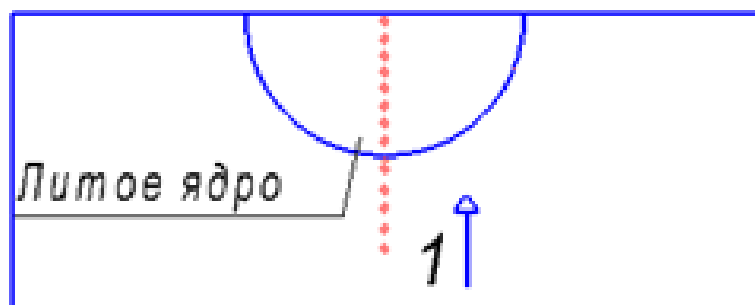


Рисунок 2.7 – Схема замера микротвердости по линии 1

3. Экспериментальная часть

С целью определения влияния рода тока и его модуляции на микроструктуру металла шва были проведены экспериментальные исследования. Для этого производили наплавку валиков электродами с покрытием марки LB-52U типа Э50А диаметром 3,2 мм в нижнем положении на пластину из стали 09Г2С толщиной 12 мм. Перед наплавкой, поверхность пластины зачищали до металлического блеска универсальной угловой шлифовальной машинкой УШМ-125. Питание сварочной цепи осуществляли постоянным и модулированным током обратной полярности. Список оборудования, использованного при эксперименте, приведен в разделе 2.3. Температура пластины перед наплавкой каждого из валиков составляла 25°C, чтобы избежать термического влияния на ранее наплавленный металл.

На рисунке 3.1..3.4 приведены осциллограммы тока в сварочной цепи для каждого из экспериментов, по которым были определены фактические параметры режимов наплавки валиков (таблица 3.1).

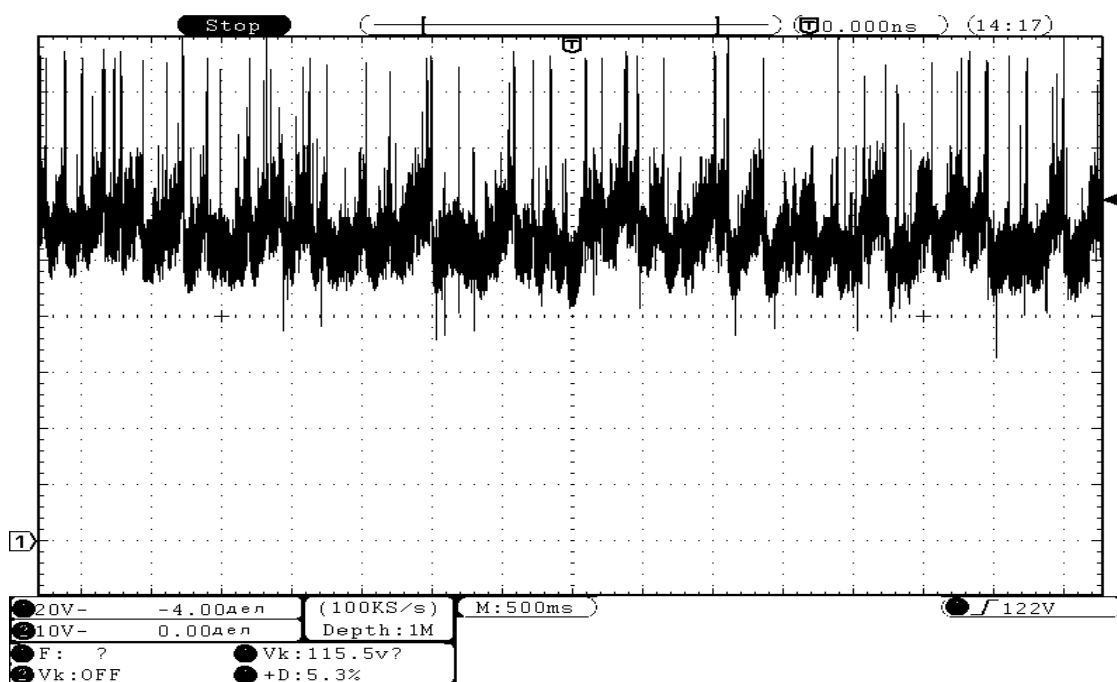


Рисунок 3.1 – Осциллограмма постоянного тока обратной полярности ($\mu_t = 500$ мс/дел;
 $\mu_i = 20$ А/дел; $I_{св} = 116$ А)

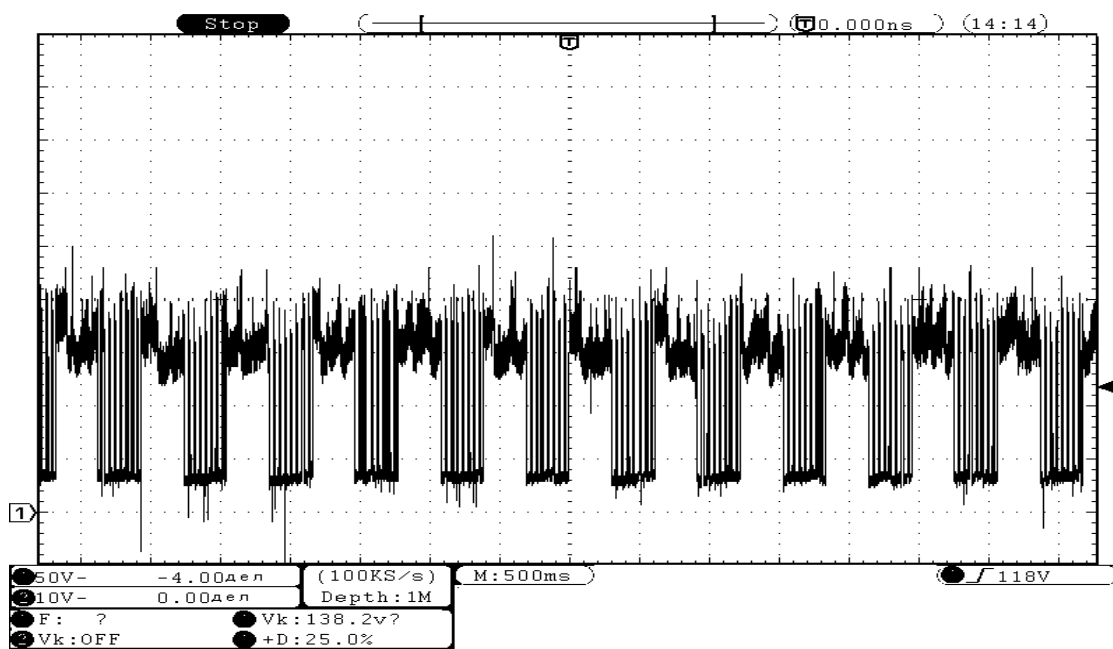


Рисунок 3.2– Осциллограмма униполярного модулированного тока ($\mu_t = 500$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $I_{CB} = 128$ А)

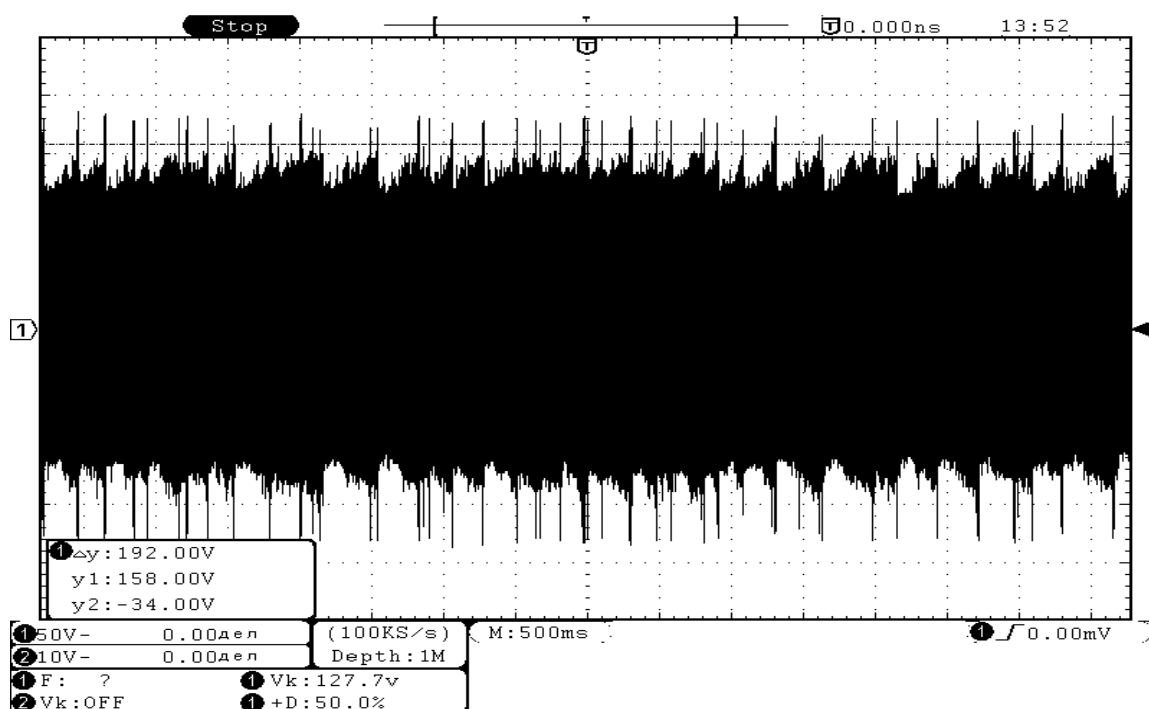
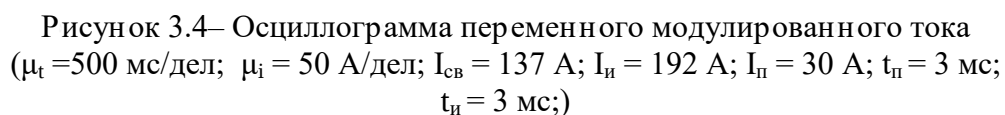


Рисунок 3.3 – Осциллограмма переменного прямоугольного тока повышенной частоты ($\mu_t = 500$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $I_{CB} = 128$ А)



№	Род и форма тока	Параметры сварочного тока	d _{эл} , мм	Марка электрода
1	Постоянный обратной полярности	I _{св} =116 А	3,2	LB- 52U
2	Постоянный модулированный	I _{св} =138 А		
3	Переменный прямоугольный	I _{св} =128 А		
4	Переменный модулированный	I _{св} = 137 А; I _и = 192 А; I _п = 30 А;		

44

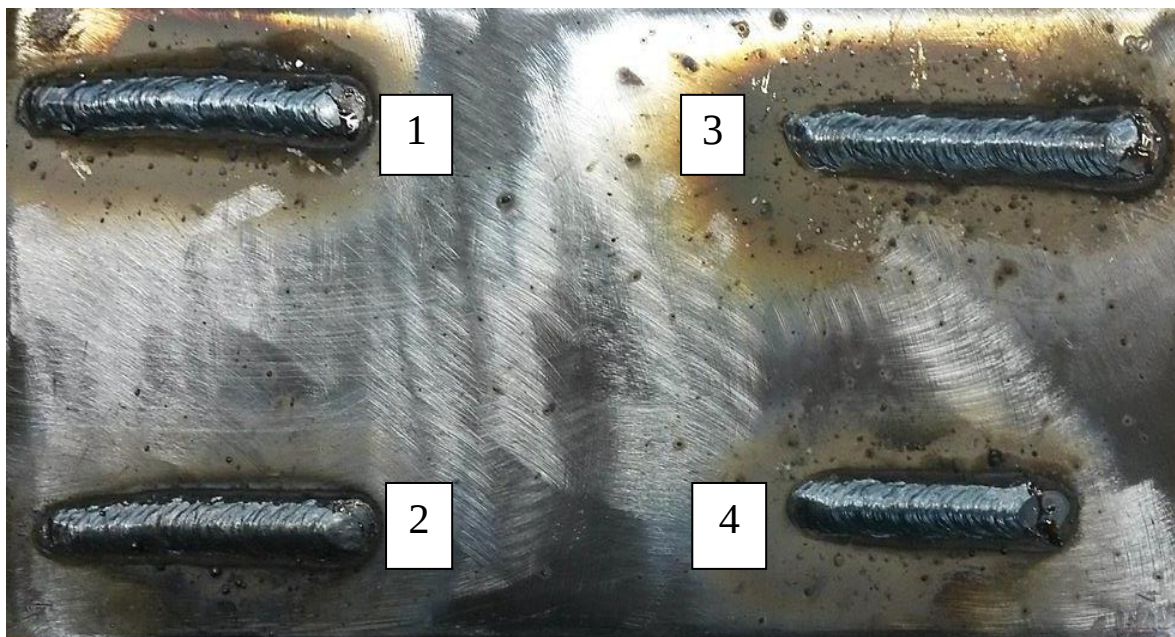
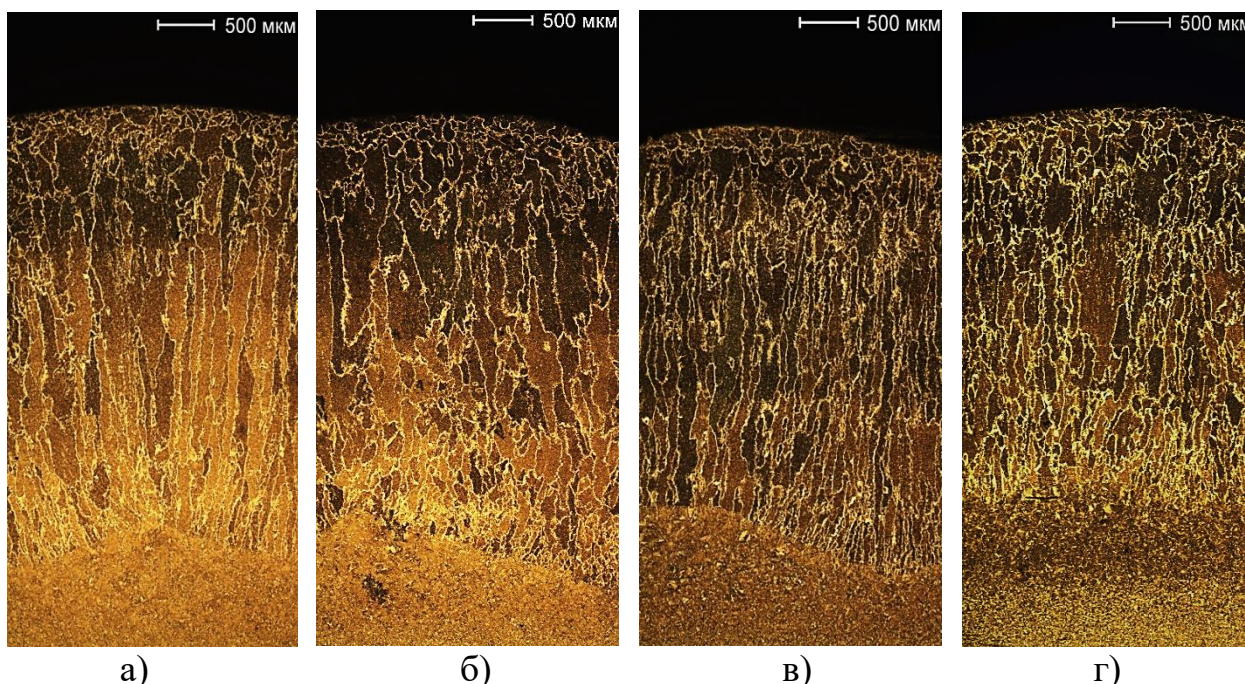


Рисунок 3.3 – Наплавленные валики.

Каждый полученный валик был клеймен согласно очередности наплавления и соответствующего рода тока 1 – переменный модулированный ток; 2 – переменный прямоугольный ток повышенной частоты; 3 – унipoлярный модулированный ток; 4 – постоянный ток обратной полярности

После проведения наплавки на пластину, полученные валики подвергали визуальному осмотру, по результатам которого видимых дефектов обнаружено не было. С целью анализа влияния рода тока на свойства металла шва, исследовали его макро- и микроструктуру (рис.3.4).



а) б) в) г)
 Рисунок 3.4 – Микроструктура металла швов: а) постоянный ток обратной полярности; б) униполярный модулированный ток; в) переменный прямоугольный ток повышенной частоты; г) переменный модулированный ток

Анализ микроструктуры сварных соединений показал, что применение переменного модулированного тока способствует получению мелкозернистой структуры металла шва (рисунок 3.4, г) по сравнению со структурой, полученной в шве при сварке на постоянном токе обратной полярности (рисунок 3.4, а).

В металле, наплавленном на переменном токе без модуляции (рисунок 3.4, в) наблюдается интенсивный рост дендритов.

Кроме того, применение переменного модулированного тока также оказывает влияние на строение околошовной зоны. В частности уменьшается протяженность участка перегрева с крупным зерном, ко шву примыкает участок со структурой металла в нормализованном состоянии.

Микротвердость на шлифах определяли с помощью прибора HV-1000 при нагрузке 500 гр. с шагом по глубине 200 мкм (ГОСТ 9450-76). Было произведено по 120 замеров на каждом образце в виде дорожек. Схема замера микротвердости, использованная при эксперименте, указано в пункте 2.6. Для

сопоставления данных были построены графики диаграмм микротвердости наплавленного металла при разных сварочных токах (рисунок 3.5..3.8). Из которого видно, что микротвердость наплавки с переменным модулированным током дает некоторое уменьшение твердости, как в зоне термического влияния, так и в наплавленном металле. С точки зрения наличия концентраторов это благоприятный фактор, так как вероятность раскрытия трещин, появления пор и шлаковых включений минимальна. Отличия микротвердости наплавленного металла при трех других образцах не большая.

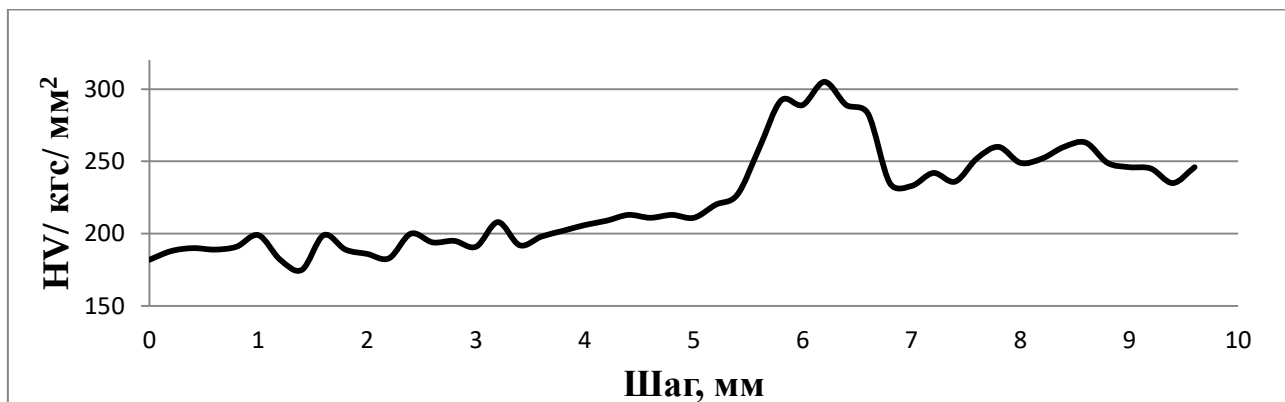


Рисунок 3.5 – Микротвердость образца на переменном прямоугольном токе повышенной частоты

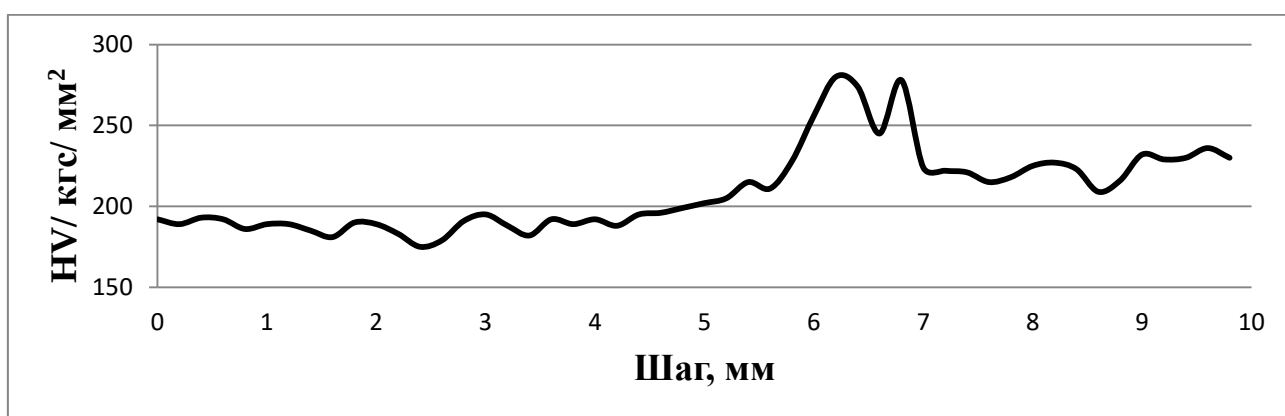


Рисунок 3.6 – Микротвердость образца на модулированном токе

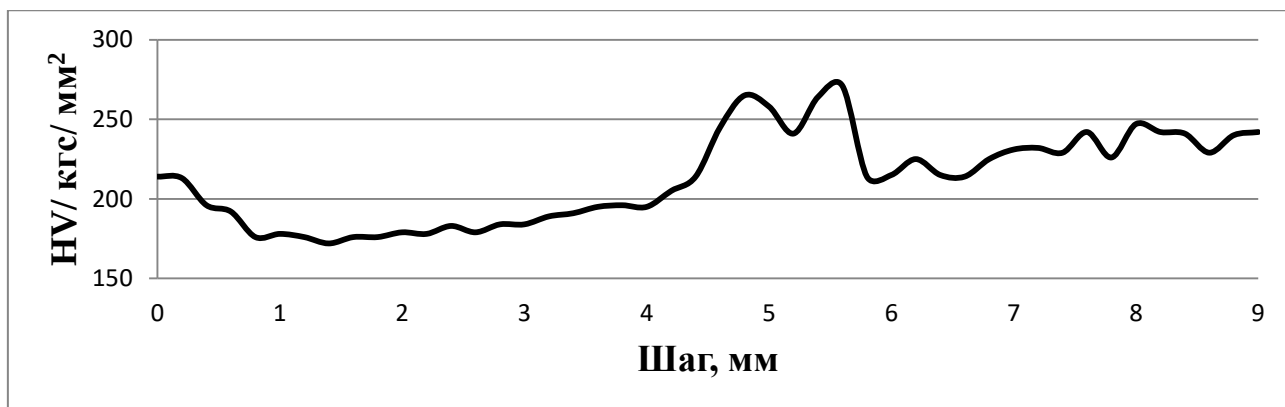


Рисунок 3.7 – Микротвердость образца на постоянном токе обратной полярности



Рисунок 3.8 – Микротвердость образца на переменном модулированном токе

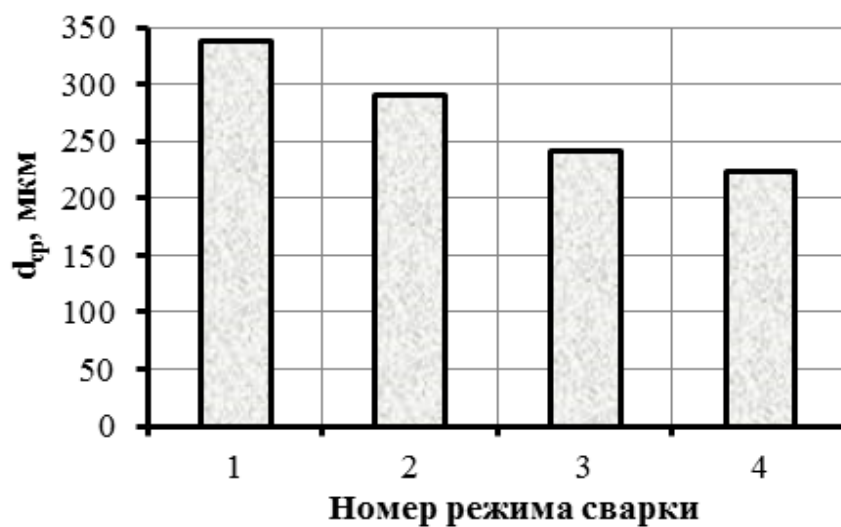


Рисунок 3.9– Анализ размера зерен всех образцов, под номером 1 в этом графике образец с постоянный ток обратной полярности, 2 - постоянный модулированный ток, 3 - переменный прямоугольный ток повышенной частоты, 4 - переменный модулированный ток.

Анализ гистограммы свидетельствует об уменьшении среднего размера зерна при использовании модуляции сварочного тока. При этом средний размер зерна сварного шва, полученного с использованием переменного модулированного тока приблизительно в 1,5 раза меньше, чем при сварке на постоянном токе. А значит, получение качественного соединения при сварке покрытыми электродами возможно, как на постоянном токе, на переменном прямоугольном токе повышенной частоты, так и на переменном модулированном токе.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

Целью экономической части диплома является анализ процесса с экономической точки зрения.

В данном разделе производится учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проекта, оценивается эффективность разработки, анализируются возможные способы исполнения процесса сварки, а также рассчитывается эффективность производства по одному из способов.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Исследовали свойства сварных соединений при сварки переменным прямоугольным током. Следовательно, потенциальными потребителями результатов наших исследования нефте- и газодобывающие компании находящиеся любой области Российской Федерации, производящие ремонт и укладку нефте- и газопроводов.

Для данных коммерческих организаций критерием сегментирования является производство и ремонт. Сегментируем оборудование и технологию сварки переменным прямоугольным током, а именно форму импульса сварочного тока (амплитудно–временные параметры импульса), который

обеспечит бездефектное формирование сварной точки, по критерию производство и ремонт.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [15].

В ходе исследования проанализированы конкурентные технические решения, используемые на сегодняшний день в промышленности России и стран зарубежья в области ручной дуговой сварки. Однако на сегодняшний день применяют разные техники для осуществления данного способа сварки.

Технология QuaD (QQuality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 100%.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	20%	100	100	1	20
2. Унифицированность	5%	50	100	0,5	5
3. Уровень материалоемкости разработки	10%	20	100	0,2	10
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	10%	70	100	0,7	10
5. Ремонтопригодность	10%	90	100	0,9	9
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	10%	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	10%	50	100	0,5	8
8. Перспективность рынка	10%	50	100	0,5	5
9. Цена	10%	30	100	0,3	3
10. Финансовая эффективность научной разработки	5%	70	100	0,7	3,5
Итого	100%	610	1000	6,1	81,5

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что перспективность проделанного исследования выше среднего.

Исходя из проведенного выше анализа (таблица 4.1) можно сделать вывод, что технология имеет ряд преимуществ над своими аналогами. При использовании данной технологии значительно снижается процент брака и повышается производительность работы что, безусловно, повышает количество и качество выпускаемых изделий. Также за счет применения более рационального амплитудно-временного параметра импульса тока значительно снижаются энергетические затраты, что снижает себестоимость выпускаемых изделий, при этом за счет повышения качества нет необходимости снижать цену на товар. Также стоит отметить наличие широкого диапазона возможностей при использовании данной технологии.

4.1.3 FAST – анализ

FAST – анализ состоит из шести стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

Объектом данного анализа является объект исследования, а именно сталь 09Г2С и влияние на ее структуру применение при сварке переменным прямоугольным модулированным током.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Главной функцией (назначением) стали 09Г2С является надёжность и долговечность в условиях различного вида нагружения. Иными словами главной функцией являются жаропрочность и жаростойкость..

К вспомогательным функциям можно отнести полное отсутствие магнитных свойств, что благоприятно сказывается при проведении сварочных работ – отсутствует магнитное дутьё, которое отрицательно влияет на геометрию сварного шва.

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Для начала необходимо построить матрицу смежности функций, в которой определим более значимые из них.

Таблица 4.2 – Матрица смежности функций стали 09Г2С

	Жаропрочность/жаростойкость	Механическая обработка	Свариваемость	Диамagnetизм
Жаропрочность/жаростойкость	=	=	>	>
Механическая обработка	=	=	>	>
Свариваемость	<	<	=	>
Диамagnetизм	<	<	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая.

После определения более значимых функций нужно определить количественное соотношение функции. Для этого построим матрицу количественных соотношений функций.

Таблица 4.3 - Матрица количественных соотношений функций

	Жаропрочность/жаростойкость	Механическая обработка	Свариваемость	Диамagnetизм	ИТОГО
Жаропрочность/жаростойкость	1	1	1,5	1,5	5
Механическая обработка	1	1	1,5	1,5	5
Свариваемость	0,5	0,5	1	1,5	3,5
Диамagnetизм	0,5	0,5	0,5	1	2,5
Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»					$\Sigma=16$

Согласно матрице количественных соотношений получили следующие относительные значимости функций: жаропрочность/ жаростойкость и механическая обработка – 0,3125 (5/16), свариваемость – 0,21875, диамagnetизм – 0,15625. Видно, что самыми значимыми функциями (свойствами) для 09Г2с являются её главные свойства жаропрочность и жаростойкость, а также основные функции – хорошая обрабатываемость давлением и резанием (механическая обработка).

Стадии 4 и 5 - анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования и построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ соответственно можно опустить, поскольку свойства рассматриваемой стали зависят от входящих в неё легирующих элементов и не представляется возможным оценить степень влияние каждого элемента на то или иное свойство (функцию), поскольку данное сочетание свойств определяется совокупностью легирующих элементов.

Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

Сталь 09Г2С обладает рядом свойств и характеристик, которые успешно применяются при производстве конструкций для работы в условиях, в которых данная сталь зарекомендовала себя лучше остальных. С помощью механической обработки давлением, предоставляется возможным улучшить

прочностные характеристики и оправдывает дополнительные экономические затраты.

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, плазменного метода переработки и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 4.4- Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Наличие современного программного продукта С5. Актуальность проекта	Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала.
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	- При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для получения качественных швов с высокими эксплуатационными свойствами.	- Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.
У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	- Повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.	- Расширение области применения за счет развития новых технологий.

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4.5.. 4.8.

Таблица 4.5- Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C1C2C3C4C5.

Таблица 4.6- Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	-
	B2	+	-
	B3	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1, ВСл1.

Таблица 4.7- Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1C4C5, У2C1.

Таблица 4.8 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	+	+
	У2	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2, У2Сл2.

Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 4.9 - Морфологическая матрица методов получения качественного сварного шва.

	1	2
А. Вид сварки	На постоянном токе	На переменном токе
Б. Вид полярности тока	Прямая и обратная	Прямоугольный и синусоидальный
В. Вид используемых электродов	LB 52U	LB 52U

Возможные варианты решения технической задачи:

1) А1Б1В1 – В первом случае, применяем сварку на постоянном токе это связано со стандартными рекомендациями, высокой концентрацией тепловой мощности, наиболее эффективно сваривать металл на постоянном токе обратной полярности, увеличивается стабильность горения дуги, хорошее качество сварного шва

2) А2Б2В2 – Во втором случае, применяем на переменном токе это связано с тем, что при данном методе достигается мелкозернистость металла шва, что увеличивает его прочностные свойства, а это в свою очередь увеличивает долговечность эксплуатации трубопроводов.

4.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации представлена в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно–технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	5	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно–технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3

Продолжение таблицы 4.10

15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
ИТОГО БАЛЛОВ		61	50

Таким образом, разработка считается перспективной, а знания разработчика выше среднего. Возможно привлечение в работу эксперта по проведению процедуры оценки уровня профессиональных компетенций сотрудников, осуществляющих контрольно-надзорные мероприятия.

4.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования является – передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Заинтересованными лицами в полученных данных являются нефтегазодобывающие и ремонтные организации на действующем трубопроводе, так как это позволит им сократить время сварки и уменьшит количество брака.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [54].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [54].

Устав научного проекта бакалаврской работы имеет структуру, представленную ниже [54].

Цели и результат проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Машиностроение	Получение качественного сварного соединения
Приборостроение	
Химическая	

В таблице 4.12 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.12 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка технологии для сборки и сварки рабочего колеса вентилятора с применением импульсного режима сварки
Ожидаемые результаты проекта:	Получение более качественных соединений с меньшими пластическими деформациями
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выполнение поставленных задач
	Научное объяснение результатов экспериментов
	Заключение о результатах исследования

Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 4.13)

Таблица 4.13 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Гордынец А.С., ассистент ИШНКБ ТПУ	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Селюков В.В., магистрант ИШНКБ ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментальной части

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

Таблица 4.15 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1.Источник финансирования	Финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ № 862
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	—
3.2.2. Дата завершения проекта	30.05.2019 г.

В данном разделе были определены основные цели и ожидаемые результаты от разработок, обозначены сроки завершения проекта и назначены главные участники.

4.3 Планирование управления проектом

4.3.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить линейный график выполнения проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 4.16).

Таблица 4.16 - Распределение этапов работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Практические исследования	9	Сварка контрольных образцов исследуемыми методами	Студент
	10	Изучение результатов проведенной сварки	
	11	Анализ результатов	
	12	Выводы по цели	

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю.

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Работа над ВКР проводилась с 12 января 2019 года по 30 мая 2019 года. В итоге, при пятидневной рабочей неделе с учетом выходных и праздничных дней получается 99 рабочих дней.

Трудоемкость работ определяется по сумме трудоемкости этапов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Она носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Поэтому для определения ожидаемой продолжительности работ $t_{ож}$ используется метод вероятностных оценок длительности работ. Он основан на использовании трех оценок

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4t_{нв} + t_{\max}}{6}, \quad (4.3)$$

где $t_{\min}$ – кратчайшая продолжительность заданной работы (оптимистическая оценка),
 $t_{\max}$ – самая большая продолжительность работы (пессимистическая оценка),
 $t_{н.в.}$ – наиболее вероятная продолжительность работы.

Для оценки трудоемкости необходимо разработать перечень работ.

Выбор комплекса работ при разработке проекта производится в соответствии с ГОСТ 19.102-77 устанавливающего стадии разработки. Перечень комплекса работ приведен в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Временные показатели проведения научного исследования

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
			$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	t_p	t_k
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	3	1,8	2	4
2	Выдача задания на тему	Руководитель	1	3	1,8	2	4
3	Постановка задачи	Руководитель	1	3	1,8	2	4
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель Студент	2	6	3,6	2	4
5	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	7	14	9,8	10	20
6	Анализ существующего опыта	Студент	4	8	5,6	6	10
7	Подбор нормативных документов	Студент	4	8	5,6	6	10
8	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель Студент	2	12	6	3	6
9	Разработка технологической документации	Студент	3	6	4,2	4	7
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	2	4	2,8	3	6
12	Работа над выводом	Студент	1	4	2,2	3	6
13	Составление пояснительной записки	Студент	1	4	2,2	3	6
Руководитель							12
Студент							87

Таким образом, общая длительность работ в календарных днях (руководителя – 12 дн., инженера – 87 дн., совместной работы – 10 дн.) равна 99 дн. На основании таблицы 4.17 строим календарный план-график, который отражает длительность исполнения работ в рамках проектной деятельности (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Ра-бот	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4									
2	Выдача задания на тему	Руководитель	4									
3	Постановка задачи	Руководитель	4									
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель Студент	4									
5	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	20									
6	Анализ существующего опыта	Студент	10									
7	Подбор нормативных документов	Студент	10									
8	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель Студент	6									
9	Разработка технологической документации	Студент	7									
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	6									
12	Работа над выводом	Студент	6									
13	Составление пояснительной записки	Студент	6									
 – студент;  – руководитель.												

4.4 Бюджет научного исследования

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

Определение затрат производится путем составления сметы затрат на разработку технологического процесса. Смета затрат состоит из прямых и накладных расходов, которые включают в себя следующие статьи:

статья 1 – материальные затраты НТИ;

статья 2 – затраты на специальное оборудование для научных работ;

статья 3 - основная заработная плата исполнителей темы;

статья 4 – дополнительная заработная плата исполнителей темы;

статья 5 – отчисления во внебюджетные фонды;

статья 6 - накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх.}i} \quad (4.4)$$

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

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

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

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.19 – Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Итого								2852	2219,5	2135,5

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

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

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

Таблица 4.20 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		.1 Исп	.2 Исп	.3 Исп	.1 Исп	.2 Исп	.3 Исп	.1 Исп	.2 Исп	.3 Исп
1.	Оборудование для сварки на постоянном токе обратной полярности.	1	-	-	1156	-	-	1329	-	-
2.	Оборудование для сварки на постоянном модулированном токе	1	1	1	2000	2000	2000	2300	2300	2300
		Итого:						3629	2300	2300

4.4.3 Расчет фонда заработной платы.

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [15]. Для техника (дипломника) месячный оклад составляет $З_{бт}=6595$ руб/мес, для руководителя (ассистента с ПКГ ППС 1) - $З_{бп}=17272$ руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле 4.7 [15]:

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.5)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле 4.8 [15]:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле 4.7, [15]:

$$З_{дн} = \frac{З_{м}}{T}, \quad (4.7)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

T – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит $T=26$ дней.

Месячный должностной оклад работника [15]:

$$З_{м} = З_{б} \cdot k_p, \quad (4.8)$$

где $З_{б}$ – базовый оклад, руб.;

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

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$З_{\text{мт}} = 6595 \cdot 1,3 = 8573,5 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{мп}} = 17272 \cdot 1,3 = 22454 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$З_{\text{дн.т}} = \frac{8573,5}{26} = 329,75 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{дн.п}} = \frac{22454}{26} = 864 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 116 полных рабочих дней (8 часов в день):

$$З_{\text{осн.т}} = 329,75 \cdot 116 = 38251 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{осн.п}} = 864 \cdot 116 = 100224 \text{ руб.}$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудоемкость выполнения работы Тисп, д	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗПосн, руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник (техник)	1	116	6595	329,75	38251	8573,5
Руководитель (к.т.н.)	1	116	17272	864	100224	22454
Итого:	2	232			138475	

В данном разделе были определены затраты на фонд заработной платы, который равен 138475 рублей.

4.4.4 Расчет дополнительной заработной платы

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

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.9)$$

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

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

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

Принимаем коэффициент дополнительно зарплаты равным 0,1 и получаем:

$$З_{\text{доп.т}} = 0,1 \cdot 38251 = 3825 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{доп.п}} = 0,1 \cdot 100224 = 10022 \text{ руб.};$$

В данном разделе был сделан расчет дополнительной заработной платы. Итоговая сумма дополнительной заработной платы участников проекта равна 13847 рублей.

4.4.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле 4.12 [15]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.10)$$

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

Принимаем $k_{\text{внеб}}=0.302$.

Отчисления с основной заработной платы:

$$C_{\text{внеб.т}} = 0,302 \cdot 138475 = 41820 \text{ руб.}$$

Отчисления с основной дополнительной заработной платы:

$$C_{\text{внеб.п}} = 0,302 \cdot 13847 = 4182 \text{ руб.}$$

В данном разделе был сделан расчет отчислений во внебюджетные фонды. Итоговая сумма отчислений равна 46002 рублей.

4.4.6 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot \left(\frac{C_{\text{mat}}}{7} \right), \quad (4.11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Принимаем $k_{\text{накл}}=0.16$.

Накладные расходы составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 4.13 [15]:

$$C_{\text{накл.т}} = 0,16 \cdot (7207 + 138475 + 13847 + 46002 + 8229) / 7 = 4886 \text{ руб.}$$

В данном разделе был сделан расчет накладных расходов.

4.4.7 Формирование бюджета затрат НТИ

Расчет сметы затрат на разработку приведены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Смета затрат на разработку технологического процесса

Статья затрат	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты НТИ	7207
На спец.оборудование	8229
Основная заработная плата	138475
Дополнительная заработная плата	13847
Отчисления во внебюджетные фонды	46002
Накладные расходы	4886
Итого	218646

В данном разделе были определены основные источники расходов для реализации данного проекта. Всего потребуется 218646 рублей.

4.5 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.12)$$

Где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8; I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{5419612,6}{5419612,6} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{2845459,64}{5419612,6} = 0,52.$$

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i \quad (4.13)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки; b_{ia} , b_{ip} – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме

$$I_{\text{р-исп1}} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (4.14)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,8} = 5,625; I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,52} = 8,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. таблицу 4.23) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (4.15)$$

Таблица 4.23 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,64	0,51	1

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

5. Социальная ответственность

В магистерской работе проводятся исследования свойств сварных соединений полученных с использованием постоянного модулированного тока, поэтому в работе приводится анализ вредных и опасных 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.

В этом разделе определены потенциально вредные и опасные факторы, выявлен источник их появления, приведены нормативные документы, определяющие предельно-допустимый уровень или предельно-допустимую концентрацию, а также предложены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, направленные на снижение или устранение опасных и вредных факторов. Также описаны мероприятия по противопожарной профилактике, охране окружающей среды и чрезвычайным ситуациям [16].

5.1 Производственная безопасность

Рабочим местом является отдельное помещение (лаборатория). Так как данное помещение находится внутри здания, на работающего возможны действия следующих вредных и опасных факторов: монотонный режим

работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, повышенный уровень ультрафиолетовой радиации, поражение электрическим током, пожар. Воздействие вредных производственных факторов на работающих может привести к заболеванию и снижению производительности труда [1].

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при выполнении наплавки на стальные пластины электродами LB-52U.

Для минимизации воздействия вредных и опасных факторов необходимо более подробно их анализировать и предложить средства коллективной и индивидуальной защиты.

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

При организации рабочего места, следует принять во внимание тот факт, что качество и производительность труда, зависят от существующих на данном рабочем месте условий труда и соответствия этих условий установленным нормам. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный труд и должна соответствовать [20].

1. Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей [21,22].

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать [22]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений по [22]

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах соответствуют требованиям Санитарных правил и нормативов [21,22] применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый период года.

Для того чтобы создать необходимые метеорологические условия рабочей зоны и предотвратить различные переохлаждения и перегревания организма в небольших помещениях устанавливают кондиционеры. С помощью кондиционирования воздуха в закрытых помещениях можно поддерживать необходимую температуру, а также скорость движения воздуха [23].

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

2. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум

ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечнососудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Главным источником шума при ведении сварочных работ является источник питания. Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик системы питания для сварки в динамическом режиме изложены в [25]. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах, который сравнивают с предельным спектром.

Для снижения шума в помещениях используют средства звукоизоляции и звукопоглощения, устанавливают глушители шума и рационально продумывают технологию производства с использованием малошумных технологических процессов. Также в качестве индивидуальных средств защиты от шума применяют различные противοшумные наушники, вкладыши, шлемы, каски и костюмы [24].

В лаборатории, которой ведутся сварочные работы, главным источником шума является источник питания, который по характеру спектра является широкополосным.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём: изоляции источников шумов; проведение акустической обработки помещения; создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок; проведение профилактических работ.

3. Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах составляет 200 лк

согласно [26], так как наблюдение за процессом сварки происходит через защитную маску. В разделе 5.1.2 приведен расчет искусственного освещения.

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

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности ($K_{\text{п}}$) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного факторы является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами [24].

4. При работе с источниками питания может произойти поражение электрическим током. Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями [24]. Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

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

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

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

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают [24]:

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

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

5. Вредные вещества в воздухе в виде паров, газов и аэрозолей (пыли) - химические вещества, вызывающие в производственных условиях нарушение нормальной жизнедеятельности организма, являющиеся причиной острых и хронических интоксикаций.

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

В таблице 5.2 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей согласно [20].

Таблица 5.2 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

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

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

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местный отсос можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего» [20].

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

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

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

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна соответствовать нормам, приведенным в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Скорость движения воздуха, создаваемая отсосами у источников выделения вредных веществ

Процесс сварки	V, м/с
Сварка ручная	$\geq 0,5$
Механизированная сварка в среде CO ₂	$\geq 0,3$

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

5.1.2 Расчет искусственного освещения

Производственное помещение, в котором проводились исследования имеет следующие размеры: длина $A=25$ м, ширина $B=15$ м, высота $H=4$ м, высота рабочей поверхности $h_{rp}=0,8$ м. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах должно составлять 200 лк согласно [26].

Коэффициент отражения стен $R_c=30$ %, потолка $R_{п}=50$ %. Коэффициент запаса $k=1,5$, коэффициент неравномерности $Z=1,1$ [25].

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Осветительные приборы в помещении относятся к светильникам типа ОД, $\lambda = 1,4$. Приняв $h_c = 0,5$ получаем:

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м}; \quad (5.1)$$

$$L = 1,4 \cdot 2,7 = 4,5 \text{ м}; \quad (5.2)$$

$$\frac{L}{3} = 1,5 \text{ м}. \quad (5.3)$$

Светильники расположены в три ряда, в каждом ряду по 12 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,2 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составляют 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N=72$. На рисунке 5.1 представлен план помещения и размещения на нем светильников.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{288}{2,7(25 + 15)} = 2,5 \quad (5.4)$$

Согласно [7] определяем коэффициент использования светового потока, который равен $\eta = 0,61$.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 288 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{72 \cdot 0,61} = 3143 \text{ лм} \quad (5.5)$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.стандарт}} - \Phi_{\text{л.расчет}}}{\Phi_{\text{л.стандарт}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (5.6)$$

Получаем:

$$-10\% \leq 8,78\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 72 \cdot 40 = 2880 \text{ Вт} \quad (5.7)$$

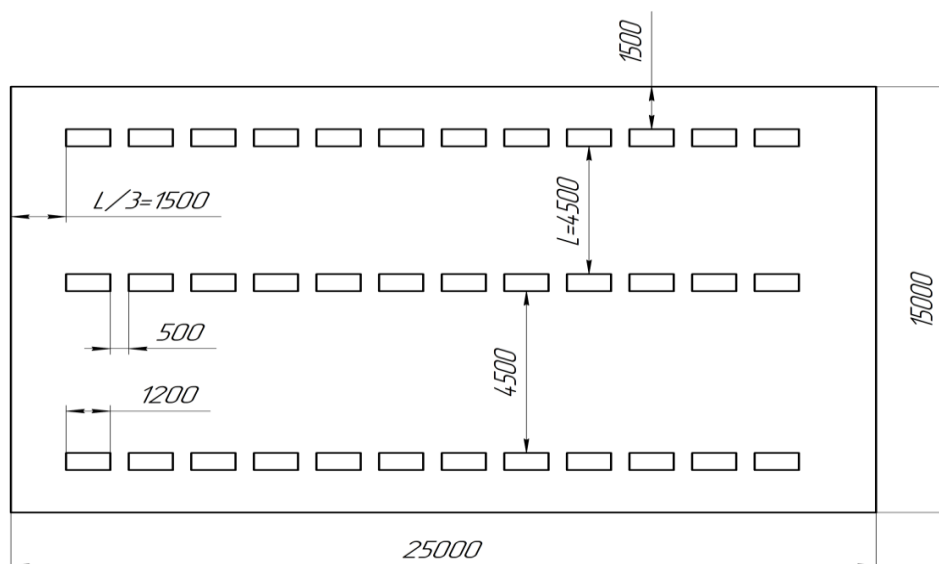


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников

5.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы.

5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, вольфрама, алюминия, титана, цинка, меди, никеля и др.), а также газообразные соединения (фтористые, оксиды углерода и азота, озон и др.). Для определения влияния на окружающую

среду загрязняющих веществ необходимо воспользоваться [28], в котором приведены удельные показатели и их допустимые пределы (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Удельные показатели выделения загрязняющих веществ при сварке и наплавке металлов

Технологический процесс	Используемый материал и его марка	Наименование и удельные количества выделяемых загрязняющих веществ, г/кг							
		Сварочный аэрозоль	Железа оксид	Марганец и его соединения	Хром шестивалентный	Пыль неорганическая SiO ₂	Фтористый водород	Диоксид азота	Диоксид углерода
Ручная дуговая сварка сталей штучными электродами	LB-52U	16,4	10,69	0,92	-	1,4	0,75	1,5	13,3
Ручная дуговая сварка сталей штучными электродами	УОНИ – 13/45	10	7,62	1,9	-	0,43	-	-	-

Значения показателей находятся в допустимых пределах. Значительного влияния на атмосферу процесс не оказывает, а следовательно и мероприятия по защите окружающей среды не предусматривает.

При ведении сварочных работ возможны следующие отходы: использованные электроды, шлак, которые в ходе их непригодности выкидываются в мусорное ведро, а затем и в мусорный контейнер. Следовательно, вредных выбросов в литосферу и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

При проведении исследования могут возникнуть чрезвычайные ситуации, такие как пожар и поражение электрическим током.

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

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники [24].

Поражение электрическим током возникает при замыкании электрической цепи сварочного аппарата через тело человека. Причинами могут быть: недостаточная электрическая изоляция, плохое состояние спецодежды и обуви сварщика, сырость, теснота помещения и другие факторы.

5.3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

С целью предотвращения пожаров необходимо:

- уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;

- курить только в отведенных для курения местах;
- в случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу;
- сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

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

В целях безопасности помещение оборудовано рубильниками для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода [26].

В случае возникновения пожара необходимо:

- оповестить работающих в производственном помещении и принять меры к тушению очага пожара;
- горящие части электроустановок и электропроводку, находящуюся под напряжением, тушить углекислотным огнетушителем;
- принять меры к вызову на место пожара непосредственного руководителя или других должностных лиц.

План эвакуации людей из лаборатории производственного корпуса показан на рисунке 5.2.

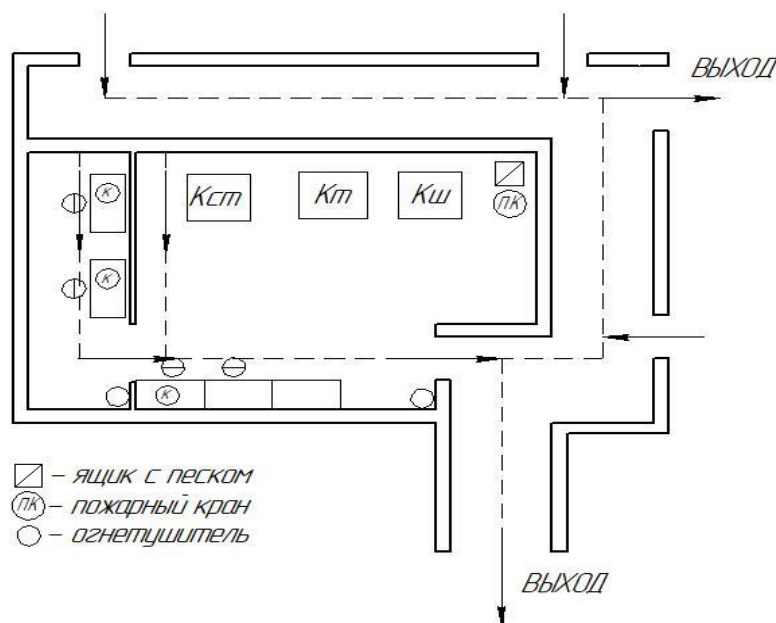


Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожаре.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

При выполнении сварочных работ необходимо следовать требованиям ТК РФ. Для обеспечения безопасности на рабочем месте нужно проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Ведение сварочных работ предполагает использование некоторых мер предосторожности и средства индивидуальной защиты, таких как защитные костюмы, перчатки, защитные очки и маски, специальная обувь, средства защиты органов слуха.

У сотрудников, которые заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не должна превышать 36 часов в неделю (ч. 1 ст. 92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее – 6 часов (ч. 2 ст. 94 ТК РФ).

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение, инструктаж по технике безопасности и проверять знания работников.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Требования к размещению систем питания для сварки в динамическом режиме, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с [20].

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.
- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.
- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.
- Расстояние от стены до источника питания должно быть не менее 0,5 м.
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории 2,2 м.
- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать

энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.
- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.
- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.
- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).
- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.
- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.
- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

Предприятие эксплуатируется и оборудуется согласно основными правовыми нормами:

- ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01.07.92)
- ГОСТ 12.1.038-83 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих. Классификация;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов

5.4.3 Социальная защита работников на предприятии

Социальная защита – это меры, направленные на повышение производительности труда работников, стимулирование их лояльности и мотивации и обеспечение безопасного и достойного уровня жизни. Это система социальных и экономических гарантий, закреплённая законодательством. Они обеспечиваются как государством, так и предпринимателями. Данная система состоит из социального страхования, социальных услуг и социального обеспечения.

Социальное страхование является обязательным и представляет собой страхование работников от возможного изменения материального или социального положения, например, предполагая оказание материальной

помощи при наступлении инвалидности, получении травм на производстве, наступлении временной нетрудоспособности.

Социальные услуги представлены такими видами поддержки, как материальная помощь при рождении или смерти родственника, оплата питания. Организации с большим штатом и высоким уровнем дохода предоставляют более широкие пакеты, например лечение работников в оздоровительно-лечебных учреждениях, имеют собственные культурные дома и спортивные комплексы.

Основные принципы эффективного механизма социальной защиты:

- социальная защита должна основываться на эффективном труде работающих и таким образом быть частью экономических отношений между работодателем и работником;
- социальная защита не должна ограничиваться одним кругом гарантий. Если повысить заработную плату, но не позаботиться о повышении квалификации способных работников, эффект может оказаться не таким заметным;
- необходимо напоминать сотрудникам об их собственной ответственности — о том, что нужно соблюдать внутриорганизационную дисциплину, вести здоровый образ жизни. Ведь лучший защитник работника — это он сам;
- социальная защита должна базироваться на самостоятельности и самозащите сотрудников. Иными словами, работник должен стремиться защитить себя сам, а не ждать извне. При этом, конечно, работодатель тоже должен не стоять на месте, а развиваться, заботясь не только об увеличении прибыли, но и о наличии в штате мотивированных, заинтересованных лиц.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены технологические тонкости применения таких видов сварки газопровода как ручная дуговая сварка постоянным током обратной полярности, модулированным переменным, постоянным модулированным, переменным прямоугольным высокой частоты. В ходе работы доказана практическая целесообразность применения сварки модулированным переменным прямоугольным током в виду более высокой технологичности (удержание сварочной ванны в пространственных положениях отличных от нижнего, регулируемый каплеперенос электродного материала), лучшего формирования шва (меньшее выгорание легирующих элементов, образование мелкозернистой структуры, увеличение механических свойств сварного шва).

Список использованных источников

1. Дудко Д.А., Сидорук В.С., Зацерковный С.А., Махлин Н.М., Федотенков В.Г., Векулов В.Г, Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима.//Автоматическая сварка. - 1991. - № 12. С.59 - 60.
2. Дудко Д.А., Зацерковный С.А., Сидорук В.С., Тараборкин Л.А., Махлин Н.М. Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва. // Автоматическая сварка. - 1987.-№6-С.19-22.
3. Князьков В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счет автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу: дис. на соиск. учен. ст. канд. тех. наук/ Виктор Леонидович Князьков; Кемерово, 2006 – 165 с.
4. Ручная дуговая сварка трубопроводов [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://stalevarim.ru/pub/ruchnaya-dugovaya-svarka-truboprovodov/>, свободный. (Дата обращения: 15.05.2017)
5. Строительство магистральных трубопроводов: справочник/В.Г. Чирсков, Березин В.Л., Телегин Л.Г. и др. – М.: Недра, 1991. – 475 с.
6. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами: учеб. пособие [Электронный ресурс]// URL: http://www.zfkai.ru/sveden/files/Metod_. (Дата обращения: 18.05.2017)
7. Сварка трубопроводов: учеб. пособие / Ф. М. Мустафин, Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковский и др. – М.: Недра, 2002. – 350с.
8. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов: учебник для вузов /Г.Л. Петров, А.С. Тумарев. – М.: "Высш. шк.", 1977. – 392 с.
9. Преимущества дуговой сварки. Введение [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://www.vse-o-svarke.org/publ/pochemu_imenno_dugovaja_svarka/1-1-0-1, свободный. (Дата обращения: 01.06.2017)
10. Шигаев, Т. Г. Сварка модулированным током // Итоги науки и техники. Сварка. Том 17. М. - 1989. - С. 91 – 132

11. Сердюк Г.Б. К расчету сварочной дуги в поперечном магнитном поле. // Автоматическая сварка 1960. - №11. – С. 31-38.
12. Лесков Г.И., Лугин В. П. Переменному току – дорогу в сварку. // Приок. книж. изд-во. Тула, 1969, С. 59
13. Гаген Ю.Г., Таран В.Д. Сварка магнитоуправляемой дугой.// - М.: Машиностроение,1970.- 160 с.
14. Микротвердомер HV1000. Руководство по эксплуатации.
15. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
16. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов/ Под ред. Е.Я. Юдин – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение,1983, 432 с., ил.
17. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 г. N 81 «Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
18. Расчет потребного воздухообмена. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине “Безопасность жизнедеятельности” для студентов всех специальностей. - Томск: изд. ТПУ, 2001. - 16 с.
19. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
20. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.
21. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

22. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
23. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: учебно-методическое пособие/ А.А. Раздорожный. – М.: Экзамен, 2006. – 510 с.
24. Бектобеков Г.В. Справочная книга по охране труда в машиностроении / Г.В. Бектобеков, Н.Н. Борисова, В.И. Коротков [и др.]; под общ. ред. О.Н. Русака. – Л.: Машиностроение, 1989. – 541 с.
25. ГОСТ 12.1.035-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений/
26. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.
27. ГОСТ 12.1.019–2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
28. ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей.

Приложение А

(справочное)

Section (1)

Literature Review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Селюков Владимир Васильевич		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова У.А.	-		

Introduction

The reliability of welded joints of metal structures of technical devices in the electric power, oil and gas, mining, chemical, engineering and other industries significantly affects the safety and economic efficiency of production.

When welding metal structures that are difficult to rationalize mechanization, automation and robotization, manual arc welding with coated electrodes is one of the leading technological processes. This is explained by flexibility, simplicity, versatility and lower costs for auxiliary operations and equipment. For these reasons, RD welding during repair, installation and reconstruction of technical devices, such as a gas pipeline, has no alternative.

However, when welding in installation conditions, contradictory requirements are imposed on the magnitude of the current from the side of the electrode and the product. In order to keep the weld pool in spatial positions other than the lower, the welding current must be reduced, and to ensure the required welding-technological properties of the electrode, the current must be significantly greater than the value that ensures the retention of the weld pool. The welder solves this problem by performing various manipulations with an electrode, up to an arc break, which leads to the defects, both in welding the root of the seam and in the filling layers.

The fulfillment of these contradictory requirements is possible due to the methods of pulse modulation of the welding current [1, 2]. Compared to stationary arc welding, modulated current welding has a number of main advantages: improving weld formation in all spatial positions, increasing mechanical properties, welding joints, improving welding bath degassing, reducing welding deformations, etc. [3]. The significant contribution in this direction has been made by Potapevsky AG, Zaruboy II, Knyazkov AF, Sarayev Yu.N., Lebedev V.K., Paton B.Ye., Wagner FA, Voropay N.M., Dudko D.A., Durgerov N.G., Podoloy N.V., Shigaev T.G. and many others.

1. Literary review

1.1 Manual arc welding with coated electrodes in the construction of gas pipelines

1.1.1 Scope of manual arc welding in the construction of the pipeline

One of the most popular professions in the construction of the pipeline is the profession of a welder. Welding, as a method of connecting pipes in a gas pipeline is used most often, since it is the weld that is the most durable and reliable. In addition, this type of connection does not require the use of any special valves, and therefore maintaining the pipeline is greatly simplified. This is very essential, since in many cases access to the junction of pipes in a gas pipeline can be difficult.

The most common welding method when working with pipelines is manual arc welding. Of course, the speed of work when applying this method of welding is lower than the speed of welding using an automatic or mechanized method - where during manual welding the maximum speed is 20 meters per hour, while at automatic welding it can reach up to 60 meters per hour. Though quite often the welding work on the pipeline is just impossible to produce using automated welding. At the same time, manual welding of pipes can be used almost anywhere and at any position of the pipe butt - both vertical, horizontal, lower and on the ceiling [4].

For the construction of highway pipelines, including gas pipelines, steel seamless, electric-welded longitudinal, spiral-welded and other special structures are used from killed and semi-killed carbon steels with a diameter up to 500 mm, from quiet and semi-killed low-alloy steels with a diameter up to 1020 mm and low-alloy steels thermally or thermomechanically hardened state with a diameter of up to 1420 mm.

An important component of the characteristic of pipes is its climatic design, depending on the conditions of construction and operation.

Steel for pipes should be well welded by arc welding methods [5].

In the construction of gas supply systems, in addition to the requirements of working projects, the requirements of СНиП (Construction Norms and Regulations)

СНП 3.01.01-85, СНП 3.05.02-88, СНП 3.01.03-84, СНП III-4-80, СНП 3.01.04-87, as well as the "Safety Rules in gas facilities "and" Rules for the Construction and Safe Operation of Pressure Vessels ", approved by the governmental standards.

Welded pipe joints must meet the standard requirements 16037-80

1.1.2 Technique of manual arc welding with coated electrodes of gas pipelines

Manual arc welding with a consumable coated electrode is a consumable electrode arc welding that is performed manually using a coated electrode. The idea of the method: a constant or alternating welding current is supplied from the welding current sources to the electrode and the welded product to form and maintain the welding arc (Fig. 1.1). The arc melts the metal core of the electrode, its coating and the base metal. The melting metal rod of the electrode in the form of individual droplets coated with slag goes into the weld pool. In the weld pool, the electrode metal is mixed with the molten metal of the product (base metal), and the molten slag floats to the surface. [6]

When joining pipes, the joints can be either swiveling or non-swiveling. In addition, the sequence of welds depends on the diameter of the pipes.

When welding pipe joints the following technological options for manual arc welding are used:

the root layer of the seam and the "hot" passage are performed with electrodes with a cellulose type of coating, the subsequent layers with electrodes with the main type of coating;

all layers of the seam are with electrodes with a cellulose type of coating;

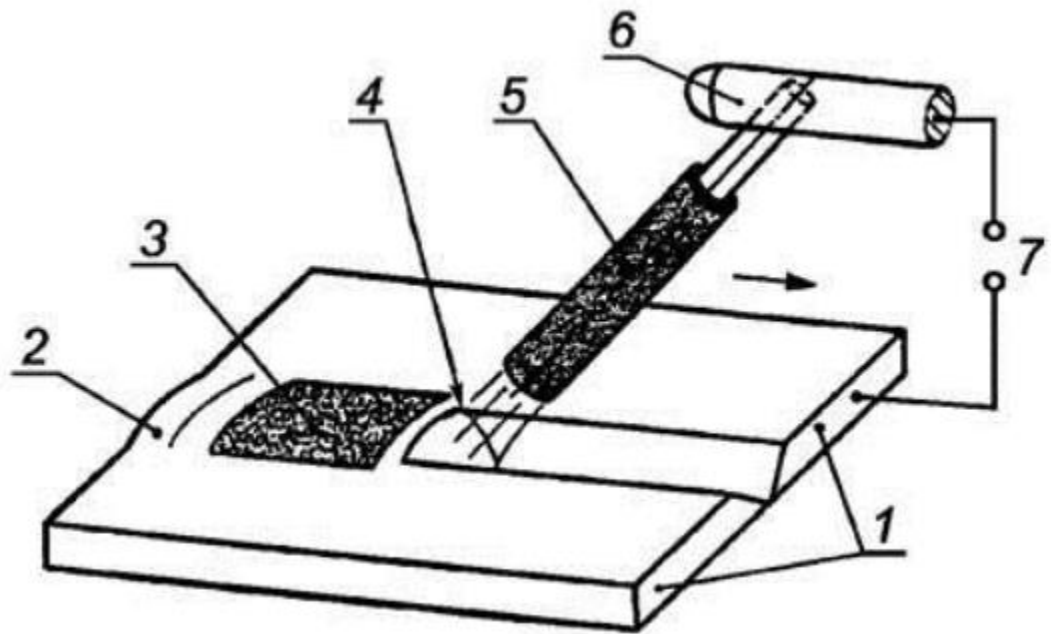


Figure 1.1 - Scheme of manual arc welding with coated electrodes

1 - preparation; 2 - weld; 3 - slag; 4 - arc; 5 - covered electrode; 6 - electric holder; 7 - power source.

The use of electrodes with a cellulose type of coating for welding the root seam allows increasing the welding rate, productivity and quality of work

The quality of the weld and the operational reliability of the pipe joints as a whole depend on the mechanics of the root weld layer implementation. To ensure the required quality, welding of the root layer of the seam should be performed using the “keyhole” method: during the welding process, the welder must constantly observe the end of the electrode. The presence of the lumen (keyhole) allows the welder to continuously monitor the process of melting edges.

The angle of inclination during welding of root, “hot” and subsequent passes is shown in Figure 1.2.

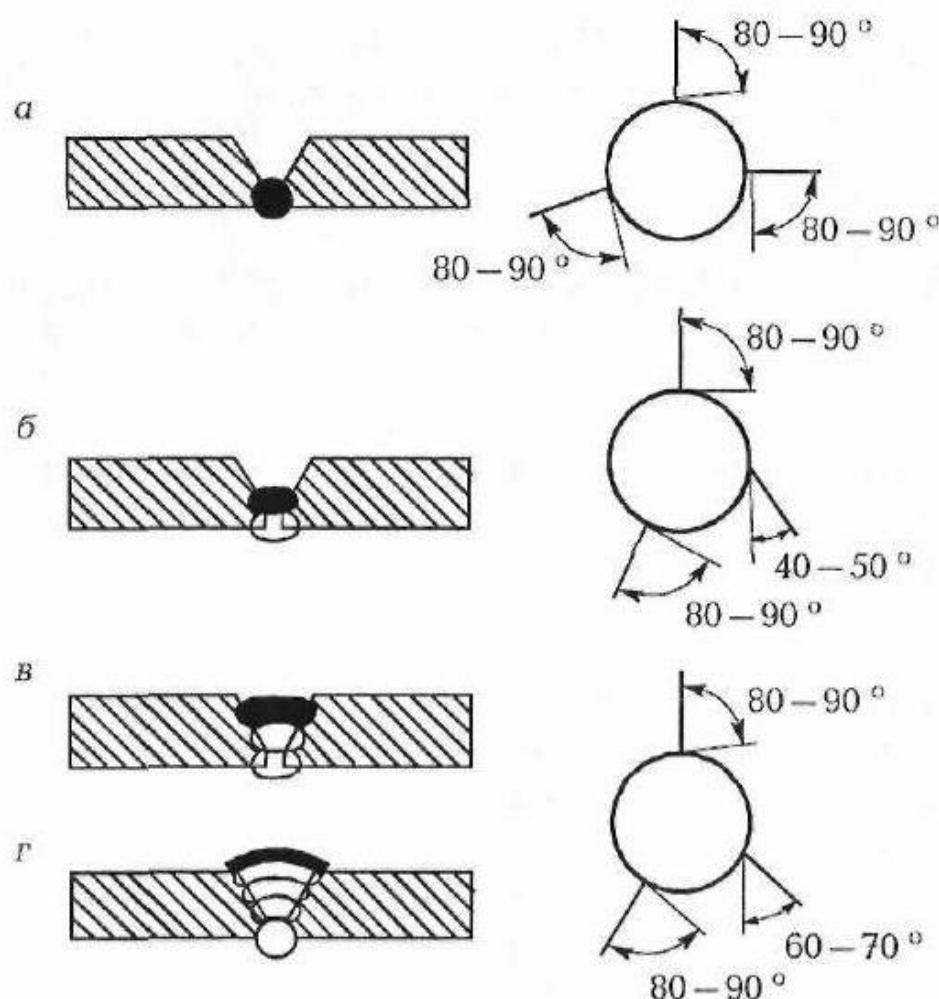


Figure 1.2 - Typical tilt angle of a cellulose-coating electrode coatings depending on the spatial position of the weld and the sequence of the seam layers
a - root layer, b - "hot" passage, c - filling layers; g - facing seam

When performing a "hot" passage, the welder performs oscillatory movements with the end of the electrode along the axis of the weld. Such a technique allows the slag and part of the melt from the weld pool to be forced up by the pressure of the arc and the concentrated gas flow formed during the combustion of the cellulose coating, exposing the bottom of the weld pool.

Thus, the task of the welder during the "hot" passage is not so much the fusion of the second layer, but the removal of any detected defects from the root layer, obtaining a smooth "substrate" for subsequent layers and modifying the metal microstructure of the root layer to a certain extent. In addition, this welding technique in the vertical position of the seam allows you to keep the weld pool from flowing.

The third layer is done with little or no vibrations, only by moving the end of the electrode along the seam. If this joint is assembled with a maximum gap and the cutting is wide, oscillatory movements across the seam are performed.

The fourth and subsequent layers are welded with traditional zigzag oscillatory movements.

Welding from top to bottom with special electrodes with the main type of coating is carried out as follows.

The initial position of the electrode relatively to the pipe at all spatial positions of welding should be perpendicular to the tangent circle at the point of excitation of the arc (Fig. 1.3).

Welding of the root layer of the seam is performed with electrodes with a diameter of 3 or 3.25 mm; at the same time, the clearance is set closer to the upper limit of the usually recommended range (2.5 - 3 mm).

Welding is carried out by slightly resting on the edges to be welded and leading the electrode from top to bottom without lateral vibrations. The pressure on the electrode, in contrast to the option of welding with electrodes with a cellulose type of coating, is minimal. The welding speed must be at least 10, but not more than 15 m / h. The thickness of the root layer of the seam due to the increased deposition rate and lower welding speed (in comparison with those with cellulose coating electrode) is not less than the total thickness of the root layer of the seam plus the hot pass when welding with electrodes with cellulose type of coating. Due to the peculiarities of the formation of the root layer of the seam, welding with electrodes of this type is carried out without the formation of slag pockets, the shape of this seam is smoother than in the case of electrodes with cellulose coating, grinding with an abrasive wheel after welding is not required, slag separates well, due to the formation of low-vigorous metal and a favorable shape the outer surface of the root layer, conducting a "hot" passage is optional.

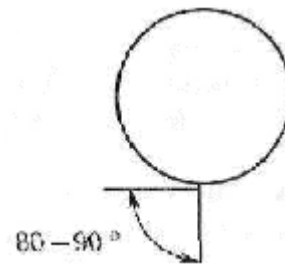


Figure 1.3 - Position of the electrode at the initial moment of welding with electrodes with the main coating

Welding of filling and front layers of a seam is usually carried out by electrodes with a diameter of 4 mm without transverse vibrations (multiple layers) with a high linear speed of up to 26 m / h. Low spatter and increased deposition rate make these electrodes, when welding filling layers, competitive electrodes with a cellulose type of coating with a diameter of 5 and even 5.5 mm. [7]

1.1.3 Transfer of electrode metal to the weld pool during manual arc welding

When arc welding consumable electrode the metal from the electrode is transferred to the weld pool in the form of droplets heated to temperatures well above the melting point, and in the form of vapor.

The main stages of the formation and transfer of liquid metal from the electrode to the weld pool during arc welding with a consumable electrode are shown in Figure 1.1.

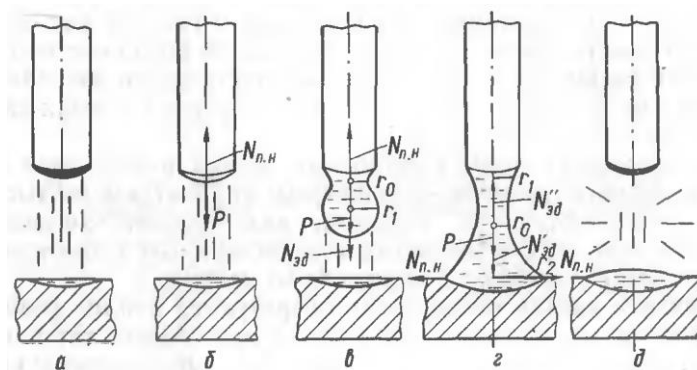


Figure 1.4 - Stages of formation and transfer of liquid metal from the electrode into the weld pool

a, b - formation of a drop at the end of the electrode; c - the appearance of a neck at the junction of the liquid metal with the solid metal of the electrode; g - closure by a drop of the arc gap; d - rupture of the formed bridge and the occurrence of an arc

As a result of the explosive process of droplets parts detachment from the end of the electrode, some of them are discarded to the side in the form of metal splashes.

Spray losses increase with increasing amperage.

At a sufficiently high current density in the electrode, its melting has a characteristic jet transfer.

When welding with thick-coated stick electrodes or electrodes with a high-quality coating, effected by arc, not only the metal but the coating itself melts and partially passes into a gaseous state. In this case, usually the melting of the coating somewhat lags behind the melting of the electrode rod, forming a “bad” and in this case, the drops crossing the arc gap can be both large, comparable to the diameter of the electrode rod, and small.

The slag from the melting of the coating is transferred in the arc partly in the form of droplets, and partly in the form of slag coating on the metal drops and inside them. The gas emission during the electrode melting, particularly in the presence of a “cheholchik” coating on the electrode end, results in an intense gas blow directed from the electrode to the bath. In addition, gases in some cases are formed inside the droplets, for example, as a result of the oxidation of carbon in steel and the formation

of CO. In this regard, many drops, especially small ones, are hollow, with low average density. [8]

1.1.4 Advantages and disadvantages of manual arc welding with coated electrodes during the construction and installation of a gas pipeline

Manual welding is classified into many modes of operation and methods, and involves the use of various devices, equipment and accessories, but the ultimate goal is always the same - to produce and get a high-quality weld in the result. This quality largely depends not only on what types of manual welding are used, but also on a variety of different factors and nuances, such as the materials, the external state and surface evaluation, which is to be welded, the quality of the edges prepared for welding etc. To put it briefly, opting for this or that technique for welding, it is impossible to say that the final result is predetermined.

Depending on the shape and the size of the item in welding, it is possible to work in different positions in the space. Thus, such provisions are divided into lower and ceiling, as well as vertical and horizontal, respectively. This is also quite an important point, since the method of manual welding may depend on it.

The most common arc in the manufacture and welding of metal welded structures - is welding with coated electrodes. This is explained by several reasons, however, the popularity of manual welding lies in the simplicity and mobility of the welding technique as a whole, the apparatuses and equipment being used, and also its use in any of the above spatial positions. In addition, arc welding makes it possible to work even in hard-to-reach places. [9]

However, this technology has its drawbacks.

One of them is low productivity. This is not only due to the lack of automated and mechanized installations, but also to the high loss coefficient of the electrode material as a result of spraying. If we talk about mobility and the inability to use other types of welding in the installation conditions of the pipeline, manual arc welding is an excellent solution to the problem, but it makes sense to apply technologies that

improve the quality of the weld and productivity by changing the dropwise transfer of metal to small-drop and jet.

Manual arc welding allows performing any welds in any spatial positions, which makes it indispensable in the construction of gas pipelines and other pipelines. However, it is worth noting, that when welding in positions other than the bottom, under the gravity, the weld pool drains, worsening the formation of the weld. In this case, the high-quality seam will directly depend on the skills and qualifications of the welder. In addition, it is difficult to overestimate the role of the root weld in the welding of the pipeline, which determines the strength of the whole structure.

It is also important that the excess heat in the weld seam affects the structure of the seam, causing crystal growth.

In addition, large heat input into the product contributes to large welding deformations and residual stresses. This will be important in the construction of a gas pipeline with high gas pressure.

Therefore, it is important to control the welding process, especially to regulate the modes correctly. To melt the electrode coating and maintain a stable arc a current of a certain value, which is called critical, is necessary. Therefore, this solution has limitations.

If the technology requires high welding current, in order to prevent the flow of molten metal into the inside of the pipe, welding is performed with the smallest gaps from 1 to 2 mm with a wall thickness of 5 to 25 mm. In addition, the first layer should be welded in the way as to obtain a flat or somewhat concave seam surface. This provides better penetration of the root of the seam and better formation of the subsequent layer. And in this situation, the welder is obliged to ensure that there is no burn-through.

An important characteristic of the weld is its structure, this is especially important when welding and operating pipes in the conditions of the Far North. Unfortunately, this parameter is almost impossible to control with manual arc welding.

All of the above disadvantages of manual arc welding with coated electrodes can be solved by applying the technology of manual arc welding with modulated current.

1.2 General features of modulated current welding

The process of modulated current welding implies a periodic, pre-programmed change in the energy parameters of the system power source - a welding arc between high (impulse) and low (pause) levels. During the current pulse, the main part of the electrode and the metal being welded is melted, and during the subsequent pause period, most of the weld pool is crystallized [10].

The basic scheme for changing the current during welding with a covered electrode, modulated by the current is shown in fig. 1.5.

A more dispensing of heat arriving in a welding bath is provided. This feature makes it possible to significantly facilitate welding in vertical and ceiling positions. When performing welding in these spatial positions, the welder is forced to adjust the fluidity of the bath and perform various manipulations with the end of the electrode to ensure satisfactory formation of the seam. In this case, the welder is constantly under stress and cannot ensure the stability of the quality of the weld [5].

Modulation of the welding current provides the welder with an opportunity to avoid the laborious operation of portioning the heat introduced into the weld pool and transfer it to the modulator.

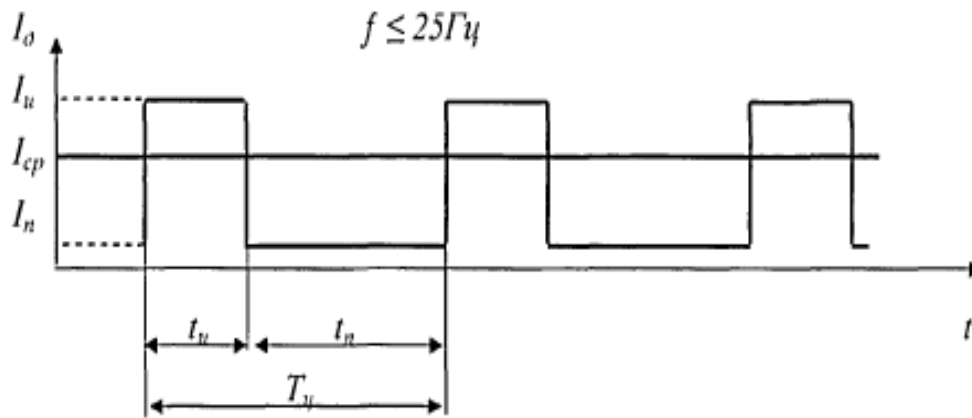


Figure 1.5 - current change in modulated current welding methods used to improve the formation of the weld metal in all spatial positions by reducing the size of the weld pool and increasing the rate of crystallization

In the pulse current; I_n - base current (pause current); I_{cp} - average current; t_n - the duration of the pulse; t_n - pause duration; T_n - the duration of the welding current modulation cycle

The welder only needs to fill the seam cutting, the welding technique becomes much simpler and can be available even for a beginner [10].

The imposition of current pulses on the arc of low power during welding with consumable electrode allows to obtain controlled fine-drop transfer of the electrode metal. If the amplitude value of the pulse current exceeds the critical value for these conditions, with the pulse frequency rate of ≥ 25 Hz, then one pulse of the electrode metal will be transferred to the weld pool with each pulse. The term “critical current” is understood to mean the magnitude of the welding current, at which the size of metal drops transferred through the arc gap decreases sharply and the frequency of their formation increases accordingly. The average current is 30-40% less than the nominal value. Due to the elimination of short circuits of the arc gap with drops of electrode metal, the stability of the welding process is significantly improved, the nature of the transfer of droplets practically does not depend on the spatial position of the weld [10].

Advantages of modulated current welding:

- it provides controlled small-drop transfer of electrode metal at medium arc currents
- heat input to the base metal decreases with a constant penetration depth, dimensions of the overheating zone, deformations of the welded joint;
- the quality of the seam weld metal and mechanical properties are improved, conditions for the uniform formation of the weld are ensured, regardless of its spatial position;
- the structure of the weld metal and the heat-affected zone is crushed due to the impact of the pulsating thermal field;
- welding of pipeline non-rotary joints and laying of the seam in hard-to-reach places are easier accessible.