

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
Отделение электронной инженерии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Применение переменного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия УДК 621.791.753.042.4:621.3.025-049.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Лаптев Дмитрий Олегович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</b>	
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
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
Отделение электронной инженерии

Утверждаю:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ С.Ф. Гнюсов  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**На выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме: магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Лаптеву Дмитрию Олеговичу

Тема работы: применение переменного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия.

Утверждена приказом директора ИШНКБ (дата, номер)

15.03.18 г. №1767/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Электроды для дуговой сварки с основным типом покрытия, переменный прямоугольный ток, инвертор сварочного тока, возмущающее действие внешнего магнитного поля
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Особенности горения дуги переменного тока; влияние формы переменного тока на стабильность горения дуги; влияние частоты переменного прямоугольного тока на стабильность процесса сварки при возмущающем действии внешнего магнитного поля; влияние формы тока на качество сварных соединений

<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1. Обзор литературы 2. Объект и методы исследования 3. Экспериментальная часть 4. Заключение(выводы)	Киселев А.С.
5. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение	Данков А.Г.
6. Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.
<b>Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	Обзор литературы
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Лаптев Дмитрий Олегович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Лаптев Д.О.

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

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является сталь 09Г2С. Область применения – ручная дуговая сварка покрытыми электродами
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ превышения уровня шума;</li> <li>– анализ недостаточной освещенности;</li> <li>– отклонение показателей микроклимата</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ поражения электрическим током;</li> <li>– анализ поражения расплавленным металлом</li> </ul>
2. Экологическая безопасность:	<p>Анализ воздействия объекта на:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– атмосферу (выбросы);</li> <li>– литосферу (отходы)</li> </ul>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар</li> </ul>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Лаптев Д.О.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ61	Лаптев Д.О.

<b>Инженерная школа</b>	<b>Неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение</b>	<b>Электронной инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Машиностроение</b>

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ВМ61	Лаптев Д.О.		

## Реферат

Магистерская диссертация состоит из – 79 с, 11 рисунков, 21 таблицы, 18 использованных источников, 1 приложения.

Ключевые слова: дуговая сварка, переменный ток, покрытый электрод, микроструктура металла шва, внешнее магнитное поле, род и полярность тока.

Объектом исследования магистерской диссертации является качество сварных соединений.

Цель работы заключается в подтверждении целесообразности применения переменного прямоугольного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия намагниченных трубопроводов.

В работе определено влияние рода тока и величины индукции магнитного поля на качество сварных соединений. Показано, что применение переменного прямоугольного тока способствует получению мелкозернистой структуры металла шва.

Для достижения поставленной цели было сделано следующее:

- проведен анализ отечественной и зарубежной литературы;
- проведены экспериментальные исследования.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, фотографии были получены с использованием микроскопа OLYMPUS GX51.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Переменный ток – электрический ток, который с течением времени изменяется по направлению.

Постоянный ток – электрический ток, который с течением времени не изменяется по направлению.

Электрическая дуга – пластичный газообразный проводник. Поэтому внешние силы могут вызывать ее отклонения. Для того чтобы дуга занимала заданное положение, внешние сил должны быть уравновешены равными и противоположно направленными внутренними силами.

Магнитное дутье – явление отклонения электрической дуги от оси электрода, блуждание конца дуги по изделию при ручной дуговой сварке.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне.
3. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность.
4. ГОСТ 12.3.002-75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные.
5. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные.
6. ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.

7. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные.
8. РД 153-34.1-003-01 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.
9. РД 25.160.00 - КТН011-10 Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.
- 10.СНиП 23-03-2003 Защита от шума.
- 11.ФЗ-123 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность.

## Оглавление

Введение	С. 12
1. Обзор литературы	14
1.1 Сварочная дуга	14
1.2 Технологические свойства сварочной дуги	15
1.3 Сварка на переменном токе покрытыми электродами	16
1.4 Влияние переменного тока на свойства сварных соединений	18
1.5 Способы повышения устойчивости горения сварочной дуги переменного тока	19
1.6 Сварка покрытыми электродами	22
2. Объект и методы исследования	24
2.1 Выбор материала	24
2.2 Выбор электродов	25
2.3 Выбор оборудования	26
2.4 Методика подготовки шлифов	27
2.5 Травление шлифа	28
3. Экспериментальная часть	30
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	36
4.1 Предпроектный анализ	36
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	36
4.2 SWOT-анализ	38
4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	40
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	41
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	41
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	42
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования	42
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	45

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	45
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	46
4.5.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	47
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	48
4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	49
4.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	49
5. Социальная ответственность	52
5.1 Производственная безопасность	52
5.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	54
5.2.1 Повышенный уровень шума	54
5.2.2 Недостаточное освещение	55
5.2.3 Отклонение параметров микроклимата	56
5.3 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	60
5.3.1 Анализ поражения электрическим током	60
5.3.2 Анализ поражения расплавленным металлом	61
5.4 Экологическая безопасность	61
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	62
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
Заключение	67
Список используемых источников	68
Приложение А	70

## Введение

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами широко используется при изготовлении металлических конструкций в различных отраслях промышленности, при строительстве нефте- и газопроводов. Сварка также необходима при ремонте различных деталей и изделий [1].

Для дуговой сварки применяют постоянный или переменный ток. Использование переменного тока приводит к периодическому погасанию дуги и последующему ее зажиганию при изменении направления тока в сварочной цепи. Это приводит к тому, что стабильности горения при использовании электродов с основным покрытием не достаточно. Для решения данной проблемы применяют стабилизаторы горения дуги, либо используют переменный ток с прямоугольной формой волны. Постоянный ток лишен этих недостатков.

Результаты исследований проведенных в [2] свидетельствуют о возможности дуговой сварки покрытыми электродами намагниченных деталей переменным прямоугольным током повышенной частоты (500 Гц). Однако влияние переменного тока на свойства и структуру сварных соединений исследовано не достаточно полно.

Наличие внешнего магнитного поля с индукцией более 2 мТл способствует нарушению процесса дуговой сварки постоянным током. Под влиянием внешнего магнитного поля столб дуги отклоняется от оси электрода, удлиняется вплоть до обрыва. Поэтому для получения качественных сварных соединений необходимо обеспечивать условия по снижению индукции поперечного магнитного поля в зоне сварки до 2 мТл и меньше. Наиболее сложно это осуществлять при наличии остаточной намагниченности соединяемых деталей, которая является следствием применения магнитных методов контроля. Предварительное размагничивание деталей обеспечивают специализированным оборудованием, эксплуатация которого характеризуется продолжительным процессом подготовки к работе, низкой

производительностью труда и наличием обслуживающего персонала высокой квалификации. Альтернативным способом стабилизации процесса дуговой сварки намагниченных деталей является применение переменного прямоугольного тока повышенной частоты вместо постоянного обратной полярности [3].

Проанализировав научно-исследовательские работы, изложенные в литературе, можно прийти к выводу, что проблема магнитного дутья актуальна на данный момент, а самым универсальным и доступным методом ее решения является применение переменного прямоугольного тока.

Цель работы заключается в подтверждении целесообразности применения переменного прямоугольного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия намагниченных трубопроводов.

Для достижения поставленной цели было сделано следующее:

- проведен анализ отечественной и зарубежной литературы;
- проведены экспериментальные исследования.

Научная новизна работы заключается в обосновании применения переменного прямоугольного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия, а также при сварке намагниченных деталей.

Практическая значимость. Результаты исследований опробированы в подразделениях ООО «Газпром трансгаз Томск» и АО «Транснефть – Центральная Сибирь», г. Томск.

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Сварочная дуга

Электрическая дуга – пластичный газообразный проводник. Поэтому внешние силы могут вызывать ее отклонения. Для того чтобы дуга занимала заданное положение, внешние сил должны быть уравновешены равными и противоположно направленными внутренними силами [3].

Одним из источников внешних сил при дуговой сварке является магнитное поле тока дуги.

Самонаводимое поле, создаваемое сварочным током, окружает дугу и воздействует на нее со всех сторон. До тех пор, пока магнитное поле симметрично, электромагнитная сила в любом направлении уравновешивается равной и противоположно направленной силой и их равнодействующая равна нулю. Как только симметрия поля нарушится, силы становятся неравными и дуга отклоняется в направлении большей силы [3].

Магнитное дутье – явление отклонения электрической дуги от оси электрода, блуждание конца дуги по изделию при ручной дуговой сварке.

В процессе сварки в сварочной цепи протекают токи в электрической дуге и в изделии. Эти токи создают магнитное поле

Взаимодействие магнитного поля цепи тока в изделии с током столба дуги создает силу, направленную к его центру (явление пинч-эффекта). Эта сила, при подключении электрического провода к месту где заканчивается дуга, не вызывает отклонения столба, а возвращает его при отклонении в начальное положение. Если место подключения провода находится на каком-либо расстоянии от перпендикуляра, то возникающее магнитное поле является поперечным и вызывает отклонение столба. Отклоняющая сила пропорциональна квадрату дугового тока, поэтому магнитное дутье увеличивается при увеличении сварочного тока. Дутье приводит к ограничению сварки постоянным током на больших значениях электрического тока.

Действие магнитного дутья сильно ослабляется при сварке на переменном токе. В этом случае под действием переменного магнитного поля тока в изделии наводится электродвижущая сила, которая создает вихревые токи. Создаваемый ими магнитный поток меньше потока, создаваемого постоянным током. В результате при больших переменных токах (1000—2000 А) действие магнитного дутья незначительно [4].

Что касается производительности сварки, то при сварке переменным током она может быть более высокой, чем при сварке постоянным током.

Сварку постоянным током характеризует такое отрицательное явление как магнитное дутье, что является следствием взаимодействия собственного магнитного поля дуги с полем сварочного контура [4].

Отрицательное действие магнитного дутья особенно велико при сварке на большой силе тока (более 300 А). Магнитное дутье ограничивает применение высокопроизводительных режимов при сварке постоянным током. Применение переменного тока, это самое простое и надежное решение в борьбе с магнитным дутьем. При применении переменного тока магнитное дутье незаметно даже при очень большой силе тока (1000 А), это дает возможность применять более производительные режимы сварки [4].

Переменный ток позволяет получить качественное формирование шва с благоприятными геометрическими показателями и профилем проплавления. Структура металла сварочного шва получается более мелкозернистая, качество сварного шва лучше, чем при сварке постоянным током электродами одной и той же марки [4].

## 1.2 Технологические свойства сварочной дуги

Под технологическими свойствами сварочной дуги понимают совокупность ее теплового, механического и физико-химического воздействий, определяющих интенсивность плавления электрода, характер переноса электродного металла, проплавление основного материала, формирование и

качество шва. Технологические свойства дуги взаимосвязаны и определяются параметрами режима сварки [1].

К технологическим характеристикам дуги относятся также пространственная устойчивость и эластичность. Под этим понимают способность сохранения дугой неизменности пространственного положения относительно изделия в режиме устойчивого горения и возможность отклонения и перемещения без затухания под воздействием внешних факторов. Такими факторами могут быть магнитные поля и ферромагнитные массы, с которыми воздействует магнитное поле дуги. При этом взаимодействии наблюдается отклонение дуги от естественного положения в пространстве [5].

### 1.3 Сварка на переменном токе покрытыми электродами

Дугу переменного тока окружает переменное магнитное поле, действующее как движущее поле. В любом замкнутом проводнике движущее поле индуцирует токи. Следовательно, переменное магнитное поле дуги индуцирует токи в частях заготовки. Направление этих дополнительных (вихревых) токов таково, что в любой момент времени создаваемые ими магнитные поля направлены противоположно основному магнитному полю сварочного тока (Рисунок 1.).

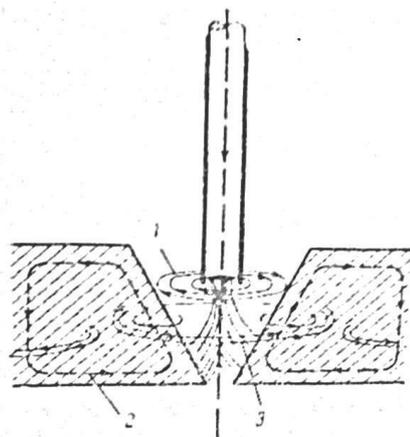


Рисунок 1. Влияние вихревых токов на основное магнитное поле дуги переменного тока: 1 – основное магнитное поле; 2 – линии вихревых токов; 3 – магнитное поле вихревых токов.

Именно частичной нейтрализацией основного магнитного поля дуги магнитным полем вихревых токов можно объяснить ослабление магнитного дутья при сварке на переменном токе [6].

Из множества свойств и особенностей дуги переменного тока для сварки особенно важны те, которые влияют на устойчивость горения дуги и перенос электродного металла. В общем виде устойчивость любого процесса оценивают по изменению энергии системы тел, участвующих в этом процессе [5].

Дуга переменного тока с частотой питающей сети  $f$  гаснет и зажигается вновь с частотой  $2f$ . При использовании тока промышленной частоты  $f=50$  Гц электрод и изделие 50 раз за секунду поочередно бывают катодом и анодом, т.е. 50 раз в секунду происходит разрушение и формирование катодной и анодной областей и активных пятен, а также переориентация заряженных частиц в столбе дуги. Ток дуги, величина которого непрерывно изменяется в течении каждого полупериода по синусоидальному закону, обуславливает изменение радиальных размеров столба, его температуры, размеров изотермических областей активных пятен на электродах, что в ряде случаев является причиной существенного различия технологических свойств дуг переменного и постоянного токов [5,8].

С точки зрения стабильности горения дуги важными факторами являются как время формирования установившегося разряда, так и время деионизации плазмы столба дуги.

Наличие перерывов в горении – характерная особенность сварочной дуги переменного тока. К концу полупериода перед угасанием дуги и после него с некоторым отставанием температура дугового газа существенно уменьшается (практически в два раза) [8].

Стабильность процесса сварки на практике оценивают двумя методами: непосредственно во время проведения самой сварки или же после обработки результатов, характеризующих сварку. Первый – это субъективный метод, когда сварщик наблюдает непосредственно за горением дуги и оценивает начальное зажигание дуги, разбрызгивание металла, эластичность дуги. По

второму методу определяют параметры дугового процесса: частоту обрыва горения дуги; минимальное напряжение холостого хода сварочного трансформатора, при котором все еще возможно стабильное горение дуги, разрывную длину дуги [4, 9].

Устойчивые критерии стабильности горения дуги учитывают многие физические процессы как в дуге, так и в ее цепях питания. Их применяют без каких-либо изменений для оценки устойчивости горения дуги как с плавящимися электродами. Переноса металла так же существенно влияет на устойчивость процесса и при разработке критериев стабильности горения дуги должен учитываться. От характера переноса электродного металла зависят такие показатели сварки, как стабильность, качество металла шва, потери металла, возможность или легкость осуществления сварки в наклонном, вертикальном и потолочном положениях [4].

#### 1.4 Влияние переменного тока на свойства сварных соединений

Электрическая дуга переменного тока нашла широкое применение в сварочной технике. В большинстве случаев ее используют при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.

При сварке переменным синусоидальным током может быть достигнута более высокая производительность работ, чем при сварке постоянным током.

Переменный ток позволяет получать хорошее формирование шва с благоприятными геометрическими его показателями и профилем проплавления, в том числе и на более производительных режимах сварки, чем при сварке постоянным током. Структура металла сварного шва получается более мелкозернистая, качество сварного шва лучше, чем при сварке постоянным током электродами одной и той же марки.

К недостаткам сварки переменным током относится: низкая устойчивость горения дуги, обусловленная периодическими ее погасаниями; в некоторых

случаях повышенное разбрызгивание металла и насыщение его газами, которое также связано с ухудшением устойчивости горения дуги. С улучшением стабильности горения дуги уменьшается разбрызгивание металла и насыщение его газами [4].

Физические явления, которые наблюдаются в межэлектродном промежутке, как предшествующие зажиганию дугового разряда, так и следующие после его погасания, свойственны некоторым известным формам электрического разряда в газах. Наличие и длительность этих явлений зависит от условий зажигания и гашения сварочной дуги, в том числе от материала электродов, величины приложенного напряжения, состава защитной среды, потенциала ионизации защитной среды и других факторов [4].

Из множества свойств и особенностей дуг переменного тока для сварки металлов особенно важны те, которые влияют на устойчивость горения дуги и перенос электродного металла. В общем виде устойчивость любого процесса, как известно, оценивают по изменению энергии системы тел, участвующих в этом процессе. Если в дуге нет приращения энергии, т.е. если разность между поступающей энергией и расходуемой равна нулю, то все ее параметры остаются неизменными. Дуга получает энергию от источника электрического тока, образуя с ним единую систему. При наличии в сварочном контуре активного и реактивного сопротивлений потребляемые ими мощности также следует отнести к расходуемым мощностям [4].

### 1.5 Способы повышения устойчивости горения сварочной дуги переменного тока

Применяемые на практике способы повышения устойчивости горения сварочной дуги и стабильности сварки переменным током можно условно разделить на две группы: металлургические и электрические [4].

Металлургические способы:

Активирование легкоионизирующимися добавками, вводимыми через сварочную проволоку, покрытие электрода или защитную среду, в которой горит дуга. Устойчивость горения дуги повышается за счет уменьшения эффективного потенциала ионизации дугового разряда, что в свою очередь ведет к уменьшению сопротивления дугового промежутка и увеличению постоянной времени дуги. Этот способ получил широкое применение в сварочной практике. Однако имеет ряд недостатков: уменьшается производительность сварки за счет катодного падения напряжения, уменьшается глубина проплавления изделия за счет уменьшения плотности тока, часто ухудшаются механические свойства металла шва [4,10].

Электрические способы:

Обеспечение высокой скорости нарастания напряжения и силы тока при смене полярности. При этом способе, применяются источники питания повышенной частоты, источники питания с крутопадающей внешней характеристикой, а также имеющие прямоугольную форму кривой тока. Этот способ значительно улучшает стабильность горения дуги [4,11].

Сварка на повышенных частотах (25-35 кГц) имеет ряд преимуществ:

1. При сварке на повышенной частоте частая смена полярности электродов должна привести к снижению и усреднению размера капель переносимого металла и повысить частоты их внедрения в зону соединения металлов. Мелкокапельный перенос способствует образованию более однородной структуры зерен металла в сварном соединении и повышению его прочности.

2. Питание дуги током высокой частоты должно привести за счет индукционного нагрева металла к некоторому подогреву плавящегося электрода и дополнительному нагреву отрывающейся от него капли металла.

При прочих равных условиях в сварочную ванну будет поступать больше тепла, что повысит КПД, с так же производительность процесса.

3. Сварка на переменном токе повышенной частоты позволяет исключить из сварочных аппаратов достаточно мощные и дорогостоящие

выпрямители с соответствующими охладителями, а это уменьшает массу и габариты аппаратов [12].

Подключение конденсатора к первичной или вторичной обмоткам сварочного трансформатора. Последовательное включение конденсатора в сварочную цепь повышает устойчивость горения дуги [4].

Применение сварочных осцилляторов и генераторов высоковольтных импульсов напряжением 1000 В, создающих затухающие по амплитуде знакопеременные импульсы высокой частоты и высокого напряжения. При подаче импульсов в дуговой промежуток изделием и электродом в моменты начального и повторных зажиганий дуги происходит его пробой.

Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой, поддерживаемый основным источником питания. Сварочный осциллятор способен обеспечить надежную стабильность горения практически любой сварочной дуги переменного тока. Однако, осциллятор имеет ряд недостатков: он создает значительные радиопомехи, требует специальной защиты сварщика, сварочного источника питания и другого оборудования от сети высокого напряжения [4, 13].

Применение устройств стабилизации горения дуги (УСГД). По сравнению с осциллятором УСГД генерирует низковольтные (до 500 В) импульсы, которые не могут осуществлять первоначальное зажигание дуги, но облегчают повторно зажечь дугу. УСГД все больше находят применение как в традиционной для них области – аргонодуговой сварке неплавящимся электродом, так и при сварке плавящимся электродом [4].

Для повышения стабильности процесса используют прямоугольный переменный ток (рисунок 2). Основные преимущества такой формы тока в сварочной цепи заключаются в следующем. Во-первых, существенно повышается стабильность горения дуги за счет сокращения длительности коммутационных процессов при смене полярности тока. Во-вторых, расширяются технологические возможности процесса сварки за счет отдельного регулирования основных параметров режима: величины тока дуги

прямой полярности, величины тока дуги обратной полярности, периода горения дуги прямой полярности, периода горения дуги обратной полярности [14].

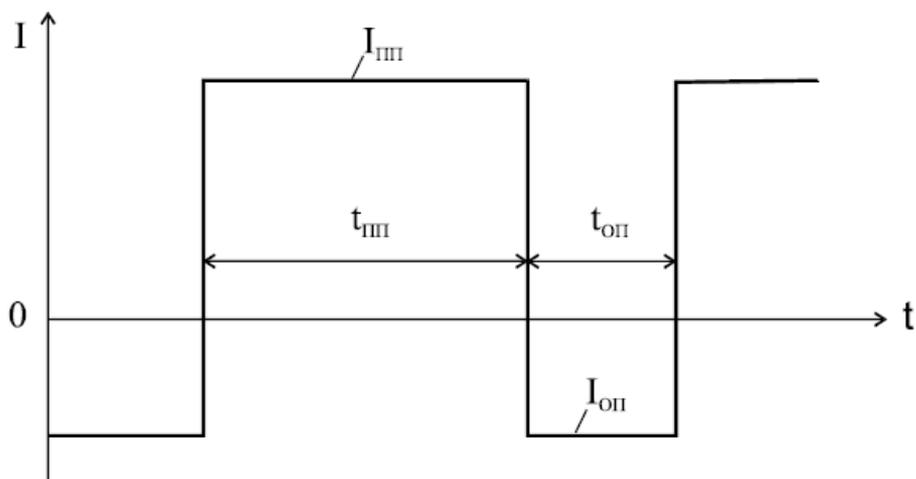


Рисунок 2. Временная диаграмма тока в сварочной цепи:

$I_{ПП}$  - ток дуги прямой полярности;  $I_{ОП}$  - ток дуги обратной полярности;  
 $t_{ПП}$  - период горения дуги прямой полярности;  $t_{ОП}$  - период горения дуги обратной полярности.

При сварке на переменном токе с прямоугольной формой тока в отличие от синусоидальной формы можно регулировать длительность протекания тока в каждом направлении. От соотношения длительности периодов, также зависит ширина зоны катодного распыления, так при увеличении этого соотношения ширина этой зоны уменьшается.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение переменного прямоугольного тока для ручной дуговой сварки позволяет повысить стабильность процесса и улучшить свойства сварного соединения [15].

### 1.6 Сварка покрытыми электродами

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами существенное повышение качества сварных швов и производительности сварки достигается за счет применения электродов с основным покрытием. Применение сварочных трансформаторов с УГСД позволяет реализовывать преимущества переменного

тока при сварке такими электродами. Также электроды с основным типом покрытия можно применять при сварке на переменном прямоугольном токе [4].

С помощью УСГД возможно обеспечить стабильный процесс сварки переменным током электродами с основным покрытием, а также решить задачи повышения качества сварного шва и производительности процесса сварки переменным током.

При использовании источника питания, имеющего УСГД коэффициент потерь  $K_n$  несколько меньше, чем при использовании источника питания или сварочного трансформатора без УСГД. За счет снижения потерь увеличивается коэффициент наплавки –  $K_n$ . Тенденция увеличения  $K_n$  и уменьшения  $K_n$  характерна для сварки с импульсной стабилизацией горения дуги. Она четко наблюдается при сварке электродами с основным покрытием. Объяснить это можно тем, что при сварке переменным током электрод половину времени плавится при прямой полярности, а другую половину – при обратной полярности. При прямой полярности покрытие электрода плавится менее интенсивно, вследствие чего образуется небольшой козырек, и расплавление металла стержня электрода без разбрызгивания стекает в жидкую ванну [4].

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Выбор материала

Для проведения эксперимента были выбраны пластины толщиной 10 мм из стали 09Г2С. Сталь является конструкционной, низколегированной, имеет высокую механическую прочность. В процессе сварки сталь не подвергается перегреву, это ведет к тому, что пластические свойства сталь сохраняет.

Механические свойства и химический состав стали 09Г2С представлены в таблице 1 и таблице 2, соответственно.

Таблица 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 – Механические свойства материала 09Г2С

Сортамент	Размер	σ <sub>B</sub>	σ <sub>T</sub>	δ <sub>5</sub>	KCU
-	мм	МПа	МПа	%	кДж / м <sup>2</sup>
Лист, ГОСТ 5520-79	10	430-490	265-345	21	590-640

Химический состав и механические свойства по ГОСТ 19281-89- «Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия».

Сталь марки 09Г2С имеет ряд свойств:

- 1) пластичность;
- 2) свариваемость без ограничений;
- 3) прокаливаемость;
- 4) устойчивость к образованию трещин;
- 5) устойчивость к отпускной хрупкости;
- б) отсутствие перегрева;

7) высокий предел выносливости (особенно после получения двухфазовой ферритно-мартенситной структуры)

Благодаря положительным свойствам, сталь применяют в химической, нефтяной, строительной, судостроительной отрасли. Устойчивость свойств материала в широком температурном диапазоне позволяет применять конструкции и детали из данной марки стали при температурах от -70 до +450 °С. Также устойчивость к низким температурам позволяет применять трубы из стали 09Г2С на севере страны.

Данная марка стали широко используется в сварных конструкциях. 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 использовали электроды с основным покрытием марки LB 52U диаметром 2,6 мм. Электроды данной марки позволяют качественные и долговечные швы, как при постоянном, так и переменном токе.

Ряд преимуществ сварных соединений, выполненных электродами LB 52U:

- 1) высокая плотность соединения;
- 2) пониженная степень содержания водорода в металле шва;
- 3) значительная глубина проплавления обрабатываемого металла;
- 4) незначительное разбрызгивание металла;
- 5) высокая пластичность сварного соединения, шва;

- б) стойкость к абразивным трещинам;
- 7) отличная ударная вязкость;
- 8) достаточно легко удаляется шлаковая корка

Такой вид электродов используется при строительстве трубопроводов в газовой и нефтяной промышленности. Высокая эластичность сварного шва позволяет электродам этой марки производить сварочные работы в различных климатических условиях на любых участках магистральных трубопроводов.

Для LB52U характерно пониженное содержание водорода, в связи с этим улучшается качество сварочного шва. Химический состав электродов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав в %, электродов марки LB 52U

Диаметр электрода, d, мм.	C	Si	Mn	P	S	Ni*	Cr*	Mo*	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	0,01	0,013	0,004	0,01	0,03	0,01	следы

Электроды LB52U 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 применяли однопостовой сварочный выпрямитель ВД 306 совместно с инвертором сварочного тока ИСТ–201 разработанным сотрудниками кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Томского политехнического университета. 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 [16].

Инвертор ИСТ–201 предназначен для совместного использования со стандартным источником питания постоянного тока и подключают его в сварочную цепь посредством байонетных разъемов (рисунок 3).

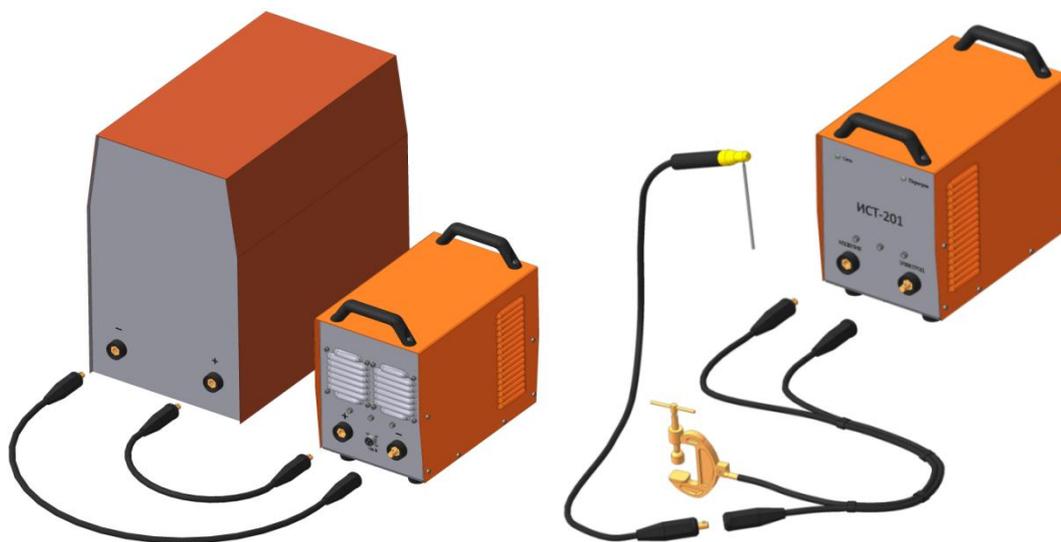


Рисунок 3. Внешний вид и схема подключения инвертора сварочного тока ИСТ-201

#### 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 [17].

Первый этап. Отрезка и заторцовка шлифа.

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 (голубой пасты 28/20 и желтой пасты 10/4).

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 [18].

## 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 использовали травитель хлорное железо ( $FeCl_3$ ), растворенный в воде. Травление проводили при температуре 20 °С, время травления 3 с.

Микроструктуру наплавленных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа Olympus GX51 (Рисунок 6), снабженного анализатором изображений SIAMS 700.



Рисунок 4. Микроскоп Olympus GX51

### 3. Экспериментальная часть

С целью определения влияния рода тока и воздействия магнитного поля на качество металла шва были проведены экспериментальные исследования. Для этого производили сварку корневого слоя шва пластин из стали 09Г2С толщиной 10 мм покрытыми электродами марки LB – 52U диаметром 2,6 мм в вертикальном положении. Перед сваркой выполняли разделку кромок по ГОСТ 5264-80-«Ручная дуговая сварка. Соединения сварные», тип соединения С17. Затем зачищали околошовную зону поверхности пластин до металлического блеска универсальной угловой шлифовальной машинкой УШМ – 125.

Были выполнены 3 образца: на постоянном токе обратной полярности, на переменном прямоугольном токе, на переменном прямоугольном токе в внешнем магнитном поле.

Для сварки на постоянном токе использовали сварочный выпрямитель ВД 306, а для сварки на переменном прямоугольном токе к выпрямителю подключали ИСТ-201. Для обеспечения внешнего магнитного поля в зоне сварки использовали индуктор.

Величину индукции магнитного поля устанавливали равной 1000 Гс (0,1 Тл). В процессе выполнения шва индукция уменьшалась, т.к. часть силовых линий магнитного поля проходила через наплавленный металл.

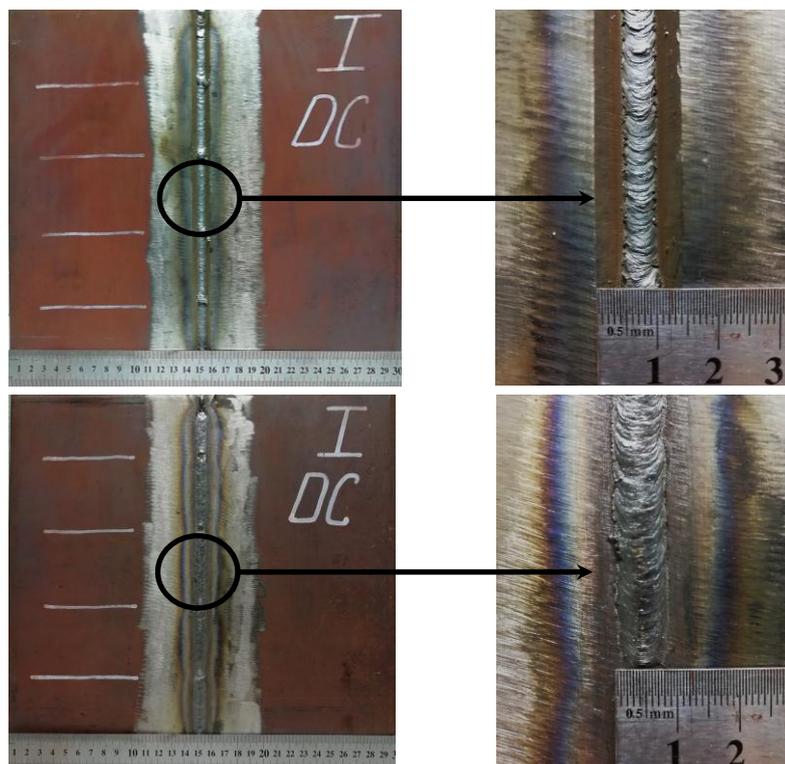


Рисунок 5. Лицевая сторона и обратный валик сварного соединения, выполненного на постоянном токе обратной полярности

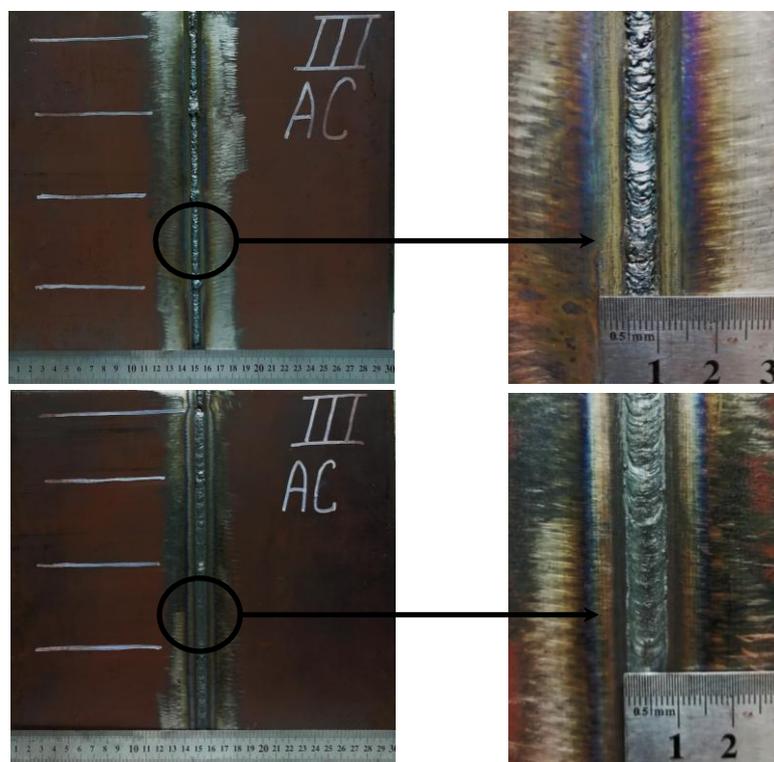


Рисунок 6. Лицевая сторона и обратный валик сварного соединения, выполненного на переменном прямоугольном токе

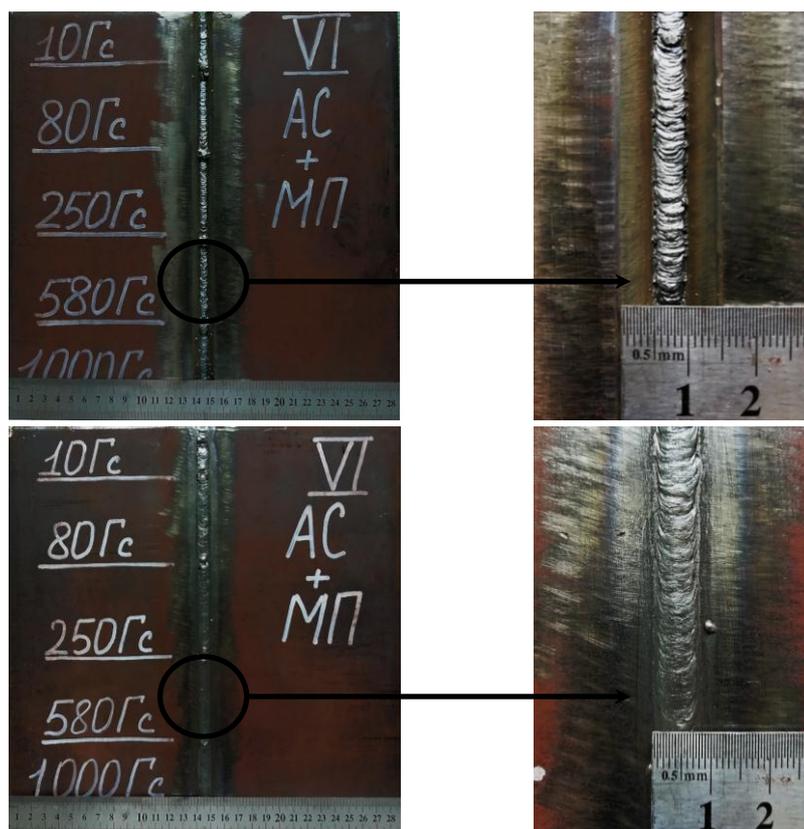


Рисунок 7. Лицевая сторона и обратный валик сварного соединения, выполненного на переменном прямоугольном токе во внешнем магнитном поле

После проведения сварки пластин, полученные соединения подвергали визуальному осмотру, по результатам которого видимых дефектов обнаружено не было.

С целью анализа влияния рода тока и магнитного поля на свойства металла шва, исследовали его макро- (рисунок 8) и микроструктуру (рисунок 9, 10, 11).



а)



б)



в)

Рисунок 8. Макроструктура металла швов: а) постоянный ток обратной полярности; б) переменный прямоугольный ток; в) переменный прямоугольный ток во внешнем магнитном поле

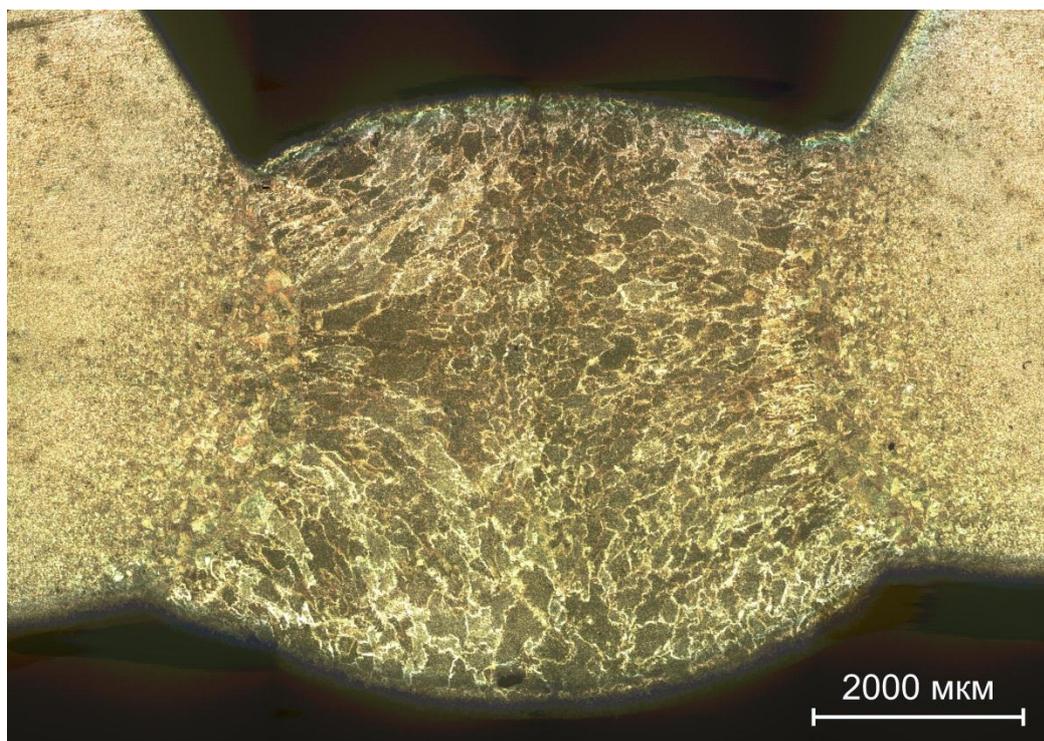


Рисунок 9. Микроструктура металла шва, выполненного на постоянном токе обратной полярности

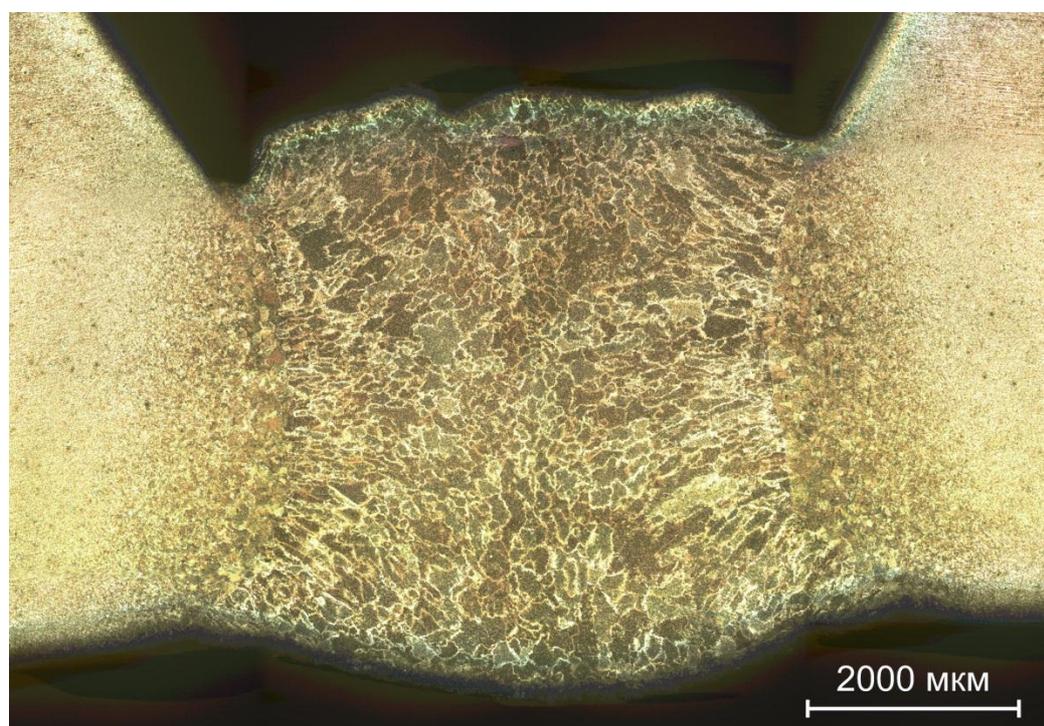


Рисунок 10. Микроструктура металла шва, выполненного на переменном прямоугольном токе

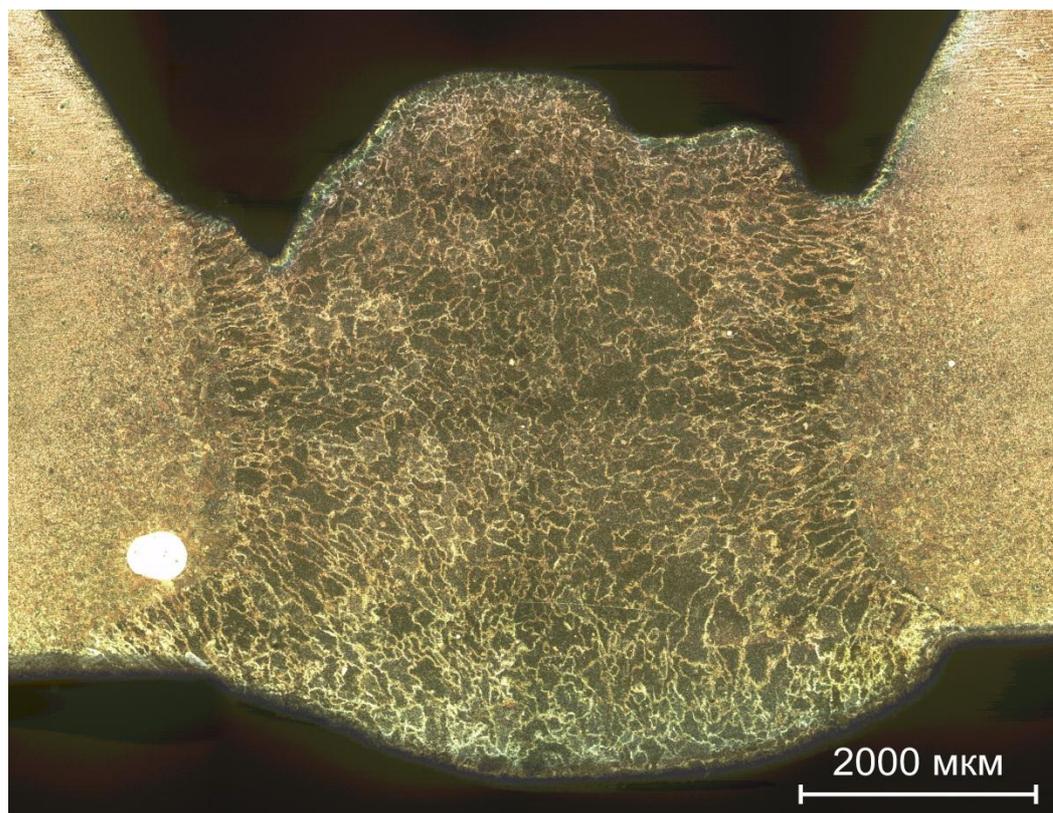


Рисунок 11. Микроструктура металла шва, выполненного на переменном прямоугольном токе во внешнем магнитном поле

Анализ сварных соединений показал, что применение переменного прямоугольного тока способствует получению однородной мелкозернистой структуры металла шва (рисунок 10), зона термического влияния меньше, чем у образцов наплавленных на постоянном токе (рисунок 9). Отсутствует явно выраженный переход от основного к наплавленному металлу.

## 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 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.

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 метода сварки.

Технология QuaD (QUality 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 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
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
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
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
<b>Итого</b>	<b>100%</b>	<b>610</b>	<b>1000</b>	<b>6,1</b>	<b>81,5</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (3)$$

где  $P_{\text{ср}}$  – 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 5) 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.

#### 4.2 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 5 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	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 5..8

Таблица 6 - Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

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

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

Таблица 7 - 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 8 - 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: У1С4С5, У2С1.

Таблица 9 - 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.

#### 4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 10 - Морфологическая матрица методов получения качественного сварного шва.

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) А1В1В1 – 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) А2В2В2 – 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.

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

##### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 11 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение свойств сварных соединений полученных с использованием переменного прямоугольного тока.	
Практические исследования	9	Наплавка на металл трубы.	Студент
	10	Изучение результатов проведенной обработки	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Заключение	Студент

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  
 $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой  
 $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i},$$

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

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

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

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}=365$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}=104$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}=14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 12).

После заполнения таблицы 12 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ чел-дни			$t_{max}$ чел-дни			$t_{ож}$ , чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель			2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.			1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.			1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель			1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель			2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент			10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.			3	4	4	5	6	6
Изучение свойств сварных соединений полученных с использованием переменного прямоугольного тока	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент			4	6	6	6	9	9
Наплавка на металл трубы	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент			2	3	4	3	5	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент			2	3	3	3	5	5
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.			2	2	2	3	3	3
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент			3	3	3	4	4	4

#### 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

##### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (8)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 13- 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

#### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, 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 14 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп .1	Исп .2	Исп .3	Исп .1	Исп .2	Исп .3	Исп .1	Исп .2	Исп .3
1.	Оборудование для сварки на постоянном токе прямой полярности.	1	-	-	1156	-	-	1329	-	-
2.	Оборудование для сварки на постоянном токе обратной полярности	1	1	1	2000	2000	2000	2300	2300	2300
3	Оборудование для сварки на переменном прямоугольном токе	-	1	-	-	1500	-	-	3250	-
4	Оборудование для сварки на переменном синусоидальном токе	-	-	1	-	-	2000	-	-	3000
Итого:								3629	5550	5330

### 4.5.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 22.

Таблица 15 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Рук.	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Изучение свойств с использованием переменного прямоугольного тока	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Наплавка на металл трубы	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Изучение результатов	Студент	2	3	3	0,8			1,8	2,7	2,7
11.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8

12.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8	2,7	2,7	2,7
Итого:							79,7	84,2	85,1

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (9)$$

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

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

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (10)$$

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

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

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 16 - Отчисления во  
внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

#### 4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 17 - Расчет бюджета затрат  
НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НТИ	2852	2219,5	2135,5	Пункт 4.3.1
Затраты на специальное оборудо- вание для научных (эксперимен- тальных) работ	3629000	4550000	2330000	Пункт 4.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 4.3.3
Затраты по дополнительной Заработной плате исполнителей	9564	10104	10212	Пункт 4.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 4.3.4
Накладные расходы	599249,2	747532,7	392182,64	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	4344555,7	5419612,6	2845459,64	Сумма ст. 1- 6

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a, b_i^p$  – 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

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

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

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

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

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

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп } i}}{I_{\text{исп } \text{max}}}$$

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/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

### Введение

В магистерской диссертации проводятся исследования свойств сварных соединений полученных с использованием переменного прямоугольного 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 разработаны мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, направленные на снижение или устранение опасных факторов. Также предложены мероприятия по противопожарной профилактике, охране окружающей среды и чрезвычайным ситуациям.

### 5.1 Производственная безопасность.

Рассмотрим общие правила безопасности труда на рабочем месте.

Основные мероприятия по технике безопасности при работе на контактных сварочных машинах связаны с возможностью поражения оператора электрическим током, ожогами от брызг или выплесков, наличия движущихся частей привода сжатия или подачи деталей и загрязнения атмосферы, особенно при стыковой сварке.

Общими правилами безопасности труда предусматривается ограждение всех опасных мест, а также предупреждение об опасности с помощью предупредительных знаков и надписей, устройства звуковой и световой сигнализации.

Работник не допускается к работе без ознакомления с правилами поведения в цехе и лаборатории; также проводится инструктаж на

рабочем месте. В инструктаже особое внимание обращается на строжайшее соблюдение правил поведения вблизи движущихся конвейеров, транспортных средств, подъемных механизмов, силовых линий.

Одним из важнейших факторов предупреждения травматизма в цехах является разработка безопасных профессиональных приемов работы, содержание в исправности всего рабочего инструмента и приспособлений, поддержание чистоты и порядка на рабочем месте; устройство предохранительных и оградительных устройств на движущихся частях оборудования. При работе на машинах сварщик должен следить за исправностью оборудования и соблюдением режима сварки. Перед началом работы следует проводить тщательный технический осмотр и проверку машины.

Рабочие сварочных профессий должны быть обеспечены спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты с учетом условий проведения работ в соответствии с типовыми отраслевыми нормами, утвержденными в установленном порядке. Для защиты от ожогов сварщик должен иметь очки с прозрачными стеклами, спецодежду и рукавицы. Для уменьшения опасности возникновения пожара вокруг машины на расстоянии 5–6 метров не должно быть горючих веществ.

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.

К правилам безопасности при контактной точечной электросварке относятся такие требования как напряжение, подводимое к электродам или к зажимам машин контактной сварки, должно быть не более 36 В. В непосредственной близости от стационарной сварочной машины должна быть смонтирована защита (предохранители или автоматический выключатель) и измерительные приборы. Электропроводка к передвижным или подвесным

машинам контактной сварки должна выполняться изолированными гибкими проводами, в защитном шланге. Администрация должна следить за тем, чтобы зачистка электродов на точечных и шовных (роликовых) машинах производилась только при выключенном сетевом рубильнике. Точечные и шовные (роликовые) электросварочные машины против электродов со стороны обслуживания должны быть оборудованы откидывающимися прозрачными экранами из оргстекла. Шкафы, пульта и станины контактных сварочных машин, внутри которых расположена электроаппаратура с открытыми токоведущими частями, находящимися под первичным напряжением, должны иметь дверцы с блокировкой, обеспечивающей выключение первичного напряжения с электроаппаратуры при открывании дверцы. При открытой дверце блокировочное устройство не должно иметь открытых токоведущих частей, находящихся под напряжением.

5.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

#### 5.2.1 Повышенный уровень шума

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

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

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и

восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- Изоляции источников шумов;
- Проведения акустической обработки помещения;
- Создания дополнительных изоляционных перегородок;

### 5.2.2 Недостаточное освещение

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

Создание высоких уровней освещенности мест сварки (порядка десятков тысяч люкс) с тем, чтобы все операции можно было выполнять со щитком, экономически не выгодно и практически сложно. Уровни освещенности для сварочных работ установлены в соответствии с действующими нормативными документами для люминесцентных ламп 150 лк, а для ламп накаливания 50 лк с учетом наличия в поле зрения самосветящихся элементов (СНиП 23-05-2010).

Характер технологических операций в сборочно-сварочных цехах (работа на нефиксированных местах) определяет целесообразность создания системы общего освещения, локализованного или равномерного общего использованием переносных светильников местного освещения. С учетом возможности использования газоразрядных источников света целесообразно

повысить уровни освещенности при электросварочных работах до 500 лк при общем и местном освещении и до 300 лк при одном общем освещении.

В переносных светильниках необходимо предусматривать ограничение прямой блескости. Под кранами должны быть повешены дополнительные светильники, компенсирующие затемнение рабочих мест. При сварке внутри емкостей следует использовать светильники направленного действия, расположенные снаружи, или ручные переносные светильники, имеющие защитную сетку (трансформатор должен быть установлен снаружи, его вторичная обмотка заземлена; не допускается применение автотрансформаторов).

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

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

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

### 5.2.3 Отклонение параметров микроклимата

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

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

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. Нормы метеоусловий для категорий работ по Пб согласно СНиП 2.2.4. 548-96 см. в таблице 19.

Таблица 19 - Нормы метеорологических условий

Холодный период года						Теплый период года					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
16-20	40-60	0,2	15-22	15-75	0,2-0,4	19-21	40-60	0,2	16-27	15-75	0,2-0,5

В настоящих нормах нормируется отдельно каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: относительная влажность, температура, скорость воздуха в зависимости от способности человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности производственной работы и характера тепловыделений в рабочем помещении. В лаборатории 17.02.2017 г. Проведены измерения параметров микроклимата. Получены следующие значения: температура

воздуха 22°C, относительная влажность воздуха 21,5%, скорость движения воздуха – менее 0,1 м/с, что соответствует нормативным значениям.

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. Местную вентиляцию можно считать удовлетворительно работающей, когда она удаляет вредности по принципу «от рабочего».

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

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

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

В таблице 20 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей.

Таблица 20 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

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

Токсичные включения, входящие в состав сварочного аэрозоля, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний (пневмокониоз, развития фиброзных изменений в легких). Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания. Контроль содержания в воздухе этих веществ проводился с использованием индикаторных трубок. Их концентрация не превышает 0,5 значений соответствующих ПДК, то есть менее порога чувствительности средств измерения.

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

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

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна соответствовать нормам, приведенным в таблице 21.

Таблица 21 – Скорость движения воздуха, создаваемая отсосами у источников выделения вредных веществ

Процесс сварки	V, м/с
Сварка ручная	$\geq 0,5$

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

## 5.3 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

### 5.3.1 Анализ поражения электрическим током

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–79.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- 1) перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;
- 2) 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:

- 1) 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;
- 2) зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- 3) системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- 4) защитное разделение сетей;
- 5) 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.

### 5.3.2 Анализ поражения расплавленным металлом

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

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

### 5.4 Экологическая безопасность

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

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

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

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

#### 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожары в сварочных цехах представляют большую опасность для рабочих и могут причинить огромный материальный ущерб.

Опасными и вредными факторами пожара, воздействующими на людей, являются: открытый огонь, повышенная температура окружающей среды и предметов, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, падающие части строительных конструкций; при взрыве – ударная волна, разлетающиеся части и вредные вещества.

Основными причинами возникновения пожаров в сварочных цехах, является:

- нарушение технологического режима;
- неисправность электрооборудования;
- искры;
- реконструкция установок с отклонением от технологических схем;
- возгорание промасленной ветоши и других легковоспламеняющихся материалов.

Поэтому для предотвращения пожаров необходимо следовать следующим правилам:

- о предстоящих работах по сварке необходимо заблаговременно сообщать лицу, ответственному за пожарную безопасность;
- рабочие места сварщиков следует предварительно очистить от древесных стружек, сгораемого мусора в радиусе не менее 10 метров, а также удалить из этой зоны другие взрывоопасные и огнеопасные вещества;
- необходимо соблюдать осторожность при перемещении сварочных проводов. Особую опасность при этом представляет собой искрение проводов (при их недостаточной или нарушенной изоляции) в местах, удаленных от сварщика или недоступных его наблюдению;
- при длительном или концентрированном воздействии искр и капель расплавленного металла, образующимся при сварке, необходимо защищать деревянные настилы или подмости от возгорания листовым железом или асбестом;
- по окончании смены нужно тщательно проверять рабочую зону и не оставлять открытого огня, нагретых до высокой температуры предметов, а также тлеющих сгораемых материалов, мусора и т. д.

Категорию помещения, в котором проводится работа, определим в соответствии с классификатором помещений основных производств и складов предприятий машиностроения. Рассматриваемый сварочный пост относится к категории Г.

Основы противопожарной защиты предприятий определены техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности ФЗ–123.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

В случае возникновения пожара необходимо отключить подачу электроэнергии, вызвать пожарную команду и, если это, возможно, приступить к ликвидации очагов возгорания силами персонала цеха.

Для быстрой ликвидации пожаров в помещении категории Г вблизи места сварки всегда должна быть бочка с водой и ведро, ящик с песком и лопата, а также ручной огнетушитель. Огнетушители, применяемые при тушении пожара на участке с электроустановками, должны быть углекислотными. Для быстрой ликвидации пожара нормами первичных средств пожаротушения сварочного цеха на каждые 200 м<sup>2</sup> площади предусмотрен один огнетушитель ОУ – 5, ящик с песком 0,5м<sup>3</sup> и две лопаты.

Пожарные краны, рукава, стволы огнетушители и другие средства тушения пожара необходимо содержать в исправности и хранить в определенных местах по согласованию с органами пожарного надзора.

#### 5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

За каждым учащимся в учебных мастерских закрепляется постоянное рабочее место.

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

Допустимая продолжительность работ в учебных мастерских не превышает 3ч в день.

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

О несчастном случае следует уведомить мастера производственного обучения, который сообщает об этом администрации учреждения.

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

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

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

Ответственность за охрану труда, общее состояние техники безопасности и производственной санитарии возлагается на руководителей предприятия, а также цехов и отделов (главных инженеров, главных механиков и инженеров по технике безопасности).

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

Электросварщик и подсобный рабочий обязаны содержать в чистоте и порядке рабочее место, не загромождать проходы и проезды, складывать заготовки и готовые изделия в отведенных местах.

Электросварщику и подсобному рабочему запрещается:

- касаться электропроводки и корпусов работающих электродвигателей, установленных на оборудовании;
- самостоятельно подключать электросварочное оборудование к электрической сети;
- стоять под поднятым и перемещаемым грузом;

- производить работы, курить в цехах, на рабочем месте и на участках,

где применяют и хранят легковоспламеняющиеся материалы и газы. Электросварщик и подсобные рабочие обязаны знать правила и приемы оказания первой помощи пострадавшему.

После выполнения сварочных работ электросварщик обязан:

- отключить сварочную аппаратуру от сети;
- отсоединить провод с электродержателем от сварочного оборудования и убрать их для хранения в специально отведенное место;
- тщательно осмотреть рабочее место и принять меры, исключающие возможность возникновения очага пожара;
- в случае возникновения пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации очага возгорания имеющимися средствами;
- очистить стекло, защищающее светофильтр шлем-маски (щиток) от брызг металла, убрать инструмент и защитные средства в отведенное для хранения место.

## Заключение

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что переменный прямоугольный ток оказывает благоприятное воздействие на структуру металла сварного шва. По сравнению с образцами выполненными на постоянном токе, структура более мелкозернистая, с равноосными кристаллами. Также отсутствует резкий переход от основного металла к наплавленному.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что применение переменного прямоугольного тока при дуговой сварке электродами с основным типом покрытия положительно сказывается на качестве сварных соединений. особенно при негативном воздействии внешнего магнитного поля на сварочный процесс.

## Список используемых источников

1. Ручная дуговая сварка: учебник/ В.Г. Лупачев. – 3-е изд. – Минск: Выш. шк., 2010 – 416 с.: ИЛ
2. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля //– Дис. ...канд. техн. наук.– Томск, 2012.– 158 с.
3. Александров А.Г., Милютин В.С. Источники питания для дуговой сварки.// – М.: Машиностроение, 1982. – 79 с.
4. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. Б.Е. Патон, И.И. Заруба, В.В. Дыменко, А.Ф. Шатан. – К.: «Экотехнология», 2007. – 248 с.
5. Электрическая сварочная дуга. Лесков Г.И., - М., «Машиностроение», 1970. – 335 с.
6. Сварка магнитоуправляемой дугой. Ю.Г. Гаген, В.Д. Таран. М., «Машиностроение», 1970. – 160с.
7. Оценка устойчивости дуги переменного тока / Л.Г. Шафранский, Л.Н. Орлов, А.В. Абрашин // Автоматическая сварка. - №8. С. 18 – 19.
8. Кирдо И.В. О механизме повторного зажигания сварочной дуги переменного тока // Автоматическая сварка. – 1956. - №6. – С. 39 – 54.
9. Хренов К.К. электрическая сварочная дуга. Машгиз. – К., 1949.
10. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 428с.
11. Лаужадис А.И. Влияние характеристик источников питания на эластичность дуги при сварке покрытыми электродами // Автоматическая сварка. – 1976. - №2. – С. 5 – 8.
12. Бардин В.М., Земсков А.В. Высокочастотные инвенторы для сварки на переменном токе. – М.: ДМК Пресс, 2015 – 144с.
13. Лесков Г.И. Сравнение динамических свойств сварочных трансформаторов // Автоматическая сварка. – 1964. - №1. – С. 9 – 11.

14. Гопаненко Р.В., Киселев А.С. Особенности применения переменного прямоугольного тока при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов // 2014. - №2. – С. 10 – 11.

15. Гордынец А. С., Киселев А. С., Дедюх Р. И., Советченко Б. Ф. Влияние возмущающего воздействия внешнего магнитного поля на процесс дуговой сварки покрытыми электродами // Сварка и диагностика. – 2011. – №4. – С. 37– 40.

16. Александров А.Б., Гордынец А.С., Дедюх Р.И., Киселев А.С., Нехода М.М., Рожков В.В., Советченко Б.Ф. Схемы или устройства для дуговой сварки импульсами тока или напряжения // Способ дуговой сварки 2005.

17. Сердюк Г.Б. К расчету сварочной дуги в поперечном магнитном поле. // Автоматическая сварка 1960. - №11. – С. 31-38.

18. Лесков Г.И., Лугин В. П. Переменному току – дорогу в сварку. // Приок. книж. изд-во. Тула, 1969, С. 59

## Приложение А

### Раздел 1 Обзор литературы

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ВМ61	Лаптев Дмитрий Олегович		

Консультант отделения ЭИ:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Слободян М.С.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист отделения ИЯ:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Игна О.Н.	д.п.н., доцент		

## 1. Reference Review

### 1.1 Arc Welding

The electric arc means a flexible gaseous conductor. Therefore, the external forces can cause its deviations. In order for the arc to be in a set position, the external forces must be balanced by equal and oppositely directed internal forces [3].

The magnetic field of the arc current is one of the sources of external forces in arc welding.

The self-guided field, created by the welding current, surrounds the arc and has an effect on it from all sides. As long as the magnetic field is symmetrical, the electromagnetic force, in any direction, is balanced by equal and oppositely directed force, and their resultant force is zero. As soon as the symmetry of the field is violated, the forces become unequal and the arc deviates in the direction of greater force [3].

Magnetic blow means deviation of the electric arc from the electrode axis, i.e. movement of the arc end during the manual arc welding.

During the welding process, the current flows in the electric arc and a product. Such current makes a magnetic field.

The interaction of the magnetic field of the current circuit with the current of the arc column creates a force directed toward its center (the pinch effect phenomenon). When the electric wire is connected to the place where the arc ends, this force does not cause the column to deviate, but returns it to its initial position, when it deviates. If the wire connection point is at any distance from the perpendicular, the resulting magnetic field shall be transverse and cause the column to deviate. The deflecting force is proportional to the square of the arc current, so the magnetic blow increases at welding current increase. The blow leads to limitation of DC welding at high values of electric current.

When welding with alternating current, the effect of magnetic blow is greatly weakened. In this case, the electromotive force which creates eddy currents is

induced influenced by the alternating magnetic field of current. The magnetic flux created by them is less than the flux created by direct current. As a result, at large alternating currents (1000-2000 A), the effect of magnetic blow is negligible [4].

As for the welding efficiency, it can be higher in AC welding than in DC welding.

The DC welding is specified with such a negative phenomenon as magnetic blow that is a result of interaction of the arc magnetic field with the welding circuit field [4].

The negative effect of magnetic blow is great during welding at high current strength (more than 300 A). Magnetic blow limits the use of high-performance modes for DC welding. The use of alternating current is the simplest and most reliable solution in the magnetic blow problem. When using the alternating current, the magnetic blow is invisible even at very high current strength (1000 A), that makes possible to apply more efficient welding modes [4].

The alternating current makes possible to obtain a qualitative seam with good geometric parameters and the penetration profile. The metal structure of the welding seam becomes more compact, the quality of welding seam becomes better than in DC welding with the same electrodes [4].

## 1.2 Technological properties of the welding arc

The technological properties of the welding arc mean a complex of its thermal, mechanical and physical-chemical effects that determine intensity of the electrode melting, nature of electrode metal transfer, penetration of the base material, formation and quality of the welding seam. The technological properties of the arc are interrelated and determined with the welding mode parameters [1].

Spatial stability and elasticity are the technological properties of the arc as well. This means the ability to maintain the unchanged spatial position relative to the product in the steady burning mode and the possibility of deviation and displacement without damping under the influence of external factors. Such factors can be

magnetic fields and ferromagnetic masses, the magnetic field of the arc interacts with. In this interaction, the arc deviation from the natural position in space is observed [5].

### 1.3 AC welding with coated electrodes

An alternating current arc is surrounded by an alternating magnetic field acting as a driving field. In any closed conductor, the driving field induces current. Consequently, the alternating magnetic field of the arc induces current in workpiece. The direction of these additional (eddy) current is such that at any time the magnetic fields are directed opposite to the main magnetic field of the welding current (Figure 1).

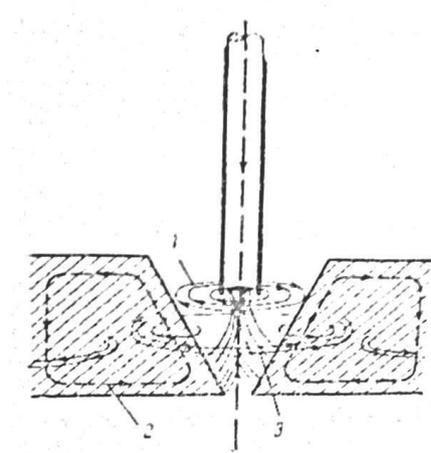


Figure 1. Influence of eddy current on the main magnetic field of the alternating current arc: 1 - main magnetic field; 2 - lines of eddy current; 3 - magnetic field of eddy current.

The attenuation of magnetic blow during the AC welding can be explained due to the partial neutralization of the main magnetic field of the arc with the magnetic field of eddy current [6].

For welding metals, such properties and characteristics of the AC arc that influence on the arc stability and transfer of the electrode metal, are important. In general, the stability of any process is estimated by the change in the energy of the system elements [5].

The arc of the alternating current with the frequency of supply network  $f$  goes out and lights up again at a frequency of  $2f$ . When an industrial frequency current  $f = 50$  Hz is used, the electrode and product are alternately acts as a cathode and an anode 50 times per second, i.e. 50 times per second, the cathode and anode areas are destroyed and formed, as well as the reorientation of charged particles in the arc column. The arc current, the magnitude of which continuously varies during each half-period according to the sinusoidal law, causes a change in the radial dimensions of the column, its temperature, dimensions of the isothermal areas of active spots on the electrodes that is a reason of significant difference in the technological properties of the AC and DC arcs [5,8].

In view of the arc stability, both the time of formation of the steady-state discharge and the time of deionization of the arc column plasma are important factors.

The interruptions in combustion is a characteristic feature of the AC welding arc. By the end of the half-cycle, before the extinction of the arc and after it, with some delay, the temperature of the arc gas decreases substantially (almost twice) [8].

The stability of the welding process in practice is evaluated by two methods: directly during the actual welding or after processing the results characterizing the welding. The first is a subjective method when a welder controls the arc burning and evaluates the initial arc ignition, metal spraying, arc elasticity. The second method determines the parameters of the arc process: the arc breaking frequency; minimum open-circuit voltage of the welding transformer where the stable arc combustion is still possible, discontinuous arc length [4, 9].

Stable criteria for arc stability take into account many physical processes both in the arc and in its supply circuits. They are used without any changes to assess the arc stability with consumable electrodes. The metal transfer also has a significant effect on the process stability, and it should be considered during development of criteria for the arc stability. Such welding parameters as stability, weld metal quality, metal loss, possibility or ease of welding in an inclined, vertical and overhead position depends on transfer of electrode metal. [4].

## 1.4 Influence of alternating current on the properties of welded joints

The AC electric arc has found wide application in welding technology. In most cases, it is used in manual arc welding with coated electrodes.

When welding with alternating sinusoidal current, a higher productivity can be achieved than with DC welding.

The alternating current makes possible to obtain a qualitative seam with good geometric parameters and the penetration profile. The metal structure of the welding seam becomes more compact, the quality of welding seam becomes better than in DC welding with the same electrodes.

The disadvantages of AC welding include: low arc stability due to its periodic extinctions; in some cases, increased spattering of the metal and its saturation with gases associated with a deterioration in the arc stability. The metal spattering and its saturation with gases are reduced due to improvement in the arc stability [4].

Physical phenomena observed in the interelectrode gap, both before ignition of the arc discharge, and subsequent to its extinction, are peculiar to some known forms of electric discharge in gases. Existence and duration of these phenomena depends on conditions of ignition and extinction of the welding arc, including the electrode material, magnitude of the applied voltage, protective medium, ionization potential of the protective medium, and other factors [4].

For welding metals, such properties and characteristics of the AC arc that influence on the arc stability and transfer of the electrode metal, are important. In general, the stability of any process is estimated by the change in the energy of the system elements. If there is no energy increment in the arc, i.e. if the difference between the incoming energy and the consumed energy is zero, then all its parameters shall remain unchanged. The arc receives energy from the source of electric current, forming a single system with it. If there are active and reactive resistances in the welding circuit, the power consumed also should be attributed to the consumed capacities [4].

## 1.5 Methods for increasing the AC welding arc stability

Practical ways to increase the welding arc stability and the AC welding stability can be conditionally divided into two groups: metallurgical and electric [4].

Metallurgical methods:

Activation by easily ionizing additives introduced through the welding wire, electrode coating or protective medium in which the arc burns. The arc stability is enhanced by reducing the effective potential of the arc discharge ionization; in its turn, it leads to decrease in resistance of the arc gap and increase in the arc time constant. This method has been widely used in welding practice. However, it has a number of drawbacks: the welding efficiency decreases due to the cathode voltage drop, the penetration depth of the product decreases due to the current density decrease, the mechanical properties of the weld metal are often worsened [4,10].

Electrical methods:

Providing a high rate of voltage rise and amperage when the polarity changes. This method makes possible to use high-frequency power supplies, power supplies with steeply falling external characteristics, and power supplies with rectangular shape of the current curve. This method significantly improves arc stability [4,11].

Welding at high frequencies (25-35 kHz) has several advantages:

1. When welding at high frequency, a frequent change in the polarity of the electrodes should lead to a reduction and averaging of the droplet size of the metal being transferred and to increase the frequency of their introduction into the metal bond zone. Fine-droplet transfer contributes to formation of more uniform structure of the metal grains in the weld joint and to increase its strength.

2. Due to induction heating of the metal, the power supply of the arc with high frequency current should result to some heating of the melting electrode and additional heating of the metal droplet from it.

Other things being equal, more heat will flow into the weld pool, that will increase the efficiency as well as the processing rate.

3. AC welding of the increased frequency makes possible to exclude sufficiently powerful and expensive rectifiers with appropriate coolers from the welding apparatus; and this reduces the mass and dimensions of the apparatuses [12].

Connecting the capacitor to the primary or secondary windings of the welding transformer. Sequential inclusion of the capacitor in the welding chain increases arc stability [4].

Use of welding oscillators and generators of high-voltage pulses with a voltage of 1000 V, creating alternating pulses of high frequency and high voltage decaying in amplitude. When pulses are applied to the arc gap by the product and electrode, the breakdown occurs during the initial and repeated ignitions of the arc.

A short-term spark discharge develops in the arc, supported by the main power source. The welding oscillator is able to provide reliable arc stability of any AC arc welding. However, the oscillator has a number of deficiencies: it creates significant radio interference, requires special protection of the welder, welding power source and other equipment from the high voltage network [4,13].

The use of arc stability devices (ASD). In comparison with the oscillator, the ASD generates low-voltage (up to 500 V) pulses that cannot perform the initial ignition of the arc, but make it easier to re-ignite the arc. The ASD increasingly find application both in the traditional area - argon-arc welding with non-consumable electrode, and welding with a consumable electrode [4].

In order to improve the process stability, the rectangular alternating current is used (Figure 2). The main advantages of this form of current in the welding circuit are as follows: firstly, the arc stability is substantially improved due to reduction of the switching processes duration during the current polarity change; secondly, the welding technological capabilities are improved due to the separate adjustment of the main mode parameters: current magnitude of the direct polarity arc, current magnitude of the reverse polarity arc, period of arc stability in direct polarity, period of arc stability in reverse polarity [14].

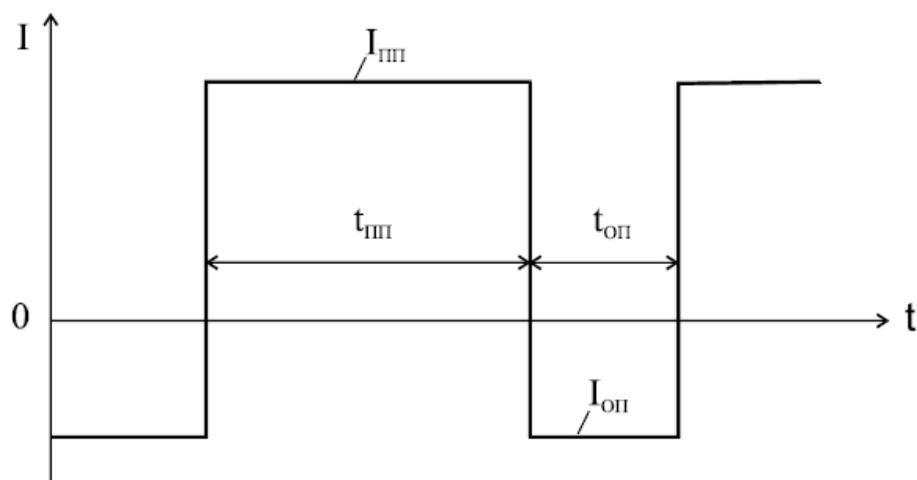


Figure 2. Time diagram of the current in the welding circuit:

$I_{III}$  - arc current of direct polarity;  $I_{OII}$  - arc current of reversed polarity;  
 $t_{III}$  - arc period of direct polarity;  $t_{OII}$  - arc period of reverse polarity.

When AC welding with a rectangular current form, in contrast to the sinusoidal form, it is possible to control duration of the current flow in each direction. The width of the cathode sputtering area depends on the ratio of the periods duration as the width of this area decreases in response to increase of this ratio.

Thus, we can conclude that the use of variable rectangular current for manual arc welding makes possible to increase the process stability and improve the properties of the welded joint [15].

### 1.6 Welding with coated electrodes

The manual arc covered-electrode welding is notable for significant improvement in the quality of welded joints, and the welding performance is achieved due to the use of basic-covered electrode. The use of welding transformers with ASD makes possible to use the AC advantages during the welding with such electrodes. Also, the basic-covered electrode can be used for welding on alternating rectangular current [4].

The ASD makes possible to provide a stable AC welding process with basic-covered electrodes, as well as to solve problems of improving the quality of the weld and the performance of the AC welding process.

When using a power supply with ASD, the loss factor  $K_n$  is less than when using a power supply or a welding transformer without ASD. The metal deposit factor -  $K_n$  increases due to reduction of losses. The tendency of increasing the  $K_n$  and decreasing the  $K_n$  is typical for welding with pulse arc stability. It is clearly observed when welding with basic-covered electrode. This can be explained by the fact that when AC welding, the electrode is melted at a direct polarity half of the time, and the other half of the time - at the reverse polarity. The electrode cover is melted less intensively with direct polarity, and as a result, a small "shield" is formed, and the melting of the metal of the electrode rod without splashing flows into the liquid bath [4].