

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Устранение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами УДК 621.791.753.042.4.053.019-027.41

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Буцыкин Сергей Эдуардович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Общие по направлению подготовки (специальности)</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<i>Профиль 1 «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении»</i>	
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.
P8	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
<i>Профиль 2 «Машины и технологии сварочного производства»</i>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции

P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
<i>Профиль 3 «Технологии космического материаловедения»</i>	
P12	Ставить и решать задачи создания новых конкурентоспособных материалов для авиационной и космической техники
P13	Способность выбора метода нанесения и состава оптимального покрытия для изделий космической техники
<i>Профиль 4 «Технологии наукоемких производств в машиностроении»</i>	
P14	Способность ставить и решать задачи по разработке высокоэффективных технологий обработки материалов, подготовке технической документации
P15	Готовность применять в производстве изделий технологии нанесения наноструктурных многокомпонентных покрытий со специальными свойствами

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ71	Буцыкину Сергею Эдуардовичу

Тема работы:

Устранение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№3645/с от 13.05.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Устранение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами LB-52U. Определение влияния амплитудно-временных параметров модуляции сварочного тока в начальный момент сварки, а также дополнительной защиты межэлектродного промежутка инертным газом и электродным покрытием на величину стартовой пористости.</i></p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы 2. Объект и методы исследования 3. Результаты проведенного исследования 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения 5. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Демонстрационный материал (презентация)</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Обзор литературы Материалы и методы исследования Результаты проведенного эксперимента</p>	<p>Киселев А.С., доцент отделения электронной инженерии</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Фадеева В.Н., доцент отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Дашковский А.Г., доцент отделения общетехнических дисциплин</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>1. Обзор литературы</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>30.10.2017</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1ВМ71</p>	<p>Буцыкин С.Э.</p>		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения (осенний семестр 2017 – весенний семестр 2019 учебных годов)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.19	Литературный обзор	15
15.04.19	Объект и методы исследования	25
28.04.19	Результаты проведенного исследования	20
01.05.19	Выводы по работе	10
04.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
10.05.19	Социальная ответственность	10
15.05.19	Часть магистерской диссертации на английском	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ71	Буцыкину Сергею Эдуардовичу

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

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

<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ 	<p>Потенциальные потребители результатов исследования, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ, оценка готовности проекта в коммерциализации, методы коммерциализации результатов НТИ</p>
<ol style="list-style-type: none"> 2. Разработка устава научно-технического проекта 	<p>Цели и результаты проекта</p>
<ol style="list-style-type: none"> 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок 	<p>Структура работ в рамках научного исследования, разработка графика проведения научного исследования</p>
<ol style="list-style-type: none"> 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности 	<p>Оценка сравнительной эффективности проекта</p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Диаграмма FAST 5. Матрица SWOT 6. График проведения и бюджет НТИ 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 8. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Буцыкин Сергей Эдуардович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ71	Буцыкину Сергею Эдуардовичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса).</i>	<i>Помещение с искусственной вентиляцией воздуха расположено на 1 этаже. В помещении размещены источники питания для сварки; площадь помещения 375 м²</i>
<i>2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.</i>	<i>ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность <i>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования</i> <i>1.2. Обоснования мероприятий по защите исследователя от опасных и вредных факторов</i>	<i>- Шум на рабочем месте.</i> <i>- Микроклимат помещения.</i> <i>- Повышенный уровень вибрации.</i> <i>- Освещённость рабочей зоны.</i> <i>- Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением.</i> <i>- Повышенная температура поверхностей оборудования.</i>
2. Экологическая безопасность <i>2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду</i>	<i>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <i>3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте</i> <i>3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае ЧС</i>	<i>Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации.</i> <i>Одной из причин возникновения пожара является короткое замыкание, а также наличие разбрызгивания расплавленного металла при проведении сварочных работ.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии	<i>- Правовые нормы трудового законодательства;</i> <i>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i> <i>- Социальная защита работников.</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Буцыкин С.Э.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 119 с., 33 рис., 37 табл., 22 формулы, 40 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: стартовые поры, горячий старт, наплавленный металл, электродное покрытие, дуга, газовая защита.

Объектом исследования является: возникновение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.

Цель работы – определение влияния амплитудно-временных параметров модуляции сварочного тока в начальный момент сварки, а также дополнительной защиты межэлектродного промежутка инертным газом и мелкодисперсным электродным покрытием на величину стартовой пористости.

В процессе исследования проводили наплавку валиков на пластины (3×100×40 мм) из стали 17ГС покрытыми электродами LB-52U диаметром 3,2 мм с применением функции «горячий старт» и дополнительной защитой дугового промежутка. Для оценки масштаба пористости была выполнена радиационная интроскопия металла шва.

В результате проведенного исследования выявлена степень влияния величины и длительности начального сварочного тока на процесс стартового порообразования, также разработана методика сокращения стартовой пористости посредством дополнительной защиты межэлектродного промежутка.

Область применения: машиностроительная, нефтегазовая, приборная промышленность, а также иные, где поры являются недопустимыми дефектами (аппараты, работающие под давлением или предназначенные для транспортировки и хранения газообразных и жидких продуктов).

Экономическая эффективность: повышение производительности сварочных работ путем обеспечения устойчивого возбуждения дугового разряда, что сократит количество обрывов дуги и стартовой пористости соответственно.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.
2. РД 34.15.132-96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
3. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.
4. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
5. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. ГОСТ 12.1.035-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений
7. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.
8. ГОСТ 12.1.019–2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей.

Оглавление

	С.
Введение	13
1 Обзор литературы	15
1.1 Выделение газов из сварочной ванны и образование пор	16
1.2 Разновидность обмазок электродов и их влияние на порообразование	20
1.3 Взаимосвязь порообразования и параметров дуги	22
1.4 Влияние газов на процесс порообразования на участках металла шва с неустановившимся режимом	28
2 Объект и методы исследования	35
2.1 Регулировка параметров горячего старта	38
2.2 Дополнительная защита межэлектродного промежутка	40
3 Результаты проведенных исследований	43
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1 Предпроектный анализ	57
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	58
4.1.3 SWOT – анализ	60
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	63
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	66
4.2 Инициация проекта	67
4.2.1 Цели и результат проекта	67
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	69
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	69
4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования	70
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77

4.5.1 Оценка сравнительной эффективности проекта	77
5 Социальная ответственность	82
5.1 Производственная безопасность	82
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования	83
5.1.2 Расчет искусственного освещения	89
5.2 Экологическая безопасность	91
5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	91
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92
5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования	92
5.3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	93
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	95
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	95
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	95
5.4.3 Социальная защита работников на предприятии	98
Заключение	100
Список использованных источников	102
Приложение А	106

Введение

На сегодняшний день одним из наиболее распространенных способов получения неразъемных соединений металлоконструкций является ручная дуговая сварка покрытыми электродами за счет своей конструктивной простоты и универсальности. Однако при применении данного способа сварки велика вероятность порообразования начального участка шва вследствие отсутствия газовой защиты сварочной ванны в период зажигания дуги. Это связано с тем, что в начальный момент сварки, когда происходит зажигание дуги, процесс ее горения протекает неустойчиво, что приводит к большому количеству коротких замыканий (т. е. не удается возбудить дуговой разряд путем однократного касания металла электродом). Следовательно, при кратковременных зажиганиях покрытие не успевает расплавиться. В эти моменты происходит перенос металла без защиты, вследствие чего и возникают стартовые поры.

Устранение пористости наплавленного металла путем последующей заваркой выборок приводит к значительному удорожанию сварочных работ, уменьшению производительности и снижению надежности сварных узлов при эксплуатации. Разработка методов и алгоритмов устранения стартовых пор непосредственно в процессе сварки является актуальной задачей, так как это увеличит качество шва, производительность сварочных работ и надежность конструкции.

В настоящий момент данная проблема мало изучена. В работах [17,22] д-р техн. наук Потапов Н. Н. определил количество газов на участках шва с неустановившимся режимом сварки ответственных за порообразование и предложил ввести в состав покрытия электродов алюминиевый порошок в количестве до 1 %, что снизит содержание азота в наплавленном металле, однако данное решение не нашло применения в производственных масштабах. Также в работе Н. Н. Ворновицкого [14] была определена взаимосвязь величины разрывной длины дуги и склонности швов к стартовому

порообразованию. В своей работе Н. Н. Ворновицкий предположил, что обеспечение легкого зажигания дуги путем повышения величины сварочного тока в начальный момент сварки должно исключить образование стартовых пор, хотя по данному предположению не было проведено исследований, определяющих величину стартового тока.

Целью работы является определение влияния амплитудно-временных параметров модуляции сварочного тока в начальный момент сварки, а также дополнительной защиты межэлектродного промежутка инертным газом и мелкодисперсным электродным покрытием на величину стартовой пористости. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. выполнить наплавку валиков на пластины покрытыми электродами с применением различной модуляции сварочного тока в начальный момент сварки, а также дополнительной защиты межэлектродного промежутка;
2. провести радиационную интроскопию наплавленного металла с целью получения внутреннего изображения шва;
3. выявить зависимость стартового порообразования от величины и длительности модуляции сварочного тока, полярности и дополнительной защиты.

Объектом исследования является ручная дуговая сварка покрытыми электродами, предметом – стартовое порообразование в наплавленном металле.

Научная новизна работы заключается в разработке метода предотвращения образования стартовых пор, а также рекомендациям по модуляции сварочного тока в начальный момент сварки.

1 Обзор литературы

Поры в сварных швах представляют собой полости округлой формы, которые заполненные газом и являются недопустимым дефектом для аппаратуры, работающей под давлением и под вакуумом или предназначенной для транспортировки и хранения газообразных и жидких продуктов [1].

Как правило, при стабильном горении сварочной дуги, вероятность возникновения пор минимальна, если придерживаться общепринятым технологиям при сварке покрытыми электродами, такими как:

- тщательная зачистка свариваемых кромок и околошовной зоны;
- использование качественных и сертифицированных электродов;
- прокалка электродов по рекомендуемым параметрам перед проведением сварочных работ;
- обеспечивать минимально возможную длину дуги во время протекания дугового разряда;
- ограничение воздушных потоков в помещении; если сварочные работы ведутся на открытом воздухе – использовать дополнительную защиту (палатки для сварочных работ).

Однако в начальный момент сварки, когда происходит зажигание дуги, процесс горения дуги неустойчив, что приводит к большому количеству коротких замыканий (процесс переноса электродного металла протекает без газовой защиты), вследствие чего возникает стартовая пористость наплавленного металла.

В данном разделе приведены процесс и причины возникновения пор в наплавленном металле, влияние электродного покрытия на процесс порообразования, а также известные способы предотвращения стартовых пор, которые описаны в научных работах [14,16,17,19].

1.1 Выделение газов из сварочной ванны и образование пор

Растворимость газов в металле уменьшается с понижением температуры и особенно при его кристаллизации (на рисунке 1.1 в качестве примера показана для азота и водорода в железе) и образуется пересыщение металла газом. Пересыщение также может нести местный характер, являясь результатом неравномерного распределения газов, случайных флуктуаций или протекания реакций с выделением газообразных продуктов. Если степень пересыщения достаточно велика, чтобы преодолеть силы, которые препятствуют развитию и зарождению газовых зародышей, в металле образуются газовые пузыри, и если они не успевают удалиться из жидкого металла до его затвердевания, то в шве произойдет образование пористости [2].

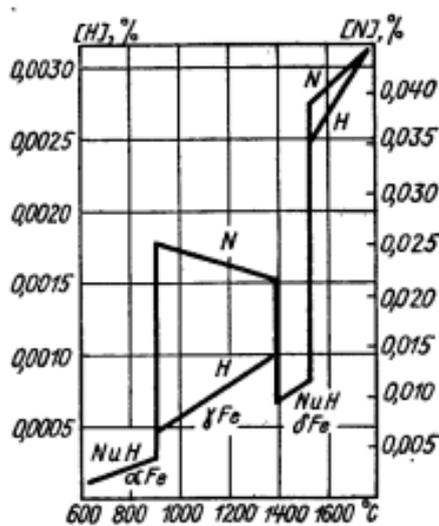


Рисунок 1.1 – Растворимость газов в железе при давлении 1 кгс/см²

Таким образом, меры предупреждения образования пористости в металле шва можно разделить на две группы:

- способствующие уменьшению степени пересыщения металла газом или подавлению реакций, идущих с газовой выделением;
- способствующие полной ликвидации газовых пузырей из сварочной ванны или подавлению их образования.

Чтобы уменьшить пересыщение металла газом, необходимо стремиться к понижению концентрации газа в сварочной зоне, путем устранения возможных источников поступления газа; уменьшить абсорбцию газа металлом за счет уменьшения скорости или времени взаимодействия путем непосредственного регулирования соответствующих технологических параметров (силы тока, скорости сварки и т. п.); увеличить стандартную растворимость газа, легируя металл соответствующими элементами, что, уменьшая разность между равновесной концентрацией и концентрацией пересыщения, должно снизить вероятность выделения газа из расплава (пузырькового кипения). В зависимости от газа, вызывающего пористость, и условий сварки эти задачи могут быть решены различными способами [2].

Исследования показали, что образование пор вызывают азот, водород и отчасти СО, которые образуются в результате реакции окисления углерода $C+O=CO$. При сварке углеродистой стали основная роль порообразования принадлежит водороду; при сварке аустенитной стали и сплавов, в которых растворяется значительно больше водорода, на первый план выступает роль азота [3,4].

Следовательно, чтобы понизить содержание азота, практически единственным источником которого является воздух (за исключением сварки азотосодержащих стали и сплавов), необходимо обеспечить максимально возможную защиту металла от воздуха. Другой путь – легирование ванны нитридообразующими элементами – титаном, хромом и др.

Исключение водорода из зоны сварки реализуется труднее, так как он присутствует в сварочных материалах. Средствами снижения концентрации водорода служат:

- применение сварочных материалов с минимально возможной концентрацией водорода (водородсодержащих веществ);

- тщательная очистка поверхности свариваемого и присадочного металла от окислов, адсорбированной влаги, органических загрязнений и т. п.;
- введение в покрытия и флюсы фтористых соединений, например фтористого кальция (плавикового шпата), способных переводить водород в нерастворимые в металле соединения с фтором.

Существуют и другие металлургические пути борьбы с водородной пористостью. Например, введение в зону сварки окислителей, с тем чтобы согласно реакции $H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$ уменьшить парциальное давление водорода и тем самым абсорбцию водорода металлом.

Однако не всегда получается устранить источники попадания газов в сварочную область или снизить их содержание в атмосфере дуги до безопасного уровня. В данном случае возникает задача управления кинетикой реакции так, чтобы абсорбция газов металлом была минимальна. Очевидно, чтобы уменьшить содержание газов в наплавленном металле, необходимо сократить время взаимодействия и скорость протекания реакции.

Существует и другая группа способов для предупреждения пористости, которая основана на управлении процессом роста пузырьков газа или их ликвидации из ванны [2].

Внешнее (давление столба жидкости и атмосферы) и поверхностное (капиллярное) давление препятствуют зарождению газовых зародышей:

$$\rho = \rho_{ж}h + p_{атм} + \frac{2\sigma}{r}; \quad (1.1)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность расплава, h – глубина расположения зародыша над уровнем расплава, σ – поверхностное натяжение, r – радиус зародыша.

Следовательно, путем повышения внешнего давления при сварке, можно подавить развитие пузырьков газа в расплаве и таким образом сократить или полностью ликвидировать пористость в наплавленном металле. Наряду с образованием и ростом газовых пузырьков в расплаве протекает процесс их

всплытия на периферию сварочной ванны. Степень пористости в конечном счете определяется разностью скоростей протекания этих процессов.

Регулировку процесса удаления газовых пузырьков возможно осуществить следующими способами [3].

1. Интенсификацией процесса газовыделения. Чем интенсивнее происходит выделение газов, тем больше его количество успеет удалиться из металла до начала его кристаллизации. На этом, например, основано добавление в покрытие электродов минералов, которые содержат кристаллизационную воду (слюда, тальк и т.п.), с целью повышения абсорбции водорода и усилению его выделения в высокотемпературной зоне сварочной ванны вдали от фронта кристаллизации, где затруднено удаление пузырьков газа.
2. Увеличением времени существования жидкой фазы сварочной ванны за счет увеличения ее размеров (длины) и замедления скорости сварки.
3. Уменьшение внешних препятствий для удаления газовых пузырьков (твердых поверхностей на пути их всплытия). Схематично это изображено на рисунке 1.2, где увеличение угла скоса у верхней кромки привело к уменьшению пористости за счет более свободного удаления пузырьков газа.

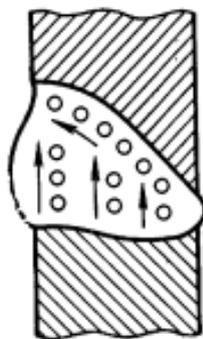


Рисунок 1.2 – Схема всплытия пузырьков газа при горизонтальной сварке

Из описанного выше можно сделать вывод, что влияние параметров режима сварки на процесс порообразования может проявляться по-разному в зависимости от условий выделения и поглощения газов и удаления газовых пузырьков.

1.2 Разновидность обмазок электродов и их влияние на порообразование

К наиболее важным технологическим характеристикам электродов, оказывающим влияние на качество сварных швов, относятся стабильность горения дуги и характер переноса расплавленного металла, эксцентричность покрытия и его конструктивные особенности, а также влажность и газозащитные свойства [5].

К покрытым электродам предъявляется ряд требований, от которых в конечном итоге зависит качество сварных соединений и несущая способность сварной конструкции в целом [6]:

- обеспечение стабильного горения сварочной дуги и хорошее формирование сварного шва;
- получение в наплавленном металле заданного химического состава;
- спокойное расплавление электродного стержня и покрытия при обеспечении минимального разбрызгивания и высокой производительности;
- легкая отделимость шлака от наплавленного металла и достаточная прочность электродного покрытия;
- сохранение физико-химических свойств в течение определенного промежутка времени (гарантийный срок хранения);
- минимальная токсичность при плавлении электрода.

Покрытие электрода служит для повышения устойчивого горения дуги, образования комбинированной газошлаковой защиты, легирования и

рафинирования металла. Используются шесть основных составляющих, из которых состоят электродные покрытия [6]:

- газообразующие компоненты (крахмал, целлюлоза, пищевая и древесная мука, карбонат мрамора, магнезита, фтористый кальций и др.);
- шлакообразующие компоненты (марганцовая руда, титановая руда, полевой шпат, гранит, мрамор и др.);
- раскисляющие составляющие (кремний, марганец, титан, алюминий, т.е. элементы, обладающие большим сродством к кислороду, чем железо);
- легирующие элементы;
- ионизирующие или стабилизирующие компоненты (элементы с низким потенциалом ионизации);
- связующие составляющие (растворы силикатов натрия и калия).

Было установлено, что поры образуются при сварке электродами, которые содержат органические компоненты (крахмал, декстрин) и прокалены при температуре выше 220 °С [8]. Скорее всего, в данном случае происходит частичное разложение компонентов органики, которое приводит к уменьшению защитного действия данных электродов. Кроме того, установлено, что повышенная влажность покрытий электродов в значительной степени влияет на процесс порообразования. Исследования, которые проводились в Институте электросварки АН УССР [9], а также исследования Н.Н. Крюковского [8], показали, что если содержание влаги в покрытии составляет 4-5 %, тогда при сварке данными электродами в наплавленном металле не будут наблюдаться поры. Однако при изготовлении электродов необходимо добиваться наименьшей влажности, так как во время хранения покрытия электродов будут поглощать влагу из воздуха.

Многочисленные испытания покрытых электродов различного состава, проведенные в Институте электросварки АН УССР и ЦНИИТМАШ, показали

максимально положительное влияние фтористого кальция CaF_2 , который добавляют в большинство современных покрытий, на предотвращение образования пористости. Первоначально К.В. Любавский [10] объяснил это явление снижением вязкости расплавленного шлака с соответствующим увеличением газопроницаемости жидкого шлака над кристаллизующейся частью сварочной ванны, что должно, по его мнению, приводить к облегчению удаления из металла окиси углерода.

В то же время И.В. Кирдо и В.В. Подгаецкий [11] считают, что свободный фтор, который образуется в дуге при диссоциации паров фтористого кальция, соединяется с водородом, вследствие чего образуется фтористый водород HF , обладающий высокой устойчивостью при температурах дуги и ничтожно малой растворимостью в железе. С повышением температуры увеличивается связывание фтором водорода. В результате количество свободного водорода уменьшается, и как следствие уменьшается вызываемая им пористость.

Покрyтия, содержащие значительное количество CaF_2 , также обладают рядом отрицательных свойств такими, как загрязнение атмосферы вредными примесями и низкой устойчивостью горения дуги [7]. Для решения задачи по повышению устойчивости дуги было предложено ввести в состав покрытия соединения щелочных и щелочноземельных металлов – натрия, кальция, калия. Однако предложенное решение привело к повышенной склонностью образования пор при сварке данными электродами. Это объясняется тем, что натрий и калий снижает температуру столба дуги, что в свою очередь уменьшает связывание фтором водорода [11,12].

1.3 Взаимосвязь порообразования и параметров дуги

При сварке электродами с основным покрытием поры чаще всего возникают из-за нарушения атмосферной защиты расплавленного металла. Это происходит при случайных удлинениях дуги, а также в начальный момент сварки, когда электрод только начинает плавиться и газовая защита,

обеспечиваемая покрытием, еще отсутствует. Низкая стабильность горения дуги и прилипание электрода к изделию, требует повторного возбуждения дуги, следовательно, увеличивает количество стартов, что может приводить к пористости шва [14].

В работе академика АН УССР Походни И.К. [5] представлены результаты экспериментального определения взаимосвязи между напряжением дуги (длиной дуги), переносом и пористостью металла шва, что поможет определить пороговое значение длины дуги, при котором будет отсутствовать пористость.

Известна методика оценки склонности к образованию пор в металле шва при сварке удлиненной дугой и определения при этом некоторого порогового значения $U_{д.п}$ напряжении на дуге, при котором возникают поры. При этом цифровым вольтметром фиксируется действующее значение напряжения [4].

Действующее значение напряжения дуги $U_{д.ср}$ при удлинении её до появления пор изменяется на 2-3 В. Это обусловлено тем, что при удлинении дуги происходит рост капель электродного металла, периодически сокращающих длину дуги и уменьшающих мгновенные значения напряжения на дуге (рисунок 1.3).

Вместе с тем на осциллограмме наблюдаются высокие значения $U_{д.мах}$ напряжения после перехода капель, которые как раз и характеризуют истинное удлинение дуги. Поэтому в работе [5] при определении порогового значения напряжения дуги на осциллограммах измерялось среднее напряжение $U_{у.ср}$ в области этих максимальных значений (рисунок 1.4), а не действующее значение напряжения дуги.

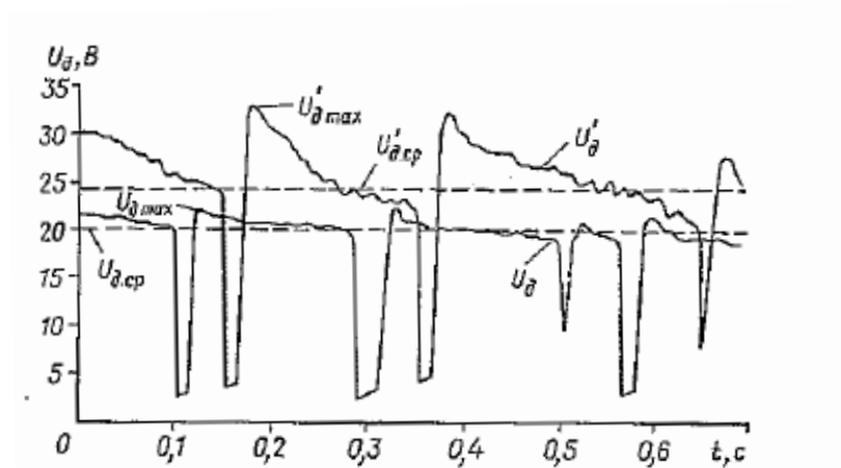


Рисунок 1.3 – Характер изменения напряжения на дуге постоянного тока при сварке короткой (U_d) и удлиненной (U'_d)

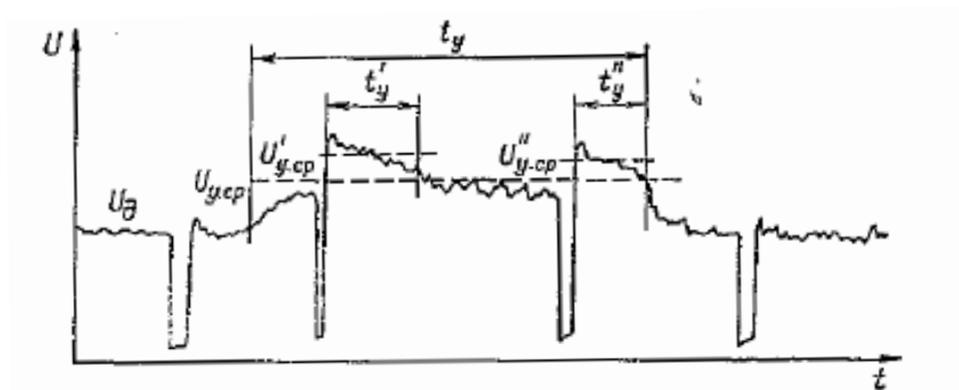


Рисунок 1.4 – Измерение напряжения и времени удлинения дуги: t_y – полное время удлинения дуги; t'_y, t''_y – длительность последующих периодов с максимальным напряжением дуги; $U_{y,cp}, U'_{y,cp}, U''_{y,cp}$ – среднее значения напряжения дуги в отрезках времени t_y, t'_y, t''_y

При анализе получаемых результатов в работе [5] использовали также величину относительного удлинения дуги до появления пор в сварном шве, вычисляемую по формуле:

$$\delta_u = \frac{\Delta U}{U_{\Pi}} \cdot 100\%; \quad (1.2)$$

где $\Delta U = U_{d,\Pi} - U_{d,н}$;

$U_{д.п}$ – пороговое напряжение на дуге;

$U_{д.н}$ – номинальное напряжение на дуге.

Такой подход позволяет учитывать различие в напряженности электрического поля в столбе дуги для разных электродов и позволяет сопоставлять между собой полученные данные. Кроме того, при этом обеспечивается более высокая точность измерений, так как уменьшается систематическая составляющая погрешности определения напряжения дуги.

Результаты измерений представлены на рисунке 1.5. На оси абсцисс отмечена длительность t_y превышения напряжения U_d выше определенного уровня, а на оси ординат - соответствующее значение напряжения удлиненной дугой.

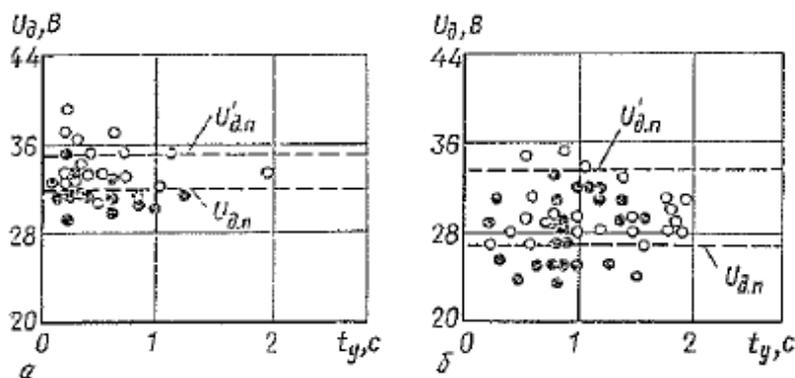


Рисунок 1.5 – Оценка склонности к образованию пор при удлинении дуги: а – электроды АНО-9; б – электроды В-5; ● – пор нет; ○ – поры есть

Из рисунка следует, что при увеличении напряжения дуги, вызванном её удлинением, до порогового значения $U_{д.п}$ пор нет. Затем идёт зона равновероятного отсутствия и зарождения пор, которая переходит в область ($> U'_{д.п}$), где поры образуются всегда. Наличие такой широкой переходной зоны объясняется тем, что вероятность зарождения поры зависит не только от удлинения дуги, но и от протекания других процессов (роста капель на торце электрода, направления потока газов и т. п.).

Важно отметить, что кратковременное удлинение дуги (менее 150...300 мс) не приводит к образованию пор во всех случаях - независимо от степени удлинения дуги и марки электрода.

Данные таблицы 1.1 показывают, что практически все исследованные электроды позволяют удлинять дугу до достижения 25 % номинального напряжения. В некоторых случаях дугу удаётся удлинить до 40...50 % (электроды АНО-9). Сопоставление величины δ_u (относительного удлинения дуги) с длительностью коротких замыканий, определённой с помощью информационно-измерительной системы «Анализатор нестационарных процессов» (АНП) [15] и, как известно, характеризующей размеры переходящих капель [16], показывает, что между этими показателями существует корреляция (рисунок 1.6): с увеличением длительности коротких замыканий относительное удлинение дуги уменьшается и наоборот.

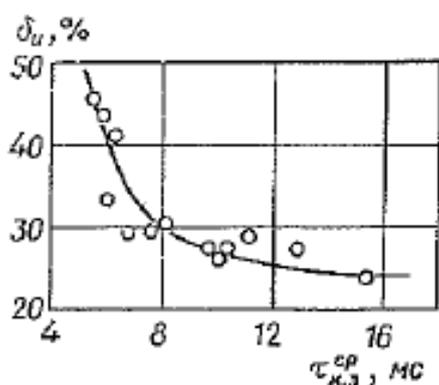


Рисунок 1.6 – Взаимосвязь показателей δ_u с длительностью $\tau_{к.з}^{cp}$

Таблица 1.1 – Влияние длительности коротких замыканий на степень удлинения дуги при сварке (средние данные 5 экспериментов) [5]

Марка электрода	$U_{д.н}, \text{В}$	$U_{д.н}, \text{В}$	$\delta_u, \%$	$\tau_{к.з}^{cp}, \text{мс}$
АНО-9	22	32	45,5	5,5
ДЗ	23	33	43,5	5,8
АНО-Д	24	32	33,5	6,0
ОК-53.35	22	31	40,9	6,2

Продолжение таблицы 1.1

ЦУ-7	24	31	29,2	6,7
УОНИ-13/45	24	31	29,2	7,5
ТМУ-21	23	30	30,4	8,1
Д2	22	28	27,3	9,8
АНО-7	23	29	26,1	10,1
СМ-11	22	28	27,3	10,4
В-5	21	27	28,6	11,1
Е-48.83	22	28	27,3	12,9
Д1	21	26	23,8	15,4

Следовательно, при применении электродов, обеспечивающих крупнокапельный перенос металла, исключается существенное удлинение дуги. Однако характер переноса является хотя и одной из наиболее важных, но не единственной причиной этого явления, так как он, в свою очередь, зависит от состава покрытия [16]. В то же время, с изменением состава покрытия меняется и эффективность газовой защиты электродного металла, что также может оказать заметное влияние на порообразование.

Как показали многочисленные исследования, характер переноса электродного металла при сварке электродами с основным покрытием определяется, в основном, соотношением «мрамор – плавиковый шпат». Чем больше содержание мрамора, тем меньше размер переходящих капель и тем меньше длительность коротких замыканий [16]. При этом электроды с большим содержанием мрамора обеспечивают лучшую газовую защиту за счёт образования большого количества CO_2 .

Анализ осциллограмм напряжения дуги, соответствующих начальным участкам швов, показывает, что в зависимости от марки электрода оптимальный режим сварки устанавливается в течение 3...5 с. В этот период первые электродные капли переходят очень медленно, длительность коротких

замыканий в отдельных случаях достигает 100...150 мс, что может привести к примерзанию электрода. При этом установлено, что чем больше средняя величина переходящих электродных капель при установившемся процессе сварки, тем они крупнее и при зажигании дуги [5].

Следует отметить и то, что электроды, для которых характерен более мелкокапельный перенос металла, быстрее выходят на оптимальный режим плавления – примерно за 1,5 с (рисунок 1.7, а). У электродов с крупнокапельным переносом этот период затягивается до 5 с (рисунок 1.7, б). Все это время сварщик должен удлинять дугу, чтобы избежать примерзания электрода, что, в свою очередь, увеличивает вероятность возникновения пор.

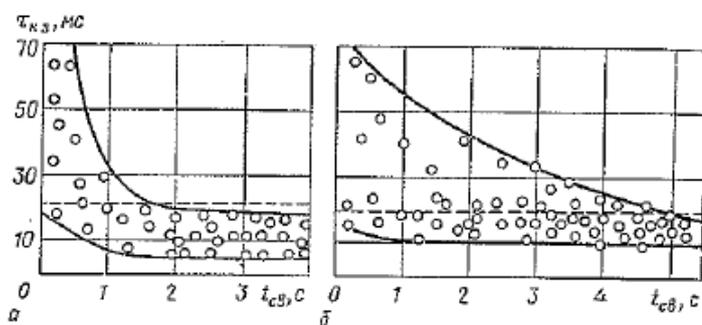


Рисунок 1.7 – Статические данные об изменении длительности $\tau_{к.з}$ во времени в начальный период сварки: а – электроды УОНИ-13/55; б – электроды СМ-11

1.4 Влияние газов на процесс порообразования на участках металла шва с неустановившимся режимом

При сварке ответственных конструкций из углеродистых и низкоуглеродистых сталей в основном применяют электроды с фтористо-кальциевым покрытием, которые обеспечивают высокие механические свойства наплавленного металла. К недостаткам данных электродов можно отнести повышенную склонность металла шва к порообразованию. Этот недостаток в особенности проявляется на участках металла шва с неустановившимся режимом (начальный и конечный) [17].

Газовый анализ наплавленного металла [18] показал, что азот является основной причиной порообразования наплавленного металла при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием. Результатом работы [18] являлась разработка электродов ЦУ-5 и ЦЛ-39, предназначенных для сварки труб котлов с небольшой толщиной стенки. Данные электроды обеспечивают необходимую сплошность металла швов, но склонны к порообразованию в начальный момент сварки.

Стартовое порообразование является сложным процессом [19] и на данный момент малоизученна. С одной стороны образование стартовых пор может быть связано с доминирующим влиянием кислорода или азота воздуха, с другой – водорода, также не исключено совместное влияние трех элементов одновременно. В работе [19] утверждается, что ответственными за образование пор являются азот и кислород, в то время когда роль водорода учитывается только при использовании электродов с повышенной влажностью покрытия.

Для выявления характера распределения газов в наплавленном металле на участках шва с неустановившемся режимом в работе [17] выполняли наплавку валиков на пластины из стали ВСтЗсп электродами ЦУ-5 диаметром 2,5 мм ($I_{св} = 75$ А, $U_{д} = 22$ В). Для проведения газового анализа методом вакуум-плавки вырезали образцы наплавленного металла через каждые 10 мм. Результаты анализа представлены в таблице 1.2 и на рисунке 1.8.

Таблица 1.2 – Содержание газов в наплавленном металле

Участок шва	[O], %	[N], %	[H] _{ост} , см ³ /100 г
Начальный	0,080	0,034	3,5
1	0,046	0,020	2,0
2	0,045	0,020	2,1
3	0,047	0,020	2,4
4	0,044	0,020	2,8
Конечный	0,078	0,017	6,9

Из полученных в работе [17] данных можно сделать вывод, что содержание газов в наплавленном металле распределено неравномерно: максимум приходится на начальный и конечный участки шва, где отсутствует стабильно горение дуги (неустановившийся режим). Также из результатов газового анализа видно, что ответственными за образование стартовых пор являются все газы (водород, кислород и азот), но в частности более значимыми являются водород и азот, у кислорода наиболее меньшее значение по сравнению с конечным участком.

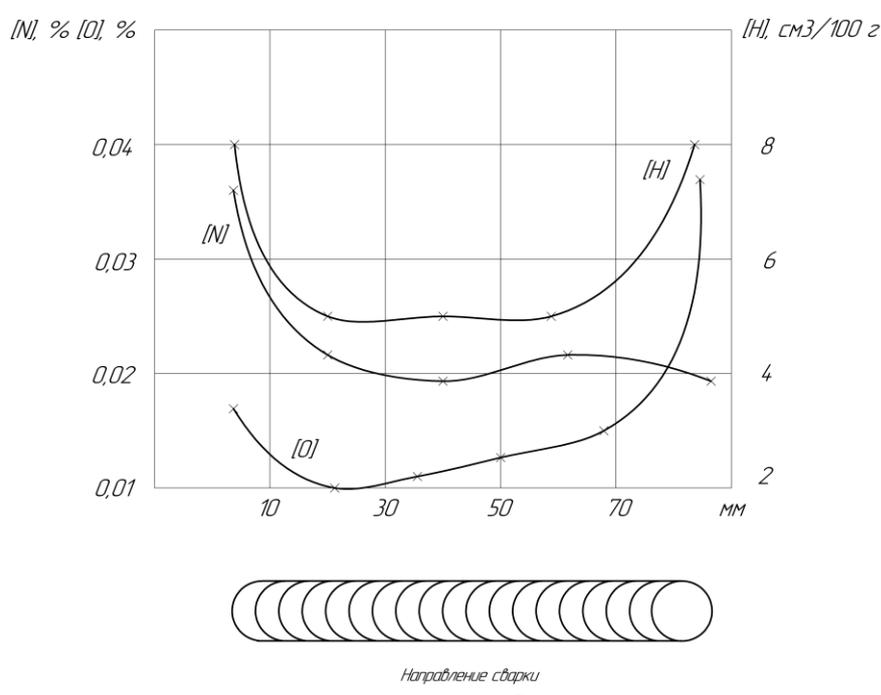


Рисунок 1.8 – Распределение содержания кислорода, азота и водорода по длине сварного шва

Предотвращением повышенного уровня газов в наплавленном металле на участках с неустановившимся режимом при ручной дуговой сварки покрытыми электродами является повышение стабильности газовой защиты, которая определяется составом покрытия (количеством карбонатов) и коэффициентом массы покрытия [20].

Для снижения количества стартовых пор необходимо сократить продолжительность неустановившегося разряда за счет улучшения эмиссионных свойств покрытия [21].

Механизм воздействия веществ-ионизаторов на дугу сводится к снижению работы выхода электронов из катода и усилению обменной ионизации дугового разряда (газа). Наименьшим потенциалом ионизации, как известно, обладают щелочные и щелочноземельные металлы. Так, энергия сродства атомов (кДж/моль) к электрону следующая: 29 (K); 33 (Na); 38 (Cs); 48 (Al); 56 (Fe); 72,76 (H); 134 (Si); 141,5 (O); 186 (Ca); 332,7 (Fe); 348,7 (Cl).

Следовательно, чтобы улучшить эмиссионные свойства электродов, необходимо применять калиевое стекло вместо натриевого, однако технологически изготавливать такие электроды наиболее затруднительно. Также известно о введении в покрытие электродов поташа (K_2CO_3) или соды (Na_2CO_3) в качестве пластификаторов электродной массы, однако это может привести к нежелательному насыщению наплавленного металла водородом и кислородом [20].

Для повышения эмиссионных свойств электродов, что в свою очередь приведет к снижению стартовой пористости, Потапов Н.Н. в своей работе [21] предлагает ввести в состав покрытия алюминий, который имеет низкий потенциал ионизации (48 кДж/моль) и температуру плавления ($660\text{ }^\circ\text{C}$), а также большее сродство к кислороду. При взаимодействии алюминия с жидким стеклом, в результате теплового эффекта реакции окисления алюминия, в зону сварки будут дополнительно поступать пары Na_2O и K_2O , что в свою очередь должно способствовать повышению эмиссионных свойств покрытия электродов.

Для того чтобы подтвердить данное предположение, были изготовлены экспериментальные электроды ЦУ-5, в покрытие которых вводили различное количество алюминия, обратно пропорционально исключали из состава плавиковый шпат CaF_2 , остальные компоненты оставляли без изменения (таблица 1.3) [21].

Таблица 1.3 – Содержание компонентов в покрытии электродов, %

Компонент покрытия электродов	ЦУ-А1	ЦУ-А2	ЦУ-А3	ЦУ-А4
Мрамор	52,0	52,0	52,0	52,0
Фторид кальция	25,5	25,0	24,5	24,0
Ферротитан	13,0	13,0	13,0	13,0
Ферросилиций	4,0	4,0	4,0	4,0
Ферромарганец	4,0	4,0	4,0	4,0
Алюминиевый порошок	0,5	1,0	1,5	2,0
КМЦ	1,0	1,0	1,0	1,0

Введение алюминия в покрытие электродов ЦУ-5 даже в незначительном количестве приводит к снижению величины минимально возможного сварочного тока, при котором возможно стабильное горение дуги. Однако введение алюминия свыше 1 % приводит к зашлаковке торца электрода, что отрицательно сказывается на повторном возбуждении дуги.

Результаты газового анализа наплавленного металла в установившемся режиме экспериментальными электродами приведены на рисунке 1.9 [21]. По графику видно, что при введении алюминиевого порошка в покрытие электродов ЦУ-5 увеличивается содержание кислорода, но количество азота уменьшается.

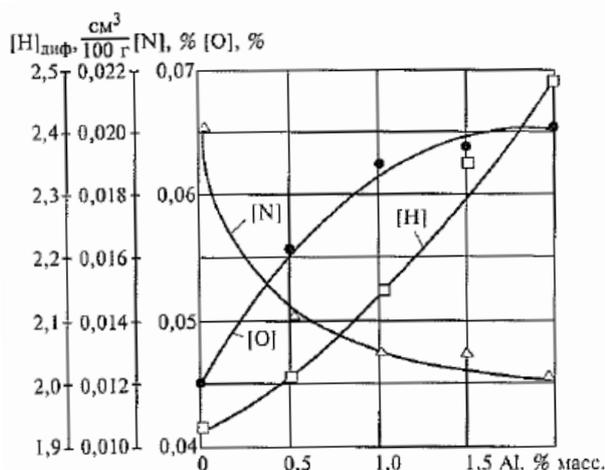


Рисунок 1.9 – Зависимость количества алюминия в покрытии электрода от содержания газов в наплавленном металле

На основании результатов газового анализа наплавленного металла в работе [21] было сделано предположение о том, что содержание кислорода увеличивается за счет взаимодействия жидкого стекла покрытия с вводимым алюминием. Механизм этого явления заключается в следующем: во время сварки при плавлении покрытия электрода алюминий, имеющий низкую температуру плавления и большее сродство к кислороду, вступает в реакцию с жидким стеклом. Это подтверждается повышенным содержанием кремния в наплавленном металле (рисунок 1.10). Поскольку жидкое стекло имеет в своем составе воду, то при прокатке до 400 °С часть воды испаряется, но другая часть прочно удерживается в покрытии, и ее полное удаление происходит только при температуре 700 °С [22].

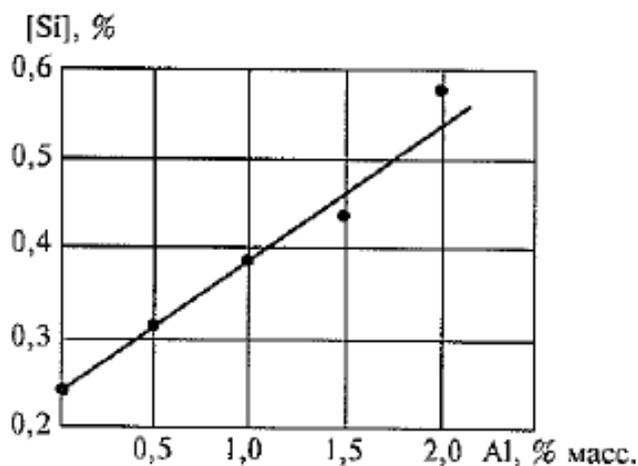


Рисунок 1.10 – Зависимость содержания кремния в наплавленном металле от количества алюминия в составе покрытия электрода

В результате взаимодействия алюминия с жидким стеклом происходит образование радикала OH^- , превосходящего по окислительной способности свободный кислород [23]. Наличие данного радикала на границе растущей капли приводит к насыщению ее кислородом. В дальнейшем при переходе данной капли через дуговой промежуток, находящийся в ней кислород, замедляет процесс поглощения азота.

На основании работ [17,21], выполненных доктором технических наук Потаповым Н.Н., можно сделать вывод, что ответственными за образование пор

в начальный момент сварки являются азот, кислород и водород. Для предотвращения стартового порообразования введение в состав покрытия электродов алюминиевого порошка способствует, с одной стороны, увеличению содержания кислорода в наплавленном металле, с другой – понижению содержания азота, преимущественно ответственного за образование пор в зоне неустановившегося режима.

2 Объект и методы исследования

В начальный момент сварки, когда происходит зажигание дуги, процесс ее горения протекает неустойчиво, что приводит к большому количеству коротких замыканий (т. е. не удается возбудить дуговой разряд путем однократного касания металла электродом). Можно предположить, что при кратковременных зажиганиях покрытие не успевает расплавиться. В эти моменты происходит перенос металла без защиты, вследствие чего и возникают стартовые поры. Следовательно, улучшение условий зажигания дуги или обеспечение качественной начальной газовой защиты переноса металла должно сократить образование стартовой пористости.

Для предотвращения образования стартовых пор было предложено два пути решения: применение горячего старта (прием повышения плотности тока при начальном зажигании дуги путем повышения величины сварочного тока) и обеспечение дополнительной защиты межэлектродного промежутка в начальный период сварки до стабилизации переноса электродного металла путем обдува защитным газом аргоном и применением мелкодисперсного электродного покрытия в зоне зажигания дуги.

Так как при сварке ответственных конструкций из углеродистых и низкоуглеродистых сталей в основном применяют электроды с фтористо-кальциевым покрытием и в работе [17] изложены результаты газового анализа наплавленного металла данными электродами, что подтверждает необходимость исследования предотвращения стартовых пор, в данной работе будем производить наплавку электродами марки LB-52U. Они относятся к типу электродов с основным покрытием и низководородной группе, обеспечивают оптимальную ударную вязкость, стабильную электрическую дугу в установившемся режиме, высокую стойкость к растрескиванию покрытия [6]. Основные характеристики сварочных электродов марки LB-52U диаметром 3,2 мм приведены в таблицах 2.1 – 2.3.

Таблица 2.1 – Химический состав металла сварного соединения в % [6]

Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
98,3	0,06	0,51	1,02	0,011	0,006	0,01	0,02	0,01

Таблица 2.2 – Свойства при растяжении металла сварного шва [6]

$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
446	540	34	77

Таблица 2.3 – Ударная вязкость по Шарпи металла сварного шва [6]

Потребляемая энергия (Дж/см ²)							
-40 °С	Средняя	-29 °С	Средняя	-20 °С	Средняя	0 °С	Средняя
119	107	113	124	175	159	190	204
128		128		162		195	
73		131		140		229	

В качестве источника питания был выбран сварочный выпрямитель инверторного типа Invertec V350-PRO фирмы производителя Lincoln Electric, так как в нем имеется регулятор «Hot start» («Горячий старт»), который позволяет регулировать стартовый ток в момент зажигания дуги. Технические характеристики инвертора приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики сварочного выпрямителя инверторного типа Invertec V350-PRO [24]

Модель	Invertec V350-PRO
Номер по каталогу	K1728-1 Универсальная модель
Напряжение питающей сети	220/380 В
Частота тока в сети	50/60 Гц
Потребляемая мощность	15 кВт

Продолжение таблицы 2.4

Диапазон регулировки сварочного тока	5 – 425 А
Вес (с сетевым кабелем)	37,4 кг
Габаритные размеры (высота × ширина × длина)	373×318×706 мм



Рисунок 2.1 – Общий вид сварочного выпрямителя инверторного типа Invertec V350-PRO

При определении влияния амплитудно-временных параметров горячего старта и защиты межэлектродного промежутка защитным газом и мелкодисперсным покрытием на порообразование в зоне неустановившегося режима выполняли наплавку покрытыми электродами LB-52U диаметром 3,2 мм на стальные образцы марки 17ГС, которые относятся к классу конструкционной низколегированной стали (размеры образцов 3×100×40 мм). Основные характеристики стали марки 17ГС приведены в таблицах 2.5 – 2.8.

Таблица 2.5 – Температура критических точек стали 17ГС, °С [25]

Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	Mn
745	870	790	680	380

Таблица 2.6 – Химический состав стали 17ГС, % [25]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	As	N
				не более						
96,7- 97,4	0,14- 0,20	0,4- 0,6	1,0- 1,4	0,30	0,30	0,30	0,035	0,040	0,08	0,008

Таблица 2.7 – Механические свойства стали 17ГС [25]

ГОСТ	Состояние поставки	Толщина, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	$\delta_B, \%$	КСУ, Дж/см ²
			МПа			
			не менее			
17066-80	Листы холоднокатаные	2-3,9	-	510	19	-

Таблица 2.8 – Ударная вязкость при -40 °С стали 17ГС [25]

Состояние поставки	Толщина листа, мм	КСУ не менее, Дж/см ²
Листы и полосы (образцы поперечные)	от 2 до 10	44

2.1 Регулировка параметров горячего старта

Как известно, стабильность горения дуги и характер переноса электродного металла можно с большой достоверностью оценить по электрическим параметрам дуги [5]. В этой связи представляет интерес установить качественную и количественную взаимосвязь между изменением этих параметров дуги и образованием пор в сварном шве, что позволит

разработать методы для прогнозирования образования стартовых пор в сварном шве и своевременно устранять их причины.

Улучшение условий зажигания дуги можно достигнуть путем увеличения сварочного тока в начальный момент сварки. Для определения оптимального значения величины стартового сварочного тока, необходимо провести исследование влияния величины и полярности тока на образование пор в сварном шве во время неустановившегося режима.

Наплавку валиков на стальные образцы выполняли в нижнем положении. Параметры режима приведены в таблице 2.9. На каждый образец производили наплавку трех валиков (для предотвращения термического влияния на наплавленный металл после каждой наплавки образцы остывали до комнатной температуры), для того чтобы исключить вероятность возмущающегося воздействия на чистоту эксперимента. Регистрацию длительности и величины стартового тока осуществляли с помощью цифрового запоминающего осциллографа марки АК4П-4122/1V.

Таблица 2.9 – Параметры проведения исследования

№ образца	Полярность	$I_{\text{ном}}$ Предварительно установленная величина сварочного тока, А	$I_{\text{гс}}$ Величина стартового тока, А	$\tau_{\text{гс}}$ Длительность стартового тока, с
1	Обратная	75	75	-
2	Прямая	75	75	-
3	Обратная	75	112	1
4	Прямая	75	112	1
5	Обратная	75	150	1,6
6	Прямая	75	150	1,6

Перед наплавкой необходимо было провести прокалку электродов при температуре 300 – 350 °С в течение 30 – 60 минут, чтобы уменьшить вероятность нахождения влаги в покрытии электрода. Также стальные образцы были тщательно зачищены и обезжирены этиловым спиртом.

2.2 Дополнительная защита межэлектродного промежутка

Как известно, основной причиной образования стартовых пор является отсутствие газовой защиты при возбуждении дуги. Использование горячего старта позволяет стабилизировать перенос металла за более короткий промежуток времени, вследствие чего время установления оптимальной газовой защиты также сократится, которое измеряется от момента касания торцом электрода изделия и возбуждения дуги до образования втулки из покрытия.

Однако использование горячего старта имеет ряд недостатков, такие как: при сварке тонкостенных деталей может образоваться прожог основного металла; в момент касания торцом электрода изделия и возбуждения дуги газовая защита отсутствует, так как этот процесс только сокращает время образования защиты; данная функция предусмотрена не на всех источниках питания.

В связи с этим было предложено два технологических решения защиты зоны неустановившегося режима сварки: обдув защитным инертным газом без применения горячего старта и применение мелкодисперсного сварочного покрытия в зоне зажигания дуги.

Для применения обдува защитным газом перед возбуждением дуги в место касания торцом электрода изделия через шланг подавали инертный газ аргон высшего сорта с чистотой не менее 99,993% [27] до момента стабилизации дугового разряда (расход газа 10 л/мин). Это должно обеспечить полную защиту начальной зоны сварки от взаимодействия с атмосферой, что в свою очередь предотвратит образование стартовой пористости.

Наплавку осуществляли постоянным сварочным током обратной полярности в нижнем положении. Схема наплавки представлена на рисунке 2.2. На расстоянии 30 мм от основного металла (1) в место контакта электродного стержня (3) подавали инертный газ аргон (6), который в свою очередь обеспечивал высокую надежность зажигания дуги и устойчивость дугового разряда. Шланг (5), через который поступал защитный газ, передвигался вместе с электродом (2), подача газа прекращалась в момент, когда сварочная дуга стабилизировалась и защита дугового разряда обеспечивалась плавлением электродного покрытия (4).

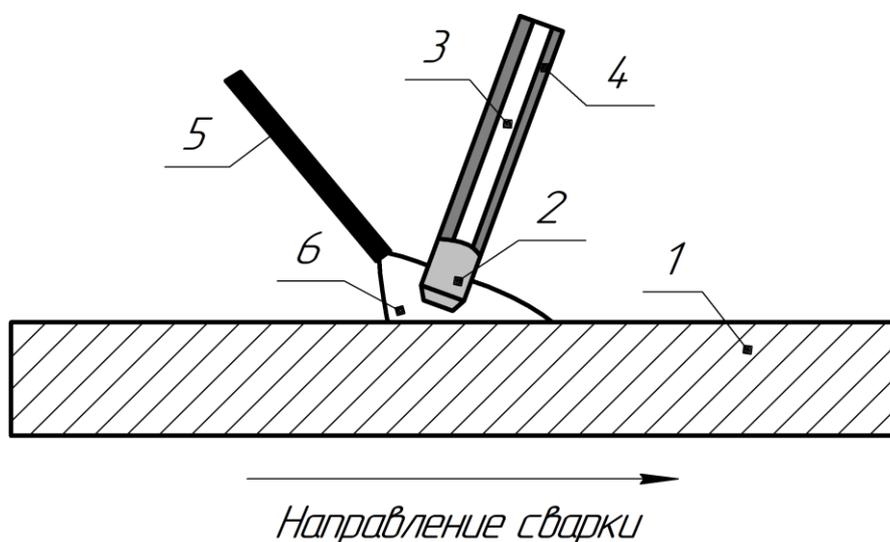


Рисунок 2.2 – Схема наплавки с применением дополнительной газовой защиты

Второе технологическое решение связано с тем, что при плавлении электродного покрытия происходит сгорание веществ, окисление ферросплавов и диссоциация карбонатов и окислов, в связи с этим дуговой промежуток обеспечен защитой от влияния атмосферы и газов ответственных за образование пор (водород, азот и окись углерода). Однако конструкция современных сварочных электродов не обеспечивает плавление покрытия в момент зажигания дуги, что приводит к стартовой пористости. Нанесение мелкодисперсного сварочного покрытия в зону зажигания дуги должно предотвратить порообразование в данной области.

Наплавку осуществляли постоянным сварочным током обратной полярности в нижнем положении. Схема наплавки представлена на рисунке 2.3. На основной металл (1) в место контакта электродного стержня (3) нанесли мелкодисперсное покрытие электрода LB-52U (5), которое обеспечит газовую защиту за счет диссоциации карбонатов при высокой температуре дуги с образованием углекислого газа.

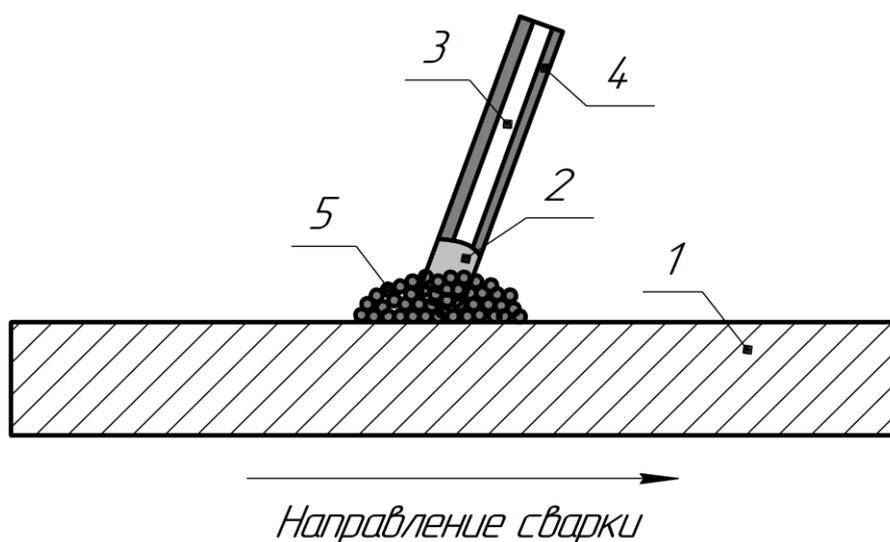


Рисунок 2.3 – Схема наплавки с применением дополнительной защиты мелкодисперсным электродным покрытием

Для определения наличия пор в наплавленном металле был проведен неразрушающий контроль (радиационный) в образцах и измерена величина начального пористого участка наплавленного металла, которую сравнили с наплавленным металлом остальных образцов и выявили закономерность влияния величины сварочного тока и дополнительной защиты на наличие и масштаб стартовой пористости.

3 Результаты проведенных исследований

Для разработки мероприятий по предотвращению стартовой пористости наплавленного металла был выполнен ряд исследований по наплавке покрытыми электродами на стальные образцы. В общей сложности было выполнено двадцать четыре наплавленных швов на восьми образцах, из которых шесть образцов использовались для определения влияния величины стартового тока и его полярности, а два – для влияния дополнительной защиты дугового разряда путем обдува инертным газом и нанесением мелкодисперсного электродного покрытия.

При визуально-измерительном контроле было обнаружено, что если величина стартового тока равна номинальному (75 А), то в наплавленном металле на начальном участке присутствуют поверхностные поры. Данная закономерность наблюдается как при использовании обратной полярности (ОП) (рисунок 3.1), так и при прямой (ПП) (рисунок 3.2). Однако при применении функции «Hot start» начиная со 112 А поверхностные поры не наблюдаются в обоих случаях, также дополнительная защита зоны неустановившегося режима сварки полностью устраняет поверхностные поры при заданном значении сварочного тока (рисунок 3.3).



Рисунок 3.1 – Образцы с наплавленным металлом ($I_{Гс} = 75; 112; 150$ А, полярность тока – обратная)



Рисунок 3.2 – Образцы с наплавленным металлом
($I_{ГС} = 75; 112; 150$ А, полярность тока – прямая)



Рисунок 3.3 – Образец с наплавленным металлом в среде аргона
($I_{ГС} = I_{НОМ}$, полярность тока – обратная)

Для определения внутренней структуры наплавленного металла была выполнена радиационная интроскопия, с помощью которой было получено изображение внутреннего состояния металла шва. Просвечивание образцов ионизирующим излучением проводили с помощью системы рентгеновского контроля MICROMEX-180 (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Система рентгеновского контроля MICROMEX-180

Система MICROMEX-180 предназначена для проведения неразрушающего рентгеновского контроля с высоким разрешением в реальном времени, а также для автоматизированной рентгеновской инспекции. Прецизионный манипулятор, 180 кВ рентгеновская трубка, термостабилизированный детектор позволяют использовать данные установки для широчайшего спектра 2D и 3D инспекционных задач: проведение НИОКР, анализ дефектов, контроль качества. Данная система также оснащена функцией компьютерной томографии. Программное обеспечение позволяет добиться 100 % обнаружения дефектов. Использование высококонтрастного цифрового детектора DXR250RT (30 кадров в секунду) с активным охлаждением дает возможность получать 2D рентгеновские снимки высочайшего качества.

Результаты радиационной интроскопии образцов приведены на рисунках 3.5 – 3.12 (для каждого образца в работе приведен один снимок внутреннего изображения начального участка наплавленного металла).

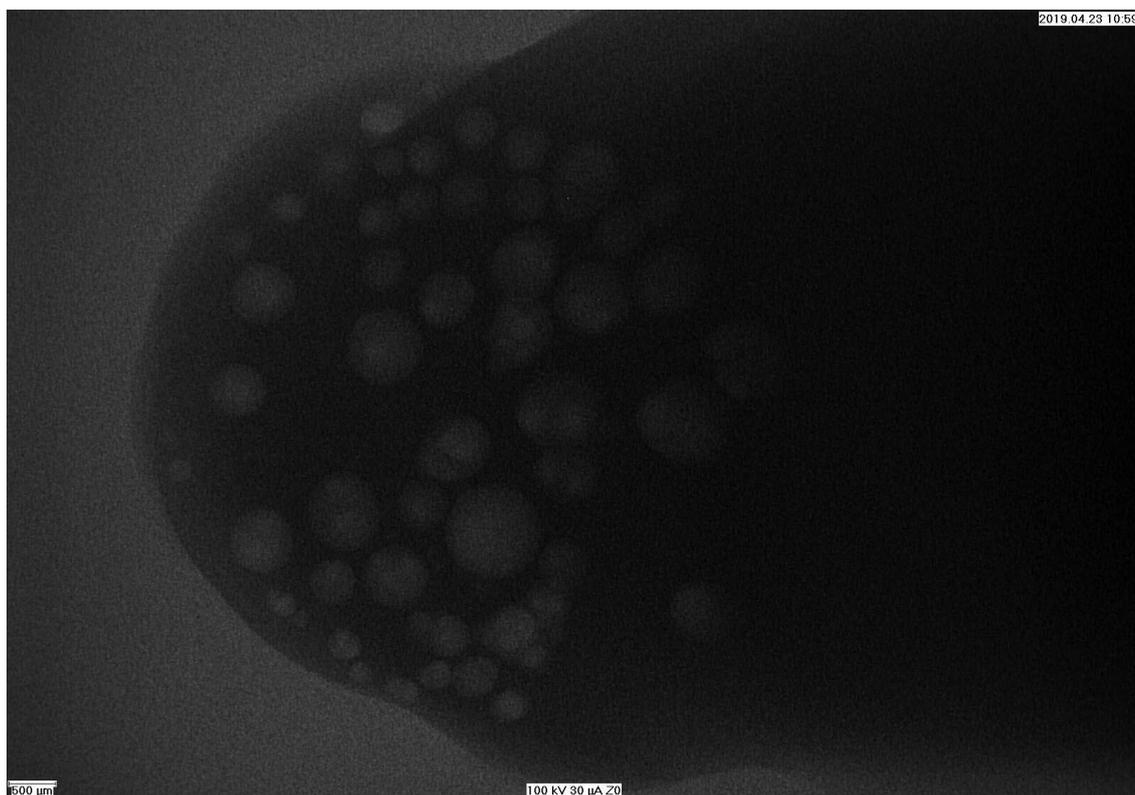


Рисунок 3.5 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ОП, $I_{гс} = I_{ном}$)

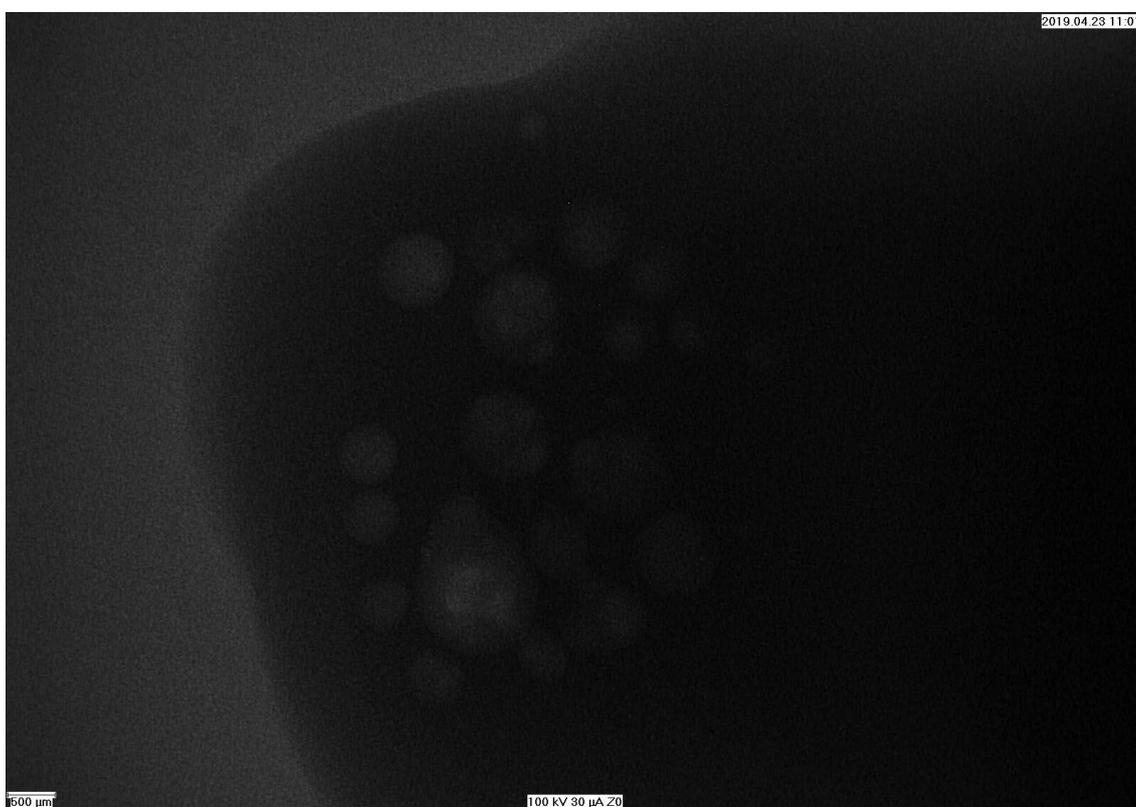


Рисунок 3.6 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ОП, $I_{гс} = 112 \text{ A}$)

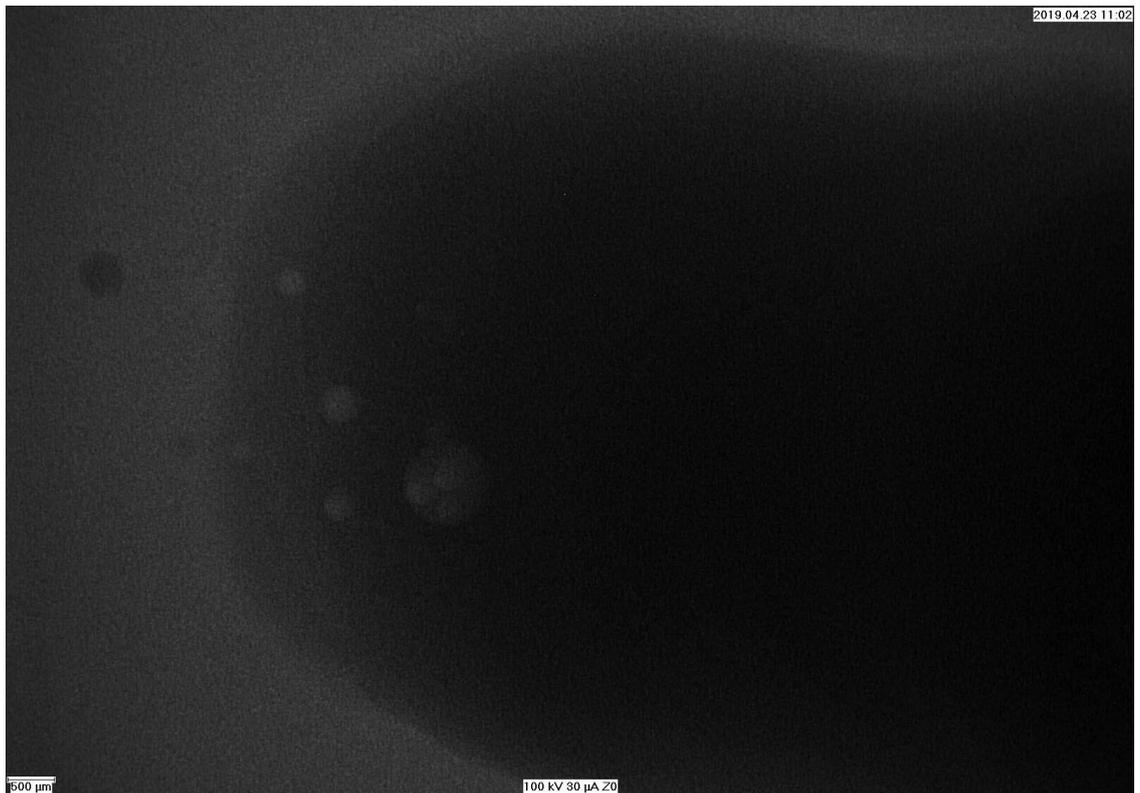


Рисунок 3.7 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ОП, $I_{гс} = 150 \text{ A}$)

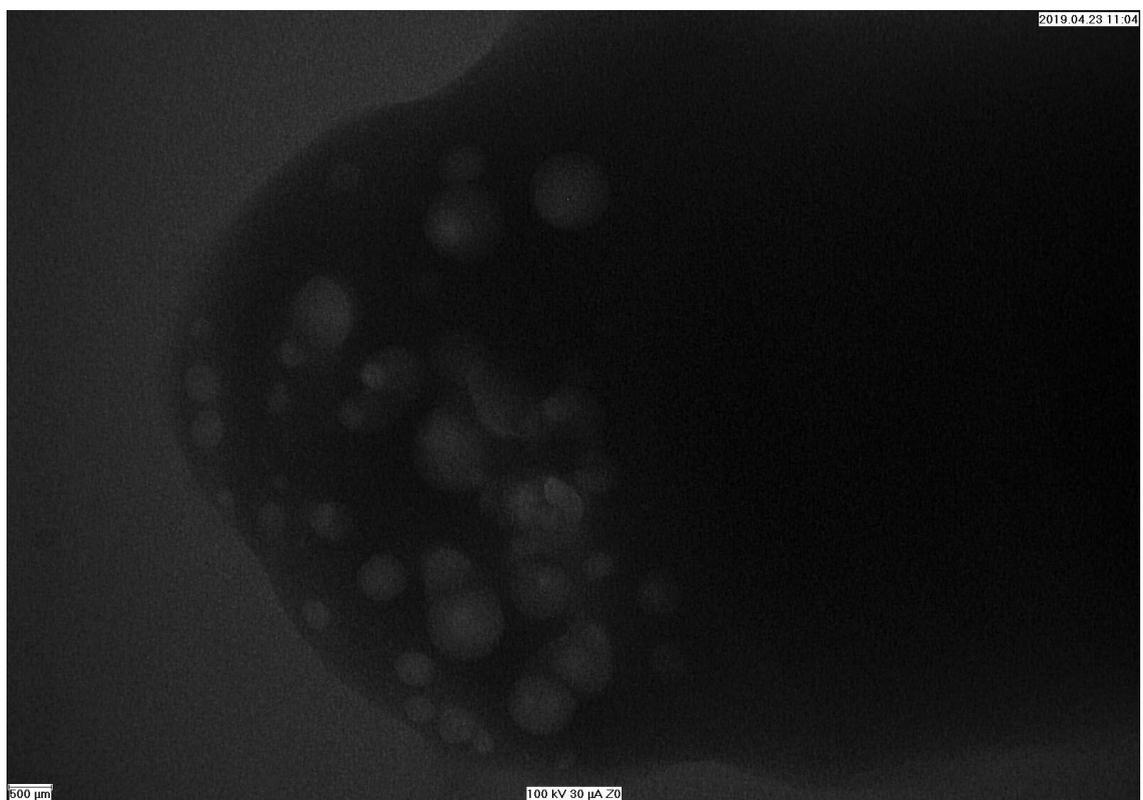


Рисунок 3.8 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ПП, $I_{гс} = I_{ном}$)

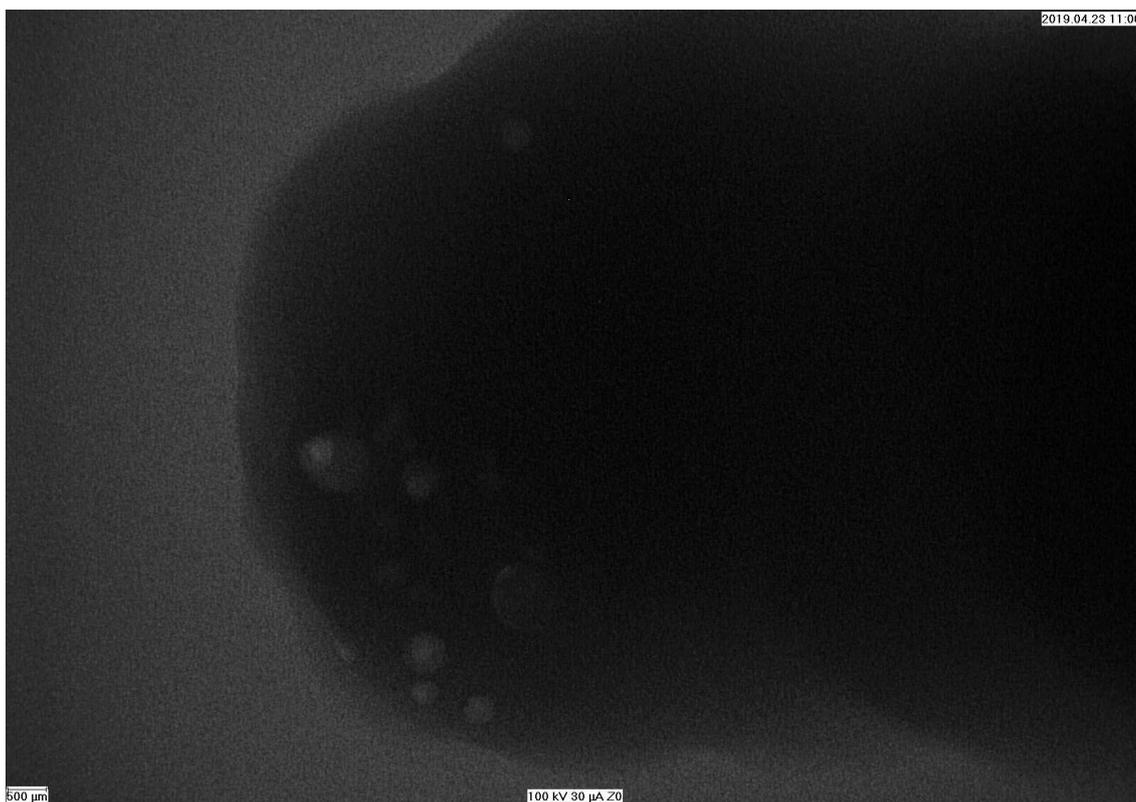


Рисунок 3.9 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ПП, $I_{ГС} = 112 \text{ A}$)

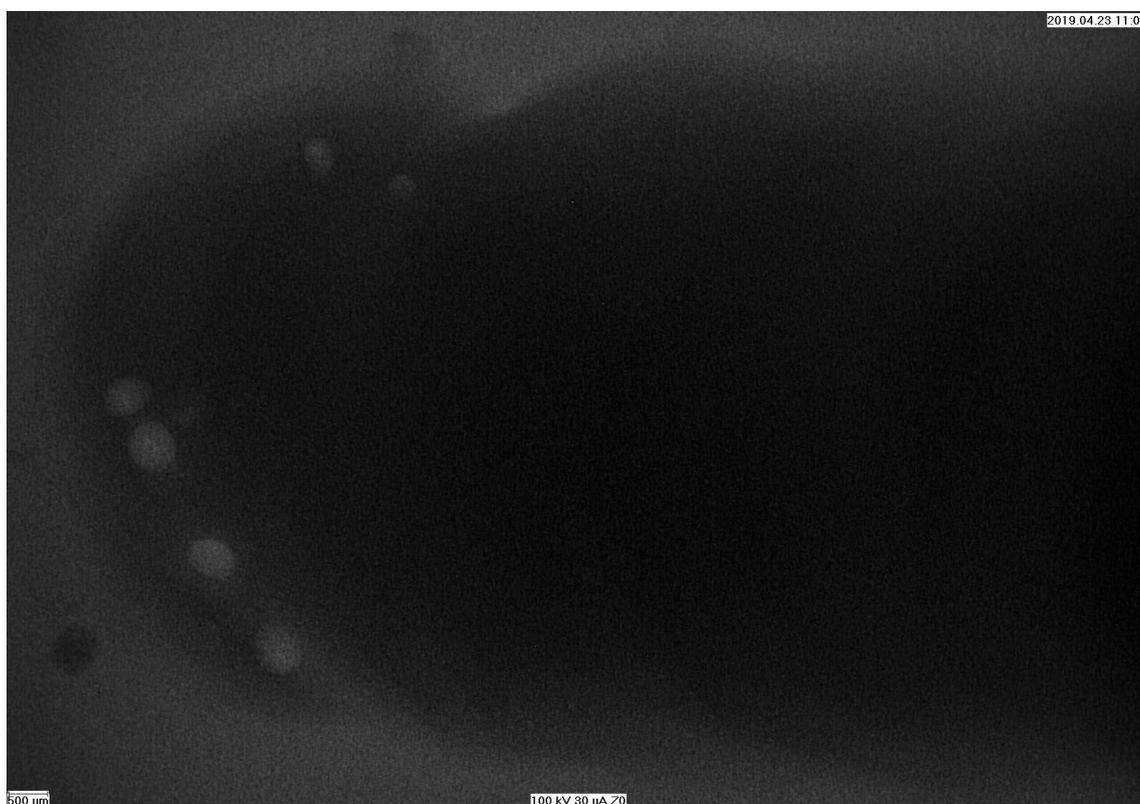


Рисунок 3.10 – Внутреннее изображение начального участка металла шва
(ПП, $I_{ГС} = 150 \text{ A}$)

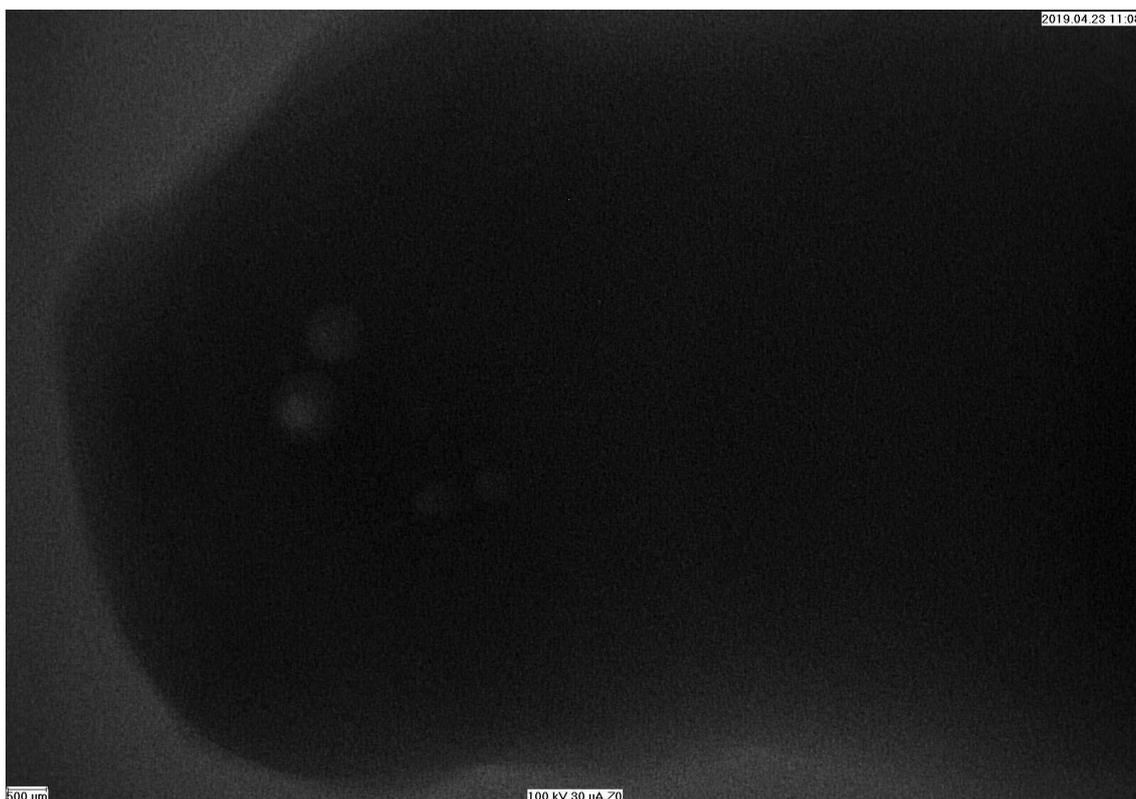


Рисунок 3.11 – Внутреннее изображение начального участка металла шва (ОП, $I_{ГС} = I_{НОМ}$) с применением газовой защиты

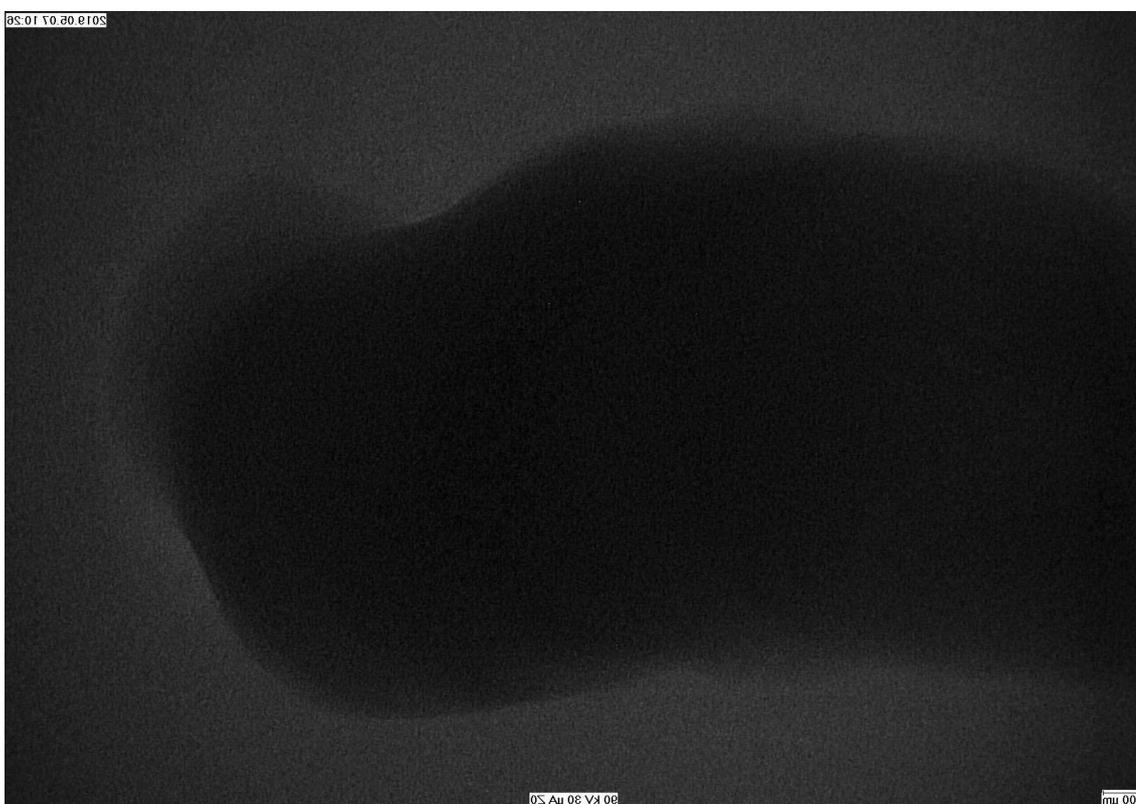


Рисунок 3.12 – Внутреннее изображение начального участка металла шва (ОП, $I_{ГС} = I_{НОМ}$) с применением защиты мелкодисперсным покрытием

Полученные результаты внутреннего изображения наплавленного металла показали, что стартовые поры присутствуют во всех случаях (кроме применения защиты мелкодисперсным покрытием), однако применение горячего старта или дополнительной газовой защиты межэлектродного промежутка значительно уменьшают порообразование в начальный момент сварки.

На основании полученных данных, были построены графики зависимости количества пор (n) в наплавленном металле от величины стартового тока ($I_{гс}$) (рисунок 3.13 и 3.14). Также ниже приведена диаграмма, изображающая масштаб стартовой пористости без повышения сварочного тока в начальный момент сварки для прямой и обратной полярности тока и в среде защитного газа аргона (рисунок 3.15).

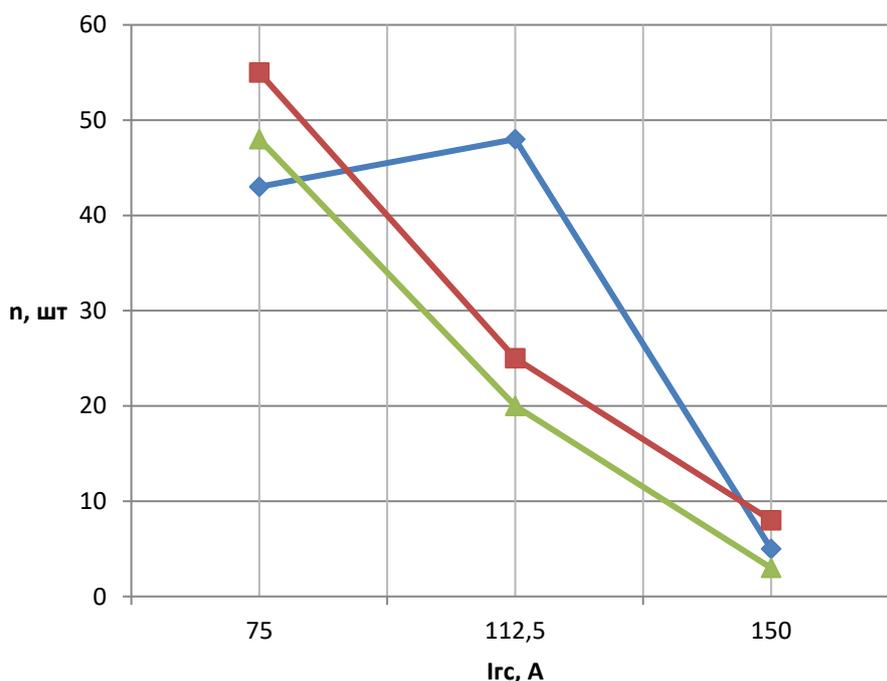


Рисунок 3.13 – Зависимость количества пор от величины горячего старта при сварке на обратной полярности

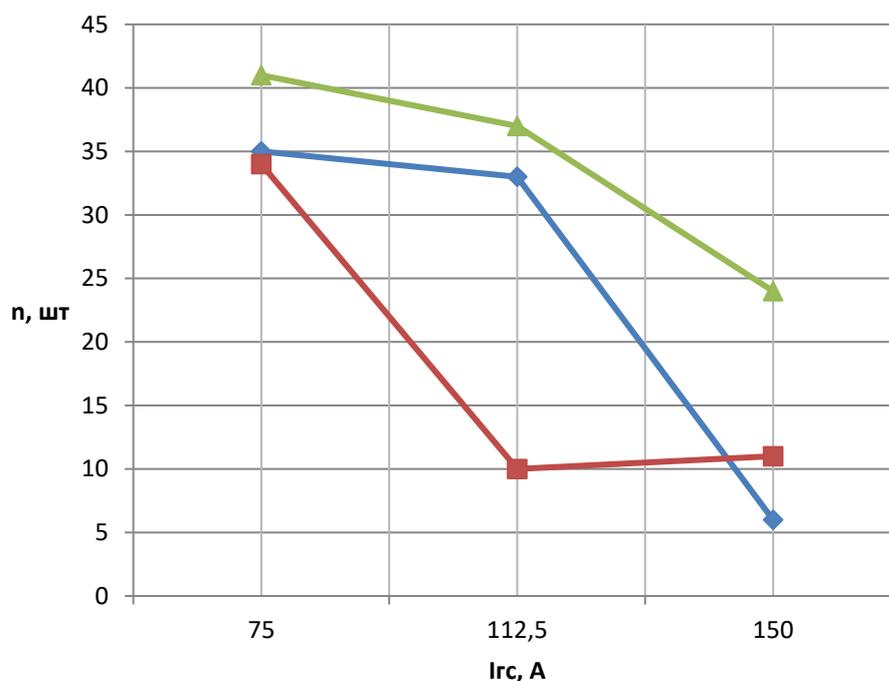


Рисунок 3.14 – Зависимость количества пор от величины горячего старта при сварке на прямой полярности

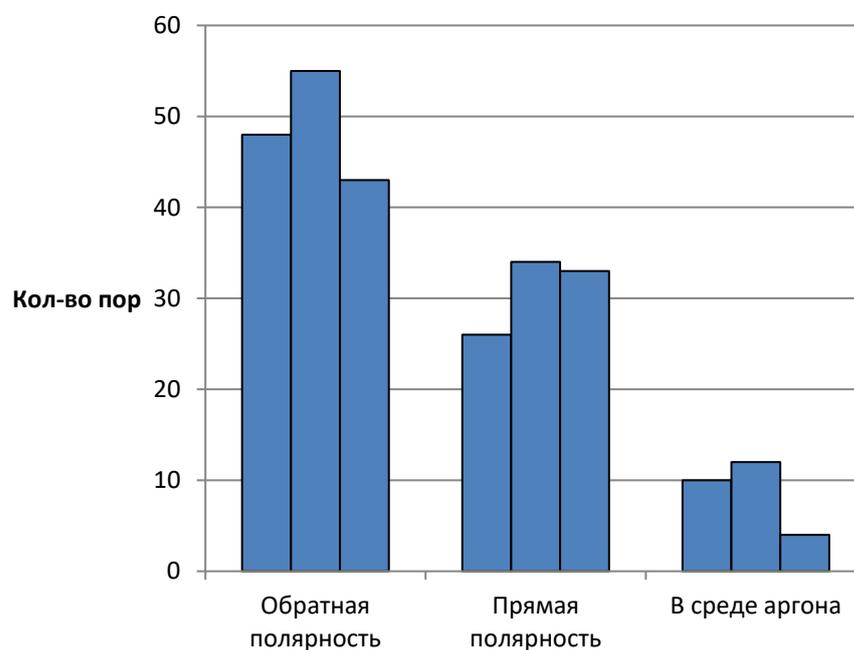


Рисунок 3.15 – Количество стартовых пор без применения горячего старта

Согласно графикам зависимости величины горячего старта от количества пор видно, что при увеличении номинального сварочного тока на 100 % порообразование в зоне неустановившегося горения дуги сводится к

минимуму (от 3 до 10 пор в наплавленном металле) независимо от полярности сварочного тока. При увеличении сварочного тока в начальный момент на 50 % порообразование также уменьшается, но значительно меньше.

В случаях, когда увеличение сварочного тока в начальный момент не производилась ($I_{ГС} = I_{НОМ}$), при обратной полярности количество пор в наплавленном металле в 1,5 раза больше прямой полярности. Это объясняется тем, что при прямой полярности катодная область находится в приэлектродной зоне, в которой напряженность электрического поля равна $E_k = 2 \cdot 10^6$ В/см, что намного больше, чем в анодной – $E_a = 10^4$ В/см [1]. Следовательно, температура катодной области на несколько тысяч градусов выше анодной, а значит и плавление электродного покрытия, которое обеспечивает атмосферную защиту зоны сварки, происходит быстрее на прямой полярности.

Применение дополнительного обдува аргоном показало результаты сопоставимые с горячим стартом (количество стартовых пор от 4 до 12), что говорит об эффективности метода. Однако данный метод не обеспечивает полного предотвращения порообразования, это может быть связано с характером газового потока, который направлен под углом относительно дугового разряда, в связи с этим возможна вероятность подсоса атмосферного воздуха.

В случае, когда зажигание дуги производилось в зоне основного металла, на который было нанесено мелкодисперсное электродное покрытие, поры не наблюдались на протяженности всего валика (рисунок 3.12). Это связано с тем, что образование дугового разряда происходило в среде основного электродного покрытия. За счет мелкой дисперсности и расположении непосредственно в межэлектродном промежутке частицы покрытия начинали реакцию плавления с момента зажигания дуги, вследствие этого происходило выделение сварочного аэрозоля, что и предотвратило стартовое порообразование. На рисунке 3.16 представлены частицы покрытия,

которые находились в зоне сварки в момент зажигания дуги при 4-х кратном увеличении микроскопа.

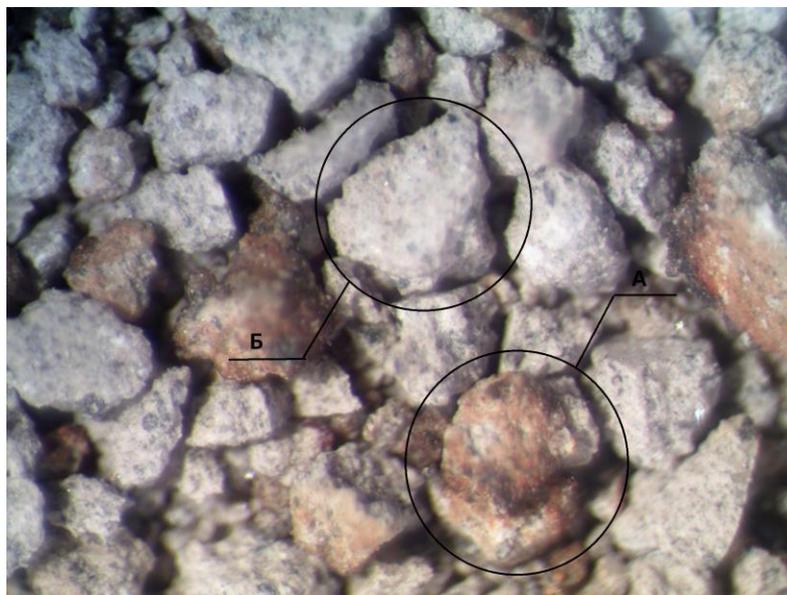


Рисунок 3.16 – мелкодисперсное сварочное покрытие после зажигания дуги в данной среде (А – оплавленная частица, Б – цельная частица)

Высокий уровень выделения сварочного аэрозоля при сварке электродами с основным покрытием обусловлен наличием в покрытии летучих соединений фтора и высокой основностью шлаковой фазы, способствующей более интенсивному поступлению в сварочный аэрозоль соединений щелочных металлов [28]. Большое содержание карбонатов (мрамора, мела, известняка, магнезита, доломита) в покрытии способствует сжатию дуги углекислым газом, образующемся при их разложении, что также приводит к увеличению выделений сварочного аэрозоля.

Для определения длительности горячего старта, влияния коротких замыканий и удлинения дуги на порообразование также были получены осциллограммы тока и напряжения в начальный момент сварки (рисунок 3.17 – 3.19).

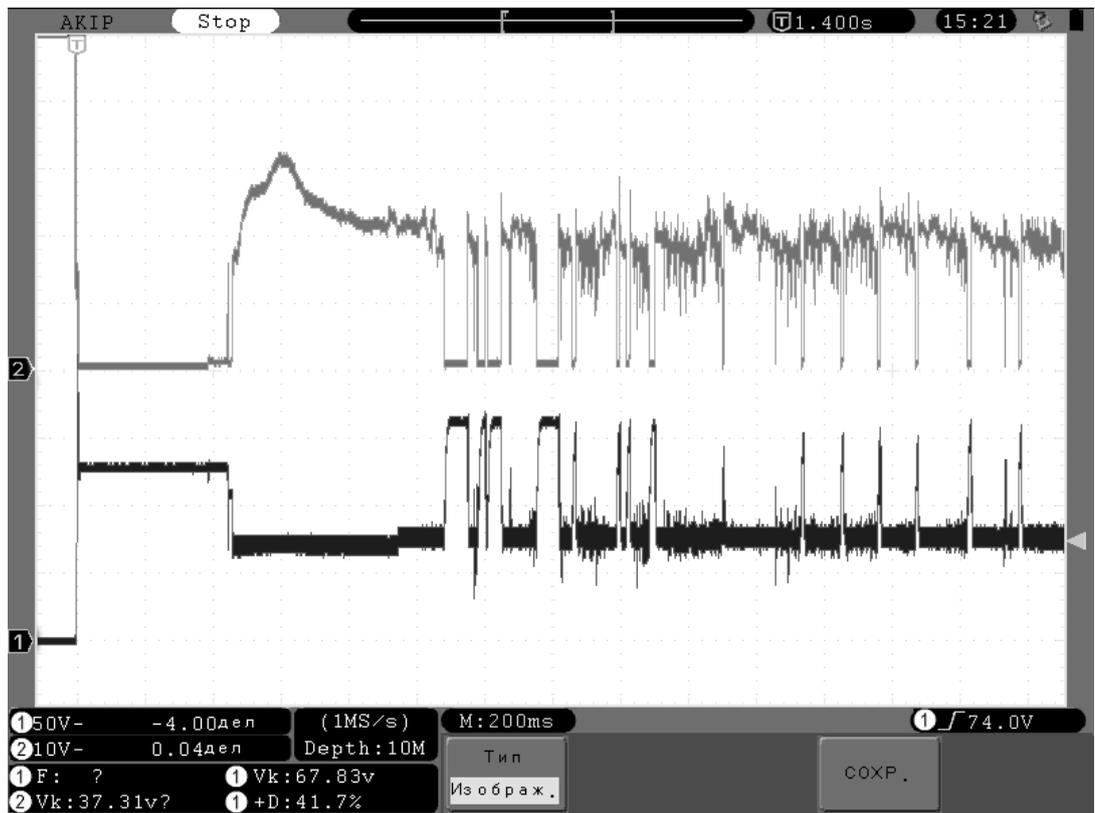


Рисунок 3.17 – Осциллограмма тока и напряжения начального периода сварки при $I_{Гс} = I_{ном}$

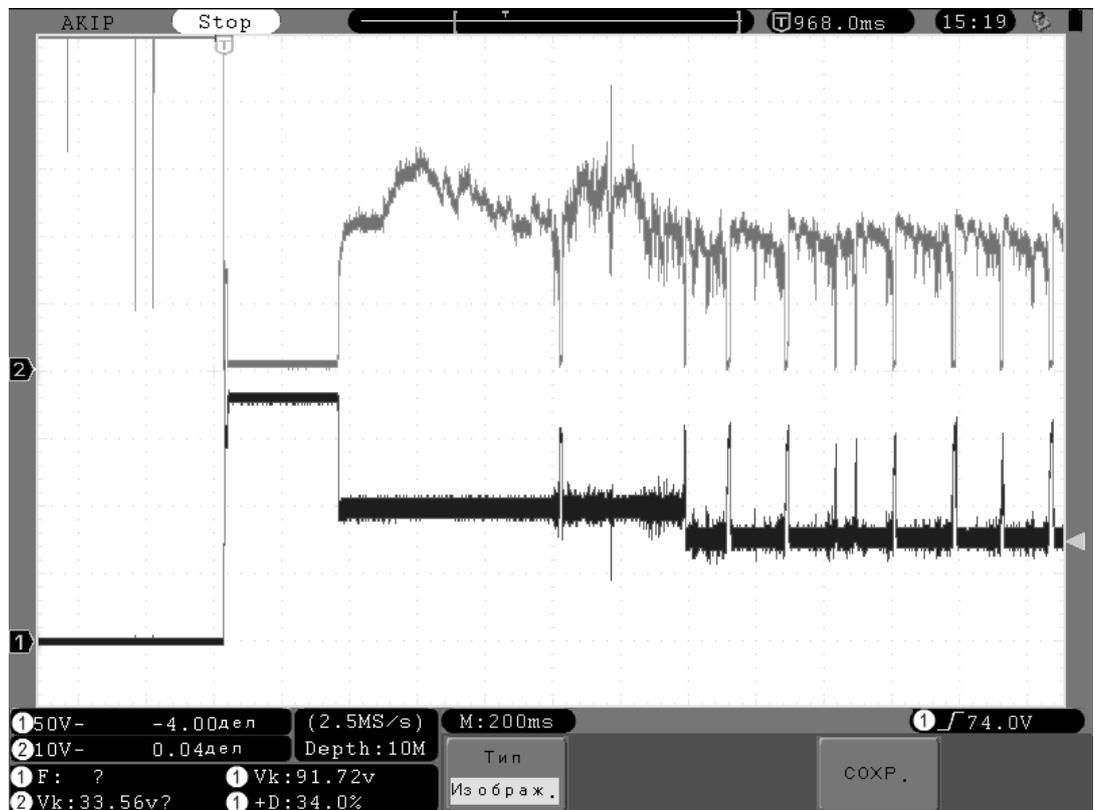


Рисунок 3.18 – Осциллограмма тока и напряжения начального периода сварки при $I_{Гс} = 112 \text{ A}$

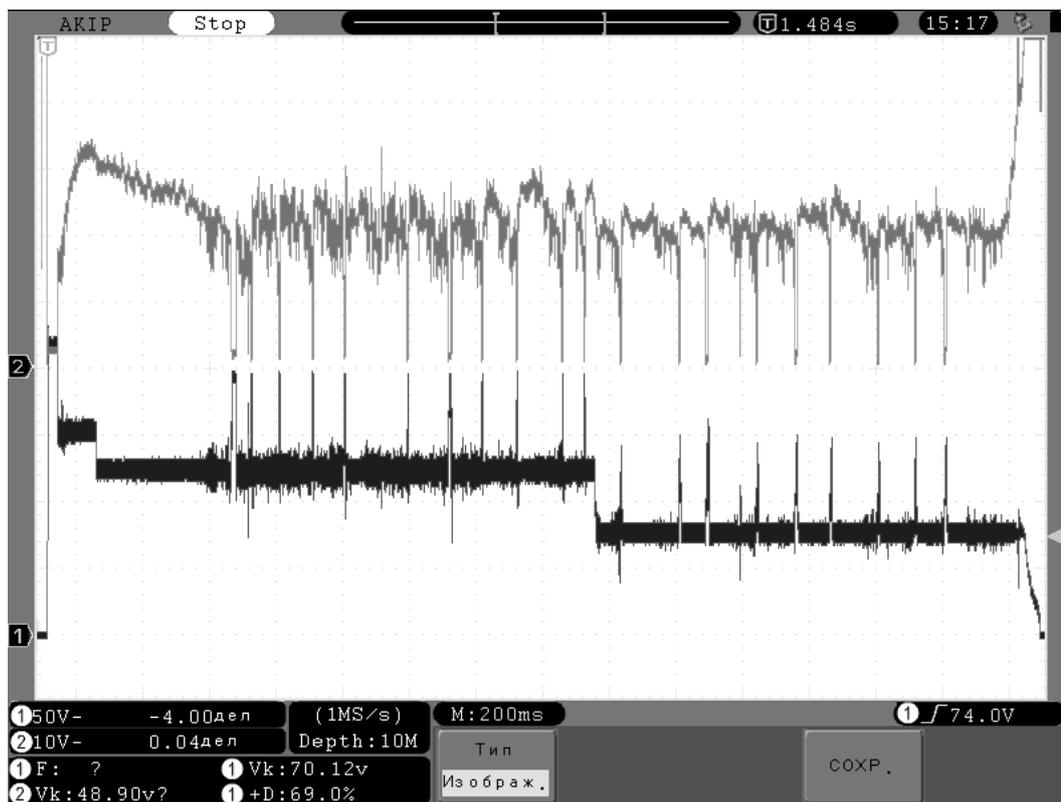


Рисунок 3.19 – Осциллограмма тока и напряжения начального периода сварки при $I_{ГС} = 150 \text{ А}$

Согласно осциллограммам тока и напряжения начального периода сварки можно определить точное время модуляции сварочного тока, где при $I_{ГС} = 112 \text{ А}$ это время равно 1 с, а при $I_{ГС} = 150 \text{ А}$ – 1,6 с. Также на рисунке 3.17 в начальный момент видно, что продолжительность коротких замыканий достигает 80 мс, это объясняется тем, что в этот период капли переходят очень медленно и процесс стабилизации переноса электродного металла затягивается. Применение горячего старта значительно сокращает продолжительность коротких замыканий, что соответственно приведет к быстрому переходу капель электродного металла и стабилизации дугового промежутка.

Следовательно, при использовании горячего старта стабилизация переноса электродного металла происходит за более короткое время, причем при правильном выборе режима горячего старта полностью исключается опасность примерзания электрода, что в свою очередь сократит количество зажиганий дугового разряда и соответственно стартовой пористости.

Следовательно, сварщик может не удлинять дугу при начальном зажигании, что обеспечивает требуемую газовую защиту зоны сварки. Это главный фактор, объясняющий уменьшение стартовой пористости при использовании горячего старта.

Горячий старт также уменьшает время установления оптимальной газовой защиты расплавленного металла, которое измеряется от момента касания торцом электрода и зажигания дуги до образования втулки из покрытия. Это тоже способствует улучшению газовой защиты электродного металла и соответственно уменьшению стартовой пористости.

К числу других положительных аспектов применения горячего старта следует отнести более глубокое проплавление начального участка шва и получение равномерного шва по высоте (без местного наплыва).

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления конкретными проектными решениями на этапе реализации.

В данном разделе все расчеты и рекомендации были выполнены согласно [29].

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Устранение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами» выполняется в рамках магистерской диссертации для организации. Исследования, приведенные в данной работе, могут быть направлены на устранение пор, где данные дефекты являются недопустимыми. Например, в нефтегазовой отрасли, где резервуары и трубопроводы, должны обеспечивать герметичность; или в системах приборостроения, работающих в вакууме.

Суть работы заключается в нахождении оптимальных параметров режима дуговой сварки, которые будут обеспечивать устойчивое протекание горения дуги в начальный момент, что приведет к сокращению коротких замыканий и уменьшению пористости шва.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка

		Отрасль производства		
		Нефтегазовая	Машиностроение	Приборостроение
Размер компании	Крупные	1,2	-	3
	Средние	1	2	2,3
	Мелкие	3,2	3	1

где 1 – ПАО «Газпром»; 2 – АО «НПЦ «Полюс»; 3 – ООО «Технология»

Как видно из таблицы 4.1 наиболее перспективным сегментом в отраслях производства для формирования спроса является сегмент крупных предприятий в области машиностроения, так как данный сегмент занимается производством оборудования для нефтяной и газовой промышленности (сварные соединения должны обеспечивать герметичность), следовательно, в данном исследовании целесообразно ориентироваться в направлении крупных машиностроительных производств.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в

постоянном движении. Такой анализ позволяет вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценивать сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
2. Затраты сварочного материала	0,2	5	1	5	1	0,2	1
3. Качество сварного соединения	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
3. Конкурентно-способность работы	0,25	5	2	4	1,25	0,5	1
Итого	1	30	20	29	5	2,35	3,75

где Б_ф – электроды с основным покрытием; Б_{к1} – электроды с рутиловым покрытием; Б_{к2} – электроды с целлюлозным покрытием

На основании таблицы 4.2 можно сделать вывод, что электроды с основным покрытием (Б_ф), которые используются в исследованиях данной

работы, могут составить серьезную конкуренцию распространенным в настоящее время электродам ($B_{к1}$, $B_{к2}$).

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Широкая область применения</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Актуальность проекта</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Перенастройка оборудования</p> <p>Сл3. Требуется два источника питания</p> <p>Сл4. Отсутствие квалифицированного персонала</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В2. Регулирование производительности</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>		

Продолжение таблицы 4.3

Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Снижение государством финансирования темы У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы. У4. Отсутствие спроса на технологию		
---	--	--

На втором этапе SWOT-анализа строятся интерактивные матрицы проекта, которые представлены в таблицах 4.4, 4.5, 4.6, 4.7.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности Проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	+	-	+	-
	B3	-	+	-	+
	B4	+	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: В2Сл1Сл3, В3В4Сл1.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта				
Угрозы Проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-
	У4	-	-	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С4С5, У4С3С4.

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

		Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	-	+	-	-
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл1Сл2Сл3.

Таблица 4.8 – Итоговая матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Широкая область применения С3. Использование современного оборудования С4. Актуальность проекта С5. Наличие руководителя	Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Перенастройка оборудования Сл3. Требуется два источника питания Сл4. Отсутствие персонала

Продолжение таблицы 4.8

<p>Возможности:</p> <p>В1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В2. Регулирование производительности</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>В4С1С3 – возможность использования технологий для сварки других материалов не взирая на толщину, В2В3С4С5 – некоторые виды сплавов вообще не рекомендуется дополнительно механически очищать.</p>	<p>В1В2Сл.1Сл.2 – с повышением цен на комплектующие резко возрастет первоначальный вклад в массовое производство, В3В4Сл3Сл4 – повышение цены на подготовку персонала и оборудование</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Снижение государством финансирования темы</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p> <p>У4. Отсутствие спроса на технологию</p>	<p>У1С3 – некоторые компании не захотят рисковать, применяя новые технологии, У2С1С3 – шов станет длинней, потребует проработки новых тех. карты.</p>	<p>У1Сл.2; У3Сл.1Сл.2 – уменьшения разбрызгивания потребует повышения мощности источника, а у многих они и так работают на пределах своих возможностей..</p>

На основе SWOT-анализа были показаны проблемы и возможности данной технологии. Для данного НТИ характерен баланс сильных сторон и возможностей (получения высокоэффективного оборудования для сварки), а так же слабых сторон и угроз (требование множества ресурсов), то есть разрабатываемая технология находится в достаточно стабильных условиях. Для получения дополнительно конкурентных преимуществ необходимо дальнейшее совершенствование технологии.

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Коммерциализация инновационного продукта – процесс совпадения форматов поведения покупателя и продавца инновационного продукта

относительно возможности использования, стоимости, перехода прав собственности на инновационный продукт.

На данном этапе производится оценка степени готовности проекта к коммерциализации и определение уровня собственных знаний для ее проведения или завершения.

При проведении анализа по таблице 4.9, приведенной ниже, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать [29].

Таблица 4.9 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к комерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5

Продолжение таблицы 4.9

4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	0	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	0	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	5
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	0	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	43	55	

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (4.1)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Анализируя выше приведенную таблицу, значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 40 до 55, то такая разработка считается средней, а знания разработчика достаточными для ее коммерциализации.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно–технических разработок владелец интеллектуальной собственности преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких–либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания [29].

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

В данной ВКР выбран метод инжиниринга и передачи интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия. При выборе данных методов коммерциализации возможно предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг,

связанных с проектированием. Также строительством и вводом объекта в эксплуатацию с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции. Так же планируется писать коммерческое предложение потенциальным покупателям, это предприятия строительства и машиностроения в России и странах зарубежья.

4.2 Инициация проекта

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

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

4.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Разработчик проекта	Выявление факторов, влияющих на процесс порообразования при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и методы их устранения.
Организации, занимающиеся производством герметичных соединений	Получение методики предотвращения образования стартовой пористости в наплавленном металле.

В таблице 4.11 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.11 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Выявление факторов, влияющих на процесс порообразования в момент зажигания дуги при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, проведения исследования по наплавке с использованием горячего старта и анализ образцов.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение оптимальных режимов горячего старта, который будет обеспечивать быстрое проплавление электродного стержня и покрытия, вследствие чего дуговой разряд будет защищен атмосферой покрытия, и стартовая пористость будет отсутствовать.
Критерии приемки результата проекта:	Отсутствие стартовых пор в наплавленном металле
Требования к результату проекта:	В ходе исследования необходимо получить конкретные значения модуляции сварочного тока и длительность импульса горячего старта, которые будут обеспечивать бездефектный начальный участок наплавленного металла.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 4.12 – 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	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент, научный руководитель
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	Студент, научный руководитель
	8	Проведение расчетов по теме	Студент
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Студент, научный руководитель
	10	Вывод по цели	Студент

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5}. \quad (4.2)$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\mathcal{C}_i}. \quad (4.3)$$

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

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 4.13, после заполнения таблицы 4.13 строим календарный план-график (табл. 4.14).

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 4.13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожи}$, чел-дни									
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	5	5	5
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	4	4	4
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	4	4	4
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	4	5	5
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	5	5	5
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	17	17	17
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	7	8	8
Проведение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студент	7	8	8	12	13	13
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	5	5	5
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	6	6	6

Таблица 4.14 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	5	■												
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	4		■											
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	4			■										
4	Выбор направления исследований	Руководитель	4			■										
5	Календарное планирование работ	Руководитель	5			■										
6	Изучение литературы по теме	Студент	17				■	■	■	■						
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	7							■	■					
8	Проведение расчетов по теме	Студент	12							■	■	■	■			
9	Анализ результатов	Студ.-рук.	5									■	■	■		
10	Вывод по цели	Студент	6										■	■	■	■

 – студент;
  – руководитель.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на специальное оборудование для научных работ.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.6)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Мощность электроприбора, кВт			Общая стоимость оборудования, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Компьютер	1	1	1	0,350	0,360	0,340	40500	41800	50000
	Итого:	1	1	1	1,28	1,275	1,281	40500	41800	50000

Расчет на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э, \quad (4.7)$$

где N_i - мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_э$ - время использования электрооборудования, час;

$Ц_э$ - цена одного кВт ·ч, руб.

$$E_э = 1,28 \cdot 250 \cdot 4,36 = 1395,2 \text{ руб.}$$

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Линейная амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{C}{T_{об}} = \frac{40500}{10} = 4050 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Таблица 4.16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители по категориям	Оклад, руб.	Районный коэффициент	Месячная зарплата, руб./мес.
Руководитель	29744	1,3	38667
Студент	5000	1,3	6500

Таблица 4.17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30,2 %.

Таблица 4.18 – 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	38667	36893	41432	3129	2978	3237
Студент	6500	7900	5750	1400	1534	2020
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%					
Итого						
Исполнение 1	6501					
Исполнение 2	6187					
Исполнение 3	6725					

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}}. \quad (4.10)$$

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.19.

Таблица 4.19 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	45176	45793	47182
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4529	4412	5257
3. Отчисления во внебюджетные фонды	6501	6187	6725
4. Накладные расходы	4879	5021	4981
5. Линейная амортизация	4050	4180	5000
6. Бюджет затрат НИИ	65135	66912	70140

При планировании бюджета научного исследования было обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

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

4.5.1 Оценка сравнительной эффективности проекта

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

Для оценки финансовой эффективности и ресурсоэффективности необходимо провести анализ между данной разработкой и двумя аналогами, где аналог 1 – проведение исследования наплавки с помощью ручной дуговой сварки с использованием электродов с рутиловым покрытием, а аналог 2 – с помощью электродов с целлюлозным покрытием.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.11)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -ого варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно исследовательского проекта.

$$I_{\Phi}^p = \frac{65135}{70140} = 0,92;$$

$$I_{\Phi}^1 = \frac{66912}{70140} = 0,95;$$

$$I_{\Phi}^2 = \frac{70140}{70140} = 1.$$

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

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (4.12)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1)Производительность труда	0,3	5	3	4
2)Технологичность	0,1	5	5	4
3)Энергосбережение	0,14	5	4	3
4)Безопасность	0,12	4	3	4
5)Затраты на материалы	0,3	5	4	3
ИТОГО	1	4,55	3,35	2,85

По формуле 4.12 и данным таблицы 4.20 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности и финансовый показатель.

$$I_m^p = 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,12 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,55;$$

$$I_m^{a1} = 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,35;$$

$$I_m^{a2} = 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,14 \cdot 3 + 0,12 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 = 2,85;$$

Интегральный показатель эффективности разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, \quad (4.13)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,55}{0,92} = 4,94.$$

Таблица 4.21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,92	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,35	2,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,94	3,35	2,91
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	1,4	1,6

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости текущей разработки с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен предпроектный анализ, планирование научно-исследовательских работ, планирование бюджета НТИ и оценка сравнительной эффективности проекта.

На основе SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта. Для данного НТИ характерен баланс сильных сторон и возможностей (получения высокоэффективного оборудования для сварки), а так же слабых сторон и угроз (требование множества ресурсов). Для

получения дополнительно конкурентных преимуществ необходимо дальнейшее совершенствование технологии.

При планировании НИИ была определена группа процессов планирования, которая состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей, таких как: создание темы проекта, выбор направления исследования, теоретические исследования, оценка полученных результатов. Далее для достижения данных целей, была разработана последовательность действий.

При планировании бюджета научного исследования было обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Итоговая сумма бюджета составила 65135 рублей.

После проделанного анализа, можно сделать вывод о том, что данный способ сварки имеет много больше ресурсных, финансовых и экономических достоинств по сравнению с аналогами:

- из расчета бюджета затрат НИИ сумма второго исполнения составила 66912 рублей, а третьего – 70140 рублей, что является более затратным по сравнению с рассматриваемым способом;
- временные показатели проведения научного исследования, которые приведены в таблице 4.13, второго и третьего исполнения так же выше, чем в данном проекте, что увеличиваем их трудоемкость.

Следовательно, данное исследование является наиболее оптимальным и тем самым является востребованным на рынке.

5 Социальная ответственность

Объектом исследования данной работы является устранение стартовых пор при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Для решения вопроса по устранению данного недопустимого дефекта необходимо оборудованное помещение для ведения сборочных и сварочных работ, так же нужно иметь необходимое оборудование и оснастку для ведения сварочных работ: сборочно-сварочный стенд, источник питания для сварки Lincoln Electric Invertec V350-PRO, сварочные электроды LB-52U, баллоны с защитным газом (аргоном).

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

5.1 Производственная безопасность

Рабочим местом является отдельное помещение (лаборатория). Так как данное помещение находится внутри здания, на работающего возможны действия следующих вредных и опасных факторов: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, повышенный уровень ультрафиолетовой радиации, поражение электрическим током, пожар. Воздействие вредных производственных факторов на работающих может привести к заболеванию и снижению производительности труда [31].

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

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

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

При организации рабочего места, следует принять во внимание тот факт, что качество и производительность труда, зависят от существующих на данном рабочем месте условий труда и соответствия этих условий установленным нормам. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный труд и должна соответствовать [32].

1. Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды данных помещений, который определяется действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей [33,34].

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать [34]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений по [34]

Период года	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с		
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				

Продолжение таблицы 5.1

Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах соответствуют требованиям Санитарных правил и нормативов [33,34] применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый период года.

Для того чтобы создать необходимые метеорологические условия рабочей зоны и предотвратить различные переохлаждения и перегревания организма в небольших помещениях устанавливают кондиционеры. С помощью кондиционирования воздуха в закрытых помещениях можно поддерживать необходимую температуру, а также скорость движения воздуха [35].

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

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

Главным источником шума при ведении сварочных работ является источник питания. Методы установления предельно допустимых шумовых

характеристик системы питания для сварки в динамическом режиме изложены в [37]. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах, который сравнивают с предельным спектром.

Для снижения шума в помещениях используют средства звукоизоляции и звукопоглощения, устанавливают глушители шума и рационально продумывают технологию производства с использованием малошумных технологических процессов. Также в качестве индивидуальных средств защиты от шума применяют различные противозумные наушники, вкладыши, шлемы, каски и костюмы [36].

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

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

3. Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах составляет 200 лк согласно [38], так как наблюдение за процессом сварки происходит через защитную маску. В разделе 5.1.2 приведен расчет искусственного освещения.

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

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (K_p) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами [36].

4. При работе с источниками питания может произойти поражение электрическим током. Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями [39]. Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токоведущих частей держателей электродов;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку.

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

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают [36]:

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

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

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

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

В таблице 5.2 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей согласно [32].

Таблица 5.2 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли

Продолжение таблицы 5.2

Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

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

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местный отсос можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего» [32].

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

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

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

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

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

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

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

5.1.2 Расчет искусственного освещения

Производственное помещение, в котором проводились исследования имеет следующие размеры: длина $A=25$ м, ширина $B=15$ м, высота $H=4$ м, высота рабочей поверхности $h_{rp}=0,8$ м. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах должно составлять 200 лк согласно [38].

Коэффициент отражения стен $R_c=30$ %, потолка $R_{п}=50$ %. Коэффициент запаса $k=1,5$, коэффициент неравномерности $Z=1,1$ [37].

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

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

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

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

Светильники расположены в три ряда, в каждом ряду по 12 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,2 м), при этом разрывы

между светильниками в ряду составляют 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N=72$. На рисунке 5.1 представлен план помещения и размещения на нем светильников.

Находим индекс помещения:

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

Согласно [37] определяем коэффициент использования светового потока, который равен $\eta = 0,61$.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

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

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

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

Получаем:

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

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

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

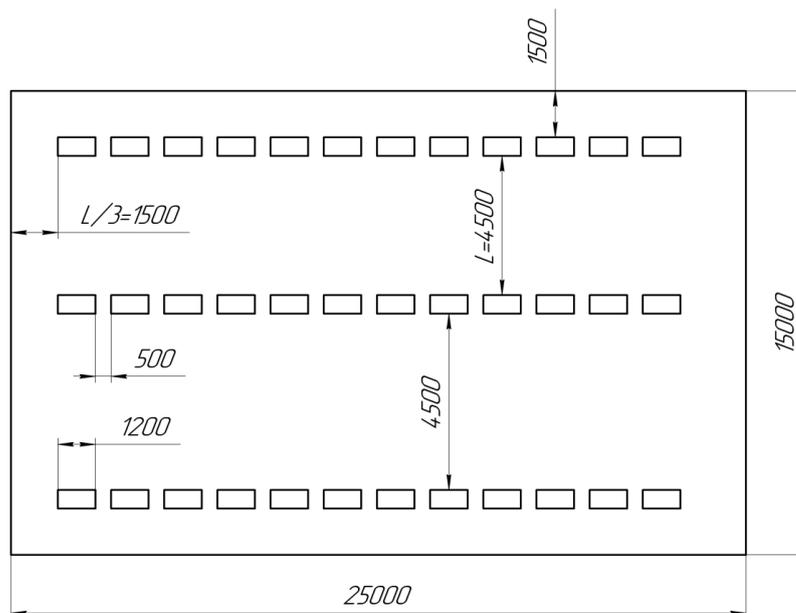


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников

5.2 Экологическая безопасность

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

5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, вольфрама, алюминия, титана, цинка, меди, никеля и др.), а также газообразные соединения (фтористые, оксиды углерода и азота, озон и др.). Для определения влияния на окружающую среду загрязняющих веществ необходимо воспользоваться [40], в котором приведены удельные показатели и их допустимые пределы (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Удельные показатели выделения загрязняющих веществ при сварке и наплавке металлов [40]

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

Продолжение таблицы 5.4

Ручная дуговая сварка сталей штучными электродами	УОНИ – 13/45	10	7,62	1,9	-	0,43	-	-	-
--	-----------------	----	------	-----	---	------	---	---	---

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

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

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

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

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

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники [36].

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

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

С целью предотвращения пожаров необходимо:

- уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;
- курить только в отведенных для курения местах;
- в случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу;
- сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

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

В целях безопасности помещение оборудовано рубильниками для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода [38].

В случае возникновения пожара необходимо:

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

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

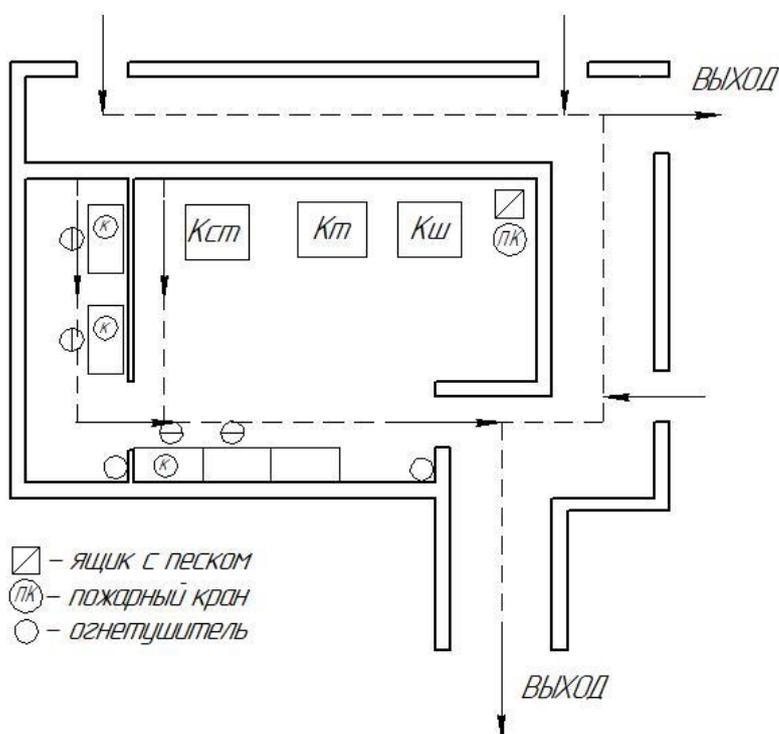


Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожаре

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

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

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

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

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

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Требования к размещению систем питания для сварки в динамическом режиме, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с [32].

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого

материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.
- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.
- Расстояние от стены до источника питания должно быть не менее 0,5 м.
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м.
- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.
- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.
- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.
- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).
- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.
- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.
- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

Предприятие эксплуатируется и оборудуется согласно основными правовыми нормами:

- ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01.07.92)
- ГОСТ 12.1.038-83 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих. Классификация;

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

5.4.3 Социальная защита работников на предприятии

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

Социальное страхование является обязательным и представляет собой страхование работников от возможного изменения материального или социального положения, например, предполагая оказание материальной помощи при наступлении инвалидности, получении травм на производстве, наступлении временной нетрудоспособности.

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

Основные принципы эффективного механизма социальной защиты:

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

Заключение

В результате проведенного исследования было определено влияние амплитудно-временных параметров модуляции сварочного тока в начальный момент сварки, а также дополнительной защиты межэлектродного промежутка инертным газом и мелкодисперсным электродным покрытием на величину стартовой пористости.

При использовании горячего старта стабилизация переноса электродного металла происходит за более короткое время, причем при правильном выборе режима горячего старта полностью исключается опасность примерзания электрода, что в свою очередь сократит количество зажиганий дугового разряда и соответственно стартовой пористости. Следовательно, сварщик может не удлинять дугу при начальном зажигании, что обеспечивает требуемую газовую защиту зоны сварки. Это главный фактор, объясняющий уменьшение стартовой пористости при использовании горячего старта.

Дополнительная защита межэлектродного промежутка также обеспечила сокращение пористости. Когда применялся обдув зоны возбуждения дуги инертным газом поры в наплавленном металле присутствовали, но в значительно малом количестве, это связано с характером газового потока, который направлен под углом относительно дугового разряда, в связи с этим возможна вероятность подсоса атмосферного воздуха. При зажигании дуги в среде мелкодисперсного электродного покрытия поры не наблюдались на протяженности всего валика. За счет мелкой дисперсности и расположения непосредственно в межэлектродном промежутке частицы покрытия начинали реакцию плавления с момента зажигания дуги, вследствие этого происходило выделение сварочного аэрозоля.

Можно сделать вывод, что наиболее эффективный и простой способ предотвращения стартовой пористости является возбуждение дугового разряда в среде мелкодисперсного электродного покрытия, так как для осуществления данного технологического решения не требуется специальное оборудование и

баллонов с защитным газом. При применении данной методики главными условиями являются: прокалка электродного покрытия по рекомендуемым параметрам; использование однообразного покрытия в обмазке электрода и на основном металле в зоне зажигания дуги; осуществлять сварочные работы в нижнем положении.

Список использованных источников

1. Патон Б. Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
2. Сварка в машиностроение: Справочник в 4-х т./Редкол.: С24 Г. А. Николаев и др. – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1 / Под ред. Н. А. Ольшанского. 1978. – 504 с.
3. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
4. Походня И. И. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
5. Взаимосвязь порообразования и параметров дуги при сварке электродами с основным покрытием / Походня И. К., Горпенюк В. Н., Пономарев В. Е. и др. – Автоматическая сварка, 1984, №12, с. 19-22.
6. Сварочные материалы: учебное пособие / Е. А. Трущенко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 142 с.
7. Гапченко М. Н. Пористость сварных швов и меры борьбы с ней. – Г.: Гостехиздат, 1978. – 74 с.
8. Крюковский Н. Н. К вопросу сушки и прокалки толстопокрывых электродов. – Автогенное дело, 1948, №5, с. 5-7.
9. Фруммин И. И. и Гапченко М. Н. О сушке толстопокрывых электродов. – Автогенное дело, 1939, №2, с. 17-19.
10. Любавский К. В. Металлургия ручной дуговой сварки покрытыми электродами малоуглеродистой стали. Сборник №14, ЦНИИТМАШ'а, Вопросы теории сварочных процессов, Машгиз, 1948, с. 18-21.
11. Кирдо И. В. и Подгаецкий В. В. О влиянии покрытия электродов на пористость наплавленного металла, вызванную ржавчиной. Сборник трудов по ручной дуговой сварки, изд. АН УССР, 1949, №6, с. 6-12.

12. Кирдо И. В. Исследования содержания газов в сварных швах. Сборник трудов по ручной дуговой сварки, изд. АН УССР, 1949, №8, с. 4-7.
13. Лукоянов А. В. Образование пор в металле сварочного шва при автоматической сварке титановых сплавов // Сварочное производство. – 2013. - №4. – С. 3-5.
14. Ворновицкий И. Н. Предупреждение образования пористости в момент зажигания дуги при сварке покрытыми электродами. – Сварочное производство, 1970, №3, с. 13-14.
15. Информационно-измерительная система для исследования технологических свойств сварочных материалов, оборудования и процессов сварки / И. К. Походня, Р. Г. Офенгенден, В. Н. Горпенюк и др. – Автоматическая сварка, 1979, №10, с. 67-78.
16. Взаимосвязь между длительностью коротких замыканий и массой электродных капель / И. К. Походня, В. Д. Макаренко, В. Н. Горпенюк и др. – Автоматическая сварка, 1983, №9, с. 28-31.
17. Потапов Н. Н., Колокольников Н. С., Кадигробов И. А. Влияние газов на процесс порообразования в металле швов при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием // Сварка и диагностика. 2009. №2. С. 3-5.
18. Баженов В. В. О природе пор в швах при сварке конструкционных сталей качественными электродами. М.: Машгиз, 1953.
19. Ворновицкий И. Н. Влияние обрывов дуги на образование пор при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием // Автоматическая сварка, 1971, №2, с. 15-16.
20. Потапов Н. Н., Феклистов С. И., Пеньков В. Б. Газонасыщение металла швов при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием // Сварочное производство, 2009, №4, с. 16-19.
21. Потапов Н. Н., Колокольников Н. С., Кадигробов И. А. О количестве газов на участках металла шва с неустановившимся режимом при сварке // Сварка и диагностика, 2010, №2, с. 31-33.

22. Железные порошки / В. В. Акименко, В. Я. Буланов, В. В. Рукин и др. М.: Наука, 1982. – 274 с.
23. Краснов К. С. Молекулы и химическая связь. – М.: Высшая школа, 1984. – 295 с.
24. Руководство по эксплуатации Lincoln Electric Invertec V350-PRO. – St. Clair Ave. Cleveland, 2000. – 32 с.
25. Зубченко А. С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. М.: Машиностроение, 2003. – 784с.
26. Metallurgia дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличено и др.; Под ред. И. К. Походни; АН УССР. Институт электросварки им. Е. О. Патона. – Киев: Наук. думка, 1990. – 224 с.
27. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.
28. Походня И. К., Булат А. В., Явдошин И. Р. и др. Особенности испарения натрия, калия, магния и кальция из сварочных шлаков, содержащих двуокись титана // Автоматическая сварка, 1986, №3, с. 27-29.
29. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 96 с.
30. РД 34.15.132 – 96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
31. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
32. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.
33. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

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

Приложение А
(обязательное)

Раздел (1)
Literature Review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Буцыкин Сергей Эдуардович		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

A.1 Literature Review

Pores in welds are round-shaped cavities that are filled with gas. Porosity is an unacceptable defect for equipment operating under pressure and under vacuum, or designed for transporting and storing gaseous and liquid products [1].

Generally, when the welding arc is stable, the probability of porosity is minimal, if the generally accepted technologies for manual metal arc (MMA) welding are followed:

- thorough cleaning of cutting edges and heat-affected zone (HAZ);
- use of high-quality and certified electrodes;
- electrode calcination before welding according to the recommended parameters;
- the welding process is carried out at the minimum possible length of the welding arc;
- restriction of air flow in the room; use of additional protection if welding is done outdoors (e.g. tents).

However, at the initial moment of welding when arc ignition occurs, the arc is unstable, which leads to more short circuits (the transfer process of the electrode metal proceeds without gas protection) and the starting porosity of the weld metal occurs as a result of it.

This chapter describes the process and causes of porosity in the weld metal, as well as known preventing methods for starting pores described in scientific articles.

A.1.1 Gas emission from the weld pool and porosity formation

The solubility of gases in a metal decreases with decreasing temperature and especially during its crystallization (e.g. Figure A.1.1 for nitrogen and hydrogen in iron) and a supersaturation of metal with gas is formed. Supersaturation can also be local, resulting from uneven gas distribution, random fluctuations or chemical reactions that produce gaseous products. If the degree of supersaturation is high enough to overcome the forces preventing the development and nucleation of gas

seeds, gas bubbles occur in the metal, which leads to porosity in the seam, if bubbles do not have time to move away from the liquid metal before it hardens [2].

Thus, preventive measures for the porosity formation in the weld metal can be divided into two groups:

- reducing the degree of metal supersaturation with gas or to suppressing the reactions that occur with gas emission;
- contributing to the complete elimination of gas bubbles from the weld pool or the suppression of their formation.

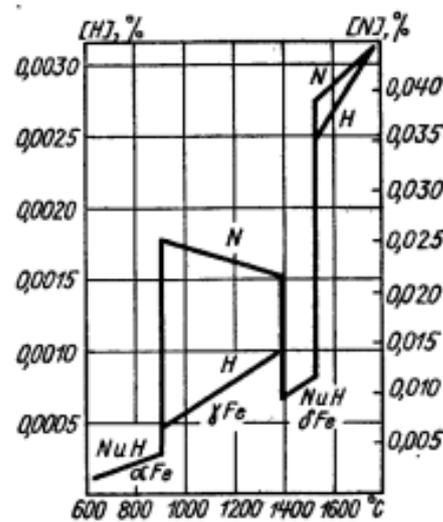


Figure A.1.1 - Solubility of gases in iron at a pressure of 1 kgf / cm²

To reduce metal gas supersaturation, it is necessary to solve the following tasks:

- to strive to lower the gas concentration in the welding zone by eliminating possible sources of gas intake;
- to reduce metal gas absorption by reducing the speed or time of interaction by direct control of the relevant technological parameters (current, welding speed, etc.);
- to increase the standard solubility of the gas by doping the metal with the appropriate elements which should reduce the likelihood of gas emission from the melt (bubble boiling) by reducing the difference

between the equilibrium concentration and the concentration of supersaturation.

Depending on the gas that causes porosity and the welding conditions, these tasks can be solved in various ways [2].

Studies have shown that the formation of porosity is caused by nitrogen, hydrogen and partly CO which formed as a result of the oxidation of carbon $C + O = CO$. For welding of carbon steel, the main role of pore formation belongs to hydrogen; for welding of austenitic steel and alloys, in which much more hydrogen is dissolved, the nitrogen is the main cause [3,4].

Consequently, in order to lower the nitrogen content it is necessary to ensure the greatest possible protection of the metal from the air. Another way is doping of the bath with nitride-forming elements - titanium, chromium, etc.

The exclusion of hydrogen from the welding zone is more difficult, since it is present in the welding materials. Means of reducing the concentration of hydrogen are:

- the use of welding materials with the lowest possible concentration of hydrogen (hydrogen-containing substances);
- thorough cleaning of the surface of the welded and filler metal from oxides, adsorbed moisture, organic pollutants, etc.;
- the introduction of fluorine compounds in coatings and fluxes, for example, calcium fluoride (fluorspar), capable of converting hydrogen to metal-insoluble compounds with fluorine.

There are also other metallurgical technics to combat hydrogen porosity. For example, the introduction of oxidizing agents into the welding zone for reducing the partial pressure of hydrogen according to the reaction $H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$ and thereby the absorption of hydrogen by the metal.

However, it is not always possible to eliminate the sources of gas ingress into the welding area or reduce its content in the arc atmosphere to a safe level. In this case, the problem of controlling the kinetics of the reaction arises so that the gas

absorption by the metal is minimal. Obviously, in order to reduce the content of gases in the weld metal, it is necessary to reduce the interaction time and the rate of the reaction.

There is another group of methods to prevent porosity which is based on controlling the process of growth of gas bubbles or their elimination from the bath [2].

External (pressure of the liquid column and atmosphere) and surface (capillary) pressure prevent the nucleation of gas seeds:

$$\rho = \rho_{\text{ж}}h + p_{\text{атм}} + \frac{2\sigma}{r}; \quad (1.1)$$

where $\rho_{\text{ж}}$ - melt density; h - the depth of the gas seed above the melt level; σ - surface tension; r - radius of the gaseed.

Therefore, by increasing the external pressure during welding, it is possible to suppress the development of gas bubbles in the melt and thus reduce or completely eliminate the porosity in the weld metal. Along with the formation and growth of gas bubbles in the melt, the process of its ascent to the periphery of the weld pool proceeds. The degree of porosity is ultimately determined by the difference in the rates of these processes.

Adjustment of the process of removal of gas bubbles can be achieved by the following ways [3].

1. Intensification of the process of gassing. The more intense the emission of gases, the more its amount will have time to be removed from the metal before its crystallization. This, for example, is the reason for adding minerals that contain crystallization's water (mica, talc, etc.) to the coating of electrodes in order to increase hydrogen absorption and enhance its release in the high-temperature zone of the weld pool away from the crystallization front, where gas bubbles are difficult to remove.
2. Increasing the lifetime of the liquid phase of the weld pool by increasing its size (length) and slowing the welding speed.

3. Reducing external obstacles to remove gas bubbles (solid surfaces in the way of their ascent). This is schematically depicted in Figure A.1.2, where an increase in the cutting angle at the upper edge led to a decrease in porosity due to more free removal of gas bubbles.

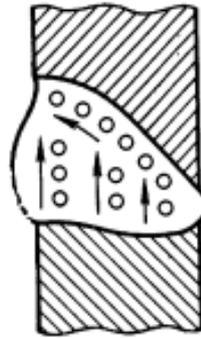


Figure A.1.2 - Diagram of the ascent of gas bubbles during horizontal welding

In conclusion, the influence of welding mode parameters on the porosity formation process can be different depending on the conditions of the emission and absorption of gases and the removal of gas bubbles.

A.1.2 Variety of electrode coating and their effect on pore formation

The most important technological characteristics of the electrodes that affect the quality of welds include arc stability and the nature of the transfer of molten metal, eccentricity of the coating and its design features, as well as humidity and gas protection properties [5].

As is known, the stability of the arc and the nature of the transfer of the electrode metal can be reliably estimated by the electrical parameters of the arc. In this regard, it is interesting to establish a qualitative and quantitative relationship between the change of these arc parameters and the formation of pores in the weld, which will allow developing methods for predicting the appearance of pores in the weld and timely eliminate their causes.

Covered electrodes are subject to a number of requirements, which ultimately determine the quality of welded joints and the bearing capacity of the welded structure as a whole [6]:

- ensuring stable burning of the welding arc and good formation of the weld;
- production of a specified chemical composition in the weld metal;
- quiet melting of the electrode rod and the coating while ensuring minimal spattering and high performance;
- easy slag separability from the weld metal and sufficient strength of the electrode coating;
- preservation of physico-chemical properties for a certain period of time (warranty period of storage):
- minimal toxicity upon melting of the electrode.

The electrode coating serves to increase the stable arc burning, the formation of a combined gas-slag protection, alloying and metal refining. There are six main components that make up the electrode coatings [6]:

- gas-forming components (starch, cellulose, food and wood flour, marble carbonate, magnesite, calcium fluoride, etc.);
- slag-forming components (manganese ore, titanium ore, feldspar, granite, marble, etc.);
- deoxidizing components (silicon, manganese, titanium, aluminum, i.e. elements having a greater affinity for oxygen than iron);
- alloying elements;
- ionizing or stabilizing components (elements with low ionization potential);
- binding components (solutions of sodium and potassium silicates).

It was found that pores are formed when welding carried out with electrodes that contain organic components (starch, dextrin) and calcined at temperatures above 220 °C [8]. Most likely in this case there is a partial decomposition of the components of organic matter which leads to the protective effect reduction of the electrodes.

In addition, it was found that the increased humidity of the coatings of the electrodes significantly affects the process of pore formation. Research conducted at the Institute of Electric Welding of the Ukrainian Academy of Sciences [9], as well as research by Kryukovsky [8], showed that if the moisture content in the coating of electrode is 4-5 %, porosity in the weld metal will not be observed. However, in the manufacture of electrodes, it is necessary to achieve the lowest humidity, since during storage the coating of the electrodes will absorb moisture from the air.

Numerous tests of coated electrodes of different composition, carried out at the Institute of Electric Welding of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR and CNIITMASH, showed the maximum positive effect of calcium fluoride CaF_2 which is added to most modern coatings to prevent the formation of porosity. Originally Lyubavsky [10] explained this phenomenon by a decrease in the viscosity of the molten slag with a corresponding increase in the gas permeability of the liquid slag over the crystallizing part of the weld pool, which, in his opinion, should facilitate the removal of carbon monoxide from the metal.

At the same time, Kirido and Podgaetsky [11] believe that free fluorine, which is formed in the arc during the dissociation of calcium fluoride vapors, combines with hydrogen, resulting in the formation of hydrogen fluoride HF, which has high stability at temperatures of the arc and negligible solubility in iron. As the temperature rises, fluorine binding to hydrogen increases. As a result, the amount of free hydrogen decreases, and, consequently, the porosity caused by it decreases.

Coatings containing significant amounts of CaF_2 also have a number of negative properties, such as atmospheric pollution with harmful impurities and low arc stability [7]. To achieve the goal of increasing the stability of the arc, it was proposed to introduce composition compounds of alkali and alkaline-earth metals (sodium, calcium, potassium) into the coating. However, the proposed solution led to an increased tendency of the formation of porosity during welding with these kind of electrodes. This is explained by the fact that sodium and potassium reduce the temperature of the arc which reduces hydrogen fluorine binding [11, 12].

A.1.3 The relationship of pore formation and arc parameters

When welding is carried out with electrodes with a basic coating, the pores most often arise due to the violation of the atmospheric protection of the molten metal. This happens with occasional arc extensions, as well as at the initial moment of welding, when the electrode is just starting to melt and the gas protection provided by the coating is still missing. The low stability of the arc and sticking of the electrode to the product, requires re-excitation of the arc, therefore, increases the number of starts which can lead to the porosity of the weld [14].

The paper of academician Pokhodni from the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR [5] presents the results of an experimental determination of the relationship between arc voltage (arc length), transfer, and porosity of the weld metal which will help determine the threshold value of the arc length at which there will be no porosity.

A known method of estimating the tendency to the formation of pores in the weld metal during welding with an elongated arc and determining a certain threshold value $U_{d,\Pi}$ tension on the arc at which pores arise. In this case, the digital voltmeter records the effective value of the voltage [4].

Effective value of arc voltage $U_{d,cp}$ changes by 2-3 V when lengthening it until the appearance of pores. This is due to the fact that when the arc lengthens, the droplets of the electrode metal grow, periodically reducing the arc length and reducing the instantaneous values of the arc voltage (Figure A.1.3).

However, the oscillogram shows high values $U_{d,max}$ stresses after the transition drops, which just characterize the true elongation of the arc. Therefore, in paper [5], on oscillograms the average voltage $U_{y,cp}$ in the region of these maximum values (Figure A.1.4), and not the effective value of the arc voltage, was taken for determining the threshold value of the arc voltage.

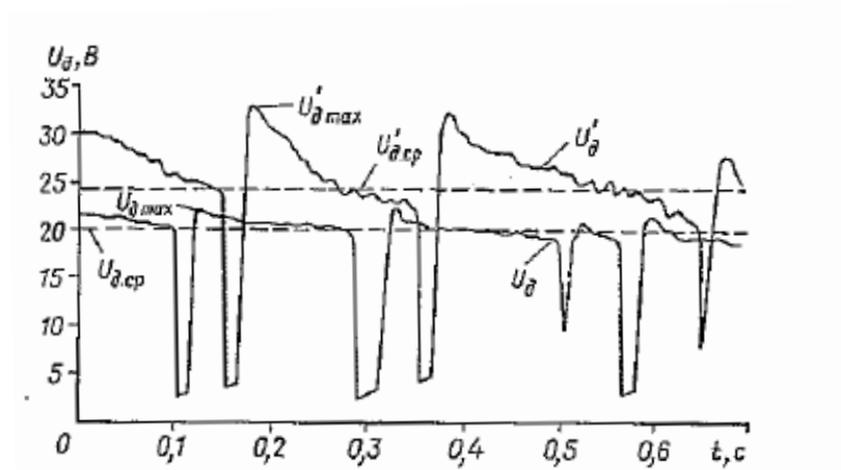


Figure A.1.3 - The nature of the voltage change on the direct current (DC) welding with short (U_D) and elongated (U'_D) arc

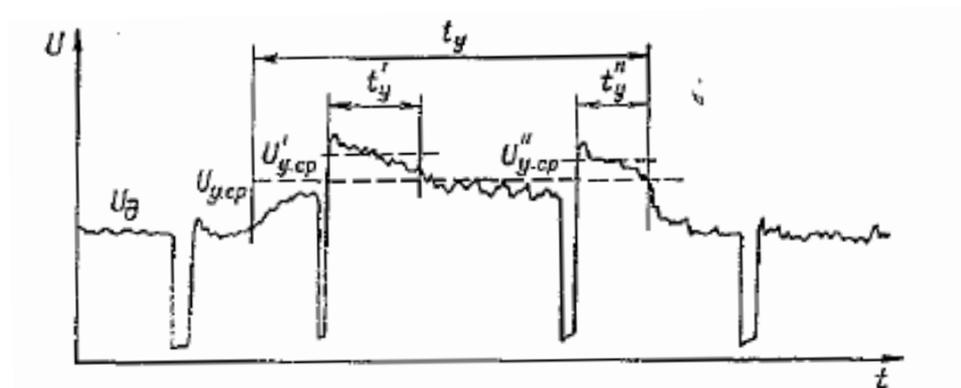


Figure A.1.4 - Measurement of voltage and arc extension time: t_y - total arc extension time; t'_y , t''_y - the duration of subsequent periods with the maximum arc voltage; $U_{y,cp}$, $U'_{y,cp}$, $U''_{y,cp}$ - average arc voltage value in time intervals t_y , t'_y , t''_y

In the analysis of the results obtained in [5], the value of the relative elongation of the arc before the appearance of pores in the weld also applied and calculated by the formula:

$$\delta_u = \frac{\Delta U}{U_{\pi}} \cdot 100\%; \quad (1.2)$$

where $\Delta U = U_{d,\pi} - U_{d,n}$; $U_{d,\pi}$ - threshold and $U_{d,n}$ - rated voltage on the arc.

This approach allows us to take into account the difference in the electric field strength in the arc stream for different electrodes and allows us to compare the data

obtained. In addition, it provides a higher accuracy of measurements, as the systematic component of the error in determining the arc voltage is reduced.

The measurement results are presented in Figure A.1.5. Duration t_y of overvoltage U_d above a certain level is indicated on the abscissa axis, and on the ordinate axis - the corresponding voltage value with an elongated arc.

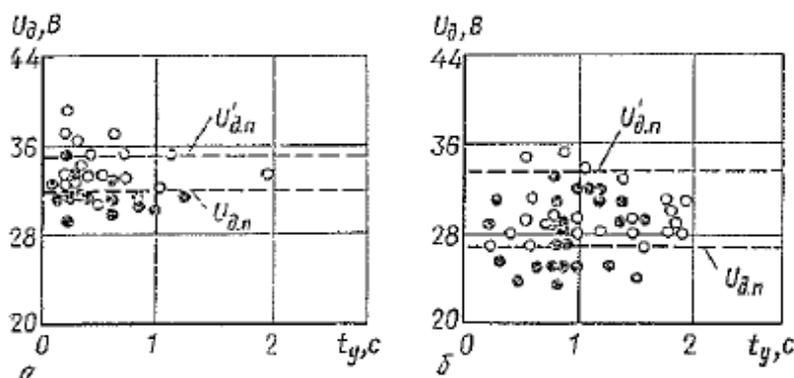


Figure A.1.5 - Estimation of the tendency to form pores when the arc is extended: a - electrodes ANO-9; b - electrodes B-5; ● - there is no; ○ - there are pores

It follows from the figure that with an increase in the arc voltage caused by its elongation to a threshold value $U_{d,n}$ there is no porosity.

Then there is a zone of equally probable absence and nucleation of pores which passes into the region ($> U'_{d,n}$) where pores are always formed. The presence of such a wide transitional zone is explained by the fact that the probability of pore nucleation depends not only on the arc elongation but also on the flow of other processes (the growth of droplets on the end of the electrode, the direction of gas flow, etc.).

It is important to note that short-term arc elongation (less than 150 ... 300 ms) does not lead to the formation of pores in all cases, regardless of the degree of arc elongation and the type of electrode.

The data in Table A.1.1 show that almost all the studied electrodes allow us to extend the arc to 25% of the rated voltage. In some cases, the arc can be extended to 40 ... 50% (electrodes ANO-9). Comparison of value δ_u (relative elongation of the

arc) with the duration of short circuits determined using the information-measuring system "Analyzer of non-stationary processes" (ANP) [15] and, as known, characterizing the size of passing drops [16] shows that there is a correlation between these indicators (Figure A.1.6): with an increase in the duration of short circuits, the relative elongation of the arc decreases and vice versa.

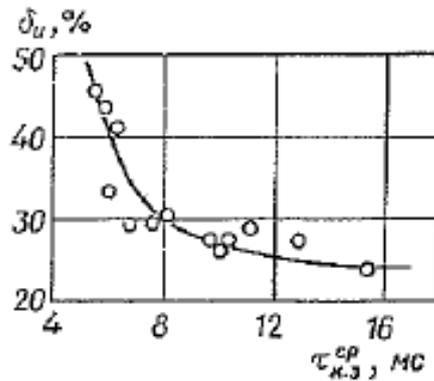


Figure A.1.6 - the relationship of indicators δ_u with duration $\tau_{к.з}^{cp}$

Table A.1.1 - Effect of the duration of short circuits on the degree of arc elongation during welding (average data of 5 experiments) [5]

Electrode brand	$U_{д.н}, V$	$U_{д.н}, V$	$\delta_u \%$	$\tau_{к.з}^{cp}, ms$
ANO-9	22	32	45.5	5.5
DZ	23	33	43.5	5.8
ANODE	24	32	33.5	6.0
OK-53.35	22	31	40.9	6.2
CU-7	24	31	29.2	6.7
UONI-13/45	24	31	29.2	7.5
TMU-21	23	30	30.4	8.1
D 2	22	28	27.3	9.8
ANO-7	23	29	26.1	10.1
CM-11	22	28	27.3	10.4
AT 5	21	27	28.6	11.1

Table continuation A.1.1

E-48.83	22	28	27.3	12.9
D1	21	26	23.8	15.4

Consequently, the use of electrodes that provide coarse metal transfer eliminates a significant lengthening of the arc. However, the nature of the transfer is one of the most important but not the only reason for this phenomenon, since it in its turn depends on the composition of the coating [16]. At the same time, with the change in the composition of the coating the efficiency of gas protection of the electrode metal also changes which also can have a noticeable effect on the pore formation.

As numerous studies have shown, the nature of the transfer of electrode metal during welding with electrodes with the basic coating is determined mainly by the ratio “marble - fluorspar”. The higher the marble content is, the smaller the size of the transitional droplets and the shorter the duration of short circuits is [16]. At the same time electrodes with a high content of marble provide the best gas protection due to the formation of large amounts of CO₂.

Analysis of the oscillograms of the arc voltage corresponding to the initial sections of the weld seams shows that the optimum welding mode is established within 3 ... 5 s depending on the type of electrode. During this period, the first electrode drops pass very slowly, the duration of short circuits in some cases reaches 100 ... 150 ms which can lead to sticking of the electrode. It was found that the larger the average amount of transitional electrode drops at the steady-state welding process, the larger they are during the arc ignition [5].

It should be noted that the electrodes which are characterized by atomizing a metal transfer will come to an optimum melting mode - in about 1.5 seconds (Figure A.1.7, a). For electrodes with a large-drop transfer this period is delayed up to 5 s (Figure A.1.7, b). For all this time, the welder must extend the arc to avoid sticking of the electrode which in turn increases the likelihood of pores.

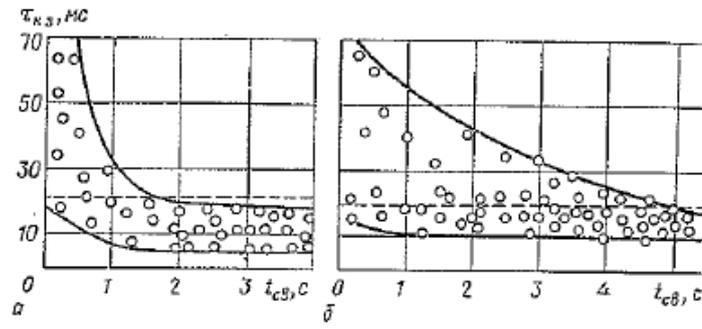


Figure A.1.7 - Statistic data of the change in duration $\tau_{к.3}$ over time in the initial period of welding: a - electrodes UONI-13/55; b - electrodes SM-11