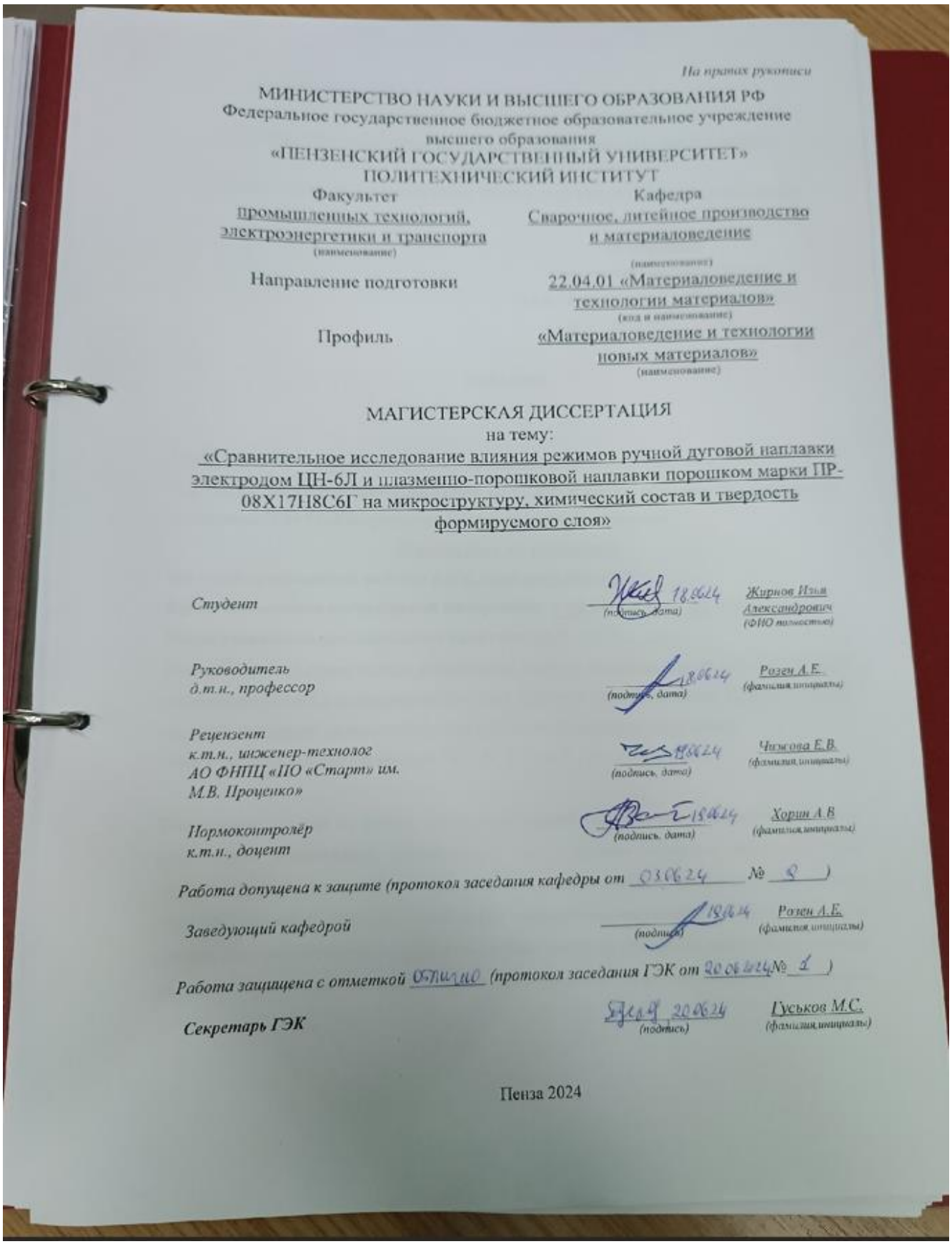


На правах рукописи

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта (наименование)	Кафедра Сварочное, литейное производство и материаловедение (наименование)
Направление подготовки	22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» (код и наименование)
Профиль	«Материаловедение и технологии новых материалов» (наименование)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
на тему:
«Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя»

Студент 18.06.24 (подпись, дата) *Жирнов Илья Александрович* (ФИО полностью)

Руководитель д.т.н., профессор 18.06.24 (подпись, дата) *Розен А.Е.* (фамилия, инициалы)

Рецензент к.т.н., инженер-технолог АО ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко» 18.06.24 (подпись, дата) *Чижова Е.В.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр к.т.н., доцент 18.06.24 (подпись, дата) *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 03.06.24 *№* 8 *)*

Заведующий кафедрой 18.06.24 (подпись) *Розен А.Е.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично *(протокол заседания ГЭК от* 20.06.24 *№* 1 *)*

Секретарь ГЭК 20.06.24 (подпись) *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)

Пенза 2024

ФГБОУ ВО «ПЕНЗИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор _____ А.Е. Розен
«19» сентября 2023 г.

ЗАДАНИЕ
На магистерскую диссертацию

Магистранту гр. 22МТм1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Жирнову Илье Александровичу

Научный руководитель работы: *д.т.н., профессор Розен А.Е.*

Время выполнения магистерской диссертации: с 19.09.2023 по 03.07.2024г.

Место проведения преддипломной практики: *ООО «НТЦ «Сура».*

Тема работы: *«Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя».*

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 943 а/0 от 19.09.2023 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *изучить основные технологические особенности процессов ручного дугового и автоматического плазменно-порошкового способов наплавки; изучить требования нормативно-технической документации к выполнению износостойких поверхностей и последующему контролю; исследовать влияние режимов наплавки на твёрдость, химический состав и микроструктуру формируемого слоя.*

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;

- патентное исследование;

- изучение технологий получения износостойких поверхностей;

- обоснование выбора основных и наплавочных материалов для получения износостойких поверхностей, обоснование выбора методов исследования микроструктуры, химического состава и твёрдости;

- выбор оборудования, применяемого в исследовании;

- экспериментальный раздел – описание результатов исследований;

- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

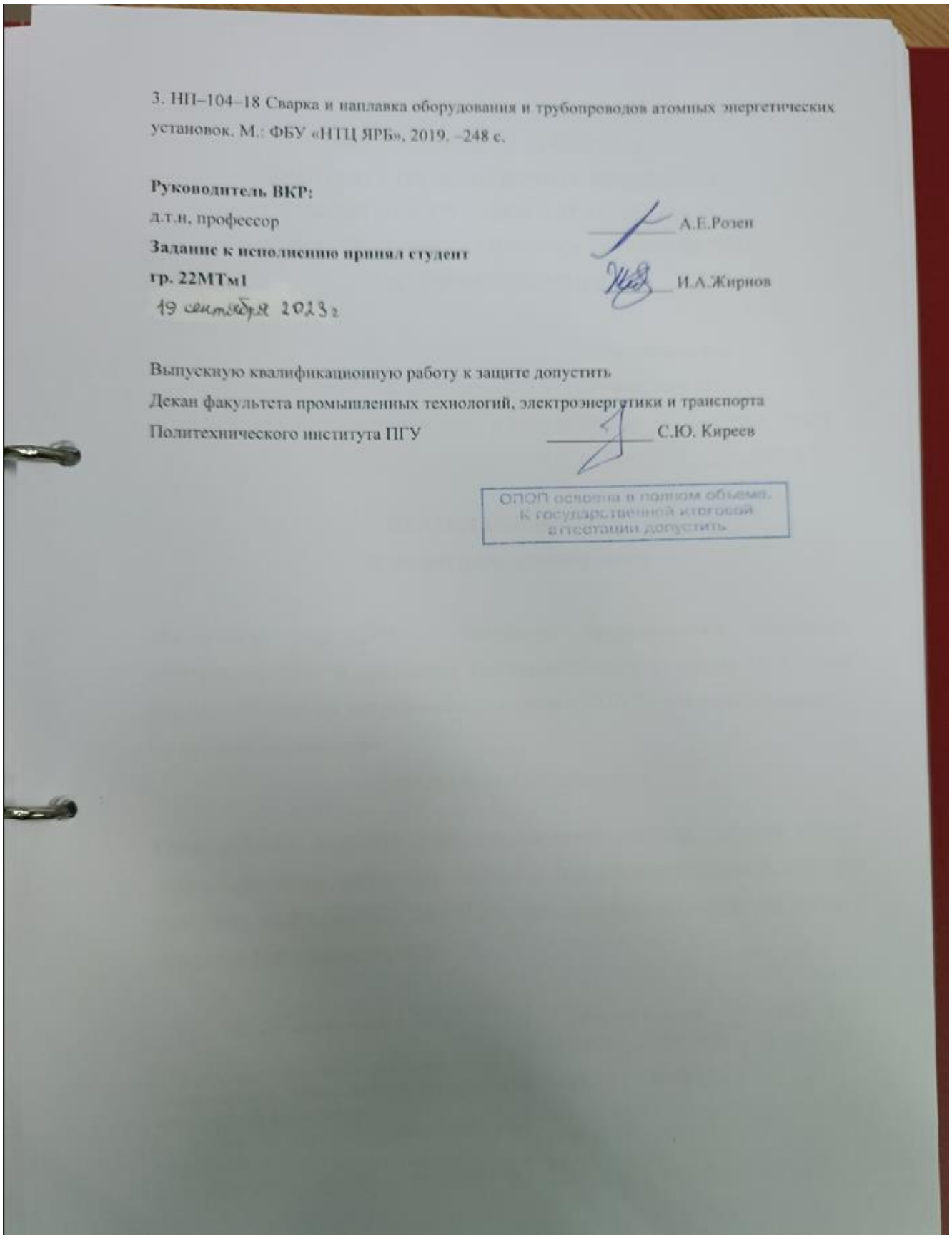
Презентация магистерской диссертации (перечень и содержание плакатов), а также основные выводы по результатам исследования:

- тема магистерской диссертации	1л А4;
- цели и задачи исследования	1л А4;
- нормативно-техническая документация	1л А4;
- патентное исследование	2л А4;
- выбор основного материала	1л А4;
- выбор наплавочного материала	1л А4;
- выбор режимов подогрева и термообработки	2л А4;
- схема наплавки и подготовительные работы	1л А4;
- выбор наплавочного оборудования	1л А4;
- выбор исследовательского оборудования	1л А4;
- анализ полученных результатов	5л А4;
- заключение	1л А4;
- основные публикации по теме работы	1л А4;
- карты технологического процесса наплавки	2л А4.

Рекомендуемая литература:

1. СТ ЦКБА 053–2008 Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования. – М.: НПФ «ЦКБА», 2018. – 65 с.

2. НП–105–18 Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже. М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019. – 106 с.



3. НП–104–18 Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019. –248 с.

Руководитель ВКР:
д.т.н, профессор А.Е.Розен

Задание к исполнению принял студент
гр. 22МТм1 И.А.Жирнов
19 сентября 2023 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить
Декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
Политехнического института ПГУ С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

ФГБОУ ВО «ПЕНЗНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
д.т.н., профессор _____ А.Е. Розен
«19» сентября 2023 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на магистерскую диссертацию

Магистранту гр. 22МТм1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Жирнову Илье Александровичу

Тема работы: «Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя»

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	Начало	Окончание	
1. Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению магистерской диссертации.	19.09.23	29.09.23	выполнено
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	20.11.23	24.11.23	выполнено
3. Изучение объекта исследования,	27.11.23	15.02.24	выполнено

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	Начало	Окончание	
постановка цели и задачи работы. Написание введения.			
4. Выполнение литературно-патентного обзора по исследованию ручной дуговой наплавки и плазменно-порошковой наплавки	16.02.24	29.03.24	
5. Изучение технологий ручной дуговой и плазменно-порошковой наплавки, изучение применяемых материалов и технологических этапов, выбор необходимого технологического оборудования для проведения эксперимента.	01.04.24	30.04.24	
6. Экспериментальная часть работы. Подготовка экспериментальных образцов наплавок, выполненных с помощью ручной дуговой и плазменно- порошковой наплавок. Проведение исследования их твёрдости, химического состава и изучение микроструктуры наплавок.	01.05.24	15.05.24	
7. Завершение оформления пояснительной записки, таблиц, рисунков, схем.	16.05.24	04.06.24	
8. Предварительная защита магистерской диссертации.	05.06.24	05.06.24	
8. Предоставление завершенной магистерской диссертации нормоконтролеру.	17.06.24	18.06.24	
9. Представление магистерской диссертации руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	18.06.24	18.06.24	
11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя).	18.06.24	18.06.24	
12. Защита магистерской диссертации.	20.06.24	03.07.24	

Прохождение каждого этапа подготовки магистерской диссертации подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 22МТм1 _____ Жирнов И.А.

«19» сентября 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

ОТЗЫВ

РУКОВОДИТЕЛЯ О МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистрант: Жирнов Илья Александрович

Группа: 22МТм1

Тема: Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя

Направление подготовки – 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Профиль подготовки – «Материаловедение и технологии новых материалов».

Магистерская диссертация содержит 56 с., 17 рис., 17 табл., 23 использованных источников, приложения состоят из 8 листов.

Предметом исследования являются наплавленные износостойкие поверхности с типом наплавленного металла Э-08Х17Н8С6Г с помощью ручного дугового и автоматического плазменно-порошкового способов.

К задачам магистерской диссертации относятся:

– проведение анализа нормативно-технической документации, литературного и патентного поиска по вопросам влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

– обоснование выбора основного и наплавочных материалов для выполнения наплавки;

– выбор методов и оборудования для исследования микроструктуры, твёрдости и химического состава наплавленных поверхностей;

– проведение исследования влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

– анализ полученных результатов с выводом о перспективности применения исследуемых способов наплавки.

В магистерской диссертации проведено сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя, получены образцы наплавок, исследованы их граница сплавления с основным материалом, твёрдость и химический состав, подобраны режимы ручной дуговой и автоматической плазменно-порошковой наплавки.

В ходе выполнения магистерской диссертации были решены задачи по выбору способа наплавки, выбору режимов наплавки, исследованию микроструктуры, твёрдости и химического состава полученных образцов.

Выбранный способ наплавки, а именно автоматический плазменно-порошковый, позволяет получить износостойкую поверхность более высокого качества в сравнении с ручным дуговым способом.

Жирнов И.А. относится к числу дисциплинированных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно принимать рациональные инженерные решения.

За время выполнения магистерской диссертации Жирнов И.А. показал себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерской диссертации.

Считаю, что магистерская диссертация может быть допущена к защите в ГЭК, а ее автор Жирнов И.А. заслуживает присвоение квалификации магистр по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии

материалов» и профилю подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов».

Отзыв составил
д.т.н., профессор _____ Розен А.Е.

РЕЦЕНЗИЯ

на мастерскую диссертацию студента группы 22МТм1

ФГБОУ ВУ «Пензенский государственный университет»

Жирнова Ильи Александровича

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Направление подготовки – 22.04.01 «Материаловедение и технологии новых материалов»

Тема выпускной квалификационной работы: «Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя»

Пояснительная записка Жирнова И.А. выполнена в соответствии с заданием на магистерскую диссертацию и содержит следующие разделы: введение; литературное и патентное исследование; цели и задачи научного исследования, в данном разделе приведены цели и задачи научного исследования, описана методика проведения эксперимента с указанием схем выполнения наплавок и методика проведения последующего контроля и исследования наплавленных износостойких поверхностей; применяемое оборудование в научном исследовании, в данном разделе приведено наплавочное и исследовательское оборудование с указанием основных технических характеристик; проведение эксперимента, в данном разделе приведены результаты по проведенному исследованию наплавленных поверхностей, а также проведён анализ полученных результатов с выводом о перспективности применения ручного дугового и автоматического-плазменно-порошкового способов наплавки; заключение с обобщением полученных результатов.

На сегодняшний день наплавка износостойких поверхностей является одним из важных специальных процессов в арматуростроении. С ростом автоматизации наплавочных процессов растёт и потребность в создании новых типов наплавочного оборудования. Работа является актуальной в связи с тем, что автоматический плазменно-порошковый способ наплавки позволяет получать наиболее качественные износостойкие поверхности, в сравнении с классическими способами, а именно ручным дуговым способом, при этом затрачивая меньшее количество наплавочных материалов и машинного времени, что приводит к снижению себестоимости производства запорной арматуры.

Пояснительная записка и презентация выполнены в соответствии с ГОСТ и ЕСКД. В презентации магистерской диссертации автор приводит: тема магистерской диссертации; цели и задачи исследования; нормативно-техническая документация; патентное исследование; выбор основного материала; выбор наплавочного материала; выбор режимов подогрева и термообработки; схема наплавки и подготовительные работы; выбор наплавочного оборудования; выбор исследовательского оборудования; анализ полученных результатов; заключение; основные публикации по теме работы;карты технологического процесса наплавки

Замечания по выпускной квалификационной работе: в тексте пояснительной записки магистерской диссертации следовало бы указать разницу затрачиваемого машинного времени на выполнение износостойкой наплавленной поверхности ручным дуговым способом и автоматическим плазменно-порошковым способом.

Магистерская диссертация Жирнова И.А. выполнена на требуемом уровне, соответствует заданию, содержит необходимый наглядный материал. Считаю, что магистерская диссертация может быть допущена к защите в ГЭК,

а ее автор заслуживает присвоения квалификации магистра по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии новых материалов».

к.т.н., инженер-технолог Чижова Е.В.

АО ФНИЦП «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»

Ректору Пензенского государственного
университета А.Д. Гулякову
студента 2 курса магистратуры
ФПГЭТ очной формы обучения
Жирнова Ильи Александровича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Жирнов Илья Александрович, студент 2 курса магистратуры очной формы обучения направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиля подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» магистерской диссертации на тему «Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов антиплагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры» СТО ПГУ 3.12-2018, согласно которому обнаружение плагиата является основанием недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

(подпись студента)

18.06.2024г
(дата)

ВКР представлена на проверку 18.06.2024г
(дата)

Руководитель ВКР _____ Розен А.Е
Подпись И.О. Фамилия

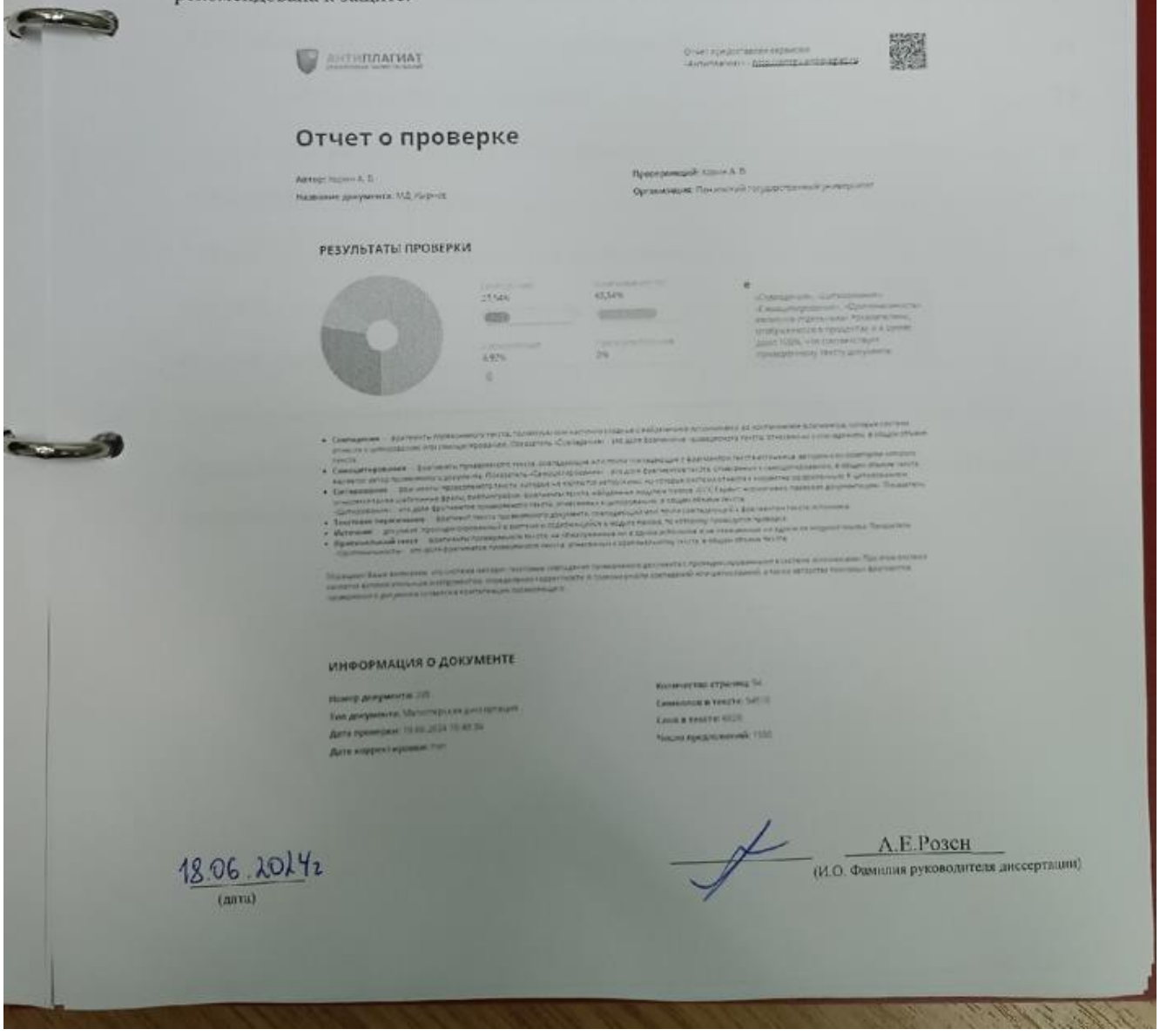
Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя».
магистранта 2 курса **Жирнова Ильи Александровича**
(И.О. Фамилия)

направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов».

Руководитель магистерской диссертации: **Розен Андрей Евгеньевич д.т.н., профессор кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение»**

Результат проверки на плагиат магистерской диссертации Жирнова Ильи Александровича составляет 65,54 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Магистерская диссертация может быть рекомендована к защите.


АНТИПЛАГИАТ

Отчет о проверке

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

18.06.2024г
(дата)

А.Е.Розен
(И.О. Фамилия руководителя диссертации)

Оглавление

Введение 3

1 Литературное и патентное исследование 6

1.1 Патентный поиск 6

1.2 Литературный обзор 10

2 Методика проведения эксперимента 17

2.1 Цель и задача научного исследования 17

2.2 Обоснование выбора основного и наплавочных материалов 17

3 Применяемое оборудование в научном исследовании 24

3.1 Наплавочное оборудование 24

3.2 Исследовательское оборудование 29

4 Проведение эксперимента 35

5 Анализ полученных результатов эксперимента 40

Заключение 46

Список литературы 48

Приложение А Технологическая карта наплавки ручным дуговым способом 52

Приложение Б Технологическая карта наплавки автоматическим плазменно-порошковым способом 56

Введение

На сегодняшний день в арматуростроении существует необходимость в создании уплотнительных поверхностей в различных узлах изделий для поддержания герметичности, уменьшения износа, увеличения долговечности и жизненного цикла деталей таких как, например, клин и кольцо задвижек клиновых штампосварных и т.п. Для создания такого рода уплотнительных поверхностей при производстве трубопроводной арматуры требуется осуществить подбор высокотехнологичного оборудования, которое обеспечит качество наплавленной поверхности [1].

Уплотнительная (наплавленная) поверхность представляет собой наплавленный на заготовку будущей детали металл определенной твёрдости с помощью различных способов сварки/наплавки. В зависимости от геометрических параметров наплавляемых поверхностей, целесообразности применения того или иного наплавочного материала, его наличия на рынке для покупки и оснащённости завода-изготовителя, инженерами по сварке подбираются оптимальные способы наплавки такие как: ручная дуговая наплавка покрытыми электродами; механизированная сварка/наплавка в среде защитных газов; автоматическая сварка под слоем флюса; автоматическая плазменно-порошковая наплавка и так далее [2].

Автоматическая плазменно-порошковая наплавка является прогрессивным методом. Его активное внедрение на заводы-изготовители привело к развитию рынка порошковых металлических материалов [3].

Внедрение автоматических способов наплавки, в частности, автоматической плазменно-порошковой наплавки обусловлено тенденцией повышения качества наплавленных поверхностей, экономии наплавляемого материала и снижения влияния роли работника на технологический процесс.

Наплавка износостойких поверхностей является одним из важных процессов в арматуростроении. С ростом автоматизации наплавочных процессов растёт и потребность в создании новых типов наплавочного оборудования. В данной магистерской диссертации рассматривается ручной дуговой способ и

автоматический плазменно-порошковый способ наплавки, позволяющий получать наиболее качественные износостойкие поверхности, в сравнении с классическими способами, а именно ручным дуговым способом, при этом затрачивая меньшее количество наплавочных материалов [4].

Задачи:

– проведение анализа нормативно-технической документации, литературного и патентного поиска по вопросам влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

– обоснование выбора основного и наплавочных материалов для выполнения наплавки;

– выбор методов и оборудования для исследования микроструктуры, твёрдости и химического состава наплавленных поверхностей;

– проведение исследования влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

– анализ полученных результатов;

– вывод о перспективности применения исследуемых способов наплавки.

Методы исследования – метод определения твёрдости по Роквеллу, стилоскопирование наплавленных поверхностей, металлографические исследования.

Новизна магистерской диссертации заключается в следующем:

– внедрение автоматического плазменно-порошкового способа наплавки на производственные площади заводов изготовителей трубопроводной арматуры с целью уменьшения машинного времени на выполнение наплавки, снижение расходов на наплавочные материалы засчёт достижения заданной твёрдости и химического состава на более низких слоях в сравнении с ручным дуговым способом;

– разработка и внедрение технологии автоматической плазменно-порошковой наплавки с подбором режимов наплавки, высоты наплавленного слоя, раскладки наплавленных валиков с целью достижения заданной твёрдости на наиболее минимальной высоте наплавленного слоя.

Практическая и теоретическая значимость – результаты исследования были представлены на научно-практических конференциях, также опубликованы в журналах РИНЦ.

Основные положения, выносимые на защиту:

– исследование твёрдости на различных слоях наплавленной поверхности;

– металлографическое исследование линии сплавления основного металла с наплавленным металлом;

– исследование химического состава наплавленных поверхностей.

1 Литературное и патентное исследование

1.1 Патентный поиск

Патентное исследование – это исследование технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению) на основе патентной и другой информации.

В данном патентном исследовании рассматривается, технологический процесс наплавки автоматическим плазменно-порошковым способом.

Патентное исследование подразделяется на несколько этапов:

– составляется задание;

– разрабатывается регламент поиска;

– обосновывается индекс международной патентной классификации;

– систематизируется и анализируется отобранная информация;

– обобщаются результаты;

– разрабатываются рекомендации;

– составляется отчёт.

Целью данного патентного исследования является исследование технического уровня и тенденции развития оборудования для плазменно-порошковой наплавки. В частности, рассматриваются различные приспособления и полезные модели, а также сплавы на основе железа для плазменно-порошковой наплавки. Регламент поиска состоит из:

– определения вида поиска;

– его глубины или ретроспективности (количества лет);

– также в регламенте поиска указывается перечень стран ограничивающие объём поиска, выбираются источники информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК.

Дата составления регламента – 15.05.2024.

Объект поиска – приспособления и полезные модели, а также сплавы для плазменно-порошковой наплавки.

Начало поиска – 15.05.2024.

Завершение поиска – 30.05.2024

Страны поиска – Россия.

Ретроспективность – 10 лет.

Регламент поиска указан в таблице 1.

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
Электродуговая сварка или резка, вспомогательные устройства	*B*23*K* 9/32	Россия	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Присадочные прутки, электроды, материалы или среды, применяемые при пайке, сварке или резке с основным компонентом, плавящимся при температуре ниже 1550°C	*B*23*K* 35/30	Россия	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Сварка или резка с использованием плазмы, плазменная сварка	*B*23*K* 10/02	Россия	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Способы покрытия путем распыления материала в расплавленном состоянии, например пламенное, плазменное или дуговое напыление, плазменное напыление	*C*23*C* 4/134	Россия	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

В ходе патентного исследования было выявлено несколько объектов изобретений, подходящих под направление поиска:

а) *B*23*K* 9/32 – порошковый питатель для плазменно-порошковой наплавки;

б) *B*23*K* 35/30, *C*22*C* 38/36, *B*22*F* 3/105 – порошковый сплав на основе железа для износостойкой наплавки и напыления;

в) *B*23*K* 10/02, *B*23*K* 9/04, *C*23*C* 4/12 – способ плазменной наплавки порошков системы Fe-Cr-V-Mo-C;

г) *C*23*C* 4/134, *H*05*H* 1/42 – плазмотрон для плазменно-селективного припекания металлических порошков;

д) *C*23*C* 4/131, *B*23*K* 9/04, *C*23*C* 4/08, *C*22*C* 38/12 – композиции износостойких сплавов на основе железа, включающие никель.

Результаты патентного исследования с описанием изобретений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты патентного исследования

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Электродуговая сварка или резка, вспомогательные устройства	Россия, *RU* 2607679 *C*1, *B*23*K* 9/32	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Россия, 2015133779, 2015.08.12	«Порошковый питатель для плазменно-порошковой наплавки» [5]
Присадочные прутки, электроды, материалы или среды, применяемые при пайке, сварке или резке с основным компонентом, плавящимся при	Россия, *RU* 2607066 *C*2, *B*23*K* 35/30, *C*22*C* 38/36, *B*22*F* 3/105	Общество с ограниченной ответственностью «ПлазмоТех-МГТУ», Россия, 2015108589, 2015.03.11	«Порошковый сплав на основе железа для износостойкой наплавки и напыления» [6]

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
температуре ниже 1550 °C			
Сварка или резка с использованием плазмы, плазменная сварка	Россия, *RU* 2557180 *C*1, *B*23*K* 10/02, *B*23*K* 9/04, *C*23*C* 4/12	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 2014110552/02, 2014.03.19	«Способ плазменной наплавки порошков системы Fe-Cr-V-Mo-C» [7]
Способы покрытия путем распыления материала в расплавленном состоянии, например пламенное, плазменное или дуговое напыление, плазменное напыление	Россия, *RU* 2705847 *C*1, *C*23*C* 4/134, *H*05*H* 1/42	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, 2018145592, 2018.12.21	«Плазмотрон для плазменно-селективного припекания металлических порошков» [8]

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Способы покрытия путем распыления материала в расплавленном состоянии, например пламенное, плазменное или дуговое напыление, плазменное напыление	Россия, *RU* 2759923 *C*1, *C*23*C* 4/131, *B*23*K* 9/04, *C*23*C* 4/08, *C*22*C* 38/12	ХЕГАНЕС АБ (ПАБЛ), Россия, 2021102179, 2019.06.25	«Композиции износостойких сплавов на основе железа, включающие никель» [9]

Анализируя полученные в ходе патентного исследования результаты, можно сделать вывод, что с каждым днём предлагаются всё новые виды приспособлений для плазменно-порошковой наплавки и новые сплавы на основе железа и никеля, которые служат для увеличения качества наплавляемых поверхностей, а также для снижения затрат времени на производство наплавляемых поверхностей путём введения новых более удобных видов оборудования.

1.2 Литературный обзор

Наплавка представляет собой нанесение слоя металла или сплава на поверхность изделия посредством сварки плавлением [10].

Основной металл служит для обеспечения заданной конструкционной прочности изделия, а формируемый слой при наплавке износостойких покрытий обеспечивает поверхностный слой необходимыми для работы изделия свойствами.

Износостойкое покрытие придаёт поверхности такие свойства как:

а) износостойкость;

б) жаростойкость;

в) жаропрочность;

г) коррозионную стойкость.

К наплавке уплотнительных поверхностей предъявляются следующие требования [6]:

а) обеспечение минимальных припусков на последующую механическую обработку;

б) минимизация остаточных напряжение на границе сплавления основного металла с наплавочным материалом;

в) минимизация смешения наплавочного материала с основным путём уменьшения глубины проплавления.

Существуют различные ручные и автоматические способы наплавки. Среди них выделяют [10]:

а) ручная дуговая наплавка покрытыми электродами;

б) автоматическая наплавка под слоем флюса проволокой сплошного сечения или порошковой проволокой;

в) автоматическая аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом;

г) автоматическая плазменно-порошковая наплавка;

д) лазерная наплавка;

е) газопламенная наплавка.

В данной диссертации рассматриваются два способа наплавки: ручная дуговая наплавка покрытыми электродами и автоматическая плазменно-порошковая наплавка.

Наиболее часто применяемым способом наплавки является ручная дуговая наплавка покрытыми электродами, так как обладает высокой универсальностью применения и удобством в транспортировке [11].

Защита от окисления и введение легирующих элементов в сварочную ванну происходит засчёт покрытия электродов, в котором содержится необходимые химические элементы.

Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами отличается низкой стоимостью оборудования, возможностью выполнения наплавки вручную.

Схема выполнения ручной дуговой наплавки представлена на рисунке 1.

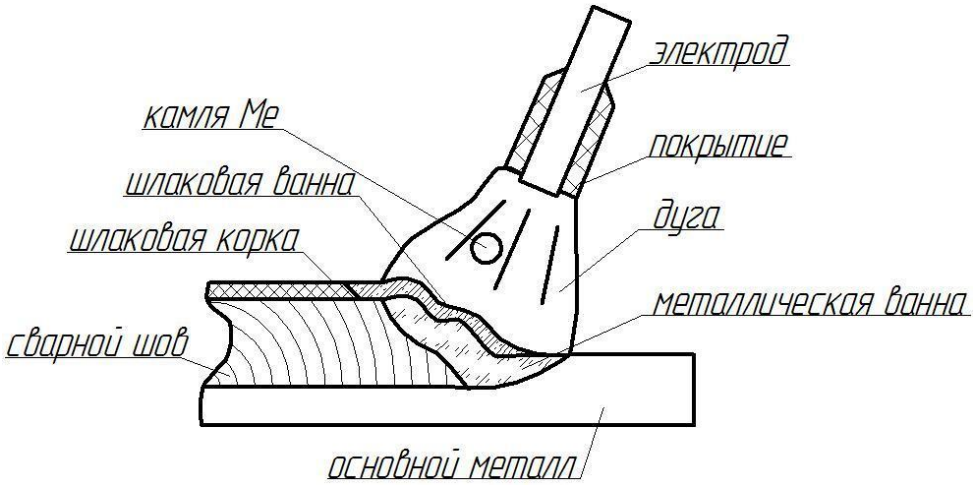


Рисунок 1 – Схема ручной дуговой наплавки покрытым электродом

Физико-механические свойства наплавленного металла в основном определяются его химическим составом и термообработкой. Химический состав наплавленного металла изменяется за счет введения легирующих компонентов. Наиболее дешевыми и доступными из них являются углерод, марганец, хром, кремний, титан и бор. Они повышают твердость и износостойкость металла при истирании. Марганец и хром при введении их в малоуглеродистую сталь в количестве от 8 до 27 % повышают ее износостойкость в 4 раза.

При ручной дуговой наплавке покрытыми электродами легирование наплавленного валика осуществляется либо через электродное покрытие, в состав которого входят легирующие компоненты, либо с помощью электродного стержня, изготовленного из легированной сварочной проволоки.

Электроды для наплавочных работ в зависимости от химического состава и твердости наплавленного металла делятся на типы, а в зависимости от химического состава покрытия – на марки.

Электроды, применяемые для наплавочных работ, разделяют на следующие группы:

а) для наплавки деталей, работающих на износ при обычных температурах, применяют электроды ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350, 03Н-400, Т-590, ЦН-250;

б) для наплавки деталей, работающих на износ при повышенных температурах, применяют электроды ЦШ-1, ЦШ-2, ЦШ-3, ЦН-4, ЦН-5, 03Н-1, НЖ-2, ЭН-60М;

в) электроды для наплавки режущего инструмента: ЦН-1М, Т-216, Т-268, Т-293, ОЗИ-5, ОЗИ-6;

г) электроды, предназначенные для наплавки эрозионно-стойких поверхностей деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах: ЦН-2, ЦН-3, ЦН-6, ЦН-8, ЦН-12. Применяются для наплавки деталей арматуры паровых котлов, насосов и турбин парогенераторов. В наплавленном слое такие электроды дают структуру стеллитов или сормайтов;

д) электроды, предназначенные для сварочных работ: ЦМ-7, УОНИ 13/45, МР-3, АНО-4.

Плазменно-порошковая наплавка – механизированный или автоматический процесс, при котором источником теплоты служит сжатая дуга (плазма), а присадочным материалом – гранулированные металлические порошки, которые подаются в плазмотрон транспортирующим газом с помощью специального питателя [12]. Процесс плазменно-порошковой наплавки отличается уникальными технологическими возможностями.

Схема процесса плазменно-порошковой наплавке изображена на рисунке 2.

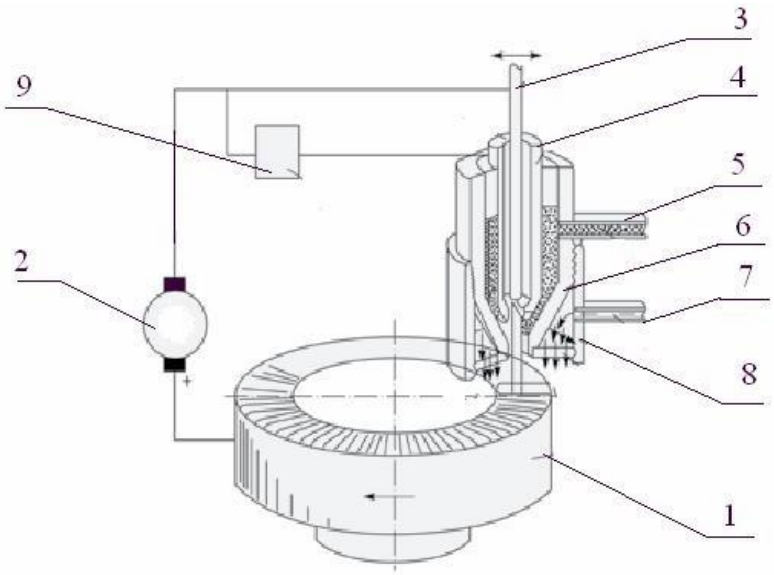


Рисунок 2 – Схема плазменно-порошковой наплавки: 1 – изделие; 2 – источник питания плазменной дуги; 3 – вольфрамовый электрод; 4 – стабилизирующее сопло плазмотрона; 5 – ввод транспортирующего газа с порошком; 6 – фокусирующее сопло; 7 – ввод защитного газа; 8 – защитное сопло; 9 – устройство поджига дуги

Малая глубина проплавления основного металла, прецизионная точность, высокая культура производства и возможность наплавки самых разнообразных сплавов – все это делает его незаменимым при наплавке клапанов ДВС, запорной арматуры, шнеков экструдеров и термопластавтоматов, инструмента и многих других деталей. Для плазменно-порошковой наплавки используется специализированное оборудование, состоящее из источника питания плазмы, плазмотрона, устройства для подачи порошка, пульта управления, блока охлаждения и газобаллонной арматуры. Присадочным материалом служит мелкозернистый порошок износостойких, коррозионностойких и других сплавов на основе Fe, Ni, Co и C [12].

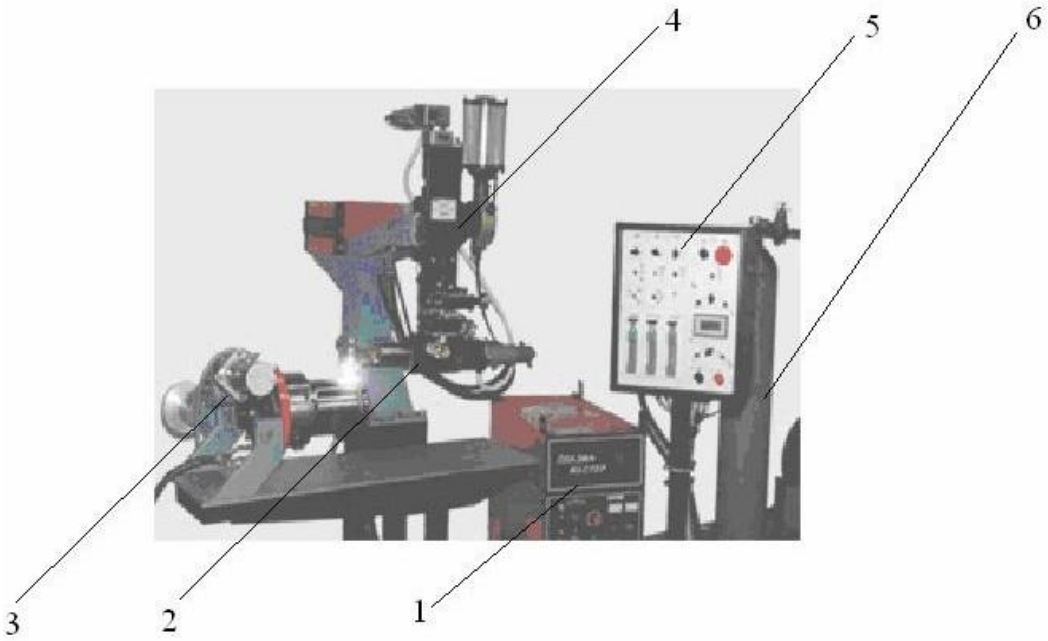


Рисунок 3 – Схема установки для плазменно-порошковой наплавки: 1 – источник питания; 2 – плазмотрон; 3 – манипулятор-вращатель; 4 – механизм регулировки плазмотрона и подачи порошка; 5 – пульт управления; 6 – баллон с аргоном

Благодаря возможности регулирования в широком диапазоне соотношения между тепловой мощностью дуги и подачей присадочного порошка плазменно-порошковая наплавка обеспечивает достаточно высокую производительность при минимальном проплавлении основного металла, что позволяет обеспечивать требуемую твердость и заданный химический состав наплавленного металла уже на расстоянии от 0,3 до 0,5 мм от поверхности сплавления. Это дает возможность ограничиться однослойной наплавкой там, где электродуговым способом необходимо наплавить от трёх до четырёх слоёв.

Важной особенностью плазменно-порошковой наплавки является отличное формирование наплавленных валиков, стабильность и хорошая воспроизводимость их размеров. Установлено, что у 95 % наплавленных деталей отклонение толщины наплавленного слоя от номинального размера не превышает 0,5 мм. Это позволяет существенно сократить расход наплавочных материалов, время наплавки, а также затраты на механическую обработку наплавленных деталей.

Плазменно-порошковая наплавка обеспечивает высокую работоспособность деталей за счет отличного качества наплавленного металла, его однородности, а также благоприятной структуры, определяемой специфическими условиями кристаллизации металла сварочной ванны [12].

Основные преимущества плазменно-порошковой наплавки:

а) высокая производительность (до 10 кг/ч);

б) высокое качество наплавленного металла;

в) малая глубина проплавления основного металла (до 5 %);

г) минимальные потери присадочного материала;

д) возможность наплавки относительно тонких слоев (от 0,5 до 5,0 мм).

2 Методика проведения эксперимента

2.1 Цель и задача научного исследования

К наплавочным поверхностям трубопроводной арматуры предъявляются следующие требования:

а) коррозионная стойкость;

б) износостойкость;

в) долговечность;

д) экономичность.

Наплавочные материалы для последующей наплавки деталей трубопроводной арматуры, например, клин и корпус (кольца) штампосварной задвижки, выбирают по рабочим условиям эксплуатации с учетом этих и дополнительных требований, зависящих от их назначения, конструктивных особенностей и размеров изделия.

Целью научного исследования является проведение сравнительного анализа влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя.

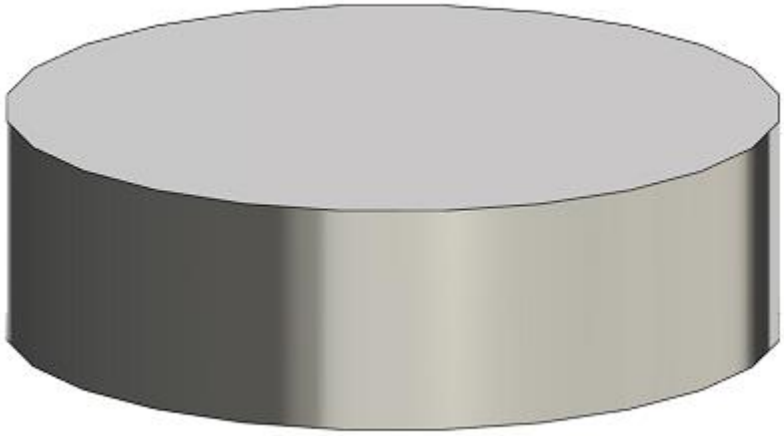
Задачей научного исследования является выявление наиболее оптимальных режимов и способа наплавки, позволяющие получать наиболее стабильную твёрдость и химический состав на заданной высоте наплавки.

Результатом научного исследования будет являться выбор наиболее оптимальных режимов и способа для наплавки износостойких поверхностей деталей трубопроводной арматуры, которые обеспечат необходимую стабильную твёрдость и химический состав поверхности на заданной высоте наплавки.

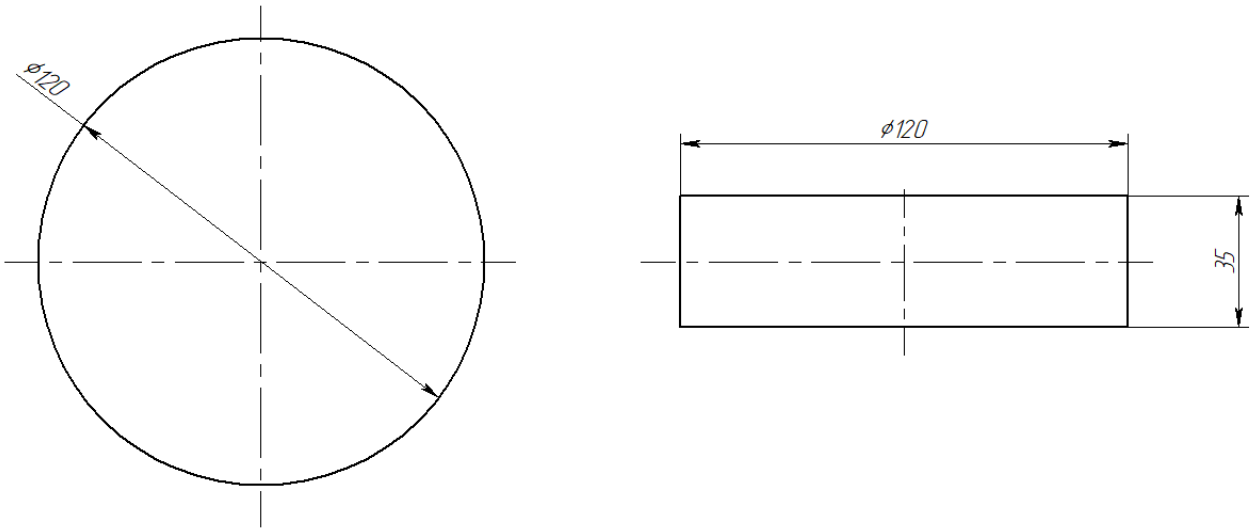
2.2 Обоснование выбора основного и наплавочных материалов

Для проведения научного исследования по подбору наиболее оптимальных режимов и способа наплавки необходимо осуществить выбор образцов. Образцы

представляют собой плоский диск из стали 20 диаметром 120 мм и толщиной 35 мм. Схема образцов представлена на рисунке 4.



а)



б)

Рисунок 4 – Схема образцов для наплавки: а) – 3*D*- модель; б) – конструктивные элементы и размеры образца диска

Химический состав стали 20 по кошевой пробе согласно ГОСТ 1050 – 2013 «Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия» [13] должен соответствовать значениям, приведённым в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 20 по кошевой пробе

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
				не более				
20	0,17…0,24	0,17…0,37	0,35…0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

Предлагается использовать по одному образцу на каждый способ наплавки, то есть один диск для ручной дуговой наплавки и один диск для плазменно-порошковой наплавки.

При ручном дуговом способе наплавки необходимо использовать покрытые электроды марки ЦН-6Л Ø 5,0 мм по ГОСТ 10051–75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы» [14], а при плазменно-порошковом способе – порошок марки ПР-08Х17Н8С6Г по ТУ 14–22–250–2013 «Порошки для наплавки марок ПР-08Х17Н8С6Г (ЦН-6Л), ПР-10Х18Н9М5С5Г4Б (ЦН-12М)» [15] с фракцией от 63 до 125 мкм.

Основное назначение электродов марки ЦН-6Л – это наплавка с помощью ручного дугового способа уплотнительных поверхностей деталей арматуры, работающих при температуре до 570 °С и давлении до 80 МПа.

Наплавочный порошок износостойкого сплава марки ПР-08Х17Н8С6Г, разработан как аналогичный материал электродам ЦН-6Л и предназначен для наплавки с более высоким качеством получаемой поверхности деталей арматуры атомных электростанций.

Химический состав и твёрдость наплавленного металла электродами марки ЦН-6Л согласно СТ ЦКБА–053–2008 «Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования» [16] должны соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав и твёрдость наплавленного металла электродами марки ЦН-6Л

Марка материала	Массовая доля элементов, %										*HRC*
	C	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	Nb	Прочие элементы	S	P	
									не более		
ЦН-6Л	0,05…0,12	5,2…6,0	15,5…17,5	1,0…2,0	7,0…9,0	-	-	-	0,025	0,030	29,5…39,0

Химический состав и твёрдость наплавленного металла порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г согласно НП–105–18 «Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже» [17] должны соответствовать таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав и твёрдость наплавленного металла порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г

Марка материала	Массовая доля элементов, %											*HRC*
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	Co	Nb	S	P	
ПР-08Х17Н8С6Г	0,05 …0,12	5,5…6,4	1,0…2,0	17,0…18,4	7,5…9,0	-	основа	≤0,2	-	≤0,025	≤0,030	30…39

При наплавке электродами марки ЦН-6Л согласно СТ ЦКБА 053–2008 [16] должен осуществляться предварительный подогрев образцов. Режимы предварительного подогрева указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Режимы предварительного подогрева при использовании электродов марки ЦН-6Л

Марка стали наплавляемой детали	Марка наплавочного материала	Температура предварительного подогрева, °С
20	ЦН-6Л	200…300

При наплавке порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г согласно НП–104–18 «Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» [18] должен осуществляться предварительный подогрев образца.

Режимы предварительного подогрева указаны в таблице 6.

Таблица 6 – Режимы предварительного подогрева при использовании наплавочного порошка марки ПР-08Х17Н8С6Г

Марка стали наплавляемой детали	Марка наплавочного материала	Температура предварительного подогрева, °С
20	ПР-08Х17Н8С6Г	150…350

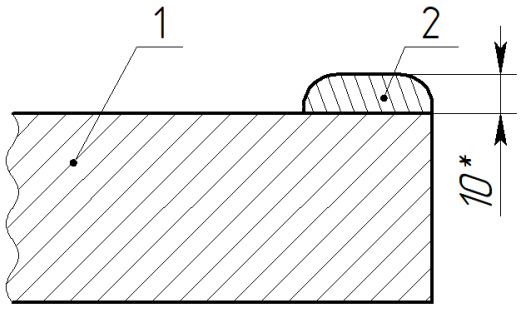
После выполнения наплавки согласно СТ ЦКБА 053–2008 [16] и НП–104–18 [18] образцы необходимо подвергнуть термической обработке на режимах, указанных в таблице 7.

Таблица 7 – Режимы термообработки образцов, наплавленных электродами марки ЦН-6Л и наплавочным порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г

Марка стали наплавляемой детали	Марки наплавочных материалов	Режим термообработки непосредственно после наплавки
20	ЦН-6Л	Загрузка в печь при температуре не ниже температуры предварительного подогрева. Нагрев до температуры 600…650 °С, выдержка при температуре 2…3 ч; охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе
20	ПР-08Х17Н8С6Г	Загрузка в печь при температуре не ниже температуры предварительного подогрева; нагрев до температуры 625…655 °С со скоростью, определяемой мощностью печи; выдержка 2…3 часа; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи

После проведения термической обработки необходимо произвести механическую обработку образцов.

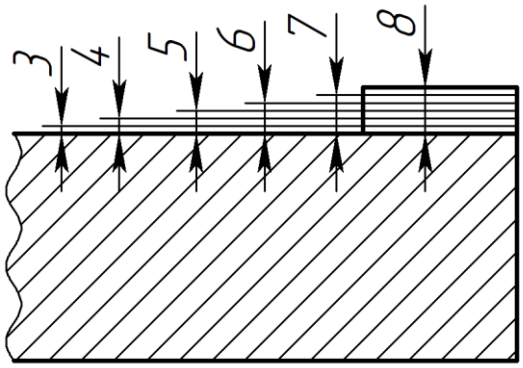
Для качественного описания распределения твердости и химического состава на различных высотах наплавки предлагается полученные наплавки механически обработать до высот от 3 до 8 мм с шагом в 1 мм, предварительно разрезав диски на 6 частей. Схема наплавки образцов и их последующая механическая обработка представлена на рисунке 5.



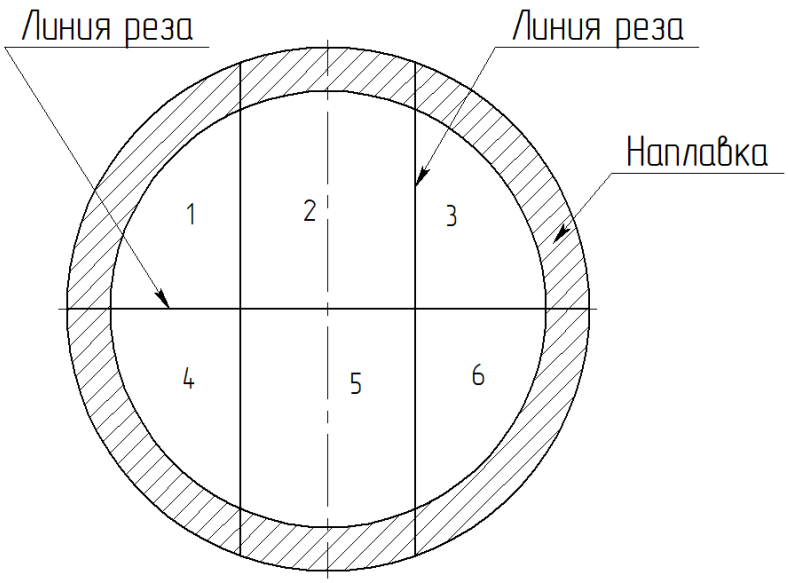
1 – основной материал (диск);

2 – наплавка.

а)



б)



в)

Рисунок 5 – Схема наплавки образцов: а) – схема наплавки без механической обработки; б) – механическая обработка наплавленной поверхности; в) – схема вырезки образцов

На полученных высотах наплавленных поверхностей необходимо провести замер твёрдости и стилоскопирование, а также с помощью микроскопа определить глубину проплавления в основной металл.

Замер твёрдости производится по ГОСТ 9013–59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу» [19]. На каждой из высот в диапазоне от 3 до 8 мм с шагом в 1 мм необходимо выполнить 5 замеров твёрдости и привести среднее значение.

Стилоскопирование необходимо проводить по РД 26.260.15–2001 «Стилоскопирование основных и сварочных материалов и готовой продукции» [20] аналогично процедуре замера твердости. На каждой из высот в диапазоне от 3 до 8 мм с шагом в 1 мм необходимо произвести замер химического состава на наличие химических элементов в наплавке согласно таблицам 3 и 4.

Полученные результаты исследования представлены в разделе 4 настоящей магистерской диссертации.

3 Применяемое оборудование в научном исследовании

3.1 Наплавочное оборудование

Для проведения опытных работ по наплавке порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г будет использоваться установка для автоматической плазменно-порошковой наплавки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant*.

Установка предназначена для автоматической наплавки плазменной дугой прямого действия на прямой полярности износостойкими и коррозионностойкими материалами уплотнительных и трущихся поверхностей вращения деталей запорной арматуры (дисков, седел, клиньев).

Способ наплавки – кольцевыми валиками с автоматическим отшагиванием сварочного инструмента по вертикали и/или горизонтали при завершении оборота изделия на предустановленный угол с поперечными колебаниями или без, при вертикальной оси вращения планшайбы вращателя.

Конструкция установки обеспечивает наплавку изделий, предварительно подогретых до температуры 600 °С вне установки. Установка и реализуемая в ней технология наплавки деталей трубопроводной арматуры обеспечивает:

а) получение износостойких поверхностей с заданной твердостью и химическим составом на высоте от 3,0 мм и выше;

б) предварительный и сопутствующий подогрев наплавляемого изделия непосредственно на установке до заданной температуры с помощью термо-крышки;

в) автоматический цикл процесса наплавки.

Питание электрооборудования установки осуществляется от трёхфазной сети переменного тока напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Установка для автоматической плазменно-порошковой наплавки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant* представлена на рисунке 6 [21].

Характеристики наплавляемых изделий на установке модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant* представлены в таблице 8.

Рисунок 6 – Установка для автоматической плазменно-порошковой наплавки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant*

Таблица 8 – Характеристики наплавляемых изделий на установке модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant*

Характеристика	Значение
Масса, кг	до 2000
Диаметр изделий, мм	110…1600
Ширина наплавки, мм	до 60
Толщина наплавленного слоя (после механической обработки), мм	2,5…4,0
Материал изделий	Кремне-марганцовистые, углеродистые, теплоустойчивые хромомолибденовые стали, нержавеющие аустенитные и другие стали, а также их зарубежные аналоги
Материал наплавки	Материалы на кобальтовой основе (стеллиты), никелевой основе (ПР-НХ15СР2, ПР-НХ16СР3), железной основе (ЦН-6, ЦН-12 и др)

Продолжение таблицы 8

Характеристика	Значение
Вид присадочного материала	Мелкодисперсный порошок российского и зарубежного производства фракцией 50…200 мкм

Технические характеристики установки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant* представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики установки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant*

Характеристика	Значение
Грузоподъёмность, кг	2000
Крутящий момент на оси вращателя, Н·м	не менее 500
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,005…1,5
Высота от уровня пола до опорной поверхности планшайбы, мм	900
Угол установочного ступенчатого наклона рабочей плиты приспособления от плоскости, перпендикулярной оси вращения шпинделя поворотного стола, град	0, 3, 5, 6, 10
Горизонтальный ход подвесной автоматической наплавочной головки, мм	1350
Вертикальный ход подвесной автоматической наплавочной головки, мм	1200
Маршевая скорость горизонтального перемещения подвесной автоматической наплавочной головки, мм/мин	2000
Маршевая скорость вертикального перемещения подвесной автоматической наплавочной головки, мм/мин	1600

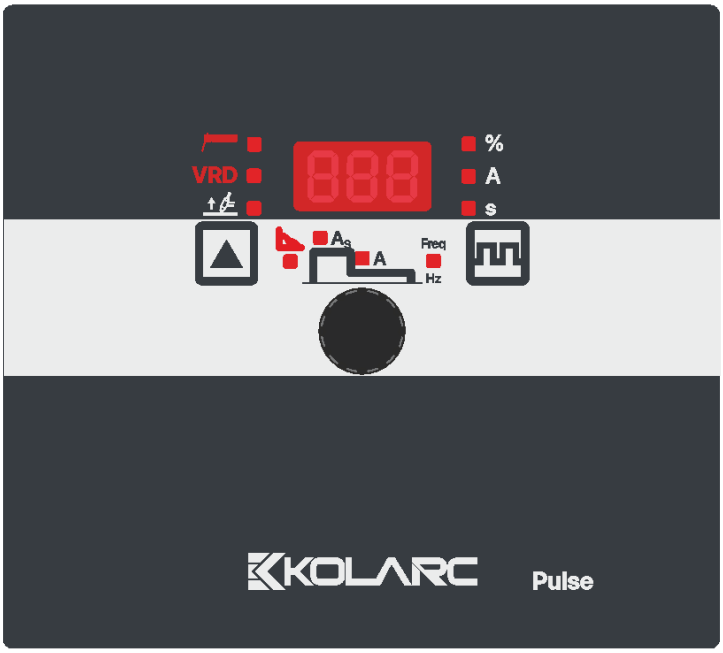
Продолжение таблицы 9

Характеристика	Значение
Параметры поперечных колебаний плазмотрона: - скорость, м/ч - размах, мм	 0…180 ±25
Напряжение холостого хода, В	70…80
Диапазон регулирования тока прямой дуги, А	50…350
Диапазон регулирования тока косвенной дуги, А	30…50
Номинальный ток, А (при ПВ-100%)	не менее 300
Общий расход аргона, л/мин	не более 17
Производительность процесса наплавки, кг/ч	до 8
Фракция порошка, мкм: - внутренняя система - внешняя система	 63…200 53…150
Объём подачи порошка, кг/час	0,5…6,0
Объём бункеров (2 шт.) питателей, л	по 3,5
Система ввода порошка в дугу	внутренняя и внешняя (сопловая)
Температура предварительного и сопутствующего подогрева наплавляемой детали непосредственно на установке до температуры, °С	200…300
Поддержание температуры наплавляемой дели, °С	150..450
Точность поддержания заданной температуры не грубее, °С	±50
Ток питающей сети: - напряжение, В - частота, Гц	 380 50
Максимальная потребляемая мощность, кВт	не более 80
Габаритные размеры, (Д×Ш×В) мм	4280×3075×3310
Масса, кг	4650

Для наплавки образца электродом марки ЦН-6Л будет использоваться сварочный инвертор модели ТЕНА *SX*270 *Partner* [22].

Сварочный инвертор модели ТЕНА *SX*270 *Partner* показан на рисунке 7.

а)



б)

Рисунок 7 – Сварочный инвертор модели ТЕНА *SX*270 *Partner*: а) общий вид; б) панель управления

Технические характеристики сварочного инвертора модели ТЕНА *SX*270 *Partner* указаны в таблице 10 [22].

Таблица 10 – Технические характеристики сварочного инвертора модели ТЕНА *SX*270 *Partner* [22]

Характеристика	Значение
Серия	*SX*
Вид сварки	*MMA* – основной, *LiftTIG* – дополнительный
Напряжение сети, В	380
Напряжение холостого хода, В	75, в режиме *VRD* 14
Пределы регулировая тока, А	10…270
ММА ПН при +40 °С	225/60; 180;100
Особенности	Регулируемые функции: *HotStart, Antistick, ArcForce, VRD, LiftTIG Pulse*
Диаметр электрода, мм	1,6…5,0
Дисплей	Один семисегментный, 3-х разрядный, красный
Класс защиты	*IP* 21*S*
Габаритные размеры, (Д×Ш×В) мм	560×220×400
Масса, кг	21,6

Таким образом, технические характеристики выбранного наплавочного оборудования позволяют выполнить износостойкие поверхности (наплавки) согласно эскизу наплавки, представленном на рисунке 5.

3.2 Исследовательское оборудование

В качестве оборудования для исследования зоны сплавления основного металла образца и металла наплавки будет использован микроскоп марки Альтами МЕТ 6С, который оснащён объективом для вывода изображения на компьютер. Микроскоп марки Альтами МЕТ 6С представлен на рисунке 8.

Рисунок 8 – Микроскоп марки Альтами МЕТ 6С

Технические характеристики микроскопа марки Альтами МЕТ 6С представлены в таблице 11 [23].

Таблица 11 – Технические характеристики микроскопа марки Альтами МЕТ 6С [23]

Характеристика	Значение
Методы контрастирований в отраженном свете:	светлое поле поляризация
Увеличение	25Х; 50Х; 62.5Х; 100Х; 125Х; 200Х; 25Х; 400Х; 500Х; 600Х; 800Х; 1000Х; 1200Х; 1250Х; 1500Х; 1600Х; 2000Х; 2500Х (без использования иммерсионного масла)
Насадка	- тринокулярная с наклоном 30°; - диоптрийная подстройка ±5 диоптрий; - изменяемое межзрачковое расстояние 55…75 мм
Окуляры	- *WF*10*X*/22 мм; - *WF*10*X*/22 мм с перекрестием и шкалой (100 делений); - *WF*20*X*/12 мм; - *WF*25*X*/10 мм

Продолжение таблицы 11

Характеристика	Значение
Объективы	Планахроматические объективы для светлого поля на бесконечность (*Infinity Color Corrected System*): - *PL L* 2.5*X*/0,07 ∞/- (рабочее расстояние 13,3 мм); - *PL L* 5*X*/0,12 ∞/- (р. р. 26,10 мм); - *PL L* 10*X*/0,25 ∞/*0* (р. р. 20,20 мм); - *PL L* 20*X*/0,40 ∞/*0* (р. р. 8,80 мм); - *PL L* 40*X*/0,60 ∞/*0* (р. р. 3,98 мм) (подпружиненный); - *PL L* 50*X*/0,70 ∞/*0* (р. р. 3,68 мм) (подпружиненный); - *PL L* 60*X*/0,70 ∞/*0* (р. р. 3,18 мм) (подпружиненный); - *PL L* 80*X*/0,80 ∞/*0* (р. р. 1,25 мм) (подпружиненный); - *PL L* 100*X*/0,85 ∞/*0* (р. р. 0,40 мм) (подпружиненный)
Освещение	- система освещения *Epi-Kohler*; - регулируемые апертурная и полевая диафрагмы; - плавная регулировка яркости освещения; - колесо со светофильтрами (синий, зеленый, желтый, матовый); - источник освещения галогенная лампа, 6 В/30 Вт
Предметный столик	- прямоугольный 185×140 мм; - двухкоординатный, с коаксиально расположенными ручками управления перемещением стола; - диапазон перемещений 35×30 мм
Револьверное устройство	5-гнездное, с точной фиксацией объективов относительно оптической оси
Штатив	- прямоугольное основание 300×240 мм; - из отлитого под давлением алюминия; - окрашен огнеупорной эмалью; - с резиновыми ножками
Фокусировка	- коаксиальные винты грубой и точной фокусировки; - встроенный механизм для защиты препарата при быстрой смене; - регулировка жесткости хода; - шаг точной фокусировки 0,001 мм

Продолжение таблицы 11

Характеристика	Значение
Цифровая камера	тип камеры: цветная *CMOS* 5 Мпикс; размер сенсора: 1/2,5"; - максимальное разрешение: 2592×1944; размер пикселя: 2,2×2,2 мкм; чувствительность: 18.8 ке-/люкс; динамический диапазон: 73 дБ; скорость передачи (зависит от ПК): 7 кадров в секунду (2592×1944); 27,7 кадров в секунду (1296×972); 100,5 кадров в секунду (648×486); спектральный диапазон: 380…650 нм (с ИК-фильтром); питание: от *USB* (+5 В); экспозиция: автоматическая/ручная, электронный скользящий затвор *(ERS*), 0,2…2000 мс; в комплекте: программное обеспечение, *USB* кабель

Для замеров твёрдости используется стационарный твердомер марки *Sinowon iRock-TR*1. Стационарный твердомер марки *Sinowon iRock-TR*1 представлен на рисунке 9 [24].

Рисунок 9 – Стационарный твердомер марки *Sinowon iRock-TR*1

Технические характеристики стационарного твердомера марки *Sinowon iRock-TR*1 представлены в таблице 12 [25].

Таблица 12 – Технические характеристики стационарного твердомера марки *Sinowon iRock-TR*1 [25]

Характеристика	Значение
Предварительная нагрузка, кгс	3…10
Общая нагрузка, кгс	15…150
Время работы, сек	1…60
Дисплей	5,2-дюймовый цветной сенсорный экран; разрешение: 640×480
Разрешение	0,1*HR*
Режим загрузки	Автоматическая загрузка/остановка/выгрузка
Шкала конверсии	*HV, HBS, HBW, HK*
Стандарт преобразования	*ASTM, DIN*
Программная коррекция	-3,0*HR* ~ +3,0*HR (*шаг 0,1*HR)*
Обработка данных	2000 групп данных
Печать	*Bluetooth*-принтер (опция)
Максимальная высота образца, мм	280
Глубина прибора, мм	170
Питание, В/Гц	220/50
Габаритные размеры, (Д×Ш×В) мм	615×225×885
Вес, кг	125

Для анализа химического состава наплавленной поверхности используется оптико-эмиссионный спектрометр модели *Q*8 *MAGELLAN*. Оптико-эмиссионный спектрометр модели *Q*8 *MAGELLAN* представлен на рисунке 10 [26].

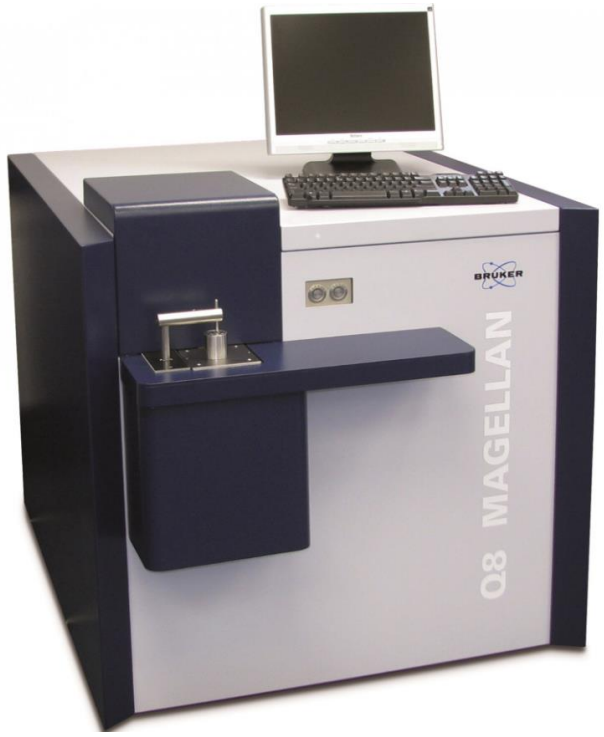


Рисунок 10 – Оптико-эмиссионный спектрометр модели *Q*8 *MAGELLAN*

Технические характеристики оптико-эмиссионного спектрометра модели *Q*8 *MAGELLAN* указаны в таблице 13 [26].

Таблица 13 – Технические характеристики оптико-эмиссионного спектрометра модели *Q*8 *MAGELLAN*

Характеристика		Значение
Схема Пашена-Рунге, мм		750
Диапазон длин волн, нм		110…800
Время разряда, мсек		2...10
Дисперсия, нм/мм	1-й порядок	0,52
	2-й порядок	0,26
	3-й порядок	0,13
Габаритные размеры, (Ш×В×Г), мм	низкая версия	1280×980×1120
	высокая версия	1280×1280×1120
Масса, кг		300

Таким образом, технические характеристики выбранного исследовательского оборудования позволяют оценить в полном объёме твёрдость, химический состав и глубину проплавления наплавленных поверхностей.

4 Проведение эксперимента

Перед началом процесса наплавки необходимо подготовить наплавочные материалы, а именно прокалить покрытые электроды марки ЦН-6Л Ø 5,0 мм и наплавочный порошок марки ПР-08Х17Н8С6Г на режимах, указанных в таблице 14 [18].

Таблица 14 – Режимы прокалки электродов марки ЦН-6Л и наплавочного порошка марки ПР-08Х17Н8С6Г

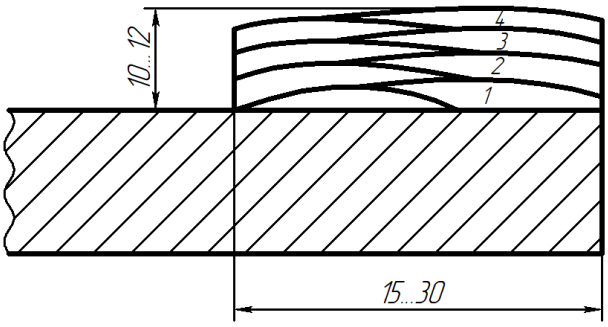
Марка материала	Режим прокалки, °С	Время прокалки, ч
ЦН-6Л	310…350	1,5…2,0
ПР-08Х17Н8С6Г	120…150	2,0…3,0

После проведения процедуры по прокалке наплавочных материалов предварительно подогретые образцы по режимам, указанным в таблицах 5 и 6, помещаются на технологическую плиту при ручном дуговом способе наплавки и на позиционер-вращатель при автоматическом плазменно-порошковом способе.

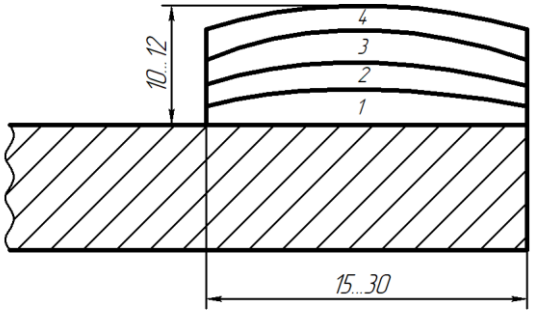
Технологические карты наплавки для ручного дугового способа и автоматического плазменно-порошкового способа представлены в приложении А и Б соответственно.

С учётом припуска на механическую обработку высота наплавленной поверхности должна составлять от 10 до 12 мм, а ширина наплавленной поверхности – от 15 до 30 мм. Для достижения требуемого химического состава и твёрдости, наплавка должна выполняться в 4 слоя с разложением на два валика при ручном дуговом способе и послойно (друг на друга) в один валик при автоматическом плазменно-порошковом способе наплавки, так как установка УСН 150–1400 *PTA TermoConstant* позволяет выполнять наплавку с заданной амплитудой.

Схемы наложения валиков послойно показаны на рисунке 11.



а)



б)

Рисунок 11 – Схемы наложения валиков послойно: а) – при ручном дуговом способе наплавки; б) – при автоматическом плазменно-порошковом способе наплавки

Наплавленные образцы дисков представлены на рисунке 12.

а)

б)

Рисунок 12 – Наплавленные образцы дисков: а) – при ручном дуговом способе; б) – при автоматическом плазменно-порошковом способе

Как видно из рисунка 12, б на поверхности наплавки образовался дефект в виде наплавленного «бугра». Это произошло по причине «закоксовки» порошка внутри сопла плазматрона из-за его намагничивания. После остановки процесса наплавки включается режим плавного спада подачи порошка и затухания дуги. В данном случае после погасания дуги оставшийся порошок в сопле плазмотрона продолжал сыпаться в сварочную ванну, а силы тока и напряжения не хватило, чтобы полностью его переплавить. Данный дефект на дальнейшее исследование не влияет, так как образцы в дальнейшем будут подвергнуты механической обработке.

После завершения процесса наплавки образцы наплавленных дисков необходимо разрезать на 6 частей. Вырезанные образцы показаны на рисунке 13.

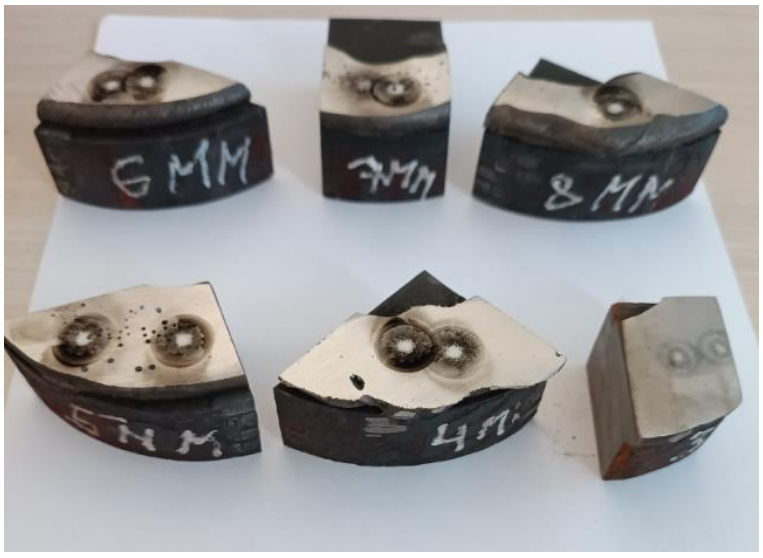
Разрезанные части подвергаются механической обработке до высот наплавленной поверхности в диапазоне от 3 до 8 мм с шагом в 1 мм (см. рисунок 13, а, б). Механически обработанные образцы до необходимых высот представлены на рисунке 14.

а)

б)

Рисунок 13 – Разрезанные образцы: а) – наплавка ручным дуговым способом; б) – наплавка автоматическим плазменно-порошковым способом

а)



б)

Рисунок 14 – Механически обработанные образцы до высот наплавки от 3 до 8 мм: а) – наплавка ручным дуговым способом; б) – наплавка автоматическим плазменно-порошковым способом

Образцы-фрагменты с высотой наплавки 3 мм необходимо дополнительно подвергнуть травлению, так как на них будет производиться замер высоты проплавления наплавки с помощью микроскопа.

5 Анализ полученных результатов эксперимента

Как описывалось ранее в п. 2.2 на полученных образцах-фрагментах, обработанных до высот от 3 до 8 мм с шагом в 1 мм необходимо произвести не менее пяти замеров твердости на каждом из образцов-фрагментов, а также провести химический анализ наплавленных поверхностей. Замеры твёрдости необходимо выполнять в соответствии с ГОСТ 9013–59 [19], а стилоскопирование в соответствии с РД 26.260.15–2001 [20]. Результаты замеров твёрдости наплавленных поверхностей указаны в таблице 15, а химический состав наплавленных поверхностей представлен в таблице 16.

Таблица 15 – Результаты замеров твёрдости наплавленных поверхностей

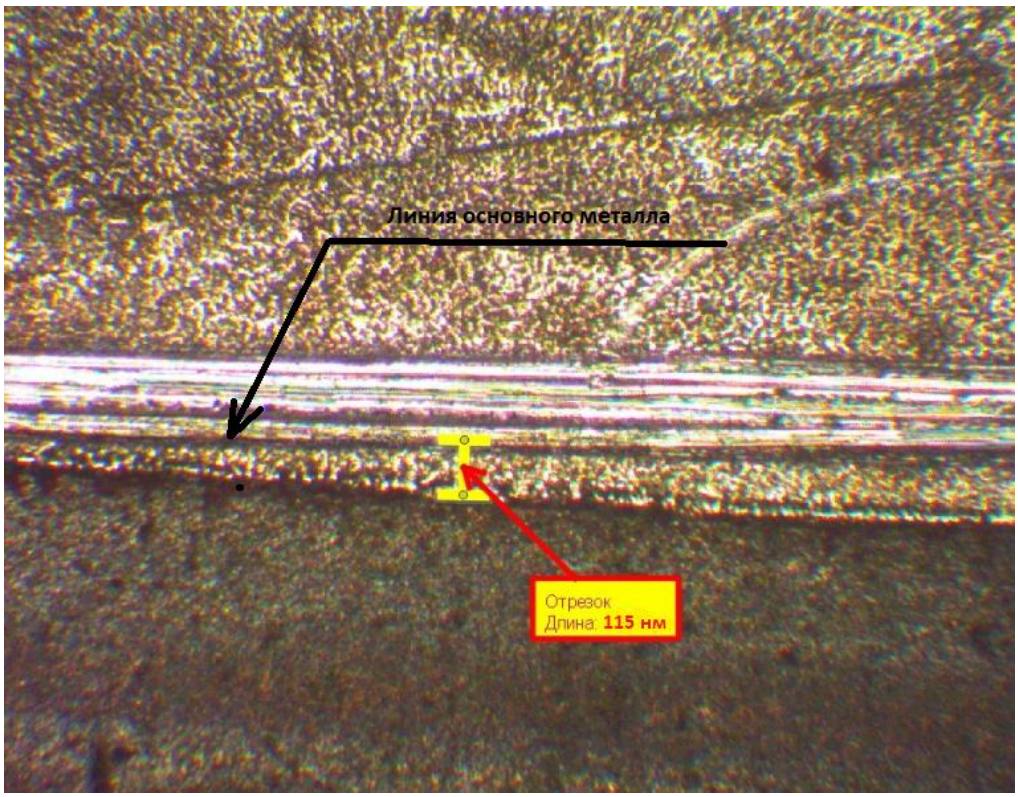
Способ наплавки	Высота наплавки, мм	№ Измерения , *HRC*					Среднее значение, *HRC*
		1	2	3	4	5	
Ручная дуговая наплавка	3	32,3	28,5	27,3	30,2	28,0	29,26
	4	29,6	27,4	25,0	31,5	29,2	28,54
	5	28,1	31,7	35,7	28,6	36,2	32,06
	6	32,2	34,0	32,6	32,3	38,5	34,72
	7	38,1	39,8	38,1	38,1	40,7	38,96
	8	37,6	37,2	37,4	36,7	38,1	37,4
Автоматическая плазменно-порошковая наплавка	3	32,4	32,9	32,1	32,9	32,7	32,6
	4	31,4	35,5	34,0	34,8	34,4	34,02
	5	30,6	34,5	35,8	31,6	31,5	32,8
	6	26,9	34,3	32,6	30,1	35,1	31,8
	7	30,0	30,7	31,4	32,3	30,3	30,94
	8	32,4	34,7	35,1	35,1	32,9	34,04

С помощью микроскопа Альтами МЕТ 6С была определена максимальная и минимальная глубина проплавления образца-фрагмента, наплавленного автоматическим плазменно-порошковым способом с высотой наплавки 3 мм, а также минимальная глубина проплавления образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом с высотой наплавки 3 мм.

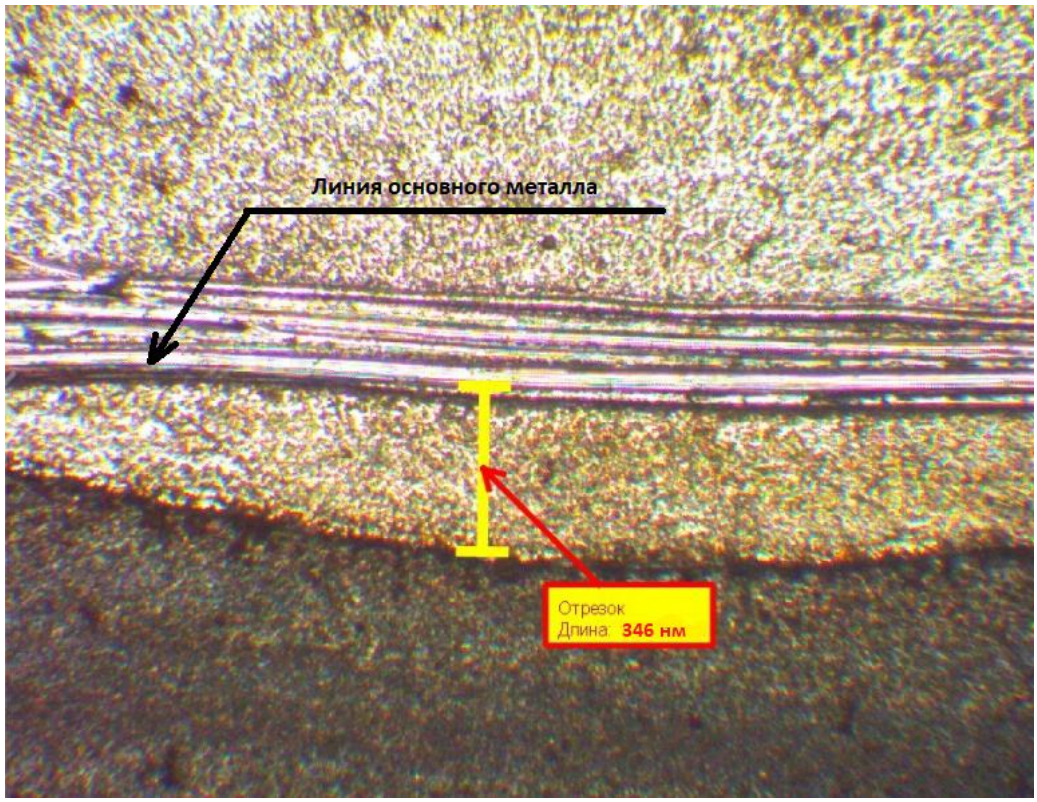
Таблица 16 – Химический состав наплавленных поверхностей

Способ наплавки	Массовая доля элементов, %								
	-	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	S	P
Ручная дуговая наплавка	3	0,075	4,7	1,18	15,0	7,4	0,036	0,011	0,028
	4	0,077	4,6	1,18	14,1	7,1	0,036	0,011	0,029
	5	0,075	5,0	1,15	15,8	7,9	0,036	0,011	0,031
	6	0,072	5,0	1,15	16,0	7,9	0,037	0,011	0,031
	7	0,076	5,1	1,16	16,1	8,0	0,036	0,011	0,032
	8	0,078	5,1	1,16	16,2	8,0	0,037	0,012	0,032
Автоматическая плазменно-порошковая наплавка	3	0,093	5,1	1,84	17,7	7,5	0,034	0,018	0,016
	4	0,091	5,3	1,78	17,9	7,6	0,034	0,020	0,016
	5	0,085	5,0	1,78	17,9	7,5	0,033	0,019	0,015
	6	0,085	5,1	1,83	17,6	7,5	0,032	0,019	0,015
	7	0,090	4,9	1,84	17,7	7,5	0,032	0,022	0,016
	8	0,095	5,1	1,76	18,0	7,6	0,033	0,018	0,017

Определить с помощью микроскопа Альтами МЕТ 6С максимальную глубину проплавления наплавленного образца-фрагмента ручным дуговым способом не представилось возможным, так как необходимо 50-ти кратное увеличение, которым данный микроскоп не оборудован. Поэтому максимальная глубина проплавления образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом была измерена с помощью металлического измерителя длины (металлической линейки). Снимки со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного автоматическим плазменно-порошковым способом представлены на рисунке 15.



а)



б)

Рисунок 15 – Снимки со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного автоматическим плазменно-порошковым способом: а) – минимальная глубина проплавления; б) – максимальная глубина проплавления

Снимок с минимальной глубиной проплавления со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом представлен на рисунке 16.

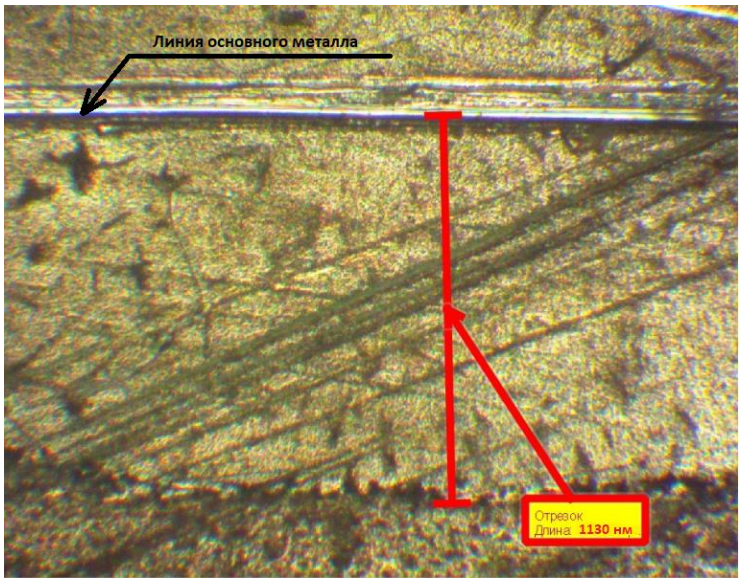


Рисунок 16 – Снимок с минимальной глубиной проплавления со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом

Снимок с максимальной глубиной проплавления образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом представлен на рисунке 17.

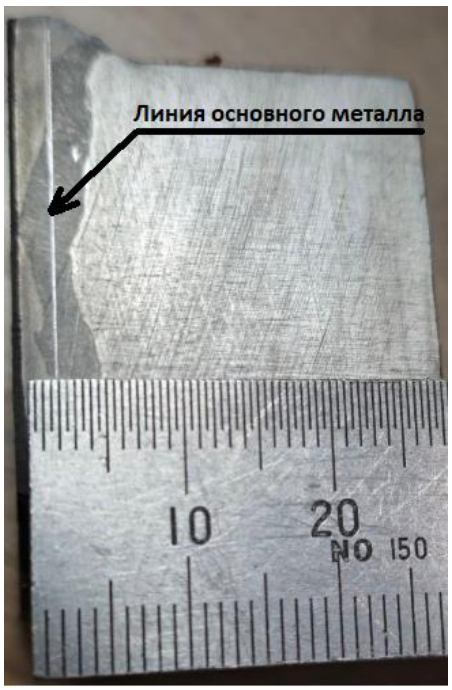


Рисунок 17 – Снимок с максимальной глубиной проплавления образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом

Отклонение твёрдости на различных высотах наплавки представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отклонение твёрдости на различных высотах наплавки

Способ наплавки	Высота наплавки, мм	*Δ HRC*
Ручная дуговая наплавка	3	5,0
	4	6,5
	5	8,1
	6	6,3
	7	2,6
	8	1,4
Автоматическая плазменно- порошковая наплавка	3	0,8
	4	4,1
	5	5,2
	6	5,0
	7	2,3
	8	2,7

Анализируя полученные значения твёрдости и ее отклонения (см. табл. 15, 17), можно сделать вывод, что наиболее стабильная твёрдость получается при наплавке автоматическим плазменно-порошковым способом. Связано это с меньшим перемешиваем основного металла и наплавленного металла, что подтверждается снимками с микроскопа. Если при ручном дуговом способе наплавки глубина проплавления составляет от 1100 до 3000 нм, то при наплавке автоматическим плазменно-порошковом способе наплавки глубина проплавления составляет от 100 до 350 нм. Сравнивая химический состав наплавленных поверхностей можно заметить, что при наплавке ручным дуговым способом хром, влияющий на формирование твёрдости, выгорает в большей степени. Стабильный нормативный показатель получаемой твёрдости (см. табл. 3, 4) при ручной дуговой наплавке наблюдается на высоте наплавки от 6 до 8 мм, в то время как при автоматической плазменно-порошковой наплавке на высоте от 3 до 8 мм. Это говорит о том, что минимальная высота наплавки при наплавке ручным дуговым способом составляет 6 мм, когда при автоматическом

плазменно-порошковом способе 3 мм. Экономия наплавочного материала существенная, а автоматизация плазменно-порошкового способа наплавки приводит к экономии затрачиваемого времени.

Заключение

В данной магистерской диссертации был проведен литературный обзор информации по применению технологий ручных и автоматических способов наплавки на заводах-изготовителях трубопроводной арматуры. Патентное исследование с глубиной поиска 10 лет показало, что на данный момент идёт активное развитие автоматического плазменно-порошкового способа наплавки из-за высокого качества наплавляемых поверхностей, экономии наплавочных материалов и высокой степени автоматизации наплавочного процесса. Предлагаются новые технические решения, направленные на улучшение качества наплавляемых уплотнительных поверхностей, а также на оптимизацию времени, затрачиваемого на выполнение наплавок.

В ходе исследования были выбраны образцы и оборудование для проведения эксперимента, целью которого было проведение сравнительного анализа влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее стабильная твёрдость при ручном дуговом способе наплавки наблюдается на высотах от 6 до 8 мм, а при автоматическом плазменно-порошковом способе наплавки на высотах от 3 до 8 мм. Объясняется это тем, что глубина проплавления при наплавке ручным дуговым способом значительно выше, чем при наплавке автоматическим плазменно-порошковым способом, что приводит к большему объёму перемешивания основного металла с наплавочным металлом.

Наиболее стабильная твёрдость при ручном дуговом способе наблюдается на высоте наплавленного слоя в 8 мм, когда как при автоматическом плазменно-порошковом способе на 3 мм, т.е. для достижения нормативных показателей твёрдости при ручном дуговом способе необходимо наплавлять значительно больше слоёв, чем при автоматическом плазменно-порошковом способе.

Глубина проплавления плазменно-порошковым способом составила от 100 до 350 нм, в то время как при ручном дуговом способе от 1100 до 2900 нм.

Химический анализ показал, что хром, влияющий на формирование твёрдости, при ручном дуговом способе выгорает значительно сильнее.

Таким образом, результаты эксперимента показали, что затраты машинного времени при наплавке автоматическим плазменно-порошковым способом значительно ниже, чем при ручном дуговом способе, качество наплавляемых поверхностей значительно выше, а металлоёмкость ниже.

Список литературы

1. Гусев, А.И., Романов, Д.А., Козырев, Н.А., Громов, В.Е., Иванов, Ю.Ф. Структура сварного шва износостойкой наплавки порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo/ А.И. Гусев // Вестник Сибирского государственного индустриального универсиситета №2(36): сб. науч. статей. – Новокузнецк, 2021. – Том №2, С. 3-9.

2. Матвиенко, В.Н. Совершенствование технологии наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры/ В.Н. Матвиенко // Вестник приазовского государственного технического университета: сб. науч. статей. – Мариуполь, 2011. – С. 169-175.

3. Кончин, В.А. Анализ материалов, применяемых при плазменно-порошковой наплавке/ В.А. Кончин // Современные материалы, техника и технологии: сб. науч. статей. – Курган, 2023. – Том №5, С. 79-84.

4. Дегтерёв, А.С., Гнюсов, С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe – Cr – V – Mo – C покрытий/ А.С. Дегтерёв // Известия Томского политехнического университета: сб. науч. статей. – Томск, 2012. – Том №2, С. 87-94.

5. Порошковый питатель для плазменно-порошковой наплавки: пат. 2607679 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 9/32/ Соловьев Сергей Александрович, Никитин Александр Сергеевич, Слинко Дмитрий Борисович, Персов Эдуард Дмитриевич, Тялина Елена Валентиновна, Кирьякова Ольга Ильинична; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) – № 2015133779; заявл. 12.08.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1, ил.

6. Порошковый сплав на основе железа для износостойкой наплавки и напыления: пат. 2607066 Рос. Федерация: МПК *C*22*C* 38/36; *B*22*F* 3/105; *B*23*K* 35/30/ Нефедьев Сергей Павлович, Дёма Роман Рафаэлевич, Горбунов Андрей

Викторович, Тютеряков Наиль Шаукатович, Вдовин Константин Николаевич, Емелюшин Алексей Николаевич; заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «ПлазмоТех-МГТУ» – № 2015108589; заявл. 11.03.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.

7. Способ плазменной наплавки порошков системы Fe–Cr–V–Mo–C: пат. 2557180 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 9/04; *B*23*K* 10/02; *C*23*C* 4/12/ Гнюсов Сергей Федорович, Дегтерёв Александр Сергеевич; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» – № 2014110552/02; заявл. 19.03.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20, ил.

8. Плазмотрон для плазменно-селективного припекания металлических порошков: пат. 2705847 Рос. Федерация: МПК *C*23*C* 4/134; *H*05*H* 1/42/ Нефедьев Сергей Павлович, Шаповалов Алексей Николаевич, Дёма Роман Рафаэлевич, Харченко Максим Викторович, Ганин Дмитрий Рудольфович; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» – № 2018145592; заявл. 21.12.2018; опубл. 12.11.2019, Бюл. № 32, ил.

9. Композиции износостойких сплавов на основе железа, включающие никель: пат. 2759923 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 9/04; *C*23*C* 4/08; *C*23*C* 4/131; *C*22*C* 38/12/ Мароли Барбара, Фрюкхолм Роберт, Бенгтссон Свен, Фриск Карин; заявитель и патентообладатель: ХЕГАНЕС АБ (ПАБЛ) – № 2021102179; заявл. 25.06.2019; опубл. 18.11.2021, Бюл. № 32, ил.

10. Википедия «Наплавка» [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://ru.wikipedia.org/wiki/Наплавка*

11. *EXTXE* «Ручная дуговая наплавка» [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://extxe.com/2809/jelektrodugovye-sposoby-naplavki-ruchnaja-dugovaja-naplavka/*

12. *EXTXE* «Автоматическая плазмено-порошковая наплавка» [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://extxe.com/2827/plazmennaja-i-plazmenno-poroshkovaja-naplavka/

13. ГОСТ 1050–2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. – М.: Стандартинформ, 2014, – 34 с.

14. ГОСТ 10051–1975 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.

15. ТУ 14–22–250–2013 Порошки для наплавки марок ПР-08Х17Н8С6Г (ЦН-6Л), ПР-10Х18Н9М5С5Г4Б (ЦН-12М). – М.: АО «Полема», 2013. – 25 с.

16. СТ ЦКБА 053–2008 Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования. – М.: НПФ «ЦКБА», 2018. – 65 с.

17. НП–105–18 Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже. М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019. – 106 с.

18. НП–104–18 Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019. –248 с.

19. ГОСТ 9013–59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

20. РД 26.260.15–2001 Стилоскопирование основных и сварочных материалов и готовой продукции. – М.: ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратура», 2002. – 40 с.

21. Установка для автоматической плазменно-порошковой наплавки модели УСН 150–1400 *PTA TermoConstant* [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://promos-ls.ru/ustanovka-dlia-avtomaticheskoi-plazmenno-poroshkovoi-naplavki-modeli-usn-150-1400-rta-termoconstant.html

22. ТЦ ТЕНА [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://tctena.ru/product/promyshlennoe-svarochnoe-oborudovanie/oborudovanie-tena-kolarc-turtsiya/mma-seriya/tena-sx270-partner/?oid=443#char

23. Металлографический цифровой микроскоп Альтами МЕТ 6С [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://altami.ru/microscopes/metallurgical/digi/altami_met6s/*

24. Твердомер по Роквеллу *Sinowon I-Rock TR*1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://melytec-testing.ru/catalog/tverdomery-po-rokvellu/i-rock-tr1/*

25. Стационарный твердомер по Роквеллу *Sinowon iRock-TR*1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://wrspace.ru/catalog/tverdometriya-kontrol-tverdosti/8995/*

26. *Q*8 *MAGELLAN* спектрометр оптико-эмиссионный [Электронный ресурс] – Режим доступа: *https://nerkon.ru/catalog/analiz-metalov-splavov/portable-metal-analis/optiko-emissionnye-spektrometry/q8-magellan.html*

27. ГОСТ 10157–2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016. – 26 с.

Приложение А

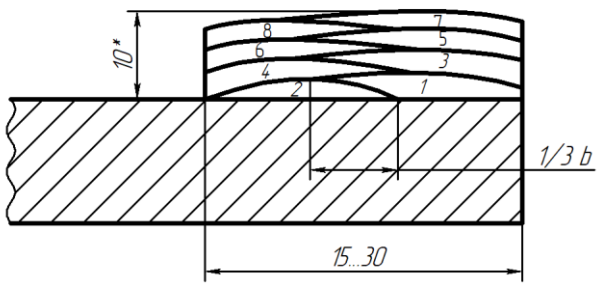
Технологическая карта наплавки ручным дуговым способом

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ОБРАЗЦА ДИСКА №1

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	СТ ЦКБА 053–2008
2	Способ наплавки	РДН
3	Основной материал (марки)	Сталь 20
4	Основной материал (группа)	М01 (W01)
5	Наличие подслоя	Нет
6	Сварочные материалы	ЦН-6Л по ГОСТ 10051 – 75
7	Диаметр электрода	5,0 мм
8	Толщина наплавляемых деталей	35,0 мм
9	Диаметр деталей в зоне наплавки	120,0 мм
10	Высота наплавки	10,0 мм
11	Положение при наплавке	Н1, РА
12	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное
13	Режимы подогрева	200 – 300 °С
14	Режим термообработки	600 – 650 °С, выдержка 2 – 3 ч; охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе

Таблица 1 – Конструктивные элементы и последовательность выполнения и форма наплавки

Конструктивные элементы и порядок наложения валиков наплавки


Сварочное оборудование (тип): А3

Метод подготовки и очистки: зачистка механическим способом до металлического блеска участков основного металла образца от кромки на ширину не менее 50 мм со стороны наплавляемой поверхности.

Защита сварочной ванны/защита наплавляемой поверхности: нет

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет

Параметры процесса наплавки

Таблица 2 – Параметры процесса наплавки

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1 слой – 1, 2	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
2 слой – 3, 4	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
3 слой – 5, 6	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
4 слой – 7, 8	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-

Технологические требования к сварке:

1. Перед началом процесса наплавки зона основного металла должна быть очищена от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширину не менее 50 мм.

2. Прокалить электроды на режиме 330 ±20 °С, выдержка 1,5 – 2,0 часа.

3. Обеспечить предварительный подогрев образца диска №1 до температуры 200 – 300 °С.

4. Установить образец диска №1 на технологическую плиту.

5. Выполнить наплавку согласно по указанным параметрам режимов наплавки (см. табл. 2) по схеме, указанной в таблице 1. Способ наплавки – РДН.

6. Кратеры швов должны быть заплавлены и выведены на ранее наплавленный металл. Выводить кратеры на основной металл не допускается.

7. Перекрытия замковой части валика выполнять на длину не менее 15 мм.

8. Зачистить наплавленный металл от шлака и брызг на всю ширину наплавки.

9. Выполнить термическую обработку образца диска №1 на режиме: 600 – 650 °С, выдержка 2 – 3 ч; охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе.

10. Произвести контроль наплавленной поверхности согласно требованиям к контролю качества.

Требования к контролю качества

Таблица 3 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	**НД на методику контроля**	**НД на оценку качества**	**Объем контроля**
Визуальный и измерительный	ГОСТ Р ИСО 17637–2014	СТ ЦКБА 053–2008	100%
Капиллярный	ГОСТ 18442–80		100%

Разработчик: _____ /Жирнов И.А/

Приложение Б

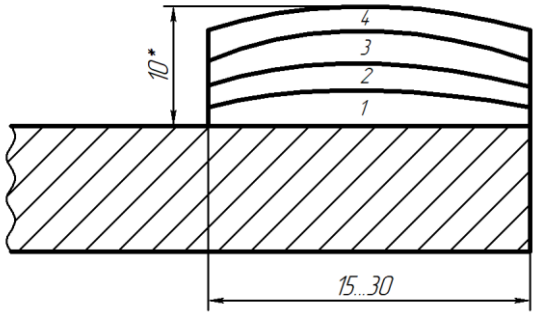
Технологическая карта наплавки автоматическим плазменно-порошковым способом

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ОБРАЗЦА ДИСКА №2

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	НП – 104 – 18
2	Способ наплавки	ПНП
3	Основной материал (марки)	Сталь 20
4	Основной материал (группа)	М01 (W01)
5	Наличие подслоя	Нет
6	Сварочные материалы	ПР-08Х17Н8С6Г по ТУ 14–22–250–2013
7	Размер фракции	63-125 мкм
8	Толщина наплавляемых деталей	35,0 мм
9	Диаметр деталей в зоне наплавки	120,0 мм
10	Высота наплавки	10,0 мм
11	Положение при наплавке	Н1, РА
13	Режимы подогрева	150 – 350 °С
14	Режим термообработки	640 ± 15 °С; выдержка 2,5 ± 0,5 часов; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи

Таблица 1 – Конструктивные элементы и последовательность выполнения и форма наплавки

Конструктивные элементы и порядок наложения валиков наплавки


Сварочное оборудование (тип): А10

Метод подготовки и очистки: зачистка механическим способом до металлического блеска участков основного металла образца от кромки на ширину не менее 50 мм со стороны наплавляемой поверхности.

Защита сварочной ванны/защита корня шва:

Газ: чистый аргон по ГОСТ 10157– 2016 «Аргон газообразный и жидкий. Технические условия» [23].

Неплавящийся электрод (тип, размер): Вольфрамовый электрод WL-20 диаметром 3,0 мм

Параметры процесса наплавки

Таблица 2 – Параметры процесса наплавки

Диаметр наплавки	120	Скорость наплавки, м/ч	5,0
Количество витков	1*	Вертикальное смещение, мм	3,0
Заданный ток, А	150	Время задержки слева, с	0,2
Заданный расход порошка, г/мин	18	Время задержки справа, с	0,2
Горизонтальное смещение, мм	0	Подача транспортирующего газа 1, л/мин	4,5
Скорость колебаний, м/ч	100	Подача плазмообразующего газа, л/мин	2,0
Амплитуда колебаний, мм	6,0/6,0/5,5/5,0	Подача защитного газа, л/мин	16
Тип подачи порошка	внутренний	Подача транспортирующего газа 2, л/мин	0

*- на один слой.

Технологические требования к сварке:

1. Перед началом процесса наплавки зона основного металла должна быть очищена от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширину не менее 50 мм.

2. Прокалить порошок на режиме 135±15 °С, выдержка 2,0 – 3,0 часа.

3. Обеспечить предварительный подогрев образца диска №2 до температуры 150 – 350 °С.

4. Установить образец диска №2 на позиционер-вращатель.

5. Выполнить наплавку согласно по указанным параметрам режимов наплавки (см. табл. 2) по схеме, указанной в таблице 1. Способ наплавки – ПНП.

6. Кратеры швов должны быть заплавлены и выведены на ранее наплавленный металл. Выводить кратеры на основной металл не допускается.

7. Перекрытия замковой части валика выполнять на длину не менее 15 мм.

8. Зачистить наплавленный металл от брызг и оксидных включений на всю ширину наплавки.

9. Выполнить термическую обработку образца диска №2 на режиме: 640 ± 15 °С; выдержка 2,5 ± 0,5 часов; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи.

10. Произвести контроль наплавленной поверхности согласно требованиям к контролю качества.

Требования к контролю качества

Таблица 3 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	**НД на методику контроля**	**НД на оценку качества**	**Объем контроля**
Визуальный и измерительный	ГОСТ Р ИСО 17637–2014	НП – 104 – 18	100%
Капиллярный	ГОСТ 18442–80		100%

Разработчик: _____ /Жирнов И.А/

Приложение

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему:

«Сравнительное исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твердость формируемого слоя»

Выполнил: ст. гр. 22МТм1
Жирнов И.А.
Руководитель: д.т.н. профессор
Розен А.Е.

Пенза 2024 год

Цель и задачи

Цель: проведение сравнительного анализа влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя.

Актуальность заключается в автоматизации наплавочного процесса на производственных площадках заводов-изготовителей трубопроводной арматуры с целью улучшения качества наплавляемых поверхностей, сокращения машинного времени и сокращения расхода наплавочных материалов.

Задачи:

а) провести анализ нормативно-технической документации, литературный и патентный поиск по вопросам влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

б) обосновать выбор основного и наплавочных материалов для выполнения наплавки;

в) выбрать методы и оборудование для исследования микроструктуры, твёрдости и химического состава наплавленных поверхностей;

г) провести исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

д) проанализировать полученные результаты и сделать вывод о перспективности применения исследуемых способов наплавки.

Нормативно-техническая документация

В современном арматуростроении при наплавке износостойких поверхностей руководствуются следующими нормативными документами:

Для арматуры общепромышленного назначения:

- **СТ ЦКБА 053–2008 –** *Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования.*

Для арматуры АЭС:

- **НП – 105 – 18 –** *Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже.*
- **НП – 104 – 18 –** *Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.*

3

Патентное исследование

Таблица 1 – Результаты патентного исследования

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
Электродуговая сварка или резка, вспомогательные устройства	Россия, *RU 2607679 C1, B23K 9/32*	ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия, 2015133779, 2015.08.12	Порошковый питатель для плазменно-порошковой наплавки
Присадочные прутки, электроды, материалы или среды, применяемые при пайке, сварке или резке с основным компонентом, плавящимся при температуре ниже 1550 °C	Россия, *RU 2607066 C2, B23K 35/30, C22C 38/36, B22F 3/105*	ООО «ПлазмоТех-МГТУ» , Россия, 2015108589, 2015.03.11	Порошковый сплав на основе железа для износостойкой наплавки и напыления
Сварка или резка с использованием плазмы, плазменная сварка	Россия, *RU 2557150 C1, B23K 10/02, B23K 9/04, C23C 4/12*	ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 2014110552/02, 2014.03.19	Способ плазменной наплавки порошков системы *Fe-C-V-Mo-C*

4

Патентное исследование

Продолжение таблицы 1

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
Способы покрытия путем распыления материала в расплавленном состоянии, например пламенное, плазменное или дуговое напыление, плазменное напыление	Россия, *RU 2705847 C1, C23C 4/134, H05H 1/42*	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, 2018145592, 2018.12.21	«Плазмотрон для плазменно-селективного припекания металлических порошков»
Способы покрытия путем распыления материала в расплавленном состоянии, например пламенное, плазменное или дуговое напыление, плазменное напыление	Россия, *RU 2759923 C1, C23C 4/131, B23K 9/04, C23C 4/08, C22C 38/12*	ХЕГАНЕС АБ (ПАБЛ), Россия, 2021102179, 2019.06.25	«Композиции износостойких сплавов на основе железа, включающие никель»

Анализируя полученные в ходе патентного исследования результаты, можно сделать вывод, что с каждым днём предлагаются всё новые виды приспособлений для плазменно-порошковой наплавки и новые сплавы на основе железа и никеля, которые служат для увеличения качества наплавляемых поверхностей, а также для снижения затрат времени на производство наплавляемых поверхностей путём введения новых более удобных видов оборудования.

5

Выбор основного материала

В качестве основного материала для проведения эксперимента по наплавке ручным дуговым способом и автоматическим плазменно-порошковым способом была выбрана конструкционная сталь 20 по ГОСТ 1050-2013 как самая массово применяемая сталь в арматуростроении. Подслой (буферный слой) допускается не выполнять.

Образцы под наплавку представляют собой диски с размерами *DxS* – 120х35 мм, где D – внешний диаметр, мм; S – толщина, мм.

Таблица 2 – Химический состав стали 20 согласно ГОСТ 1050-2013

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	*Si*	*Mn*	*P*	*S*	*Cr*	*Ni*	*Cu*
				не более				
20	0,17 – 0,24	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

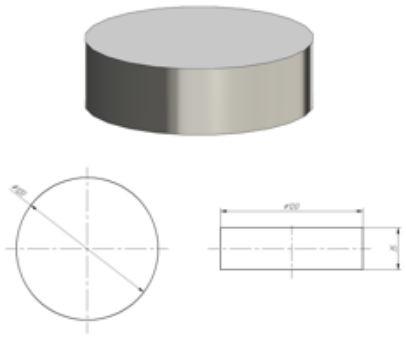


Рисунок 1 – Образцы дисков под наплавку

6

Выбор наплавочного материала

Для наплавки коррозионностойкой и износостойкой поверхности выбраны материалы с типом наплавленного металла Э-08Х17Н8С6Г, а именно электроды марки ЦН-6Л Ø5,0 мм и наплавочный порошок марки ПР-08Х17Н8С6Г с фракцией 63-125 мкм. Данные материалы преимущественно применяются для наплавки ответных деталей, например, кольца корпуса клиновой задвижки.

Таблица 3 – Химический состав и твёрдость наплавленного металла электродами марки ЦН-6Л

Марка материала	Массовая доля элементов, %										HRC
	C	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	Nb	Прочие элементы	S	P	
									не более		
ЦН-6Л	0,05 – 0,12	5,2 – 6,0	15,5 – 17,5	1,0 – 2,0	7,0 – 9,0	-	-	-	0,025	0,030	29,5 – 39,0

Таблица 4 – Химический состав и твёрдость наплавленного металла порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г

Марка материала	Массовая доля элементов, %											HRC
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	Co	Nb	S	P	
ПР-08Х17Н8С6Г	0,05 – 0,12	5,5 – 6,4	1,0 – 2,0	17,0 – 18,4	7,5 – 9,0	-	основа	≤0,2	-	≤0,025	≤0,030	30 – 39

Выбор режимов подогрева и термообработки

Согласно СТ ЦКБА 053 – 2008 и НП – 104 – 18 режим термической обработки наплавленных поверхностей выбирается исходя из основного материала для исключения остаточных напряжений, образующихся на границе наплавленного металла с основным. Для стали 20 – это высокий отпуск с последующим охлаждением в печи.

Подогрев деталей производиться с целью минимизации риска образования горячих трещин в процессе наплавки.

Таблица 5 – Режим предварительного подогрева образцов дисков

Марка стали наплавляемой детали	Марка наплавочного материала	Температура предварительного подогрева, °С
20	ЦН-6Л	200 - 300
20	ПР-08Х17Н8С6Г	150 - 350

Выбор режимов подогрева и термообработки

Таблица 6 – Режимы термической обработки

Марка стали наплавляемой детали	Марки наплавочных материалов	Режим термообработки непосредственно после наплавки
20	ЦН-6Л	Загрузка в печь при температуре не ниже температуры предварительного подогрева. Нагрев до температуры (600 - 650) °С, выдержка при температуре (2 - 3) ч; охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе
20	ПР-08Х17Н8С6Г	Загрузка в печь при температуре не ниже температуры предварительного подогрева; нагрев до температуры (640 ± 15) °С со скоростью, определяемой мощностью печи; выдержка 2,5 ± 0,5 часов; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи

Схема наплавки и подготовительные работы

Перед началом процесса наплавки согласно СТ ЦКБА 053 – 2008 и НП – 104 – 18 наплавочные материалы необходимо прокалить. Данная процедура производиться с целью исключения влаги из наплавочного материала.

Для качественного описания распределения твердости и химического состава на различных высотах наплавки необходимо полученные наплавки механически обработать до высот 3 – 8 мм с шагом в 1 мм, предварительно разрезав образцы дисков на 6 частей.

Таблица 7 - Режимы прокалки электродов марки ЦН-6Л и наплавочного порошка марки ПР-08Х17Н8С6Г

Марка материала	Режим прокалки, °С	Время прокалки, ч
ЦН-6Л	330 ±20	1,5 – 2,0
ПР-08Х17Н8С6Г	135±15	2,0 – 3,0

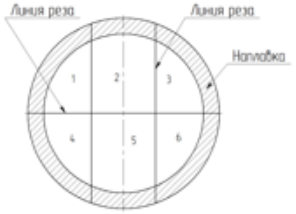


Рисунок 2 – Схема вырезки образцов

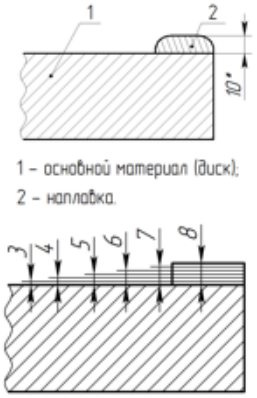


Рисунок 3 – Схема наплавки и механической обработки

Выбор наплавочного оборудования

В качестве наплавочного оборудования для автоматического плазменно-порошкового и ручного дугового способов выбрано следующее оборудование:

Рисунок 4 – Установка для автоматической плазменно-порошковой наплавки модели УСН 150-1400 *PTA TermoConstant*

Рисунок 5 – Сварочный инвертор модели ТЕНА *SX*270 *Partner*

11

Выбор исследовательского оборудования

Для исследования зоны сплавления основного металла с наплавочным, замеров твёрдости, а также для проведения химического анализа наплавленных поверхностей выбрано следующее исследовательское оборудование:

Рисунок 6 – Микроскоп марки Альтами МЕТ 6С

Рисунок 7 – Стационарный твердомер марки *Sinowon iRock-TR1*

Рисунок 8 – Оптико-эмиссионный спектрометр модели *Q8 MAGELLAN*

12

Анализ полученных результатов

После проведения работ по наплавке, термической обработке и механической обработке образцы подверглись исследованиям распределения твёрдости, зоны сплавления основного металла и наплавочного материала и исследованиям химического анализа наплавленных поверхностей.

Рисунок 9 – Образцы, наплавленные автоматическим плазменно-порошковым способом

Рисунок 10 – Образцы, наплавленные ручным дуговым способом

Анализ полученных результатов

Измерения проводились на стационарном твердомере. Количество измерений на одну высоту наплавки: 5 шт.

Таблица 8 – Результаты замеров твёрдости наплавленных поверхностей

Способ наплавки	Высота наплавки, мм	Измерение №, *HRC*					Среднее значение, *HRC*	*Δ HRC*
		№1	№2	№3	№4	№5		
Ручная дуговая наплавка	3	32,3	28,5	27,3	30,2	28,0	29,26	5,0
	4	29,6	27,4	25,0	31,5	29,2	28,54	6,5
	5	28,1	31,7	35,7	28,6	36,2	32,06	8,1
	6	32,2	34,0	32,6	32,3	38,5	34,72	6,3
	7	38,1	39,8	38,1	38,1	40,7	38,96	2,6
	8	37,6	37,2	37,4	36,7	38,1	37,4	1,4
Автоматическая плазменно-порошковая наплавка	3	32,4	32,9	32,1	32,9	32,7	32,6	0,8
	4	31,4	35,5	34,0	34,8	34,4	34,02	4,1
	5	30,6	34,5	35,8	31,6	31,5	32,8	5,2
	6	26,9	34,3	32,6	30,1	35,1	31,8	5,0
	7	30,0	30,7	31,4	32,3	30,3	30,94	2,3
	8	32,4	34,7	35,1	35,1	32,9	34,04	2,7

Нормативный показатель твёрдости

- **ЦН-6Л:** 29,5… 39 *HRC*
- **ПР-08Х17Н8С6Г:** 30…39 HRC

Минимальная высота наплавки для достижения стабильной твёрдости:

- **ЦН-6Л:** от 7 мм
- **ПР-08Х17Н8С6Г:** от 3 мм

Анализ полученных результатов

Сравнивая химический состав наплавленных поверхностей можно заметить, что при наплавке ручным дуговым способом хром, влияющий на формирование твёрдости, выгорает в большей степени.

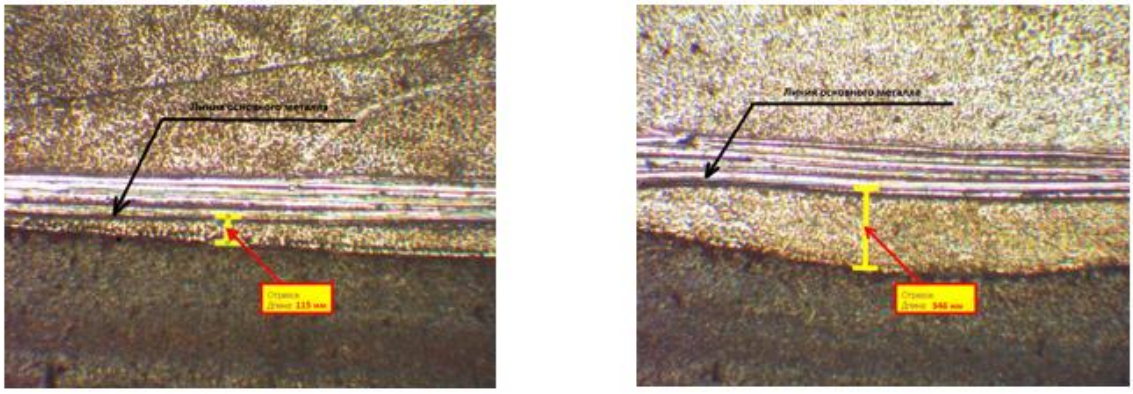
Таблица 9 – Результаты химического анализа наплавленных поверхностей

Способ наплавки	Высота наплавки, мм	Массовая доля элементов, %							
		C	*Si*	*Mn*	*Cr*	*Ni*	*Co*	*S*	*P*
Ручная дуговая наплавка	3	0,075	4,7	1,18	15,0	7,4	0,036	0,011	0,028
	4	0,077	4,6	1,18	14,1	7,1	0,036	0,011	0,029
	5	0,075	5,0	1,15	15,8	7,9	0,036	0,011	0,031
	6	0,072	5,0	1,15	16,0	7,9	0,037	0,011	0,031
	7	0,076	5,1	1,16	16,1	8,0	0,036	0,011	0,032
	8	0,078	5,1	1,16	16,2	8,0	0,037	0,012	0,032
Автоматическая плазменно-порошковая наплавка	3	0,093	5,1	1,84	17,7	7,5	0,034	0,018	0,016
	4	0,091	5,3	1,78	17,9	7,6	0,034	0,020	0,016
	5	0,085	5,0	1,78	17,9	7,5	0,033	0,019	0,015
	6	0,085	5,1	1,83	17,6	7,5	0,032	0,019	0,015
	7	0,090	4,9	1,84	17,7	7,5	0,032	0,022	0,016
	8	0,095	5,1	1,76	18,0	7,6	0,033	0,018	0,017

15

Анализ полученных результатов

Глубина проплавления наплавленного автоматическим плазменно-порошковым способом образца составила от 100 до 350 нм.



а) б)

Рисунок 11 – Снимки со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного автоматическим плазменно-порошковым способом:
а) минимальная глубина проплавления; б) максимальная глубина проплавления

16

Анализ полученных результатов

Глубина проплавления, наплавленного ручным дуговым способом образца составила от 1100 до 2900 нм.

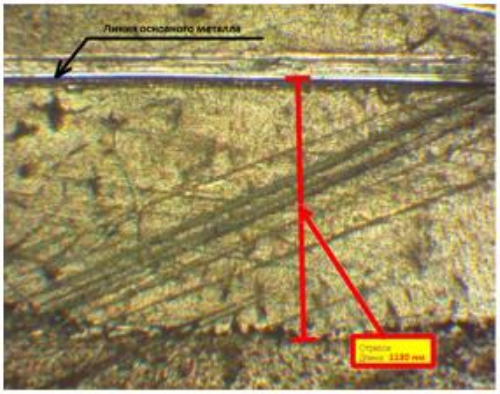


Рисунок 12 – Снимок с минимальной глубиной проплавления со 100 кратным увеличением образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом

Рисунок 13 – Снимок с максимальной глубиной проплавления образца-фрагмента, наплавленного ручным дуговым способом

17

Заключение

Выводы:

а) был проведён анализ нормативно-технической документации, проведён литературный и патентный поиск по вопросам влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

б) обоснован выбор основного и наплавочных материалов для выполнения наплавки;

в) выбраны методы и оборудование для исследования микроструктуры, твёрдости и химического состава наплавленных поверхностей;

г) проведено исследование влияния режимов ручной дуговой наплавки покрытым электродом марки ЦН-6Л и плазменно-порошковой наплавки порошком марки ПР-08Х17Н8С6Г на микроструктуру, химический состав и твёрдость формируемого слоя;

д) проанализированы полученные результаты и сделан вывод о перспективности применения исследуемых способов наплавки.

18

Публикации

1. Жирнов, И.А., Киселёв И.В., Розен, А.Е. Применение дуговых и плазменно-порошкового способов нанесения износостойких покрытий в арматуростроении / И.А. Жирнов // XI международная молодежная научная конференция «Будущее науки – 2024»: сб. науч. статей. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – Том №5, С.119-122.

2. Жирнов, И.А., Киселёв И.В., Розен, А.Е. Основные преимущества автоматического плазменно- порошкового способа наплавки в сравнении с ручным дуговым способом / И.А. Жирнов // Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективы развития информационных систем и технологий в современном обществе»: сб. науч. статей. – Орёл: АО «Университетская статья», 2024. – принято в печать.

19

Публикации

БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2024 18-19 апреля 2024 года МЛ-11 Том 5 119

ЖИРНОВ ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ, студент
ilya.zhirnov11@yandex.ru
КИСЕЛЕВ ИЛЬЯ ВИКТОРОВИЧ, студент
kisvikil@yandex.ru
Научный руководитель –
РОЗЕН АНДРЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, д.т.н., профессор
aerozen@bk.ru
Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ДУГОВЫХ И ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОГО СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ

В статье исследуются тенденции применения дуговых и плазменно-порошкового способов нанесения износостойких покрытий в арматуростроении. Рассмотрены основные способы наплавки износостойких поверхностей, применяемых заводами-изготовителями трубопроводной арматуры, приведены основные используемые наплавочные материалы.

Ключевые слова: наплавка, плазменно-порошковая наплавка, наплавочный порошок, автоматическая сварка, покрытый электрод.

Диплом за 2 место

ЖИРНОВ
Илья Александрович

ТЕМА
«Основные преимущества автоматического плазменно-порошкового способа наплавки в сравнении ручным дуговым способом»
Научный руководитель

ОРЕЛ
2024

УДК 621.791

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОГО СПОСОБА НАПЛАВКИ В СРАВНЕНИИ С РУЧНЫМ ДУГОВЫМ СПОСОБОМ

Илья Александрович Жирнов[1], Илья Викторович Киселёв[2]

[1,2]Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
[1]ilya.zhirnov11@yandex.ru
[2]kisvikil@yandex.ru

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Розен А.Е.

Аннотация. На сегодняшний день автоматизация наплавочных процессов износостойких покрытий является первоочередной задачей для заводов-изготовителей трубопроводной арматуры. У автоматических способов есть ряд преимуществ по сравнению с традиционным ручным дуговым способом. В статье рассматриваются преимущества автоматического плазменно-порошкового способа наплавки в сравнении с ручным дуговым способом.

Ключевые слова: наплавка, ручная дуговая наплавка, плазменно-порошковая наплавка, электрод, наплавочный порошок.

20

Карты технологического процесса наплавки

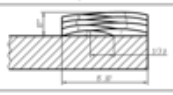
КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ
ОБРАЗЦА ДИСКА №1

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	СТ ЦКБА 053–2008
2	Способ наплавки	РДН
3	Основной материал (марки)	Сталь 20
4	Основной материал (группа)	М01 (W01)
5	Наличие подслоя	Нет
6	Сварочные материалы	ЦН-6Л по ГОСТ 10051 – 75
7	Диаметр электрода	5,0 мм
8	Толщина наплавляемых деталей	35,0 мм
9	Диаметр деталей в зоне наплавки	120,0 мм
10	Высота наплавки	10,0 мм
11	Положение при наплавке	Н1, РА
12	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное
13	Режимы подогрева	200 – 300 °С
14	Режим термообработки	600 – 650 °С, выдержка 2 – 3 ч, охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе

Таблица 1 – Конструктивные элементы и последовательность выполнения и форма наплавки

Конструктивные элементы и порядок наложения валиков наплавки



Сварочное оборудование (тип): А3

Метод подготовки и очистки: зачистка механическим способом до металлического блеска участков основного металла образца от кромки на ширину не менее 50 мм со стороны наплавляемой поверхности.

Защита сварочной ванны/защита наплавляемой поверхности: нет

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет

Параметры процесса наплавки

Таблица 2 – Параметры процесса наплавки

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
1	2	3	4	5	6	7	8
1 слой – 1, 2	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
2 слой – 3, 4	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
3 слой – 5, 6	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-
4 слой – 7, 8	5,0	по	160…180	26…28	-	-	-

Технологические требования к сварке:

1. Перед началом процесса наплавки зона основного металла должна быть очищена от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширину не менее 50 мм.
2. Прокалить электроды на режиме 330 ±20 °С, выдержка 1,5 – 2,0 часа.
3. Обеспечить предварительный подогрев образца диска №1 до температуры 200 – 300 °С.
4. Установить образец диска №1 на технологическую плиту.
5. Выполнить наплавку согласно по указанным параметрам режимов наплавки (см. табл. 2) по схеме, указанной в таблице 1. Способ наплавки – РДН.
6. Кратеры швов должны быть заплавлены и выведены на ранее наплавленный металл. Выводить кратеры на основной металл не допускается.
7. Перекрытия замковой части валика выполнять на длину не менее 15 мм.
8. Зачистить наплавленный металл от шлака и брызг на всю ширину наплавки.
9. Выполнить термическую обработку образца диска №1 на режиме: 600 – 650 °С, выдержка 2 – 3 ч, охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С с печью, далее на воздухе.
10. Произвести контроль наплавленной поверхности согласно требованиям к контролю качества.

Требования к контролю качества

Таблица 3 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный и измерительный	ГОСТ Р ИСО 17637–2014	СТ ЦКБА 053–2008	100%
Капиллярный	ГОСТ 18442–80		100%

Разработчик: _____ /Жирнов И.А/

Карты технологического процесса наплавки

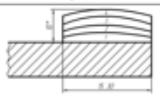
КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ
ОБРАЗЦА ДИСКА №2

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	НП – 104 – 18
2	Способ наплавки	ПНП
3	Основной материал (марки)	Сталь 20
4	Основной материал (группа)	М01 (W01)
5	Наличие подслоя	Нет
6	Сварочные материалы	ПР-08Х17Н8С6Г по ТУ 14–22–250–2013
7	Размер фракции	63-125 мкм
8	Толщина наплавляемых деталей	35,0 мм
9	Диаметр деталей в зоне наплавки	120,0 мм
10	Высота наплавки	10,0 мм
11	Положение при наплавке	Н1, РА
13	Режимы подогрева	150 – 350 °С
14	Режим термообработки	640 ± 15 °С; выдержка 2,5 ± 0,5 часов; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи

Таблица 1 – Конструктивные элементы и последовательность выполнения и форма наплавки

Конструктивные элементы и порядок наложения валиков наплавки



Сварочное оборудование (тип): А10

Метод подготовки и очистки: зачистка механическим способом до металлического блеска участков основного металла образца от кромки на ширину не менее 50 мм со стороны наплавляемой поверхности.

Защита сварочной ванны/защита корня шва:

Газ: чистый аргон по ГОСТ 10157– 2016 «Аргон газообразный и жидкий. Технические условия» [23].

Неплавящийся электрод (тип, размер): Вольфрамовый электрод WL-20 диаметром 3,0 мм

Параметры процесса наплавки

Таблица 2 – Параметры процесса наплавки

Диаметр наплавки	120	Скорость наплавки, м/ч	5,0
Количество витков	1*	Вертикальное смещение, мм	3,0
Заданный ток, А	150	Время задержки слева, с	0,2
Заданный расход порошка, г/мин	18	Время задержки справа, с	0,2
Горизонтальное смещение, мм	0	Подача транспортирующего газа 1, л/мин	4,5
Скорость колебаний, м/ч	100	Подача плавкообразующего газа, л/мин	2,0
Амплитуда колебаний, мм	6,0/6,0/5,5/5,0	Подача защитного газа, л/мин	16
Тип подачи порошка	внутренний	Подача транспортирующего газа 2, л/мин	0

*- на один слой.

Технологические требования к сварке:

1. Перед началом процесса наплавки зона основного металла должна быть очищена от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширину не менее 50 мм.
2. Прокалить порошок на режиме 135±15 °С, выдержка 2,0 – 3,0 часа.
3. Обеспечить предварительный подогрев образца диска №2 до температуры 150 – 350 °С.
4. Установить образец диска №2 на позиционер-вращатель.
5. Выполнить наплавку согласно по указанным параметрам режимов наплавки (см. табл. 2) по схеме, указанной в таблице 1. Способ наплавки – ПНП.
6. Кратеры швов должны быть заплавлены и выведены на ранее наплавленный металл. Выводить кратеры на основной металл не допускается.
7. Перекрытия замковой части валика выполнять на длину не менее 15 мм.
8. Зачистить наплавленный металл от брызг и оксидных включений на всю ширину наплавки.
9. Выполнить термическую обработку образца диска №2 на режиме: 640 ± 15 °С; выдержка 2,5 ± 0,5 часов; охлаждение с печью до 300 °С; последующее охлаждение на воздухе или в печи.
10. Произвести контроль наплавленной поверхности согласно требованиям к контролю качества.

Требования к контролю качества

Таблица 3 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный и измерительный	ГОСТ Р ИСО 17637–2014	НП – 104 – 18	100%
Капиллярный	ГОСТ 18442–80		100%

Разработчик: _____ /Жирнов И.А/

Спасибо за внимание!