

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта

Кафедра
«Сварочное, литейное производство
и материаловедение»

Направление подготовки

22.04.01 «Материаловедение и технологи
материалов».

Профиль

«Материаловедение и технологии новых
материалов»

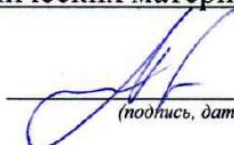
На правах рукописи

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему:

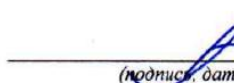
«Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных
работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором»

Магистрант

 23.06.25
(подпись, дата)

Ромашев Дмитрий
Викторович
(фамилия, инициалы)

Научный руководитель
доктор т.н., профессор

 23.06.25
(подпись, дата)

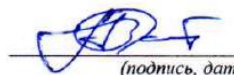
Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Рецензент
к.т.н., инженер-технолог
АО ФНПЦ «ПО Старт им. М.В.
Проценко»

 23.06.25
(подпись, дата)

Чижова Е.В.
(фамилия, инициалы)

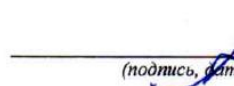
Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

 24.06.25
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от ? №)

Заведующий кафедрой

 24.06.25
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 25.06.25 № 4)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

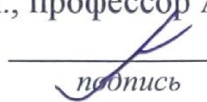
 25.06.2025
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПИМ
доктор т.н., профессор А.Е. Розен.


подпись

« 02 » октября 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Магистрант гр. 23МТм1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очная формы обучения по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Ромашев Дмитрий Викторович

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

Время выполнения ВКР: с 02.10.2023 г. по 04.07.2025 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 999 а/о от 02.10.2023 г.

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): *установить особенности формирования структуры и свойств сварного шва при создании неразъемных сварных соединений материала с ВП, полученных дуговыми методами сварки, обеспечивая высокую коррозионную стойкость и механические свойства сварного шва не уступающих основному металлу.*

Объем 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;
- анализ структурных особенностей и технических характеристик металлических материалов с внутренним протектором;
- патентный поиск с выявлением патентной и научно-технической информации, исследованием технического уровня и тенденций развития технологии сварки;
- обоснование перспективности применения материалов с внутренним протектором в промышленности;
- технологическая часть с расчетами режимов сварки, выбор технических средств, разработка технологий дуговой сварки сварных соединений из материалов с внутренним протектором;

- экспериментальная часть со сваркой контрольных сварных соединений материалов с внутренним протектором и проведение механических и коррозионных испытания по разрабатываемым технологиям;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация магистерской диссертации (перечень и содержание плакатов)

- Тема магистерской диссертации	1л А4;
- Актуальность работы	1л А4;
- Цели и задачи работы	1л А4;
- Патентное исследование	1л А4;
- Технологии сварки материалов с ВП	1л А4;
- Технология дуговой сварки материалов с ВП	1л А4;
- Характеристики применяемых сварочных материалов и режимы сварки	1л А4;
- Технологические параметры режимов дуговой сварки порошковой проволокой	1л А4;
- Контроль механических свойств КСС из материалов с ВП	1л А4;
- Испытания на растяжение и ударную вязкость	1л А4;
- Испытание на статический изгиб	1л А4;
- Контроль механических свойств сварных соединений	1л А4;
- Макроанализ КСС из материалов с ВП	1л А4;
- Коррозионные испытания сварных соединений	1л А4;
- Заключение	1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Закономерности создания слоистых металлических коррозионностойких материалов с внутренним протектором / И. С. Лось, А. Е. Розен, А. В. Дуб, А. Е. Корнеев, С. Ю. Киреев, И. Л. Харина, И. А. Сафонов // Известия. – 2020. – №11. – С. 24-30.
2. Гордиевский В.Г. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учебное пособие / В.Г. Гордиевский, А. Е. Розен, С.Г. Усатый, С.С. Солдатова, А.О. Кривенков, А.В. Прыщак - Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.- 276 с.
3. Особенности дуговой сварки слоистого коррозионностойкого материала / А. Е. Розен, С. Ю. Киреев, А. В. Дуб, Е. Г. Исаков [и др.] // Frontier Materials & Technologies. – 2021. – № 4. – С. 57-68. – DOI 10.18323/2782-4039-2021-4-57-68.

Дата выдачи задания: 02.10.2023 г.

Руководитель ВКР:

д.т.н., профессор

Задание к исполнению принял магистрант

гр. 23МТм1

02 октября 2023 г.

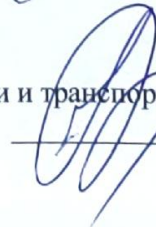
Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
ПИ ПГУ

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

 А.Е. Розен

 Д.В. Ромашев

 С.Ю. Киреев

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

«Утверждаю»

Руководитель ВКР

д.т.н., профессор  Розен А.Е.

« 02 » октября 2023 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

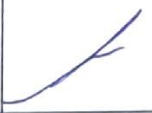
на магистерскую диссертацию

Магистранту гр. 23МТм1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очная формы обучения по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов». «Материаловедение и технологии новых материалов»

Ромашеву Дмитрию Викторовичу

Тема работы: Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1. Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению магистерской диссертации	25.09.23	27.09.23	выполнено 
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	03.10.23	09.10.23	выполнено 

3. Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	10.10.23	15.12.23	выполнено 
4. Проведение патентно-информационного исследования. Выбор основных нормативно-технических документов и технической литературы	18.12.23	19.02.24	выполнено 
5. Проведение анализа и расчетов, разработка технологий сварки. Сварка КСС и оформление соответствующих разделов.	20.02.24	25.04.24	выполнено 
6. Контроль качества сварных соединений, полученных по разрабатываемым технологиям. Проведение механических и коррозионных испытаний. Оформление соответствующих разделов.	26.04.24	04.07.24	выполнено 
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	05.07.24	03.06.25	выполнено 
8. Предварительная защита магистерской диссертации	06.06.25	06.06.25	выполнено 
9. Представление завершенной магистерской диссертации нормоконтролеру.	09.06.25	11.06.25	выполнено 
10. Представление магистерской диссертации руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	11.06.25	11.06.25	выполнено 
11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с презентацией протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	12.06.25	24.06.25	выполнено 
12. Защита магистерской диссертации	25.06.25	04.07.25	выполнено 

Прохождение каждого этапа подготовки диссертации подтверждается подписью руководителя.

Магистрант группы 23МТм1  Ромашев Д.В.

"02" октября 2023 г.

Ректору Пензенского государственного
университета А. Д. Гулякову
от студента 2 курса магистратуры
ФПТЭТ очной формы обучения
Ромашев Дмитрий Викторович

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Ромашев Дмитрий Викторович, 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» выпускной квалификационной работы на тему: «Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

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, программам специалитета и программам магистратуры» СТО ПГУ 3.12-2018, согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите.


(подпись студента)
«24» июня 2025 г.
(дата)

Магистерская диссертация
представлена на проверку «24» июня 2025 г.
(дата)

Руководитель магистерской
Диссертационной работы,
д.т.н., профессор каф. «Сварочное, литейное
производство и материаловедения ПГУ


Подпись

Розен А.Е.

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет"

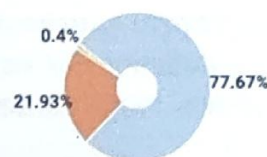
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Ромашев Дмитрий Викторович
Самоцитирование
рассчитано для: Ромашев Дмитрий Викторович
Название работы: Диссертация Д.В. Ромашева для антиплагиата
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение:

РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВПАДЕНИЯ	21.93%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	77.67%
ЦИТИРОВАНИЯ	0.4%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 13.06.2025



Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.2, 13-67, введение с.6-13, выводы с.68-70
Модули поиска: Перефразирования по коллекции IEEE; IEEE; Диссертации НББ; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; СМИ России и СНГ; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); ИПС Адилет; Патенты СССР, РФ, СНГ; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования; Переводные заимствования IEEE; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Шаблонные фразы; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Коллекция НБУ; СПС ГАРАНТ: аналитика; Публикации eLIBRARY; Кольцо вузов; Медицина; Цитирование; Сводная коллекция ЭБС; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Публикации РГБ; Перефразированные...

Работу проверил: Розен А.Е
ФИО проверяющего

Дата подписи: 24 июня 2025 г.


Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ О МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ МАГИСТРА

Студент: Ромашев Дмитрий Викторович

Тема: «Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором»

Направление подготовки – 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Профиль подготовки – «Материаловедение и технологии новых материалов»

Магистерская диссертация содержит 121 с., 30 рис., 13 таблиц, 67 источников литературы, презентацию из 17 с.

Целью работы является: установить особенности формирования структуры и свойств сварного шва, разработать технологии дуговой сварки материалов с ВП, обеспечивающих высокую коррозионную стойкость и механические свойства сварного соединения не уступающих основному металлу.

Задачи работы:

- а) рассмотреть методы и способ получения материалов с ВП;
- б) провести патентный поиск по предлагаемой теме;
- в) рассмотреть особенности формирования структуры и способы получения сварных соединений материалов с ВП
- г) осуществить подбор сварочных материалов, технических средств для выполнения дуговой сварки материалов с ВП;
- д) разработать технологию и порядок проведения сварочных работ для получения неразъёмных сварных соединений материалов с ВП.
- е) выполнить сварку контрольных сварных соединений материалов с ВП с проведением методов контроля.
- ж) провести коррозионные испытания сварных соединений.

Внедрение материалов с ВП в промышленность, представляет собой эффективный путь повышения надёжности и долговечности оборудования, эксплуатируемого в условиях интенсивного коррозионного воздействия. Разработка и обоснование новых технологии по выполнению неразъёмных соединений материалов с ВП, включающие применение перспективных способов сварки и новых сварочных материалов, позволяет обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения новых видов сварки для изготовления материалов с внутренним протектором с двумя и более слоями, позволяя не только улучшить качество сварных соединений, но и повысить производительность сварочных работ.

В работе представлены разработанные технологии по созданию неразъёмных соединений материалов с ВП с применением новых сварочных материалов и технологии с применением новых методов дуговой сварки. Проанализированы и назначены режимы дуговой сварки материалов с ВП, для получения сварных

соединений с необходимыми механическими и коррозионными свойствами. Определен спектр и области применения в промышленности изделий из материалов с ВП, сваренных по новым технологиям.

В выпускной квалификационной работе в соответствии с исходными требованиями: обоснована актуальность выбранной темы исследования; выполнен литературно-патентный обзор; изучены общие сведения о структуре, особенности и технические характеристики металлических материалов с ВП; осуществлен подбор технических средств и разработаны новые технологии сварки с применением новых сварочных материалов на никелевой основе; проведены механические и коррозионные испытания контрольных сварных соединений выполненных по разработанным технологиям; установлена эффективность применения разработанных технологии для сварки материалов с ВП.

Научная и практическая ценность работы:

- произведена оценка условий формирования неразъемного соединения при дуговой сварке материалов с ВП, разработаны технологические схемы и режимы процесса;

- определена эффективность использования новых сварочных материалов при дуговой сварке материалов с ВП в условиях промышленного применения;

- обозначены условия, исключающее образование питтинговой коррозии в зоне сплавления сварного шва и основного металла;

- разработана методология применения промышленных способов сварки MMA, TIG, FCAW материалов с внутренним протектором, влияющих на формирование сварного соединения;

- показана возможность широкого использования предлагаемой технологии сварки материалов с ВП для сосудов и аппаратов, работающих в агрессивных средах

Ромашев Д. В. относится к числу дисциплинированных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно принимать рациональные инженерные решения. Отличается спокойным и уравновешенным характером, пользуется уважением среди однокурсников и преподавателей.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Ромашев Д. В. показал себя технически грамотным студентом, владеющим современными методами решения профессиональных задач.

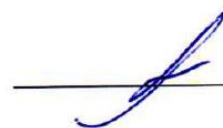
Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Считаю, что выпускная квалификационная работа может быть допущена к защите в ГАК, а её автор Ромашев Д.В. заслуживает присвоения степени магистра по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов».

Отзыв составил научный руководитель

и.о. зав. каф. «СЛПиМ» ФГБОУ ВО «ПГУ»

д.т.н., профессор



Розен А.Е.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию магистранту группы 23МТм1

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

Ромашеву Дмитрию Викторовичу

Тема магистерской диссертации: «Особенности формирования структуры и свойств при проведении сварочных работ изделий из металлических материалов с внутренним протектором»

Магистерская диссертация содержит 121 стр. в объеме согласно заданию на выполнение выпускной квалификационной работы.

Пояснительная записка Ромашева Д. В. выполнена в соответствии с заданием на магистерскую диссертацию, содержит следующие разделы: введение; структурные особенности и технические характеристики металлических материалов с внутренним протектором; патентное исследование; перспективные решения по применению материалов с внутренним протектором в промышленности; технологии сварки материалов с внутренним протектором; методы контроля сварных соединений; заключение.

В диссертации Ромашева Д.В. проведены исследования и установлены особенности формирования структуры и свойств сварного шва при создании неразъёмных сварных соединений материала с внутренним протектором, полученных дуговыми методами сварки, обеспечивающих высокую коррозионную стойкость и механические свойства сварного соединения не уступающих основному металлу.

- Рассмотрена особенность формирования структуры и способы получения сварных соединений материалов с внутренним протектором.
- Выполнен патентный поиск и показана перспективность применения новых технологий для сварки материалов с внутренним протектором.

– Осуществлен подбор технических средств, разработаны технологии сварки материалов с внутренним протектором с применением новых сварочных материалов на никелевой основе.

– Показана надежность сварных соединений, выполненных по разработанным технологиям на основании заключений механических и коррозионных испытаний.

– Подтверждена перспективность применения разработанных технологий для сварки материалов с внутренним протектором.

Научные положения, выводы и рекомендации в работе, подтверждаются результатами как теоретических, так и экспериментальных исследований, что обеспечивает их достоверность и обоснованность.

Диссертация и презентация к ней, выполнены в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и соответствуют ГОСТ.

Замечания по диссертации:

1. Для повышения угла загиба со стороны плакирующего слоя целесообразно провести термическую обработку.

2. Для полноты исследования в перспективе, провести микроисследования сварного шва и околошовной зоны.

Магистерская диссертация Ромашева Д. В. выполнена на высоком уровне, соответствует заданию, содержит необходимый наглядный материал по выбранной теме, имеет прикладной и экспериментальный исследовательский характер. Считаю, что диссертация может быть допущена к защите в ГЭК, а ее автор заслуживает присвоение квалификации магистра по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», по профилю «Материаловедение и технологии новых материалов».

К.т.н., инженер-технолог

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



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Структурные особенности и технические характеристики	8
металлических материалов с ВП.....	8
Выводы по первой главе	12
2 Патентное исследование	13
2.1 Задание на патентное исследование	13
2.2 Регламент и глубина патентного исследования.....	15
Выводы по второй главе	20
3. Перспективные решения по применению материалов с ВП в промышленности	23
3.1 Атомная промышленность.....	23
3.2 Химическая и нефтехимическая промышленность.....	25
3.3 Нефтегазодобывающая промышленность	28
Выводы по третьей главе	30
4 Технология сварки материалов с ВП	31
4.1 Технологии дуговой сварки материалов с ВП с использованием материалов на никелевой основе.....	32
4.2 Методы входного контроля для проверки качества исходных заготовок под сварку.....	33
4.3 Подготовка заготовок под сварку.....	34

4.4	Технология ручной дуговой сваркой материала с ВП покрытым электродом способом MMA (Manual Metal Arc), с применением сварочных электродов на никелевой основе	40
4.4.1	Расчет режимов ручной дуговой сварки покрытым электродом для выполнения сварки 4-х слойного материалов с одним протектором.....	41
4.4.2	Технология дуговой сварки материала с ВП с применением сварочных электродов <i>NiCrFe-3</i> с содержанием никеля более 70% способом <i>MMA</i>	45
4.5	Технология ручной дуговой сваркой материала с ВП неплавящимся электродом в среде инертных защитных газов способом TIG (Tungsten Inert Gas), с применением присадочных материалов на основе никеля.....	49
4.5.1	Описание технология сварки материала с ВП с применением сварочной присадки, содержащей никель более 70% способом <i>TIG</i>	50
4.6	Технология дуговой сварки материала с ВП, газозащитной порошковой проволокой FCAW (Flux-Cored Arc Welding) на основе никеля.....	52
4.6.1	Расчет режимов газозащитной порошковой проволокой для выполнения сварки 4-х слойного материала с ВП	54
4.6.2	Описание технология сварки материала с ВП с применением порошковой сварочной проволоки, содержащей никеля более 70%	56
	Выводы по четвертой главе	61
5	Методы контроля сварных соединений	62
5.1	Испытание на одноосное растяжение образцов контрольных сварных соединений (КСС) из материалов с ВП	62
5.2	Исследование ударной вязкости экспериментальных образцов КСС из материалов с ВП.....	66
5.3	Исследование технологических свойств образцов КСС из материалов с ВП	68
5.4	Макроанализ КСС из материалов с ВП.....	71

5.5 Коррозионные испытания сварных соединений.....	72
Выводы по пятой главе.....	73
Заключение.....	74
Список сокращений	76
Список литературы	77
Приложение А.....	85
Приложение Б.....	96
Приложение В	104
Приложение Г.....	120

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, коррозия оказывает огромное экономическое и экологическое воздействие практически на все аспекты мировой инфраструктуры: нефтяной, нефтегазовой, химической промышленности, систем водоснабжения и очистки сточных вод, атомной энергетики. В дополнение к серьезным повреждениям и угрозам общественной безопасности коррозия нарушает работу и требует значительных затрат на ремонт и замену поврежденных активов. По оценкам экспертов [1] ежегодная стоимость коррозии во всем мире, превышает 1,8 трлн, долларов, что составляет от 3 до 4% валового внутреннего продукта промышленно – развитых стран.

В настоящее время, инновационность в разработке новых коррозионностойких сталей в большинстве случаев основано на увеличении содержания легирующих элементов, таких как хром, никель, и молибден. По сведению аналитиков [2], потенциал данного метода практически себя исчерпал, так как любое увеличение электрохимического потенциала материала, неизбежно приводит к усилению питтинговой коррозии. Кроме того, стоимость коррозионностойких сталей достаточно высока.

В свете данной проблемы, остро встает вопрос о целесообразности применения материалов с внутренним протектором (ВП) [5]. В этих материалах успешно реализованы конструкционно - инновационный метод защиты от коррозии. Назначение того или иного состава слоев многослойных материалов производится в зависимости от агрессивной среды и соотношения электрохимических потенциалов используемых компонентов, а также величины рабочего давления, температуры и ряда других факторов. Кроме этого, они экономически выгодны. Сегодня в мире самым распространенным видом слоистых материалов являются двухслойные стали. Они широко применяются для изготовления сосудов и аппаратов для агрессивных сред, в т.ч. сероводородной, работающие при нормальных, высоких и низких значениях температур, корпусов реакторов, теплообменного оборудования, аммонизатор – грануляторов и т. д.

Двухслойные стали состоят из основного слоя и плакирующего, который контактирует с агрессивной средой. Основной слой как правило изготавливается из углеродистой, низколегированной стали, а плакирующий из коррозионностойкого высоколегированного сплава. Срок эксплуатации изделий из этих сталей зависит от толщины плакирующего слоя, а прочностные характеристики определяется основным слоем.

В этой связи, принципиально новым решением является применение материала с ВП. Основой повышения коррозионной стойкости является слоистая структура материала, содержащего компоненты с различным электрохимическим потенциалом, что трансформирует коррозионный процесс, разбивая его на отдельные стадии, и существенно снижает скорость сквозного коррозионного поражения. Научно - технические и конструкторские решения, используемые при создании многослойных материалов, позволяют изменить характер развития коррозионных процессов в ходе эксплуатации оборудования и трансформировать возникающую в материале питтинговую коррозию в общую, скорость развития которой в связи с наличием внутреннего протектора многократно снижается [3, 4].

Для выполнения конструкций и аппаратов из этих сталей, главной задачей является их сварка и ремонт. При этом полученное сварное соединение должно не уступать по коррозионной стойкости основному материалу, а также иметь высокие прочностные характеристики. Важное значение в этой связи приобретает разработка технологического процесса сварки материала с ВП и его промышленного применения, особенно, при изготовлении оборудования для объектов опасных производств.

Объект исследования: сварные соединения из материала с ВП, работающие в химических агрессивных средах.

Предмет исследования: сварные соединения из материала с ВП выполнение разными способами сварки, структуры сварного шва и околошовной зоны, механические свойства, коррозионная стойкость.

Цель исследования: установить особенности формирования структуры и свойств сварного шва при создании неразъёмных сварных соединений материала

с ВП, полученных дуговыми методами сварки, обеспечивая высокую коррозионную стойкость и механические свойства сварного шва не уступающих основному металлу.

Для достижения обозначенных целей необходимо решить следующие задачи:

- а) рассмотреть методы и способ получения материалов с ВП;
- б) провести патентный поиск по предлагаемой теме;
- в) рассмотреть особенности формирования структуры и способы получения сварных соединений материалов с ВП
- г) осуществить подбор сварочных материалов, технических средств для выполнения дуговой сварки материалов с ВП;
- д) разработать технологию и порядок проведения сварочных работ для получения неразъёмных сварных соединений материалов с ВП.
- е) выполнить сварку контрольных сварных соединений материалов с ВП с проведением методов контроля.
- ж) провести коррозионные испытания сварных соединений.

Подлинность и обоснованность: научные положения, выводы и рекомендации подтверждаются результатами как теоретических, так и экспериментальных исследований, что обеспечивает их достоверность и обоснованность.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- произведена оценка условий формирования неразъёмного соединения при дуговой сварке материалов с ВП, разработаны технологические схемы и режимы процесса;
- определена эффективность использования новых сварочных материалов при дуговой сварке материалов с ВП в условиях промышленного применения;
- обозначены условия, исключаящее образование питтинговой коррозии в зоне сплавления сварного шва и основного металла;
- разработана методология применения промышленных способов сварки MMA, TIG, FCAW материалов с внутренним протектором, влияющих на формирование сварного соединения;

– показана возможность широкого использования предлагаемой технологии сварки материалов с ВП для сосудов и аппаратов, работающих в агрессивных средах.

Практическая значимость работы:

– разработаны технологии по созданию неразъемных соединений материалов с ВП с применением новых сварочных материалов;

– разработаны технология с применением новых методов дуговой сварки материалов с ВП;

– проанализированы и назначены режимы и способы дуговой сварки материалов с ВП, для получения сварных соединений с необходимыми механическими свойствами;

– определен спектр сварочных материалов необходимых для сварки материалов с ВП;

– определены области применения в промышленности изделий из материалов с ВП.

Публикации: в рамках настоящей работы были реализованы инновационные технические решения и осуществлены научные изыскания, которые, опубликованы статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также две научные статья, опубликованная в изданиях входящих в Российский индекс научного цитирования.

1 Структурные особенности и технические характеристики металлических материалов с ВП

Материалы с внутренним протектором являются важным компонентом во многих отраслях промышленности, особенно в сфере атомной энергетики, строительства, судостроения, химической отрасли и т.д. [5]. Эти материалы обладают высокой защитой от коррозии, что делает их перспективными для использования в условиях, где материалы подвержены агрессивным химическим процессам или воздействию влаги и атмосферных условий. Значительные исследования и разработки были проведены для определения наиболее эффективных способов производства материалов с ВП [5].

Материалы с ВП представляет собой инновационное решение, обладающее высокой прочностью и коррозионной стойкостью [3]. Этот материал состоит из нескольких слоев металла, представлен на рисунке 1.

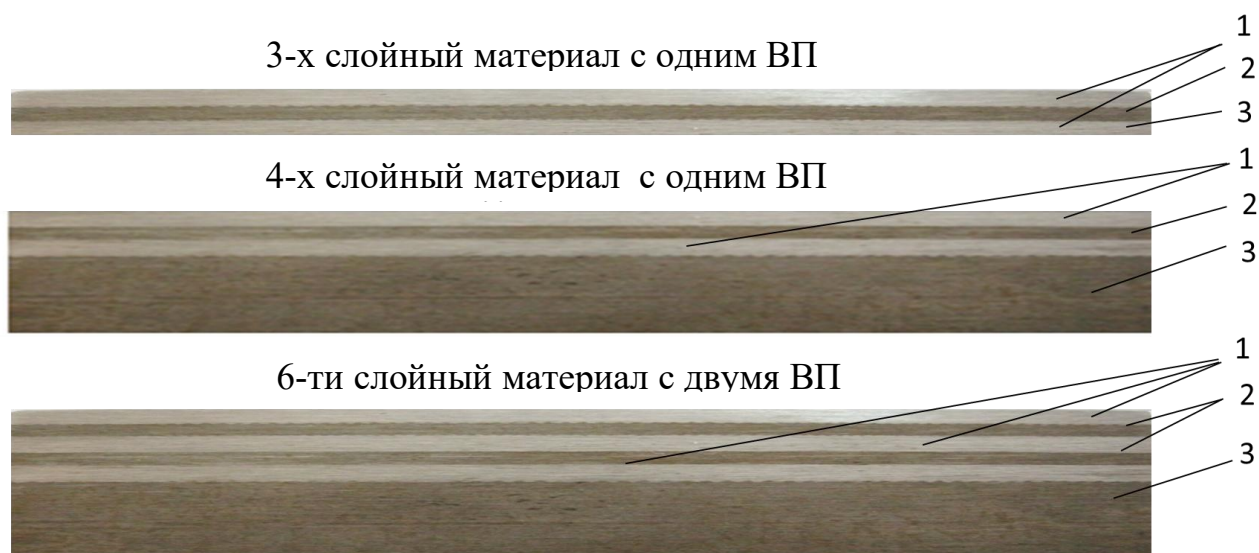


Рисунок 1 – Структура материалов с ВП

1 – слой с высоким электрохимическим потенциалом; 2 – внутренние протекторы; 3 – основной слой, по которому рассчитывают прочность всей металлоконструкции.

Слои, контактирующие с агрессивной средой, изготавливают высоколегированные аустенитно-ферритные, аустенитные и хромоникелевых сталей с аустенитной структурой. Электрохимический потенциал (ЭХП) данного материала может находиться в пределах от + 0,25 до + 0,40 В.

Второй слой представляет собой углеродистую сталь с более низким ЭХП (от $-0,35$ до $-0,50$ В). Он подвержен анодному растворению в коррозионно-активной среде, и является фактическим протектором, обеспечивающим изменение характера коррозионного поражения первого и третьего слоёв материала с ВП.

Четвёртый слой из углеродистой, либо низколегированной стали обеспечивая стойкость к механическим воздействиям, таким как удары, изгибы или временные перегрузки для защиты материала в экстремальных условиях.

Принцип работы материалов с ВП представлен на рисунке 2.

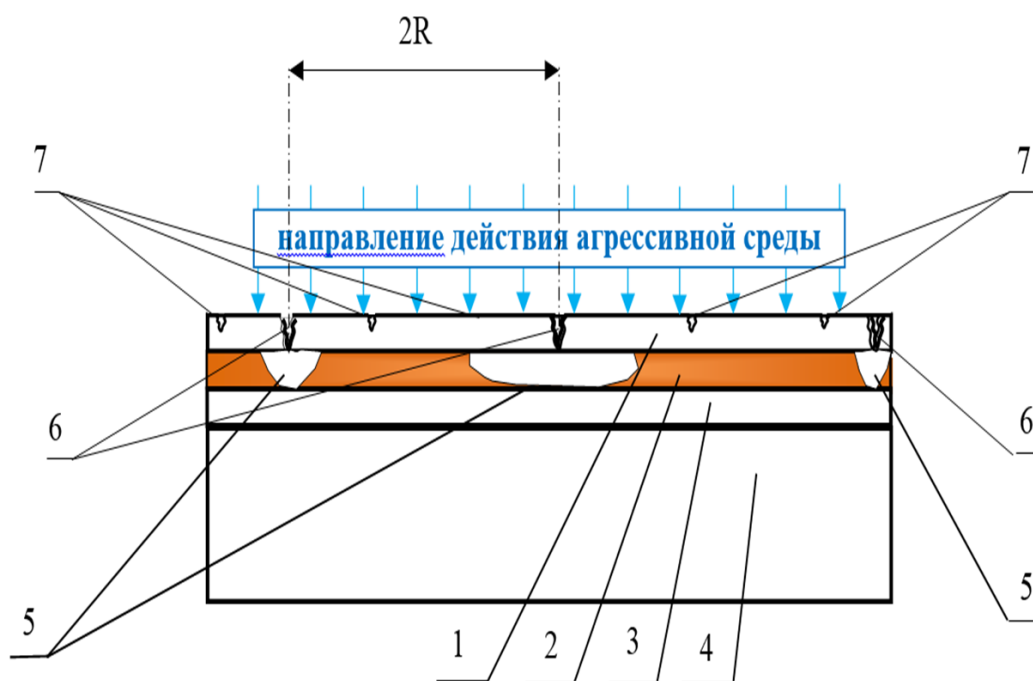


Рисунок 2 – Основной принцип работы внутреннего протектора материалов с ВП: 1 – наружный слой; 2 – внутренний протектор; 3 – третий слой; 4 – базовый слой; 5 – линзы из продуктов коррозии; 6 – сквозные питтинги первого слоя; 7 – питтинги, прекративших рост ввиду действия внутреннего протектора; R – радиус действия внутреннего протектора

При контакте изделия с агрессивной средой в 1-ом слое зарождаются питтинги, рост которых направлен вглубь материала и развивается с разной скоростью. Питтинги с наибольшей скоростью коррозионного поражения при достижении 2-го слоя (углеродистая сталь), создают гальваническую пару меняя характер коррозии из питтинговой на контактную. Рост соседних питтингов,

прекращается. В месте контактной коррозии активность коррозии многократно увеличивается. Однако активному развитию препятствуют ряд факторов, а именно:

- крайне малый размер поперечного сечения питтинга (от 100 до 350 мкм) препятствует активному поступлению агрессивной среды в зону коррозионного поражения и, соответственно активному развитию коррозионных процессов;

- продукты коррозии всегда по удельному объёму больше, чем исходный материал, в связи с чем в зоне контактной коррозии создаётся повышенное давление, препятствуя поступлению нового реагента в данную область;

- ввиду отличия в ЭХП 1-го и 2-го слоёв развитие контактной коррозии может происходить только в слоях с пониженным ЭХП, причём это даже в условиях, при которых 2-ой слой создаст линзу из реагента и продуктов коррозии, входя в контакт с 3-им слоем, также выполненным из нержавеющей стали с высоким ЭХП. Однако зарождения новых питтингов в 3-ем слое не происходит, т.к., второй слой одновременно является протектором для 1-го и 3-го слоёв, защищая их. Это протекает до тех пор, пока диаметр линзы не достигнет некоторого критического размера, на котором прекращается действие гальванической пары. Только в этом случае могут протекать процессы зарождения и развития питтинга в 3-ем слое.

В качестве наружного слоя, могут выступать хромо-никелевые и хромо-никель-молибденовые стали нержавеющей стали аустенитного класса (типа 12X18H10T, 08X16H9M2, 08X18H12Б, 02X8H22C6 и их зарубежные аналоги *AISI 304*, *AISI 321*, *AISI 347* (США); *1.4301*, *1.4541*, *1.4550* (EN); *0Cr18Ni11Nb*, *1Cr18Ni11Nb*, *1Cr19Ni11Nb* (Китай), и др. а в качестве протекторов могут быть использованы стали с низким электрохимическим потенциалом, как низкоуглеродистые и низколегированные ферритно-перлитные стали обыкновенного качества (Ст1, Ст2, Ст3), либо качественные (Сталь 08, Сталь 10, Сталь 15 и Сталь 20), либо низколегированные (09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2С1 и 10Г2Б) и их зарубежные аналоги (*A 516-55*, *A 516-60*, *A 516-65*, *A 561 Gr70* (США); *12Mn*, *09Mn2* (Китай) и др.

Преимущества над аналогами:

Материалов с ВП не имеют сто процентных в мире аналогов по эффективности в мире. Эти материалы, в отличие других методов защиты от питтинговой коррозии, обладают рядом уникальными характеристиками:

а) осуществление контроля коррозионных процессов неразрушающими методами контроля (без остановки технологического цикла);

б) существенно повышается рабочий ресурс металлических и неметаллических конструкций и узлов оборудования в 5 – 15 раз;

в) осуществляется значительная экономия сырья при создании антикоррозийного материала за счёт использования большей доли более дешёвых конструкционных сталей;

г) универсальность — возможно изменять количество и состав слоев, для эффективной работы материала в агрессивных средах при различных давлениях и температурах;

д) при добавлении в состав многослойного материала жаропрочных коррозионностойких металлов эксплуатируемое энергетическое оборудование способно выдерживать нагрузку при сверхкритических параметрах (температура до 750 °С, давление до 24 МПа) [6].

Экономичность данного материала очевидна, так как находится в одном ряду с широко распространёнными коррозионностойкими нержавеющей стали аустенитного класса, а по коррозионной стойкости сопоставим с палладием, молибденом, никелем и хастеллоем [7].

Самым актуальным и перспективным методом для получения материалов с ВП является сварка взрывом. Преимущества сварки взрывом обусловлены, в первую очередь, возможностью соединения двух и более плоских заготовок большой площади за один технологический цикл, высокой прочностью соединения слоев, малой протяженностью переходной зоны, относительно низким уровнем материальных затрат [8].

Из проведенного анализа основных технологий получения такого материала, таких как пакетная прокатка, прессование, наплавка, диффузионная сварка, газотермическое и газодинамическое напыление, показал высокую эффективность сварки взрывом [9]. При условии минимальной себестоимости данный способ позволяет получать за один технологический цикл слоистые металлические материалы из разнородных металлов и сплавов с количеством слоев до 10 и более и площадью соединений до 20 м² [10]. Соединение слоев осуществляется в твердой фазе. Применение последующей горячей прокатки позволяет многократно увеличить площадь композиционного материала (от 2 до 10 раз). Основной металл и плакирующие слои при этом не изменяют своего химического состава. Переходная зона не превышает нескольких микрон [11].

Выводы по первой главе

Материалов с ВП – это технологический прорыв, предоставляющий превосходную сочетаемость прочности и защиты. Эти инновации позволяют создавать материалы с высокой устойчивостью к коррозии и прочностными характеристиками, что делает их идеальными для использования в различных отраслях. Разработанный с использованием передовых методов и материалов, он открывает новые горизонты для промышленности и безопасности, переводя стандарты дальше вперед в области защищенных конструкций и персональной безопасности. Будущее для материалов с ВП выглядит обещающим, и дальнейшие исследования и разработки будут способствовать их улучшению и расширению применения.

2 Патентное исследование

С целью обнаружения инновационных технических решений, направленных на улучшение получения неразъёмных сварных соединений материалов с ВП, было выполнено патентное исследование.

Патентное исследование (ПИ) проводится в соответствии с ГОСТ Р15.011–2022 [12]. Оно включает в себя патентно-информационный поиск, в сфере интеллектуальной собственности и включающая, анализ и систематизацию патентной, а также иной информации с целью выявления технико-правового окружения объекта исследования и обеспечения научно-технического продвижения продукции. Приоритетом поиска является, определение целей и задач исследования, поиск базы данных, анализ и глубину поиска, тенденции развития исследуемого объекта и перспективы развития.

2.1 Задание на патентное исследование

Тема исследования «Новейшие разработки в области сварочных технологий, продуктивные методики и сварочные материалы, применяемые для выполнения сварочных работ материалов с ВП посредством электродуговой сварки».

Задание на проведения патентного исследования выдано научным руководителем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедры «СЛПиМ» Розена А.Е.

Начало проведения патентного исследования 09.04.2025 года. Окончание исследования 02.06.2025 года. Календарный план патентного исследования представлен в таблице 1

В данной работе объектом патентного исследования являются сварка металлических материалов с внутренним протектором, полученных сваркой взрывом, предметом поиска – технологии, оборудование, способы и средства получения неразъёмных сварных соединений материалов с ВП электродуговыми способами сварки.

Цели и задачи патентно-информационного поиска:

- определение новых технических решений в области разработки производства сварных конструкций из материалов с ВП при помощи электродуговых способов сварки;
- анализ новейших достижений в области сварочных технологий, методов и способов сварки материалов с ВП с использованием современных достижений техники;
- определение наиболее перспективных сварочных материалов для сварки материалов с ВП.

Важнейшими признаками патентно-информационный поиска определяющие границы области исследования являются: способы сварки, инновации сварочных процессов, сварка разнородных металлов, сварочные материалы для сварки коррозионностойких и разнородных сталей, механизация и автоматизация сварочных производств.

Таблица 1 – Календарный план на проведения патентного исследования

Виды патентных исследований	Ответственные за ПИ	Ответственные исполнители (ФИО)	Сроки выполнения ПИ (начало – окончание)
Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ, данные национальных патентных ведомств [13]	ПГУ, кафедра «СЛПИМ»	Ромашев Д.В.	09.04 – 02.06.2025
Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) [14]			
Европейским патентным ведомством [15]			
Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации [16]			
Информационно-поисковая система по нормативным документам. NormaCS®. [17]			

2.2 Регламент и глубина патентного исследования

Регламент патентного исследования состоит из определения вида поиска, его глубины и ретроспективности (количества лет). Помимо этого, указываются страны, ограничивающие объём поиска, выбираются источники информации, по которым будет вестись поиск, аналоги объекта и индекс МПК.

Для выполнения поставленной задачи, был определен и проведен патентно-информационный поиск. Целью поиска является анализ последних инноваций в области сварочного производства, применение сварочных технологий и методик для получения неразъёмных сварных соединения материалов с ВП.

Глубина поиска составила 20 лет. В результате проведенной работы, были изучены патентные базы данных, включая информацию о зарегистрированных патентах, публикациях, научных статьях и других источниках. В ходе поиска были определены основные тренды и направления развития в области сварочного производства, технологий и материалов для сварки конструкций из материалов с ВП электродуговыми способами сварки.

Регламент и результаты патентно-информационного поиска, патентная документация, изобретения, техническая информация, используемая для патентного исследования представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Регламент патентно-информационного поиска.

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна поиска	Источники информации, по которым будет проводиться поиск					Ретроспективность (глубина поиска)
		патентные			НТИ и другие		
		Наименование БД патентной информации	Используемые для поиска ключевые слова и сокращения в различных комбинациях (на рабочем языке используемой поисковой системы)	Классификационные рубрики: МПК(СПК), МКПО, МКТУ и другие	Наименование БД научно-технической (не патентной) информации и	Рубрики УДК и другие	
1	2	3	4	5	6	7	8
Анализа последних инноваций в области сварочного производства, применения сварочных технологий и методик для получения неразъёмных сварных соединений материалов с ВП	Россия, Европа, Китай, США	Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ, данные национальных патентных ведомств. Европейского патентного ведомства. Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС).	Технология сварки, дуговая сварка в среде защитных газов, присадочные сварочные материалы, дуговая сварка в среде инертных газов.	B23K 9/095, B23K 9/167, B23K 9/095, B23K 9/173, B23K 9/23 B23K 35/30, B23K 35/3086, B23K 35/36, B23K 35/362, B23K 35/368, B23K 35/02, C22C 19/05.	Сварка и родственные процессы. Присадочный материал в виде прутков. Сварочные проволоки. Дуговая сварка в среде защитных газов. Прочие комбинированные методы сварки	621.791 621.791.04 621.791.754 621.791.89	2004-2024

Копии патентов на изобретения, техническая документация, используемая при проведении патентного исследования представлены в приложении А.

В соответствии с задачами и требованиями, установленными регламентом патентного исследования, были определены основные направления поиска, сформулированы цели и задачи исследования, а также выбраны релевантные источники патентной информации.

Таблица 3 – Результат патентно-информационного поиска

Номер охранного документа с двухбуквенным кодом страны	Название объекта интеллектуальной собственности	Заявитель (правообладатель)	Классификационные рубрики	Дата публикации
1	2	3	4	5
RU 2 570 145 C1	Способ импульсно-дуговой сварки способом TIG.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет" (RU)	МПК B23K 9/09 B23K 9/16	2014-03-06
RU 2 429 111 C2	Комбинированный способ импульсного управления процессом сварки плавящимся электродом	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский политехнический университет" (RU)	МПК B23K 9/095	2011-09-20
RU 2 475 344 C1	Способ сварки неплавящимся электродом в защитных газах	Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии-Атомстрой" (ОАО "НИКИМТ-Атомстрой") (RU)	МПК B23K 9/167 B23K 9/09	2013-02-20
RU 2 345 873 C2	Синергетическая система сварки	Линкольн Глобал, Инк. (us)	МПК B23K 9/09B23K 9/10 B23K 9/173 B23K 35/368	2009.02.10
WO2017142435A1	Способ сварки изделия из коррозионностойких многослойных металлических материалов	Обществом с Ограниченной Ответственностью "Ромет" (RU)	МПК B23K 9/23	2017-08-24
WO2005044502A1	Способ, аппарат и программное обеспечение для газовой дуговой сварки электродом с непрерывной подачей	Пер ОБЕРГ (SE); Томас Карлссон (SE); Ханнес ЛЁФГРЕН (SE) Заявитель и правопреемник ESAB AB (SE)	B23K 9/173	2005-05-19

Продолжение таблицы 3

Номер охранного документа с двухбуквенным кодом страны	Название объекта интеллектуальной собственности	Заявитель (правообладатель)	Классификационные рубрики	Дата публикации
CN106695156A	Супердуплексная порошковая проволока из нержавеющей стали	Юй Хуацзинь (CH) У Лин Фэй (CH) Правопреемник SHANGHAI WELDING APPLIANCES CO Ltd (CH)	МПК B23 K35/02 B23 K35/30	2017-05-24
CN102699579A	Порошковая проволока для сварки в защитных газах высокохромоникелевых цельноаустенитных нержавеющей сталей.	ООО «Центральный научно-исследовательский институт строительства и строительства». Группа компаний «МКС» (RU) Jingye Engineering Corp Ltd. (CH)	МПК B23K 35/368 B23 K35/40	2014-07-02
CN111571063A	Порошковая проволока для сверхнизкотемпературной сварки нержавеющей стали.	Пекинская компания LLC Jinwei Welding Material Co., Ltd. (CH) «Центральный научно-исследовательский институт строительства и строительства» Группа компаний «МКС» (RU)	МПК B23K 35/3086	2022-04-15
US9950394	Системы и методы сварки электродами	ООО Хобарт Бразерс (US)	МПК B23K 35/36	2018-04-24
US8704135	Синергетическая сварочная система	Линкольн Глобал Инк (US)	МПК B23K 35/362	2014-04-22
RU 2 336 983 C2	Порошковая проволока для дуговой сварки в защитном газе	КАБУСИКИ КАЙСЯ КОБЕ СЕЙКО СЕ (JP)	МПК B23K 35/368	2008-10-27
RU 2 592 648 C2	Сварочная проволока с флюсовой сердцевинкой, способ ее изготовления и ее применения	ИЛЛИНОЙС ТУЛ ВОРКС ИНК. (US)	МПК B23K 35/368 B23K 35/40 B23K 35/30	2016.07.27
RU 2 281 843 C1	Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU)	МПК B23K 35/368	2006.08.20

Продолжение таблицы 3

Номер охранного документа с двухбуквенным кодом страны	Название объекта интеллектуальной собственности	Заявитель (правообладатель)	Классификационные рубрики	Дата публикации
RU 2 281 843 C1	Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU)	МПК B23K 35/368	2006.08.20
RU 2 373 039 C1	Сварочная проволока для сварки жаропрочных жаростойких сплавов	Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "ПРОМЕТЕЙ" (ФГУП "ЦНИИ КМ "ПРОМЕТЕЙ") (RU)	МПК B23K 35/30	2009.11.20
RU 2 440 876 C1	Сварочная проволока для сварки корпусных деталей из разнородных сталей	Старченко Евгений Григорьевич (RU) Носов Станислав Иванович (RU) Бастаков Леонид Антонинович (RU) Кабанов Илья Викторович (RU) Муруев Станислав Владимирович (RU) Тазлов Яков Яковлевич (RU)	МПК B23K 35/30 C22C 19/05	2012.01.27
US7562807B2	Присадочный материал для сварки разнородных легированных сталей и способ его использования	Кент К. Коулмэн (US); Дэвид Уэйн Ганди (US); Рамасвами Вишванатхан (US); Уильям Ф. Ньюэлл-младший (US). Текущий правопреемник Научно-исследовательский институт электроэнергетики (US)	МПК B23K 35/00 C22C 19/05	2009.07.21
RU 2 416 504 C2	Композиционная сварочная проволока	Паршин Сергей Георгиевич (RU)	МПК B23K 35/02 B23K 35/10	2011.04.20
US 11135670 B2	Система для дуговой сварки под флюсом с использованием горячей и холодной проволоки	Ханнес Раудсепп (SE); Мартин Андерссон (SE); Томас Йоханссон (SE); Рикард Юнгквист (SE). Заявитель и правопреемник ESAB AB (US)	МПК B23K 9/18 B23K 9/12	2019.02.28

В ходе анализа были идентифицированы современные технические решения, методы сварки и сварочные материалы, основанные на передовых физических и технологических принципах, применимых к процессам сварки материалов с ВП. Наиболее эффективными можно отметить, это «Комбинированный способ импульсного управления процессом сварки плавящимся электродом» [18], «Синергетическая система сварки» [19], «Способ сварки изделия из коррозионностойких многослойных металлических материалов» [20], «Способ, аппарат и программное обеспечение для газовой дуговой сварки электродом с непрерывной подачей» [21], «Супердуплексная порошковая проволока из нержавеющей стали» [22], «Порошковая проволока для сварки в защитных газах высокохромоникелевых цельноаустенитных нержавеющей сталей» [23], «Синергетическая сварочная система» [24], «Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей» [25], «Присадочный материал для сварки разнородных легированных сталей и способ его использования» [26], «Композиционная сварочная проволока» [27], «Система для дуговой сварки под флюсом с использованием горячей и холодной проволоки» [28].

На основе изучения и анализа доступной научно-технической и нормативной документации, можно заключить, что рекомендации ОСТ 26.260.480[29] и СТО 00220368–011–2007 [30] целесообразно использовать при подготовительных работах материалов с ВП под сварку, выполнение сварочных операций и устранения дефектов в случае их выявления

Выводы по второй главе

Из анализа проведенного патентно-информационного поиска установлено, что современное сварочное производство характеризуется интенсивным технологическим прогрессом. Особое внимание уделяется инновационным технологиям, которые становятся приоритетными направлениями развития отрасли таким как синергетические системы, сварка порошковыми проволоками, комбинированные способы сварки, технологии сварки расщепленной дугой.

Данные высокоэффективные технологии, применимы к процессам получения неразъёмных соединения материалов с ВП, что глобально расширяет их область применения в разных областях. Примером применения технология синергетических систем служит способ объединить различные типы дуг, таких как короткая дугу, струйного переноса и разночастотный импульс. Таким образом, скорость сваривания, выделение тепла, характер проплавления и производительность наплавки оптимально сбалансирована. Прототипом комбинированной сварки, является применение прорывной технологии *ICE*.

ICE – это сварка расщепленной дугой, с применением трех проволок, две из которых «горячие» и одна «холодная». Регулирование подачи «холодной проволоки» при сварке, позволяет получить более плоский валик шва, уменьшает тепловложения в зону сварки, многократно увеличивает усталостную прочность и уменьшает объем после сварочной обработки шва. Эти факторы значительно повышают качество и производительность сварочных работ.

В ходе исследования обоснована необходимость применения сварочных материалов, обладающих электрохимическим потенциалом (ЭХП), превышающим значение ЭХП металла плакирующего слоя, находящегося в непосредственном контакте с агрессивной средой. Указанное требование распространяется также на нечётные слои материалов с ВП, выполняющие функцию антикоррозионного барьера, препятствующего развитию очаговой (питтинговой) коррозии [31]. Комплексное применение новых материалов в сочетании с современными сварочными технологиями обеспечивает целый ряд технологических преимуществ, таких как повышение коррозионной стойкости сварных соединений и надёжность конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

За счёт более точного контроля тепловложения достигается снижение величины вносимой погонной энергии в сварочную ванну, что особенно критично при формировании коррозионностойких внешних слоёв. Порошковые проволоки за счёт специфической структуры обеспечивается устойчивый и равномерный перенос металла. Уменьшение разбрызгивание электродного металла способствует снижению потерь материала и снижению затрат на последующую механическую

обработку. Совокупность указанных факторов приводит к улучшению формирования сварного шва, повышению его однородности, снижению риска образования внутренних дефектов и, как следствие, к повышению надёжности и долговечности сварной конструкции.

3. Перспективные решения по применению материалов с ВП в промышленности

Область применения материалов с ВП очень разнообразна начиная с атомной промышленности (контейнеры для хранения радиоактивных отходов), нефтеперерабатывающей промышленности (конструкционные материалы для криогенного оборудования, градирней), судостроение (корпуса танкеров, ледоколов; морские платформы), химическая промышленность (материалы для конструкций, эксплуатируемых в химических агрессивных средах), электроэнергетика (крышки турбины, направляющий аппарат и сервомоторы, статор, ротор, трубопроводы для ГЭС) и заканчивая тяжелым машиностроением (производство оборудования и машин специального назначения - горного, металлургического оборудования, пр).

Многослойная структура материалов с ВП делает их перспективным для широкого спектра применений.

3.1 Атомная промышленность

Атомная энергетика является неотъемлемой частью мирового электроэнергетического баланса, обеспечивая около 10 процентов мирового электричества. По данным всемирной ядерной ассоциации (WNA), в мире на 2024 год насчитывается 439 действующих атомных реакторов, расположенных в 31 стране и строится 64 ядерных реактора [32]. Карта АЭС атомной энергетики в мире представлена на рисунке 3.

В процессе работы АЭС образуются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), которые в дальнейшем перерабатываются с помощью систем специальной водоочистки. Очищенная вода возвращается в цикл АЭС, дебалансные воды сбрасываются в окружающую среду. Оставшиеся радиоактивные отходы (РАО) в виде концентраты от переработки загрязнённых вод и ионообменные смолы направляются на хранение в хранилища жидких отходов (ХЖО) [33].

На сегодняшний день в России и мире остро стоит проблема, касающаяся складирования или захоронения РАО. Главными генераторами РАО выступают ядерный топливный цикл (ЯТЦ) атомных электростанций, работа различных исследовательских институтов и экономическая деятельность. Специфика этих отходов заключается в присутствии в их составе расщепляющихся элементов, представляющих серьезную угрозу для здоровья людей, окружающей среды и экологической безопасности.

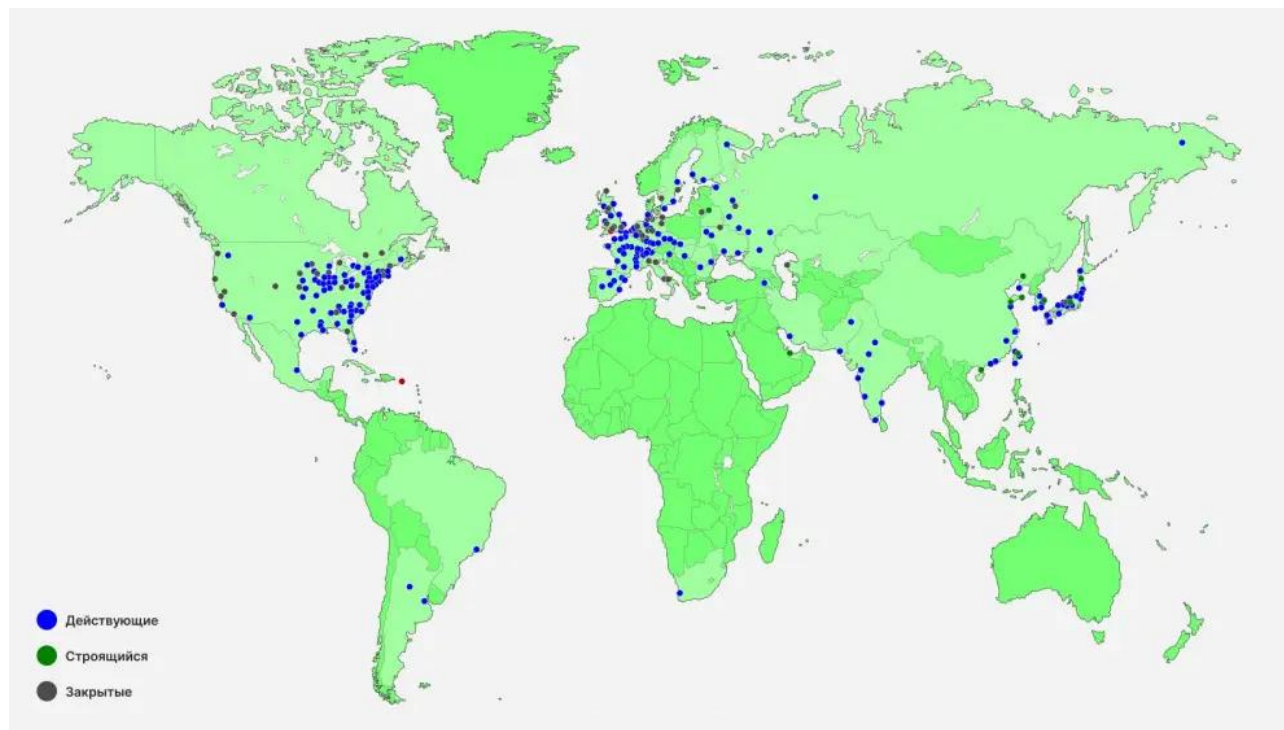


Рисунок 3 – Карта действующих, строящихся и закрытых АЭС в мире

В настоящее время для хранения преимущественно используются хромо-никелевые аустенитные нержавеющие стали (типа 10X18H12T, 12X18H10T, 08X16H9M2, 10X14AG15, 02X8H22C6 по ГОСТ) и их зарубежные аналоги, такие как *AISI 304*, *AISI 321*, *ASTM 321* (США), *X10CrNiTi18-9* (Германия), *SUS 321*, *SUS 321 TK* (Япония), *1Cr18Ni11Nb* (Китай). Срок службы контейнеров из этих материалов ограничен 70 и 90 годами соответственно. Это влечет за собой необходимость периодической замены существующих емкостей на новые, с перегрузкой отходов, а выработавший ресурс металл отправляется на переработку.

В связи с этим, существует потребность в надежной упаковке РАО в контейнеры, обеспечивающие защиту от коррозии, в том числе от ионизирующего излучения, на продолжительный период (от 100 до 400 лет), исключая необходимость их извлечения и повторной консервации, что позволит реализовать возможность приповерхностного хранения.

Применение инновационной технологии материалов с ВП дает возможность создавать емкости для РАО с характеристиками, которые значительно продлевают период их безопасного захоронения [34].

3.2 Химическая и нефтехимическая промышленность

Коррозия металлов и сплавов является одним из наиболее серьезных и дорогостоящих проблем, стоящих перед химической промышленностью. Агрессивные среды, характерные для химических производств, значительно ускоряют процессы разрушения материалов, приводя к колоссальным экономическим потерям, связанным с заменой оборудования и угрозой безопасности персонала и окружающей среды.

В сфере нефтепереработки, коррозия приводит к непредвиденным остановкам, аварийным ситуациям и, как результат, утрата сырья, металлов, промежуточных и конечных продуктов. Отличительной чертой процессов нефтепереработки является их металлоемкость (32 кг металла в расчете на 1 т сырья). К примеру, металлоемкость теплообменного оборудования на нефтеперерабатывающих заводах составляет 250 тыс. тонн.

Ущерб, наносимый коррозией резервуарам на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии, оценивается приблизительно в 80 миллионов рублей ежегодно. Помимо этого, коррозионные разрушения приводят к утечкам нефтепродуктов и экологическим бедствиям. Согласно имеющимся, но не полным данным, прямой экономический ущерб от коррозии в нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях России составляет приблизительно 3,9 миллиарда рублей в год [35].

Наиболее значительный ущерб от коррозии в нефтехимической промышленности выявлен при эксплуатации оборудования в агрессивных средах. Для частичного решения проблемы коррозионной стойкости, предприятия используют монометаллы сталь 12X18H10T, 08X21H6M2T либо двухслойные стали 12X18H10T + 09Г2С и др. сочетания.

На рисунке 4 представлен реактора риформинга, объемом 1300м³, внутренним диаметром 9 м, рабочей температурой 520 °С, рабочим давлением 10 Мпа и весом 400 тонн [37].



Рисунок 4 – Реактор риформинга

Данное оборудование изготавливается из двухслойной стали 12X18H10T + 09Г2С стойкой к химической коррозии, межкристаллитной коррозии и абразивному износу. Но в предназначенных условиях эксплуатации у данного

оборудования ресурс ограничен. Ключевой проблемой остается питтинговая коррозия.

Применение материалов с ВП может значительно увеличить ресурс данного изделия, препятствуя развитию питтинговой коррозии.

3.3 Нефтегазодобывающая промышленность

В нефтегазовой индустрии разрушение металлов от коррозии – постоянная проблема на всех стадиях создания углеводородного сырья: от разведывательного бурения до транспортировки по трубопроводам и переработки.

Основными типами коррозии в этой сфере являются:

– При добыче углеводородов выделяемый CO_2 и омывания скважин большим количеством воды, способствуют возникновению углекислотной коррозии. Этот тип коррозии является причиной более 70% аварийному выхода оборудования из строя.

– Наличие сероводород в составе пластовой нефти независимо от его генезиса (реликтового или биогенного), представляет собой фактор риска при её добыче вследствие выраженной коррозионной активности и высокой токсичности. Этот тип коррозии является сероводородной, который способствует образованию микротрещин что может привести к серьёзным эксплуатационным осложнениям и авариям.

Прогрессированию коррозии способствуют присутствие механических включений, представленных песчаными частицами, продуктами коррозии и окалиной, отделившимися от внутренней поверхности трубопроводов, а также формирование осадков в виде солей железа и кальция на элементах лифтовой колонны.

Внутренние поверхности нефтегазового оборудования, контактирующие с водой, газом и нефтью (резервуары, трубопроводы, установки подготовки), особенно подвержены коррозионному воздействию [36].

Комбинированное влияние разнообразных агрессивных сред провоцирует разрушение коррозией, что негативно сказывается на безотказности и сроке службы стальных трубопроводных систем, проложенных под землей. Значительная часть трубопроводов подвергается интенсивному коррозионному воздействию как изнутри, так и снаружи.

В процессе работы, в зависимости от химического состава перекачиваемой среды и преобладающего типа коррозии, материал трубопроводов может подвергаться равномерной коррозии, коррозионному разрушению под

напряжением, образованию точечных дефектов (питтингу), межкристаллитной коррозии, усталостному разрушению под воздействием коррозии и другим видам повреждений. Скорость распространения коррозии представлена на рисунке 5.

Интенсивность развития каждого типа коррозии определяется множеством факторов и может достигать нескольких миллиметров в год, что быстро приводит к появлению сквозных повреждений, таких как язвы. Это становится причиной аварийных ситуаций в трубопроводных системах и влечет за собой значительные финансовые потери [38].

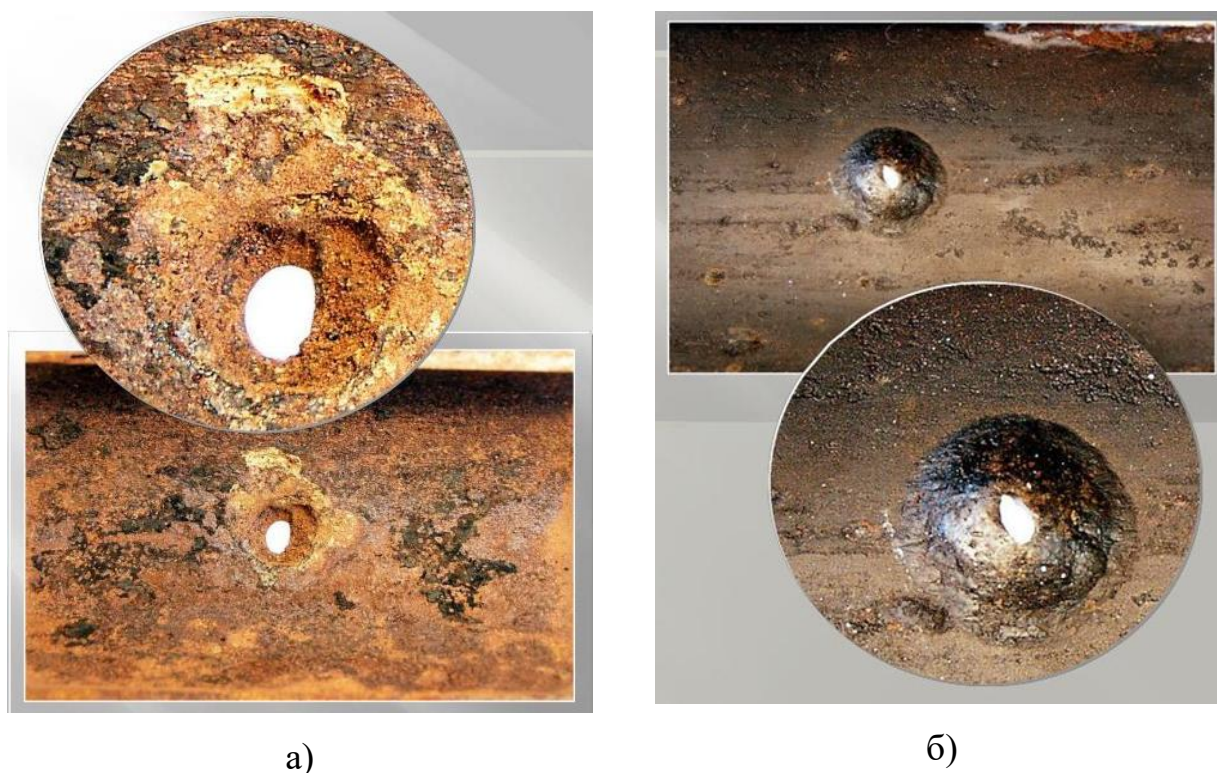


Рисунок 5 – Скорости коррозии труб, применяемых для скважин в нефтяной и газовой промышленности. а) Насосно-компрессорная труба – группа прочности L80; наработка 327 суток; скорости коррозии – 6,14 мм в год. б) Обсадная труба - группа прочности L80; наработка 226 суток; скорости коррозии – 8,83 мм в год

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является разработка новых подходов к защите, направленной на увеличение сопротивляемости трубопроводов к коррозии, повышение их надежности и обеспечение безопасной эксплуатации. В этой связи, перспективным направлением являются сварные и бесшовные трубы,

выполненные из многослойных металлических сплавов с улучшенной коррозионной стойкостью и протекторной защитой.

В зависимости от специфики коррозионного воздействия, могут быть созданы трубы, предназначенные для работы в условиях как одностороннего, так и двухстороннего воздействия агрессивной среды [39].

Выводы по третьей главе

Современные отрасли тяжёлой промышленности, такие как атомная энергетика, нефтехимия и нефтегазовая промышленность, предъявляют повышенные требования к материалам, устойчивым к агрессивным средам и экстремальным условиям эксплуатации. Коррозионные процессы, обусловленные воздействием влаги, химически активных веществ, высоких температур и давлений, являются одной из ключевых причин выхода из строя оборудования, снижая его надёжность и срок службы.

Материалы с ВП представляют собой конструкцию из трех и более металлических слоёв, каждый из которых выполняет определённую функцию. Такой подход позволяет эффективно эксплуатировать материалы в средах, содержащих сероводород, углекислый газ, хлориды и кислоты, снижая тем самым вероятность коррозионного растрескивания, питтинга и межкристаллитной коррозии.

Таким образом, внедрение материалов с ВП в промышленность, представляет собой эффективный путь повышения надёжности и долговечности оборудования, эксплуатируемого в условиях интенсивного коррозионного воздействия.

4 Технология сварки материалов с ВП

Сварка материалов с ВП представляет собой важную технологическую задачу в таких отраслях, как атомная энергетика, нефтехимическая промышленность, машиностроение. Эти материалы, сочетающие слои с различными физико-химическими свойствами, позволяют одновременно обеспечить прочность, коррозионную стойкость и экономическую эффективность конструкции. Однако при сварке таких материалов возникает ряд сложностей, связанных с различием коэффициентов теплового расширения, склонностью к межслойной диффузии и образованию хрупких интерметаллических соединений.

Наиболее распространёнными технологиями сварки материалов с ВП являются дуговая сварка (ручная, аргонодуговая), сварка взрывом, диффузионная сварка, сварка трением с перемешиванием (СТП), а также высокоэнергетические методы, такие как лазерная и электронно-лучевая сварка [40].

Каждая из этих технологий имеет свои особенности. Например, ручная дуговая сварка характеризуется доступностью, возможностью использования в полевых условиях, но сопровождается риском прожога облицовочного слоя, неравномерным перемешиванием переходного и плакирующего слоев, что ведет к снижению коррозионной стойкости в зоне шва. Сварка взрывом позволяет соединять разнородные металлы без теплового воздействия, но применима только при изготовлении заготовок, а не для сварки конструкций. Диффузионная сварка обеспечивает качественное соединение на атомарном уровне, но требует длительного времени цикла и строгого контроля температуры и высококвалифицированного персонала. Лазерная и электронно-лучевая сварка обеспечивают минимальную зону термического влияния, однако характеризуются высокой стоимостью, ограничена толщинами и чувствительностью к качеству подготовки поверхности. Сварка СТП позволяет сваривать мягкие металлы без плавления, но имеет ограничения по геометрии соединения и типу материала.

Таким образом, при выборе метода сварки материалов с ВП необходимо учитывать как технологические параметры, так и специфические требования к

конструкции — прочность, коррозионную стойкость, геометрию изделия и условия эксплуатации. Повышение надёжности и долговечности сварных соединений многослойных материалов требует комплексного подхода, включающего подбор технологии, режимов сварки и последующую термообработку, а также развитие методов неразрушающего контроля качества.

4.1 Технологии дуговой сварки материалов с ВП с использованием материалов на никелевой основе.

При изготовлении емкостного оборудования, резервуаров и систем перегонки углеводородов, ключевым моментом является создание надежных сварных соединений. Важно, чтобы прочность, технологичность и эксплуатационные качества сварного шва, включая устойчивость к коррозии, не отличались от характеристик основного материала. Обеспечение высокого качества сварных соединений при изготовлении резервуаров и транспортных систем требует комплексного подхода, включающего в себя выбор оптимальной технологии сварки, тщательную подготовку кромок, использование качественных сварочных материалов, и соблюдение технологических режимов и проведение контроля качества.

История биметалла начинается с 60 годов XX века, материалы с ВП являются продолжением данной технологии, но и в тоже время инновационным материалом. Несмотря на то, что, принцип сварки материалов с ВП схож по своим особенностям со сваркой двухслойных сталей [29], он имеет свои специфические особенности.

В соответствии с требованием стандарта [41], сварка слоистого материала выполняется в три этапа — это сварка основного слоя, затем переходного слоя и в заключении сваривается плакирующий слой. Для получения надежных прочностных характеристик сварного соединения необходимо профессиональное сварочное оборудование с технологией импульсного режима, такие как Pulse, Super Pulse и др.

Применение новых сварочных материалов с содержанием никеля более 70% позволили разработать новую технологию сварки материалов с ВП. Предлагаемая технология, позволяет:

- исключить сварку переходного слоя, сократив технологию сварки до двух этапов, что значительно экономит время сварки.
- выполнять сварку на полупрофессиональном оборудовании без импульсного режима, так как профессиональное оборудование с импульсным режимом является дорогим сегментом рынка.

На основании проведенной работы можно утверждать, что представленная технология может использоваться при сварки расщепленной дугой с применением технологий *ICE*, сваркой *TWIN*.

В качестве образца сваривался четырехслойный материал (2+2+2+10) 12X18H10T+09Г2С+12X18H10T+09Г2С. Сварка выполнялась тремя способами ручной дуговой, аргонодуговой в среде инертных газов и порошковой газозащитной проволокой в среде защитных газов. В процессе выполнения исследования применялись сварочные материалы для сварки низколегированных углеродистых сталей и никелевых сплавов.

4.2 Методы входного контроля для проверки качества исходных заготовок под сварку.

Перед началом сварки контрольных сварных соединений материалов с ВП необходимо провести входной контроль. В соответствии с техническими условиями ТУ 24.33.30–001–09494191–2021, этот процесс включает в себя:

- визуальный осмотр и измерения;
- ультразвуковой контроль;
- наличие сертификата либо акта испытаний на коррозионную стойкость и механические испытания

При проведении визуального и измерительного контроля, согласно ТУ 24.33.30–001–09494191–2021, определяется геометрические параметры, размеры и допустимые отклонения заготовок. Эти параметры должны соответствовать

требованиям конструкторской документации. Края заготовок должны иметь форму в соответствии с НТД, которая необходима для плотного прилегания. Не допускается кривизна кромок, наличие поверхностных дефектов (раковин пор, надрывов, вмятин), трещин, окалины, поверхностных загрязнений.

Контроль сплошности соединения слоев материалов с ВП с одним или двумя внутренними протекторами посредством ультразвуковой дефектоскопии проводится в объема 100% в соответствии с требованиями ТУ 24.33.30–001–09494191–2021. Контроль на сплошность, выполняется по требованиям производителя, которая предварительно согласована с ведущей материаловедческой организацией и разработчиками технических условий.

Кроме того, испытания на коррозионную стойкость, механические испытания должны быть проведены в соответствии с требованиями ТУ 24.33.30–001–09494191–2021.

Значения коррозионной стойкости и результаты механических испытания должны быть отражены в сопроводительных документах (сертификат качества, акт испытаний) на заготовки.

4.3 Подготовка заготовок под сварку

Подготовка кромок под сварку выбирается в зависимости от толщины свариваемых деталей, общего размера изготавливаемой конструкции и используемого метода сварки в соответствии с требованиями ГОСТ 34347-2017 [42] и ТУ 24.33.30–001–09494191–2021. Разделка кромок под сварку для материалов с ВП разрешается выполняется как механическим, так и термическим способами, с дальнейшей механической обработкой кромок.

Разделка кромок с применением ручной плазменной резкой *PowerCut™ 1600*, показано на рисунке 6.



а)



б)

Рисунок 6 – Подготовка кромок под сварку материалов с ВП для контрольных образцов: а) разметка, б) резка.

Технические характеристики ручной плазменной резки *PowerCut™ 1600*, представлены в таблице 4 [43].

Таблица 4 – Технические характеристики плазменной резки *PowerCut™ 1600*

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, В	3×380-400
Частота тока питающей сети, Гц	50/60 +/-15%
Предохранитель, А	35
Допустимая нагрузка	
при ПВ 60%, А/В	90/115
При ПВ 100%, А/В	70/115
КПД при макс. Токе, %	89
Масса, кг	41
Габаритные размеры, мм	706x323x378мм
Расход сжатого воздуха, л/мин	2236л/мин / 6.2бар
Производительность при ручной резке	
Резка аустенитных сталей, мм 38мм	38
Отрезка углеродистых сталей, мм	44

Механическая обработка кромок после термической резке до установленных нормативно-технической документацией размеров, с помощью фрезерного станка *HAAS TM* и готовые пластины представлена на рисунке 7.



а)



б)

Рисунок 7 – Обработка кромок контрольных сварочных образцов на фрезерном станке *HAAS TM*: а) станок *HAAS TM*, б) механическая обработка кромок

Технические характеристики фрезерного станка *HAAS TM* представлены в таблице 5 [44].

Таблица 5 – Технические характеристики фрезерного станка *HAAS TM*

Наименование параметра	Значение
Максимальная мощность, кВт	5,6
Частота тока питающей сети, Гц	50,0
Макс. перемещение по оси X, мм	762,0
Макс. перемещение по оси Y, мм	305,0
Макс. перемещение по оси Z, мм	406,0
Максимальное расстояние от стола до торца шпинделя, мм	508,0
Длина стола, мм	1213,0
Ширина стола, мм	267,0
Макс. нагрузка на стол, кг	454,0
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	4000,0
Макс. крутящий момент, Нм	45,0
Точность позиционирования, мм	+0,005

Сборка заготовок под сварку должна обеспечивать правильное фиксированное расположение деталей, а также свободный доступ к выполнению

сварочных работ в последовательности, предусмотренной технологическим процессом рисунок 8.

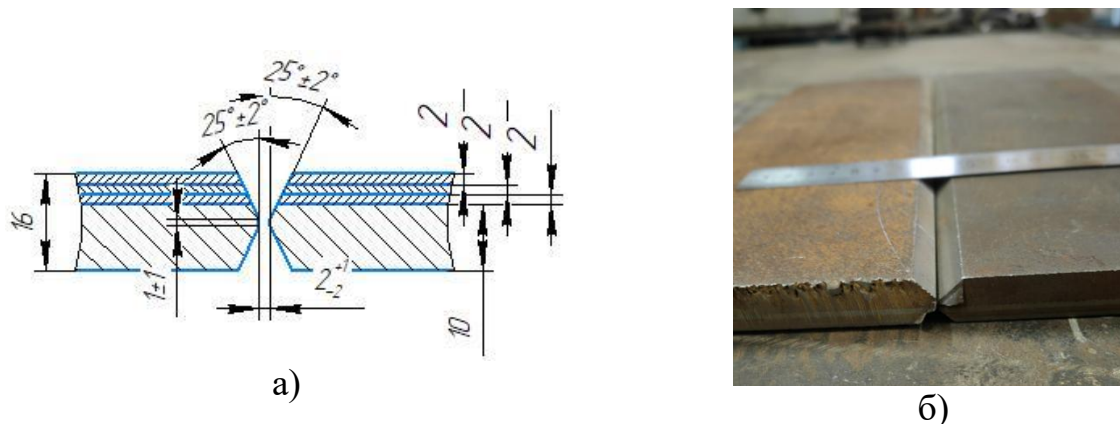


Рисунок 8 – Подготовка под сварку 4-х слойного материал повышенной коррозионной прочности: а) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых заготовок; б) свариваемая заготовка

Сборку под сварку изделий из металлических материалов с ВП необходимо производить в соответствии с требованиями ТУ 24.33.30–001–09494191–2021.

Допуск на смещение кромок стыковых соединений листов разной толщины их положению должно соответствовать совпадение поверхностей раздела слоев или совпадение внешних поверхностей плакирующего слоя с плавным переходом от большей толщины к меньшей со стороны основного слоя. Совпадению поверхностей раздела слоев, следует отдавать предпочтение во всех случаях, когда это возможно [29].

Свариваемые кромки поверхность металла должны быть зачищены до металлического блеска механическим способом на ширину не менее 20 мм и обезжирены растворителем, при двухсторонней сварке с обеих сторон, как представлено на рисунке 9.



а)



б)

Рисунок 9 – Зачистка кромок под сварку 4-х слойного материал повышенной коррозионной прочности: а) зачистка со стороны плакирующего слоя, б) зачистка со стороны основного слоя

Сборка под сварку выполняется с помощью прихваток, допускается применение входных торцевых планок.

Прихватки деталей и приварка торцевых входных планок при сборке элементов должен выполнять квалифицированный сварщик, прошедший аттестацию в соответствии ГОСТ Р 59604.2-2021 [45]. Перед прихваткой необходимо проверить правильность установленного зазора между кромками в соответствии с требованиями стандартов и чертежей. Для исключения повреждения плакирующего слоя, прихватки рекомендуется размещать со стороны основного слоя (углеродистого). Процесс прихваток осуществляется с использованием материалов, которыми будет выполняться сварка основного слоя и на тех же режимах сварки.

Расположение, размер и количество прихваток обуславливаются толщиной и размерами соединяемых заготовок в соответствии с требованиями технической документации. Сборка под сварку при помощи выходных торцевых планок показана на рисунке 10.



Рисунок 10 – Сборка под сварку 4-х слойного материалов с ВП с выставленным зазором с применение выходных торцевых планок

Прихватка является часть сварного шва. При ее выполнении не допускаются, трещины, наплывы, поры и другие дефекты. В случаи выявлении дефектной прихватке, её требуется незамедлительно удалить.

Чтобы защитить плакирующий слой от брызг расплавленного металла, рекомендуется прилегающую к разделке поверхность обработать аэрозольным спрей, либо жидкостью против сварочных брызг на расстоянии 100 мм, для формирования защитного покрытия. Спрей и жидкость против брызг представлены на рисунке 11.



Рисунок 11 – Спрей и жидкость против сварочных брызг

4.4 Технология ручной дуговой сваркой материала с ВП покрытым электродом способом *MMA (Manual Metal Arc)*, с применением сварочных электродов на никелевой основе

Для разработки технологии сварки, в качестве образцов был взят 4-х слойный материалов с одним внутренним протектором со схемой (2+2+2+10) 12X18Н10Т+09Г2С+12X18Н10Т+09Г2С.

Из-за отсутствия нормативно-технической документации, для ручной дуговой сварки покрытым электродам материалов с ВП, при выборе конструктивных элементов разделки было принято решение ориентироваться на ГОСТ 5264-80 [46] с выбором Х-образной разделки типа С25. При таком виде разделки, четка разделены фазы основного слоя и слоистого, что в соответствии с требования технической документации позволяет беспрепятственно начать сварку основного слоя, представленного сталью 09Г2С, не касаясь слоистой части изделия.

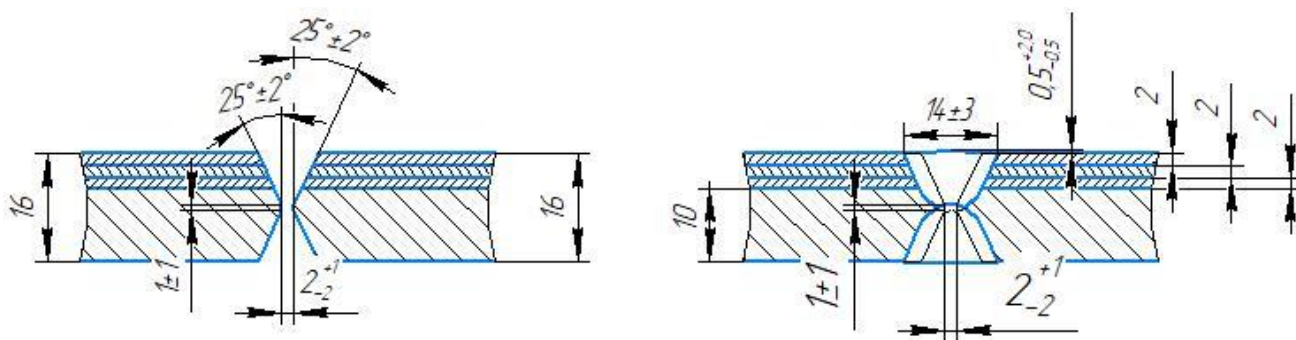


Рисунок 12 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых заготовок и шва сварного соединения типа С25 ГОСТ 5264-80

Толщину свариваемых элементов материалов с ВП составляет 16 мм. В соответствии с ГОСТ 5264-80 выбираем сварное соединение с условным обозначением С25 с двумя симметричными скосами кромок. Эскиз разделки кромок и сварного шва представлен на рисунке 12.

4.4.1 Расчет режимов ручной дуговой сварки покрытым электродом для выполнения сварки 4-х слойного материалов с одним протектором.

Для сварки корневого прохода и последующих заполняющих проходов применяем электрод Ø 3,0 мм. Рекомендуемые режимы сварки 80-130А [29].

Вид разделки кромок, геометрические размеры, параметры разделки размеры сварного шва выбираем на основании ГОСТ 5264-80. Тип соединения С25, разделка двусторонняя со скосом кромок, шов стыковой.

Сварочный ток определяется в зависимости от диаметра электрода и допускаемой плотности тока [47] по формуле:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_{эл}^2}{4} \cdot j \quad (4.1)$$

где $I_{св}$ – сварочный ток, А;

j – допускаемая плотность тока, А/мм².

$$d_{эл} \text{ Ø } 3,0 \text{ мм} = 13,0 - 15,6;$$

$$I_{св \text{ Ø } 3} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 13 = 92 \text{ А};$$

$$I_{св \text{ Ø } 5} = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} \cdot 15,6 = 110 \text{ А};$$

Для электродов фтористо-кальциевым покрытием величина сварочного тока $I_{св}$ в соответствии с паспортом на марку электродов соответствует следующим величинам:

– для электрода $d_{эл} \text{ Ø } 3,0 \text{ мм} = 120 \text{ А};$

Определение величины напряжения. Напряжение на дуге изменяется в сравнительно узких пределах и при проектировании технологических процессов сварки выбирается на основании рекомендации паспорта на данную марку электродов [47].

Напряжение для УОНИИ 13/55 составляет 22 В – 26 В. Принимаем среднее значение в 24 В.

$$U_{\partial} = 24 \text{ В}$$

Определяем скорость сварки [47]. Скорость при ручной дуговой сварке определяется по уравнению:

$$V_{св} = \frac{a_H \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H}, \quad (4.2)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, см/с;

$I_{св}$ – сварочный ток, А.

a_H – коэффициент наплавки, г/А·ч;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см².

Примечание: коэффициент наплавки для УОНИИ 13/55 и *NiCrFe-3* одинаковый.

Скорость сварки (м/ч) можно рассчитать также по формуле:

$$V_{св} = \frac{a_H \cdot I_{св}}{F_H \cdot \gamma \cdot 100}, \quad (4.3)$$

где $a_H = 9,5$ г/А·ч;

$$F_H = F_n = 16 \text{ мм}^2 = 0,16 \text{ см}^2.$$

$$V_{св} = \frac{9,5 \cdot 100}{0,16 \cdot 7,8 \cdot 100} = 7,61 \text{ м/ч.}$$

Общая площадь наплавки $F_{нм}$ сварного соединения с Х-образной разделкой составляет $F_{нм} = 123,7 \text{ мм}^2$ [47].

Площадь поперечного сечения наплавленного металла для первого прохода, при которой обеспечиваются оптимальные условия формирования шва, определяются по эмпирической зависимости:

$$F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_{эл}, \quad (4.4)$$

где $d_{эл} \leq (3 \dots 4)$ мм

Площадь поперечного сечения последующих слоев определяется согласно выражению:

$$F_n = (8 \dots 12) \cdot d_{эл} \quad (4.5)$$

Берем $F_1 = 8$ $F_1 = 6 \cdot 3 = 18 \text{ мм}^2$;

Берём $F_n = 10$ $F_n = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$.

При определении числа проходов необходимо учитывать рекомендации:

- максимальная площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход не должна превышать 30 – 40 мм²;
- при сварке угловых и тавровых соединений за один проход выполняются швы катетом не более 8 мм.

Число проходов при сварке стыковых, угловых, тавровых и нахлестанных соединений определяются [47] по формуле:

$$n = \frac{F_{нм} - F_1}{F_n} + 1, \quad (4.6)$$

где n – число проходов;

$F_{нм}$ – общая площадь наплавки;

F_1 – площадь первого прохода;

F_n – площадь последующего слоя (прохода).

$$n = \frac{123,7 - 24}{16} + 1 = 7,23 \approx 8 \text{ проходов}$$

Зная вес наплавленного металла и потери на огарки, угар и разбрызгивание, вес электродов может быть определен [47] по формуле:

$$\omega_э = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{нм}, \quad (4.7)$$

где $\omega_э$ – вес электрода, г.

$\omega_{нм}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла рассчитывается так:

$$\omega_{нм} = F_{нм} \cdot l \cdot \gamma \quad (4.8)$$

где $F_{нм}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла всего шва, см²;

l – длина шва, см;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³.

Определим вес наплавленного металла:

$$\omega_{нм} = 1,017 \cdot 42 \cdot 7,8 = 317,3 \text{ г.} \approx 0,333 \text{ кг.}$$

Определим вес электродов:

$$\omega_э = 1,8 \cdot 0,333 = 0,600 \text{ кг}$$

Вывод: По результатам расчетов Рассчитанные значения режимов сварки: сварочный ток $I_{св}$, скорость сварки $V_{св}$, диаметр электрода Ø 3.0 мм, обеспечивают требуемую глубину проплавления и заполнение разделки для формирования сварного шва.

4.4.2 Технология дуговой сварки материала с ВП с применением сварочных электродов *NiCrFe-3* с содержанием никеля более 70% способом *ММА*

Как и упоминалось ранее для разработки технологии ручной дуговой сварки способом *ММА*, в качестве образцов были взяты 4-х слойный материал с одним внутренним протектором с компоновочной схемой (2+2+2+10) 12X18H10T+09Г2С+12X18H10T+09Г2С с симметричной двухсторонней разделкой прототип С25 ГОСТ 5264-80 рисунок 12.

Сварка материалов с ВП состоит из следующих этапов, это сварка корневого прохода и заполнение разделки со стороны основного слоя представленный сталью 09Г2С и сварка заполняющих проходов со стороны плакировки, представленной сталью из трех слоев 12X18H10T+09Г2С+12X18H10T, один из которых является протектором.

Для сварки основного слоя из Стали 09Г2С применялись сварочные электроды УОНИИ 13/55 (Э50) по ГОСТ 9466-75 [48]. Сварка плакирующего слоя со стороны материала с ВП выполняется никелевыми сварочными электродами *TNX-ENiCrFe3* (*E Ni 6182*) ИСО 14172-23 [49].

Химический состав применяемых материалов с указанием ЭХП отображён в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав сварочных электродов

Хим. состав Марка сварочных электродов	С, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	ЭХП, В
УОНИИ 13/55	0,07	0,46	1,30	0,07	0,09	0,004	от -0,30 до -0,50
<i>TNX-ENiCrFe3</i>	0,028	0,39	7,12	15,70	71,23	0,18	от +0,25 до +0,40

Сертификаты на используемые сварочные электроды представлены в приложении Б

Ручная дуговая сварка покрытым электродом контрольного сварного соединения (КСС), выполнялась на сварочном инверторе Форсаж 200. Технические характеристики аппарата представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические параметры сварочного инвертора Форсаж 200

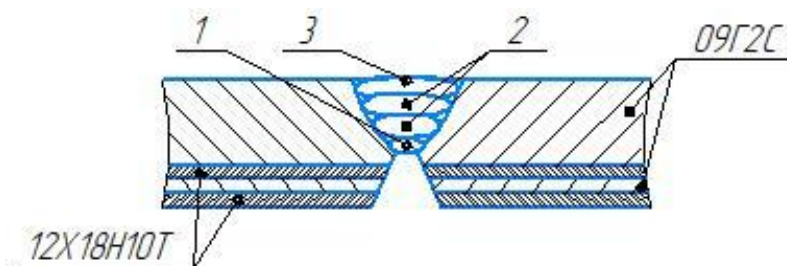


Электропитание:	однофазная сеть 220 В 50 Гц
Основной режим работы:	<i>ММА</i>
Диаметр электрода	6–5 мм
Диапазон регулирования сварочного тока	режим ММА 15–200 А
Максимальная мощность сети питания	9 кВт
Габаритные размеры:	295x145x182 мм.
Масса:	5,8 кг.
Рабочий диапазон	-20... +40 °С

Первый этап, это сварка корневого прохода со стороны основного металла электродами УОНИИ 13/55 по ГОСТ 9466-75 диаметром Ø3,0 мм с силой тока 100А

Следующая операция - сварка заполняющих проходов и облицовочный шов. Сварка заполняющих проходов и облицовочный шов выполняются сварочными электродами УОНИИ 13/55 [48] диаметром Ø3.0, на сварочном токе 120-150 А, с последующим остыванием каждого прохода до температуры ниже 100°С. Контроль температуры осуществлялся пирометром марки Мегеон.

После выполнения сварки каждый проход должен быть зачищен от шлака и брызг. Схема сварки и сваренный образец со стороны основного металла показаны на рисунке 13.



а)



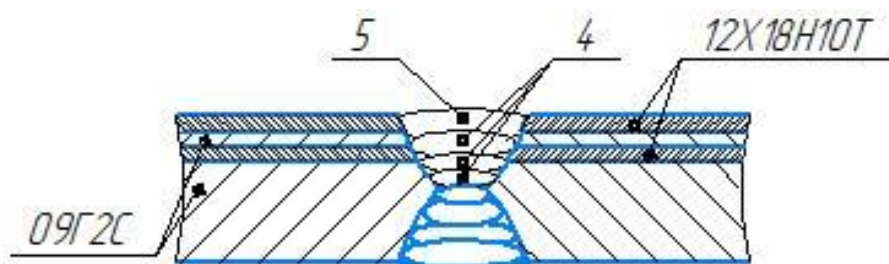
б)

Рисунок 13 – Схема сварки и сваренный образец со стороны основного металла: а) схема сварки материала с ВП со стороны основного металла, где: 1- корневой проход; 2- заполняющие проходы; 3- облицовочный шов; б) сваренный образец со стороны основного слоя

Следующий этап, это выборка корня шва заполнение разделки и выполнение облицовочного шва со стороны плакирующего слоя.

Заполнение разделки со стороны плакирующего слоя выполняется электродами на никелевой основе *TNX-ENiCrFe3* [49] диаметром Ø3.2 мм и силой тока 110-115 А. Как и при сварке основного слоя, каждый проход и около шовная зона зачищаются от брызг и шлака. Каждый проход остужается естественным путем до температуры ниже 100°C. Время остывания каждого прохода составило от 40 до 45 минут.

Схема сварки материала с ВП со стороны плакирующего слоя и сваренный образец представлены на рисунке 14.



а)



б)

Рисунок 14 – Схема сварки со стороны плакирующего слоя и сваренный образец:
а) схема сварки материала с ВП со стороны плакирующего слоя, где: 4 -
заполняющие проходы; 5 - облицовочный шов.; б) сваренный образец со стороны
плакирующего слоя

Основные преимущества данного метода — это простота применения, аппараты для *ММА*-сварки относительно лёгкие и компактные, что упрощает их транспортировку, возможность применение метода в полевых условиях, выполнение сварочных работ в любых пространственных положениях, что делает метод особенно полезным и удобным особенно при сварке в труднодоступных местах., возможность непосредственно наблюдать за процессом сварки и корректировать параметры в реальном времени, что повышает возможность формирования качественного сварного соединения.

Недостатками является: навык и опыт сварщика, от которого зависит качество сварки, тщательная зачистка от шлака каждого сварочного прохода, интенсивное разбрызгивание металла при сварке, продолжительное время остывания каждого прохода после сварки.

4.5 Технология ручной дуговой сваркой материала с ВП неплавящимся электродом в среде инертных защитных газов способом *TIG* (*Tungsten Inert Gas*), с применением присадочных материалов на основе никеля

Для разработки технологии ручной дуговой сварки способом *TIG*, в качестве образцов, как и в предыдущей случаи был взят 4-х слойный материал с одним протектором. Компоновка материала с ВП представляет собой схему (2+2+2+10) 12X18H10T+09Г2С+12X18H10T+09Г2С, общей толщиной 16 мм.

В качестве прототипа принята разделка С25 ГОСТ 14771-76 [50] с двумя симметричными скосами кромок для выполнения двухстороннего шва. Эскиз разделки кромок и сварного шва представлен на рисунке 15.

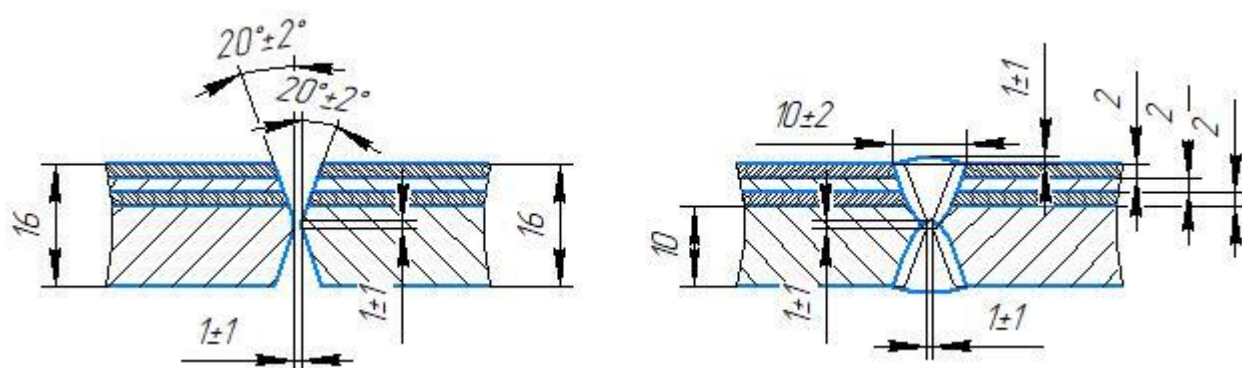


Рисунок 15 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых заготовок и шва сварного соединения типа С25 ГОСТ 14771-76

Сварка основного слоя выполнялась сварочной присадкой *TNXR-3Si* (3Si1) ГОСТ ISO 14341-2020 [51, 52] диаметром Ø 2,4 мм. Сварка плакирующего слоя со стороны ВП, выполнялась сварочной присадкой на никелевой основе диаметром *TNXR -NiCr3* (*E Ni 6182*) ИСО 18274 [51, 53] диаметром Ø 2,4 мм. Химический состав применяемых сварочных материалов с указанием ЭХП отображён в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав сварочных электродов

Хим. состав Марка сварочной присадки	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Nb, %	ЭХП, В
<i>TNXR-3Si</i>	0,007	0,86	1,41	0,04	0,01	0,001	От -0,30 до -0,50
<i>TNXR-NiCr3</i>	0,022	0,35	2,57	19,5	71,20	2,30	от +0,25 до +0,40

Сертификаты на применяемую сварочную присадку представлены в приложении Б

Сварка образца способом *TIG* с применением присадочных материалов на никелевой основе, проводилась на сварочном аппарате *Caddy Tig 2200 AC/DC*, технические характеристики которого представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические параметры сварочного аппарата *Caddy Tig 2200 AC/DC*



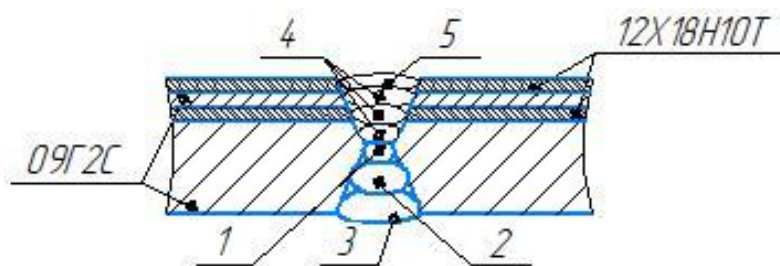
Сетевое питание	однофазная сеть 220 В, 50 Гц
Плавкий предохранитель	16 А
Диапазон установок для TIG	ток постоянный 4-220 А
Напряжение холостого хода	72 В
Диапазон регулирования сварочного тока	режим MMA 15–200 А
Габаритные размеры:	418x188x208 мм.
Масса:	9,4 кг.
Класс защиты	IP 23

4.5.1 Описание технология сварки материала с ВП с применением сварочной присадки, содержащей никель более 70% способом *TIG*

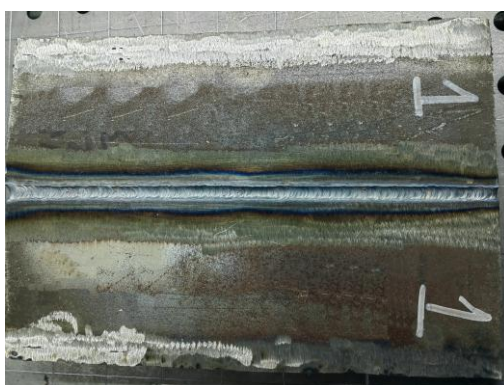
Принцип сварки материалов с ВП методом *TIG*, идентичен сварке *MMA*. Сварка способом *TIG*, выполняется со стороны основного слоя, начиная с корня шва присадкой для углеродистых низколегированных сталей *TNXR-3Si* диаметром Ø 2,4 мм, с силой тока 120 -130А, напряжением 11-12 В. Заполнение разделки, выполняется заполняющими проходами на сварочном токе 160-170А, напряжением 12,0 – 12,5В. Облицовочный шов выполняется на режимах применяемых для заполнения разделки сварки.

Следующей операцией, является сварка плакирующего слоя с внутренним протектором. В первую очередь выполняется выборка корня шва механическим способом, далее заполнение разделки заполняющими проходами присадкой на никелевой основе *TNXR-NiCr3* диаметром Ø 2,4 мм, с силой тока 160А, напряжение

11,5-12,5 В, с последующим выполнением облицовочного шва на тех же режимах. Схема сварки и сваренный образец представлены на рисунке 16.



а)



б)

Рисунок 16 – Схема сварки и сваренный образец методом *TIG*: а) схема сварки: 1- корневой проход; 2-заполняющие проходы; 3-облицовочный шов; плакирующий слой с ВП: 4 - заполняющие проходы; 5 - облицовочный шов.; б) сваренный образец способом сварки *TIG*

Сварка ведется последующим остыванием каждого прохода до температуры ниже 100°C. Температур контролируется ручным пирометром или тепловизором.

Время остывания каждого прохода составило 25 минут, так как сварка ведется на достаточно невысоких токах и низком напряжении на дуге, соответственно невысоком тепло вложении.

Преимущества сварки материалов с ВП способом *TIG*:

- Высокое качество сварных соединений, исключаящее шлаковые включения и разбрызгивание металла;

- Точная настройка параметров процесса сварки минимизирует риск возникновения дефектов;
- Минимальные тепловые воздействия на основного металла, снижает вероятность его коробления и деформации;
- Надежная защита сварочной ванны от окружающего воздуха;
- Нет необходимости в проведении операций по очистке сварного шва после завершения работ;
- Адаптирован для выполнения сварки в любых пространственных положениях, в том числе в вертикальном и потолочное.

Недостатки:

- высокие требования к квалификации сварщика
- низкая производительность
- чувствительность к внешним условиям — сквозняки могут нарушить защиту дуги и привести к дефектам шва;
- тщательной подготовки поверхности, так как незначительные загрязнения ухудшают качество сварки.

4.6 Технология дуговой сварки материала с ВП, газозащитной порошковой проволокой *FCAW (Flux-Cored Arc Welding)* на основе никеля

Ключевое различие между порошковой и сплошной сварочной проволокой, используемой в полуавтоматической сварке, заключается в их строении. Порошковая проволока имеет трубчатую структуру, представляя собой, по сути, протяженную трубку, заполненную внутри наполнителем флюсом. Структура порошковой проволоки представлена на рисунке 17.

В процессе сварки, сгорание стальной оболочки сопровождается термическим разложением флюса, в результате чего образуется газовая защита с формированием поверхностного слоя шлака. Такой процесс называется дуговая сварка порошковой проволокой



Рисунок 17 – Структура порошковой проволоки

При создании технологии дуговой сварки материалов с ВП газозащитной порошковой проволокой (*FCAW*) в качестве заготовок, аналогично предшествующему эксперименту, использовался четырехслойный материал с одним протектором. Компоновка включает в себя схему (2+2+2+10) состоящая из сталей 12Х18Н10Т+09Г2С+12Х18Н10Т+09Г2С, с общей толщиной заготовок 16 мм.

За основу взята Х-образная разделка кромок С25 по ГОСТ 14771-76 [50], предусматривающая наличие двух симметричных скосов для обеспечения возможности выполнения двустороннего сварного соединения. Схематическое изображение подготовки кромок и сварного сведения показано на рисунке 18.

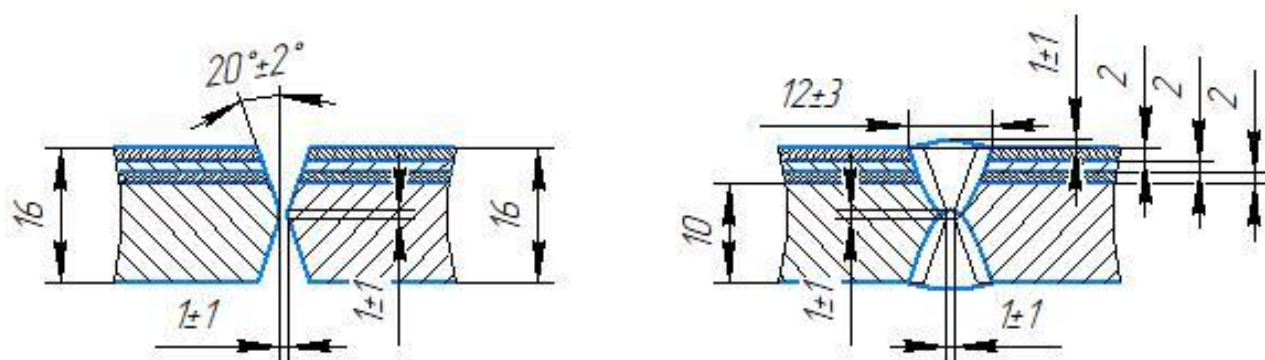


Рисунок 18 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых заготовок и шва сварного соединения типа С25 ГОСТ 14771-76

4.6.1 Расчет режимов газозащитной порошковой проволокой для выполнения сварки 4-х слойного материала с ВП

Для сварки корневого прохода применяем сварочную проволоку *TNX-T71NiCM* [54] диаметром $\varnothing$ 1,2 мм. Рекомендуемые параметры для данной проволоки следующие: сварочный ток 150-300 А, напряжение 23-32 В [51], скорость подачи проволоки 1,3 – 20 м/мин [56]. Защитный газ – газовая смесь М21 (Ar + 18% CO₂) [57].

Максимальная площадь поперечного сечения шва, выполняемого за один проход, не должна превышать 30 - 40 мм² [47]. Для заполняющих проходов принимаем площадь наплавленного металла за проход $F'_n = 40$ мм².

Для выполнения заполняющих проходов берется эта же сварочная проволока. Параметры сварочного тока принимаем равные $I_{св} = 280$ А.

Определяем скорость сварки [47] применяя следующую формулу:

$$V_{св} = \frac{a_n \cdot I_{св}}{F'_n \cdot \gamma \cdot 100}, \quad (4.9)$$

где, $V_{св}$ – скорость сварки, см/с;

$I_{св}$ – сварочный ток, А.

a_n – коэффициент наплавки, г/А·ч ($\gamma = 7,8$ г/см³);

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

F'_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см² (принимаем $40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2$).

Коэффициент наплавки a_n находится по формуле:

$$a_n = a_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (4.10)$$

где a_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А · с.

ψ – потери электродного металла вследствие окисления, испарения и разбрызгивания, %.

Обычно $\psi = 7 \dots 15$ %, для расчетов принимается $\psi = 10$ %.

Коэффициент расплавления электродной проволоки a_p находится по формуле:

$$a_p = (8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}) \cdot 10^{-4}, \quad (4.11)$$

Определим коэффициент расплавления электродной проволоки:

$$a_p = 21,6 \text{ г/А} \cdot \text{ч.}$$

Определяем коэффициент наплавки:

$$a_n = 21,6 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 19,45 \text{ г/ А} \cdot \text{ч.}$$

Определяем скорость сварки по формуле (4.9):

$$V_{св} = 17,01 \text{ м/ч.}$$

Определим оптимальное напряжение дуги и коэффициент формы провара шва [47]. Оптимальное напряжение вычисляется по формуле:

$$U_\delta = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 2\text{В}, \quad (4.12)$$

где, U_δ – оптимальное напряжение, В;

$d_{эл}$, – диаметр электрода, мм;

$I_{св}$ – сварочный ток, А.

$$U_\delta = 30 \text{ В.}$$

Диапазон оптимального напряжения составляет 28 – 32 В. За величину оптимального напряжения принимаем $U_\delta = 30 \text{ В}$.

Определим скорость подачи электродной проволоки [47].

Скорость подачи электродной проволоки определяется по формуле:

$$V_{n \text{ пр}} = \frac{4 \cdot a_n \cdot I_{св}}{\pi \cdot 0,5 d_{эл}^2 \cdot \gamma}, \quad (4.13)$$

где, $V_{n \text{ пр}}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч;

a_n – коэффициент наплавки, г/А·ч;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³ ($\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$);

$d_{эл}$, – диаметр электрода, мм

Определим значения скорости подачи электродной проволоки:

$$V_{n \text{ пр}} = 617 \text{ м/ч} = 10,3 \text{ м/мин.}$$

Согласно рекомендациям [58], для проволоки диаметром $d_{эл} = 1,2 \text{ мм}$, расстояние от сопла горелки до изделия составляет 12,0 – 17,0 мм

Таким образом вылет электрода определяется по формуле:

$$l_3 = (12,0 \dots 17,0) \cdot 1,2 \quad (4.14)$$

где, l_3 – вылет электрода, мм.

$$l_3 = (12,0 \dots 17,0) \cdot 1,2 = 14,4 \dots 20,4 \text{ мм.}$$

Рекомендованный расход защитного газа для данной проволоки составляет от 15 до 25 л/мин [58].

Рекомендуемый диапазон скоростей подачи сварочной проволоки 1,3 – 20,0 м/мин. Можно сделать вывод, что скорость соответствует режиму сварки для данной проволоки.

4.6.2 Описание технология сварки материала с ВП с применением порошковой сварочной проволоки, содержащей никеля более 70%

Сварка материалов с ВП порошковой проволокой идентична технологиям, описанные в разделах 4.4.2 и 4.5.1, но у нее имеется ряд особенностей.

Сварка порошковой проволокой осуществляется на постоянном токе обратной полярности, при которой горелка подключается к положительной клемме источника питания. Перенос электродного металла осуществляется струйным режиме по всему диапазону сварочных токов, что исключает необходимость применения дополнительной индуктивности.

При сварки порошковой проволокой, для обеспечения полного проплавления и хорошего формирования шва сварку необходимо выполнять углом назад, рисунок 19 [58]. Это позволит исключить зашлаковку сварного шва



Рисунок 19 – направление сварки углом назад

С технологической точки зрения сварка углом вперёд характеризуется более высокой простотой выполнения. Однако при таком способе ведения шва глубина проплавления снижается, что может привести к недостаточному провару.

Кроме того, в данном положении горелки наблюдается ухудшение условий удаления шлака из зоны кристаллизации сварочной ванны, в результате чего возможны шлаковые включения и несплавления [58].

Параметры настройки режимов сварки порошковой проволокой представлены на рисунке 20

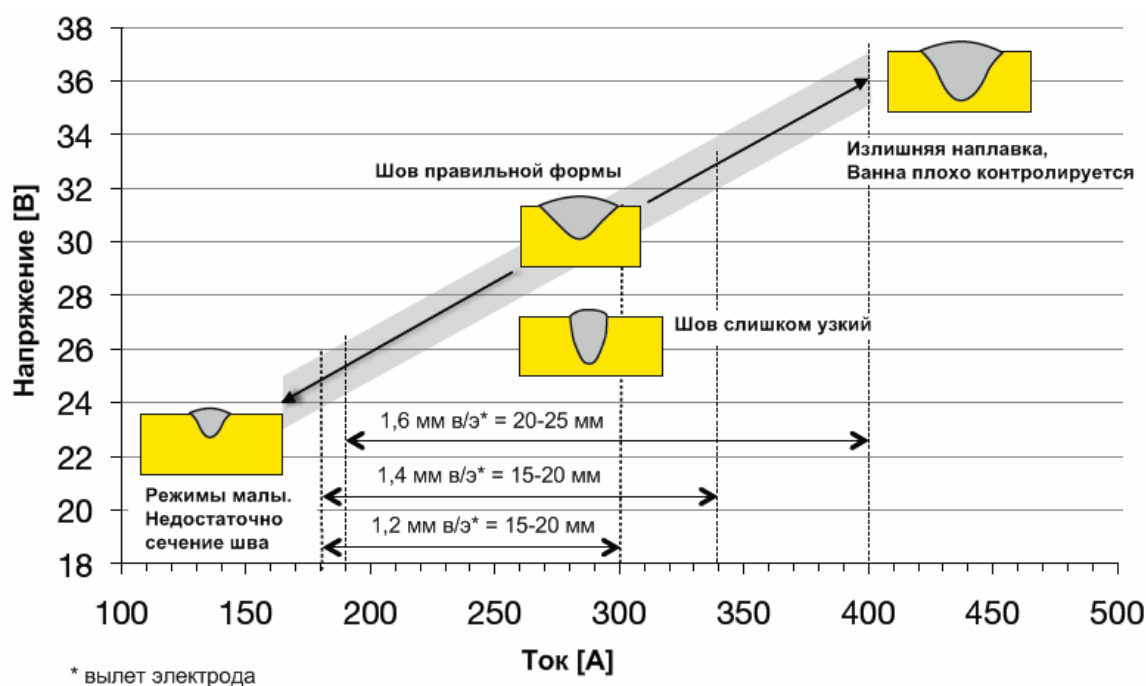


Рисунок 20 – Параметры настройки режимов сварки порошковой проволокой

Первым этапом является сварка основного слоя, которая начинается со сварки корня шва. Сварка корневого прохода выполняется газозащитной порошковой проволокой *TNX-T71NiCM (T 46 2 P C1 1 H10)* ISO 17632 -A: 2016 [54] диаметром Ø1.2 мм, скорость подачи проволоки 7 м/мин, сварочный ток 160 А, напряжение 22В, расход газа 15-20 л/мин. Этой же проволокой выполняются заполняющие проходы и облицовочный шов со следующими параметрами: сварочный ток 195 -210 А, напряжение 25-27 В, скорость подачи проволоки 8,5-9,5 м/мин.

Сварка плакирующего слоя со стороны ВП выполняется после выборки корня шва, с применением порошковой проволокой на основе никеля *TNX-TNiCr3* (*ENiCr3Tl-4*) AWS 5.34/5.34M: 2020 [55] диаметром Ø1.2мм, на сварочном токе 220 А, напряжение 27 В, скорость подачи проволоки 11 м/мин.

Химический состав и ЭХП порошковых проволок для сварки образцов представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав порошковых сварочных проволок

Хим. состав Марка сварочной проволоки	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Nb, %	ЭХП, В
<i>TNX-T71NiCr</i>	0,033	0,31	1,63	0,02	0,48	-	от -0,30 до -0,50
<i>TNX-TNiCr3</i>	0,032	0,43	2,76	21,65	71,47	2,44	от +0,25 до +0,40

Сертификаты на применяемые порошковые проволоки представлены в приложении Б.

Сварка образцов выполнялась на сварочном полуавтомате *Rebel EMP 320ic*, технические характеристики которого представлены в таблице 11.

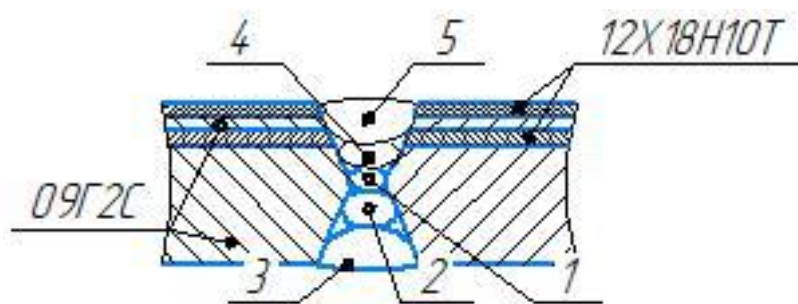
Таблица 11 – Технические параметры сварочного инвертора *Rebel EMP 320ic*



Напряжение питания:	400В ± 10%, 3~50/60 Гц
Диапазон регулировки	5А/10В – 300А/34В
Коэффициент мощности	0,87
Скорость подачи проволоки	1,3-20м/мин
Диаметр проволоки	0,8 – 1,6 мм
Рабочий температуры	- 10° С до + 40° С
Размер катушек	100 – 300 мм
Габаритные размеры:	686 х 292 х 495 мм.
Вес:	31,75 кг.
Класс защиты	IP 23

После сварки, каждый проход должен быть зачищен металлической щеткой. Каждый проход охлаждается до температуры ниже 100° С естественным путем на

воздухе. Температура охлаждения контролируется пирометром. Схема сварки и сваренный образец представлены на рисунке 21.



а)



б)

Рисунок 21 – Схема сварки и сваренный образец способом *FCAW* : а) схема сварки материала с ВП со стороны основного слоя: 1- корневой проход; 2- заполняющий проход; 3- облицовочный шов; сварка плакирующего слоя материала с ВП : 4 - заполняющий проход; 5 - облицовочный шов.; б) сваренный образец способом сварки *FCAW*

При сварке порошковой проволокой нагрев металла значительно меньше, чем при *MMA* и *TIG* сварке, в следствие этого, остывания каждого прохода в среднем составило 10-15 минут.

Преимуществами при сварки порошковой проволокой являются:

- сварка порошковой проволокой характеризуется высокой скоростью наплавки, что обеспечивает увеличение производительности по сравнению с ручной дуговой и *MIG/MAG*-сваркой;
- за счёт особенностей конструкции проволоки обеспечивается устойчивый процесс горения дуги и равномерный перенос металла;

- универсальность, возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях (включая вертикальное и потолочное);

- сварные соединения, выполненные порошковой проволокой, обладают высокой прочностью, ударной вязкостью, а низкое содержание диффузионного водорода в наплавленном металле минимизирует риск образования холодных трещин, повышая надёжность сварного соединения;

- благодаря хорошей способности к проплавлению, сварку можно выполнять и без подготовки кромок, но при наличии соответствующего зазора;

- процесс легко адаптируется к условиям полуавтоматической, автоматической сварки и роботизированной сварки.

К недостаткам применения порошковых проволок можно отнести:

- несмотря на применение защитного газа, большая часть порошковых проволок формирует шлаковое покрытие, требующее обязательной зачистки между проходами;

- при сварке выделяется значительное количество дыма и аэрозолей, что требует хорошей вентиляции;

- себестоимость порошковой проволоки, особенно легированной или специального назначения, как правило, превышает стоимость сплошной проволоки.

Сварка порошковой проволокой характеризуется высокой производительностью по сравнению с другими видами сварки. Процесс *FCAW* представляет собой более эффективную альтернативу ручной дуговой сварке штучными покрытыми электродами, поэтому легко осваивается. Благодаря полуавтоматизированному режиму подачи проволоки, данный процесс обеспечивает не только высокие сварочные характеристики, но и обеспечивает качества сварного соединения.

Выводы по четвертой главе

Для создания неразъемных соединений материалов с ВП были предложены новые способы сварки и новые сварочные материалы. Тщательно рассчитаны режимы сварки, использующие новые технологии, для сварки четырёхслойных материалов с ВП, обеспечивающие получение сварных соединений, отвечающих самым высоким требованиям к физико-механическим характеристикам.

Разработанные и успешно применение на практике технологии сварки четырёхслойных материалов с ВП опираются на новые способы сварки. Применение новых сварочных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и ЭХП, превосходящими показатели лакирующего слоя, доказало свою эффективность и надежность при сварке материалов с ВП.

Исследования показали, что новые сварочные материалы с ЭХП выше в сравнении с основным металлом, обладают повышенной устойчивостью к электрохимической коррозии, что особенно важно при эксплуатации материалов с ВП в условиях агрессивной среды.

Применения порошковой проволоки в качестве присадочного материала, показала возможность увеличением производительности труда до 35 %, за счет повышения коэффициента наплавки и снижение числа проходов.

5 Методы контроля сварных соединений

Для того чтобы проверить основные механические и технологические характеристики, которыми обладают листы композиционного материала, сваренные различными способами, были проведены следующие виды исследований и испытаний экспериментальных образцов, вырезанных из КСС:

- испытания на статическое растяжение (определение предела прочности и предела текучести) при нормальной температуре, учитывая методики ГОСТ 1497-2023[59]; ТУ 27.32.09.010-2005 [60]; ТУ 27.81.09.009-2005 [61]. Количество образцов - 2 шт. от каждого КСС;

- испытание на ударную вязкость при пониженной (-60°C) температуре, учитывая методики ГОСТ 9454-789 [62]; ТУ 27.32.09.010-2005; ТУ 27.81.09.009-2005. Количество образцов – 3 шт. от каждого КСС;

- испытание на статический изгиб по методике ГОСТ 14019-2003; ТУ 27.32.09.010-2005; ТУ 27.81.09.009-2005. Количество образцов – 1 шт.

5.1 Испытание на одноосное растяжение образцов контрольных сварных соединений (КСС) из материалов с ВП

Исследование механических свойств образцов КСС из материалов с ВП проводили испытанием на одноосное растяжение (прочность на растяжение) при нормальной температуре на разрывной машине модели ИР 5145-500 рисунок 22. Испытания проводились согласно ГОСТ 1497-2023.

Технические характеристики разрывной машине ИР 5145-500 представлены в таблице 12.



Рисунок 22 – Разрывная машина ИР 5145-500

Таблица 12 – Технические характеристики ИР 5145-500

Наибольшая предельная нагрузка, кН		500
Пределы допускаемой погрешности нагрузки, % (в диапазоне нагрузок, кН)		± 1 (20...500)
Скорость перемещения активного захвата, мм/мин		0,05...200
Номинальная цена единицы наименьшего разряда	при индикации нагрузки, Н	10
	при измерении перемещения активного захвата, мм	0,01
Ход движения траверсы без захватов, мм		850
Ширина рабочего пространства, мм		750
Питание		3N, 380В, 50Гц
Максимальная потребляемая мощность, кВт		5, 3
Габаритные размеры (ширина×длина×высота), мм	Установка испытательная	1340×1175×2710
	Стойка приборная	1500×750×895
Масса, кг	Установка испытательная	1840
	Стойка приборная	260

Для проведения испытаний на одноосное растяжение готовились образцы с параметрами: B – ширина образца (25 мм); L – длина образца (200 мм); a_0 – толщина образца (16 мм).

На рисунке 23 представлены фотографии образцов КСС из материалов с ВП до и после проведения испытаний на одноосное растяжение.



а)



б)

Рисунок 23 – Экспериментальный образец сваренного материала с ВП: а) до проведения испытаний на одноосное растяжение; б) и в) после проведения испытаний на одноосное растяжение.

Фотографии процесса проведения испытаний на одноосное растяжение образцов КСС из материала с ВП представлены на рисунке 24.



Рисунок 24 – Испытание на одноосное растяжение образца КСС из материала с ВП

Результаты испытаний показывают, что для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 1-ой технологии сварки способом *ММА*, величина прочности находится в диапазоне от 668,2 до 670,4 МПа, предел текучести в диапазоне от 538,6 до 551,9 МПа, относительное удлинение от 12,8 до 19,8 %. Разрушение всех образцов проходило по основному металлу.

Для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 2-ой технологии сварки методом *TIG*, величина прочности находится в диапазоне от 655,4 до 656,4 МПа, предел текучести в диапазоне от 535,8 до 538,4 МПа, относительное удлинение от 9,8 до 12,7 %. Разрушение всех образцов проходило по основному металлу.

Для экспериментальных образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 3-ей технологии сварки способом *FCAW*, величина прочности находится в диапазоне от 657,5 до 662,9 МПа, предел текучести в диапазоне от 537,9 до 559,8 МПа, относительное удлинение от 20,0 до 21,5 %. Разрушение всех образцов проходило по основному металлу.

Протоколы испытаний на одноосное растяжение образцов КСС из материалов с ВП представлены в приложение Г.

Таким образом, установлено, что все образцы, вырезанные из контрольных сварных соединений, полученных по 3-м исследуемым технологиям сварки, разрушились не по сварному шву или околошовной зоне, а разрушились на участке образца незатронутым дуговой сваркой. Этот показатель является основным показателем качества сварного шва. Вторым показателем качества являются значения предела прочности и предела текучести у исследуемого образца в сравнении с аналогичными параметрами основного металла. Предел прочности 09Г2С КП345 по ГОСТ 5520-2017 [63] составляет 490,0 МПа, а предел текучести – 345,0 МПа. Полученные в ходе исследования значения прочности композиционного материала существенно выше, чем у 09Г2С. Исходя из этого, можно сделать вывод, что все 3 рассматриваемые в работе технологии сварки позволяют получить качественное сварное соединение с параметрами прочности выше, чем у основного металла.

5.2 Исследование ударной вязкости экспериментальных образцов КСС из материалов с ВП

Исследование ударной вязкости образцов КСС из материалов с ВП проводили при пониженной (-60°C) температуре на копре маятниковом модели ИО 5003-0.3-11 рисунок 25, технические характеристики которого приведены в таблице 13 . Испытания проводились согласно ГОСТ 9454-78.



Рисунок 25 – Копер маятниковый ИО 5003-0.3-11

Таблица 13 – Технические характеристики ИО 5003-0.3-11

Наибольший запас потенциальной энергии, Дж	300
Запас потенциальной энергии маятников	300
Диапазон измерения энергии, Дж	30...240
Цена деления аналогового отсчетного устройства, Дж	1,0
Дискретность цифрового отсчетного устройства, Дж (для модели 11)	0,1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности по аналоговому отсчетному устройству, Дж	$\pm 3,0$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности по цифровому устройству, Дж	$\pm 3,0$
Допускаемое отклонение запаса потенциальной энергии маятников от номинального значения, %	$\pm 0,5$
Потеря энергии при свободном качании маятника за половину полного колебания, %	$\pm 0,5$
Скорость движения маятника в момент удара, м/с	$5 \pm 0,5$
Максимальная мощность, кВт (питание)	0,38 (3N, 380В, 50Гц) и от сети сжатого воздуха с давлением от 0,35 до 1,0 Мпа
Габаритные размеры установки испытательной с ограждениями, мм	2100×800×1620
Масса установки испытательной (не более), кг	750
Масса приборной стойки (не более), кг	25,0
Масса ПО-3Т (не более), кг	3,5

Для проведения испытаний на ударную вязкость готовились образцы, с размерами: B – ширина образца (10 мм); L – длина образца (55 мм); H – высота образца (10 мм) с V-образным концентратором напряжения, выполненном по сварному шву со стороны плакирующих слоев.

На рисунке 26 представлены фотографии образцов КСС из материалов с ВП до и после проведения испытаний на ударную вязкость.

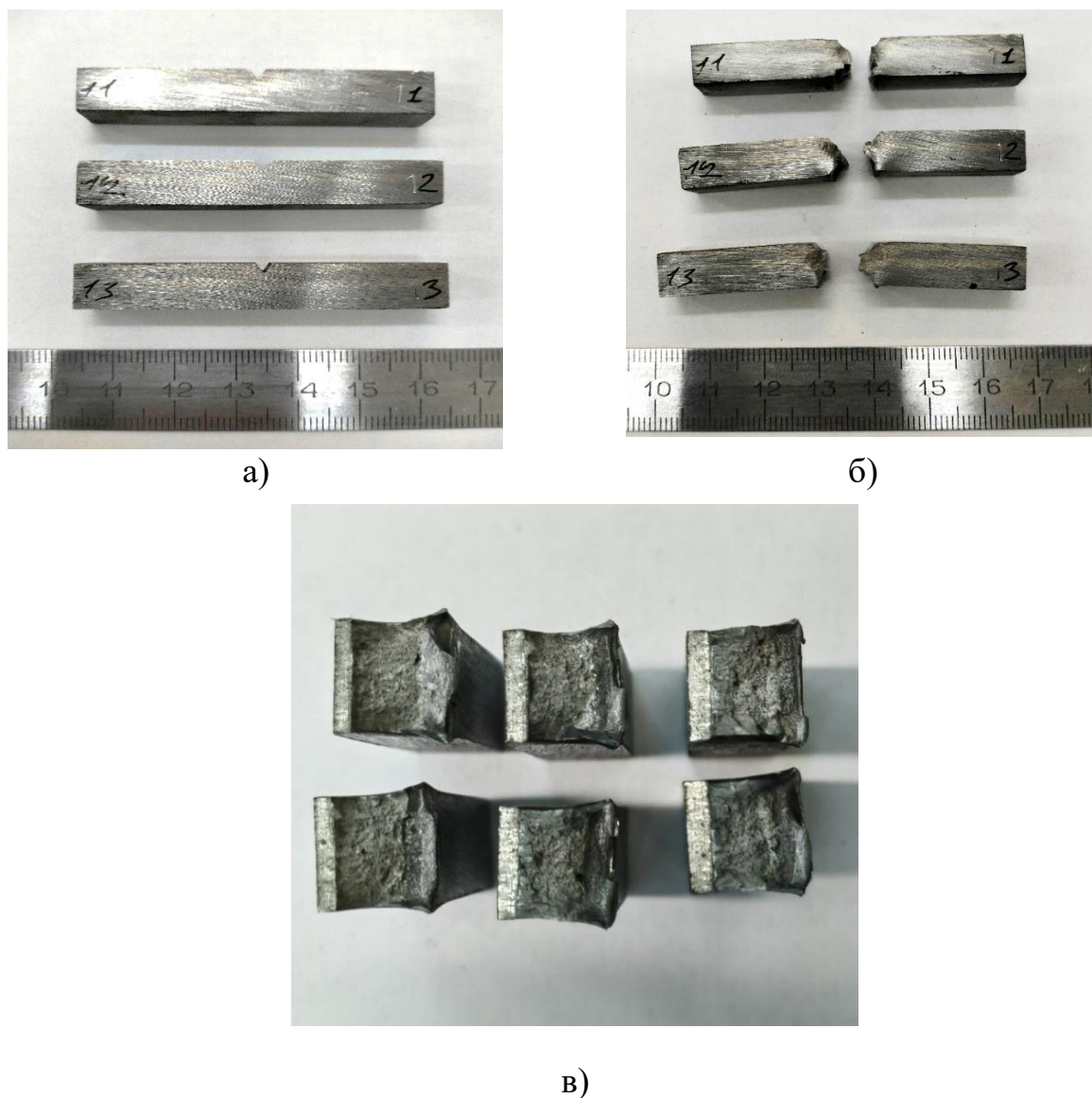


Рисунок 26 – образцы КСС из материалов с ВП: а) до проведения испытаний на ударную вязкость; б) после проведения испытаний на ударную вязкость; в) образцы имеют преимущественно вязкое разрушение.

Результаты испытания на ударную вязкость показали, что для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 1-ой технологии сварки, величина ударной вязкости находится в диапазоне от 105 до 110 Дж/см².

Для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 2-ой технологии сварки, величина ударной вязкости находится в диапазоне от 119 до 135 Дж/см².

Для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 3-ей технологии сварки, величина ударной вязкости находится в диапазоне от 97 до 115 Дж/см².

Протоколы испытаний на ударную вязкость образцов КСС из материалов с ВП подставлены в приложении Г.

Оценка ударной вязкости образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений, которые были получены по 3-м исследуемым технологиям сварки показало, что образцы, несмотря на пониженную температуру испытаний (близкой к температуре хладноломкости основного слоя, который несет конструкционную нагрузку), разрушились вязко. Значения ударной вязкости, которые показали образцы, многократно превышают пороговое значение для стали 09Г2С КП 345 (39 Дж/см²). Поэтому изделия, сваренные по любой из этих технологий, могут эксплуатироваться без хрупкого разрушения в любой климатической зоне.

5.3 Исследование технологических свойств образцов КСС из материалов с ВП

Оценку технологических свойств образцов КСС из материалов с ВП проводили испытанием на статический изгиб образцов на разрывной машине модели ИР 5145-500. Испытания проводились согласно методике ГОСТ 14019-2003 [64]. Так как механизм работы основного и плакирующих слоев при их нахождении в растянутой или сжатой зоне отличается, то испытания проводились на 2 образцах для каждого вида сварки с нахождением в растянутой зоне сначала основного слоя, а затем плакирующих слоев.

Фото образцов с расположенным в растянутой зоне основным слое до и после испытания на статический изгиб приведены на рисунке 27



а)



б)

Рисунок 27 - Испытание на статический изгиб образцов КСС из материалов с ВП: а) до начала испытания на статический изгиб; б) после завершения испытания на статический изгиб.

Фото образцов с расположенными в растянутой зоне плакирующими слоями до и после испытания на статический изгиб приведены на рисунке 28.



а)



б)

Рисунок 28 – образцов КСС из материалов с ВП: а) до проведения испытаний на статический изгиб; б) после проведения испытаний на статический изгиб

Результаты испытаний показывают, что для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 1-ой технологии сварки, величина угла изгиба при нахождении в растянутой зоне основного конструкционного слоя составила 145 градусов. При этом значении угла изгиба трещины в растянутой зоне не было обнаружено, что позволяет проводить дальнейшее исследование. При нахождении в растянутой

зоне плакирующих слоя, величина угла изгиба составила 71 градус при появлении первой трещины.

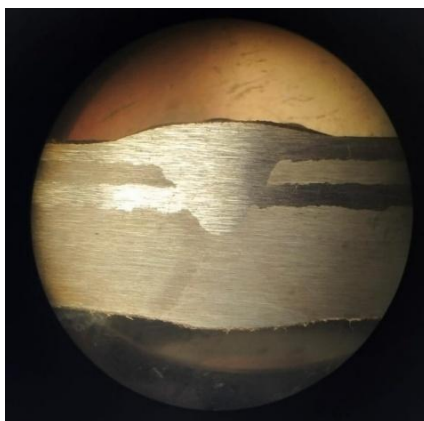
Для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 2-ой технологии сварки, величина угла изгиба при нахождении в растянутой зоне основного конструкционного слоя также составила 145 градусов. При этом значении угла изгиба трещины в растянутой зоне не было обнаружено, что позволяет проводить дальнейшее исследование. При нахождении в растянутой зоне плакирующих слоя, величина угла изгиба составила 92 градуса при появлении первой трещины.

Для образцов КСС из материалов с ВП, сваренных по 3-ей технологии сварки, величина угла изгиба при нахождении в растянутой зоне основного конструкционного слоя составила 145 градусов. При этом значении угла изгиба трещины в растянутой зоне не было обнаружено, что позволяет проводить дальнейшее исследование. При нахождении в растянутой зоне плакирующих слоя, величина угла изгиба составила 81 градус при появлении первой трещины. Протоколы испытаний на статический изгиб образцов КСС из материалов с ВП подставлены в приложении Г.

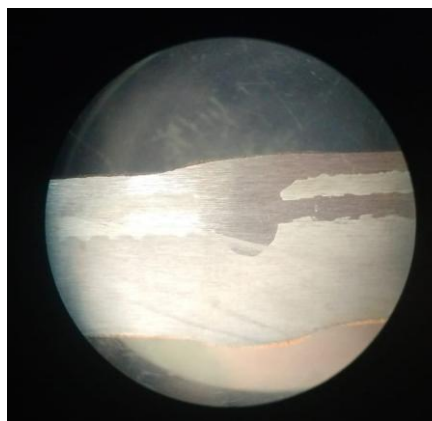
Таким образом, установлено, что все образцы, вырезанные из контрольных сварных соединений, полученных по всем 3-м исследуемым технологиям сварки показали значения угла изгиба не менее 145 градусов при условии нахождении в растянутой зоне основного конструктивного слоя. При нахождении в растянутой зоне плакирующих слоев значения угла изгиба уменьшаются в 1,5 – 2 раза. Для повышения данного показателя рекомендуется проведения термической обработки в виде отпуска для снятия внутренних напряжений и выравнивая структуры в зонах основного металла, сварного шва и околошовной зоны. Но несмотря на невысокие значения углов изгиба от 71 до 92 градусов, этот показатель все равно превышает контрольное значение в 70 градусов, применяемое для контрольно-сварных соединений, выполненных из кремнемарганцовистых сталей.

5.4 Макроанализ КСС из материалов с ВП

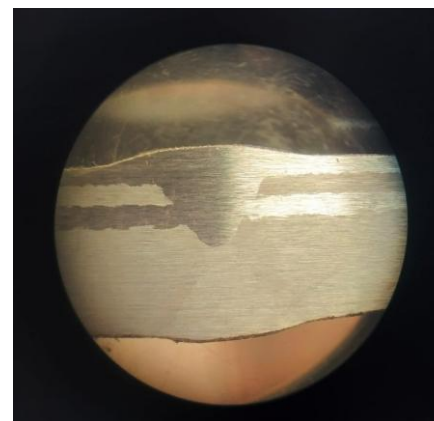
По проведенному макроанализу КСС, полученных по предлагаемым технологиям установлено, что во всех трёх случаях на границе сплавления между сварным швом и основным металлом отсутствуют макродефекты, таких как поры, трещины расслоения. Также на рисунке 29 отчётливо видна слоистость материала и то, что проводилась двухсторонняя сварка сварочными материалами с различным химическим составом.



TIG



MMA



FCAW

Рисунок 29 – Макрошлиф КСС из материала с ВП

5.5 Коррозионные испытания сварных соединений.

Результаты коррозионного воздействия под действием хлорного железа (III) в течение 72 часов свидетельствуют, об отсутствие развития коррозионного поражения сварного шва и околошовной зоне при наличии двух искусственных питтингов в сварном шве (ИП-1) и (ИП-2) на удалении 10 мм от линии сплавления рисунок 30.

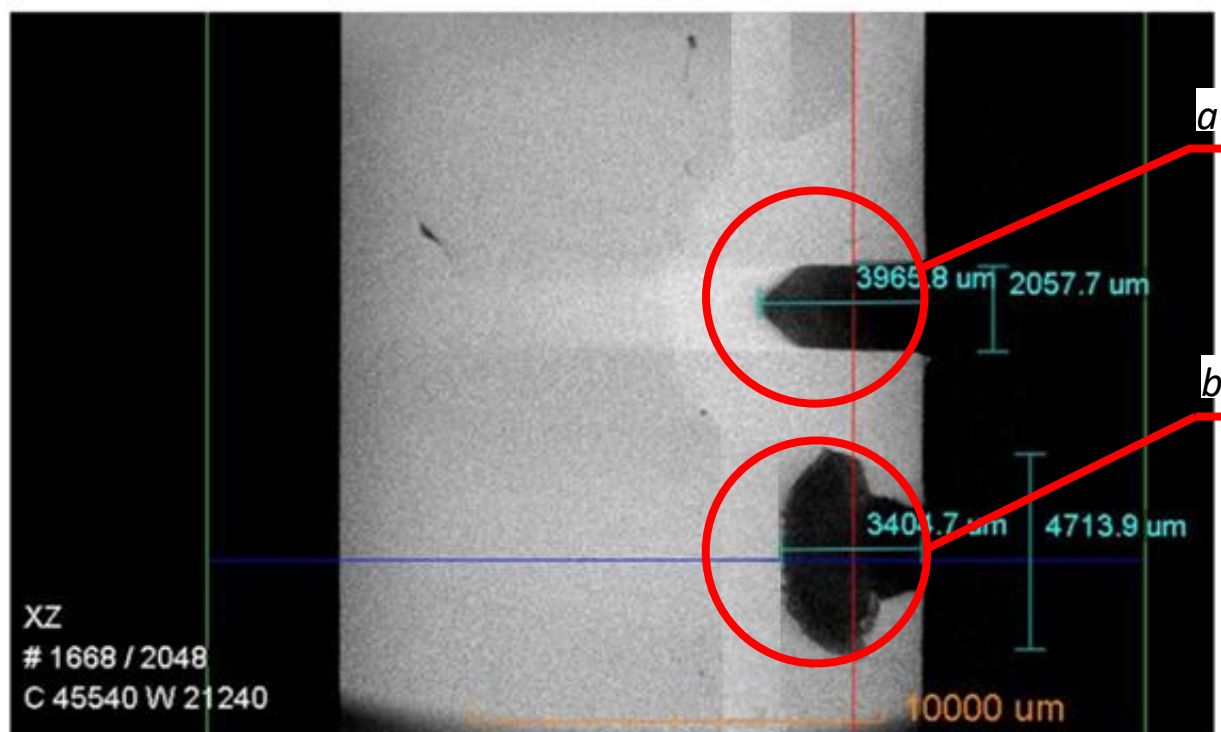


Рисунок 30 – Особенности коррозионного поражения искусственных пттингов в сварном шве (a) и околошовной зоне со стороны плакирующих слоёв (b)

Высокоточная система рентгеновской томографии не зафиксировала каких-либо изменений в геометрии ИП-1, в то время как ИП-2 корродировал по классической схеме с образованием линзы в протекторном слое.

Экспериментально подтверждено, что при дуговых методах сварки и применение сварочного материала, химический состав которого обеспечивает повышенный в сравнении с основным металлом стационарный ЭХП, обеспечивает устойчивую работу сварного шва агрессивных средах, не подвергаясь коррозии.

Выводы по пятой главе

- На основании существующих методик (ГОСТы и ТУ), которые регламентируют порядок определения основных механических и технологических свойств композиционных материалов, были назначены следующие испытания: испытание на статическое растяжение; испытание на ударную вязкость при пониженной (-60°C) температуре; испытание на статический изгиб.
- По результатам испытания на статическое растяжение образцов установлено, что все 3 рассматриваемые в работе технологии сварки позволяют получить качественное сварное соединение с параметрами прочности выше, чем параметры прочности у основного металла. Разрушение на образцах из контрольных сварных соединений происходит не по сварному шву и околошовной зоне.
- Вязкий характер разрушения и значения ударной вязкости, полученные на образцах, вырезанных из всех 3 КСС свидетельствуют о высоком качестве сварных швов. И о том, что изделия, сваренные по любой исследуемых технологий, могут эксплуатироваться без хрупкого разрушения в любой климатической зоне.
- Результаты испытаний образцов из КСС на статический изгиб показали, что угол технологического изгиба существует и зависит от того, какие слои находятся в растянутой зоне при проведении испытания. Но даже при значении углов изгиба от 71 до 92 градусов, этот показатель все равно превышает контрольное значение в 70 градусов, применяемое для контрольно-сварных соединений, выполненных из кремнемарганцовистых сталей.
- Результаты макроанализа представленные подтверждают отсутствие макродиффектов и сварку материалами с разным химическим составом.
- Экспериментально подтверждено, что при дуговых методах сварки и применение сварочного материала, химический состав которого обеспечивает повышенный в сравнении с основным металлом стационарный ЭХП, обеспечивает устойчивую работу сварного шва агрессивных средах, не подвергаясь коррозии.

Заключение

В ходе выполнения диссертационной работы, были рассмотрены особенности формирования структуры и способы получения сварных соединений материалов с ВП при дуговых методах сварки. Применение сварочных материалов с ЭХП превышающих ЭХП плакирующего слоя, находящегося в непосредственном контакте с агрессивной средой, доказала свою эффективность. Комплексное применение предложенных материалов совместно с передовыми сварочными технологиями обеспечивает существенные технологические преимущества при изготовлении и эксплуатации конструкций, работающих в агрессивных условиях.

В процессе патентного исследования было установлено, что в сварочной промышленности наблюдается значительный технологический скачок. Ключевую роль играют передовые методы, определяющие вектор развития, например, синергетическое управление, использование порошковой проволоки, гибридные сварочные процессы и сварка с применением расщепленной дуги.

Применение порошковых сварочных материалов и комбинированных сварочных технологий *ICE (Increased Cold Electrode)* с регулируемой подачей «холодной» проволоки, обеспечит минимальное тепловое воздействие на зону сварки, существенно повысит усталостную прочность сварных соединений, способствуя формированию равномерного, однородного сварного шва, снижает вероятность возникновения внутренних дефектов и, как результат, повышает надёжность и ресурс сварной конструкции.

Разработаны и обоснованы новые технологии по выполнению неразъёмных соединений материалов с ВП, включающие применение перспективных способов сварки и новых сварочных материалов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Разработанная методика выбора режимов сварки учитывает тепловложение, скорость сварки и химический состав свариваемых материалов, обеспечивая оптимальное сочетание прочности, пластичности и стойкости к коррозии. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения новых

видов сварки для изготовления материалов с внутренним протектором с двумя и более слоями, позволяя не только улучшить качество сварных соединений, но и повысить производительность сварочных работ.

Механические и коррозионные испытания образцов, выполненных по разработанным технологиям, показали надежность сварных соединений, которые в последствии могут эксплуатироваться в любых климатических зонах.

Необходимо отметить, что отработка технологий проводилась на полупрофессиональном оборудовании, без термообработки, специалистами средней квалификации, что подтверждает доступность изготовления конструкции из материалов с ВП даже малыми предприятиями.

Разработанные технологии могут быть успешно внедрены в производственный процесс, обеспечивая снижение затрат при выполнении сварочных работ материалов с ВП, а также их ремонта в течение всего срока эксплуатации.

Список сокращений

FCAW (Flux-Cored Arc Welding) – механизированная дуговая сварка плавящейся порошковой проволокой.

TIG (Tungsten Inert Gas) – дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов

ВП – внутренний протектор

ГОСТ – государственный стандарт

ИП – искусственный питтинг

ИСО – Международная организация по стандартизации (*International Organization for Standardization*).

КСС – контрольные сварные соединения

МКК - межкристаллитной коррозии

MMA (Manual Metal Arc) – дуговая сварка покрытыми электродами

НТД – нормативно-техническая документация

НТИ – научно-технические изобретения

ОСТ – отраслевой стандарт

ПИ – патентное исследование

ПК – питтинговая коррозия

РАО – радиоактивные отходы

РД – руководящий документ

СТА – сварка трением с перемешиванием

СТО – стандарт организации

ТУ – технические условия

ХЖО – хранилища жидких отходов

ЭХП – электрохимический потенциал

ЯТЦ – ядерный топливный цикл

Список литературы

1. Шютце, М. Глобальные потребности в распространении, исследованиях и развитии знаний в области разрушения материалов и контроля коррозии / Михаэлем Шютце, Джорджем Ф. Хейсом, Уэйном Бернсом, Эн-Хоу Ханом, Антуаном Пурбе и Гретхен Якобсон, [и др.] // ВОБК.- 2009 – Май.
2. Перелыгин, Ю.П. Коррозия и защита металлов от коррозии: учеб. пособие для студентов технических специальностей / Ю. П. Перелыгин, И. С. Лось, С. Ю. Киреев. – 2-е изд., доп. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – 88 с
3. Розен, А.Е. Евразийский патент № 016878 ЕАПВ C23F 13/06 В 32В 7/02. Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости (варианты) и способы его получения /А.Е. Розен, И. С. Лось, Ю. П. Перелыгин, Л. Б. Первухин, Ю. А. Гордополов, Г. В. Кирий, П. И. Абрамов, С. Г. Усатый, Д. Б. Крюков, О. Л. Первухина, И. В. Денисов, А. А. Розен. – 2012.
4. Р. П., Дидык, Р.П. Формирование многослойных конструкций сваркой взрывом / Р. П., Дидык, В. А. Козечко // Черные металлы. – 2016. – № 7 (1015). – С. 66-70.
5. Розен, А.Е. Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости (варианты) и способы его получения: пат. 016878 ЕАПВ: МПК C23F 13/06, B23B 7/02 / Розен А. Е., Лось И. С., Перелыгин Ю. П. [и др.]; заявитель и патентообладатель Розен А.Е. – № PCT/RU2008/000620; заявл. 26.09.2008; опубл. 30.06.2012. – с.44.
6. Розен, А.Е. Строение межслойной границы слоистого металлического материала с внутренним протектором, полученного сваркой взрывом / А.Е. Розен, О.Н. Логинов, А.А. Розен, С.Ю. Киреев, Н.В. Севостьянов, А.В. Заводов // Металлургия. – 2022. – №5 – С.108.
7. Grachev V.A., Rozen A.E., Perelygin Y.P., Kireev S.Y., Los I.S., Rozen A.A. Measuring corrosion rate and protector effectiveness of advanced multilayer metallic materials by newly developed methods. Heliyon, 2018, vol. 4, no. 8, article number.

8. Лось, И.С. Закономерности создания слоистых металлических коррозионностойких материалов с внутренним протектором / И. С. Лось, А. Е. Розен, А. В. Дуб, А. Е. Корнеев, С. Ю. Киреев, И. Л. Харина, И. А. Сафонов // Известия. – 2020. – №11. – С. 24-30.

9. Первухина, О.Л. Двухслойная сталь для ответственных металлоконструкций/ Первухина О.Л., Денисов И.В. // Известия. – 2020. – №11. – С. 46-52.

10. Гринберг, Б.А. Сварка взрывом: процессы и структуры: монография / Гринберг Б.А., Иванова М.А., Кузьмина С.В., Лысак В.И. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 236 с.

11. Хорин, А.В. Структурообразование межслойных границ слоистых металлических материалов при сварке взрывом / Розен А.Е., Корнеев А.Е., Хорин А. В., Прищак А. В., Гуденко А. С., Розен А. А., Козлов Д. В. // Известия. – 2020. – №11. – С. 41-45.

12. ГОСТ Р 15.011-2022 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. – М.: ФГБУ «РОТ», 2022. – 20 с.

13. Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ, данные национальных патентных ведомств [Электронный ресурс]. – URL: <https://rospatent.gov.ru/ru> (дата обращения: 05.05.2025)

14. Всемирной организации интеллектуальной собственности [Электронный ресурс]. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf> (обращения: 06.05.2025).

15. Европейского патентного ведомства [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent> (обращения: 06.05.2025).

16. Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/> (обращения: 07.05.2025).

17. Информационно-поисковая система по нормативным документам. NormaCS® [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.normacs.ru/ocfind.jsp> (дата обращения: 07.05.2025).

18. Комбинированный способ импульсного управления процессом сварки плавящимся электродом: пат. 2429111, Рос. Федерация: *B23K 9/095*/ Крампит А.Г., Крампит Н.Ю., Князьков А.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – № 2009125960/02/02; заявл. 20.01.2011; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26. – 10 с.

19. Синергетическая система сварки: пат. 2345873, Рос. Федерация: *B23K 9/09*, *B23K 9/10*, *B23K 9/173*, *B23K 35/368*/ Нараян Бадри К., Майерс Рассел К., Солтис Патрик Т.; заявитель и патентообладатель ЛИНКОЛЬН ГЛОБАЛ, ИНК. – № 2006138266/02; заявл. 30.10.2006; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4. – 31 с: ил.

20. Способ сварки изделия из коррозионностойких многослойных металлических материалов: пат. WO 2017/142435 A1, Рос. Федерация: *B23K 9/23*, *B23K 33/00*, *B35K 9/24*/ Розен А.А., Розен А.Е., Грачев В. А.; заявитель и патентообладатель ООО «РОМЕТ». – № PCT/RU2016/000093; за-явл. 19.02.2016; опубл. 24.08.2017. – 32 с.

21. Способ, аппарат и программное обеспечение для газовой дуговой сварки электродом с непрерывной подачей: пат. WO 2005/044502 A1, Швеция: *B23K 9/173*/ Пер ОБЕРГ, Томас Карлссон, Ханнес ЛЁФГРЕН; текущий правопреемник ESAB AB. – № PCT/SE2040/001634; заявл. 08.01.2004; опубл. 19.05.2005. – 16 с: ил.

22. Супердуплексная порошковая проволока из нержавеющей стали: пат. CN 106695156 A, КНР: *B23K 35/02*, *B23K 35/30*/ Юй Хуацзинь; У Лин Фэй; Заявитель и правопреемник SHANGHAI WELDING APPLIANCES. – № CN201611226880.XA; заявл. 27.12.2016; опубл. 24.05.2017. – 7 с.

23. Порошковая проволока для сварки в защитных газах высокохромоникелевых цельноаустенитных нержавеющей сталей: пат. CN 106695156 A, КНР: *B23K 35/368*, *B23K 35/40*/ Чжан Ди, Ван Инцзе, Фу Динмэй, Сяо Цзин [и др.]; текущий правопреемник MCC WELDING TECHNOLOGY Co Ltd, Central Research Institute of Building and Construction Co Ltd MCC Group. – № CN201210193329.5A; заявл. 12.06.2012; опубл. 02.07.2014. – 8 с.

24. Синергетическая сварочная систем: пат. US 8704135 B2, США: *B23K 35/362*/ Бадри К. Нараянан, Рассел К. Майерс, Патрик Т. Солтиса; заявитель и текущий правопреемник Lincoln Global Inc. – № 11/336506; заявл. 20.01.2006; опубл. 22.04.2014. – 22 с.

25. Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей: пат. 2281843, Рос. Федерация: *B23K 35/368*/ Гаврилов С. Н., Поправка Д. Л., Очагов В. Н. [и др.]; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет". – № 2004138389/02; заявл. 27.12.2004; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23. – 9 с.

26. Присадочный материал для сварки разнородных легированных сталей и способ его использования: пат. US 7562807 B, США: *B23K 35/00, C22C 19/05*/ Кент К. Коулмэн, Дэвид Уэйн Ганди, Рамасвами Вишванатхан, Уильям Ф. Ньюэлл-младший.; заявитель и текущий правопреемник Electric Power Research Institute Inc. – № 10/839863; заявл. 05.05.2004; опубл. 21.07.2009. – 6 с.

27. Композиционная сварочная проволока: пат. 2416504, Рос. Федерация: *B23K 35/02, B23K 35/10*/ Паршин С. Г., Паршин С. С.; патентообладатель Паршин С. Г. – № 2009125102/02; заявл. 30.06.2009; опубл. 10.04.20011, Бюл. № 11. – 7 с.

28. Система для дуговой сварки под флюсом с использованием горячей и холодной проволоки: пат. US 11135670 B2, Швеция: *B23K 9/18; B23K 9/12*/ Ханнес Раудсепп, Мартин Андерссон, Томас Йоханссон, Рикард Лjungkvist; заявитель и правопреемник ESAB AB - № 16/170128; заяв. 25.10.2018, опуб. 05.10.2021. – 25 с.

29. ОСТ 26.260.480-2003 Сосуды и аппараты из двухслойных сталей. Сварка и наплавка. – Волгоград: ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», 2003. – 141 с.

30. СТО 00220368-011-2007 Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах. – Волгоград: ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», 2007. – 70 с.

31. Кайдриков Р. А. Электрохимические методы оценки коррозионной стойкости многослойных гальванических покрытий: монография/ Кайдриков Р. А. [и др.] – Казань: Изд-во Казанского ГТУ, 2010. – 136 с.
32. Карта АЭС: состояние атомной энергетики в мире [Электронный ресурс]. – URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/karta-aes-sostoyanie-atomnoy-energetiki-v-mire-545439 (дата обращения: 12.05.2025)
33. Глухих, В.А. Машиностроение ядерной техники: энциклопедия / В.А. Глухих, М.М. Михайлов, В.П. Сметанников [и др.]. – Москва: ОАО «Издательство «Машиностроение», 2001. – 944 с.
34. Первухин, Л.Б. Опыт разработки и сертификации многослойных коррозионно – стойких материалов с «протекторной питтинг-защитой» / А.Е. Розен, И.С. Лось, Л.Б. Первухин [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 3 (31). – С. 61–74.
35. Потери от коррозии в нефтеперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс]. – URL: <https://e-him.ru/?page=dynamic&section=64&article=1173> (обращения: 12.05.2025).
36. Коррозия в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс]. – URL: <https://uralneftemash.com/blog/korroziya/> (обращения: 14.05.2025).
37. Матвеев С. С. Крупногабаритные толстостенные конструкции / Матвеев С. С. // Пензхиммаш. Юбилейный выпуск - 2009. - С. 7-11.
38. Особенности сварки бесшовных труб / А. Е. Розен, Е. Г. Исаков, А. О. Корольков // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности, – Махачкала: ООО «Институт развития образования и консалтинга». – 2021. – С. 124-127.
39. Технологические особенности получения бесшовных труб высокой коррозионной стойкости из слоистых металлических материалов с внутренним протектором / А.О. Корольков, А.Е. Розен // Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием. – Пенза: Изд-во Пензенского гос. аграрного ун-та, 2020. – С. 71–73.

40. Лысак, В. И. Сварка взрывом: процессы и структуры: монография/ Лысак В. И., Кузьмин С. В. [и др.]. – М: Инновационное машиностроение, 2017. – 236 с.
41. Особенности дуговой сварки слоистого коррозионностойкого материала / А. Е. Розен, С. Ю. Киреев, А. В. Дуб, Е. Г. Исаков [и др.] // *Frontier Materials & Technologies*. – 2021. – № 4. – С. 57-68. – DOI 10.18323/2782-4039-2021-4-57-68.
42. ГОСТ 34347–2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2018. – 110 с.
43. Сварочное оборудование и установки плазменной резки: каталог. – Москва: Изд-во ЭСАБ, 2015. – Изд.1. – 92 с.
44. Вертикальный фрезерный станок HAAS TM [Электронный ресурс]. –URL: https://www.abamet.ru/catalog/frezernye-chpu/new_haas-tm-1/ (дата обращения 16.05.2025).
45. ГОСТ Р 59604.2-2021 Система аттестации сварочного производства. Часть 2. Аттестация персонала. Правила. – М.: РИС, 2021. – 73 с.
46. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Стандартиформ, 2010. – 37 с.
47. Гордиевский, В. Г. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства: учебное пособие / В. Г. Гордиевский, А.Е. Розен, [и др.]; - Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. - 276 с.
48. ГОСТ 9466-75 Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2007. – 25 с.
49. ISO 14172-2023 Сварочные материалы. Покрытые электроды для ручной дуговой сварки никеля и никелевых сплавов. – Женева: Бюро по авторским правам ISO, 2023 – 27 с.
50. ГОСТ 14771–76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Стандартиформ, 2007. – 38 с.
51. Каталог сварочных материалов ТЕНОКСФИЛ: каталог. – Пенза: Изд-во ТЕНОКСФИЛ, 2025. – Изд.1. – 102 с.

52. ГОСТ ISO 14341-2020. Материалы сварочные. Проволоки и наплавленный металл дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе нелегированных и мелкозернистых сталей. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 22 с.: ил.

53. ISO 18274-2023 Сварочные материалы. Сварочные ленточные электроды, сплошная проволока и сплошные прутки для сварки плавлением никеля и никелевых сплавов. Классификация. – Женева: Бюро по авторским правам ISO, 2023. – 29с.

54. ISO 17632-A: 2016 Сварочные материалы. Порошковые электроды для дуговой сварки нелегированных и мелкозернистых сталей в среде защитного газа и без него. Классификация. – Брюссель: Европейский комитет стандартизации, 2021. – 34 с.

55. AWS 5.34/5.34M: 2020 Технические характеристики проволок из никелевого сплава для дуговой сварки порошком. – Флорида: Американское общество сварки, 2020. – 42 с.

56. Сварочный аппарат инверторного типа EMP 320ic: технологическая инструкция. – Гётеборг: Изд-во ESAB AB, 2018.– 64 с.

57. ГОСТ Р ИСО 14175-2010 Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.

58. Всепозиционные порошковые проволоки для нелегированных и низколегированных сталей: справочник по сварке. – М.: Изд-во ЭСАБ, 2020. – 32 с.

59. ГОСТ 1497-2023 Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 50 с.

60. ТУ 27.32.09.010-2005 Сталь листовая двухслойная коррозионностойкая изготовленная методом сварки взрывом. – М: ФГУП «ЦНИИТМАШ», 2005. – 20 с.

61. ТУ 27.81.09.009-2005 Заготовки двухслойных сталь-титан, изготовление методом взрыва. – М: ИЦ «ЦНИИТМАШ», 2005. – 17 с.

62. ГОСТ 9454-78 Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1978. – 12 с.

63. ГОСТ 5520-2017 Прокат толстолистовой из нелегированной и легированном стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2018. – 29 с.

64. ГОСТ 14019-2003 Материалы металлические. Метод испытания на изгиб. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, 2004. – 12 с.: ил.

65. Ромашев, Д.В. Исследование механических и технологических свойств композиционного материала, сваренного по различным технологиям / Д. В. Ромашев, А. Е. Розен, М.С. Гуськов // Современные наукоемкие технологии. – 2025. – Планируется к выходу в журнале № 8.

66. Перспективы применения слоистых металлических материалов с внутренним протектором / Бижанов Д. Е., Ромашев Д.В. // В сборнике: Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки. Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской молодежной конференции. Саратов, 2025.

67. Производство коррозионностойких композитных материалов сваркой взрывом / Бижанов Д. Е., Ромашев Д.В. // В сборнике: Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки. Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской молодежной конференции. Саратов, 2025.

Приложение А



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009125960/02, 06.07.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.07.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.07.2009

(43) Дата публикации заявки: 20.01.2011 Бюл. № 2

(45) Опубликовано: 20.09.2011 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: ПАТОН Б.Е. и др. Способ
комбинированного управления процессом
переноса электродного металла при
механизированной дуговой сварке.
Автоматическая сварка, №8, 2006, с.27-32. RU
2191665 C2, 27.10.2002. RU 2198079 C2,
10.10.2001. RU 2288820 C1, 10.12.2006. RU
2238827 C1, 27.10.2004. RU 2120843 C1,
27.10.1998. US 5233158 A, 03.08.1993. JP 56-
043154 A, 21.04.1981. US 6831251 A, 14.12.2004.

Адрес для переписки:

652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул.
Ленинградская, 26, ЮТИ ТПУ, зам.
директора по НР Д.А. Чинахову

(72) Автор(ы):

Крампит Андрей Гарольдович (RU),
Крампит Наталья Юрьевна (RU),
Князьков Анатолий Федорович (RU),
Князьков Сергей Анатольевич (RU),
Ковалев Георгий Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Томский политехнический
университет" (RU)

(54) КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области
электродуговой сварки плавящимся
электродом сплошного сечения, порошковыми
проволоками, самозащитными проволоками в
среде активных и инертных газов, смесях Ag+
CO₂, CO₂+O₂, Ag+CO₂+O₂ на обратной и
прямой полярности в различных
пространственных положениях, в частности к
способу комбинированного управления
переносом электродного металла при сварке
плавящимся электродом. Сварку выполняют
короткой дугой или длинной дугой и

осуществляют подачу импульсов сварочного
тока синхронно с импульсами подачи
проволоки или синфазно с импульсами подачи
сварочной проволоки. Импульсы сварочного
тока и импульсы подачи сварочной проволоки
подаются с одной частотой и независимо от
частоты питающей сети. Импульсы подачи
сварочной проволоки в паузах осуществляют
при значениях скорости движения проволоки,
равных нулю или не равных нулю. В
результате достигается повышение качества
сварного соединения за счет синхронного
совмещения импульсов подачи сварочной
проволоки и импульса сварочного тока. 9 ил.



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006138266/02, 30.10.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.10.2006(30) Конвенционный приоритет:
31.10.2005 US 11/263,064
20.01.2006 US 11/336,506

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2008

(45) Опубликовано: 10.02.2009 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1826338 A1, 27.08.1996. RU 2038935
C1, 09.07.1995. RU 2098246 C1, 10.12.1997. SU
1743064 A, 15.05.1994. RU 2012469 C1,
15.05.1994. RU 2012470 C1, 15.05.1994. SU
1780970 A1, 15.12.1992. JP 2000288730 A,
17.10.2000. KR 2002006297 A, 29.07.2002. GB
1397685 A, 18.06.1975.Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):

НАРАЯНАН Бадри К. (US),

МАЙЕРС Рассел К. (US),

СОЛТИС Патрик Т. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ЛИНКОЛЬН ГЛОБАЛ, ИНК. (US)

C 2

RU 2 345 873

(54) СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВАРКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сварки, в частности к системе сварки короткой дугой между перемещающимся проволочным электродом и заготовкой, способу управления импульсом тока и электроду с сердечником для флюса, и может найти применение в машиностроении. Система включает: источник питания с устройством управления для создания импульса тока, подводящего энергию к электроду для расплавления торца электрода, и режима переноса расплавленного металла, и с отслеживанием окончания указанного импульса расплавления; датчик времени для измерения фактического времени между окончанием импульса и короткого замыкания; устройство для регулирования

требуемого времени от импульса до короткого замыкания; схему для создания корректирующего сигнала основанного на различии между фактическим временем и требуемом времени; схему, чувствительную к корректирующему сигналу для управления заданным параметром импульса тока. Электрод с сердечником является самозащитным электродом с сердечником из флюса и содержит различные электродные композиции, которые особенно благоприятны при их использовании в сочетании с задаваемой системой формой импульса. В результате получают сварные швы с низкими уровнями загрязнителей, которые характеризуются высокими прочностными свойствами и являются долговечными. 3 н. и 19 з.п. ф-лы, 16 ил.

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро



(10) Номер международной публикации

WO 2017/142435 A1

(43) Дата международной публикации
24 августа 2017 (24.08.2017)

WIPO | PCT

- (51) Международная патентная классификация:
B23K 9/23 (2006.01) B23K 35/24 (2006.01)
B23K 33/00 (2006.01)
- (21) Номер международной заявки: PCT/RU2016/000093
- (22) Дата международной подачи:
19 февраля 2016 (19.02.2016)
- (25) Язык подачи: Русский
- (26) Язык публикации: Русский
- (71) Заявитель: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "РОМЕТ" (OB-
SHCHESTVO S OGRANICHENNOJ OTVETSTVEN-
NOSTYU "ROMET") [RU/RU]; проспект 30-летия
Победы, 41, кв.31 Пензенская обл., г. Заречный,
442964, g. Zarechny (RU).
- (72) Изобретатели: РОЗЕН, Андрей Андреевич (ROZEN,
Andrey Andreevich); проспект 30-летия Победы, 41,
кв.31 Пензенская обл., г. Заречный, 442964, g. Za-
rechny (RU). РОЗЕН, Андрей Евгеньевич (ROZEN,
Andrey Evgenievich); проспект 30-летия Победы, 41,
кв.31 Пензенская обл., г. Заречный, 442964, g. Za-
rechny (RU). ГРАЧЕВ, Владимир Александрович
(GRACHEV, Vladimir Aleksandrovich); ул.
Лобачевского, 92, корп.4, кв.159 Москва, 119415, Мо-

scow (RU). ПЕРЕЛЫГИН, Юрий Петрович
(PERELYGIN, Yuriy Petrovich); ул. Онежская, 19, кв.
12 г. Пенза, 440066, g. Penza (RU). УСАТЫЙ, Сергей
Геннадьевич (USATYI, Sergej Gennadevich); ул.
Карпинского, 33, кв. 43 г. Пенза, 440011, g. Penza (RU).
КРЮКОВ, Дмитрий Борисович (KRYUKOV, Dmitrij
Borisovich); пр-т Строителей, 28, кв. 13 г. Пенза,
440066, g. Penza (RU). ЛОСЬ, Ирина Сергеевна (LOS,
Irina Sergeevna); ул. Красная, 28, 13 г. Пенза, 440026,
g. Penza (RU). ПРЫЩАК, Алексей Валерьевич
(PRYSHCHAK, Aleksey Valerevich); ул. Ухтомского,
3а, кв. 8 г. Пенза, 440061, g. Penza (RU). АБРАМОВ,
Павел Иванович (ABRAMOV, Pavel Ivanovich); ул.
Мневники, 21, кв. 75 Москва, 123308, Moscow (RU).
КУЗНЕЦОВ, Евгений Викторович (KUZNETSOV,
Evgenij Viktorovich); ул. Тайнинская, 13, корп.2, кв. 80
Москва, 129345, Moscow (RU). ТУРИЧИН, Глеб
Андреевич (TURICHIN, Gleb Andreevich);
Октябрьская набережная, 76, корп.1, кв. 9 Санкт-
Петербург, 193079, St.Petersburg (RU). КУЗНЕЦОВ,
Михаил Валерьевич (KUZNETSOV, Mikhail
Valerevich); ул. Верности, 26, кв. 28 Санкт-Петербург,
195256, St.Petersburg (RU).

- (74) Агент: КОТЛОВ, Дмитрий Владимирович
(KOTLOV, Dmitriy Vladimirovich); ООО "Центр
интеллектуальной собственности "Сколково" ул.

[продолжение на следующей странице]

(54) Title: METHOD OF WELDING AN ARTICLE MADE OF CORROSION RESISTANT MULTI-LAYERED METAL MATERIALS

(54) Название изобретения : СПОСОБ СВАРКИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Abstract: The invention relates to the field of welding, and more particularly to methods of connecting articles made of corrosion resistant multi-layered metal materials by means of welding, and can be used in mechanical engineering, boat building, the chemical, petrochemical, extraction and refining industries, power engineering, including nuclear power engineering, construction and in other sectors. Corrosion resistant multi-layered metal materials made from alternating working cladding layers, which are corrosion resistant, are passive in a working medium and are odd in number, and clad protector layers, which are even in number, are welded. A weld edge is beveled on one or two sides and a weld seam is formed by filling the bevel with a different welding material in one or more passes. For welding, a welding material is used which is characterized in that it has a steady-state electrochemical potential when in contact with a working medium, which is greater than the steady-state electrochemical potential of the odd-numbered working, corrosion resistant cladding layer of the multi-layered material in contact with said working medium, and is less than the electrochemical potential of said layer in the working medium in question.

(57) Реферат: Изобретение относится к области сварки, точнее к способам соединения изделий из коррозионностойких многослойных металлических материалов с помощью сварки и может быть использовано в машино- и судостроении, в химической, нефтехимической, добывающей и перерабатывающей промышленности, в энергетике, включая атомную, строительстве и других отраслях. Осуществляют сварку коррозионностойких многослойных металлических материалов, выполненных из чередующихся между собой рабочих коррозионностойких плакирующих пассивирующихся в рабочей среде слоев, нечетных по расположению, и плакируемых протекторных слоев, четных по расположению. Осуществляют одно- или двухстороннюю разделку кромок под сварку и формирование сварного шва путем заполнения разделки различным сварочным материалом за один или несколько проходов. Для сварки используют сварочный материал, характеризующийся в условиях контакта с рабочей средой стационарным электрохимическим потенциалом, большим стационарного электрохимического потенциала рабочего плакирующего коррозионностойкого нечетного слоя многослойного материала, контактирующего с рабочей средой, и меньшим значения электрохимического потенциала перепассивации указанного слоя в той же рабочей среде.

WO 2017/142435 A1

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property
Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
19 May 2005 (19.05.2005)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2005/044502 A1

(51) International Patent Classification⁷: **B23K 9/09**

Kristinehamn (SE). **LÖFGREN, Hannes** [SE/SE]; Ug-
glegatan 1, S-696 33 Askersund (SE).

(21) International Application Number:

PCT/SE2004/001634

(74) **Agent: NILSSON, Kent**; Esab AB, Esabvägen, S-695 81
Laxå (SE).

(22) International Filing Date:

8 November 2004 (08.11.2004)

(25) Filing Language:

Swedish

(26) Publication Language:

English

(30) Priority Data:

0302946-9 7 November 2003 (07.11.2003) SE

(71) **Applicant (for all designated States except US): ESAB AB**
[SE/SE]; Box 8004, Herkulesgatan 72, S-402 77 Göteborg
(SE).

(72) **Inventors; and**

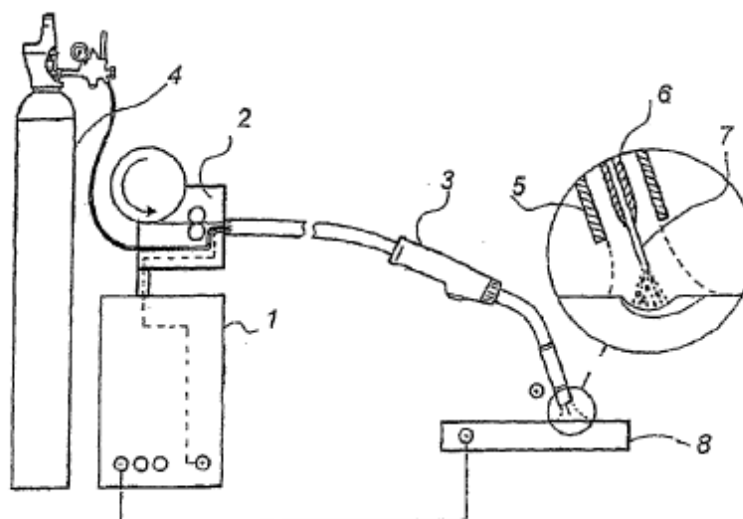
(75) **Inventors/Applicants (for US only): ÅBERG, Per**
[SE/SE]; Hjortronstigen 2, S-695 30 Laxå (SE). **CARLS-**
SON, Thomas [SE/SE]; Brattsands Gård, S-681 93

(81) **Designated States (unless otherwise indicated, for every
kind of national protection available):** AE, AG, AL, AM,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) **Designated States (unless otherwise indicated, for every
kind of regional protection available):** ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
European (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE,

[Continued on next page]

(54) **Title: METHOD, APPARATUS AND SOFTWARE FOR GAS METAL ARC WELDING WITH A CONTINUOUSLY FED
ELECTRODE**



(57) **Abstract:** The invention relates to a welding method for gas metal arc welding with continuous electrode feeding with process control for short arc welding and/or spray arc welding, and also for short pulsing in which the process control according to the short pulse method is caused to alternate cyclically between this and the process control for short arc or spray arc welding and in which the time for at least one of these process control methods is determined by a time programmed in by the user. The invention also relates to a welding power source and software for carrying out said method.

WO 2005/044502 A1

(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)发明专利申请



(10)申请公布号 CN 106695156 A

(43)申请公布日 2017.05.24

(21)申请号 201611226880.X

(22)申请日 2016.12.27

(71)申请人 上海焊接器材有限公司

地址 201318 上海市浦东新区申江南路
3896号

(72)发明人 俞华琴 吴伦发 罗茜 肖加华

(74)专利代理机构 上海天翔知识产权代理有限公司 31224

代理人 吕伴

(51)Int.Cl.

B23K 35/02(2006.01)

B23K 35/30(2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54)发明名称

一种超级双相不锈钢药芯焊丝

(57)摘要

本发明属于焊接材料技术,提出的超级双相不锈钢药芯焊丝,其采用普通E304L型不锈钢钢带,钢带的宽度和厚度分别为10mm和0.4mm,药芯的组成和重量百分比为:金属铬35-40%,金属镍8-11%,金属钼11-20%,金属锰0-2%,氮化锰5-10%,二氧化钛15-25%,长石2-4%,稀土氟化物0.5-2.5%。药芯粉剂重量占焊丝总重量的25-27%。本发明的药芯焊丝采用二氧化碳作为焊接保护气体,焊丝用于焊接25Cr一类超级双相不锈钢结构,焊缝中铁素体比例45-55%,PREN为41-43,焊丝焊接工艺性优良。

CN 106695156 A



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102699579 A

(43) 申请公布日 2012.10.03

(21) 申请号 201210193329.5

(22) 申请日 2012.06.12

(71) 申请人 中冶焊接科技有限公司

地址 101106 北京市通州区通州经济开发区
东区靓丽五街2号

申请人 中冶建筑研究总院有限公司

(72) 发明人 张迪 王英杰 符定梅 肖静

程美洁 李侠 曾宪芳 周德成

(74) 专利代理机构 北京北新智诚知识产权代理
有限公司 11100

代理人 王淳

(51) Int. Cl.

B23K 35/368 (2006.01)

B23K 35/40 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 6 页

(54) 发明名称

高铬镍全奥氏体不锈钢气保护焊接用药芯焊
丝

(57) 摘要

本发明提供一种奥氏体不锈钢全位置焊接用药芯焊丝,它由药粉和外用不锈钢带组成,其中药芯占焊丝总重量的28.0~30.0%,其中药芯各组分占药芯的重量百分比为:金属铬粉:25.0~28.0%,金属镍粉:29.0~32.0%,电解金属锰:4.0~5.0%,高碳铬铁:2.0~4.0%,金红石:18.0~20.0%,石英:1.0~2.0%,锆英砂:1.0~2.0%,长石:1.0~3.0%,萤石:0.5~1.0%,碳酸钙:0.5~1.5%,碳酸钡:0.5~1.5%,其余为铁粉。该焊丝具有良好的焊接工艺性能,适用于高铬镍全奥氏体不锈钢的全位置气保护焊接。

CN 102699579 A



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004138389/02, 27.12.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2004

(45) Опубликовано: 20.08.2006 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 1605451 C, 27.01.1995. RU 1593061
C, 30.12.1995. US 4723061 A, 02.02.1988. US
4510374 A, 09.04.1985.

Адрес для переписки:

350072, г.Краснодар, ул. Московская, 2,
ГБОУ ВПО "КубГТУ", отдел интеллектуальной и
промышленной собственности, М.Л. Чехомову

(72) Автор(ы):

Гаврилов Сергей Николаевич (RU),
Поправка Дмитрий Леонтьевич (RU),
Очагов Валерий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Кубанский государственный технологический
университет" (ГБОУ ВПО "КубГТУ") (RU)(54) САМОЗАЩИТНАЯ ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ СВАРКИ АУСТЕНИТНЫХ
ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при механизированной сварке открытой дугой конструкций из аустенитных хромоникелевых сталей, работающих в условиях, когда к металлу сварного шва предъявляются высокие требования по стойкости к межкристаллитной коррозии. Проволока состоит из стальной оболочки из аустенитной хромоникелевой стали и порошкообразного сердечника, содержащего, мас. %: рутиловый концентрат 32,0-38,0, плавиково-

шпатовый концентрат 24,0-32,0, окись хрома 1,0-7,0, хром металлический 5,0-12,0, порошок никелевый 0,5-5,0, феррониобий 2,0-7,0, феррованадий 0,6-5,0, ферросиликомарганец 4,5-7,0, мрамор 7,0-13,0, ферротитан 3,0-9,0. Металл шва обладает высокой стойкостью к общей и межкристаллитной коррозии в агрессивных и химически активных средах, имеет хорошие прочностные и вязкопластические свойства металла шва, а также сварочно-технологические свойства. 2 табл.

RU 2 281 843 C1

RU 2 281 843 C1



US007562807B2

(12) **United States Patent**
Coleman et al.(10) **Patent No.:** **US 7,562,807 B2**
(45) **Date of Patent:** **Jul. 21, 2009**(54) **WELD FILLER FOR WELDING DISSIMILAR ALLOY STEELS AND METHOD OF USING SAME**(75) Inventors: **Kent K. Coleman**, Concord, NC (US); **David Wayne Gandy**, Concord, NC (US); **Ramaswamy Viswanathan**, Saratoga, CA (US); **William F. Newell, Jr.**, Mooresville, NC (US)(73) Assignee: **Electric Power Research Institute**, Palo Alto, CA (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 78 days.

(21) Appl. No.: **10/839,863**(22) Filed: **May 5, 2004**(65) **Prior Publication Data**

US 2005/0247763 A1 Nov. 10, 2005

(51) **Int. Cl.**
B23K 35/00 (2006.01)
C22C 19/05 (2006.01)(52) **U.S. Cl.** **228/262.41**; 420/442; 420/452; 420/453(58) **Field of Classification Search** None
See application file for complete search history.(56) **References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**

2,856,281 A * 10/1958 Cremer et al. 420/434
 3,596,053 A * 7/1971 Kameda et al. 219/136
 4,110,514 A * 8/1978 Nicholson 428/683
 4,224,360 A 9/1980 Ohnishi et al.
 4,255,247 A * 3/1981 Oda et al. 204/293
 4,402,742 A * 9/1983 Pattanaik 420/50
 4,487,744 A * 12/1984 DeBold et al. 420/582
 4,653,684 A 3/1987 Saito et al.
 4,702,406 A * 10/1987 Sullivan et al. 228/200
 4,703,885 A 11/1987 Lindgren et al.
 4,745,037 A * 5/1988 DeCristofaro et al. 428/678
 4,900,638 A * 2/1990 Emmerich 428/606
 5,422,071 A * 6/1995 Kiser 420/73
 5,425,912 A * 6/1995 Smith et al. 420/447
 5,556,561 A 9/1996 Ishikawa et al.

6,129,999 A 10/2000 Ueda et al.
 6,162,551 A * 12/2000 Watanabe 428/627
 6,193,145 B1 2/2001 Fournier et al.
 6,242,113 B1 * 6/2001 Kiser 428/680
 6,257,882 B1 * 7/2001 Wyllie, II 433/8
 6,364,971 B1 4/2002 Peterson et al.
 6,428,633 B1 8/2002 Kasuya et al.
 6,489,584 B1 * 12/2002 Kelly 219/121.46
 6,528,012 B2 3/2003 Nishimoto et al.
 6,673,169 B1 1/2004 Peterson et al.
 6,702,906 B2 * 3/2004 Ogawa et al. 148/428
 2001/0038001 A1 11/2001 Morikage et al.
 2003/0052110 A1 3/2003 Gandy et al.
 2004/0079453 A1 * 4/2004 Groh et al. 148/527
 2005/0095165 A1 * 5/2005 Hardesty et al. 420/70
 2005/0271542 A1 * 12/2005 Frankel et al. 420/457

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 2238688 A * 2/1974
 JP 358120756 A * 7/1983
 JP 362040997 A * 2/1987
 JP 406328290 A * 11/1994

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report mailed Jan. 4, 2006 corresponding to PCT/US05/15837.

Written Opinion of the International Searching Authority mailed Jan. 4, 2006 corresponding to PCT/US05/15837.

* cited by examiner

Primary Examiner—Kiley Stoner(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Kilpatrick Stockton LLP(57) **ABSTRACT**

Accordingly, the present invention provides a weld filler composition for joining different alloy steel pieces with substantially different chromium content, such as joining low alloy ferritic steel to high alloy ferritic steel, low alloy ferritic steel to austenitic stainless steel, or high alloy ferritic steel to austenitic stainless steel, and a method using the same. In one embodiment, the present invention provides a composition for a weld filler comprising nickel, iron, and chromium, which collectively comprise at least 50% by weight of the weld filler; niobium, carbon, manganese, molybdenum, and silicon, which collectively comprise no more than 50% by weight of the weld filler, and a niobium to carbon ratio of approximately 20 or less.

24 Claims, No Drawings



US011135670B2

(12) **United States Patent**
Raudsepp et al.

(10) **Patent No.:** **US 11,135,670 B2**
(45) **Date of Patent:** **Oct. 5, 2021**

(54) **METHOD AND SYSTEM FOR SUBMERGED
ARC WELDING**

(71) Applicant: **ESAB AB**, Gothenburg (SE)
(72) Inventors: **Hannes Raudsepp**, Solna (SE); **Martin
Andersson**, Mariestad (SE); **Tomas
Johansson**, Laxa (SE); **Rikard
Ljungkvist**, Kumla (SE)

(73) Assignee: **ESAB AB**, Gothenburg (SE)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 363 days.

(21) Appl. No.: **16/170,128**

(22) Filed: **Oct. 25, 2018**

(65) **Prior Publication Data**

US 2019/0061040 A1 Feb. 28, 2019

Related U.S. Application Data

(62) Division of application No. 14/421,724, filed as
application No. PCT/EP2012/003461 on Aug. 14,
2012, now Pat. No. 10,137,521.

(51) **Int. Cl.**
B23K 9/18 (2006.01)
B23K 9/12 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
CPC **B23K 9/188** (2013.01); **B23K 9/121**
(2013.01); **B23K 9/124** (2013.01)

(58) **Field of Classification Search**
CPC B23K 9/24; B23K 9/122; B23K 9/1735;
B23K 9/121; B23K 9/124; B23K 9/188
(Continued)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,681,970 A * 6/1954 Koopman B23K 9/173
219/74
2,932,723 A * 4/1960 Lesnewich B23K 9/173
219/74

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

CN 102248253 A 11/2011
CN 202180285 U 4/2012

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

First Examination Report for Indian Patent Application No. 304/
MUMNP/2015 dated Sep. 30, 2019 with English translation, 7
pages.

(Continued)

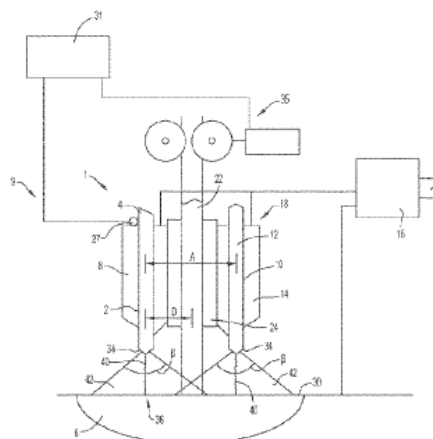
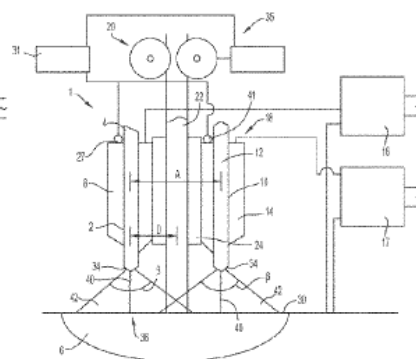
Primary Examiner — Jimmy Chou

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Edell, Shapiro & Pinnan,
LLC

(57) **ABSTRACT**

A submerged arc welding apparatus includes a first wire
feeder feeding a first hot wire towards a work piece; a first
contact tube transferring current to the first hot wire for arc
generation to create a weld puddle; a second wire feeder
feeding a cold wire at a variable feed speed towards the weld
puddle; one or more sensors configured to continuously
measure, during a welding phase, at least a first active
welding parameter related to at least the first hot wire; and
a control unit. The control unit is configured to determine
different target values for the variable feed speed of the cold
wire based on different values of the at least a first active
welding parameter such that a different target value for the
variable feed speed of the cold wire is determined according
to a different value of the at least a first active welding
parameter.

20 Claims, 9 Drawing Sheets



Приложение Б

Inspection Certificate acc. EN 10 204 3.1 Сертификат соответствует EN 10 204 3.1

Costumer Reference Данные заказчика	Contract number Договор №	Order information Информация о заказе
LLC Tenoxfil	GT-220802R01	Date: 2024-08-27
35, Frunze str, Penza 440028, RUSSIA		

Material description / Описание материала	Material Designations / Обозначение материала	
Welding electrodes	TENOXFIL TNX-ENiCrFe3	
Сварочные электроды	AWS A5.11-2018	EN ISO 14172
	ENiCrFe-3	E Ni 6182

DELIVERY / ПОСТАВКА				
Product designation наименование	Lot партия	Diameter, mm диаметр	Weight, kg вес	Quantity, kg количество
TENOXFIL TNX-ENiCrFe3	CAN081E	3,2x350	5,0	50,0

TEST RESULTS / Результаты испытаний									
Chemical composition (weight %) / Химический состав в %									
Lot	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
CAN081E	0,028	0,39	7,12	0,001	0,003	15,70	0,18	71,23	0,01
Following control have been satisfactorily performed / Пройденный вид контроля									
- Visual inspection and dimensional control / Визуально-измерительный контроль									
- The material is manufactured according to ISO 9001.									
Материал изготовлен согласно нормам ISO 9001.									

Mechanical properties (typical values) / Механические свойства (типичные значения)		
Tensile strength (Rm) MPa Предел прочности	Yield strength (Rp0.2) MPa Предел текучести	Elongation, % Относительное удлинение
649	400	42
Impact test,	Temp, °C	KV, J
Испытания на удар	-	-

TEST RESULTS TRANSFERRED FROM CERTIFICATE № CZ19A0773

This Certificate may not be modified or revised in any way without the prior written approval of LLC TENOXFIL. Contravention of this notice will be prosecuted to the fullest extent of applicable law. The certificate is produced electronically and is valid without signature.

Данный Сертификат не может быть изменен без предварительного письменного разрешения ООО «ТЕНОКСФИЛ». Нарушение данного условия преследуется по всей строгости действующего законодательства. Сертификат выписывается в электронном виде и действителен без подписи.

По всем вопросам просим обращаться: 35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA, tel. +7 800 201 63 64, e-mail: tenoxfil@mail.ru, www.tenoxfil.ru



Филиал ООО «ЭСАБ»
в г. Тюмени
ESAB branch in Tyumen

Сертификат качества / Quality certificate
СЕРТИФИКАТ ИСПЫТАНИЙ /
INSPECTION CERTIFICATE
в соответствии / according to EN 10204-3.1

№ сертификата /
Cert no
Наш номер заказа /
Our order no
Заказчик /
Customer

CEPT-277-5530/24

ООО «ЭСАБ»

Дата /
Date

08.07.2024

Ваш номер заказа /
Your order no

Получатель сертификата /
Receiver of the certificate

ООО «ЭСАБ»

Наименование продукции / Product designation	УОНИИ-13/55 3,0x350 UONII-13/55	
Партия / Lot number	SAY277-5530	
Артикул / Item number	5676303WE0	
Описание / Item description	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки и наплавки / Covered electrodes for manual metal arc welding and pad weld	
Количество в партии, кг / Quantity, kg	20 000	
Классификация / Classification	ГОСТ 9466 ГОСТ 9467	Э50А-УД / Е 514(5) - Б 2 0
	ISO 2560-A	E 42 3 B2 2 H10
	SFA/AWS A5.5	E7015-G
ТУ / Technical description	ТУ 1272-125-55224353-2013	

Результаты испытания химического состава наплавленного металла данной партии / Chemical composition of the lot specific weld metal	% масс / Weight %
C	0,07
Si	0,46
Mn	1,30
Cr	0,07
Ni	0,09
Mo	0,004
V	0,008
Cu	0,10
Nb	0,003
S	0,007
P	0,015
Марка проволоки / Type of core wire	Св-08АА-Э, Св-08А-Э ГОСТ 2246

Данный документ выпущен с использованием электронной системы и действителен без подписи /

This document is produced by EDP and is valid without a signature

В случае возникновения вопросов (*в том числе для получения действующих сертификатов одобрения), пожалуйста, свяжитесь с ближайшим торговым представительством ЭСАБ /

In case of any questions (*including approval needs), please contact the nearest ESAB sales office

Лицо, ответственное за обеспечение качества. Фамилия, должность и место работы /

Person responsible for quality assurance. Name, job title and place of work

Фамилия И.О. /
Name

Попова Д.И./
Popova D.

Начальник отдела технологии и качества филиала ООО «ЭСАБ» в г. Тюмени
Quality Assurance manager, ESAB branch in Tyumen



Филиал ООО «ЭСАБ»
в г. Тюмени
ESAB branch in Tyumen

ПРИЛОЖЕНИЕ К СЕРТИФИКАТУ /
ANNEX TO CERTIFICATE
в соответствии / according to EN 10204-2.2

Наименование продукции / Product designation	УОНИИ-13/55 3,0x350	
Артикул / Item number	5676303WE0	
Описание / Item description	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки и наплавки / Covered electrodes for manual metal arc welding and pad weld	
Классификация / Classification	ГОСТ 9466 ГОСТ 9467	Э50А-УД / E514(5)-B20
	ISO 2560-A	E 42 3 B22 H10
	SFA/AWS A5.5	E7015-G
ТУ / Technical description	ТУ 1272-125-55224353-2013	

№ сертификата / Cert no	СЕРТ-277-5530/24
Одобрения / Approvals*	Соответствие / Compliance
ГОСТ / GOST	ГОСТ 9466 ГОСТ 9467
Сертификат НАКС / NAKS certificate	(РД 03-613-03): ГДО, ГО, КО, МО, НГДО, ОТОГ, ОХНВП, ПТО, СК

Условия применения / Use environment	Значение / Value
Сушка / Redrying	350-400°C в течение 2 ч / 350-400°C in 2 h
Пространственные положения / Weld positions	Все за исключением вертикально вниз / All except of vertical down
Род тока, полярность / Current, polarity	Постоянный / DC+
Диапазон сварочного тока / Weld current range	80...130 А
Содержание диффузионного водорода в наплавленном металле – менее 10 мл/100 г напл./ <i>Diffusion hydrogen content in all weld metal is less than 10 ml/100 g</i>	

Механические свойства наплавленного металла / Mechanical properties for all weld metal	Значение / Value
Предел текучести / Yield strength	не менее 420 МПа / ≥ 420 MPa
Предел прочности / Tensile strength	не менее 540 МПа / ≥ 540 MPa
Относительное удлинение / Elongation	не менее 22% / ≥ 22%
Ударная вязкость KCV / Impact toughness (t=-30°C)	не менее 59 Дж/см² / ≥ 59 J/cm²
Ударная вязкость KCU / Impact toughness (t=+20°C)	не менее 130 Дж/см² / ≥ 130 J/cm²
Ударная вязкость KCU / Impact toughness (t=-40°C)	не менее 80 Дж/см² / ≥ 80 J/cm²
Ударная вязкость KCU / Impact toughness (t=-60°C)	не менее 50 Дж/см² / ≥ 50 J/cm²

Данный документ выпущен с использованием электронной системы и действителен без подписи /

This document is produced by EDP and is valid without a signature

В случае возникновения вопросов (*в том числе для получения действующих сертификатов одобрения), пожалуйста, свяжитесь с ближайшим торговым представительством ЭСАБ /

In case of any questions (*including approval needs), please contact the nearest ESAB sales office

Лицо, ответственное за обеспечение качества. Фамилия, должность и место работы /
Person responsible for quality assurance. Name, job title and place of work

Фамилия И.О. /
Name

Попова Д.И./
Popova D.

Начальник отдела технологии и качества филиала ООО «ЭСАБ» в г. Тюмени
Quality Assurance manager, ESAB branch in Tyumen

Inspection Certificate acc. EN 10 204 3.1 Сертификат соответствует EN 10 204 3.1

Costumer Reference Данные заказчика	Contract number Договор №	Order information Информация о заказе
LLC TENOXFIL	2023/03/15	Date: 2024-04-07
35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA		

Material description / Описание материала Welding rod for TIG welding Сварочный пруток для TIG сварки	Material Designations / Обозначение материала TENOXFIL TNXR-3Si AWS A5.18 ER70S-6	EN ISO 636-A W 46 5 3Si1
--	---	-----------------------------

DELIVERY / ПОСТАВКА					
Product designation наименование	Heat плавка	Lot партия	Diameter, mm диаметр	Weight, kg вес	Quantity, kg количество
TENOXFIL TNXR-3Si	0541589	11004111	2,4x1000	5,00	5,0

TEST RESULTS / Результаты испытаний										
Chemical composition (weight %) / Химический состав в %										
Heat	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Ti	Nb
0541589	0,07	0,86	1,41	0,013	0,013	0,04	0,01	0,01	0,009	0,001
Following control have been satisfactorily performed / Пройденный вид контроля										
- Visual inspection and dimensional control / Визуально-измерительный контроль										
- The material is manufactured according to ISO 9001.										
Материал изготовлен согласно нормам ISO 9001.										

Mechanical properties (typical values) / Механические свойства (типичные значения)										
Tensile strength (Rm) MPa Предел прочности			Yield strength (Rp0.2) MPa Предел текучести				Elongation, % Относительное удлинение			
597			495				24			
Impact test, Испытания на удар				Temp, °C - 50				KV, J 60		

TEST RESULTS TRANSFERRED FROM CERTIFICATE № CZ23C2176

This Certificate may not be modified or revised in any way without the prior written approval of LLC TENOXFIL. Contravention of this notice will be prosecuted to the fullest extent of applicable law. The certificate is produced electronically and is valid without signature.

Данный Сертификат не может быть изменен без предварительного письменного разрешения ООО «ТЕНОКСФИЛ». Нарушение данного условия преследуется по всей строгости действующего законодательства. Сертификат выписывается в электронном виде и действителен без подписи.

По всем вопросам просим обращаться: 35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA, tel. +7 800 201 63 64, e-mail: tenoxfil@mail.ru, www.tenoxfil.ru

Inspection Certificate acc. to AWS 5.22-2017

Сертификат соответствует EN 10 204 3.1

Costumer Reference Данные заказчика	Contract number Договор №	Order information Информация о заказе
LLC Tenoxfil	GT-220802R01	Date: 2024-05-27
35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA		

Material description / Описание материала Welding Wire Plastic Spool Сварочная проволока на катушках	Material Designations / Обозначение материала TENOXFIL TNX-T71NiCm AWS A5.20 E71N-1C EN ISO 17632-A T 49 4 P M21 H5
---	---

DELIVERY / ПОСТАВКА

Product designation	Lot	Diameter, mm	Weight, kg	Quantity, kg
TENOXFIL TNX-T71NiCm	C92704F	1,20	15,0	90,0

TEST RESULTS / Результаты испытаний

Chemical composition (weight %) / Химический состав в %

Heat	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V
F9S163M	0,033	0,31	1,63	0,009	0,005	0,02	0,01	0,48	0,01	0,02

Following control have been satisfactorily performed / Пройденный вид контроля

- Visual inspection and dimensional control / Визуально-измерительный контроль
- The material is manufactured according to ISO 9001.
Материал изготовлен согласно нормам ISO 9001.

Mechanical properties (typical values) / Механические свойства (типичные значения)

Tensile strength (Rm) MPa Предел прочности	Yield strength (Rp0.2) MPa Предел текучести	Elongation, % Относительное удлинение
579	521	26
Impact test, Испытания на удар	Temp, °C - 40	KV, J 125

TEST RESULTS TRANSFERRED FROM CERTIFICATE № 0006697T

This Certificate may not be modified or revised in any way without the prior written approval of LLC Tenoxfil. Contravention of this notice will be prosecuted to the fullest extent of applicable law. The certificate is produced electronically and is valid without signature.

Данный Сертификат не может быть изменен без предварительного письменного разрешения ООО «Теноксфил». Нарушение данного условия преследуется по всей строгости действующего законодательства. Сертификат выписывается в электронном виде и действителен без подписи.

По всем вопросам просим обращаться: 35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA, tel. +7 800 201 63 64,
e-mail: tenoxfil@mail.ru, www.tenoxfil.ru

Inspection Certificate acc. to AWS 5.22-2017

Сертификат соответствует EN 10 204 3.1

Costumer Reference Данные заказчика	Contract number Договор №	Order information Информация о заказе
LLC Tenoxfil	GT-220802R01	Date: 2024-05-27
35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA		

Material description / Описание материала Welding Wire Plastic Spool Сварочная проволока на катушках	Material Designations / Обозначение материала TENOXFIL TNX-T71NiCm AWS A5.20 E71N-1C EN ISO 17632-A T 49 4 P M21 H5
---	---

DELIVERY / ПОСТАВКА

Product designation	Lot	Diameter, mm	Weight, kg	Quantity, kg
TENOXFIL TNX-T71NiCm	C92704F	1,20	15,0	90,0

TEST RESULTS / Результаты испытаний

Chemical composition (weight %) / Химический состав в %

Heat	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V
F9S163M	0,033	0,31	1,63	0,009	0,005	0,02	0,01	0,48	0,01	0,02

Following control have been satisfactorily performed / Пройденный вид контроля

- Visual inspection and dimensional control / Визуально-измерительный контроль
- The material is manufactured according to ISO 9001.
Материал изготовлен согласно нормам ISO 9001.

Mechanical properties (typical values) / Механические свойства (типичные значения)

Tensile strength (Rm) MPa Предел прочности	Yield strength (Rp0.2) MPa Предел текучести	Elongation, % Относительное удлинение
579	521	26
Impact test, Испытания на удар	Temp, °C - 40	KV, J 125

TEST RESULTS TRANSFERRED FROM CERTIFICATE № 0006697T

This Certificate may not be modified or revised in any way without the prior written approval of LLC Tenoxfil. Contravention of this notice will be prosecuted to the fullest extent of applicable law. The certificate is produced electronically and is valid without signature.

Данный Сертификат не может быть изменен без предварительного письменного разрешения ООО «Теноксфил». Нарушение данного условия преследуется по всей строгости действующего законодательства. Сертификат выписывается в электронном виде и действителен без подписи.

По всем вопросам просим обращаться: 35, Frunze str., Penza 440028, RUSSIA, tel. +7 800 201 63 64,
e-mail: tenoxfil@mail.ru, www.tenoxfil.ru

Приложение В

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) КСС ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВП МЕТОДОМ СВАРКИ ММА

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	—
2	Способ сварки	ММА
3	Основной материал (марки)	Материал с ВП
4	Основной материал (группа)	9 (М11);1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная электроды УОНИИ 13/55 [Э50] по ГОСТ 9466-75 Сварочная электроды TNX-ENiCr3 (E Ni 6182) ИСО 14172-2023
6	Толщина свариваемых деталей	16,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	450,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С25 ГОСТ 5264-80
10	Вид шва соединения	дс(зк)
11	Форма подготовки кромок	С двумя симметричными скосами кромок
12	Положение при сварке	РА
13	Вид покрытия электрода (для РД)	Основное
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Отсутствует
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструктивные элементы кромок и шва сварного соединения

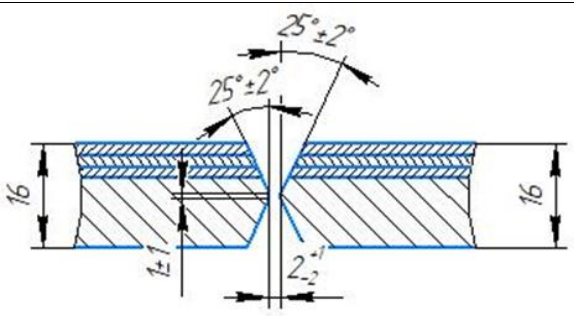
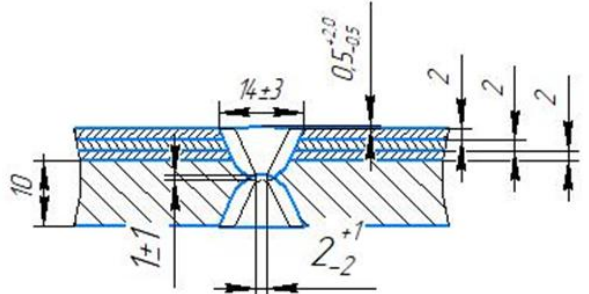
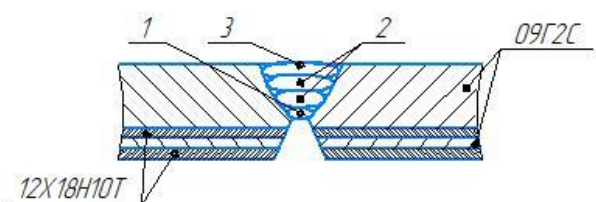
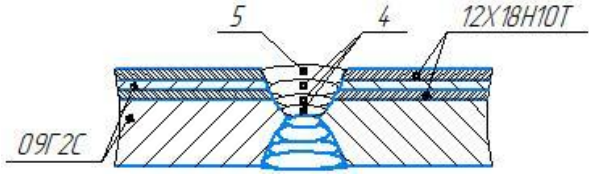
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Таблица 3 – Последовательность выполнения сварки сварного соединения

Схема сварки основного слоя	Схема сварки плакирующий слой со стороны материала с ВП
	

17. Сварочное оборудование (тип):

– ДИ. Инверторный сварочный аппарата Форсаж 200

18. Параметры процесса сварки (наплавки).

Таблица 4 – Технологические параметры сварки со стороны основного слоя сварочными электродами УОНИИ 13/55

Номер слоя (валика)	Вид шва	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А
1	Корневой проход	3,0	DC (+)	100-105
2	Заполняющий проход			115-120
	Заполняющий проход			115-120
3	Облицовочный шов			125-130

Таблица 5 – Технологические параметры сварки плакирующего слоя со стороны ВП сварочными электродами TNX-ENiCr3

Номер слоя (валика)	Вид шва	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А
4	<i>Заполняющий проход</i>	3,2	DC(+)	105-110
	<i>Заполняющий проход</i>			110-115
	<i>Заполняющий проход</i>			110-115
5	<i>Облицовочный шов</i>			115-120

19. Технологические требования к сварке:

19.1 Перед сборкой под сварку, кромки и прилегающие к ним зоны со стороны основного металла и плакирующего слоя, должны быть очищены от загрязнений и масел до металлического блеска на ширину не менее 50 мм. с каждой стороны.

19.2 Сборка под сварку выполнить с применением выходных торцевых планок с выставлением зазором под сварку. Рекомендуемый размер планок 100x100 мм, толщиной, равной толщине свариваемого металла и при необходимости с той же разделкой, что и свариваемое изделие.

19.2.1 Приварку торцевых выходных планок выполняется аттестованным сварщиком.

19.2.2 Приварка торцевых выходных планок выполняется со стороны основного слоя ручной дуговой сваркой покрытым электродом. Сварочными электродам УОНИИ 13/55 [50] по ГОСТ 9466-75. Режимы сварки: диаметр сварочного электрода 3,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 110-120 А

19.2.3 Места стыкование выходных планок к торцу КСС тщательно зачистить шлака. Провести визуальный контроль места приварки торцевых выходных планок после их зачистки.

19.3 Начало и конец швов необходимо выводить на выходные планки

19.4 Выполнить сварку корневого прохода №1 со стороны основного слоя. Способ сварки – ММА (ручная дуговая сварка покрытым электродом).

19.4.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металла механическим способом. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.4.2 Произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.5 Выполнить сварку заполняющих проходов №2 Способ сварки – ММА (ручная дуговая сварка покрытым электродом).

19.5.1 После каждого прохода произвести зачистку слоя от шлака и брызг механическим способом. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.5.2 После каждого прохода произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.6 Выполнить сварку облицовочного шва №3 Способ сварки – ММА (ручная дуговая сварка покрытым электродом).

19.6.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металла механическим способом. Выполнить визуальный и измерительный контроль.

19.6.2 Произвести остужение образца до температуры ниже 20-25° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором.

19.7 Со стороны плакирующего слоя, выбрать корень шва до чистого металла. Провести визуальный контроль шва.

19.8 Выполнить сварку заполняющих проходов №4. Способ сварки – ММА (ручная дуговая сварка покрытым электродом).

19.8.1 После каждого прохода произвести зачистку слоя от шлака и брызг механическим способом. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

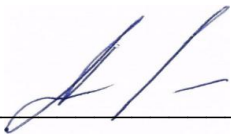
19.8.2 Произвести остужение каждого прохода до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.9 Выполнить сварку облицовочного шва №5 Способ сварки – ММА (ручная дуговая сварка покрытым электродом).

19.9.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металла механическим способом. Выполнить визуальный и измерительный контроль.

Таблица 6 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО 17637-2014	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	100 %
Измерительный			100 %
Радиографический контроль	ГОСТ ISO 17636-1-2017	ОСТ 26.260.480	100 %
Статическое растяжение	ГОСТ 1497-2023	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	2 образца
Статический изгиб	ГОСТ 14019-2003		2 образца
Ударный вязкости	ГОСТ 9454-78		3 образца

Разработал:  /Ромашев Д. В./

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) КСС ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВП МЕТОДОМ СВАРКИ TIG

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	—
2	Способ сварки	TIG
3	Основной материал (марки)	Материал с ВП
4	Основной материал (группа)	9 (M11);1 (MO1)
5	Сварочные материалы	<p>Присадка TNXR -3Si по ГОСТ ИСО 14341-2020</p> <p>Присадка TNXR-NiCr3 (E Ni 6182) ИСО 18224-23</p> <p>Газовая защита I (Ar 100%) по ГОСТ Р ИСО 14175–2010</p>
6	Толщина свариваемых деталей	16,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	450,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	C25 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс(зк)
11	Форма подготовки кромок	С двумя симметричными скосами кромок
12	Положение при сварке	РА
13	Вид покрытия электрода (для РД)	—
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Отсутствует

Таблица 2 – Конструктивные элементы кромок и шва сварного соединения.

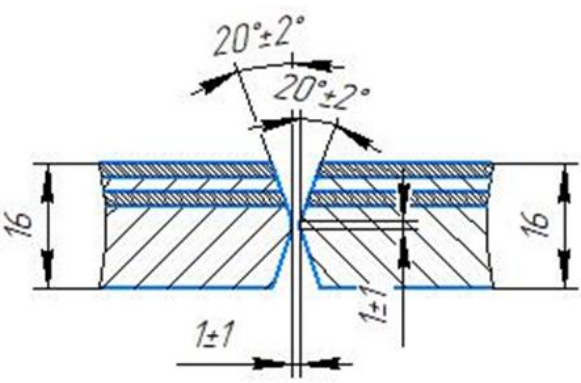
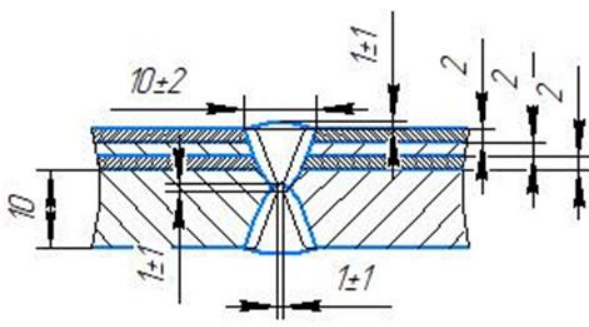
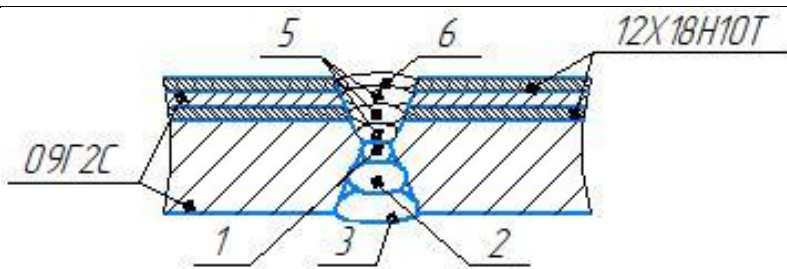
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Таблица 3 – Последовательность выполнения сварки сварного соединения

Схема сварки основного и плакирующего материала с ВП


17. Сварочное оборудование (тип):

– ДИ. Инверторный сварочный аппарата Caddy Tig 2200 AC/DC

18. Параметры процесса сварки (наплавки).

Таблица 4 – Технологические параметры сварки со стороны основного слоя присадочным прутом TNXR-3Si

Номер слоя (валика)	Вид шва	Диаметр присадки, мм	Род и полярность тока	Напряжение, В	Сварочный ток, А	Расход газа л/мин
1	Корневой проход	2,4	DC(+)	11,0-12,0	120-130	
2	Заполняющий проход			12,0-12,5	160-170	
3	Облицовочный шов			12,5-13,0	150-160	

Таблица 5 – Технологические параметры сварки плакирующего слоя со стороны ВП присадочным прутком TNXR-NiCr3

Номер слоя (валика)	Вид шва	Диаметр присадки, мм	Род и полярность тока	Напряжение, В	Сварочный ток, А
4	<i>Заполняющий проход</i>	2,4	DC(+)	11,0-12,0	150-16
	<i>Заполняющий проход</i>			11,5-12,5	150-160
	<i>Заполняющий проход</i>			11,5-12,5	150-160
5	<i>Облицовочный шов</i>			12,5-13,5	145-155

19. Технологические требования к сварке:

19.1 Перед сборкой под сварку, кромки и прилегающие к ним зоны со стороны основного металла и плакирующего слоя, должны быть очищены от загрязнений и масел до металлического блеска на ширину не менее 50 мм. с каждой стороны.

19.2 Сборка под сварку выполнить с применением выходных торцевых планок с выставлением зазором под сварку. Рекомендуемый размер планок 100x100 мм, толщиной, равной толщине свариваемого металла и при необходимости с той же разделкой, что и свариваемое изделие.

19.2.1 Приварку торцевых выходных планок выполняется аттестованным сварщиком.

19.2.2 Приварка торцевых выходных планок выполняется со стороны основного слоя способом TIG, дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде инертных газов. Сварочной присадкой TNXR-3Si [51, 52] по ГОСТ ISO 14341-2020, защитный газ I (Ar 100%) по ГОСТ Р ИСО 14175–2010. Режимы сварки: диаметр припадного прутка 2,4 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 130-140 А , напряжение 11,0-12,0 В.

19.2.3 Места стыкование выходных планок к торцу КСС тщательно зачистить шлака. Провести визуальный контроль места приварки торцевых выходных планок после их зачистки.

19.3 Начало и конец швов необходимо выводить на выходные планки

19.4 Выполнить сварку корневого прохода №1 со стороны основного слоя. Способ сварки – TIG (дуговая сварка не плавящимся электродом в среде инертных газов).

19.4.1 Произвести зачистку шва металлической щеткой от побежалостей и мелких брызг. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.4.2 Произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.5 Выполнить сварку заполняющих проходов №2. Способ сварки – TIG (дуговая сварка не плавящимся электродом в среде инертных газов).

19.5.1 После каждого прохода произвести зачистку шва металлической щеткой от побежалостей и мелких брызг. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.5.2 После каждого прохода произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.6 Выполнить сварку облицовочного шва №3. Способ сварки – TIG (дуговая сварка не плавящимся электродом в среде инертных газов).

19.6.1 Произвести зачистку шва металлической щеткой от побежалостей и мелких брызг. Выполнить визуальный и измерительный контроль.

19.6.2 Произвести остужение образца до температуры ниже 30-35° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором.

19.7 Со стороны плакирующего слоя, выбрать корень шва до чистого металла. Провести визуальный контроль шва.

19.8 Выполнить сварку заполняющих проходов №4. Способ сварки – TIG (дуговая сварка не плавящимся электродом в среде инертных газов).

19.8.1 После каждого прохода выполнить зачистку шва металлической щеткой от побежалостей и мелких брызг. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

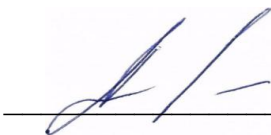
19.8.2 Произвести остужение каждого прохода до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.9 Выполнить сварку облицовочного шва №5 Способ сварки – TIG (дуговая сварка не плавящимся электродом в среде инертных газов).

19.9.1 Произвести зачистку шва металлической щеткой от побежалостей и мелких брызг. Выполнить визуальный и измерительный контроль на наличие

Таблица 6 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО 17637-2014	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	100 %
Измерительный			100 %
Радиографический контроль	ГОСТ ISO 17636-1-2017	ОСТ 26.260.480	100 %
Статическое растяжение	ГОСТ 1497-2023	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	2 образца
Статический изгиб	ГОСТ 14019-2003		2 образца
Ударный вязкости	ГОСТ 9454-78		3 образца

Разработал:  /Ромашев Д. В./

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) КСС ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВП МЕТОДОМ СВАРКИ FCAW

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	–
2	Способ сварки	FCAW
3	Основной материал (марки)	Материал с ВП
4	Основной материал (группа)	9 (M11);1 (MO1)
5	Сварочные материалы	<p>Газозащитная порошковая проволока TNX-T71NiCM (T 46 2 P C1 1 H10) по ISO 17632 -A: 2016</p> <p>Газозащитная порошковая проволока TNX-TNiCr3 (ENiCr3T1-4) по AWS 5.34/5.34M: 2020</p> <p>Газовая смесь M21 (Ar +18%CO₂) по ГОСТ Р ИСО 14175–2010</p>
6	Толщина свариваемых деталей	16,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	450,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	C25 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс(зк)
11	Форма подготовки кромок	с двумя симметричными скосами кромок
12	Положение при сварке	РА
13	Вид покрытия электрода (для РД)	–
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Отсутствует

Таблица 2 – Конструктивные элементы кромок и шва сварного соединения.

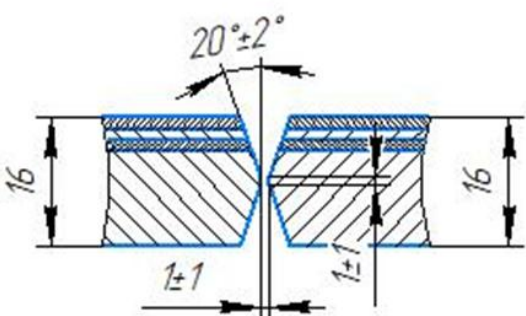
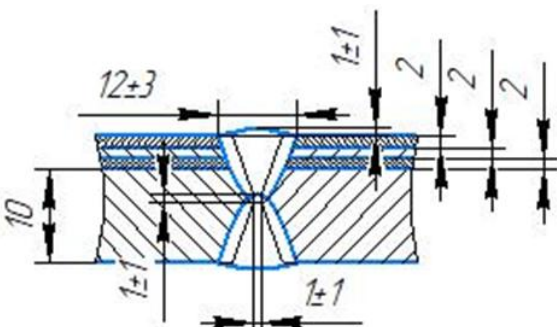
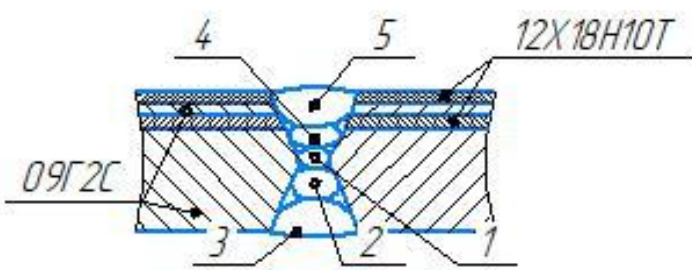
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Таблица 3 – Последовательность выполнения сварки сварного соединения

Схема сварки основного и плакирующего слоя материала с ВП


17. Сварочное оборудование (тип):

– ДИ. Инверторный сварочный аппарата Rebel EMP 320ic

18. Параметры процесса сварки (наплавки).

Таблица 4 - Технологические параметры сварки со стороны основного слоя порошковой проволокой TNX-T71NiCM

Вид шва (номер слоя)	Диаметр электро да, мм	Род и поляр- ность тока	Свароч- ный ток, А	Напряже ние, В	Вылет элект-да, мм	Скорость по- дачи проволоки, м/мин	Расход газа л/мин
Корневой шов (1)	1,2	DC(+)	160	22,0	15-20	8,5 - 9,5	15-20
Заполняющий проход (2)			190-210	27			
Облицовочный шов (3)			190-210	29			

Таблица 5 -Технологические параметры сварки плакирующего слоя со стороны ВП порошковой проволокой TNX-TNiCr3

Вид шва (номер слоя)	Диаметр электро да, мм	Род и поляр- ность тока	Свароч- ный ток, А	Напряже ние, В	Вылет элект-да, мм	Скорость по- дачи проволоки, м/мин	Расход газа л/мин
Заполняющий проход (4)	1,2	DC (+)	220	27	15-20	11,0	15-20
Облицовочный шов (5)			230	29			

19. Технологические требования к сварке:

19.1 Перед сборкой под сварку, кромки и прилегающие к ним зоны со стороны основного металла и плакирующего слоя, должны быть очищены от загрязнений и масел до металлического блеска на ширину не менее 50 мм. с каждой стороны.

19.2 Сборка под сварку выполнить с применением выходных торцевых планок с выставлением зазором под сварку. Рекомендуемый размер планок 100х100 мм, толщиной, равной толщине свариваемого металла и при необходимости с той же разделкой, что и свариваемое изделие.

19.2.1 Приварку торцевых выходных планок выполняется аттестованным сварщиком.

19.2.2 Приварка торцевых выходных планок выполняется со стороны основного слоя, механизированной дуговой сваркой в среде активных газов, газозащитной порошковой проволокой TNX-T71NiCM (Т 46 2 Р С1 1 Н10) по ISO 17632 -А: 2016. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,2 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 200-250 А, напряжение 27,0-30,0 В, скорость подачи проволоки 10-11 м/мин, расход газа 15-20 л/мин.

19.2.3 Места стыкование выходных планок к торцу КСС тщательно зачистить шлака. Провести визуальный контроль места приварки торцевых выходных планок после их зачистки.

19.3 Начало и конец швов необходимо выводить на выходные планки

19.4 Выполнить сварку корневого прохода №1 со стороны основного слоя. Способ сварки – FCAW (механизированная дуговая сварка плавящийся порошковой проволокой в среде активных газов).

19.4.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металла металлической щеткой. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.4.2 Произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.5 Выполнить сварку заполняющих проходов №2. Способ сварки – FCAW (механизированная дуговая сварка плавящийся порошковой проволокой в среде активных газов).

19.5.1 После каждого прохода произвести зачистку слоя от шлака и брызг металлической щеткой. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.5.2 После каждого прохода произвести остужение стыка до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.6 Выполнить сварку облицовочного шва №3. Способ сварки – FCAW (механизированная дуговая сварка плавящийся порошковой проволокой в среде активных газов).

19.6.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металлической щеткой. Выполнить визуальный и измерительный контроль.

19.6.2 Произвести остужение образца до температуры ниже 35-40° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором.

19.7 Со стороны плакирующего слоя, выбрать корень шва до чистого металла. Провести визуальный контроль шва.

19.8 Выполнить сварку заполняющих проходов №4. Способ сварки – Способ сварки – FCAW (механизированная дуговая сварка плавящийся порошковой проволокой в среде активных газов).

19.8.1 После каждого прохода произвести зачистку слоя от шлака и брызг металлической щеткой. Выполнить визуальный контроль на наличие дефектов.

19.8.2 Произвести остужение каждого прохода до температуры ниже 100° С естественным путем на воздухе. Контроль температуры проводить пирометром либо тепловизором

19.9 Выполнить сварку облицовочного шва №5 Способ сварки – FCAW (механизированная дуговая сварка плавящийся порошковой проволокой в среде активных газов).

19.9.1 Произвести зачистку шва от шлака и брызг металла механическим способом. Выполнить визуальный и измерительный контроль.

Таблица 6 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО 17637-2014	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	100 %
Измерительный			100 %
Радиографический контроль	ГОСТ ISO 17636-1-2017	ОСТ 26.260.480	100 %
Статическое растяжение	ГОСТ 1497-2023	ТУ 24.33.30–001–09494191–2021	2 образца
Статический изгиб	ГОСТ 14019-2003		2 образца
Ударный вязкости	ГОСТ 9454-78		3 образца

Разработал:  /Ромашев Д. В./

Приложение Г

ООО НТЦ "Сура" (440067, Пензенская обл., г. Пенза, ул. / хбы, д. 6)
Научно-производственная лаборатория контроля и испытаний
Протокол испытаний на статическое растяжение № 25/06-006ми-р от 20.06.2025 г.
Данные испытываемого объекта

Заказчик:	Ромашев Д.В.		
Методика контроля:	Условия проведения испытаний ГОСТ 6996-66		
Испытательное оборудование:	Машина разрывная ИР 5145-500-11, комплект захватов клиновых универсальных ЗКУ-500 КТ, штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05	Свидет. о поверке (№, срок действия):	210/24-5093п, до 01.08.2025 г.; С-БЯ/24-07-2023/264095321, до 23.07.2025 г.

Установленные требования				
Применяемые НД:	-	-	-	-
Врем. сопротивление, МПа; Предел текучести, МПа; Относительное удлинение, %	В процессе испытания разрушение образцов, вырезанных из КСС, должно происходить по основному металлу	Механические свойства образцов, вырезанные из КСС, должны быть не ниже норм основного металла: σв-630,0; σт-520,0; δ-8,0	-	-

Результаты испытаний												
№ пп	Идентификатор образца	Дата испытаний образца	Марки использованных материалов	№ образца	Размер сечения, мм	Площадь сечения, мм2	Максим. нагрузка, Н	Место разрушения и дефекты образца	Врем. сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Результат испытания (годен/не годен)
1	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии MMA	20.06.2025 г.	СММ с ВП + УОНИ 13/55 и TNX-ENiCrFe3	11	15,5x25,0	387,5	258928	ОМ	668,2	538,6	12,8	годен
2		20.06.2025 г.		12	15,5x25,0	387,5	259780	ОМ	670,4	551,9	19,8	годен
3	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии TIG	20.06.2025 г.	СММ с ВП + TNXR-3Si и TNXR-NiCr3	21	15,5x25,0	387,5	253968	ОМ	655,4	535,8	9,8	годен
4		20.06.2025 г.		22	15,5x25,0	387,5	254355	ОМ	656,4	538,4	12,7	годен
5	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии FCAW	20.06.2025 г.	СММ с ВП + TNX-T71NiCM и TNX-TNiCr3	31	15,5x25,0	387,5	254781	ОМ	657,5	537,9	20,0	годен
6		20.06.2025 г.		32	15,5x25,0	387,5	256874	ОМ	662,9	559,8	21,5	годен

Испытания выполнил

Гуськов М.С.

ФИО

НОАП-0037-1421, до 10.2026г.

№ уд, срок действ.

20.06.2025 г.

дата

Руководитель работ

Гуськов М.С.

ФИО

20.06.2025 г.

дата



ООС НТЦ "Сура" (440067, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Дружбы, д. 6)
 Научно-производственная лаборатория контроля и испытаний
 Протокол испытаний на статический изгиб № 25/06-001ми-ис от 20.06.2025 г.

Данные испытываемого объекта

Заказчик:	Ромашев Д.В.
-----------	--------------

Условия проведения испытаний

Методика контроля:	ГОСТ 6996-66			
Испытательное оборудование:	Машина разрывная ИР 5145-500-11, приспособление для испытаний на изгиб ПР-500-И, транспортёр металлический Зубр	Свидет. о поверке (№, срок действия):	210/24-5093п, до 01.08.2025 г.	
Способ испытаний:	☐ оправка	☐ рёлик	Диаметр оправки, мм:	20
			Расстояние между опорами, мм:	50

Установленные требования

Применяемые НД:	-	-	-	-
Угол изгиба, градусы:	Величина угла изгиба при нахождении в растянутой зоне основного конструкционного слоя должна быть не менее 70 градусов	Величина угла изгиба при нахождении в растянутой зоне плакирующих слоев должна быть не менее 70 градусов	-	-

Результаты испытаний

№ пп	Идентификатор образца	Дата испытаний	Вид детали	Марка материалов	№ образца	Размер сечения, мм	Направление изгиба	Угол фактического изгиба, град.	Оценка результатов испытаний (годен/не годен)
1	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии MMA	20.06.2025 г.	Плоский	СММ с ВП + УОНИ 13/55 и TNX-ENiCrFe3	11	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне основного конструкционного слоя	145	годен
2		20.06.2025 г.	Плоский		12	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне плакирующих слоев	71	годен
3	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии TIG	20.06.2025 г.	Плоский	СММ с ВП + TNXR-3Si и TNXR-NiCr3	21	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне основного конструкционного слоя	145	годен
4		20.06.2025 г.	Плоский		22	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне плакирующих слоев	92	годен
5	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии FCAW	20.06.2025 г.	Плоский	СММ с ВП + TNX-T71NiCM и TNX-TNiCr3	31	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне основного конструкционного слоя	145	годен
6		20.06.2025 г.	Плоский		32	15,5x25,0	Изгиб с нахождением в растянутой зоне плакирующих слоев	81	годен

Испытания выполнил

Гуськов М.С.

ФИО

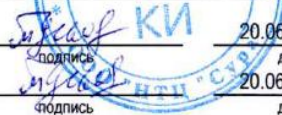
НОАП-0037-1421, до 10.2026г.

№ уд. срок действ.

Руководитель работ

Гуськов М.С.

ФИО



20.06.2025 г.

дата

20.06.2025 г.

дата

ООО "НТЦ "Сура" (440067, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Дружбы, д. 6)
 Научно-производственная лаборатория контроля и испытаний
 Протокол испытаний на ударный изгиб № 25/06-001ми-иу от 20.06.2025 г.

Данные испытываемого объекта

Заказчик:	Ромашев Д.В.
-----------	--------------

Условия проведения испытаний

Методика контроля:	ГОСТ 9454-78
--------------------	--------------

Испытательное оборудование:	Копер маятниковый модель ИО 5003-0,3-11; штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05	Свидет. о поверке (№, срок действия):	210/24-5091п, до 01.08.2025; С-БЯ/24-07-2023/264095321, до 23.07.2025
-----------------------------	--	--	---

Установленные требования

Применяемые НД:	-	-	-
Ударная вязкость, Дж/см ² /	Значение ударной вязкости на образцах с V-образным концентратором при	-	-
Температура испытаний, °С:	температуре испытаний - 60°С должно быть, не менее 39 Дж/см ²	-	-

Результаты испытаний

№ пп	Идентификатор образца	Дата испытаний	Вид, типоразмер деталей, мм	Марки материалов	Тип образца	Форма надреза	Энергия излома образца, Дж	Температура испытаний, °С	Ударная вязкость, Дж/см ²	Оценка результатов испытаний (годен/не годен)
1	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии MMA	20.06.2025 г.	55x10x10, V-образный надрез	СММ с ВП + УОНИ 13/55 и TNX-ENiCrFe3	-	V	88	-60	110	годен
2					-	V	84	-60	105	годен
3					-	V	86	-60	108	годен
4	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии TIG	20.06.2025 г.	55x10x10, V-образный надрез	СММ с ВП + TNXR-3Si и TNXR-NiCr3	-	V	95	-60	119	годен
5					-	V	108	-60	135	годен
6					-	V	102	-60	127	годен
7	Образцы, вырезанные из КСС, сваренные по технологии FCAW	20.06.2025 г.	55x10x10, V-образный надрез	СММ с ВП + TNX-T71NiCrM и TNX-TNiCr3	-	V	78	-60	97	годен
8					-	V	80	-60	100	годен
9					-	V	92	-60	115	годен

-Испытания выполнил

- Гуськов М.С.

НОАГ-0037-1421, до 10.2026г.

Руководитель работ

Гуськов М.С.

№ уд, срок действ.

ФИО

подпись
подпись

20.06.2025 г.

дата

20.06.2025 г.

дата

