

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30.04.2025 г. № 59

О присуждении Матвеевой Марии Андреевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование процесса формирования ванны жидкого металла с целью снижения протяжённости переходной зоны при производстве многослойных слитков способом электрошлакового переплава» принята к защите 21.02.2025 г. (протокол заседания № 59П) диссертационным советом 24.2.437.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, утвержденным приказом № 105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Матвеева Мария Андреевна, 08 января 1988 года рождения. В 2010 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» по специальности «Металлургия чёрных металлов». В 2018 г.

М.А. Матвеева окончила магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению 22.04.02 «Металлургия». В период с 2012 по 2015 год проходила обучение в аспирантуре «Южно-Уральского государственного университета».

В период подготовки диссертации и по настоящее время Матвеева М.А. работает в должности инженера и старшего преподавателя кафедры техники и технологии производства материалов филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

Диссертация выполнена на кафедре техники и технологии производства материалов филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Чуманов Илья Валерьевич, заведующий кафедрой техники и технологии производства материалов филиала ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

Официальные оппоненты:

Левков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией специальной электрометаллургии акционерного общества «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», г. Москва;

Аникеев Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» ФГБОУ ВО «Самарский

государственный технический университет», г. Самара;

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой металлургии железа и сплавов, директором института новых материалов и технологий УрФУ, доктором технических наук, профессором Шешуковым Олегом Юрьевичем и доцентом кафедры металлургии железа и сплавов института новых материалов и технологий УрФУ, кандидатом технических наук, доцентом Гилевой Ларисой Юрьевной, утвержденном проректором по науке ФГАОУ ВО «УрФУ» имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктором физико-математических наук Германенко Александром Викторовичем указала, что диссертация Матвеевой Марии Андреевны является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей внутренним единством, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Также в отзыве отмечено, что диссертационная работа Матвеевой М.А. соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Матвеева Мария Андреевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 67 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них 11 работ опубликовано в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базе Scopus. По результатам проведенных работ получено 3 акта внедрения, 2 патента на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Чуманов И.В. Исследование композиционного материала с многослойной структурой, полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, **М.А. Матвеева** // Электromеталлургия. 2011. №9. С.35–38. [ВАК]. (авторская доля 1 с. из 4 с.)
2. **Матвеева М.А.** Исследование механических характеристик многослойного композиционного материала / М.А. Матвеева, А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. 2013. Т.13. №2. С. 151–153. [ВАК]. (авторская доля 1 с. из 3 с.)
3. Чуманов И.В. Исследование структуры и механических свойств многослойного металлического материала, полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, **М.А. Матвеева** // Электromеталлургия. 2014. №3. С.29–33. [ВАК]. (авторская доля 2 с. из 5 с.)
4. Чуманов И.В. Исследование структуры переходной зоны в многослойном слитке, полученном методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, **М.А. Матвеева**, М.А. Порсев // Электromеталлургия. 2015. №5. С.16–20. [ВАК]. (авторская доля 3 с. из 5 с.)
5. Чуманов И.В. Определение микротвёрдости многослойного металлического материала, полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, **М.А. Матвеева** // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2015. Т.58. №4. С.284–286. [ВАК]. (авторская доля 1 с. из 3 с.)
6. Чуманов И.В. Стабилизация структуры коррозионностойкой стали титаном в ходе электрошлаковой плавки / И.В. Чуманов, **М.А. Матвеева** // Metallургия машиностроения. 2017. №4. С.10–12. [ВАК]. (авторская доля 1 с. из 3 с.)
7. Аксёнов И.А. Влияние параметров процесса ЭШП на степень удаления серы /И.А. Аксёнов, **М.А. Матвеева**, И.В. Чуманов // Электromеталлургия. 2018. №10. С.2–10. [ВАК]. (авторская доля 3 с. из 9 с.)

Перевод. Aksenov I.A. Influence of the ERL parametrs on the removal of sulfur / I. A. Aksenov, **М.А. Matveeva**, I.V. Chumanov // Russian Metallurgy (Metally). 2019. № 6. Рр. 601–607. [Scopus]. (авторская доля 2 с. из 7 с.)

8. Чуманов И.В. Влияние вращения расходуемого электрода при электрошлаковом переплаве на анизотропию свойств получаемого слитка /И.В. Чуманов, **М.А. Матвеева**, Д.В. Сергеев // Электрометаллургия. 2019. Т.62. №2. С.91–96. [БАК]. (авторская доля 2 с. из 6 с.)

Перевод. Chumanov I.V. Influence of electrode rotation in electroslag remelting on the anisotropy of ingot properties / I.V. Chumanov, **М.А. Matveeva**, D.V. Sergeev // Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 49№ 2. Рр. 77–81. [Scopus]. (авторская доля 2 с. из 5 с.)

9. Вяткин Г.П. Математическое моделирование влияния места доставки капель электродного металла на глубину металлической ванны при электрошлаковом переплаве / Г.П. Вяткин, **М.А. Матвеева**, И.В. Чуманов, И.М. Ячиков // Чёрные металлы. 2023. №10. С. 10–14. [БАК, Scopus]. (авторская доля 1 с. из 5 с.)

10. Матвеева М.А. Исследование усталостных характеристик многослойного металлического материала, полученного методом электрошлакового переплава / **М.А. Матвеева**, И.В. Чуманов, А.Е. Ерпалов, К.А. Хорошевский // Чёрные металлы. 2024. №3. С. 10–14. [БАК, Scopus]. (авторская доля 1 с. из 5 с.)

11. **Матвеева М.А.** Развитие технологии электрошлакового переплава для получения многослойных заготовок // Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. №5. С. 13–21. [БАК].

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов. Все отзывы положительные, в некоторых имеются замечания:

I. Ведущая организация, **ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, указала

следующие замечания:

1. При оценке глубины рафинирования металла от неметаллических включений фиксировали ли различие в степени удаления включений разного типа: оксидов, сульфидов и т.п.? Кроме изменения общего количества неметаллических включений, исследовалось ли изменение их распределения по размерам?

2. В качестве одного из элементов практической значимости работы указано, что «определено влияние расположения слоёв на усталостные характеристики, основные механические свойства нового многослойного материала». Влияние на усталостные характеристики приведено в работе. Оценивалась ли анизотропия основных механических свойств многослойного материала?

3. Какие ещё вещества и соединения возможно вводить в жидкую металлическую ванну при электрошлаковом переплаве используя специальное покрытие электродов? Есть ли альтернативные методы доставки специальных частиц в металлическую ванну при электрошлаковом переплаве?

4. Возможно ли спрогнозировать будущее процесса ЭШП. Как вы считаете, можно ли классический процесс «доработать» до своеобразного варианта аддитивных технологий, с получением слитков более сложной формы и структуры?

II. Официальным оппонентом д.т.н. **Левковым Леонидом Яковлевичем** сделаны следующие замечания:

1. Полнота анализа литературы и постановка задачи:

Несмотря на заявление о том, что традиционными методами нельзя управлять формой металлической ванны и переходной зоны, автор активно пользуется на практике этими методами, а роль вращения электрода в таком управлении явно не выражена. Не поставлена задача исследования влияния скорости вращения электрода на качество слитка, размер переходных зон и усвоение корректирующих добавок.

2. Теоретические расчеты и обоснования:

В работе отсутствует анализ влияния протяженности переходных зон на достижение повышенных качественных характеристик, который бы соответствовал цели исследования, не разработан способ определения оптимального количества слоев на единицу длины в слитке ЭШП.

При оценке глубины проникновения падающих капель в металлическую ванну не учтено поверхностное натяжение капель.

3. Программа и методики экспериментов:

Отсутствует планирование проведения экспериментов и ранжирование факторов по степени влияния на компактное размещение слоя: вид добавок, гранулометрический состав, место ввода, скорость вращения РЭ, тип шлака, масса ванны и др. Отсутствует обоснование размера частиц и массы добавляемого материала.

Из текста не ясно, чем обусловлено прекращение подачи электроэнергии при подаче дополнительного материала.

4. Результаты экспериментов, их обработка и интерпретация:

Использованный в модельных экспериментах режим переплава заведомо «холодный»: вводится слишком мало энергии и выделяется мало тепла, поэтому плоскую ванну можно получить и без вращения электрода. Косвенное подтверждение – неудовлетворительное качество поверхности слитков, особенно в опытах с модифицированием, когда $I=0,8$ кА. Режим переплава, обеспечивающий формирование слитка с плотной направленной структурой и хорошим качеством поверхности: для электрода Ø40 мм: $I=1,7$ кА, $P=84$ кВА, $R=29,2$ мОм; для электрода Ø70 мм: $I=3,0$ кА, $R=18$ мОм, $P=162$ кВА. В модельных экспериментах задана скорость сплавления электрода 120 мм/мин, которая в 2-3 раза выше, чем по известным отечественным и японским методикам: (61,7 мм/мин и 46,8 мм/мин, соответственно).

5. Прочие замечания и рекомендации:

В работе отсутствует какое-либо упоминание об экономической

эффективности. Возможность и необходимость применения способа переплава с вращающимся электродом при промышленном производстве многослойных слитков вызывает сомнение.

В актах внедрения (Приложения А и Б) акцентированы лишь технологические режимы деформации и термообработки многослойных заготовок, которые позволили откорректировать параметры процессаковки многослойных ножевых заготовок, что выходит за рамки специальности 2.6.2.

III. Официальным оппонентом к.т.н., доцентом **Аникеевым Владимиром Викторовичем** сделаны следующие замечания:

1. В работе не рассмотрен вопрос окончания процесса плавления, который связан со снижением возможных усадочных процессов, а именно объёмной усадки.

2. Не пояснена возможная целесообразность твёрдого старта при реализации данной технологии. Вопросы, связанные со стартом, решаются с использованием жидкого флюса, подаваемого в кристаллизатор.

3. Какие соединения, кроме представленных в работе, возможно применять для изменения состава металлической ванны.

IV. От доктора технических наук, профессора, профессора кафедры машиностроения Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, **Сафронова Николая Николаевича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. В 4 пункте положений, выносимых на защиту, не раскрыта сущность «электрошокового переплава».

2. На странице 9 в тексте указан тренд как экспоненциальная линия, а на рисунке 1 тренд линейный. Вызывает настороженность малых значений коэффициента детерминации (рисунок 1 а) и б)). Считается, что если коэффициент детерминации меньше 0,5, то смысл такой модели сомнителен. Напрашивается рекомендация – исследовать адекватность моделей по критерию Фишера.

3. Пункт 4 общих выводов представлен в формате - что сделано? А где результаты?

V. От доктора технических наук, профессора, профессора кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск, **Столярова Александра Михайловича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. Не приведен диапазон изменения скорости вращения расходуемого электрода – фактора, влияющего на протяженность переходной зоны (об этом записано в третьей задаче работы на с. 5 автореферата).

2. Пять диаграмм на рисунке 4 выполнены так мелко, что прочитать названия осей очень трудно. На рисунке 5 названия осей отсутствуют.

3. Рисунки и таблицы автореферата оформлены по разным стандартам.

4. Масса присадок в таблицах 2 и 4 приводится в граммах, что затрудняет их оценку относительно массы слитка, которая неизвестна.

5. В выводах работы говорится о величинах усвоения карбида вольфрама, карбида титана и карбида бора, а по данным таблицы 5 следует, что должно быть усвоение вольфрама, титана и бора из введенных карбидов.

6. Введение легирующих добавок при использовании карбидов приводит к существенному загрязнению металла неметаллическими включениями, что негативно сказывается на качестве отливок.

VI. От доктора технических наук, доцента, заместителя начальника научно-исследовательского центра (по аглодоменному и сталеплавильному направлению) АО ЕВРАЗ НТМК, г. Нижний Тагил, **Метёлкина Анатолия Алексеевича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. На рисунке 1, на котором представлены замеры микротвёрдости по сечению, видно, что в обоих случаях изучаемый параметр у края слитка возрастает, чем обусловлено это явление?

2. В автореферате указывается, что опытная технология с вращающимся электродом обеспечивает снижение неметаллических включений до 75%, чем обусловлено это снижение? Какой механизм удаления или снижения образования НВ?

VII. От доктора технических наук, профессора, начальника лаборатории 31 НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург, **Цуканова Виктора Владимировича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. Следует пояснить термин «протяжённость переходной зоны».

2. На стр. 6 автореферата указан режим термической обработки – отпуск при температуре 400°C (не низкий, не высокий) – необходимо дать пояснения по этому режиму отпуска.

3. В таблице 3 указан режим отжига при температуре 1030°C с охлаждением с печью, при этом твёрдость составила 60 HRC (около 626 НВ), т.е. реально отжиг не произошёл (так как не получена равновесная структура с пониженной твёрдостью, около 253 НВ – как показано в позиции 3).

4. Не показана принципиальная возможность практического использования разработок.

VIII. От доктора технических наук, профессора кафедры «Технология материалов» ФГОУ «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, **Зюбан Николая Александровича** поступил отзыв, содержащий следующее замечание:

1. Не приведены данные по характеристике материала, применяемого в качестве расходного электрода, т.к. в некоторых сплавах увеличение содержания углерода может существенно снизить их свойства.

IX. От кандидата технических наук, начальника отдела менеджмента качества ООО «Златоустовский металлургический завод», г. Златоуст, **Осминина Константина Адольфовича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. Однако, хочу отметить отсутствие единой терминологии. В тексте встречается и термин «слиток», и термин «заготовка». В названии использован термин «слиток» – его было бы логично использовать во всей работе.

2. Так же отмечу, что не приведено обоснование выбора рафинирующего флюса.

X. От директора по технологии АО «Металлургический завод «Петросталь», г. Санкт-Петербург, **Палкина Сергея Павловича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. В автореферате не указаны граничные условия при проведении компьютерного моделирования.

2. В тексте автореферата не приведено обоснование выбора состава флюса для проведения электрошлакового переплава. Чем обусловлен выбор флюса АНФ-6?

3. При проведении опытных переплавов электродов с покрытием, содержащим специальные частицы, диаметр электродов 40 мм, а кристаллизатора 120 мм. Чем обоснован столь малый коэффициент заполнения?

XI. От ведущего инженера технологического управления АО «Корпорация «Красный октябрь», г. Волгоград, **Подгорного Ильи Дмитриевича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. Из данных представленных в автореферате следует, что применение вращения расходуемого электрода повышает рафинирующую способность переплава [стр.9]. Однако не дано никаких пояснений, по какой причине происходит рост рафинирующей способности.

2. В выводах работы приведён процент усвоения WC, TiC, B₄C, а по данным, представленным в автореферате [табл. 5] указывается процент усвоения вольфрама, титана и бора. Возможно, должно быть усвоение вольфрама, титана и бора из введенных карбидов.

XII. От доктора технических наук, член-корреспондента РАН, заведующего лабораторией стали и ферросплавов ИМЕТ УрО РАН, **Заякина Олега**

Вадимовича и кандидата технических наук, старшего научного сотрудника лаборатории стали и ферросплавов ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Михайловой Людмилы Юрьевны**, поступил отзыв содержащий следующие замечания:

1. Как проводились усталостные испытания многослойного материала и какие режимы нагружения использовались?

2. Какие механические свойства демонстрирует материал после термической обработки?

3. Как изменяется коррозионная стойкость после термической обработки?

4. Что включает в себя разработанная компьютерная модель тепломассопереноса и как она используется на практике?

5. Какие возможные направления интеграции с аддитивными технологиями вы рассматриваете в будущем?

XIII. От доктора технических наук, научного руководителя отдела чёрной металлургии ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Бабенко Анатолия Алексеевича** поступил отзыв, содержащий следующие замечания:

1. Почему в ходе математического расчёта не учитывались конвективные течения металла в ванне?

2. Планируется ли внедрение полученной технологии в реальный производственный процесс помимо учебного?

XIV. От кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, **Беляева Сергея Владимировича** поступил отзыв, не содержащий замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием темы диссертационной работы соискателя профилю их научной деятельности и области научных компетенций. Оппоненты и ведущая организация

широко известны своими достижениями в данной области науки, имеют публикации по исследованиям, близким к проблеме работы соискателя. Благодаря этому они способны определить научную новизну и практическую ценность диссертации соискателя.

В качестве примера публикаций, близких к тематике работ соискателя можно привести следующие работы:

1. Будин О.Н. Распределение радиоактивных элементов при шлаковом переплаве конструкционных материалов оболочек ТВЭЛОВ ВВЭР / О.Н. Будин, И.В. Кузнецов, М.Ю. Каленова, С.А. Красиков, А.С. Щепин // Расплавы. 2023. №2. С. 113–121.

2. Салихьянов Д.Р. Концепция микромоделирования процесса соединения разнородных материалов пластической деформацией / Д.Р. Салихьянов, Н.С. Мичуров // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2023. Т. 25. №3. С. 36–49.

3. Амежнов А.В. Влияние режимов раскисления на угар титана при электрошлаковом переплаве под флюсом АКФ235 коррозионностойкой стали, легированной титаном / А.В. Амежнов, В.А. Куторкина, Л.Я. Левков, О.Н. Бакланова и др. // Metallurg. 2022. № 7. С. 40–47.

4. Амежнов А.В. Исследование условий, обеспечивающих минимизацию угара титана при электрошлаковом переплаве коррозионностойкой стали типа Х18Н10Т / А.В. Амежнов, В.А. Куторкина, Л.Я. Левков, О.Н. Бакланова и др. // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. 2021. №3. С. 11–16.

5. Аникеев В.В. Технология и качество полунепрерывных расходуемых электродов для ВДП / В.В. Аникеев. Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. Т.80. № 8. С.2 – 35.

6. Аникеев В.В. Электрошлаковый обогрев и подпитка стальных слитков полунепрерывного литья / В.В. Аникеев. Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2022. Т.78. №12. С.1049 – 1053.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– *показана*, посредством компьютерного моделирования и экспериментально, зависимость положения фронта кристаллизации от места доставки капель электродного металла в металлическую ванну в процессе электрошлакового переплава;

– *установлено*, что минимальная глубина металлической ванны в процессе электрошлакового переплава формируется в случае доставки капель электродного металла на $2/3$ радиуса в сторону стенки кристаллизатора;

– *показана* возможность введения добавок WC, TiC и B_4C , корректирующих химический состав металлической ванны, через каплю электродного металла в процессе электрошлакового переплава;

– *проведены* эксперименты, подтверждающие прогнозирующую способность разработанной математической модели, и опытные переплавы по введению корректирующих добавок через каплю электродного металла при электрошлаковом переплаве;

– *разработаны* практические рекомендации по получения многослойных слитков методом электрошлакового переплава с минимальной переходной зоной между слоями;

– *получены* три акта внедрения по результатам работ;

– *получено* одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Теоретическая значимость исследования:

– *использованы* метод конечных разностей и алгоритм прогонки для численного решения краевой задачи распределения температур области кристаллизующейся заготовки ЭШП в квазистационарном режиме;

– *посредством* компьютерного моделирования, *выявлено*, что изменение места доставки капель электродного металла из подэлектродной зоны ближе к стенке

кристаллизатора влияет на положение линий ликвидуса и солидус, уменьшая глубину металлической ванны;

- *изучено* влияние вращения расходуемого электрода на снижение протяжённости зоны переходного химического состава между слоями при формировании слитка электрошлакового переплава;

- *показана* возможность введения частиц, корректирующих химический состав металлической ванны, с поверхности расходуемого электрода через каплю электродного металла, при условии его радиального течения на торце расходуемого электрода;

- *разработана* оригинальная математическая модель теплового состояния кристаллизующегося слитка электрошлакового переплава, позволяющая рассчитывать положение металлической ванны в зависимости от места доставки капель электродного металла и технологических пермеаметров процесса электрошлакового переплава;

- создана компьютерная программа, позволяющая прогнозировать геометрию металлической ванны при электрошлаковом переплаве.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- *предложен* способ получения многослойных заготовок методом электрошлакового переплава, позволяющий уменьшить протяжённость переходной зоны между слоями;

- *определено* влияние расположения слоёв на усталостные характеристики многослойного материала;

- *определены* значения механических характеристик многослойного материала после термической обработки по режиму – отжиг 1030 °С (охлаждение с печью) + закалка 1050 °С (охлаждение в масле) + отпуск при 400 °С – они составляют: $\sigma_B = 1286$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1259$ МПа, $\delta = 12 \%$, 64 HRC;

- *разработан* новый способ введения корректирующих добавок для

изменения химического состава металлической ванны в каплю электродного металла при электрошлаковом переплаве (патент РФ № 2701698 от 30.09.2019);

- получено два акта промышленного внедрения по результатам диссертационной работы;

- результаты, представленные в диссертационной работе, *внедрены* и используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлению 22.03.02 и 22.04.02 «Металлургия».

Оценка достоверности результатов. Достоверность обеспечивается использованием аттестованного оборудования, применением современных методов математического моделирования и обработки данных, соответствием полученных результатов известными теоретическими закономерностями и данными других исследователей по изучаемой тематике;

- *проведены* опытные переплавы с вращением расходуемого электрода для получения многослойных стальных слитков, на основе разработанной модели;

- *теория построена* на известных и многократно апробированных методиках, широко представленных в научной литературе;

- *идеи разработки базируются* анализе теоретических исследований, представленных в научной литературе и обобщения передового промышленного опыта;

- *использовано* сравнение полученных автором результатов, с данными из отечественных и зарубежных источников;

- *установлено*, что полученные данные, выводы и рекомендации согласуются с результатами, приведенными в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автор принимал непосредственное участие в научно-теоретическом обосновании, формировании цели и направления исследований, постановке задач, разработке и осуществлении переплавов на полупромышленной электрошлаковой установке А-550 с получением многослойных слитков, их исследовании, анализе и обработке

результатов; написании научных публикаций по теме диссертации; инициировании выступлений с докладами и апробации результатов исследований на научно-практических конференциях; подготовке текста диссертации.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, основной идейной линией и взаимосвязью выводов с целью работы. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 2.6.2. Metallургия чёрных, цветных и редких металлов:

- 14. Кристаллизация расплавов и методы воздействия на затвердевание;
- 18. Электро- и спецэлектрометаллургические процессы и агрегаты;
- 23. Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов.

В ходе защиты были высказаны критические замечания и заданы вопросы, касающиеся допущений в математической модели: указано, что температура жидкого шлака постоянна и одинакова во всем объеме из-за его интенсивного перемешивания. Какое основание было положено в основу этого допущения? Какие доказательства подтверждают предположение о том, что обнаруженные в слитках нитриды и карбонитриды титана являются производными введенного карбида титана, находящегося в специальном покрытии? Кроме того, поставлен вопрос касательно направления высокоуглеродистых слоев в заготовке, в котором проводилось определение механических свойств многослойного материала?

Соискатель Матвеева Мария Андреевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и аргументированно пояснила, что интенсивное перемешивание шлаковой ванны при электрошлаковом переплаве объясняется наличием двух процессов. Первый – при прохождении электрического тока от электрода к поддону и боковой стенке кристаллизатора через жидкий шлак и металл под действием электромагнитной силы возникают электровихревые течения. Их причиной является объемная электромагнитная сила пропорциональная квадрату плотности тока, протекающего через расплав. Второй – при вращении

расходуемого электрода, погруженного в жидкий шлак за счет его вязкости, возникает интенсивное круговое течение. Соискатель дала объяснение, что обнаруженные нитриды и карбонитриды титана являются производными от карбида титана, по тем причинам, что химический состав переплавляемых расходуемых электродов, используемых в серии опытов по переплаву электродов со специальным покрытием, показывает содержание титана 0,001%, а после переплава 0,124 – 0,334%. Так же, данное утверждение основывается на том, что изучение микроструктуры слитков из партии, в качестве корректирующих добавок для которых применялись карбиды вольфрама и бора, таких видов включений не обнаружило. Матвеева М.А. пояснила, что в работе представлены механические характеристики образцов с продольным расположением высокоуглеродистых слоёв, по причине ограниченного размера поковки многослойного материала. Размер поковки квадрат 35×35 мм, длиной 1500 мм, позволяет изготовить образцы для определения механических характеристик только из продольного направления поковки.

На заседании 30.04.2025 г. диссертационный совет принял решение: диссертационная работа Матвеевой М.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится научно обоснованные технические решения по снижению протяжённости переходной зоны при формировании многослойных слитков способом электрошлакового переплава, а так же обоснован новый подход введения корректирующих частиц, позволяющих управлять изменением химического состава металлической ванны при электрошлаковом переплаве, что имеет важное значение для металлургической отрасли и вносит существенный вклад в развитие экономики Российской Федерации; соискатель Матвеева Мария Андреевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21

человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 21, против – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Рушин Сергей Вадимович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шабурова Наталия Александровна

30.04.2025 г.