

Утверждаю:

Проректор по науке ФГАОУ  
ВО «Уральский федеральный  
университет имени первого

Президента России  
Б.Н. Ельцина»

А.В. Германенко

14 марта 2025 г.



**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу Матвеевой Марии Андреевны по теме «Исследование процесса формирования ванны жидкого металла с целью снижения протяжённости переходной зоны при производстве многослойных слитков способом электрошлакового переплава», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Представленная диссертация посвящена совершенствованию технологии электрошлакового переплава (ЭШП), с целью получения многослойных слитков. Несмотря на бытующее мнение о том, что ЭШП является «нишевым» решением, процесс сохраняет ряд преимуществ, которые обеспечивают не только его актуальность, но и перспективу развития. Сталь массовой выплавки, получаемая по интенсивной технологии в ковшах с магниезиальной футеровкой и обрабатываемая высокоосновными шлаками, кальцийсодержащими модификаторами, оказывается поражена вредными типами магнийсодержащих и коррозионно-активных неметаллических включений. В связи с чем в литературе высказываются предложения об отказе от интенсивного рафинирования, и даются рекомендации о рациональности не глубокого удаления примесей и включений, а изменения их морфологии и более равномерном распределении по слитку.

Технические особенности ЭШП, такие как – отсутствие огнеупорной футеровки, контроль состава шлака, возможность использования различного вида тока, позволяют реализовывать при ЭШП уникальные технологические приёмы: электрохимическое рафинирование и легирование, азотирование, модифицирование неметаллических включений высококальциевым шлаком, формирование сложной и даже, как в рассматриваемой работе, композитной структуры слитка. Что свидетельствует о потенциале развития процесса.

Таким образом, представленная диссертация, направленная на разработку технологии производства композиционных материалов, имеющих повышенный уровень эксплуатационных свойств по технологии ЭШП – **актуальна.**

## Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка использованных источников. Работа изложена на 141 странице машинописного текста, содержит 33 рисунка, 34 таблицы, список использованных источников из 139 наименований.

**В первой главе** рассматриваются факторы, влияющие на геометрию металлической ванны при электрошлаковом переплаве, такие как скорость подачи электрода, подводимая мощность и глубина шлаковой ванны. Делается вывод, что изменение этих параметров не позволяет достичь оптимального результата без ухудшения качества переплава. Рассматривается возможность воздействия на процесс внешними силами, такими как – наложение внешнего электро-магнитного поля, вибрации электрода или кристаллизатора, продувки металлической ванны инертным газом или газо-порошковыми смесями, вращение расходуемого электрода. Делается вывод, что наиболее перспективно применение технологии электрошлакового переплава с вращением расходуемого электрода.

**Во второй главе** исследуется влияние вращения расходуемого электрода на свойства формируемого слитка. Показано, что вращение расходуемого электрода приводит к снижению загрязненности неметаллическими включениями, повышению плотности, микротвердости и механических характеристик материала слитка.

**В третьей главе** представлено математическое моделирование теплового поля кристаллизующейся заготовки ЭШП в зависимости от места доставки капель электродного металла в кристаллизатор, коэффициента заполнения кристаллизатора, химического состава переплавляемого электрода. Исследуются зависимости глубины жидкой металлической ванны и геометрии фронта кристаллизации от этих параметров. Обозначены условия формирования минимальной глубины металлической ванны.

**В четвёртой главе** приведены данные об экспериментальных переплавах по получению многослойных слитков со сниженной протяжённостью переходной зоны. Создание специального слоя проводилось путём введения науглераживателя на поверхность флюса. Получен многослойный слиток, материал которого после деформации и термической обработки подвергнут механическим и усталостным испытаниям.

**В пятой главе** описывается способ формирования специального слоя за счёт использованием частиц, размещённых на поверхности расходуемого электрода и дальнейшем его переплаве с применением технологии вращения. Радиальное течение металла на оплавленном торце электрода способствует усвоению специальных частиц каплями электродного металла с дальнейшей их доставкой в металлическую ванну, минуя контакт с рафинирующим флюсом. Представлены опытные данные по введению частиц WC, TiC, B<sub>4</sub>C.

**В заключении** представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

Автором диссертационной работы получены следующие **новые научные результаты**:

1. Математически обоснована и экспериментально подтверждена зависимость положения фронта кристаллизации формируемого слитка ЭШП от изменения места доставки каплевого электрода в металлическую ванну. Установлено, что минимальная глубина металлической ванны формируется в случае доставки каплевого электрода на  $2/3$  радиуса в сторону стенки кристаллизатора.

2. Установлено влияние вращения расходуемого электрода на свойства формируемого слитка. Показано, что в случае вращения расходуемого электрода наблюдается рост показателей плотности, микротвёрдости и механических характеристик, снижается размер дендритной ячейки в сравнении с заготовкой, полученной переплавом без вращения расходуемого электрода.

3. Показана возможность введения добавок WC, TiC, B<sub>4</sub>C в металлическую ванну формируемого слитка через каплю электродного металла в процессе электрошлакового переплава.

#### **Практическая ценность и значимость результатов диссертации:**

1. Создана компьютерная программа для ЭВМ «Тепловое состояние кристаллизующейся заготовки ЭШП с вращающимся электродом» позволяющая определять положение фронта кристаллизации при реализации предлагаемой технологии.

2. Предложен способ получения многослойных заготовок методом электрошлакового переплава, позволяющий уменьшить протяжённость переходной зоны между слоями.

3. Определены основные механические характеристики нового многослойного материала. Определено влияние расположения слоёв на усталостные характеристики

4. Разработан новый способ ведения добавок для изменения химического состава металлической ванны в каплю электродного металла при электрошлаковом переплаве.

5. Результаты, представленные в диссертационной работе, внедрены и используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлениям 22.03.02 и 22.04.02 «Металлургия» в филиале ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте.

К достоинствам работы можно отнести использование широкого спектра методов исследования, включая математическое моделирование, проведение опытных переплавов на полупромышленной установке, металлографические исследования и определение механических свойств. Очевидно, это можно рассматривать в качестве единственно верного методического подхода к разработке новых конструкционных материалов и технологии их производства.

**Основные положения и результаты работы опубликованы** в 14 работах, из которых 11 в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией и индексируемых в базе данных Scopus. По результатам проведенных работ получено 2 патента на изобретения, 1 свидетельство о реги-

страции программы для ЭВМ. Результаты работы докладывались и обсуждались на трёх международных научно-технических конференциях.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания и вопросы:**

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. Попробуйте 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?

Сделанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

### **Заключение:**

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей внутренним единством, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения. Диссертация полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Научные и прикладные результаты диссертации могут быть рекомендованы для внедрения на металлургических предприятиях.

Соискатель Матвеева Мария Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Доклад по диссертационной работе был заслушан и обсужден на расширенном научно-техническом семинаре (НТС) кафедры Металлургии железа и сплавов (МЖиС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». В обсуждении

принимали участие преподаватели – профессора, доценты, научные сотрудники и аспиранты кафедры МЖиС, кафедры МНЦ и ТИМ.

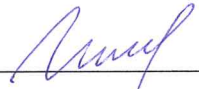
За предложенное заключение участники НТС проголосовали единогласно.

Протокол № 5 от 27 марта 2025 года.

Председатель НТС,  
Директор Института новых  
материалов и технологий УрФУ  
Зав.кафедры МЖиС,  
д.т.н. проф.

  
О.Ю. Шешуков

Секретарь НТС,  
доцент кафедры МЖиС Института  
новых материалов и технологий,  
к.т.н., доцент

  
Л.Ю. Гилева

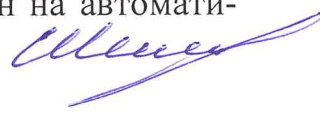
**Сведения о ведущей организации:**

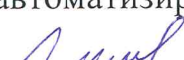
**Наименование организации:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**Адрес:** 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира д. 19

**Телефон:** +7 (343) 375-44-44

**e-mail:** contact@urfu.ru

Я, Шешуков Олег Юрьевич, даю свое согласие согласен на автоматизированную обработку данных, приведенных в данном отзыве. 

Я, Гилева Лариса Юрьевна, согласна на автоматизированную обработку данных, приведенных в данном отзыве. 

ПОДПИСИ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.