

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ячикова Матвея Игоревича «Модернизация конструкции электрошлаковых печей для повышения производительности процесса изготовления литых заготовок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (металлургия)

### 1. Общая характеристика работы

Представленная диссертационная работа изложена на 137 страницах, включает 66 рисунков, 12 таблиц и 3 приложения, состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка из 90 наименований. Кроме того, представлен автореферат объемом 1 печатный лист, изданный на правах рукописи, который полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы достаточно полно представлены в 17 публикациях, включая 2 публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также апробированы на 5 Международных и Всероссийских конференциях.

### 2. Актуальность работы

В настоящее время вопросам использования вторичных ресурсов в различных отраслях промышленности уделяется большое внимание. Особенно актуальной эта проблема является для металлургической отрасли. Известно, что большинство металлургических процессов связано со значительными материальными и энергетическими затратами. Кроме того, при традиционных способах переработки отходов и лома легированных сталей наблюдаются потери дорогостоящих и дефицитных легирующих компонентов, а также возникает необходимость рафинирования получаемого расплава от нежелательных примесей и обеспечения высокого качества и высоких механических и служебных свойств получаемых заготовок. Например, при производстве катаных стальных полос и листов применяются ролики МНЛЗ и дисковые ножи из высоколегированных сталей, содержащих дорогостоящие элементы Cr, V, Mo, W. При изготовлении роликов и дисковых ножей образуется стружка, а вышедшие из строя дисковые ножи составляют значительную долю образующихся в прокатном производстве отходов. Традиционно указанные отходы легированных сталей подвергают двухстадийной переработке, которая включает их плавку в индукционной или дуговой печи с получением литого расходуемого электрода и последующим рафинирующим его переплавом

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

за № \_\_\_\_\_

Дата регистрации 07.06.2021

Фамилия регистратора \_\_\_\_\_



электрошлаковым способом. Это приводит к значительным потерям легирующих компонентам и большим затратам электроэнергии. Альтернативным способом переработки данного вида отходов легированных сталей является непосредственное их использование для получения расходуемого электрода для электрошлакового переплава. В связи с этим диссертационная работа Ячикова М.И., направленная на разработку новой конструкции расходуемых электродов из отработанных дисковых ножей и брикетированной стальной стружки, совершенствование конструкции установки электрошлакового переплава и обоснование технологических параметров процесса ЭШП, является актуальной.

### **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертантом выполнен анализ современного состояния вопроса переработки отходов металлургического производства. Особое внимание уделено процессу электрошлакового переплава. Проанализированы возможные способы получения расходуемых электродов для ЭШП, в том числе с использованием вторичных шихтовых материалов, отмечены достоинства и недостатки каждого способа. Рассмотрены конструкции и различные технологические схемы процесса электрошлакового переплава расходуемых электродов для получения заготовок сплошного и полого сечения. Показано, что в настоящее время отсутствуют эффективные способы и технологии получения расходуемых электродов для ЭШП из отработанных дисковых ножей и прессованной стружки высоколегированных сталей, а также простые методики расчета конструктивных параметров элементов установок ЭШП и назначения технологических параметров процесса переплава расходуемых электродов для получения сплошных и полых заготовок. На основании результатов выполненного литературного обзора автором сформулирована цель диссертационной работы, которая заключалась в разработке методик конструирования расходуемых электродов из прессованной стружки и отработанных дисковых ножей и совершенствовании математических моделей процессов, происходящих при электрошлаковом переплаве, для определения электрических характеристик процесса и теплового состояния переплавляемых электродов и шлаковой ванны с целью повышения производительности процесса изготовления литых заготовок сплошного и полого сечения.

Диссертантом разработана конструкция расходуемого электрода для электрошлакового переплава из брикетированной стружки стали марки 25Х1МФ. Рассчитаны геометрические параметры, эффективная теплопроводность и теплоемкость, а также электрическая проводимость электрода. Выполнено математическое моделирование процесса



электрошлакового переплава брикетированной стружки легированной стали в результате которого определены электрические характеристики процесса и тепловое состояние переплавляемого электрода и шлаковой ванны установки ЭШП. На основании результатов выполненного моделирования предложены технологические режимы электрошлакового переплава электрода из спрессованной стружки, позволяющие обеспечить максимальную производительность процесса около 1,5 т/ч, что выше на 20-25% по сравнению с производительностью традиционных технологических процессов. Предложенные режимы прошли опытно-промышленные испытания и внедрены на ООО «Механоремонтный комплекс».

Автором разработана новая конструкция составного электрода, изготовленного из отработанных дисковых ножей из стали марки 6XB2C. Выявлена анизотропия свойств такого электрода, с учетом которой разработана математическая модель, позволившая определить нестационарное температурное поле по длине переплавляемого электрода. По результатам выполненного моделирования определена динамика изменения теплового состояния электрода в зависимости от его геометрических параметров и свойств, что позволило определить рациональную скорость вытягивания слитка и перемещения переплавляемого электрода. Предложенная технология электрошлакового переплава составного электрода из отработанных дисковых ножей прошла успешное апробирование на ООО «Объединенная сервисная компания».

Для повышения эффективности производства автором предложена конструкция кристаллизатора для установки электрошлакового переплава, позволяющая получать полые литые заготовки для последующего изготовления дисковых ножей. Выполнено математическое моделирование теплового состояния кристаллизатора предложенной конструкции в процессе электрошлакового переплава. Кроме того, выполнен гидравлический расчет системы охлаждения дорна кристаллизатора для получения полых заготовок, результаты которого позволили обосновать конструктивные параметры кристаллизатора. Установлено, что увеличение количества каналов для охлаждения дорна при одинаковой суммарной площади их сечения позволяет уменьшить градиент температур в дорне. Компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYS подтвердило адекватность разработанных математических моделей и позволило определить тепловое состояние дорна кристаллизатора. Предложенная конструкция кристаллизатора апробирована в условиях ООО «Объединенная сервисная компания».

Результаты выполненного диссертантом исследования позволили сформулировать ряд научных положений, выводов и рекомендаций для решения актуальной задачи в области рециклинга отходов легированных сталей, а именно разработать научно обоснованную конструкцию расходуемых электродов из



спрессованной стружки и отработанных дисковых ножей, а также энергоэффективную и ресурсосберегающую технологию электрошлакового переплава. Сформулированные в работе научные положения, выводы и рекомендации полностью соответствуют названию, цели и задачам диссертационного исследования. Предлагаемые диссертантом технологические решения прошли успешную промышленную апробацию и приняты к внедрению на ряде предприятий.

#### **4. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается тем, что теоретические положения основываются на фундаментальных закономерностях тепломассообмена и механики. Адекватность предлагаемых методик расчета и математических моделей подтверждается их соответствием устоявшимся научным представлениям. Для компьютерного моделирования использовалось современное программное обеспечение ANSYS. Новизна предлагаемых технических и технологических решений подтверждается результатами успешных промышленных испытаний. На программу для ЭВМ «Тепловое состояние внутреннего кристаллизатора установки ЭШП» получено свидетельство о государственной регистрации.

Автором диссертации получен ряд положений, обладающих новизной. Предложена методика расчета геометрических параметров, теплофизических свойств и электрической проводимости электродов для ЭШП из спрессованной стружки легированных сталей и математические модели теплового состояния шлаковой ванны и переплавляемого электрода, что позволило определить и обосновать технологические режимы электрошлакового переплава, обеспечивающие максимальную производительность процесса. На основании результатов аналитического расчета геометрических параметров и теплофизических свойств расходуемых электродов из отработанных дисковых ножей и математического моделирования тепловых процессов электрошлакового переплава обоснованы конструктивные параметры переплавляемого электрода. Определены и обоснованы основные принципы разработки конструкции кристаллизатора установки электрошлакового переплава для получения полых литых заготовок для изготовления дисковых ножей различных типоразмеров. На основании результатов моделирования гидравлических параметров системы охлаждения и теплового состояния дорна кристаллизатора обоснована рациональная конструкция системы его охлаждения и выбраны рациональные режимы работы.



## 5. Замечания по работе

1. Почему при расчете эффективной теплопроводности расходуемого электрода из прессованной стружки (с. 44) теплопроводность стали марки 25Х1МФ брали фиксированной (25 Вт/м·К), а теплопроводность воздуха в зависимости от температуры? Ведь теплопроводность стали также зависит от температуры.

2. В диссертации отсутствует обоснование выбранной доли электрического тока, протекающего через боковые стенки кристаллизатора, равной 0,3 (раздел 2.1.2).

3. В таблице 2.2. приведен состав флюсов №1 и №2, при этом ни один из них не соответствует по химическому составу флюсу АНФ-32 по ГОСТ 30756-2001, который заявлен в расчетах. Эти флюсы соответствуют по составу флюсам АНФ-1-2 (АНФ 1-3) и АН-291. Не ясно, каким образом получены температурные зависимости электропроводности и плотности этих флюсов от температуры?

4. Не ясно, на каком основании автор принимал температуру торца электрода, при которой капли металла отрываются от него, равной средней температуре между температурами солидуса и ликвидуса (с. 59)?

5. Автором установлено, что из-за снижения теплопроводности расходуемых электродов предлагаемой конструкции по сравнению с теплопроводностью литых электродов снижается тепловой поток, падающий на нижний торец электрода (рис. 2.20 и 3.9). Из текста диссертации не ясно, как это повлияет на производительность установки электрошлакового переплава, например, на скорость вытягивания готового слитка?

## 6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»

Указанные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы Ячикова М.И., выполненной на актуальную тему.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, направленной на решение проблемы эффективной переработки отходов легированных сталей за счет разработки научно обоснованных новой конструкции расходуемых электродов из прессованной стружки и отработанных дисковых ножей, а также кристаллизаторов для установок электрошлакового переплава и технологических параметров процесса ЭШП, что вносит существенный вклад в развитие металлургического машиностроения и металлургической отрасли Российской Федерации.

Результаты работы прошли промышленное апробирование и приняты к внедрению на ряде промышленных предприятий.

Диссертационная работа и автореферат находятся в полном соответствии и по содержанию отвечают паспорту специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (металлургия). Опубликованные работы, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК, и автореферат достаточно полно отражают содержание работы.

В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ячиков Матвей Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (металлургия).

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
доцент, профессор кафедры  
литейного производства и  
упрочняющих технологий

03.06.2021 г.

Сулицин  
Андрей Владимирович

Я, Сулицин Андрей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ячикова Матвея Игоревича, и их дальнейшую обработку \_\_\_\_\_

ДОКУМЕНТОВЕД УДИОВ  
ГАФУРОВА А.А.

Подпись  
заверяю

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Тел. (343) 375-44-76. E-mail: kafedralp@mail.ru

