

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

«7»

2025

А.В. Германенко

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Быстрова Михаила Викторовича «Снижение расхода графитированных электродов в дуговых печах за счет их принудительного охлаждения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи, связанной с повышением эффективности работы дуговых печей разной вместимости и назначения за счет снижения удельного расхода графитированных электродов. Электроды в печах постоянного и трехфазного переменного тока выполняют критически важную функцию: подают электрический ток в печь, инициируя и поддерживая электрическую дугу, тепло от которой позволяет плавить шихту и осуществлять металлургические процессы.

Объектом исследования является тепловая работа графитированных электродов в дуговых печах, предметом – влияние принудительного охлаждения электродов на их удельный расход при выплавке металла.

Графитированные электроды при выплавке различных металлов и сплавов являются дорогостоящим расходным материалом. Затраты на электроды в конечном счете влияют на общую экономическую эффективность работы печного агрегата. Даже незначительное снижение удельного расхода этих электродов при больших объемах производства может привести к существенному сокращению дополнительных затрат и повышению конкурентоспособности профильных предприятий.

Графитированные электроды работают в тяжелых высокотемпературных условиях (на торцевой части температура составляет порядка 4000°C) и находятся в окислительной печной атмосфере. Основными причинами износа графитированного материала электродов являются термомеханическое разрушение (до 35%) и окисление боковой поверхности (до 37%). Следовательно, основные потери графита связаны напрямую с тепловым

состоянием электродов в процессе их работы в печи.

Таким образом, актуальность работы обусловлена высокой научной и практической значимостью решения задачи повышения эффективности работы дуговых печей разной вместимости и назначения за счет снижения удельного расхода графитированных электродов в дуговых печах за счет их принудительного охлаждения.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации

Научная новизна результатов диссертационного исследования состоит в следующем.

1. Разработаны оригинальные математические модели, позволяющие определять тепловое состояние графитированных электродов и унос графита в условиях работы дуговых печей разной вместимости.

2. На основе проведенных промышленных исследований и расчетов получены новые данные по снижению расхода графитированных электродов при подаче воды на их боковую поверхность. Получены результаты для печей разной вместимости, качества графитированного материала и расхода воды. Предложен алгоритм адаптации расчетных данных на основе проведения производственных экспериментов.

3. Разработаны технико-экономические рекомендации для охлаждения электродов дуговых печей постоянного и трехфазного переменного тока разного назначения и вместимости. Определены рациональные технологические и конструкторские параметры для системы испарительного охлаждения в зависимости от стоимости графитированных электродов и электроэнергии.

Указанная область исследования диссертации соответствует паспорту специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов по следующим пунктам:

пункт 1: рудное, нерудное, техногенное и энергетическое сырье;

пункт 13: тепло- и массоперенос в низко- и высокотемпературных процессах;

пункт 18: электро- и спецэлектрометаллургические процессы и агрегаты;

пункт 23: материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов.

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики

В диссертационной работе приведен подробный анализ проблемы расхода графитированных электродов по отечественным и зарубежным источникам. Из проведенного анализа следует, что применение систем испарительного охлаждения водой боковой поверхности цельных графитированных электродов является наиболее перспективным.

Значимость работы для науки заключается в подходе при разработке математических моделей для расчета теплового состояния графитированных электродов. В отличие от представленных в литературе, математическая модель автора диссертации учитывает изменение формы и размера электрода в процессе работы дуговой печи, влияние испарения воды на теплообмен, а также

унос материала электродов.

Практическая ценность диссертации заключается в том, что представленная автором технология снижения расхода электродов позволяет металлургическим и литейным предприятиям разрабатывать свои конструкции систем охлаждения без крупных материальных затрат. Компьютерная программа, созданная автором математической модели, позволяет определять рациональные технологические параметры (давление и расход воды, толщину и длину водяной пленки по высоте столба электрода и т.д.). Получены два акта внедрения и два свидетельства РФ о гос. регистрации программ для ЭВМ.

Достоверность и степень обоснованности научных результатов и выводов

Достоверность полученных теоретических результатов подтверждается применением воспроизводимого по точности математического моделирования с использованием современных достижений теории тепломассопереноса; результатами экспериментальных исследований на промышленных печах, использующих для охлаждения электродов испарительное охлаждение; сопоставлением и сходимостью полученных результатов с данными других исследователей.

Публикации по теме диссертации

По материалам выполненных исследований опубликовано 15 работ, в том числе 4 научные статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 2 в наукометрической базе данных Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа прошла широкую апробацию на научных конференциях различного уровня: межрегиональных, всероссийских, международных.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы предприятиями производителями дуговых печей различного назначения, а также металлургическими и литейными предприятиями. В работе представлена информация о тепловом состоянии полых или цельных графитированных электродов в условиях ведения плавки в дуговой печи. Установлены закономерности изменения расхода графита в зависимости от параметров охлаждения. Даны рекомендации по рациональным режимам использования испарительного охлаждения графитированных электродов в дуговых печах с известными технологическими характеристиками, при которых достигается максимальная технико-экономическая эффективность. В работе представлены возможные составы охлаждающей воды для лучшей смачиваемости поверхности электрода, а также конструктивные особенности вновь проектируемых систем оросительного охлаждения.

Основываясь на результатах диссертационной работы, впервые проведены работы по охлаждению графитированного электрода в рудно-термической дуговой печи вместимостью 100 тонн.

Одним из перспективных направлений использования технологии

испарительного охлаждения электродов является ее применение на предприятиях, имеющих в своем составе дуговые печи для выплавки ферросплавов.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации и автореферате не указано, проводились ли исследования влияния применения испарительного охлаждения водой графитированного электрода на качество выплавляемого металла в дуговой печи.

2. В параметрах расчета (стр. 76, табл. 3.2) теплофизические свойства графитированного материала (коэффициент теплопроводности, теплоемкость и удельное электрическое сопротивление) при расчетах задаются как постоянные величины. Однако они существенно зависят от температуры и качества применяемого графита. Это подтверждают приведенные рисунки 1.1 и 1.2. Нет обоснования применимости используемого допущения.

3. В предлагаемой математической модели теплового состояния графитированного электрода при его работе в дуговых печах не учитывается дополнительный нагрев от излучения соседних электродов.

4. В диссертации и автореферате нет информации о том, чем отличается конструкция испарительного охлаждения для дуговых печей постоянного и трехфазного переменного тока.

Заключение

Указанные выше замечания не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

Диссертация является завешенной 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.

Основные материалы и результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в научных статьях и апробированы на международных научно-технических конференциях. Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации, отражает её структуру и положения, выносимые на защиту.

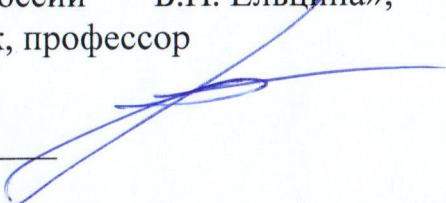
По обоснованности полученных научных результатов, научной и практической значимости диссертационная работа полностью отвечает критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции), предъявляемым ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы, Быстров Михаил Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Доклад по диссертационной работе Быстрова Михаила Викторовича «Снижение расхода графитированных электродов в дуговых печах за счет их принудительного охлаждения» был заслушан и обсужден на научном семинаре кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

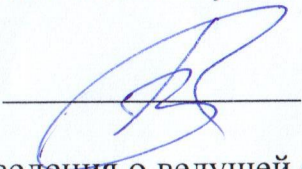
Присутствовало на научном семинаре 17 человек. Результаты голосования: «за» -17. «против» - нет, «воздержавшихся» - нет.

Протокол № 3 от «6» марта 2025 года.

Заведующий кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии», Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор технических наук, профессор


Спирин Николай Александрович

Ученый секретарь кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии», Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кандидат технических наук, доцент


Гольцев Владимир Арисович

Сведения о ведущей организации:

Наименование организации: Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Адрес: 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Телефон: +7 (343) 375-44-44

e-mail: contact@urfu.ru

Я, Спирин Николай Александрович, согласен на автоматизированную обработку моих данных, приведенным в данном отзыве.

Я, Гольцев Владимир Арисович, согласен на автоматизированную обработку моих данных, приведенным в данном отзыве.