

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу  
Запольской Екатерины Михайловны по теме  
«Совершенствование ресурсосберегающих технологий  
высокотемпературного разогрева и повышение стойкости  
алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.2 – Metallurgy черных, цветных и редких металлов

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Запольской Е.М. посвящена решению актуальной научно-практической задачи современной металлургии – повышению стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей. Известно, что одним из основных недостатков алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров является окисление углерода, входящего в их состав, при контакте с окислительными газами на стадиях разогрева футеровки, при транспортировании и внепечной обработке расплава. Выгорание в поверхностных слоях графита и углеродного каркаса приводит к повышению пористости огнеупоров и интенсивному износу футеровки. Несовершенство существующих технологий разогрева футеровок сталеразливочных ковшей на газовых стендах приводит к образованию обезуглероженного слоя в новой футеровке еще до ввода ее в эксплуатацию. В таких условиях разработка малообезуглероживающих ресурсосберегающих технологий разогрева приобретает особую актуальность и практическое значение.

### **Научная новизна работы**

Диссертация содержит научную новизну. Автором разработаны основные принципы создания малообезуглероживающих ресурсосберегающих температурных режимов разогрева алюмопериклазоуглеродистых ковшевых футеровок. В их основе лежит эффект снижения отрицательно действия окислительных процессов

при сокращении продолжительности нахождения огнеупоров при температурах интенсивного выгорания углерода. Для практического применения данного принципа диссертантом установлены новые закономерности кинетики высокотемпературного обезуглероживания углеродсодержащих ковшевых огнеупоров массового производства. Получены новые данные о строении, минералогическом и фазовом составе обезуглероженных слоев алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров. Особого внимания заслуживают установленные и научно обоснованные зависимости влияния параметров конструкции стенда, футеровки, температурного режима разогрева на тепловую эффективность стенда. Они получены на основе анализа массива результатов многовариантных расчетов, проведенных с использованием многофакторной детерминированной математической модели, разработанной автором.

Совокупность новых научных данных стала основой для разработки и практического применения малообезуглероживающего температурного режима разогрева футеровок 350-т сталеразливочных ковшей.

### **Достоверность и обоснованность результатов и выводов**

Для проведения исследований автор использует широкий спектр известных и распространенных методов и методик исследований (в их числе оптическая и сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный, микро-рентгеноструктурный, термогравиметрический анализы), специализированное программное обеспечение и средства компьютерной обработки экспериментальных данных. В качестве одного из инструментов исследований автор применил детерминированную математическую модель собственной разработки. Полученные результаты достоверны, выводы научно обоснованы.

### **Значимость результатов, полученных автором, для науки и практики**

Результаты, полученные в диссертационной работе имеют научно-практическую значимость. Для применения в условиях кислородно-конвертерного цеха № 2 АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский метал-

лургический комбинат» разработан малообезуглероживающий ресурсосберегающий температурный режим разогрева алюмопериклазоуглеродистых футеровок 350-т сталеразливочных ковшей. Новый температурный режим обеспечивает повышение стойкости футеровки и экономию природного газа, используемого при отоплении стенда. В промышленных условиях автором подтверждена эффективность защитных покрытий на основе силикатного стекла. Ожидаемый годовой экономический эффект, основанный на увеличении стойкости футеровки, составляет 12 млн руб.

### **Оценка структуры, содержания диссертации и завершенности работы в целом**

Диссертационная работа имеет логичную структуру, состоит из введения, пяти разделов, общих выводов по работе, списка литературы. Материал изложен на 141 странице, содержит 9 таблиц, 46 рисунков, список использованной литературы, включающий 129 источников.

Во введении традиционно обоснованы актуальность и значимость проводимых исследований, сформулированы цель работы, задачи исследования и научная новизна.

В первом разделе рассмотрены металлургические аспекты применения углеродсодержащих огнеупоров в футеровках сталеразливочных ковшей, влияние алюмопериклазоуглеродистых и периклазоуглеродистых огнеупоров на загрязненность стали неметаллическими включениями, проведен критический анализ теплотехнологий и конструкций стендов для высокотемпературного разогрева углеродсодержащих футеровок сталеразливочных ковшей, представлен обзор математических моделей тепловой работы стендов разогрева ковшевых футеровок. Проведенный обзор литературы свидетельствует о высокой эрудиции автора, способности к анализу и критическому мышлению.

Во втором разделе описывается методика экспериментальных исследований и применяемого оборудования.

Третий раздел посвящен исследованиям кинетики физико-химических процессов высокотемпературного обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров промышленного производства. Автором исследованы минералогический и фазовый составы обезуглероженных слоев огнеупоров. Наибольшего внимания в данном разделе заслуживают полученные зависимости влияния температурно-временного фактора на глубину обезуглероженного слоя и температурные интервалы интенсификации процессов окисления углерода. Особую научно-практическую ценность представляют полученные количественные данные, поскольку, располагая ими, можно осуществлять прогнозные расчеты глубины обезуглероженного слоя огнеупоров после различных режимов разогрева. Е.М. Запольская комплексно подошла к исследованию процесса обезуглероживания, рассмотрев не только физико-химические аспекты и кинетику процесса выгорания углерода, но и структурные изменения в огнеупоре и деградацию его свойств.

В четвертом разделе рассматривается математическая модель и результаты моделирования тепло-массообменных процессов и тепловой работы газовых стендов при разогреве алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей. На основании проведенного литературного обзора автор за основу приняла математическую модель, разработанную коллективом ученых под руководством профессора М.В. Темлянцева. Автором модифицирована данная модель, расширены ее функциональные возможности, в частности в целях учета обогащения дутья кислородом и применения водоохлаждаемых горелок. В модель автором интегрированы новые данные по кинетике обезуглероживания исследованных алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров и температурно-временные зависимости глубины обезуглероженного слоя. Безусловным функциональным преимуществом математической модели является учет взаимосвязи и взаимного влияния параметров процессов теплогенерации, внешнего и внутреннего теплообмена на тепловой баланс и параметры тепловой работы стенда разогрева.

В пятом разделе представлены результаты разработки мероприятий по повышению стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок 350-т сталераз-

ливочных ковшей в условиях кислородно-конвертерного цеха № 2 АО «ЕВРАЗ объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». Автором убедительно показана практическая значимость результатов проведенных исследований. Наибольшего внимания в данном разделе заслуживает малообезуглероживающий температурный режим. Основной его эффект основан на логичном и очевидном уменьшении глубины обезуглероженного слоя огнеупоров при снижении продолжительности высокотемпературной выдержки и применении среднетемпературной выдержки в области температур ниже начала интенсивного выгорания углерода. Автором так же показана перспективность применения защитных покрытий на основе силикатного стекла для предотвращения обезуглероживания огнеупоров.

В целом текст диссертации производит положительное впечатление, материал изложен грамотно, логично, последовательно, разделы диссертации связаны и формируют единое, целостное описание проведенных исследований и полученных результатов.

### **Замечания по работе**

1. При исследовании процессов обезуглероживания огнеупоров автор использует нагрев образцов в электрической печи в атмосфере воздуха. При разогреве футеровки на газовых стендах обезуглероживание происходит в атмосфере продуктов сгорания газа (как правило, природного), состав которых, а соответственно и окислительный потенциал существенно отличается от воздушного. В связи с этим возникает вопрос, на сколько правомерно распространять результаты лабораторных экспериментов на промышленную практику?

2. В параграфе 4.1 при описании структуры математической модели, блока расчета теплогенерации, внешнего и внутреннего теплообмена и других блоков имеются многочисленные ссылки на диссертационную работу другого автора коллектива ученых под руководством профессора М.В. Темлянцева [19], в которой уже представлены структура модели, используемые методики и расчетные уравнения. Исключением является только статья теплового баланса, отражаю-



шая потери тепла с водой на охлаждение горелки. Все они являются хорошо известными и распространенным, представлены во множестве изданий, опубликованных гораздо раньше, чем указанный источник.

3. В параграфе 4.2 соискателем предложен новый критерий тепловой эффективности стенов разогрева футеровок сталеплавильных ковшей - удельный расход условного топлива, затрачиваемого на тепловую обработку одной тонны стали. Следует отметить, что такой показатель используется в металлургической теплотехнике уже несколько десятилетий.

4. В разделе 5.3 автор рассматривает вопрос применения защитных покрытий, однако, ни в задачах исследования, ни в предыдущих разделах о защитных покрытиях ничего не говорится. Логичнее было бы перед промышленными экспериментами провести теоретическую проработку и лабораторные эксперименты по применению покрытий.

Отмеченные недостатки и недоработки не затрагивают существа диссертации и не снижают ее научной ценности.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Диссертационная работа Запольской Е.М. открывает перспективы для снижения удельных расходов огнеупоров на тонну производимой стали и экономии природного газа на отопление стенов. Предложенные решения способствуют повышению качества стали по неметаллическим включениям. Совокупным кумулятивным эффектом полученных результатов является повышение конкурентоспособности металлопродукции. Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в высших учебных заведениях при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Металлургия», «Теплоэнергетика и теплотехника» и на металлургических предприятиях, эксплуатирующих сталеразливочные ковши с алюмопериклазоуглеродистой футеровкой.

## **Подтверждение публикации основных результатов работы в научных печатных изданиях**

Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в профильных журналах и сборниках научных трудов. По теме диссертации опубликовано 30 печатных работы, в том числе 4 – в периодических рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 5 – в журнале входящем в базы Web of Science и Scopus, 24 – в периодических журналах и сборниках трудов научно-практических конференций, в том числе международного уровня. Автореферат отражает содержание диссертации.

## **Соответствие содержания диссертации и автореферата паспорту научной специальности**

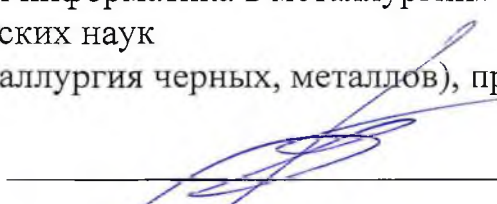
Содержание диссертационной работы, предметная области исследования, применяемые методы и полученные результаты полностью соответствуют паспорта научной специальности 2.6.2 – Metallургия черных, цветных и редких металлов, в частности его пунктам: «13. Тепло- и массоперенос в низко- и высокотемпературных процессах», «23. Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов».

## **Заключение**

Диссертационная работа Запольской Екатерины Михайловны «Совершенствование ресурсосберегающих технологий высокотемпературного разогрева и повышение стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие металлургии в Российской Федерации.

Диссертация полностью соответствует требованиям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Запольская Екатерина Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

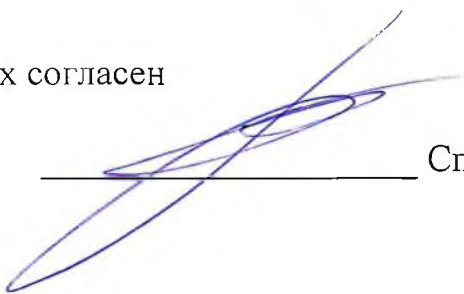
Заведующий кафедрой  
«Теплофизика и информатика в металлургии»  
доктор технических наук  
(05.16.02 – Металлургия черных, металлов), профессор

  
Спирин Николай Александрович

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

Почтовый индекс, адрес организации:  
620002, Свердловская обл.,  
г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
Телефон: +7 (343) 375-45-07  
E-mail: [rector@urfu.ru](mailto:rector@urfu.ru)  
Официальный сайт: <https://urfu.ru/ru/>

На обработку персональных данных согласен

  
Спирин Н.А.

Спирин Николай Александрович  
Телефон: +7 (343) 375-48-15  
Адрес электронной почты: [n.a.spirin@urfu.ru](mailto:n.a.spirin@urfu.ru)

25.04.2023 г.

Подпись профессора Н.А. Спирина удостоверяю

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.

