

## **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 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»**

### **Актуальность темы**

Современное сталеплавильное производство характеризуется высоким уровнем ресурсо- и энергоемкости. Значительную долю ресурсов при этом составляют огнеупорные материалы. Диссертация Е.М. Запольской посвящена снижению удельных расходов огнеупоров на тонну производимой стали. Тематика, связанная с ковшевыми огнеупорами, в настоящее время является одной из наиболее актуальных для сталеплавильного производства, о чем свидетельствуют многочисленные публикации в журналах и сборниках научных трудов, а так же высокий спрос предприятий на мероприятия, обеспечивающие повышение стойкости футеровок и межремонтного срока службы сталеразливочных ковшей.

Подтверждением актуальности диссертации является выполнение исследований в рамках госзадания Минобрнауки РФ НИР № 1622ПГЗ и в соответствии с планом научно-исследовательских АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (договор № ДГЗС7-017364 от 01.04.2016 г.).

### **Структура и содержание диссертации**

Представленная диссертационная работа изложена на 141 стр., включает введение, в котором обосновывается актуальность темы исследования, пять разделов, выводы по каждому разделу, общее заключение по работе, список использованной литературы (129 источников) и приложения (справки о применении результатов диссертационной работы в производстве и в учебном процессе).

Первый раздел «Современное состояние вопроса и постановка задач исследования», посвящен обзору специальной технической литературы по тематике ис-



следования. Автор охватил широкий спектр вопросов, связанных с ковшевыми огнеупорами, с достаточной глубиной анализа хронологии развития конструкции стендов для разогрева футеровок и применяемых теплотехнологий. На основе проведенного обзора литературы сформулированы задачи исследования. Первый раздел показывает высокую погруженность автора в проблематику исследования, хорошую подготовку, наличие компетенций критического анализа и системного мышления, умение работать с обширным массивом литературных источников.

Второй раздел включает описание применяемого оборудования, методов и методик исследования. Автор использует известные, проверенные методики. Спектр используемого оборудования и методов весьма широк, применяются дериватографический, гравиметрический, рентгенофазовый, полуколичественный анализы, электронная и оптическая микроскопия, термометрирование и определение водопоглощения огнеупоров. Важно, что в качестве материала для исследований автор использует промышленные огнеупоры, применяемые на металлургических предприятиях.

Третий раздел «Исследование кинетики физико-химических процессов высокотемпературного обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров» включает результаты лабораторных экспериментов. Исследования проведены комплексно. На первом этапе исследована кинетика процессов обезуглероживания, далее макро-, микроструктура химический и фазовый состав обезуглероженных слоев, их свойства. Наибольший практический интерес представляют количественные данные по влиянию температуры и времени на процессы обезуглероживания. Полученные результаты научно обоснованы.

Четвертый раздел «Математическое моделирование тепло-массообменных процессов и тепловой работы газовых стендов при разогреве алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей» представляет собой описание математической модели и результаты, полученные с ее помощью. Автор использует математическую модель как инструмент для проведения многовариантных расчетов. Впечатляет многообразие факторов, влияющих на тепловую работу стендов, которые исследовал автор: емкость ковша и конструкция футеровки,



конструктивные особенности стенов (отсутствие крышки, герметичная и не герметичная крышка), подогрев окислителя и его обогащение кислородом. Автором предложен оригинальный критерий тепловой эффективности стенов.

Раздел 5 «Разработка мероприятий по повышению стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок 350-т сталеразливочных ковшей и качества стали в условиях кислородно-конвертерного цеха № 2 АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» содержит результаты практического применения разработок автора. В целом теоретические исследования автора нашли подтверждение на практике. Убедительно показан эффект повышения срока службы ковшевых футеровок при росте ритмичности производства. С применением математической модели разработан энерго- и ресурсосберегающий, малообезуглероживающий режим разогрева. Апробированы защитные покрытия, эффект от применения которых наглядно проиллюстрирован.

Заключение и выводы по диссертации обобщают полученные результаты исследований.

Разделы диссертации логичны, материал изложен последовательно, для наглядности автором использует массу (46 шт.) рисунков и фотографий, текст содержит 9 таблиц.

Автореферат полностью отражает содержание материалов диссертации и последовательность их изложения.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе**

Целью диссертационной работы является повышение стойкости алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей на основе разработки и применения малообезуглероживающих ресурсосберегающих режимов разогрева.

Полученные в работе результаты позволяют значительно расширить существующие представления о кинетике высокотемпературного окисления алюмопериклазоуглеродистых и периклазоуглеродистых огнеупоров.

Степень обоснованности научных положений можно охарактеризовать как высокую. При научном обосновании установленных зависимостей и закономер-



ностей автор руководствовался современными достижениями физической химии, теории тепломассообмена. Достоверность и обоснованность полученных диссертантом результатов, выводов и рекомендаций подтверждаются применением воспроизводимого по точности математического и физического моделирования; качеством измерений и результатами статистического анализа экспериментальных данных; сопоставлением и сходимостью полученных результатов с данными других исследователей; применением стандартных методов и методик определения химического и фазового состава огнеупоров.

#### **Степень новизны выводов, сформулированных в диссертации:**

- автором представлены принципы создания малообезуглероживающих ресурсосберегающих температурных режимов разогрева алюмопериклазоуглеродистых ковшевых футеровок, основанные на применении промежуточных среднетемпературных выдержек с целью прогрева футеровки, взамен высокотемпературных, интенсифицирующих процессы обезуглероживания;
- впервые установлены количественные данные по кинетике высокотемпературного обезуглероживания углеродсодержащих ковшевых огнеупоров массового производства марок APC-75H1, AMC 78-8/7HG, RI-MC175LC и MayCarb284-AX;
- с помощью методов оптической, электронной микроскопии и рентгенофазового анализа получены новые данные о строении, минералогическом и фазовом составе обезуглероженных слоев алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров указанных выше марок;
- автором предложен новый критерий тепловой эффективности стендов для разогрева ковшевых футеровок;
- по результатам многовариантных расчетов на математической модели установлены и научно обоснованы зависимости влияния параметров конструкции стенда, футеровки, температурного режима разогрева на тепловую эффективность стенда.

#### **Практическая ценность и реализация в промышленности**

Практическая ценность результатов очевидна. Теоретические разработки доведены до практической реализации, это подтверждает практическую направлен-



ность исследований. В частности, разработанные малообезуглероживающие ресурсосберегающие температурные режимы разогрева алюмопериклазоуглеродистых футеровок 350-т сталеразливочных ковшей приняты к промышленному внедрению в кислородно-конвертерном цехе № 2 АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». Ожидаемый годовой экономический эффект, основанный на увеличении стойкости футеровки, оценен в 12 млн руб. Широкую область применения имеет защитное покрытие, которое апробировал автор. Математическая модель может быть использована в образовательных целях при подготовке обучающихся в вузах, в исследовательских целях для совершенствования существующих и разработки новых режимов разогрева футеровок. Результаты работы внедрены в учебный процесс в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».

#### **Замечания и вопросы по диссертации:**

1. Страница 48 диссертации, рисунок 3.3, не совсем понятно в каких целях автор проводит сравнение полученных результатов с данными других исследователей, поскольку это различные типы огнеупоров (алюмопериклазоуглеродистые и периклазоуглеродистые) и они содержат различное количество углерода? Очевидно, что у огнеупоров, содержащих больше углерода потери массы вследствие обезуглероживания будут выше.
2. На странице 60 диссертации автор приводит рисунок 3.15 (в подтверждение наличия антиоксидантов), однако рентгенофазовый анализ дал автору более богатую информацию о составе огнеупоров, следовало бы более развернуто описать данные результаты.
3. На странице 83 диссертации автором приводится соотношение (4.55) для расчета скорости охлаждения стали, однако далее в расчетах этот параметр нигде не определяется.
4. В реальных условиях разогрева футеровок на стенде наблюдается неравномерность температур поверхности футеровки по высоте и периметру. Каким образом автор учитывал это явление в математической модели и как оно влияет



на неравномерность глубины обезуглероженного слоя по высоте и периметру футеровки?

5. На странице 118 диссертации в таблице 5.1 автор приводит сравнение базового и нового режима, которое фактически свидетельствует о том, что в новом режиме автор разогревает футеровку до несколько меньших температур и хуже ее прогревает. Чем автор объясняет такое решение и как оно скажется на тепловых потерях от жидкой стали при наполнении ковша?

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки выполненной диссертационной работы и носят рекомендательный характер.

### **Общее заключение по работе**

Диссертационная работа Е.М. Запольской представляет собой совокупность теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на актуальную тему, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научные разработки и технологические решения, позволяющие повысить стойкость и срок службы ковшевых футеровок, имеющие существенное значение для развития металлургической отрасли страны.

Основные положения и результаты диссертации Е.М. Запольской в достаточной степени опубликованы в научно-технических изданиях и обсуждены на международных, всероссийских научных и научно-практических конференциях. По результатам выполненных исследований опубликовано 30 научных статей, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций, 5 статей в журналах, индексируемых в базе данных Scopus.

Аннотация диссертации достаточно полно отражает структуру диссертационной работы, раскрывает ее содержание и основные положения.

Представленная к защите диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 – Металлургия черных, цветных и редких металлов по пунктам 13 «Тепло- и массоперенос в низко- и высокотемпературных процессах» и 23 «Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов».



Я, Роговский Александр Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Запольской Екатерины Михайловны, и их дальнейшую обработку.

кандидат технических наук (05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов), доцент, заведующий кафедрой «Metallургические технологии»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет»

*[Signature]*

Официальный сайт: <https://www.stu.lipetsk.ru/>

Адрес электронной почты: E-mail: arogotovskij@yandex.ru

Подпись Rogotovskogo A.N. удостоверяю.

Начальник отдела кадров

