

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу  
Яговцева Александра Владимировича

"Разработка и исследование цирконистого оксидноуглеродного огнеупорного материала, модифицированного карбидами кремния и бора, для шлакового пояса погружаемого стакана", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 — Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

**Актуальность темы.** Диссертационная работа Яговцева А. В. посвящена проблеме повышения эффективности процесса непрерывной разливки стали. В этом процессе наиболее важной характеристикой является длительность службы погружаемого стакана. При замене этой детали в отливаемой заготовке образуется область, которая подлежит выбраковке. Поэтому актуально увеличить его стойкость к воздействию расплавленных шлака и металла.

**Цель диссертационной работы** Яговцева А.В. – разработка модифицированного композиционного цирконистографитового материала с повышенными эксплуатационными характеристиками для погружаемых стаканов при непрерывной разливке стали.

Анализ содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения по работе, списка литературы из 121 наименования и 3 приложений, включающих акты выпуска опытной партии погружаемых стаканов и их испытаний и заключения по результатам производства погружаемых стаканов. Работа изложена на 145 страницах, содержит 45 рисунков, 31 таблицу.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**Первая глава** представляет **достаточно полный литературный обзор** технологических аспектов производства огнеупорных изделий и их основные составы, используемых при непрерывной разливке стали, методы испытаний огнеупорных материалов. Наиболее подробно рассмотрено влияние химического состава на свойства оксидноуглеродистых огнеупоров. На основании результатов проведенного анализа выдвинута гипотеза о возможности увеличения долговечности погружаемого стакана за счет применения комплексной антиокислительной добавки в цирконистографитовый материал.

Во **второй главе** приведено описание методов исследования используемых в работе: предел прочности при изгибе, открытая пористость, кажущаяся плотность, поровая структура, шлакоустойчивость. Приведены характеристики исходных материалов.

Для оценки влияния на свойства полученных огнеупоров таких факторов, как содержание диоксида циркония, зерновой состав, количество смолы, наличие антиоксидантов на свойства огнеупорного материала диссертантом

Вх. № 05-19/1-735  
от 04.09.15г.

были разработаны математические (регрессионные) модели с использованием математического планирования эксперимента.

**Третья глава** посвящена исследованию процессов окисления цирконистографитовых материалов в воздушной среде при высоких температурах.

Приведены результаты исследования кинетики окисления цирконистографитовых материалов, проанализированы процессы, происходящие при окислении графита, используемого для получения цирконистографитовых материалов, а также графита с добавлением смолы. Проведен сравнительный анализ процессов окисления цирконистографитовых образцов без антиоксидантов, с добавкой SiC, с добавкой B<sub>4</sub>C и с комплексной добавкой SiC и B<sub>4</sub>C.

Определены энергии активации процесса окисления цирконистографитовых материалов и величины тепловых эффектов реакции окисления цирконистографитовых материалов.

Исследован состав газовой фазы и твердых продуктов при окислении цирконистографитовых материалов.

Установлено влияние добавок-антиоксидантов, таких как карбиды кремния и бора, на стойкость материала к окислению. Определено, что карбид кремния практически не влияет на окисление углерода огнеупора, карбид бора, в свою очередь, оказывает достаточно сильное воздействие на устойчивость материала к окислению на воздухе. Был установлен механизм этого воздействия.

Результаты комплексного исследования свойств цирконистографитовых огнеупоров приведены в **четвертой главе**.

Проанализировано влияние таких факторов, как содержание диоксида циркония, зернового состава, количество смолы, наличие антиоксидантов на свойства цирконистографитовых материалов, а именно: микроструктуру, предел прочности при изгибе, кажущуюся плотность и открытую пористость, поровую структуру, шлакоустойчивость, стойкость к окислению, температурный коэффициент линейного расширения, потерю массы при бакелизации и коксовании, термостойкость, эрозионную стойкость.

На основании проведенной работы автор даёт рекомендации по оптимальному вещественному составу цирконистографитовых материалов применительно к различным условиям эксплуатации

В **пятой главе** приведены результаты испытаний опытной партии погружаемых стаканов, изготовленной по рецептуре, предложенной автором. Результаты плавок показали, что в среднем стойкость стаканов с составом, предложенным автором, выше, по сравнению с серийно производимыми, на 10-15%, что подтверждается актом.

В **заключении** сформулированы основные выводы по работе.

#### **Научная новизна:**

1. Впервые предложено модифицировать карбидами бора и кремния оксидноуглеродистые огнеупорные материалы на основе диоксида циркония

используемых в качестве шлаковых поясов погружаемых стаканов, для повышения их эксплуатационных характеристик.

2. Показано, что карбид бора замедляет процесс окисления цирконистографитовых материалов в интервале температур 600-1000°C. Карбид кремния оказывает защитное действие при температурах выше 1200°C.

3. Установлено, что при введении добавок обоих карбидов SiC и B<sub>4</sub>C значение энергии активации процесса окисления резко увеличивается и достигает 700 кДж/моль, в то же время эта величина без добавок SiC и B<sub>4</sub>C составляет 95 кДж/моль.

4. Показано, что совместное введение антиоксидантов SiC и B<sub>4</sub>C способствует повышению прочности, термической стойкости и газоабразивной стойкости огнеупоров, при некотором снижении устойчивости их к оксиднофторидному расплаву шлакообразующей смеси.

5. Впервые установлено, что введение в цирконистый оксидноуглеродистый материал диоксида циркония частично стабилизированного оксидом кальция фракции (0,1-0,5) мм способствует повышению термостойкости. В то же время увеличение содержания диоксида циркония фракции менее 45 мкм в огнеупорах ведет к повышению их механической прочности.

6. Показано, что образование ZrC в цирконистом оксидноуглеродистом огнеупоре в процессе эксплуатации ведет к его ускоренному износу, а модифицирование материала карбидами бора и кремния препятствует образованию карбида циркония, что делает огнеупор более долговечным.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.** Автор корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов выводов и рекомендаций. Яговцев А.В. изучил и проанализировал влияние состава и ряда других факторов на физико-химические свойства цирконистографитового материала. Достоверность полученных результатов, научных положений и выводов обеспечивается корректностью постановки цели работы, решаемых задач, их физической обоснованностью, хорошим уровнем экспериментальных исследования с применением современных методов, а также непротиворечивостью результатов существующим представлением о кинетике взаимодействия исследуемых материалов с шлакообразующей смесью. Результаты сравнения полученных результатов с известными литературными данными показывают качественное согласие результатов.

#### **Практическая ценность работы**

На основании проведенных исследований разработаны состав и технология изготовления погружаемых стаканов с вставкой из цирконистографитового огнеупора. В соответствии с разработанными рекомендациями изготовлена опытная партия погружаемых стаканов и испытана в условиях непрерывной разливки стали различных марок на ОАО «ЕВРАЗ-НТМК». Проведены исследования стаканов после эксплуатации.

Показано, что разработанный цирконистый оксидноуглеродистый материал обладает лучшими эксплуатационными характеристиками по сравнению с серийно производимым на ОАО «ДИНУР», а также аналогичными материалами зарубежного производства.

По работе сделаны следующие замечания:

1. Исследования свойств цирконистого оксидноуглеродистого материала проводили при температурах 1000-1400°C, тогда как рабочая температура изделий порядка 1550°C. Полученные практические результаты не дают повода усомниться в корректности заключений, однако хотелось бы видеть метод экстраполяции свойств исследуемых материалов на более широкий температурный диапазон.

2. В главе 2 недостаточно полно описана процедура подготовки образцов. Так, непонятно, что из себя представляли образцы для термогравиметрии и исследования окисления. Были ли это компактные образцы, или это был порошок. Также непонятно, при какой температуре делались компактные образцы для порометрии, для измерений пористости, плотности, прочности, износостойкости и т.д. В последующем тексте такой информации также нет.

3. Указано, что тигли для испытаний на шлакоустойчивость обжигали в восстановительной среде при 950°C. Далее испытания производили при температуре 1400°C. Логично предположить, что при этом результат взаимодействия испытательного тигля и шлакообразующей смеси мог быть искажен.

4. В разделе 4.5 при анализе взаимодействия исследуемого материала с расплавленным шлаком указано, что при охлаждении определенные фазы, имеющие температуры плавления выше температуры эксперимента (1400°C), кристаллизуются. Вероятно, неудачно подобрана терминология.

5. Сравнение стаканов с улучшенным шлаковым поясом с промышленными образцами выглядело бы более полным при наличии характеристик материалов Б и В (состав, кажущаяся плотность, открытая пористость, поровая структура). Также из текста не понятно, насколько широко применяются изделия из материала Б.

Сделанные замечания несколько не снижают научную и практическую ценность работы.


Результаты работы опубликованы в 12 печатных работах, из них 6 размещены в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Они также представлены на 5 научных конференциях.

Автореферат полно отражает содержание диссертации, идеи и выводы диссертации. Положения, выносимые на защиту, а также основные результаты и выводы, обоснованы.


Диссертация и публикации автора свидетельствуют о том, что работа выполнена на высоком уровне, представленные в диссертации результаты могут быть квалифицированы как решение научной-технической задачи, имеющей существенное значение для развития соответствующей отрасли знаний.

Диссертационная работа Яговцева Александра Владимировича "Разработка и исследование цирконистого оксидноуглеродного огнеупорного материала, модифицированного карбидами кремния и бора, для шлакового пояса погружаемого стакана" является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне и содержит решение задачи, связанной с увеличением производительности машин непрерывного литья заготовок за счет снижения износа шлакового пояса погружаемого стакана. Работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Яговцев А.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 — Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Хрустов Владимир Рудольфович  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории прикладной электродинамики  
Института электрофизики УрО РАН

  
04.09.2015 г.

Российская Федерация, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д.106.  
(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук)  
Тел. +73432678827  
E-mail: Khrustov@ier.uran.ru

Яковлев Хрустова В.Р. заверяю  
учёно-сертификат  
к.ф. - м.к.  
 УрО РАН  
Е.Е.