

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Суворова Дмитрия Сергеевича

**«Исследование влияния добавок наноразмерных оксидов на структурные, физико-механические и эксплуатационные характеристики огнеупорных материалов»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.6.17 – «Материаловедение»

В современных условиях разработка эффективных методов повышения качества огнеупорных изделий является актуальной научно-технической задачей. Снижение пористости и повышение эксплуатационных характеристик способствует увеличению срока службы и снижению удельного расхода огнеупоров в тепловых агрегатах различных отраслей промышленности, в том числе металлургии.

Автором работы предложено, что одним из перспективных направлений является добавление наноразмерных добавок, таких как диоксид кремния и оксид графена, к алюминатно-кальциевому цементу. Эти добавки могут значительно улучшить структуру и свойства цементного камня, а также огнеупорных бетонов на его основе. Однако механизмы их влияния на процесс гидратации, а также структурные и физико-механические характеристики остаются недостаточно изученными.

Отмечается существование проблемы агломерации наноразмерных добавок, которая обусловлена их высокой удельной поверхностью, что существенно снижает физико-механические свойства конечного продукта. Для решения этой проблемы Суворов Д.С. предлагает использовать метод вихревой электромагнитной гомогенизации (ВЭГ), который позволяет эффективно диспергировать наночастицы, предотвращая их агломерацию и обеспечивая равномерное распределение в матрице материала. Применение вихревого электромагнитного гомогенизатора может значительно повысить однородность распределения наноразмерных частиц в огнеупорных композитах, что в свою очередь улучшит их эксплуатационные характеристики. Таким образом, интеграция метода вихревой электромагнитной гомогенизации в технологические процессы производства огнеупорных изделий открывает новые возможности для повышения их качества и эффективности использования.

Целью исследования Суворова Д.С. было получение и комплексное изучение структурных, физико-механических и эксплуатационных характеристик цементного камня и неформованных огнеупорных бетонов с наноразмерными добавками диоксида кремния и оксида графена на основе алюминатно-кальциевого цемента с применением метода вихревой электромагнитной гомогенизации.

Автором проведено комплексное исследование влияния наноразмерного диоксида кремния фазовый состав, структуру и свойства цементного камня, а также огнеупорных бетонов на основе алюминатно-кальцевого цемента. Установлено, что использование вихревой электромагнитной гомогенизации обеспечивает более равномерное распределение  $\text{SiO}_2$  в объёме огнеупорного материала по сравнению с верхнеприводным смесителем и методом ультразвуковой гомогенизации. Исследована зависимость физико-механических характеристик цементных камней от массовой доли наночастиц диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и нанолстов оксида графена GO, выявлены их оптимальные концентрации (1 и 0,05 масс. % соответственно), которые способствовали повышению прочности цементного камня с 55 МПа до 74 и 70 МПа соответственно. Установлено, что с увеличением массовой доли  $\text{SiO}_2$  за счёт уплотнения структуры, обусловленного образованием в процессе гидратации плотного гелеобразного слоя гидратов, физико-механические и эксплуатационные характеристики цементного камня и огнеупорных бетонов возрастают, достигая максимальных значений при 1 масс. %. Суворов Д.С. подробно изучил влияние оптимальной концентрации  $\text{SiO}_2$  и GO на кинетику набора прочности, эволюцию фазового состава и микроструктуры АКЦ в процессе гидратации. На основании комплексного анализа автором предложены механизмы гидратации алюминатно-кальцевого цемента в присутствии диоксида кремния и оксида графена.

Суворовым Д.С. разработан метод получения композиционного материала на основе алюминатно-кальцевого цемента с добавлением нанолстов оксида графена. Материал характеризуется прочностью на сжатие не менее 65 МПа, плотностью в диапазоне 2,75 – 2,83 г/см<sup>3</sup> и пористостью от 25 до 26 %.

Важное практическое значение имело изучение пористости, прочности при сжатии, термической стойкости и шлакоустойчивости огнеупорных бетонов, используемых при производстве опорных блоков телег ЛПЦ и фурм УПК, в зависимости от массового содержания наноразмерного  $\text{SiO}_2$ . Автором разработан метод уплотнения огнеупорных бетонов, позволяющий повысить предел прочности на 25 – 30 %, увеличить термическую стойкость на 24 %, а также уменьшить в два раза глубину проникновения расплава. Следует отметить, что была проведена опытно-промышленная апробация огнеупорных изделий в условиях сервисного огнеупорного производства ПАО «Северсталь». Доказана эффективность применения наноразмерного диоксида кремния, оптимальное количество (1 масс. %) которого позволило сократить расход огнеупорных изделий и повысить рентабельность производства. Учитывая вышесказанное, научная новизна и практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений.



Полученные результаты актуальны и значимы, что подтверждается их успешной практической апробацией на огнеупорном и металлургическом производстве, а также публикацией научных статей и выступлениями на международных научно-технических конференциях. Автореферат включает в себя все необходимые разделы и изложен грамотным языком, однако по нему имеется следующее замечание:

В автореферате отсутствуют результаты испытания огнеупорности бетонов с наноразмерной добавкой.

Данные замечания имеют второстепенный характер и не снижают научной и практической значимости. Диссертационная работа Суворова Д.С. является законченным научным исследованием, выполненным на высоком уровне и направленным на решение актуальной научно-технической задачи современного материаловедения и огнеупорной промышленности.

Диссертационная работа Суворова Д.С. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук «Положения о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ МИСИС», а ее автор, Суворов Д.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Начальник Управления по работе с электросталеплавильными предприятиями черной металлургии ООО «Группа «Мagneзит», кандидат технических наук

«11» 02 2025 г.



Плюхин Павел Валерьевич

*Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Суворова Дмитрия Сергеевича*

Общество с ограниченной ответственностью «Группа «Мagneзит»

Адрес: 119180, г. Москва ул. Большая Полянка, д. 43, стр. 3.

Тел.: +7 (495) 232-61-00, [msk@magnezit.com](mailto:msk@magnezit.com)

Подпись Плюхина Павла Валерьевича заверяю

Генеральный директор ООО «Группа «Мagneзит»

Одегов С.Ю.

