

«УТВЕРЖДАЮ»



Первый проректор
ФГБОУ ВО «ВГТУ им. В.Г. Шухова»

Е.И. Евтушенко

«__» _____ 20__ г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"

На диссертационную работу Николаева Александр Николаевича
«СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДАМИ И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ
МАТЕРИАЛАМИ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Диссертация Николаева Александра Николаевича посвящена изучению влияния оксидных и углеродсодержащих модификаторов на свойства стеклокерамических материалов и покрытий на основе системы $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$.

Актуальность работы - стеклокерамические системы на основе бор- и кремнийсодержащих соединений систематически изучаются благодаря своим отличным высокотемпературным характеристикам. Они имеют широкое применение не только в виде самостоятельного материала, но и в качестве покрытий. Настоящая работа посвящена одной из таких систем – $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$, модифицированной наноразмерными частицами Al_2O_3 и ZrO_2 , а также углеродсодержащими материалами, такими как графит, сажа и шунгит.

В доступной литературе недостаточно представлены данные по трёхкомпонентным стеклокерамическим системам, большая часть авторов уделяет внимание двухкомпонентным системам, состоящим из различных комбинаций тугоплавких соединений. Ряд авторов, помимо изучения процессов синтеза и определения температурных характеристик материалов, углубляется в изучение дополнительных свойств, среди которых хочется выделить физико-механические характеристики, которые недостаточно изучены для трёхкомпонентных систем. В связи с этим тематика представленной работы является **актуальной и практически значимой**.

Целью исследования является изучение влияния модифицирующих добавок из наноразмерных частиц оксида алюминия и диоксида циркония, а также углеродсодержащих материалов на свойства стеклокерамической системы на основе $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$.

Диссертантом успешно выполнены поставленные в работе задачи, связанные с синтезом компактных образцов, отработкой технологии синтеза, подбором оптимального

режима термообработки; синтезом покрытий на графите и алюмооксидной высокоглинозёмистой керамике; изучением кинетики окисления образцов в температурном интервале от 1000 до 1400 °С, проведением дифференциально-термического анализа; определением фазового состава, микроструктуры, электросопротивления полученных компактных образцов и покрытий; определением физико-механических свойств компактных образцов.

Научная новизна результатов диссертационного исследования не вызывает сомнения. На основе изучения объективной взаимосвязи с исходными материалами, технологическими решениями и свойствами конечного продукта разработана шихта на основе $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$ для получения высокотемпературного материала покрытия для графита или керамики, отработан температурный режим получения таких материалов.

Проведённые исследования позволили установить оптимальные количества оксидных (Al_2O_3 и ZrO_2) и углеродных (графит, шунгит, сажа) модификаторов для улучшения свойств конечного материала. Предложен механизм формирования фазового состава, макро- и микроструктуры покрытий с оксидными модификаторами, установлено, что повышение жаростойкости материала происходит за счёт повышения вязкости стеклорасплава. Исследование физико-механических свойств материала при введении наноразмерных оксидных модификаторов позволило установить рост твёрдости в среднем на 15 %, модуля упругости в среднем на 33 %. Установлены закономерности формирования фазового состава, макро- и микроструктуры покрытий при введении углеродных модификаторов, заключающиеся в повышении температуры при термообработке, а также за счёт перемешивания компонентов системы за счёт газообразования.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты диссертационной работы вносят вклад в понимание процессов окисления исходных бор- и кремнийсодержащих соединений с модифицирующими добавками в воздушной среде при высоких температурах, дают представление об условиях их формирования и микроструктурных особенностях.

Изучение влияния оксидных (Al_2O_3 и ZrO_2) и углеродсодержащих (графит, шунгит, сажа) модификаторов на свойства стеклокерамической системы $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$ проведено впервые. Результаты исследования позволяют использовать полученные данные для синтеза высокотемпературных материалов и покрытий, применяемых во многих отраслях промышленности. В металлургии рассматриваемый материал может использоваться как покрытие для тиглей, а также электродов в электродуговой печи. Срок службы реактивных самолётов и космических летательных аппаратов может быть продлён, если применять материал в качестве покрытий для различных деталей данной техники. Существенным преимуществом рассматриваемого материала является сравнительно низкая температура формирования стеклообразующего расплава на поверхности материала, при этом покрытие может служить при температуре более чем в 2 раза превышающей температуру формирования. Практическая значимость подтверждена патентом РФ № 2778741.

В качестве достоинства работы можно отметить: использование энергосберегающей технологии (отсутствует этап варки стекла, не требуется использование инертной среды и дорогостоящего оборудования). Технология получения покрытия позволяет целенаправленно изменять состав и получать конкретные эксплуатационные свойства.

Во *Введении* дано обоснование актуальности темы диссертации, определена важность и перспективность синтеза и исследования стеклокерамических материалов на основе кремний- и борсодержащих соединений, поставлены цели и задачи исследования.

В *Литературном обзоре* обобщены и проанализированы литературные данные по современному состоянию в области получения стеклокерамических композиционных материалов. Приведено обоснование использования и описание исходных компонентов стеклокерамической системы, а также модифицирующих добавок.

В главе *Объекты и методы* представлена краткая характеристика всех используемых методов и материалов.

Экспериментальная часть состоит из 5 глав, первая из которых посвящена изучению кинетики окисления, фазового состава и морфологии композитов и покрытий на основе системы $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$, модифицированной Al_2O_3 , при температурах до 1300°C . Вторая экспериментальная глава посвящена модификатору ZrO_2 и его влиянию на жаростойкость, морфологию, твердость и электросопротивление. Третья экспериментальная глава посвящена влиянию углеродных модификаторов на свойства материалов и покрытий на основе $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$. Четвертая и пятая главы концентрируются на определении влияния Al_2O_3 и ZrO_2 на физико-механические свойства материалов на основе вышеупомянутой системы.

В *Заключении* приведены результаты исследований влияния различных модифицирующих добавок на свойства материалов и покрытия на основе $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$: стойкость к окислению, фазовый состав, морфология поверхности, пористость и плотность, а также физико-механические свойства.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, а также их достоверность подтверждена их воспроизводимостью, применением современных методов физико-химического анализа, использованием стандартизированных методик, соответствием результатов международному уровню знаний в исследуемой области науки.

Помимо этого, следует отметить хорошую апробацию основных результатов диссертационного исследования – 8 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также 15 тезисов докладов всероссийских и международных конференций. Работа была поддержана грантом Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.

В представленной работе выполнены все обозначенные задачи, а полученные результаты соответствуют сформулированной цели. Диссертационная работа согласуется с паспортом специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в части направлений исследования в пп 1 и 2: в п.1 – по химическому составу – оксиды, их соединения, силикаты, неметаллические углеродсодержащие материалы, нитриды, карбиды, бориды, и др., а также по особенностям технологии, строению и функциональному назначению: вяжущие, керамика, огнеупоры, стеклянные и стеклокристаллические материалы, порошки, композиционные материалы на основе SiТНМ (керметы, армированные стекла, армированные бетоны, композиционные керамические, нано-композиционные, функционально-градиентные материалы); в п.2 – по физико-химическим принципам технологии материалов и изделий из SiТНМ , включающим стадии подготовки исходных материалов, смешивание и гомогенизацию компонентов, формование заготовок или изделий, их упрочнение, высокотемпературные процессы, обработку материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и

размеров. Конструирование изделий и оснастки. Технологические схемы производства материалов и изделий. Ресурсо- и энергосбережение.

На базе существующих предприятий по выпуску графитовых и других неметаллических материалов, нуждающихся в защите от окисления и эрозии (трансферт технологии) может быть создано производство жаростойких стеклокерамических материалов и покрытий. В целях внедрения высокотемпературных покрытий для неметаллических материалов возможно сотрудничество со следующими организациями:

1. Публичное акционерное общество «Северсталь» ул. Мира 30, Череповец, Вологодская обл., Россия, 162608

2. «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е. И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ) – федеральное государственное унитарное предприятие Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», расположенное в ЗАТО Снежинск. 456770, Снежинск, Челябинская область, ул. Васильева, 13, а/я 245.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук», 119334, Москва, Ленинский пр-т, 49.

Кроме того, рекомендуем использовать результаты, полученные в диссертации в машиностроении и технике высоких температур.

По диссертационной работе возникли следующие вопросы и замечания:

1. Поскольку важным является вопрос сцепления (адгезии) покрытия с подложкой, следовало бы уделить ему больше внимания.
2. Проводилось ли сравнение покрытия и материала на основе $\text{Si-B}_4\text{C-ZrB}_2$ с имеющимися аналогами?
3. В работе говорится о том, что при введении оксидных и углеродных модификаторов можно удешевить состав, но так ли это в действительности? Ведь ZrO_2 достаточно дорогой реактив.
4. Процесс залечивания требует дополнительного пояснения в работе, при каких условиях он происходит? Каким образом регистрировался?

Несмотря на вышеуказанные вопросы, в целом, диссертация Николаева Александра Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые подходы к получению высокотемпературных материалов и покрытий на графит на основе бор- и кремний содержащих соединений, что имеет существенное значение для развития химической области знаний. В ней изложены научно-обоснованные решения и разработки, имеющие практическое применение для развития страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Николаева Александра Николаевича на тему: «Синтез и исследование стеклокерамических композиций, модифицированных оксидами и углеродсодержащими материалами» соответствует **критериям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842 (с изменениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям и является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные**

технические, технологические решения, имеющие существенное значения для развития страны, а именно вносит значительный вклад в развитие технологий нанесения покрытий.

Диссертант, Николаев Александр Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Научное сообщение и отзыв ведущей организации по результатам диссертационной работы Николаева Александра Николаевича были заслушаны на заседании кафедры технологии стекла и керамики (протокол № 7 от 17.04.2023).

Отзыв подготовил:

Бессмертный Василий Степанович

Доктор технических наук по специальности (05.17.11 – Технология тугоплавких неметаллических материалов), профессор

Профессор кафедры технологии стекла и керамики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова

(4722), 55-36-15, e-mail: tsk_bgtu@mail.ru; vbessmertnyi@mail.ru

308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

17 апреля 2023 г.

(подпись)

Бессмертный Василий Степанович

Подпись заверяю:

Сведения об организации:

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"

Адрес: 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова

Телефон: (4722) 54-20-87; (4722) 54-52-27

Сайт: <https://www.bstu.ru/>

e-mail: rector@intbel.ru

С отзывом ведущей организации
ознакомлен 05.05.2023

Николаев А.Н. 