

«23» ноября 20 23 годаисх. № 232-11

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора по  
инновационно-техническому развитию  
ООО «Научно-технический центр «Бакор»,  
И. Королев  
«23» ноября 2023 г.**ОТЗЫВ**

ведущей организации

на диссертацию Поздеевой Татьяны Юрьевны

на тему: «Влияние внешнего магнитного поля на формирование анизотропной  
структуры углерод-керамических материалов при гелевом литье»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5.

Порошковая металлургия и композиционные материалы

**Актуальность** диссертационной работы определяется необходимостью решения конструкторских задач в социально-значимых областях, таких как создание новых композиционных материалов с анизотропными свойствами в узкоспециализированном приборо- и машиностроении. Для получения анизотропии свойств материалов, перспективным направлением в области материаловедения является использование различных видов энергии для модернизации существующих технологий синтеза нанокompозитов. На данный момент, влияние внешнего магнитного поля на различные наноматериалы и перспективы его использования изучены недостаточно. Перечисленные задачи соответствуют стратегическим целям государственной научно-технической политики и имеют большое социальное значение. Актуальность представленной работы подтверждается также тем, что она выполнена в соответствии с основными направлениями научной деятельности кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» Пермского национального исследовательского политехнического университета (г. Пермь) при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 20-33-90085), Фонда

содействия инновациям в рамках программы «У.М.Н.И.К.» (договор № 16149ГУ/2020 от 24.12.2020), Министерства образования и науки Пермского края в рамках акселератора «Большая разведка» (договор №Д-26/237 от 28.12.2021).

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Экспериментальные данные получены с использованием современного диагностического, технологического и измерительного оборудования. Выявленные закономерности подтверждены экспериментальными результатами. Выводы и заключения являются логичными, последовательными и отражают суть проведенных исследований. Научные положения, выносимые на защиту, основаны на корректном анализе результатов экспериментальных исследований и являются вполне обоснованными.

**Научная новизна.** Диссертантом получены следующие основные результаты исследований, обладающие научной новизной:

1. Разработана технология получения анизотропных углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) с сочетанием гелевого литья и воздействия сверхнизким постоянным магнитным полем при формовании и обезвоживании порошковых заготовок.

2. Варьирование конфигурации магнитного поля и его полюсности относительно материала, позволяет выстраивать углеродный наполнитель в соответствии с формой используемых постоянных магнитов.

3. Установлено, что магнитное поле может формировать анизотропную структуру материала. Определены физико-механические (трещиностойкость, коэффициент трения, удельное электросопротивление) и структурные характеристики УККМ и их зависимость от типа керамической матрицы и объемного содержания углеродного наполнителя.

4. Выявлены закономерности влияния искрового плазменного спекания на формирование электропроводящих свойств УККМ с матрицей на основе  $TiO_2$ .

5. Для УККМ с матрицей на основе  $ZrO_2-3Y_2O_3-0,3CuO$ , полученного с помощью ИПС, показано формирование из стеклофазы кристаллических фаз, содержащих углерод, медь, иттрий, хлор.

#### **Значимость результатов для науки.**

1. Впервые изучены закономерности формирования углерод-керамических суспензий и заготовок на их основе из ультрадисперсных порошков диоксида циркония

и  $\text{TiO}_2$  под воздействием низкочастотного ультразвукового излучения и сверхнизкого постоянного магнитного поля.

2. Показано, что воздействие МП обеспечивает поворот и фиксацию МУНТ в керамической заготовке и при проведении ИПС позволяет формировать анизотропную структуру композита в соответствии с конфигурацией МП.

3. Получены УККМ с тремя типами матриц ( $\text{ZrO}_2\text{-3Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2\text{-3Y}_2\text{O}_3\text{-0,3CuO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ). Добавка МУНТ к  $\text{ZrO}_2\text{-3Y}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2\text{-3Y}_2\text{O}_3\text{-0,3CuO}$  повышает трещиностойкость  $K_{1C}$  до  $22\text{-}27 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ , что выше  $K_{1C}$  стандартного материала в 3 раза. Добавка МУНТ к  $\text{TiO}_2$  снижает удельное электросопротивление с  $(5\pm 1)\cdot 10^{-2}$  до  $(2,2\pm 0,4)\cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}$  и коэффициент трения -  $f_H$  с 0,30 до 0,21.

4. Представлены закономерности влияния добавки  $\text{CuO}$  на фазообразование с течением времени в керамике  $\text{ZrO}_2\text{-3Y}_2\text{O}_3\text{-0,3CuO}$  ( $\text{Z3Y0.3CuO}$ ), которые могут служить физической основой для разработки рекомендаций по синтезу керамики из порошков, полученных методом прямого осаждения по золь-гель технологии с дальнейшим искровым плазменным спеканием в восстановительной среде.

**Практическая значимость.** Значимость для производства работы Поздеевой Т.Ю. состоит в:

-разработке технической схемы гелевого литья керамики, совмещенной со сверхнизким магнитным воздействием ( $5\text{-}10 \text{ мкТл}$ ), что обеспечивает получение УККМ с анизотропной структурой углеродного наполнителя в двух взаимно перпендикулярных направлениях в объеме материала.

-в получении УККМ с анизотропной структурой при повышении физико-механических свойств в сравнении с установленными известными значениями для чистой керамики: для вязкости разрушения ( $K_{1C}$  до  $27 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ), коэффициента трения ( $f_H\sim 0,2$ ), удельного электросопротивления для  $\text{TiO}_2/\text{МУНТ}$  ( $R = (2,2\pm 0,4)\cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ).

От лаборатории твердотельных электрохимических систем ФИЦ ПХФ и МХ РАН (г. Черноголовка) получен протокол испытаний образцов УККМ на основе  $\text{TiO}_2$  по удельному электросопротивлению в зависимости от состава с рекомендациями к практическому использованию данного вида материала в составе электродов в различных электрохимических системах.

Получен 1 патент, зарегистрирована 1 заявка на патент.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Полученные результаты могут быть использованы в производственных, научно-исследовательских и образовательных организациях, занимающихся исследованием,

разработкой, совершенствованием процессов получения широкого класса объемных композиционных материалов и в пленочных технологиях.

### **Замечания и вопросы по диссертации.**

1. В работе много внимания уделяется диспергированию углеродных нанотрубок, но материале, в конечном счете, зафиксированы агломераты нанотрубок. Чем это можно объяснить?
2. Не понятен выбор оксида меди в качестве добавки.
3. Откуда в составе композитов после дегградации фазы, содержащие хлор?

**Оценка диссертации и автореферата.** Структура диссертации выстроена логически последовательно, работа написана технически грамотным языком и оформлена в соответствии с требованиями действующих стандартов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 22 печатных работах, в том числе 7 статьях в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Тема диссертации полностью соответствует заявленной научной специальности. Полученные результаты отвечают поставленной цели и задачам.

**Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.** Диссертационная работа Поздеевой Татьяны Юрьевны по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 2.5.6. Порошковая металлургия и композиционные материалы:

- пункту № 1 Изучение закономерностей физико-механических, физико-химических процессов получения дисперсных систем в виде частиц и волокон (в том числе и наноразмерных) из материалов на основе металлов, сплавов, интерметаллидов, керамики, углеродных, органических и других соединений. Создание технологии получения этих материалов и оборудования. Термодинамика и кинетика фазовых превращений в частицах, волокнах и наноразмерных порошковых материалах;
- пункту № 2 Исследование и моделирование физико-химических процессов синтеза полуфабрикатов и изделий из порошковых и композиционных материалов с металлической, углеродной, керамической и полимерной матрицей и армирующими компонентами разной природы, разработка оборудования и технологических процессов их получения;

**Заключение.** Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором

---



теоретических и экспериментальных исследований решена научная проблема формирования направленной структуры углеродного наполнителя в нанокпозиционных керамических материалах на основе диоксидов циркония и титана, имеющая важное социально-экономическое значение. Диссертация «Влияние внешнего магнитного поля на формирование анизотропной структуры углерод-керамических материалов при гелевом литье» соответствует требованиям п.9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а также требованиям Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденного приказом ректора ПНИПУ №4334В от 9 декабря 2021 г., а её автор Поздеева Татьяна Юрьевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составлен кандидатом технических (05.17.11 – технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов) наук,

Руководителем Научно-исследовательского Центра Специальной Керамики ООО «Научно-технический центр «Бакор» Иконниковым Константином Игоревичем.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Научно Технического Совета ООО «Научно-технический центр «Бакор»

протокол № МНТС-3 от «14» ноября 2023 г.

Руководитель НИЦ Специальной Керамики, к.т.н. _____	 _____ К.И. Иконников
Ученый секретарь, к.ф.-м.н. _____	 _____ Д.Д. Бернт
Начальник лаборатории пыле-газоочистки, к.т.н. _____	_____ Д.А. Серебрянский
Заместитель руководителя НИЦ по научно-исследовательской работе, к.т.н. _____	_____ И.Г. Зимбовский
Заместитель руководителя НИЦ _____	_____ А.Л. Галганова
Старший научный сотрудник, к.т.н. _____	_____ Б.Т. Пунцукова



*Подпись*

*К.И. Иконников*  
*А.Л. Галганова*

*Т. Зимбовский,*

*Подпись О.В.*  
*12.11.2023*

