

ОТЗЫВ

Официального оппонента **Лемешева Дмитрия Олеговича**
на диссертационную работу **Белякова Антона Николаевича** на тему:
«Жаропрочные керамические материалы на основе карбида кремния для
сложнопрофильных изделий машиностроения», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

На отзыв представлена диссертация объемом 155 страниц машинописного текста, содержащая 66 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 155 наименований, а также автореферат.

Актуальность работы

Материалы на основе карбида кремния активно применяются в различных областях промышленности. Карбид кремния характеризуется комплексом таких свойств как высокие прочность и твердость, низкая плотность, коррозионная и жаростойкость, благодаря чему может применяться при высоких температурах и больших нагрузках в агрессивных средах. Однако изготовление сложнопрофильных деталей машин из карбидокремниевой керамики затруднено в связи с отсутствием пластичности и высокой твердостью данного материала, которая не позволяет осуществлять механическую доработку профилей деталей сложной геометрии. Придание керамической детали сложной формы на этапах до спекания также не является решением данной проблемы, поскольку во время спекания усадка материала может достигать 10-12 %. Из-за данного явления необходимы сложные расчеты геометрических размеров заготовок под спекание, что в случае детали сложной формы представляется трудноосуществимым.

В данной работе решается задача изготовления детали со сложной геометрией из карбидокремниевой керамики, которая также характеризовалась бы высокими эксплуатационными свойствами, в частности высокой жаропрочностью при высоких нагрузках в агрессивных средах. В ходе работы разрабатывалась технология синтеза, позволяющая добиться поставленных задач, а также исследовалась возможность внедрения в карбидокремниевую керамику добавок, повышающих физико-механические свойства исследуемого материала.

Это свидетельствует об актуальности выполненного исследования с точки зрения выбора объектов и использованных методов, то есть работа в этом отношении соответствует требованиям к диссертациям, представляемый на соискание ученой степени.

Целью исследования является разработка новых способов получения жаропрочных керамических материалов на основе реакционно-спеченного карбида кремния с повышенными прочностными свойствами для сложнопрофильных изделий машиностроения, работающих при температурах 1200 – 1400 °С, в качестве технологической альтернативы металлам.

Диссертантом успешно выполнены поставленные в работе задачи, связанные с синтезом карбидокремниевой керамики при использовании

различных составов исходных композиционных порошков (в том числе с введением модифицирующих добавок). Разработана технология получения изделия сложной формы из карбида кремния. Исследован фазовый состав, микроструктура и определены физико-механические свойства полученных керамических образцов. Отработана и внедрена в образовательный процесс методика измерения высокотемпературных свойств керамики.

Научная новизна работы

Экспериментально установлена зависимость изменения структурных и прочностных характеристик реакционно-спеченных керамических материалов на основе карбида кремния от содержания модифицирующего углеродного компонента.

Разработаны химические составы для получения комплексным методом горячего шликерного литья с последующим реакционным спеканием облегченных жаропрочных керамических карбидокремниевых материалов для сложнопрофильных изделий, обладающих высокими физико-механическими характеристиками.

Разработаны научно обоснованные параметры технологии сложнопрофильных изделий и тонкостенных элементов из керамики на основе карбида кремния, с применением пустотелых водорастворимых аддитивных моделей, адаптированных к методу горячего шликерного литья.

Приведен анализ новых результатов по высокотемпературным прочностным свойствам керамических материалов на основе карбида кремния в защитной и окислительной среде до температуры 1400 °С.

Теоретическая и практическая значимость

Определены и обоснованы способы воздействия (консолидация частиц, модифицирование, формование) на технологические аспекты синтеза реакционно-спеченных керамик на основе карбида кремния, позволяющие добиваться высоких прочностных и функциональных характеристик материалов.

Получены новые данные о связи «технология – состав – структура – свойство», применительно к новым способам синтеза жаропрочных керамических материалов для изделий машиностроения сложной геометрии.

Определены преимущества комплексного применения методов горячего шликерного литья модифицированных углеродом порошков и реакционного спекания для получения керамических материалов на основе карбида кремния (в том числе композиционных) и сложнопрофильных изделий из них.

Разработан способ получения изделий сложной геометрии из жаропрочных керамических материалов на основе карбида кремния комбинацией литейной и аддитивной технологии, подана заявка на патент РФ № 2023103215, № 2023112697.

Внедрена в учебно-образовательный процесс методика высокотемпературных испытаний керамических материалов на изгиб при температурах до 1400 °С. Экспериментально показана жаропрочность разработанных реакционно-спеченных керамических материалов на основе карбида кремния в воздушной и защитной среде, что делает их

перспективными для использования в специальных высокотемпературных изделиях машиностроения.

Достоверность полученных результатов основывается на использовании высокоточных современных химических и физико-химических стандартизированных методов исследований, проведенных с использованием аттестованного высокотехнологического оборудования, воспроизводимости экспериментальных результатов, а также обсуждением основных положений работы на российских и международных научных конференциях и их публикацией в научно-технических журналах, рекомендованных ВАК.

По результатам исследования опубликовано 13 научных работ, в том числе 8 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, из них 6 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, WoS, Springer, Chemical Abstracts), 1 патент РФ на изобретение, 2 патентные заявки РФ на изобретение, 2 тезиса докладов международных и всероссийских конференций. Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на следующих мероприятиях: XIX конференция молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии», (КМУС-2022), Международный симпозиум «Нанозифика и Наноматериалы» (ННН-2022).

Общая характеристика диссертационной работы

Работа Белякова А.Н. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений.

Во *Введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В *1 главе* приведен краткий обзор исследований жаропрочности материалов для специальных изделий машиностроения. Приведено обоснование применения в диссертационной работе конкретных методов синтеза керамических материалов с целью получения сложнопрофильного изделия с тонкими лопастями.

Во *2 главе* приведено описание оборудования и материалов, используемых в научном исследовании. Описаны методики анализа функциональных характеристик керамических образцов.

В *3 главе* приведены результаты по исследованию влияния структурных характеристик на физико-механические свойства карбидокремниевых жаропрочных керамических материалов. Показано, что максимальные эквивалентные напряжения на модели керамического изделия сложной геометрии на примере втулки произвольных размеров соответствуют изгибным и удовлетворяют прочностным параметрам карбидокремниевых материалов. Проведена оценка влияния дисперсного состава шихты карбида кремния, давления прессования, содержания углеродного компонента на физико-механические свойства формируемых керамик. Проведено исследование структурных и физико-механических характеристик карбидокремниевых материалов, модифицированных крупными частицами

карбида бора для понижения его плотности. Для возможности создания сложнопрофильных изделий применен метод горячего шликерного литья модифицированных углеродом керамических порошков с силицированием, что обладает признаками существенной научной новизны.

В 4 главе предложены новые перспективные способы формирования сложнопрофильных изделий из жаропрочных керамических материалов на основе карбида кремния: придание заданной формы изделию из керамики путем механической обработки прессованной заготовки – прототипа изделия, горячее шликерное литье керамики под давлением в обратные аддитивные формы заданной геометрии. Отработана методика высокотемпературных испытаний керамических материалов на изгиб при температурах до 1400 °С в защитной среде с использованием модернизированной испытательной установки.

В *Заключении* содержатся основные выводы по работе, в которых приведены конкретные характеристики полученных керамических материалов и представлены достижения диссертанта.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, результаты проведенных исследований, выводы и публикации автора.

В диссертации получены результаты, имеющие практическую значимость в области машиностроения, обладающие новизной и являющиеся оригинальными. Результаты соответствуют поставленным цели и задачам.

Диссертационная работа А.Н. Белякова на тему: «Жаропрочные керамические материалы на основе карбида кремния для сложнопрофильных изделий машиностроения» соответствует паспорту специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Полученный акт об использовании результатов диссертационной работы подтверждает возможность практического применения результатов исследования.

Замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Автор проводит исследования влияния модифицирующих добавок на свойства карбидокремниевой керамики, после чего разрабатывает технологию получения сложнопрофильного изделия на основе карбида кремния без добавок. Проводились ли исследования по получению сложнопрофильного изделия из модифицированного карбида кремния?

2. Не указаны характеристики используемой в качестве углеродного компонента сажи. Проводились ли исследования влияния сажи разных марок на свойства получаемой керамики на основе реакционно-спеченного карбида кремния?

3. Недостаточно полно объяснен и исследован механизм увеличения прочности на изгиб карбидокремниевой керамики в окислительной среде.

Вместе с тем, указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация А.Н. Белякова представляет законченное исследование, направленное на решение актуальных задач машиностроения.

Заключение по работе

Диссертационная работа Белякова Антона Николаевича на тему: «Жаропрочные керамические материалы на основе карбида кремния для сложнопрофильных изделий машиностроения» отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842 в последней редакции), выдвигаемым к работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В соответствии с п. 9 диссертационная работа Белякова Антона Николаевича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны, в частности в ней содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития двигателестроения и машиностроения Российской Федерации.

Таким образом, диссертационная работа, представленная к защите Беляковым Антоном Николаевичем, имеет новизну и практическую значимость в части отдельных результатов исследования, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент

Дмитрий Олегович Лемешев

Лемешев Дмитрий Олегович

Кандидат технических наук (05.17.11 - Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»

Декан факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов

Адрес: 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

Тел: +7 (910) 408-40-67

e-mail: lemeshev.d.o@muctr.ru

Подпись официального оппонента Лемешева Дмитрия Олеговича заверяю:

*Сотзвон официального оппонента
ознакомлен Беляков А.Н.
31.10.23*

