

ОТЗЫВ

Официального оппонента **Гаршина Анатолия Петровича**
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

Результаты диссертационной работы А.Н. Белякова позволяют использовать новые технологии для производства таких сложнопрофильных керамических элементов, работающих в условиях экстремальных температур, как лопатки, крыльчатки, втулки, узлы газотурбинного двигателя.

Актуальность диссертационной работы заключается в обосновании и решении научной проблемы, связанной с разработкой новых способов получения жаропрочных керамических материалов на основе реакционно-спеченного карбида кремния с повышенными прочностными свойствами для сложнопрофильных изделий специального машиностроения, работающих при температурах 1200 – 1400 °С, в качестве технологической альтернативы металлам.

Научная новизна исследований

1. Впервые на основании анализа экспериментальных данных определена зависимость изменения прочностных и структурных свойств керамических реакционно-спеченных карбидокремниевых материалов от содержания углеродной составляющей (частиц сажи).

2. Впервые продемонстрированы преимущества комплексного использования метода горячего шликерного литья керамики, модифицированной углеродом, с последующим реакционным спеканием (силицированием). Обоснованы технологические аспекты комплексного подхода, позволяющего получать сложнопрофильные изделия с высокими прочностными свойствами и стабильной структурой.

3. За счет применения аддитивной технологии построения объемной растворимой литьевой формы разработаны научно обоснованные параметры технологии сложнопрофильных изделий и тонкостенных элементов из керамики на основе карбида кремния.

4. Обоснована жаропрочность керамических реакционно-спеченных карбидокремниевых материалов в защитной и окислительной среде до температуры 1400 °С.

Теоретическая и практическая значимость работы

Получение керамических элементов сложной геометрии является трудновыполнимой задачей, так как карбид кремния плохо поддается механической обработке, обладает высокой твердостью. Комплексное применение методов горячего шликерного литья композиционных керамических порошков, модифицированных углеродом, с реакционным спеканием открывает новые перспективы для создания сложнопрофильных высокотемпературных изделий, объемные исследования в данной области

керамического материаловедения в полной мере приводятся в диссертационной работе.

Экспериментально показана жаропрочность разработанных реакционно-спеченных керамических материалов на основе карбида кремния в воздушной и защитной среде, по определению параметра предела прочности на изгиб, до температуры 1400 °С. Разработана и внедрена в учебно-образовательный процесс методика высокотемпературных прочностных испытаний.

Кроме того, следует отметить патентные решения Белякова А.Н. непосредственно по теме диссертационной работы:

1. Марков М.А., Перевислов С.Н., Беляков А.Н., Быкова А.Д., Чекурьев А.Г., Каштанов А.Д., Дюскина Д.А. «Способ получения конструкционной керамики на основе тугоплавких карбидов для изделий сложной геометрии». Заявка на патент РФ № 2023103215 от 13.02.2023 г.

2. Марков М. А., Перевислов С.Н., Беляков А.Н., Быкова А. Д., Чекурьев А. Г., Каштанов А.Д., Дюскина Д. А. «Способ получения конструкционной керамики аддитивной технологией для изделий сложной геометрии» Заявка на патент РФ № 2023112697 от 16.05.2023 г.

3. Фадин Ю.А., Марков М.А., Красиков А.В., Быкова А.Д., Беляков А.Н., Герашенков Д.А. Патент на изобретение № 2751459 «Способ оценки износостойкости тонкослойных керамических покрытий с применением метода акустической эмиссии». Дата регистрации 14.07.2021 г.

Достоверность научных положений, выводов и результатов сформулированных в диссертации А.Н. Белякова подтверждена:

– использованием высокоточных современных химических и физико-химических методов исследований, проведенных с использованием аттестованного высокотехнологического оборудования;

– сходимостью экспериментальных результатов, 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.

Структура и объём диссертации

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

Во **введении** можно ознакомиться с положениями, выносимыми диссертантом на защиту. Продемонстрирована актуальность диссертационной

работы, сформулирована практическая и теоретическая значимость. Введение позволяет получить общее представление о проведенном исследовании.

В **первой главе** представлен подробный аналитический обзор, раскрывающий проблематику диссертационного исследования. По результатам аналитического обзора приводятся краткие обобщающие выводы.

Отмечу, что по тексту первой главы выделяются следующие преимущества метода реакционного спекания для получения жаропрочных изделий специального машиностроения на основе карбида кремния:

- сохранение высоких прочностных характеристик при существенно более низкой стоимости производства за счет уменьшения температуры спекания;

- отсутствие изменения геометрических размеров материала после спекания (безусадочная технология);

- получение беспористого материала при различных типах формования (прессование, литье, аддитивные технологии) и, как следствие, возможность изготовления сложнопрофильного изделия с тонкими лопастями.

Во **второй главе** представлены характеристики используемых порошков и материалов, описываются методы исследования.

В **третьей главе** приводятся преимущественно результаты исследований по оценке влияния структурных характеристик на физико-механические свойства карбидокремниевых жаропрочных керамических материалов. Третью главу можно разделить на несколько этапов, которые включают в себя:

- определение наиболее ослабленных зон в высокотемпературных тонкостенных изделиях машиностроения;

- исследование по оценке влияния дисперсного состава шихты карбида кремния на физико-механические свойства формируемых керамик, с учетом варьирования давления формования;

- исследование по оценке влияния модифицирующих компонентов (углерод, волокна) на физико-механические свойства формируемых карбидокремниевых керамик;

- исследование особенностей взаимодействия углерода с карбидом бора в композиционных карбидокремниевых керамиках;

- исследование технологических аспектов получения облегченных керамических высокотемпературных керамик за счет комплексного применения метода горячего шликерного литья керамических композиционных порошков, модифицированных углеродом, на органической выжигаемой связке под давлением с последующим реакционным спеканием.

В **четвертой главе** диссертантом обосновываются и описываются новые способы формирования сложнопрофильных изделий из жаропрочных керамических материалов на основе карбида кремния. Предлагаются следующие перспективные научно-технические решения:

- проведение механической обработки керамических заготовок на избыточной или полимеризованной органической связке, выступающей

фактически как клеевой компонент, с последующим ее удалением (пиролизом). Технология создания прототипа;

– горячее шликерное литье под давлением в водорастворимые аддитивные формы заданных размеров, разработанные с учетом исключения негативного фактора – распухания PVA-пластика в водной среде. Аддитивная технология.

Отдельно в четвертой главе выделен этап, связанный с оценкой высокотемпературных прочностных свойств разработанных керамик по изменению параметра предела прочности на изгиб. На основании испытаний обоснована их жаропрочность при температуре до 1200 °С в защитной среде и до 1400 °С в окислительной среде.

В **заключении** в обобщенном виде изложены результаты работы.

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

Таким образом, все научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, научно обоснованы, достоверность и новизна полученных результатов не вызывает сомнений, результаты прошли апробацию в виде публикаций в рецензируемых журналах и докладах на научных конференциях.

Несмотря на общее положительное впечатление от диссертационной работы, **были сформулированы следующие вопросы и замечания:**

1. Автор использует в работе в качестве дополнительного материала карбид бора, не раскрывая детального отдельного описания происходящих при этом физико-химических процессов, что требует пояснения.

2. Из работы не ясно, почему полученные автором карбидокремниевые материалы с добавкой карбида бора обладают меньшим уровнем положительных свойств по сравнению с керамикой, полученной методом прессования, при отсутствии в составе исходной шихты карбида бора.

3. До конца не обосновано, почему в качестве углеродного модифицирующего компонента для спекания керамики в работе использована сажа. Было бы в данном случае информативно провести сравнительный анализ по другим модификаторам, включая технический углерод типа П-803, углеродные трубки, смолы с углеродным остатком.

Отмечу, что представленные вопросы и замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Общая оценка содержания диссертации

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием широкого набора методов физико-химического анализа, результаты работы изложены последовательно, сопровождаются понятным иллюстративным материалом. Поставленные в работе цель и задачи выполнены.

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

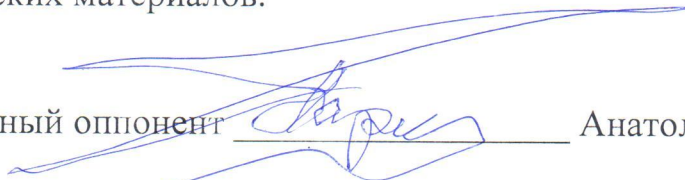
Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в п.1, 2, 4 направлений исследований.

Заключение

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 технологии керамических материалов и машиностроительной отрасли 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  Анатолий Петрович Гаршин

Гаршин Анатолий Петрович

Доктор технических наук (специальность 15.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы), профессор

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Профессор Высшей школы международных образовательных программ

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29

Тел: +7 (911) 187-35-05

e-mail: apgarshin@gmail.com

Подпись официального оппонента Гаршина Анатолия Петровича заверяю:

Директор Высшей школы международных образовательных программ
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

 В.В. Краснощеков

Согласовано
официальным оппонентом
Беляков А.И.
31.0.23

