

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.383.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 25.10.2023 г. № 48

О присуждении Белякову Антону Николаевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Жаропрочные керамические материалы на основе карбида кремния для сложнопрофильных изделий машиностроения» по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов принята к защите 09 августа 2023 г. (протокол заседания № 44) диссертационным советом 24.2.383.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера А), утвержденным приказом Минобрнауки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Беляков Антон Николаевич, 29 сентября 1987 года рождения.

Беляков А.Н. В 2011 году окончил магистратуру в федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», магистр техники и технологии по направлению подготовки «Металлургия». В 2018 году поступил в аспирантуру федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) по направлению подготовки 2.5.3. Трение и износ в машинах, которую окончил в 2022 году. В настоящее время соискатель работает ведущим инженером в лаборатории

«Техническая керамика» НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург. Диссертация выполнена в ИПМаш РАН, Санкт-Петербург.

Научный руководитель – доктор технических наук Марков Михаил Александрович. Работает в должности начальника сектора «Жаростойкая керамика» НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург.

Официальные оппоненты:

Гаршин Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор высшей школы международных образовательных программ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

Лемешев Дмитрий Олегович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, в своем положительном отзыве, подписанном Бессмертным Василием Степановичем, доктором технических наук, профессором кафедры технологии стекла и керамики, указала, что рассматриваемая диссертация может быть оценена положительно. По мнению ведущей организации диссертационное исследование по своему научному и техническому уровню соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Беляков Антон Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Отмечается, что результаты работы А.Н. Белякова представляют большой интерес как для научных, так и для производственных организаций, занимающихся изготовлением высокотемпературных изделий машиностроения.

В целях внедрения разработанных жаропрочных керамических материалов возможно сотрудничество со следующими организациями: ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени «Институт химии

силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН», ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН», АО «Композит», ПАО «ОДК-Сатурн», ООО «Завод технической керамики».

Соискатель имеет 43 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ – 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 на международных и всероссийских конференциях. Авторский вклад соискателя заключается в постановке целей и задач исследования, сборе и анализе литературных данных, синтезе керамических материалов, комплексной физико-химической характеристике полученных материалов и интерпретации результатов исследования, представлении докладов и оформлении статей по теме диссертации.

Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертационного исследования, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые работы автора по теме диссертации:

1. Markov, M.A. Principle of creating functional aluminum coatings reinforced with ceramic particles/ Markov M.A., Gerashchenkov D.A., Kravchenko I.N., Zhukov I.A., Bykova A.D., Gerashchenkova E.Yu., **Belyakov A.N.**, Kuznetsov Yu.A.// Russian Metallurgy (Metally). – 2022. – V. 2022. – № 13. – P. 1725–1728.

2. Markov, M.A. Development of a Method for Evaluating Alumina Ceramic Material the Wear Resistance/ M.A. Markov, Yu.A. Fadin, O.N. Bezenkina, A.D. Bykova, **A.N. Belyakov**// Refractories and Industrial Ceramics. – 2020. – V. 60. – P. 614–617.

3. Markov, M.A. Development of novel ceramic construction materials based on silicon carbide for products of complex geometry / Markov M.A., Krasikov A.V., Bykova A.D., **Belyakov A.N.**, Kravchenko I.N., Erofeev M.N.// Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2021. – V. 50. – № 2. – P. 158–163.

4. Беляков, А.Н. Исследование реакционно-спеченных материалов B_4C-SiC , полученных методом горячего шликерного литья / **Беляков А.Н.**, Марков М.А., Чекурязев А.Н., Дюскина Д.А., Быкова А.Д., Перевислов С.Н. // Физика и химия стекла. – 2023. – Т. 49. – № 3. – С. 346–356.

5. Беляков, А.Н. Исследование структуры и физико-механических характеристик реакционно-спеченных материалов B_4C-SiC / **Беляков А. Н.**, Марков М. А., Перевислов С.Н., Дюскина Д.А., Чекуряев А.Г., Быкова А.Д., Каштанов А.Д. // Новые огнеупоры. – 2023. – № 2. – С. 29–33.

6. Быкова, А.Д. Приработка материалов при возвратно-поступательном трении / Быкова А.Д., Фадин Ю.А., **Беляков А.Н.**, Марков М.А., Шепелевский А.А., Поздняков А.О. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63. – № 4. – С. 310-314.

7. Беляков, А.Н. Современные материалы и их применение при конструировании высокотемпературных изделий для специального машиностроения/ **Беляков А.Н.**, Марков М.А., Дюскина Д.А., Быкова А.Д., Кравченко И.Н., Чекуряев А.Г., Каштанов А.Д. // Новые огнеупоры. – 2023. – № 5. – С. 69–79.

8. Марков, М.А. Перспективные методы получения изделий сложной геометрии из жаростойкого керамического материала на основе карбида кремния/ Марков М.А., Перевислов С.Н., Дюскина Д.А., Горячева Л.А., **Беляков А.Н.**, Чекуряев А.Г., Быкова А.Д., Каштанов А.Д.// Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – 2023. – №2 (65). – С. 47–52.

На диссертацию и автореферат отзывы прислали:

1. Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Шкаруба Нина Жоровна, кандидат технических наук, профессор, Вергазова Юлия Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Метрология, стандартизация и управление качеством» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва.

2. Баньковская Инна Борисовна, доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН», Санкт-Петербург.

3. Фармаковский Борис Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург.

4. Сырков Андрей Гордианович, доктор технических наук, профессор, Кущенко Алексей Николаевич, кандидат технических наук, ассистент, кафедра общей и технической физики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Санкт-Петербург.

5. Сычева Анастасия Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Специальные сооружения ракетно-космических комплексов» ФГБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург.

6. Марченко Екатерина Сергеевна, доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой прочности и проектирования физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск.

7. Карцев Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Бодунов Дмитрий Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория цифровых методов управления жизненным циклом изделий машиностроения ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН», г. Москва.

8. Лысенков Антон Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория физико-химического анализа керамических материалов ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН», г. Москва.

Все отзывы положительные.

В отзывах указывается, что диссертационная работа выполнена по актуальной тематике, обладает научной новизной и практической значимостью, в автореферате полностью отражена суть исследования, представлены новые научно-технические подходы к получению жаропрочных керамических материалов и сложнопрофильных изделий из них, что обосновывается проведением и анализом широкого спектра структурных исследований и физико-механических испытаний керамик, в том числе высокотемпературных. Автор работы заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах содержатся следующие замечания критического характера:

1. Из автореферата не ясно, какой будет разброс размеров изделий (точность изготовления, т.е. допуск) при производстве предлагаемым методом. Возможно ли

использовать разработанные облегченные жаропрочные керамические материалы для восстановления лемехов и плугов?

2. Известно, что поверхность аддитивного пластика обладает рельефностью. Следовательно, поверхность отлитой керамической заготовки после удаления литейной формы будет обладать большой шероховатостью, в отличие от применения полированных металлических литейных форм. Существует ли способы, позволяющие повысить чистоту поверхности керамических заготовок?

3. Отображение дополнительных столбцов в диаграмме (рисунок 3) с массовыми долями кремния, является лишним, так как изменение варьируется в пределах 1-2%. Было бы целесообразно, отобразить текстовую информацию о массовых долях кремния в столбцах с пределами прочности.

4. Чем обусловлено введение пластификатора в керамический порошок в представленных точных количествах в узком интервале до 8-12 % мас. (табл. 6, стр. 15)?

5. Изучалась ли возможность применения других источников углерода для модификации структуры керамики?

6. Перечисленные в автореферате неохлаждаемые высокотемпературные элементы, как правило, не работают на изгиб. В связи с этим следует доработать программу испытаний образцов или изделий, приблизив ее к реальным условиям эксплуатации.

7. Из автореферата неясно, проводились ли технико-экономическая оценка эффективности разработанных способов получения изделий сложной геометрии, их апробация и внедрение на предприятиях машиностроения.

8. Автор говорит, что проводил жаропрочные испытания. На самом деле автор определял высокотемпературную прочность при изгибе. Жаропрочность подразумевает длительные высокотемпературные испытания при максимальной механической нагрузке, которую выдерживает материал без разрушения.

9. В таблице 2 и 3 автор приводит погрешности плотности и прочности при изгибе. И эти погрешности одинаковы для всех 24 составов. Почему значения погрешностей плотностей и прочности при изгибе одинаковы для всех измерений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием

публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны облегченные жаропрочные керамические материалы для сложнопрофильных изделий, обладающие однородным структурным распределением, низкой пористостью, высокими прочностными характеристиками, жаропрочностью.

установлена зависимость изменения структурных и прочностных характеристик реакционно-спеченных керамических материалов в системе «карбид кремния» и «карбид кремния – карбид бора» от содержания модифицирующего углеродного компонента.

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

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

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 свойств материалов, согласно расчетной модели макета изделия с заданными эксплуатационными характеристиками.

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

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны новые способы получения изделий сложной геометрии из жаропрочных керамических материалов на основе карбида кремния комбинацией литейной и аддитивной технологии.

представлены и проанализированы новые результаты о прочностных свойствах керамических материалов на изгиб до 1400 °С в окислительной и защитной среде. На основе анализа экспериментальных данных обоснована жаропрочность разработанных карбидокремниевых керамик, что определяет

перспективы использования таких материалов в высокотемпературных конструкциях, в том числе в центробежных изделиях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность результатов исследования обеспечена осуществлением комплексных исследований с использованием современных физико-химических методов анализа, воспроизводимостью экспериментальных данных и соответствием результатов современному уровню знаний в исследуемой области науки, представленным в публикациях других ученых,

теория основана на достоверных и проверяемых данных и в целом соответствует современным представлениям в научной литературе по теме диссертации,

идея базируется на критическом анализе отечественных и зарубежных литературных данных по тематике исследования, учете и обобщении опыта создания жаропрочных керамических материалов,

использованы известные подходы и соответствующие решаемым задачам методы обработки и теоретического анализа экспериментальных результатов,

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами по аналогичным материалам, представленным в независимых источниках по данной тематике,

использованы современные методики сбора и анализа исходной информации, методы анализа и стандартизованные методики;

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельном оформлении текста диссертационной работы и автореферата, анализе и обработке научно-технической литературы по теме исследования, постановке цели и задач исследования, планировании эксперимента, подборе оптимальных соотношений порошковых материалов, обосновании и реализации научно-технических подходов к синтезу керамик, проведении структурных исследований и физико-механических испытаний материалов, проведении высокотемпературных испытаний по разработанной методике, подготовке научных трудов и результатов интеллектуальной деятельности.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Как можно объяснить повышение предела прочности при изгибе керамик разных составов при увеличении исходного количества углерода?

2. Предел прочности керамики с увеличением содержания углерода возрастает по графику, повышается до максимума и затем падает. Были ли взяты промежуточные точки?

3. Что такое максимальный диаметр пор и как Вы его определяли?

4. Какую сажу Вы использовали в работе?

5. На приведенной рентгенограмме керамического материала «карбид кремния – карбид бора» не очень понятно, как там появился углерод?

6. Почему в технологии керамики применяется именно фенолформальдегидная смола?

7. Как был определен остаточный углерод в заготовке под спекание после пиролиза фенолформальдегидной смолы и как узнать, что пиролиз завершился?

8. У вас научная новизна и практическая значимость похожи, как вы можете это прокомментировать?

9. Сформулируйте более подробно положения защиты.

10. Каковы дальнейшие перспективы использования полученных изделий?

11. Выскажите свое мнение о завершенности реализации данной работы.

12. Каков характер нагружения при высокотемпературных испытаниях на изгиб?

13. Чем Вы объясните малое количество выступлений на конференциях по теме диссертации?

14. Вы занимались керамическим направлением непосредственно в ИПМаш РАН?

Соискатель Беляков А.Н. согласился с замечаниями, ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Чем больше содержится исходного углерода, тем больше в материале вторичного карбида кремния, что влияет на прочность.

2. Я брал выборку по содержанию углерода (на графике), соответственно 5, 10, 15, 20 % мас.

3. В качестве критерия пористости я использовал такой параметр, как максимальный диаметр пор. В концентрированном растворе щелочи из керамики травлением удаляется кремний. Кремний уходит из заготовки, создавая пористость. Параметр определяется с применением электронной микроскопии.

4. Я использовал сажу П-803. Для возможного использования в технологии горячего шликерного литья нужна была сажа с хорошими

гидрофильными свойствами. У сажи марки К-354 смачиваемость жидким кремнием хуже.

5. На рентгенограмме тем не менее представлен углерод, возможно в модификации графита.

6. В работе в качестве пластификатора использована фенолформальдегидная смола. По двум причинам. Во-первых, она дает углеродный остаток при пиролизе. Во-вторых, ее можно подвергнуть полимеризации, благодаря чему керамическая заготовка становится прочной для механической обработки.

7. Процесс пиролиза фенолформальдегидной смолы я сам не рассчитывал, но опирался на литературные данные.

8. Формулировку научной новизны я долго редактировал, обсуждая данные вопросы с коллегами.

9. В первой части работы были установлены структурные и прочностные зависимости спечённых материалов на основе карбида кремния и карбида бора. В дальнейшем эти зависимости были использованы для разработки технологии горячего шликерного литья, с целью создания сложнопрофильного изделия. Для обоснования выбора материалов проведены высокотемпературные испытания на изгиб.

10. Практическая значимость работы представлена в докладе и диссертации. Изделие потенциально будет использовано в турбине космического реактора. Керамика имеет малую плотность, следовательно, она существенным образом облегчает конструкцию, по сравнению с металлами.

11. Изделие уже прошло первые эксплуатационные испытания. Перспективы, безусловно, есть.

12. Нагрузка не ударная, идет постепенное увеличение давления на образец в процессе нагрева до разрушения.

13. На самом деле я принимал участие во многих конференциях. Но конкретно по теме работы выступлений было, действительно, не так много.

14. Да, изучением керамики я занимался непосредственно в ИПМаш РАН.

Диссертация Белякова Антона Николаевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с последующими изменениями).

На заседании 25 октября 2023 года диссертационный совет принял решение: за новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки в области создания жаропрочных керамических материалов для сложнопрофильных изделий машиностроения, имеющие существенное значение для развития отрасли технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в Российской Федерации, присудить Белякову А.Н. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя
диссертационного совета

Брыков Алексей Сергеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Воронков Михаил Евгеньевич

25 октября 2023 года

