

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Воротыло Степана

«СОЗДАНИЕ ЖАРОСТОЙКИХ КЕРАМИКО-МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ В КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ СИСТЕМАХ Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Потребность в высокотемпературных керамиках и композиционных материалах с улучшенными эксплуатационными характеристиками для различных областей применения, в частности, для изделий аэрокосмической промышленности, с каждым годом возрастает. Поэтому диссертация Воротыло С., посвященная созданию иерархически-структурированных керамик с повышенным комплексом механических свойств и стойкостью к окислению, является весьма **актуальной** и своевременной.

Научную значимость имеют следующие результаты исследований. Изучены процессы формирования иерархически-структурированных керамик в системах TaSi₂-SiC, MoSi₂-HfB₂-MoB, ZrB₂-TaB₂-TaSi₂. Впервые показана возможность синтеза в режиме горения композитов, дискретно армированных углеродными волокнами и in-situ нановолокнами SiC_{нв}. Установлено, что добавки тантала катализируют процесс in-situ формирования SiC_{нв} в волне горения смесей Si-C-Ta-C₂F₄-(C_{волокна}). Найдены оптимальные значения температуры горения, диаметра брикетов реакционных смесей и концентрации углеродных волокон, обеспечивающие наибольшее содержание нановолокон в продуктах горения. Установлено, что наличие кремниевого расплава в волне горения смесей Mo-Hf-Si-B играет ведущую роль в формировании прослоек игольчатых субмикронных выделений HfB₂ по границам первичных микронных зерен MoSi₂ и MoB. В системе Ta-Zr-Si-B показана роль кремниевого расплава в формировании метастабильной структуры продуктов горения с ярко выраженными концентрационными градиентами внутри отдельных боридных зерен.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Особый интерес представляют установленные технологические режимы получения новых керамических материалов в системах TaSi₂-SiC, TaSi₂-SiC-SiC_{нв}, TaSi₂-SiC-C_{волокна}-SiC_{нв}, MoSi₂-HfB₂-MoB, ZrB₂-TaB₂-TaSi₂ и результаты исследований их механических характеристик. Другой значимой прикладной задачей, решенной соискателем, является разработка технологии получения трибологических наноструктурных покрытий в системе Ta-Si-C-N с комплексом свойств, превосходящим известные технические решения. Результаты выполненных сравнительных исследований керамик с одноуровневой и иерархической структурой могут служить основой для создания нового поколения керамик конструкционного и функционального назначения, в том числе, работоспособных в экстремальных условиях эксплуатации.

Следует отметить скрупулезность проведенных комплексных исследований микроструктуры, химического и фазового составов, физико-химических, механических, теплофизических и эксплуатационных свойств разрабатываемых компактных и порошковых керамических материалов на всех стадиях получения конечного продукта. Следует особо выделить применение в работе большого количества стандартных и оригинальных методик, высокотехнологичного оборудования и прецизионных приборов. Безусловно, украшением работы является использование просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, грамотная интерпретация

результатов которой позволила установить ряд новых морфологических особенностей в исследуемых структурах.

По автореферату имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. Не ясно влияние процентного содержания добавок (TaSi_2 , HfB_2 , нановолокон $\text{SiC}_{\text{нв}}$) на свойства исследованных керамических композитов.
2. Известно, что силикатные/боросиликатные стекла активно испаряются при температурах $\sim 1750\text{-}1800^\circ\text{C}$, особенно в условиях взаимодействия со скоростными потоками высокоэнтальпийных газов. В этой связи остается не понятным, каким образом на поверхности керамики в системе $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-MoV}$ после газодинамических испытаний при температурах $\sim 2000^\circ\text{C}$ сохраняется значительное количество SiO_2 -стеклофазы?
3. Требуется более детального разъяснения фраза о том, что подслои HfSiO_4 определяют повышенную стойкость керамики в системе $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-MoV}$ к окислению в условиях ГДИ, т.к. температура диссоциации фазы HfSiO_4 составляет $1750\pm 15^\circ\text{C}$, что существенно ниже, чем температура огневых экспериментов.

Автореферат диссертации написан грамотным техническим языком, достаточно проиллюстрирован графическим материалом. Результаты исследований многократно докладывались и обсуждались на отечественных и международных тематических конференциях и симпозиумах, а также были опубликованы в 25 печатных работах, из которых 10 – в научно-технических журналах, входящих в базы данных Scopus/Web of Science, 3 – из перечня ВАК, 2 – свидетельства «Ноу-Хау». По актуальности, научной новизне и практической ценности диссертационная работа заслуживает высокой оценки, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) и заявленной специальности, а ее автор Воротыло Степан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

**Доцент кафедры «Перспективные материалы и технологии
аэрокосмического назначения»**

**ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,**

к.т.н., Астапов Алексей Николаевич

Почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Телефон: +7-499-158-42-64

Адрес электронной почты: Lexxa1985@inbox.ru

Сайт: <http://www.mai.ru>

Подпись Астапова А.Н. удостоверяю.

Директор дирекции института № 9 общинженерной подготовки

**ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,**

**заведующий кафедрой «Перспективные материалы и технологии
аэрокосмического назначения»,**

д.ф.-м.н., профессор Рабинский Лев Наумович



« 11 » июня 2020 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и функциональные покрытия

Актуальность представленной работы заключается в разработке научно обоснованной технологии получения иерархически структурированных керамических материалов предназначенных для работы в условиях сверхвысоких температур. Указанная актуальность подтверждается проведением исследований в рамках проектов Российского научного фонда № 14-19-00273 и № 19-19-00117, государственных заданий Минобрнауки России в сфере науки № 11.1207.2017/ПЧ и № 0718-2020-0014, а также гранта К2-2018-013 в рамках программы повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров «5-100».

Научную значимость имеет выявленная тенденция к формированию иерархических микроструктур (в том числе метастабильных) в волнах горения реакционных смесей, состоящих из одного или двух переходных металлов IV-VI групп, кремния и неметаллического реагента (углерод, бор). Интерес вызывает установленный автором эффект катализа роста карбидокремниевых нановолокон при давлении тантала к реакционным смесям Si-C-C₂F₄.

Практическая значимость работы заключается в разработанной технологии получения иерархически-структурированных сверхвысокотемпературных керамик, газодинамические испытания которых показали повышенную стойкость к окислению по сравнению с композитами с традиционной структурой.

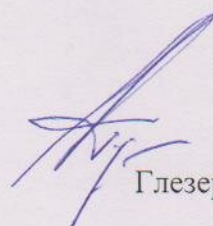
Результаты работы прошли достаточную апробацию и докладывались на Российских и международных научных конференциях, в том числе и за рубежом.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

- 1) Влияние механоактивации исследовано для систем Ta-Si-C и Mo-Hf-Si-B, но не для системы Zr-Ta-Si-B.
- 2) На многих рисунках в автореферате присутствуют английские подписи.
- 3) В подписи рисунка 3 упомянут «Нанокластер TaSi₂», в то время как размер частицы, о которой идет речь, составляет не менее 20 нм и явно превышает размер атомного кластера.

Сделанные замечания не снижают общей ценности представленной работы. Считаю, что диссертационная работа Воротыло С. является завершенной научно-квалификационной работой. Она выполнена на высоком научно-методическом уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертант, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Директор Научного Центра
Металловедения и физики металлов
ГНЦ «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»,
Доктор физ.-мат. наук, профессор



Глезер Александр Маркович

Москва 105005, ул. Радио 23/9, стр.2
ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»,
Тел. (495) 777-93-50
e-mail. a.glezer@mail.ru

«Подпись А.М. Глезера удостоверяю»
Ученый секретарь
ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»



Москвина Татьяна Павловна

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и функциональные покрытия

Проблема повышения стойкости композиционных керамических материалов к развитию хрупкого разрушения в условиях воздействия низких и высоких температур является актуальной проблемой порошкового материаловедения. Увеличение трещиностойкости керамических композитов обеспечит возможность повышения эффективности работы термически и механически нагруженных ответственных узлов и аппаратов. Решение проблемы увеличения трещиностойкости керамик осложняется необходимостью одновременного повышения их твердости. Это определяет актуальность рецензируемой работы, посвященной разработке нового поколения иерархически-структурированных керамик с повышенными трещиностойкостью и твердостью на базе порошков отечественного производства.

Указанная актуальность подтверждается проведением исследований в рамках проектов Российского научного фонда № 14-19-00273 и № 19-19-00117, государственных заданий Минобрнауки России в сфере науки № 11.1207.2017/ПЧ и № 0718-2020-0014, а также гранта К2-2018-013 в рамках программы повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров «5-100».

Среди наиболее значимых достижений автора следует указать, прежде всего, отработку технологических режимов механического активирования (МА) реакционных смесей, а также условия синтеза гетерофазных порошковых материалов на основе $\text{TaSi}_2\text{-SiC}$, $\text{TaSi}_2\text{-SiC-SiC}_{\text{нановолокна}}$, $\text{TaSi}_2\text{-SiC-SiC}_{\text{нановолокна-C}_{\text{волокна}}}$, $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-MoB}$, $\text{ZrB}_2\text{-TaB}_2\text{-TaSi}_2$.

Автором изучены реакционные механизмы, ответственные за формирование в волне горения иерархически-структурированных керамических материалов в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B. Заслуживают особого внимания полученные результаты комплексных исследований структуры, механических, трибологических и эксплуатационных свойств перспективных составов СВТКМ, полученных горячим прессованием и силовым СВС- компактированием, а также результаты исследования осажденных наноструктурных покрытий в системе Ta-Si-C-N, полученных магнетронным распылением катодов-мишеней.

Представленные результаты достоверны, поскольку теоретические исследования выполнялись с использованием базовых положений и фундаментальных основ современного порошкового материаловедения, а экспериментальные — с применением стандартных и оригинальных методик, современной технологической и аналитической аппаратуры.

Замечания:

1. Отсутствует информация о примесном составе исходных порошков и изменениях на различных этапах технологического процесса получения керамических композитов.
2. Не определена термостойкость полученных керамик в условиях воздействия тепловых ударов. Данные соответствующих испытаний могли бы обеспечить возможность оценки ресурса работы изделий из данных керамик при эксплуатации.

Указанные замечания не затрагивают основных положений рецензируемой работы и не сказываются на её общей положительной оценке. Считаем, что представленная работа содержит научную новизну, практическую ценность и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Воротыло Степан, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Доктор химических наук, профессор,
научный руководитель ФГБУН Института
высокотемпературной электрохимии УрО РАН.
620137, г. Екатеринбург, ул. Академическая, 20,
т. 8-343-374-50-89;
zaikov@ihite.uran.ru



Зайков Юрий Павлович
09.06.2020 г.

Кандидат химических наук, старший
научный сотрудник лаборатории
электродных процессов ФГБУН Института
высокотемпературной электрохимии УрО РАН.
620137, г. Екатеринбург, ул. Академическая, 20,
т. 7-950-207-19-46;
suzdaltsev_av@mail.ru



Суздальцев Андрей Викторович
09.06.2020 г.

Подписи Зайкова Ю.П. и Суздальцева А.В.
заверяю,
Ученый секретарь ФГБУН Института
высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
кандидат химических наук



Колупина Анна Олеговна
09.06.2020 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и функциональные покрытия

Работа С. Воротыло направлена на поиск составов и разработку способов получения новых керамических композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, благодаря которым они могут быть использованы для изготовления ответственных термонагруженных деталей. Ввиду того, что некоторые свойства таких керамик являются взаимоисключающими (например, твердость и трещиностойкость), поиск оптимального сочетания состава, структуры и способа их синтеза представляется сложной и важной задачей.

Исходя из автореферата можно сделать заключение, что работа содержит грамотно и логически изложенные результаты и анализ систематических исследований состава и структуры исходных реагентов и конечных продуктов. Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей формирования иерархических микроструктур (в том числе метастабильных) в волнах горения реакционных смесей, состоящих из одного или двух переходных металлов IV-VI групп, кремния и неметаллического реагента (углерод, бор). Соответственно, новые керамические композиты с наиболее оптимальным сочетанием свойств представляются весьма перспективными для широкого практического применения.

Достоверность изложенных в работе результатов и их анализ не вызывают сомнений, поскольку они были получены с использованием комплекса современных физико-химических и физико-механических методов и методик анализа с использованием соответствующего оборудования.

Материалы диссертации хорошо представлены на Международных и Всероссийских профильных конференциях, опубликованы в статьях в рекомендованных ВАК журналах, тезисах докладов в сборниках трудов конференций. По материалам диссертационной работы зарегистрированы 2 ноу-хау, что подтверждает новизну, изобретательский уровень, конкурентоспособность, практическую значимость и актуальность полученных результатов.

Замечания и вопросы по автореферату:

- 1) Стойкость к статическому окислению исследована только для керамик в системе $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-MoB}$, и не исследовалась для других систем. Соответственно, нет возможности сопоставить стойкость к окислению разработанных керамических композитов в разных системах.
- 2) Похожим образом, магнетронные покрытия наносили только из керамических мишеней-катодов состава $\text{TaSi}_2\text{-SiC}$, что не дает возможности сравнить перспективность разработанных систем для нанесения жаростойких покрытий.
- 3) Для исследованных покрытий в системе Ta-Si-C-C были проведены эксперименты по отжигу в воздухе, и указано, что «покрытия продемонстрировали высокую термическую стабильность и стойкость к окислению при нагреве до 800°C », однако не приведены данные о кинетике окисления.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы. По актуальности, научной и практической значимости, достоверности и востребованности результатов, полноте их освещения в печати и апробации на отечественных и зарубежных научно-практических мероприятиях диссертационная работа С. Воротылло удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№842 от 24.09.2013 г.), а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заведующий лабораторией физикохимии и технологии покрытий, д.т.н., г.н.с. Калита Василий Иванович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д.49. Тел. (499)135-96-81, e-mail: vkalita@imet.ac.ru докторскую диссертацию защищал по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.



Калита Василий Иванович

"03" июня 2020 г.

Подпись В.И. Калиты заверяю, Зам. директора ИМЕТ РАН

К.Х.Н.



Шумилкин Николай Сергеевич

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 –

Порошковая металлургия и функциональные покрытия

Во многих областях человеческой деятельности постепенно повышается спрос на высокотемпературные материалы. Наиболее подходящими для этого сегмента считаются керамические материалы. В настоящее время наиболее востребованными подходами к повышению эксплуатационных, в том числе механических, свойств таких материалов считаются создание композита за счет армирования керамическими частицами и волокнами, а также формирования иерархической структуры керамического материала. Диссертационная работа С. Воротыло посвящена как раз разработке способов получения новых дискретно-армированных и иерархически-структурированных керамико-матричных композиционных материалов в системах $\text{TaSi}_2\text{-SiC}$, $\text{ZrB}_2\text{-TaB}_2\text{-TaSi}_2$, $\text{MoSi}_2\text{-HfB}_2\text{-MoB}$. Следовательно, эта работа несомненно обладает актуальностью.

Диссертантом получен целый ряд результатов, представляющих научный интерес и имеющих научную новизну. В частности, с точки зрения возможностей получения новых керамических композитов исследованы процессы горения реакционных смесей Si-C-Ta, Si-C-Ta-(C_2F_4), Ta-Zr-Si-B, Mo-Hf-Si-B, а также структура и фазовый состав продуктов горения. Установлено, что: в волне горения смесей Si-C-Ta- C_2F_4 -($\text{C}_{\text{волокна}}$) добавки тантала катализируют процесс in-situ роста нановолокон карбида кремния; а в волне горения смесей Mo-Hf-Si-B первичные зерна MoSi_2 , HfB_2 и MoB кристаллизуются из кремниевого расплава, а в зоне вторичного структурообразования продукт состоит из зерен MoSi_2 размером до 15 мкм, окруженных прослойками MoB размером до 2-4 мкм и игольчатых зерен HfB_2 размером 0,5 – 1 мкм; в волне горения смесей Zr-Ta-Si-B первичные кристаллы боридов и силицидов тантала и циркония также выделяются из расплава, а в зонах догорания и вторичного структурообразования протекают твердофазные реакции с образованием твердого раствора $(\text{Zr,Ta})\text{B}_2$. Показана роль кремниевого расплава в формировании метастабильной структуры продуктов горения с ярко выраженными концентрационными градиентами внутри отдельных боридных зерен.

Полученные результаты имеют и практическую ценность. В частности, диссертантом установлены благоприятные значения технологических параметров процессов горения и

концентрации армирующих компонентов. На основе полученных результатов зарегистрированы 2 «Ноу-хау», 1 ТУ и разработана 1 ТИ.

Работа выполнена на высоком научном и экспериментальном уровнях. По материалам диссертации имеется 25 публикаций, в том числе 13 статей в журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus, Web of Science, 11 тезисов докладов в сборниках трудов 6 международных конференций

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

- 1) Диссертантом проведены исследования покрытий в системе Ta-Si-C-(N), однако не объясняется, почему для получения покрытий была выбрана лишь одна система из исследованных и почему именно эта;
- 2) В автореферате имеются опечатки, например, в первом же предложении текста в конце вместо точки стоит запятая.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки данной работы.

В целом диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование и полностью отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, в том числе п.п. 9 и 14, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Степан Воротыло, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Колмаков Алексей Георгиевич,
член-корреспондент РАН, д.т.н.,
заведующий лабораторией,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ИМЕТ РАН),
Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр-кт, 49, ИМЕТ РАН
Тел.: 8 (499) 135-45-31,
e-mail: akolmakov@imet.ac.ru

/Колмаков Алексей Георгиевич/

Подпись А.Г. Колмакова удостоверяю:



Зам.директора ИМЕТ РАН И.О. Банных

О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Проблема повышения стойкости керамик к развитию хрупкого разрушения и обеспечения их работоспособности в условиях сверхвысоких температур (свыше 2000 °) является актуальной проблемой материаловедения. Решение проблемы увеличения трещиностойкости керамик осложняется необходимостью одновременного повышения их твердости и износостойкости. Это определяет актуальность рецензируемой работы, посвященной разработке нового поколения иерархических жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с повышенным комплексом механических характеристик и стойкостью к окислению.

Среди наиболее значимых научных достижений автора следует назвать, прежде всего, установленный и описанный эффект к формированию иерархических микроструктур (в том числе метастабильных) в волнах горения реакционных смесей, состоящих из одного или двух переходных металлов IV-VI групп, кремния и неметаллического реагента (углерод, бор). С практической точки зрения значимым является факт установления оптимальных технологических режимов получения новых керамических материалов TaSi₂-SiC (относительная плотность $\rho = 97\%$, твердость $HV_{10} = 19,1$ ГПа, трещиностойкость $K_{1C} = 6,7$ МПа·м^{1/2}), TaSi₂-SiC-SiC_{нано}волокна ($\rho = 98\%$, $HV_{10} = 19$ ГПа, $K_{1C} = 7,8$ МПа·м^{1/2}), TaSi₂-SiC-S_{волокна}-SiC_{нано}волокна ($\rho = 98\%$, $HV_{10} = 19$ ГПа, $K_{1C} = 12,5$ МПа·м^{1/2}), ZrB₂-TaB₂-TaSi₂ ($\rho = 98\%$, $HV_{10} = 19,2$ ГПа, $K_{1C} = 3,5$ МПа·м^{1/2}), MoSi₂-HfB₂-MoB ($\rho = 99,6\%$, $HV_{10} = 19,5$ ГПа, $K_{1C} = 7,16$ МПа·м^{1/2}), а также режимов осаждения трибологических наноструктурных покрытий Ta-Si-C-N с твердостью 26 ГПа, модулем упругости 270 ГПа, коэффициентом трения 0,2 при нагрузке 1 Н, линейной скорости скольжения 10 см/с в паре с контр телом из Al₂O₃ при 800 °С.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

- 1) Не проведены испытания полученных керамик на теплостойкость в условиях термического удара.
- 2) Значения прочности на изгиб приведены только для одной керамики TaSi₂-SiC-S_{волокна}-SiC_{нано}волокна, что не позволяет провести сравнение полученных керамик в данном отношении.

Указанные замечания не затрагивают основных положений рецензируемой работы и не сказываются на её общей положительной оценке.

Заключение

Представленные в автореферате научные и практические результаты свидетельствуют о том, что диссертационная работа Воротыло Степана является научным исследованием, направленным на решение актуальной научно-технической проблемы создания новых жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК при Минобрнауки Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени по научной специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Декан факультета технологии конструкционных материалов,

профессор кафедры «Технология материалов»,

д-р техн. наук (05.16.09 – Материаловедение

(машиностроение)), доцент

Крохалев Александр Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28,

Тел.: (8442) 24-80-13, e-mail: kroch@vstu.ru .

Ведущий инженер Центра коллективного пользования

«Физико-химические методы исследования» ВолГТУ,

канд. техн. наук (05.16.09 – Материаловедение

(машиностроение))

Харламов Валентин Олегович

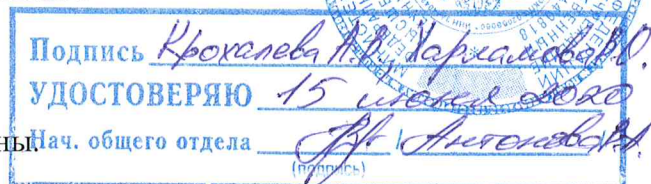
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28,

Тел.: (8442) 23-06-42, e-mail: harlamov_vo@mail.ru

Отзыв подготовлен 15.06.2020.

На обработку персональных данных согласны



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Воротыло Степана «Создание жаростойких керамико-матричных композиционных материалов с иерархической структурой в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и функциональные покрытия

Диссертационная работа Воротыло С. посвящена актуальной проблеме разработки новых керамических материалов для эксплуатации в условиях сверхвысоких температур (2000 – 3000 °С) при одновременном воздействии высоких механических нагрузок. Потребность в подобных сверхвысокотемпературных керамических материалах (СВТКМ) возникает при разработке новейших образцов авиационной и ракетной техники. В частности, СВТК материалы необходимы для деталей проточного тракта различных двигательных систем, носовых обтекателей, передних кромок крыла, газовых рулей и других узлов высокоскоростных летательных аппаратов. Исследования в области создания СВТК материалов на основе боридов, карбидов, нитридов переходных металлов активно проводятся во всем мире. Существенным препятствием для широкого внедрения СВТК материалов является присущая большинству керамик низкая трещиностойкость. Перспективным методом повышения трещиностойкости является армирование керамики различными непрерывными или дискретными волокнами, нитевидными кристаллами, а также формирования иерархических и градиентных структур, в том числе твердых растворов с концентрационными градиентами внутри отдельных зерен.

С учетом вышеизложенного, актуальность выбранной соискателем темы не вызывает сомнений.

Описанные в автореферате результаты диссертационной работы Воротыло С., представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно:

1. обнаружение каталитического действия добавок тантала на процесс роста нановолокон карбида кремния в волне горения смесей Si-C-Ta-C₂F₂-(C_{волокна});
 2. оптимальные условия синтеза, обеспечивающие максимальное содержание нановолокон SiC в продуктах горения системы Si-C-Ta-C₂F₂-(C_{волокна});
 3. реакционные механизмы, ответственные за формирование в волне горения иерархически-структурированных керамических материалов в кремнийсодержащих системах Ta-Si-C, Mo-Hf-Si-B, Zr-Ta-Si-B;
- являются актуальными, обоснованными и представляют научный и практический интерес.

Достоверность проведенных исследований подтверждена использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных, сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов.

Диссертационная работа обладает высокой научно - практической значимостью. Диссертация Воротыло С. представляет собой законченное исследование, выполненное на достаточно высоком научно - техническом уровне, содержит новые научные результаты и положения.

Замечания по диссертационной работе:

1. В диссертации приведены ограниченные данные по прочностным характеристикам разрабатываемых материалов. В частности, отсутствуют данные по прочности материалов при высоких температурах.
2. Из представленной в автореферате диссертации информации трудно оценить количественное содержание нановолокон карбида кремния в спеченных композитах $TaSi_2-SiC$.

Указанное замечание не затрагивает основные положения рецензируемой работы и не сказывается на ее общей положительной оценке.

Заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. Автореферат достаточно полно отражает суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Автореферат дает представление, что Воротыло С. провел актуальное, теоретически и практически значимое научное исследование, выполненное на высоком профессиональном уровне и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Начальник лаборатории
по разработке материалов
на основе нитридов, карбидов и боридов
для изделий ракетной техники, к.ф.-м.н.


10.06.2020 М.Г. Лисаченко

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»
Государственный научный центр Российской Федерации
249031, г.Обнинск, Калужской области, Киевское шоссе, 15
E-mail: info@technologiya.ru, факс (484) 396-45-75

Подпись начальника лаборатории М.Г. Лисаченко заверяю
Начальник ОКА

АО «ОНПП «Технология» им.А.Г.Ромашина»

