

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тимофеева Павла Анатольевича  
«Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов  
и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные  
материалы

Развитие аэрокосмической техники требует создания новых композиционных материалов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками и способных обеспечить работу функциональных узлов при многократной длительной эксплуатации в условиях высоких температур, агрессивных сред и эрозионных потоков. Указанные условия характерны для элементов внешней тепловой защиты многоразовых спускаемых аппаратов, узлов сверхзвуковых газотурбинных двигателей и т. п. Наиболее распространенные УККМ класса  $C_f/SiC_m$  не обеспечивают достижения всего комплекса характеристик объемных образцов по причине наличия градиента свойств, связанного с различной скоростью химического осаждения из газовой фазы на поверхности и в объеме материала.

В диссертационной работе Тимофеева Павла Анатольевича предложен и разработан высокоплотный УККМ с матрицей на основе карбидов, нитридов и боридов кремния, полученный сочетанием метода пропитки полимера с последующим пиролизом (PIP) и газофазного метода (CVI). Его применение в условиях окислительных агрессивных сред в циклическом режиме при рабочих температурах до 1500 К позволит решить проблему недостаточного ресурса традиционных УККМ, что обуславливает *актуальность диссертационной работы*.

Автореферат диссертации позволил заключить, что создан и механически испытан УККМ с керамической матрицей SiBCN. Проведенные эксперименты характеризуют предложенный технологический процесс изготовления как эффективный, экономичный и экологически безопасный. Кроме того, разработаны технические требования к полимерным прекурсорам для формирования керамической матрицы, спроектирована и изготовлена экспериментальная лабораторная установка, позволяющая совместно осуществлять операции пропитки, полимеризации и пиролиза полимера в рамках одного цикла. Данные обстоятельства подтверждают *практическую значимость выполненной работы*.

*Новизна диссертационного исследования* состоит в том, что автору удалось провести полный цикл аналитических, расчетных, опытно-конструкторских и экспериментальных работ по синтезу, исследованию и испытанию УККМ на основе керамической матрицы SiBCN, обладающего высокими физико-механическими характеристиками и окислительной стойкостью в широком диапазоне температур.

По материалам автореферата диссертации можно сделать следующие замечания: 1) в табл. 5 указаны абсолютно одинаковые значения плотности образцов УККМ, полученных с применением различных технологических операций. Кроме того, некорректно сравнивать унос массы образцов с защитным покрытием и без; 2) иллюстративный материал к 3 главе содержит нечитаемые обозначения. Данные замечания не являются критичными и не снижают научной ценности диссертационного исследования.

Анализ автореферата позволяет заключить, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой на актуальную тему, соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор, Тимофеев Павел Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Я даю согласие на обработку моих персональных данных.

Кандидат технических наук

*Бар* 26.02.2018

А.А. Бармин

Фамилия, имя, отчество:

Бармин Александр Александрович

Учёная степень:

Кандидат технических наук

Учёное звание:

не имею

Специальность, по которой  
защищена кандидатская  
диссертация:

01.04.14 – Теплофизика и теоретическая  
теплотехника

Должность:

Ведущий научный сотрудник Центра по  
применению нанотехнологий в энергетике и  
электрообеспечении космических систем

Наименование организации:

Государственный научный центр Российской  
Федерации – федеральное государственное  
унитарное предприятие «Исследовательский  
центр имени М.В. Келдыша»

Почтовый адрес:

125438, Онежская ул., д. 8, г. Москва, Россия

Телефон:

(495) 456-80-83\*769

(495) 456-80-83\*679

Электронная почта:

nanocentre@kerc.msk.ru

Подпись к.т.н. Бармина А.А. удостоверяю

Ученый секретарь

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», к.в.н.



Ю.Л. Смирнов



Отзыв на автореферат диссертации Тимофеева П.А. на тему «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук. Специальность 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

**Актуальность темы выполненной работы и её связь с соответствующей отраслью науки.**

Актуальность темы обусловлена существенным интересом к развитию материаловедения углерод-керамических композиционных материалов. Ряд разработанных отечественных и зарубежных композиций продемонстрировал их высокие преимущества, как то уникальную жаростойкость углеродных композитов и окислительную и эрозионную стойкость керамик. Особенно актуально развитие этой области материаловедения, когда на повестку дня становится разработка новых образцов ракетно-космической техники с относительно длительной эксплуатацией. К этим образцам техники относятся и многоразовые летательные аппараты ракетного типа движения.

Однако технология и материаловедение УККМ ещё далеки от завершения и выбора некоего единственно верного выбора их создания.

Целью диссертационного исследования являлась разработка новой группы УККМ с более эффективным и глубоким распределением керамической матрицы в объёме жаростойких деталей. Такая задача актуальна при создании реальных конструктивных элементов, сопротивляющихся не только окислению внешнего газового потока, но и динамическим нагрузкам. Длительное (часы) сопротивление интенсивным (близким к пределу прочности) циклическим нагрузкам в местах крепления конструкций для жаростойких материалов с керамической матрицей – в настоящее время ещё не решённая задача.

**Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Новизна исследований диссертанта заключается в том, что диссертантом в качестве прекурсоров олигомерных связующих применены оригинальные полиорганосилазановые продукты, синтез, разработка и производство которых выполнены с его участием, что подтверждено патентом РФ.

В своей работе диссертант органично использовал и опыт получения УККМ на основе пиролитических газофазных процессов, создав технологический процесс, объединяющий этот метод с методом пропитки жидкими керамообразующими жидкими прекурсорами.

Такой подход на современном этапе конкурентного развития техники и технологии в области ракетостроения, возможно единственный, который может привести к получению достаточно быстрого и квалифицированного решения задач отечественного ракетостроения. Приоритет в таком решении вопроса так же подтверждён патентом РФ.

Базовые положения методологии в работе используют строгие термодинамические положения, что не только свидетельствует о квалификации диссертанта, но и убеждает в адекватности результатов.

С помощью термодинамического анализа и расчёта равновесного состава продуктов пиролиза получены априорные результаты, являющиеся первым вкладом в потенциальную технологию.

В работе содержатся научно обоснованные научные разработки, имеющие существенное значение, как для развития материаловедения, так и технологии новых типов углеродных композитов:

- проведено моделирование лабораторной автоклавной установки, несомненно, базового прототипа основного термического оборудования при последующей реализации диссертации в промышленное производство;
- обоснованы и экспериментально подтверждены в лабораторной рабочей технологии директивные параметры будущей промышленной технологии;
- проведено исследование основных физико-химических свойств и анализ микроструктуры полученных композитов, убедительно подтвердивший достижение цели настоящей научной работы - создание УККМ с однородным распределением керамической матрицы по всему объёму материала детали.

**На протяжении всей работы прослеживается общая методология и методика исследования,** которые основываются на последовательном решении научно-методических, технологических задач и материаловедческих исследований.

**Обоснованность положительных научных результатов, выводов и рекомендации** следует из результатов эксперимента окислительной и эрозионной стойкости с привлечением оборудования и методик ИПМех. РАН, которые являются в общемировом масштабе убедительными квалификационными испытаниями. Именно по результатам аналогичных испытаний в своё время получили



рекомендации к использованию предыдущие поколения УККМ изделия «Буран».

**Значимость для науки и производства** полученных соискателем результатов заключается и в том, что они служат разработке новых типов УККМ, расширению исследований в материаловедении и в создании новых типов технологических процессов для углеродных технических материалов.

Одним из наиболее значимых результатов работы является разработка технологии получения композиционных материалов, определение оптимальных составов и режимов получения композиций, а также исследование их физико-механических свойств.

Достоверность полученных данных подтверждается применением широкого спектра экспериментальных методик. Квалифицированный и грамотный анализ результатов эксперимента позволил автору получить ряд новых данных, имеющих как прикладное, так и теоретическое значение.

Результаты диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, докладывались на Международных конференциях и семинарах.

Потребности современной техники и промышленности в новых эффективных жаростойких КМ таковы, что **конкретными рекомендациями по использованию результатов диссертационной работы** могут быть предложения о развитии работ в:

- ГНПЦ Газотурбостроения «Салют» в качестве жаростойких покрытий сопловой части современных ГДТ;
- ПАО «НПО «Искра» и АО «Конструкторское бюро химавтоматики» при создании неохлаждаемых элементов сопловых блоков РДТТ и ЖРД.

**Замечанием к автореферату** можно отнести некоторую небрежность мысли и изложения при описании технологической части работы. Например, выражения «среди прочих», «забирают» с собой» и др. Таблица 5, видимо, посвящена оптимизации величины давления в обсуждаемой технологической операции, а не техническому «определению» давления.

Следует отметить, что далее при анализе огневых испытаний литературный строгий язык диссертанта вновь восстановился, как и в начальных разделах автореферата. Конечно, отмеченное свидетельствует о внутреннем волнении автора при написании работы и не умаляет достоинств диссертационной работы в целом.

**На основании изложенного можно утверждать**, что диссертация Тимофеева П.А. является законченной научно - квалификационной работой, в которой

содержится решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний – физико-химии и технологии высокотемпературных композиционных материалов.

По объему проведенных исследований, актуальности, научной новизне, значению для практики она отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тимофеев Павел Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Начальник управления разработки  
и исследования углерод-углеродных  
композиционных материалов  
АО «НИИГрафит», профессор,  
доктор технических наук

Колесников Сергей Анатольевич

111524, Москва, Электродная ул. 2,  
АО «НИИГрафит», +7(985)-722-99-36  
[Skolesnikov02@mail.ru](mailto:Skolesnikov02@mail.ru)

Подпись С.А.Колесникова заверяю,  
учёный секретарь АО «НИИГрафит»,  
канд. техн. наук



Фирсова Татьяна Данииловна  
+7(495) – 672-72-81

«08» 02 2018 г.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«КОНСТРУКТОРСКОЕ  
БЮРО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ»  
(АО «НПК «КБМ»)

Российская Федерация, 140402,  
Московская область, г. Коломна,  
Окский проспект, 42  
Факс (496) 613-30-64, 615-50-04  
Тел. (496) 616-36-69, 616-34-68  
E-mail: kbm-kbm@mail.ru  
<http://www.kbm.ru>  
ОГРН 1125022001851

УТВЕРЖДАЮ  
Первый заместитель

генерального конструктора –  
директор по НИОКР и  
инновационному развитию



В.А. Коновалов

02 . 2018 г.

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

*на автореферат диссертации Тимофеева Павла Анатольевича  
«Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов  
и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров»*

Для повышения тактико-технических характеристик изделий ракетно-космической техники (РКТ), работающих в условиях высоких и ультравысоких температур, агрессивных сред, эрозионных потоков **необходимо создание композиционных материалов (КМ)** с тугоплавкими многокомпонентными керамическими матрицами, а также разработка способов их получения.

Решение проблемы разработки отечественных высокотемпературных материалов для защиты наиболее теплонагруженных элементов конструкций изделий РКТ возможно за счет создания перспективных углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) и совершенствованию технологий их получения.

В настоящее время наибольшую степень промышленно-технологической и экспериментальной отработанности имеют УККМ на основе карбидокремниевой матрицы C-SiC.

Диссертационная работа Тимофеева П.А., направленная на **исследования** в области керамоматричных композиционных материалов и **создание технологии** получения УККМ методом пиролиза полимерных прекурсоров с кремниевыми, углеродными или азотными элементами, позволяющей существенно расширить диапазон керамических матриц по химическому составу и, соответственно, область

применения УККМ за счет снижения времени изготовления и стоимости, является **актуальной и приоритетной**.

Автором проделана трудоёмкая **методическая и экспериментальная работа** с привлечением широкого круга современных методов исследования. В результате получена важнейшая по своей значимости информация, представляющая большой научный интерес для дальнейшей разработки УККМ, обладающих высокими физико-химическими характеристиками и стойкостью к термоциклированию, что позволит использовать их в качестве внешней теплозащиты летательных аппаратов, а также элементов сверхзвуковых газотурбинных двигателей.

**Научная новизна** результатов исследования заключается в том, что в диссертации:

для определения условий нежелательного образования свободных кремния и углерода, негативно влияющих на механические свойства и окислительную стойкость УУКМ, проведен термодинамический анализ равновесного состава системы Si-B-C-N в различных соотношениях компонентов;

для формирования керамической матрицы карбидов, нитридов и боридов кремния был выбран состав кремнийорганического прекурсора – полисилазана, модифицированного бором,

установлены оптимальные технологические параметры процесса PIP, позволяющие формировать высокоплотный УККМ с минимальной пористостью

**Практическая значимость** работы заключается в том, что:

разработан и внедрен в производство технологический процесс изготовления УККМ с керамической матрицей SiBCN,

разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка для формирования керамической матрицы, позволяющая совмещать пропитку, отверждение и пиролиз полимера для формирования матрицы требуемого состава;

УККМ, матрица которых сформирована комбинированным способом (CVI+PIP), в сочетании с наружными покрытиями могут быть использованы для внешней теплозащиты, а также для элементов сверхзвуковых газотурбинных двигателей.

Результаты проведенных исследований на современном оборудовании позволяют утверждать о высоком качестве экспериментов и их достоверности.

Судя по автореферату, работа прошла широкую **апробацию** на семинарах и конференциях различного уровня, основные результаты опубликованы в



10 статьях, из которых 3 статьи - в изданиях, входящих в список рекомендованных ВАК, получены 2 патента.

Из представленного списка публикаций по теме диссертации следует, что основные научные положения, выводы и рекомендации разработаны автором лично.

Автореферат написан литературным технически грамотным языком, стиль материала изложения материала доказательный.

### **Выводы.**

Диссертация Тимофеева Павла Анатольевича является завершенным научно-квалификационным трудом, выполненным автором самостоятельно на актуальную тему.

Работа отвечает требованиям Положения ВАК России о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Заместитель начальника  
научно-технического отделения,  
доктор технических наук



В.Г. Новиков

Начальник технологического отделения



В.А. Костарев



ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ»

(АО «НИИМаш»)

Строителей ул., д.72, г. Нижняя Салда,

Свердловской области, 624740

Факс: (34345) 3-06-54, 3-17-03

E-mail: mail@niimashspace.ru

ОКПО 39927894, ОГРН 1026600786574,

ИНН/КПП 6622000374/662201001

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д212.132.05  
Т.А. Лобовой

Ленинский проспект, 4, г. Москва, НИТУ  
"МИСиС"  
119049

От \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

12022018 № 081/1394  
на Ваш от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_



С.А. Булдашев  
02 2018 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Тимофеева Павла Анатольевича**

«ФОРМИРОВАНИЕ МАТРИЦ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КАРБИДОВ, НИТРИДОВ И БОРИДОВ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА ПЛИМЕРНЫХ ПРЕКУРСОРОВ» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

**Актуальность темы** обусловлена необходимостью создания новых композиционных материалов, способных обеспечить надежную работу деталей и узлов из них при многократной и длительной эксплуатации в условиях высоких температур, агрессивных сред, эрозионных потоков.

**Целью исследований** является создание технологии получения УУКМ на основе карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров с кремниевыми, углеродными или азотными элементами для использования в изделиях аэрокосмической техники.

**Новыми результатами**, полученными автором в диссертационной работе, являются:

- на основе термодинамического анализа взаимодействия исходных компонентов системы Si-B-C-N-H определены условия существования областей с наименьшими концентрациями свободного углерода и кремния в матрице, которые негативно влияют на механические свойства и окислительную стойкость УККМ;
- установлено определяющее влияние давления в реакционной зоне на стадии отверждения полимера на плотность керамической матрицы, что обусловлено формированием пониженной молекулярной массы полимера в условиях вакуума;

### Практическая ценность

Разработаны технические требования к полимерным прекурсорам для формирования керамической матрицы карбидов, нитридов и боридов кремния, на основании которых совместно с АО "ГНИИХТЭОС" был синтезирован полисилазан, модифицированный бором (патент RU 2546664 оп. 10.04.2015).



Разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка для формирования керамической матрицы, позволяющая совместно осуществлять операции пропитки, полимеризации и пиролиза полимера в рамках одного цикла PIP.

На основе выявленных закономерностей влияния технологических параметров процесса PIP на плотность на плотность и фазовый состав матрицы, определены оптимальные условия формирования высокоплотного УККМ с минимальной пористостью при сокращении времени изготовления с 800 до 400 часов. Способ запатентован (патент RU 2603330 оп. 27.11.2016).

На основании сравнительных лабораторных и стендовых испытаний, рекомендованы для использования в качестве внешней теплозащиты многоразовых спускаемых аппаратов, а также элементов сверхзвуковых газотурбинных двигателей композиционные материалы, полученные методом CVI+PIP, как обладающие высокими физико-механическими характеристиками и стойкостью к термоциклированию при температурах до 1500 К.

Разработан и принят в ОАО "Композит" технологический процесс № 932.01200.05380 "Технологический процесс изготовления УККМ с керамической матрицей SiBCN"

**Обоснованность** правильности решения и **достоверность** результатов подтверждается использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных, использованием современных методов исследования, включающих вычислительные эксперименты с применением программных комплексов FlowSimulation, TERRA, и физическими экспериментами, выполненными в ИПМех РАН, ОАО "Композит"

По теме диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 3 статьи в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, получены два патента.

Основные положения диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на международных конференциях.

#### **Замечание**

Из текста автореферата не понятно влияние давления на изменение равновесного состава системы Si-B-C-N-H при проведении термодинамического анализа. По данным, представленным на рисунке 3 автореферата, сделать выводы об изменении равновесного состава системы Si-B-C-N-H в указанных диапазонах температур затруднительно.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследования, не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и общую положительную оценку диссертационной работы.

#### **Заключение**

Из содержания автореферата можно сделать вывод, что диссертация Тимофеева П.А. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа выполнена на высоком научном уровне.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа соответствует кандидатскому уровню по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, а ее автор Тимофеев Павел Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Начальник группы НКПО-81



Е.В. Семкин

Семкин Е.В., 36-516



Акционерное общество  
«Государственный ракетный центр  
имени академика В.П.Макеева»  
(АО «ГРЦ Макеева»)  
Российская Федерация, Челябинская область,  
г. Миасс

---

✉ Тургоякское шоссе, 1, г. Миасс,  
Челябинская область, 456300  
☎ 351-3/28-63-70 📠 351-3/55-51-91; 24-12-33  
Телеграфный адрес: «Рубин» 624013  
E-mail: src@makeyev.ru  
ОКПО 07549733, ОГРН 1087415002168  
ИНН/КПП 7415061109/742150001

---

От 05.02.18 № 9/176

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## О Т З Ы В

на диссертацию Тимофеева П.А. «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Диссертационная работа посвящена созданию технологии получения углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) на основе карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров с кремниевыми, углеродными или азотными элементами.

Следует отметить актуальность данной работы, так как применяемые в настоящее время для работы в высокотемпературных газовых потоках углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) нуждаются в совершенствовании в части повышения окислительной стойкости в кислородсодержащих средах.

Лучшей окислительной и эрозионной стойкостью обладают углерод-керамические композиционные материалы (УККМ) с армирующим каркасом из углеродного волокна и керамической матрицей, так как углеродный каркас обладает высокими физико-механическими характеристиками (ФМХ), а керамическая матрица обеспечивает окислительную стойкость в достаточно широком интервале температур.



Проведенный автором анализ литературных данных показал, что в настоящее время в мире активно развивается метод получения УККМ путем пропитки преформы (каркаса) предкерамическим полимером с последующим пиролизом (PIP-Polymer Infiltration and Pyrolysis).

Исследования в области керамоматричных композиционных материалов (КМ), полученных с применением РІР способа, позволяющего создавать керамические матрицы в широком диапазоне по химическому составу, а значит расширить и область применения УККМ, относятся к актуальным и приоритетным.

Для достижения поставленной цели по созданию технологии получения УККМ РІР способом автором успешно решены следующие задачи, имеющих новизну и практическую значимость, а именно:

- проведен термодинамический анализ системы Si-B-C-N-H при различных соотношениях компонентов для интервала температур 600-2400 К и давлений  $10^{-4}$  –  $10^2$  МПа, установлены условия существования областей с наименьшими концентрациями свободного углерода и кремния в матрице, негативно влияющие на механические свойства и окислительную стойкость УККМ;

- разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка для формирования керамической матрицы, позволяющая совмещать пропитку, отверждение и пиролиз полимера при диапазоне рабочих температур от 293 до 1173 К и давлении от 10 до  $8 \cdot 10^5$  Па;

- показано, что при давлении 0,2 МПа на стадиях пропитки, отверждения и 0,6 МПа на стадии пиролиза и температуре отверждения 543 К, окончания пиролиза – 1073 К формируется высокоплотный КМ с минимальной пористостью не более 2,5%, а время изготовления материала сокращается с 800 до 400 часов, по сравнению с методом химического осаждения из газовой фазы (CVI способ);

- использование в качестве прекурсора керамики полисилазана, модифицированного бором, позволило получать УККМ с физико-

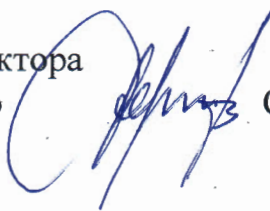
механическими характеристиками, превосходящими материалы типа  $C_f/SiC_m$ , матрица которых сформирована CVI способ;

- проведены лабораторные и стендовые испытания УККМ, полученных методами CVI, RIP и комбинированным CVI+ RIP способами, показано преимущество по совокупности физико-химических свойств и стойкости к окислению материалов, матрица которых сформирована комбинированным способом с последующим нанесением внешнего карбидокремниевого покрытия.

Особая практическая значимость проведенных работ заключается в том, что на основании проведенных исследований разработан технологический процесс №932.01200.05380 изготовления УККМ с керамической матрицей SiBCN, такие материалы могут быть рекомендованы для использования в качестве внешней теплозащиты многоразовых спускаемых аппаратов.

Учитывая новизну, перспективность и практическую значимость выполненных работ по совершенствованию УККМ, стойких в окислительных средах к воздействию интенсивных механических и тепловых нагрузок, по мнению АО «ГРЦ Макеева» работа соответствует предъявляемым требованиям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Заместитель генерального конструктора  
по технологическому обеспечению



Сергей Сергеевич Чернов

Начальник отдела  
неметаллических материалов



Виктор Никитич Савельев

Главный учёный секретарь НТС



Сергей Тимофеевич Калашников





ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

**ИСКРА**



**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР**

Ул. Академика Веденеева, 28, г. Пермь, 614038, Россия, тел. (342) 262 72 00  
факс (342) 284 53 98, (342) 284 54 54, справочная (342) 262 71 09 e-mail:iskra@iskra.perm.ru

Дата 12.02.2018 № к исх. 615-180

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тимофеева Павла Анатольевича на тему «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, боридов и нитридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06—Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Обеспечение надёжной работы деталей и сборочных единиц в условиях воздействия высокоскоростных потоков, перепадов температур и агрессивных сред в современном машиностроении требует новых подходов к формированию матричных структур композиционных материалов. Известно, что к числу таких структур относят углерод-керамические и углерод-углеродные композиционные материалы которые получают широко известным методом осаждения элементов из газовой фазы в процессе пиролиза. Для высоконагруженных узлов обычно используют углеродные волокна, а точнее, углеродные каркасы, обладающие наиболее высокими физико-механическими характеристиками в сочетании с карбидокремниевой матрицей, обладающей высокой стойкостью к окислительным воздействиям. Однако, насыщение толстостенных деталей достаточно проблематично из-за градиента свойств из-за различной скорости осаждения адсорбционно и в объёме материала. С экономической точки зрения, процесс осаждения из газовой фазы является затратным из-за продолжительности работы оборудования для формирования

возможностями пропитки каркасов и пиролиза позволили автору работы сформулировать актуальную задачу образования, в конечном итоге, карбидов, нитридов и боридов кремния для использования в технологиях производства изделий аэрокосмической техники.

Для достижения поставленной цели автором работы логично сформулированы и решены научные задачи, включающие:

- анализ термодинамического состояния при взаимодействии компонентов системы «кремний-бор-углерод-азот»;
- детальное изучение свойств кремнийорганического прекурсора – полисилазана;
- разработку специальных технических требований для создания уникального лабораторного оборудования для совмещения процессов пропитки, отверждения и пиролиза полимера для создания задаваемой структуры;
- исследование закономерностей влияния температуры и давления на кинетику формирования матрицы с акцентом на пористость;
- исследование структуры, окислительных и физико-механических свойств формируемых матриц.

Судя по автореферату, автор диссертационной работы аналитически и критически подошёл к обзору состояния проблемы создания многокомпонентных керамических матриц и пришёл к выводу о перспективности направления создания углеродных керамических композиционных материалов методом жидкофазной пропитки матриц предкерамическим полимером и последующим пиролизом.

Автор работы в автореферате представил пошаговые исследования, которые привели к следующим результатам:

- получены материалы, матрицы которых сформированы комбинированным методом ((CVI+ PIP), с высокими техническими характеристиками;
- установлены условия существования областей с наименьшими концентрациями свободного углерода и кремния, которые могут негативно влиять на механическую прочность и окислительную стойкость УУКМ;



– по результатам исследований выявлено влияние технологических факторов процесса пиролиза на плотность и фазовый состав матрицы.

Оптимальные уровни температуры и давления позволяют формировать высокоплотный композиционный материал с низкой пористостью:

– получены материалы с использованием комбинированного метода формирования матриц с высокими ФМХ и рекомендованы (с оговоркой нанесения последующего внешнего покрытия) для практической реализации.

**Положения, выносимые на защиту**, в полной мере соответствуют поставленной цели и научным задачам исследований.

**Практическая значимость** результатов работы подтверждена результатами реализации с применением созданной при участии автора специальной экспериментальной пилотной установки, позволившей осуществить 3-х стадийный процесс в рамках одного цикла при получении углерод-керамического композиционного материала

**Личный вклад автора**, судя по автореферату, не вызывает сомнений. Диссертация на соискание кандидата технических наук обладает квалификационными признаками законченного научного исследования.

Построение диссертационной работы автора, судя по автореферату, выглядит последовательным и логичным, начиная с синтеза полисилазана и последующими этапами исследований в соответствии с поставленными научными задачами.

**С негативной стороны следует отметить:**

– не указана доля участия автора диссертации в технологии синтеза полисилазана, модифицированного бором, которая производилась в АО «ГНИИХТЭОС»,

– на стр. 21(абзац 3 после таблицы 5) упоминается о внешнем покрытии, способствующем повышению стойкости к окислению, тогда как в тексте автореферата по главам исследований информации не приводится,

– перечень публикаций, приведенный в автореферате представлен с отступлениями от ГОСТ Р7.0-2009.

**В целом**, несмотря на отмеченные негативные стороны, диссертационная работа автора является завершенным научно-

квалификационным исследованием, содержит новизну в развитии представлений о формировании матриц композиционных материалов из карбидов, боридов и нитридов кремния. Результаты исследований представляются достоверными и практически значимыми, достаточно апробированными и опубликованы в печати в соответствии с установленными требованиями ВАК для кандидатских диссертаций.

Диссертационная работа автора соответствует п.9 «Положения ВАК о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением №842 Правительства РФ от 24.09.2013 года, а соискатель **Тимофеев Павел Анатольевич** заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06- технология и переработка полимеров и композитов.

*Отзыв заслушан и одобрен на заседании секции №2 НТС ПАО НПО «Искра»  
14.02.2018 года.*

Главный химик ПАО НПО «Искра»,  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАКЦ

**Шайдурова Галина Ивановна**

[sgi615@iskra.perm.ru](mailto:sgi615@iskra.perm.ru) тел. (342) 262-70-76

Начальник отдела,  
кандидат технических наук

**Васильев Игорь Львович**

[vil615@iskra.perm.ru](mailto:vil615@iskra.perm.ru) тел. (342) 262-70-10

Подписи д.т.н. профессора Шайдуровой Г.И. и к.т.н. Васильева И. Л.  
заверяю

Ученый секретарь НТС кандидат  
технических наук, доцент



**Лобковский Сергей Анатольевич**

[lsa802@iskra.perm.ru](mailto:lsa802@iskra.perm.ru) тел. (342) 262-71-90



## Отзыв

На автореферат диссертации Тимофеева П.А.  
на тему: «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В диссертационной работе Тимофеева П.А. решается проблема разработки перспективной технологии получения углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) с матрицей на основе карбидов, нитридов и боридов кремния, полученной методом пиролиза разработанных с участием автора полимерных прекурсоров.

Автором проведен термодинамический анализ взаимодействия компонентов в системе Si-B-C-N и определены условия существования зон с наименьшими концентрациями C и Si в матрице, негативно влияющих на механические свойства и окислительную стойкость создаваемых УККМ, что позволило разработать технические требования к полимерным прекурсорам и в итоге синтезировать один из типов прекурсора – полисилазан, модифицированный бором.

В рамках выполненной работы разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая исследовать влияние операций пропитки, полимеризации и пиролиза полимера на свойства и состав матрицы и сформулировать оптимальные условия формирования высокоплотного УККМ при сокращении времени изготовления с 800 до 400 часов.

УККМ, полученные по разработанной технологии прошли сравнительные лабораторные испытания и рекомендованы для использования в качестве внешней теплозащиты элементов конструкции ракетно-космической техники, работающих в условиях термоциклирования при температуре до 1500К. По результатам работ разработан и оформлен «Технологический процесс №932.01200.05380 изготовления УККМ с керамической матрицей SiBCN».

В 5-ой главе диссертации, как это следует из реферата, помещены сравнительные результаты стендовых испытаний образцов, полученных по разным технологиям, которые показывают, что метод PIP целесообразно

разным технологиям, которые показывают, что метод РІР целесообразно использовать с привлечением технологий CVI и CVD.

К замечаниям по содержанию представленной в автореферате работы следует отнести отсутствие информации о том, как изменится время изготовления при применении технологий CVI + РІР+ CVD в сравнении с технологией CVI + CVD, показавшей наилучшую эрозионную стойкость.

Данное замечание не уменьшает актуальность и значимость выполненной работы, а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

Ведущий научный сотрудник, к.т.н.  
АО «Корпорация «МИТ»,  
127273, г. Москва, Березовая аллея, д.10  
Тел. 8 (499) 907-37-74  
e-mail:mitemail@uymail.ru

Шевченко  
Эдуард Ефимович

Подпись ведущего научного сотрудника  
Шевченко Эдуарда Ефимовича      заверяю

Ученый секретарь НТС  
АО «Корпорация «МИТ»



Горбунова  
Мария Борисовна



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ПАО ТМКБ "СОЮЗ"



А.Ф.Шульгин

2018 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тимофеева Павла Анатольевича  
«Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов  
кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Диссертационная работа Тимофеева Павла Анатольевича посвящена формированию матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена растущими потребностями в композиционных материалах в аэрокосмической промышленности ввиду их способности длительное время сопротивляться интенсивным высокотемпературным окислительным потокам, обладая высокими прочностными характеристиками. Актуальность работы подтверждается соответствием ее тематики ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно – технического комплекса России на 2014 -2020 годы» по направлению «Транспортные и космические системы».

Целью исследования является разработка технологии получения углерод - керамических композиционных материалов, позволяющая создавать высококачественную армированную керамику сложных составов при существенном сокращении технологического времени по сравнению с известными технологиями.

В ходе проведения автором теоретических и экспериментальных работ получены интересные результаты, обладающие существенной научной новизной. В работе приведены расчеты термодинамических зависимостей и данные о влиянии соотношения исходных технологических параметров и концентраций компонентов на состав и свойства формируемой керамики. При этом, в отличие от мировых аналогов, автор использует в предлагаемой технологии кремнийорганический полимер класса полисилазанов, что отражено в полученных патентах. Автор с использованием новых

научных идей выявил существенные зависимости влияния на коксовый остаток при пиролизе полимера термодинамических параметров, позволяющих управлять составом керамики.

Предложенная автором технология может быть использована при производстве элементов прямоточных воздушно-реактивных двигателей для высокоскоростных летательных аппаратов.

Результаты диссертационной работы отражены в 10 научных статьях, из которых 3 опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК, диссертант является автором 2 патентов РФ.

Автореферат написан грамотным научным языком. В качестве недостатка автореферата следует отметить, что автор недостаточно обосновал в его тексте определяющее влияние давления на плотность получаемой матрицы. Однако это не снижает общей положительной оценки и не подвергает сомнению актуальность работы, ее научную и практическую ценность.

В целом представленная в автореферате диссертационная работа является законченным научным трудом, выполнена на высоком научном уровне, а ее автор Тимофеев Павел Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Советник генерального директора



Н.Н. Яковлев

Яковлев Николай Николаевич (к.ф.-м.н.)

Советник генерального директора

ПАО Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз»

140080, Московская область, г. Лыткарино, Промзона Тураево, стр.10.

Телефон: 8 (495) 552-15-43

E-mail: [info@tmkb-soyuz.ru](mailto:info@tmkb-soyuz.ru)



Список Яковлева Н.Н. заверен:  
[Подпись]





НПО ТЕХНОМАШ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «РОСКОСМОС»  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТЕХНОМАШ»  
(ФГУП «НПО «Техномаш»)

127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131  
тел.: (495) 689 50 66, факс (495) 689 73 45  
e-mail: info@tmnpo.ru www.tmnpo.ru

ОКПО 07527638, ОГРН 1037739453982, ИНН 77 15012448, КПП 77 1501001

Иск. от 23.01.2018 № 005-05/366

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В диссертационный совет  
Д 212.132.05  
при НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 4  
Факс: (499) 236-21-05

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»

Входящий № 11-288  
23 января 20 18 г.

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Тимофеева Павла Анатольевича на тему:

«Формирование матриц композиционных материалов  
из карбидов, нитридов и боридов кремния  
методом пиролиза полимерных прекурсоров»

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

**Предметом** диссертационной работы П.А. Тимофеева является проведение исследований и разработка перспективной технологии получения углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) на основе карбидов, нитридов и боридов кремния, обеспечивающих надежную работу деталей и узлов из них, работоспособных в условиях высоких температур, агрессивных сред и эрозионных воздействий, в том числе в изделиях аэрокосмической техники (АКТ).

Тема является **актуальной**, поскольку традиционные технологии получения таких материалов не обеспечивают в полной мере возросших требований к свойствам и качеству получаемых по этим технологиям деталей.

**Цель работы** – создание технологии получения УККМ на основе карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров с кремниевыми, углеродными или азотными элементами для использования в изделиях АКТ.

Автором диссертации решены следующие **научные задачи**:

проведен термодинамический анализ взаимодействия компонентов в системе Si-B-C-N и определены условия образования в керамическом материале свободных кремния и углерода, снижающих механические свойства и окислительную стойкость конечного композита;

выбран оптимальный состав кремнийорганического прекурсора — полисилазана для синтеза SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiB<sub>4</sub>, SiB<sub>6</sub> в процессе формирования керамической матрицы УККМ;

исследованы закономерности влияния температуры и давления на кинетику формирования матрицы и определены значения этих параметров, обеспечивающих минимальную пористость конечного УККМ.

### **Научная новизна**

На основе термодинамического анализа взаимодействия исходных компонентов системы Si-B-C-N определены условия существования областей с наименьшими концентрациями свободного углерода и кремния в матрице, которые негативно влияют на механические свойства и окислительную стойкость УККМ. Установлено определяющее влияние давления в реакционной зоне на стадии отверждения полимера на плотность керамической матрицы, что обусловлено формированием пониженной молекулярной массы полимера в условиях вакуума.

**Практическая значимость** работы сводится, в основном, к разработке и изготовлению оригинальной экспериментальной лабораторной установки, позволяющей совместить операции пропитки, отверждения и пиролиза полимера при формировании матрицы заданного состава, а также к разработке комплекта технологической документации на процесс получения УККМ системы Si-B-C-N для изделий АКТ.

### **Публикации**

Основное содержание диссертации отражено в 10 научных работах, в том числе в 3 научных статьях в рецензируемых изданиях, входящих в Перечень ВАК, получено 2 патента.

**В качестве замечания** по диссертационной работе отметим, что, в частности, при исследовании зависимости степени заполнения полисилазаном пор армирующего каркаса от технологических параметров стадий пропитки и отверждения автор диссертации ограничился всего лишь двумя переменными



факторами (температура, давление) и не использовал в этом исследовании, например, методы планирования эксперимента. Указанный недостаток не снижает общей положительной оценки работы.

### Заключение

Диссертация П.А.Тимофеева является законченной научно-квалификационной работой, содержит решение актуальной задачи получения перспективных УККМ из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров для изделий аэрокосмической промышленности.

Диссертация выполнена П.А.Тимофеевым самостоятельно, на достаточно высоком научно-техническом уровне, соответствует паспорту специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

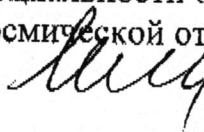
По актуальности темы, полученным результатам диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор П.А.Тимофеев заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Доктор технических наук по специальности 05.02.01

– Материаловедение ракетно-космической отрасли,

главный научный сотрудник

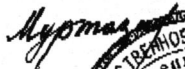
« 23 » 01 2018 г.

 Юрий Михайлович Должанский

Подпись Юрия Михайловича Должанского заверяю.

Учёный секретарь научно-технического совета

кандидат технических наук

 Муртазин Джамиль Азадович



Должанский Юрий Михайлович,

доктор технических наук, доцент,

академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского,

главный научный сотрудник отделения научно-технического сопровождения создания изделий РКТ


федерального государственного унитарного предприятия

«Научно-производственное объединение «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, Москва, 127018, а/я 131,

тел. (495) 689-97-04 доб. 24-27, e-mail: [info@tmnpo.ru](mailto:info@tmnpo.ru)

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Председатель НТС АО КБХА,  
Главный конструктор  
д.т.н.



В.Д. Горохов

« 26 » 12 2018 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

***Тимофеева Павла Анатольевича***

***«Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров»***, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

***Предметом*** диссертационной работы П. А. Тимофеева является проведение исследований и разработка перспективной технологии получения углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) на основе карбидов, нитридов и боридов кремния, обеспечивающих надежную работу деталей и узлов из них, работоспособных в условиях высоких температур, агрессивных сред и эрозионных воздействий, в том числе в изделиях аэрокосмической техники.

***Актуальность темы*** подтверждается высоким интересом к разработкам новых окислительностойких композиционных материалов и технологий их изготовления. Традиционные технологии получения таких материалов не обеспечивают в полной мере возросших требований к свойствам и качеству получаемых по этим технологиям деталей.

***Цель работы*** – создание технологии получения УККМ на основе карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров с кремниевыми, углеродными или азотными элементами для использования в изделиях аэрокосмической техники.



Автором диссертации решены следующие *задачи*:

- проведен термодинамический анализ взаимодействия компонентов в системе Si-B-C-N для определения условий нежелательного образования свободных кремния и углерода, которые негативно влияют на механические свойства и окислительную стойкость УККМ;
- выбран состав кремнийорганического прекурсора - полисилазана, для синтеза SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiB<sub>4</sub>, SiB<sub>6</sub> в процессе формирования керамической матрицы;
- разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка, позволяющая совмещать пропитку, отверждение и пиролиз полимера для формирования матрицы требуемого состава;
- исследованы закономерности влияния технологических параметров (температура, давление) на кинетику формирования матрицы с минимальной пористостью;
- исследована структура, физико-механические свойства и стойкость к окислению при высоких температурах полученных композиционных материалов;
- разработан комплект технической документации получения УККМ на основе системы Si-B-C-N для изделий аэрокосмической техники.

### ***Научная новизна***

На основе термодинамического анализа взаимодействия исходных компонентов системы Si-B-C-N-H определены условия существования областей с наименьшими концентрациями свободного углерода и кремния в матрице, которые негативно влияют на механические свойства и окислительную стойкость УККМ. Установлено определяющее влияние давления в реакционной зоне на стадии отверждения полимера на плотность керамической матрицы, что обусловлено формированием пониженной молекулярной массы полимера в условиях вакуума.

***Практическая значимость*** работы сводится к разработке технологии формирования керамических матриц сложного состава высокого качества в относительно сжатые сроки с применением созданного в работе лабораторного оборудования.

### ***Публикации***

Основное содержание диссертации отражено в 10 научных работах, в том числе в 3 научных статьях в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, получено 2 патента РФ.

К диссертационной работе следует сделать следующее *замечание*. В работе не указано суммарное время процесса CVI+PIP+CVD, а также свойства получаемого композиционного материала в зависимости от его толщины. Однако замечание не снижает общего положительного впечатления от диссертационной работы.

### ***Заключение***

Диссертация П.А. Тимофеева является законченной научно-квалификационной работой, содержит решение актуальной задачи получения матриц УККМ из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров для изделий аэрокосмической промышленности.

Диссертация выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, соответствует паспорту специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

По актуальности темы, полученным результатам диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор П.А. Тимофеев заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Главный металлург АО КБХА

«28» 12 2018 г.



В. М. Астрединов

Подпись Астрединова В.М. заверяю.

Ученый секретарь НТС АО КБХА, д.т.н.

«  »        2018 г.



А.Ф. Ефимочкин

М.П.

Астрединов Виталий Митрофанович,

главный металлург Акционерного общества «Конструкторское бюро  
Химавтоматики» (АО КБХА),

адрес: 394006, г. Воронеж, ул. Ворошилова. 20,

тел: 473-234-64-37,

e-mail: ogm.134@mail.ru



## Отзыв

об автореферате диссертации Тимофеева П.А. на тему «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – порошковая металлургия и композиционные материалы

Прогресс в реализации перспективных конструкций техники, в том числе и аэрокосмической, предопределяется созданием и использованием новых материалов. Указанные автором соединения кремния применяются для разработки широкого круга материалов преимущественно по керамической (порошковой) технологии. Автор в своем исследовании использует относительно новый прием – метод пропитки пористой заготовки и пиролиз подготовленного объекта.

Объектом его исследования является регулирование фазообразования в четверной системе Si–B–C–N(H) с целью получения планируемого материала. Для реализации этой задачи автор провел комплексное исследование, включающее термодинамический анализ взаимодействия компонентов в системе, решение технологических проблем, нацеленных на оптимизацию параметров технологии, обеспечивающих получение матриц с минимальной пористостью, осуществил комплекс материаловедческих исследований формирования матрицы с регулируемой пористостью. Следует отметить и факт разработки лабораторной установки, позволяющей решать такую задачу.

Научная новизна заключается в установлении взаимосвязи между параметрами получения «матрицы» и ее составом с оптимальными структурно-механическими свойствами, обеспечивающими возможность применения новых материалов в аэрокосмической технике.

Практическая значимость – это способ получения материалов для внешней теплозащиты многоразовых спускаемых аппаратов, газотурбинных двигателей и деталей машин, аппаратов работающих в условиях воздействия высоких температур, агрессивных сред, и подтверждается двумя патентами РФ с участием автора.

Появляющиеся при ознакомлении с авторефератом замечания не могут снизить высокую оценку представленной автором научной разработки.

Считаем, что представленное диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно автором, в которой на основании проведенных экспериментов разработаны научно обоснованные параметры технологии композиционных высокотемпературных материалов, что имеет значение для материаловедения. Автор работы, Тимофеев Павел Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Доктор технических наук (специальность 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»), профессор, заведующий кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».



Пантелеев Игорь Борисович

Адрес: 1900013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 26

Тел.: +7 (812) 316-67-65 E-mail: pantel'eev@inbox.ru

Доктор технических наук (специальность 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»), профессор, профессор кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».



Орданьян Сергей Семенович

Адрес: 1900013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 26

Тел.: +7 (812) 316-67-65 E-mail: ctramic-department@yandex.ru



И.Ю. Кротова



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор



АО «УНИИМ»

В.Ю. Чунаев

2018 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тимофеева П.А.

«Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Диссертационная работа П.А. Тимофеева посвящена получению углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) методом пропитки преформы и пиролиза (PIP) с применением предкерамических полимеров. Актуальность работы подтверждается повышением стойкости керамической матрицы в окислительной среде за счет введения в нее бора, что позволяет обеспечить работоспособность деталей в изделиях аэрокосмической техники при многократном длительном воздействии агрессивных сред и высоких температур.

Автором проведен глубокий термодинамический анализ при выборе состава кремнийорганического прекурсора, а также параметров получения керамической матрицы. Важным является создание на основании рассчитанной автором математической модели экспериментальной установки, совмещающей пропитку, отверждение и пиролиз полимера.

Разработка технической документации на изготовление УККМ на основе системы Si-B-C-N, получение патента на изобретение способа получения высокоплотного УККМ при сокращении времени изготовления, безусловно, выражают практическую значимость работы.

Работа выполнена на высоком научном и практическом уровне, использовались современные методы исследований. Проведены лабораторные и стендовые испытания композиционных материалов, позволяющие рекомендовать КМ, полученный с применением разработанной технологии и обладающий высокими физико-механическими

характеристиками и стойкостью к термоциклированию при температурах до 1500К, для использования в качестве внешней теплозащиты многоразовых спускаемых аппаратов.

Результаты диссертационной работы в полной мере изложены в рецензируемых научных изданиях и докладывались на международных конференциях.

Автореферат написан грамотным научным языком. В качестве недостатка следует отметить очень мелкий шрифт на рисунках 2-6, 9, а также отсутствие в автореферате результатов испытаний на окислительную стойкость полученных композиционных материалов в ГНПЦ Газотурбиностроения «Салют».

В целом представленная в автореферате диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, выводы и результаты которой имеют как научную, так и практическую значимость.

Работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Соискатель Тимофеев Павел Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Рецензент кандидат технических наук  
Портнова Екатерина Николаевна  
инженер-химик 1 категории отдела материаловедения  
АО «Уральский научно-исследовательский институт  
композиционных материалов»  
614014, г. Пермь, ул. Новозвягинская д.57  
тел. (342) 263-15-60  
e-mail: uniikm@yandex.ru

*Екатерина Портнова*  
14.02.18г.

Подпись Портновой Е.Н. удостоверяю:

*Н.О.* Начальник службы управления персоналом

М.П.



*Н.А. Хасанова*

Н.А. Хасанова