

**Акционерное общество  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

**(АО «ЦНИИСМ»)**

141371, Московской обл., г. Хотьково, ул. Заводская  
Тел. 993-00-11, факс 8 (49654) 3-82-94  
Телетайп 846203 «ЗАРЯ»  
e-mail: [tsniism@tsniism.ru](mailto:tsniism@tsniism.ru)  
[http:// www.tsniism.ru](http://www.tsniism.ru)  
ИНН/КПП 5042003203/504201001

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор и  
главный конструктор

**АО «ЦНИИСМ»**

доктор технических наук



А.Ф. Разин

« 22 » 02 2018 г.

**Отзыв**

ведущей организации АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» на диссертацию Тимофеева Павла Анатольевича «Формирование матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06- Порошковая металлургия и композиционные материалы

Среди перспективных по жаропрочности конструкционных материалов приоритетное место занимают углерод-углеродные композиционные материалы обладающие уникальным сочетанием свойств: высокой удельной прочностью и жесткостью вплоть до температур 2600К, несклонностью к ползучести, низким КЛТР и др. Однако использование этих материалов сдерживается крайне низкой жаростойкостью в кислородосодержащих средах, особенно в высокоскоростных потоках диссоциированного или ионизированного воздуха. Существует великое множество путей повышения областей применения данного класса материалов с использованием

специальных керамических матриц, получаемых по золь-гель технологии, нанотехнологии, высокотемпературного синтеза, осаждения из газовой фазы методом CVI с использованием в том числе монометил-силана, реакционно-диффузионного метода силицирования с использованием нитрида кремния, жидкофазного метода с использованием поликарбосиланов, полиорганосилаксанов и т.д.

Однако качественный скачок в развитии высокотемпературного материаловедения может быть достигнут только при разработке рентабельных процессов получения ККМ.

Учитывая это, диссертацию Тимофеева П.А., посвященную разработке технологии получения углерод-карбидокремниевых материалов с укорочения технологическим циклом, можно признать выполненной на актуальную тему.

Диссертация состоит из введения, пяти глав общих выводов и приложений А, Б, В.

Работа содержит 121 страницу машинописного текста, 60 рисунков, 21 таблицу. Список литературы включает 85 наименований.

**Во введении** содержится актуальность темы, сформулированы цель и решаемые задачи, отмечены научная новизна, практическая значимость и изложено содержание диссертации.

**В первой главе** приведен обзор применяемых высокотемпературных жаростойких материалов, дано описание некоторых видов армирующих каркасов и способов получения керамических матриц.

**Во второй главе** изложены методы экспериментального исследования, использованные автором в процессе выполнения данной работы.

**В третьей главе** с помощью термодинамического анализа выявлены диапазоны технологических параметров и соотношение элементов в исходном полимере для образования керамики требуемого состава.

**В четвертой главе** приведены результаты исследования физических свойств разработанного и принятого к применению полимера, и результаты отработки технологии получения композиционного материала на разработанной автором лабораторной автоклавной установке.

**В пятой главе** приведены результаты оценки физико-механических и теплофизических характеристик полученных материалов.

Отметим основные научные результаты, полученные автором.

К наиболее важным результатам исследования, характеризующим его новизну, могут быть отнесены:

1. Термодинамический анализ взаимодействия исходных компонентов системы Si-B-C-N-H, позволивший оценить влияние водорода, азота и бора на равновесный состав системы и определить условия для минимизации содержания нежелательных свободного кремния и углерода в получаемой керамической матрице.

2. Результаты экспериментальных исследований по оценке влияния давления в реакционной зоне на стадии отверждения полимера на плотность керамической матрицы, позволившие сформулировать рекомендации по выбору режимов на стадии отверждения и пиролиза модифицированного бором полисилазана, обеспечивающие формирование высокоплотного УККМ с минимальной пористостью при существенном сокращении времени изготовления композита.

3. Экспериментально-теоретическое обоснование минимально необходимого числа циклов «пропитка-отверждение-пиролиз», прекурсора керамики полисилазана, модифицированного бором, позволяющего получать УККМ с рядом характеристик, превосходящих карбидокремниевые композиты, серийно выпускаемые по технологии CVI.

4. Результаты комплекса высокотемпературных испытаний моделирующих реальные условия эксплуатации различных теплонагруженных узлов аэрокосмической техники, позволяющие рекомендовать разработанные УККМ и технологии их получения для



изготовления деталей, длительно работающих в условиях высоких температур, агрессивных сред, эрозионных потоков, в том числе, и в режиме циклической эксплуатации.

Оценивая полученные результаты, можно констатировать, что новизна проведенных исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений.

Значимость для науки и производства полученных результатов определяется следующим:

- данная работа ориентирована на разработку технологии PIP, в которой в качестве прекурсора керамической матрицы выступает относительно новый прекурсор на основе модифицированного бором полисилазана. Найдены соотношения элементов в системе Si-B-C-N и режимы процессов, обеспечивающие минимальное содержание нежелательных свободных углерода и кремния в синтезируемой многокомпонентной керамической матрице;

- разработаны технологические процессы позволяющие совместно осуществлять операции пропитки, полимеризации и пиролиза в рамках одного цикла PIP и получать высококачественные УККМ при сокращении времени изготовления с 800 до 400 часов;

- применение комбинированной технологии CVI+PIP+CVD позволяет создать УККМ с более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с композитами, получаемыми по технологиям CVI или PIP, что подтверждено серией испытаний, моделирующих реальные условия эксплуатации изделий.

Разработанные автором материалы и технологии могут быть рекомендованы для использования в организациях ФГУП «ВИАМ», ОАО «Композит», АО «НИИграфит», ОАО «УНИИКМ». Организации ОАО «Композит» предлагается продолжить исследования по оптимизации технологии получения материала данного класса на различных армирующих каркасах и применительно к конкретным объектам.

Обоснованность и достоверность полученных результатов  
подтверждается использованием автором современных методов экспериментальных исследований.

Автореферат и список публикаций полностью отражают содержание диссертации.

По работе можно сделать следующие замечания.

1. Недостаточно обоснован и аргументирован выбор армирующего каркаса для проведения исследований.
2. Отсутствуют сведения по стадийному контролю плотности и пористости при получении композиционных материалов.
3. Рисунок 5.3б не соответствует техническому описанию по толщине и составу плотной пленки.
4. Отсутствует обоснование технико-экономической эффективности разработанных автором материалов и технологии.
5. В диссертации встречаются грамматические и технические опечатки:
  - неверно приведен состав материала «Гравимол»;
  - на странице 16 не указан № рисунка;
  - на странице 17 и в таблице 1.2 неверно указаны уровни температур;
  - на странице 38 нет определенности в толщине образцов;
  - на страницах 41 и 42 пропущено обозначение символа компонента;
  - на странице 60 указан необъяснимо высокий уровень давления;
  - отсутствует рисунок 4.14.

Высказанные замечания в основном носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших исследованиях.

Диссертация по области исследования соответствует паспорту специальности 05.16.06- Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Работа выполнена в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемыми к кандидатским диссертациям. Представленная диссертация

является научно-квалификационной работой, которая содержит решения формирования матриц композиционных материалов из карбидов, нитридов и боридов кремния методом пиролиза полимерных прекурсоров. Тимофеев Павел Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании секции № 1 Научно-технического совета АО «ЦНИИСМ» протокол от 19 февраля 2018 года № 4.

Первый заместитель  
генерального директора и  
главного конструктора,  
доктор технических наук, профессор



Кульков А.А.

Начальник лаборатории,  
кандидат технических наук

Антипов Е.А.