

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

### «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 5/итоговый

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.577.21.0090

Тема: «Разработка технологии получения наноструктурированных керамических материалов нового поколения на основе нитридов, карбидов и оксидов для космической и атомной промышленности»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов

Период выполнения: 22.07.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 117.00 млн. руб.

Бюджетные средства 75.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 42.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью «Завод технической керамики»

Ключевые слова: Наноструктурирование, высокотемпературные материалы, керамика, нанокompозит, оксиды, карбиды, нитриды, физико-механические свойства, высокопрочные материалы.

#### 1. Цель проекта

Создание наноструктурированных керамических материалов, модифицированных углеродными нанокластерами, с улучшенными физико-механическими свойствами и значительно превосходящими существующие аналоги по следующим параметрам: с пониженной не менее чем в 10 раз пористостью, повышенными в 2 и более раза трещиностойкостью, в 1,5 раза и более стойкостью к термоудару, в 1,3 раза и более теплопроводностью.

Разрабатываемая методика позволит получать керамический материал с улучшенными физико-механическими свойствами, значительно превосходящими существующие аналоги по параметрам: трещиностойкость (в 2-2,5 раза), относительная пористость (до 10 раз), теплопроводность (до 3 раз) позволит обеспечить качественный прорыв в современной космической и атомной промышленности.

#### 2. Основные результаты проекта

Объектами исследования являются методы, технологии, аппаратура и составы материалов для экспериментальной отработки лабораторной технологии получения беспористых наноструктурированных керамических материалов на основе нитридов, карбидов и оксидов, модифицированных углеродными нанокластерами, с улучшенными физико-механическими свойствами.

Цель работы - создание наноструктурированных керамических материалов, модифицированных углеродными нанокластерами, с улучшенными физико-механическими свойствами и значительно превосходящими существующие аналоги по параметрам: с пониженной не менее чем в 10 раз пористостью, повышенными в 2 и более раза трещиностойкостью, в 1,5 раза и более стойкостью к термоудару, в 1,3 раза и более теплопроводностью.

Целью работы на первом этапе был выбор направления исследований, теоретические и экспериментальные исследования поставленных перед ПНИ задач.

В процессе работы на 1-м этапе сделан обзор публикаций и поведен анализ патентных данных, относящихся к способам создания беспористых керамических материалов с улучшенными физико-механическими свойствами, проведены патентные исследования, выбрано направление исследований и пути решения поставленных задач. Показано, что наиболее перспективным способом является сочетание метода высокоэнергетической обработки, позволяющего осуществлять наноструктурирование исходных компонент одновременно с их смешиванием, с методикой высоких давлений и температур. Проведена сравнительная оценка вариантов возможных решений: в том числе: существующих методов понижения пористости керамики; основ повышения трещиностойкости с сохранением высокой твердости; методов подавления рекристаллизации в процессе спекания. Разработаны научные и технологические принципы получения НКМ, в том числе на основе оксидной,

карбидной и нитридной керамики путем высокоэнергетической механоактивационной обработки, выполнен выбор методов создания НКМ на основе нитридов, карбидов и оксидов, модифицированных углеродными нанокластерами. Разработан план экспериментальных исследований. Проведены структурные исследования исходных материалов (нитридов, карбидов и оксидов, полученных традиционными способами). Экспериментально определены закономерности влияния добавления модифицирующих углеродных нанокластеров на средний размер частиц порошкового наноматериала. Выполнена закупка материалов и оборудования для выполнения ПНИ, проведены работы по материально-техническому обеспечению работ и по достижению показателей результативности проекта.

Целью работы на втором этапе были теоретические и экспериментальные исследования процессов получения порошков наноматериалов, модифицированных углеродными нанокластерами.

В процессе работы на 2-м этапе проведена разработка научных и технологических принципов консолидации порошковых наноматериалов, изготовлены экспериментальные образцы порошковых наноматериалов на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики, разработаны программа и методика испытаний полученных экспериментальных образцов, проведены испытания экспериментальных образцов порошков наноматериалов по разработанной программе и методикам испытаний и структурные исследования полученных экспериментальных образцов порошков наноматериалов, разработаны методики получения экспериментальных образцов НКМ из наноструктурированного порошкового материала. За счет внебюджетных средств проведены работы по материально-техническому обеспечению работ и по достижению показателей результативности проекта. Проведены исследовательские испытания процессов модификации порошков наноматериалов углеродными нанокластерами. Разработаны научные и технологические принципы консолидации порошковых наноматериалов. Изготовлены экспериментальные образцы порошковых наноматериалов на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики в количестве 6 штук. Разработаны программы испытаний. Проведены испытания по программе испытаний. Проведены структурные исследования 6 образцов. Разработана методика получения экспериментальных образцов НКМ.

Целью работы на третьем этапе были экспериментальные исследования процессов компактирования порошков наноматериалов, модифицированных углеродными нанокластерами.

В процессе работы на 3-м этапе изготовлены экспериментальные образцы НКМ, проведены испытания экспериментальных образцов НКМ по разработанной Программе и методикам испытаний и исследования по установлению закономерностей влияния добавок модифицирующих углеродных нанокластеров на физико-механические свойства НКМ на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики. Проведены дополнительные патентные исследования. За счет внебюджетных средств проведены работы по материально-техническому обеспечению работ и по достижению показателей результативности проекта. Проведены исследовательские испытания процессов компактирования порошков композитных керамик, модифицированных углеродными нанокластерами.

Целью работ выполняемых на четвертом этапе настоящего ПНИ являются оптимизация свойств, состава и параметров получения НКМ, а также экспериментальные исследования механических и функциональных свойств полученных образцов наноструктурных керамических материалов, модифицированных углеродными нанокластерами.

В процессе работы на четвертом этапе оптимизированы составы и режимы получения НКМ, изготовлены образцы НКМ, проведены испытания экспериментальных образцов НКМ, разработан лабораторный регламент получения НКМ, а также проведены структурные исследования экспериментальных образцов НКМ на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики полученных по разработанному лабораторному регламенту и сопоставление результатов теоретических исследований и результатов экспериментальных исследований. За счет внебюджетных средств, проведены работы по материально-техническому обеспечению работ и по достижению показателей результативности проекта. Получены экспериментальные образцы наноструктурированного керамического материала на основе нитридов, карбидов и оксидов, модифицированных углеродными нанокластерами, обладающие следующими свойствами:

- пористость, не более 0,01%
- размер зерна нанокристалла, не более 20 нм
- трещиностойкость, не менее 15 МПа\*м<sup>1/2</sup>
- стойкость к термоудару свыше 20 теплосмен
- теплопроводность, не менее 40 Вт/м К

Целью работ выполняемых на пятом этапе настоящего ПНИ являются сравнительные испытания НКМ на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики с аналогами полученными традиционными способами, сопоставление полученных результатов с результатами анализа научно-технической литературы с оценкой эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем, разработка и обоснование технических требований и предложений по эксплуатации разрабатываемых НКМ, а также разработка проекта ОТР для проведения дальнейших работ в области создания нового класса высокопрочных и высокотемпературных керамических материалов для космической и атомной промышленности.

В процессе работы на пятом этапе проведены работы по сравнению свойств НКМ на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики с аналогами полученными традиционными способами, проведены сопоставление полученных результатов с результатами анализа научно-технической литературы и оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем, разработка и обоснование технических требований и предложений по эксплуатации разрабатываемых НКМ, а также разработан проект ОТР для проведения дальнейших работ в области создания нового класса высокопрочных и высокотемпературных керамических материалов для космической и атомной промышленности.

Новизна результатов и их соответствие мировому уровню подтверждается опубликованными работами по результатам проекта в ведущих журналах.

Работы ведутся в соответствии с планом работ и соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту и ожидается достижение запланированных в рамках проекта показателей.

Полученные результаты превышают по показателям аналогичные работы, определяющие мировой уровень.

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

Патент, заявка № 2016142907 от 01.11.2016 г., «Керамический материал на основе нитрида кремния и способ его получения», РФ;

Патент, заявка № 2016142905 от 01.11.2016 г., «Способ получения керамического материала на основе карбида бора», РФ.

#### 4. Назначение и область применения результатов проекта

Разрабатываемые наноструктурированные керамические материалы нового поколения на основе нитридов, карбидов и оксидов предназначены для космической и атомной промышленности:

- Керамические элементы для защиты от износа;
- Керамические элементы скольжения, качения, различные уплотнения и подвижные элементы;
- Компоненты из керамики для электрической изоляции;
- Компоненты из керамики для термической изоляции и режущего инструмента;
- Керамические пластины, корпуса, лопатки термоустойчивые;
- Детали и части высокотемпературных печей;
- Утилизация тепла распада радиоактивных изотопов и энергии деления урана;
- Элементы защиты от радиационного излучения;
- Датчики и пускатели, элементы управления.

#### 5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение результатов проекта, в первую очередь, за счет повышения трещиностойкости более чем в 2 раза, позволит снизить вес изделий, что существенно для космической промышленности, одновременно повысив срок службы, что существенно повышает надежность, являющейся одним из определяющих факторов в атомной промышленности.

#### 6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Полученные в результате выполнения проекта результаты обладают высоким потенциалом коммерциализации. Общий объем рынка композиционных материалов на основе оксидной, карбидной и нитридной керамики составляет 3-5 триллионов рублей в год. Доля рынка разработанных материалов может достигать 1 миллиарда рублей в год. Разработанные материалы могут быть коммерциализованы в виде следующих изделий: керамические элементы для защиты от износа, керамические элементы скольжения, качения, компоненты из керамики для электрической изоляции, керамические пластины, корпуса, лопатки термоустойчивые, чехлы термодар, изоляционные трубки, элементы защиты от радиационного излучения, датчики и пускатели, элементы управления, керамические наконечники в резектоскопах и эндоскопах, имплантаты и эндопротезы, имплантируемые системы, их элементы.

Более точные оценки объема рынка, номенклатуры производимых изделий и потребительских способностей могут быть сделаны на этапе проведения ОТР.

#### 7. Наличие соисполнителей

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»). Цель работы заключается в разработке функционального керамического пьезоэлектрического материала для действующей модели автономного генератора переменного напряжения (2014-2016 г.).

федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
"Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных  
материалов"

Директор

(должность)

Бланк В.Д.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

#### Руководитель работ по проекту

Научный сотрудник

(должность)

Евдокимов И.А.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

М.П.