

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 4

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.

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

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**

### **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

Технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции будут разработаны на 5 этапе проекта.

## 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

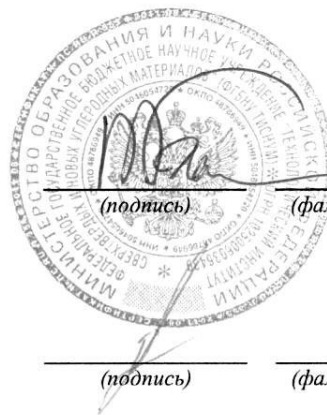
(должность)

Руководитель работ по проекту

\_\_\_\_\_  
Научный сотрудник

(должность)

М.П.



\_\_\_\_\_  
Бланк В.Д.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_  
Евдокимов И.А.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)