

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 2

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-02-2018-1070, Внутренний номер соглашения 14.574.21.0158

Тема: «Разработка технологии получения новых функциональных керамоматричных композиционных материалов, с улучшенными электрофизическими и термомеханическими свойствами для оборонной, электронной и авиакосмической промышленности»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

Период выполнения: 26.09.2017 - 30.06.2020

Плановое финансирование проекта: 126.60 млн. руб.

Бюджетные средства 60.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 66.60 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева"

Индустриальный партнер: Акционерное общество "НЭВЗ-КЕРАМИКС"

Ключевые слова: технология, керамоматричные композиты, оксид алюминия, карбид бора, карбид кремния, углеродные нанотрубки, оксид циркония, эвтектическая композиция, свойства

1. Цель проекта

Создание нового класса передовых керамоматричных композитов с добавлением армирующих и упрочняющих структур и разработка технологий синтеза:

1) на основе керамических матриц: оксида алюминия или оксид алюминия – оксид циркония – оксид иттрия, дисперсионно-упрочненные эвтектическими структурами (стеклообразующими/леганты-модификаторы) или армирующими структурами в виде допированных азотом углеродных нанотрубок (УНТ) или дискретных поликристаллических волокон из частично стабилизированного диоксида циркония - в качестве элементов бронеструктур;

2) на основе бескислородных керамических матриц: карбид кремния (SiC) или эвтектическая композиция диборид циркония-карбид циркония (ZrB₂-ZrC), армированные допированными УНТ с добавками или наноструктурированной алюмомagneзиальной шпинели, или наноструктурированного тетрагонального диоксида циркония (TRZ) играющих роль объемного экранирования от высокотемпературного окисления - в качестве теплонагруженных узлов и элементов КС и ГТД.

3) на основе бескислородной керамической матрицы карбида бора (B₄C), дисперсионно-упрочненного наноструктурированным карбидом кремния и армирующей структурой в виде допированных УНТ – в качестве облегченных броневых панелей для вертолетов 6-го поколения.

— на основе бескислородной керамической матрицы карбид бора – наноструктурированный вольфрам (B₄C-наноW) пластифицирующим металлическим сплавом Al/Mg корпусов внешней бортовой электроники;

4) усовершенствование технологии синтеза керамоматричных композитов на предприятии индустриального партнера: - на основе матрицы оксида алюминия, легированной эвтектическими субмикронными структурами в качестве подложек ИМС и элементов бронеструктур различной геометрии с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

2. Основные результаты проекта

Разработаны программные модули: программный модуль моделирования процесса измельчения (высокоэнергетического смешения), программный модуль моделирования импульсно-плазменного спекания, программный модуль автоматического поиска информации. Разработана предметная онтология в области нанокompозитов. Разработаны математические модели: математическая модель сушки дисперсных материалов, математическая модель определения свойств композитов. Впервые разработана математическая модель определения свойств композитов для матрицы, основой которой является корундовая керамика, а дисперсная армирующая фаза – углеродные нанотрубки.

Проведены экспериментальные исследования: по выбору составов стеклообразующих добавок; физико-химических и

реологических характеристик суспензий – шликеров композитов из Al_2O_3 ; сушки гомогенной композиционной шихты, шликеров из Al_2O_3 ; по кинетическим параметрам процесса ламинирования керамических композитов на основе Al_2O_3 ; по отработке процесса предварительного отжига и спекания компаундов; по исследованию кинетических параметров процессов консолидации композитов на основе Al_2O_3 , армированного дискретными волокнами из ZrO_2 и упрочненного частицами частично стабилизированного ZrO_2 методом одноосного горячего прессования; по исследованию кинетических параметров процесса консолидации керамоматричных композитов составов: эвтектическая композиция $Al_2O_3 - ZrO_2 - Y_2O_3$, армированная УНТ и Al_2O_3 , упрочненного наночастицами частично стабилизированного ZrO_2 и УНТ. Разработаны лабораторные регламенты получения экспериментальных образцов композитов на основе $Al_2O_3/УНТ$, лабораторный регламент получения экспериментальных образцов композитов на основе оксидной керамической матрицы из оксида алюминия (с содержанием $Al_2O_3 \geq 96\%$) дисперсионно-упрочненных субмикронными частицами стеклообразующего минерализатора с низким порогом кристаллизации, обеспечивающего растягивающие непрерывные структуры в матрице композита; лабораторный регламент получения экспериментальных образцов композитов на основе оксида алюминия (с содержанием $Al_2O_3 \geq 99,5\%$), легированного окислами-модификаторами. Получены керамоматричные композиты: композит с матрицей из оксида алюминия, дисперсионно-упрочненный модифицированными субструктурными эвтектиками; композит с матрицей из оксида алюминия; композит с матрицей на основе эвтектической композиции в системе $ZrO_2 - Al_2O_3 - Y_2O_3$, армированной модифицированными углеродными нанотрубками от 0,5 до 2,0 об. %; композит для электронной промышленности на основе оксида алюминия, дисперсионно-упрочненный модифицированными эвтектическими композициями, обладающий высокой чистотой поверхности (по 14 классу) с $Ra \sim 0,015$ мкм. Для получения композита В4С- $nanoW$ разработана УЗ-прессовая оснастка мощного воздействия на прессуемый порошковый материал. Был найден оптимальный состав смеси, который при УЗ-прессовании: в диапазоне напряжений до 110 МПа демонстрирует упругое поведение с модулем 2,0 ГПа, а его разрушение наступало при напряжении, близком к пределу текучести горячекатанного профиля сплава АМг6 (170 МПа).

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

Программа для ЭВМ № 2018663723 от 02.11.2018 г. "Программный модуль моделирования агрегативной устойчивости наночастиц оксидов", РФ.

Программа для ЭВМ № 2018663724 от 02.11.2018 г. "Программный модуль расчета процесса измельчения оксида алюминия в планетарной мельнице", РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе оксида алюминия (Al_2O_3), дисперсионно-упрочненными эвтектическими структурами на основе ЧСДЦ (ZrO_2) или легантами-модификаторами должна быть предназначена для получения беспористых (с относительной плотностью $> 99,5\%$) композитов с повышенной теплопроводностью, прочностью при изгибе и низкими значениями шероховатости поверхности после шлифовки и полировки;
- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе оксида алюминия, дисперсионно-упрочненного эвтектической структурой, реализующая эффект в керамической матрице растягивающих непрерывных структур должна быть предназначена для получения керамоматричных композитов с повышенной баллистической эффективностью и ударной вязкостью;
- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе оксид алюминия – оксид циркония – оксид иттрия ($Al_2O_3-ZrO_2-Y_2O_3$), упрочненные допированными УНТ или волокнами из диоксида циркония должна быть предназначена для получения керамоматричных композитов с повышенной трещиностойкостью и механической прочностью;
- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе карбида кремния (SiC), армированная модифицированными УНТ и экранирующей добавкой $MgAl_2O_4$ должна быть предназначена для получения керамоматричных композитов с повышенной термостойкостью $> 1900^\circ C$ и низкими значениями эрозионного уноса;
- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе диборид циркония – карбид циркония (ZrB_2-ZrC), армированная модифицированными УНТ и экранирующей добавкой ZrO_2 должна быть предназначена для получения керамоматричных композитов с повышенной термостойкостью $> 2200^\circ C$ и низкими значениями эрозионного уноса;
- разрабатываемая лабораторная технология получения композиционных субструированных керамических материалов на основе карбид бора - нано вольфрам – алюмомagneвий сплав (В4С- $W_{nano} - Al/Mg$) должна быть предназначена для получения наноструктурированных композитов с повышенными значениями радиационной защиты по отношению к эффектам поглощённой дозы.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

В результате выполнения проекта будут получены керамоматричные композиты: 1) для оборонной промышленности в виде броневых керамических материалов для индивидуальной защиты, защиты военной техники, временных командных пунктов; 2) для создания перспективных систем жидкостных реактивных двигателей; 3) для изготовления подложек для полупроводников; 4) для радиационной защиты бортовой электроники космических аппаратов.

Результаты проекта имеют научно-технические и социально-экономические эффекты.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Коммерциализация результатов проекта будет осуществлена на предприятии Индустриального партнера.

7. Наличие соисполнителей

В качестве соисполнителя для выполнения работ в области создания керамоматричного композита для радиационной защиты от нейтронного и гамма излучения внешней бортовой электроники космических аппаратов было привлечено Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева"

Ректор

(должность)

Мажуга А.Г.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

профессор

(должность)

Лукин Е.С.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

М.П.