

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 1

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.577.21.0171

Тема: «Разработка технологии получения композиционных керамических материалов на основе нитрида кремния с использованием метода послойного моделирования и последующего реакционного спекания для изготовления элементов конструкции двигателей космических аппаратов»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; Транспортные и космические системы; Науки о жизни; Индустрия наносистем; Рациональное природопользование; Информационно-телекоммуникационные системы

Критическая технология: Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения

Период выполнения: 02.11.2015 - 31.12.2017

Плановое финансирование проекта: 68.00 млн. руб.

Бюджетные средства 34.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 34.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)"

Индустриальный партнер: Закрытое акционерное общество "Техком"

Ключевые слова: Керамика, композиционные материалы, послойное струйное моделирование, прототипирование, керамическая технология, нитрид кремния, реакционное спекание, моделирование

1. Цель проекта

Разработка эффективных высокопроизводительных аддитивных технологий получения качественных керамических изделий, обладающих сложной формой, для применения в перспективной авиационно-космической технике.
Разработка технологии изготовления оптимально армированных термонагруженных элементов конструкций космических аппаратов из композиционной керамики на основе нитрида кремния с использованием методов послойного струйного моделирования и реакционного спекания, обеспечивающей повышение механических характеристик элементов конструкции (в том числе повышение стойкости к многоцикловым нагрузкам) и сокращение сроков и затрат на их изготовление.

2. Основные результаты проекта

На первом этапе проекта выполнен обзор литературы, в результате которого установлены и уточнены основные характеристики и проблемы создания композиционной керамики на основе нитрида кремния, определены применяемые армирующие элементы и наполнители и их назначение, определены основные задачи и методы применяемого математического моделирования данных материалов. Анализ литературы показал, что отличием разрабатываемой технологии от аналогов является использование новой техники раздельного последовательного нанесения порошка нитрида кремния и связующего материала (не в виде предварительного подготовленной суспензии), что должно снизить сложность применяемых технологий и требований к подготовке сырья и получить возможность создания композиционных материалов с улучшенными механическими свойствами.

На основании проведенного анализа выбраны основные подходы для расчета остаточного напряженно-деформированного состояния и эффективных характеристик композиционной керамики на основе нитрида кремния, которые будут разрабатываться и применяться на последующих этапах проекта.

Проведена сравнительная оценка и выбор варианта решения задачи по разработке технологии изготовления образцов и элементов конструкций из композиционной нитридокремниевой керамики. Установлено, что наиболее рациональным путем проведения дальнейших разработок является создание установки, работающей по методу инъекции связующего (Binder Jet). Предложены методы наполнения частицами и армирования непрерывными волокнами нитридокремниевой керамики, заготовки для которой изготовлены по методу инъекции связующего. С использованием разработанной на базе индустриального партнера тестовой установки впервые были получены экспериментальные образцы нитридокремниевой

керамики, заготовки для которых изготовлены по методу инъекции связующего.

Проведена оценка различных существующих методик неразрушающего и разрушающего контроля образцов керамики. При проведении неразрушающего контроля композиционной керамики предлагается использовать метод рентгеновской томографии изделий и микротомографии материалов.

Проведена сравнительная оценка исходных матричных порошков и армирующей фазы для применения в технологии послойного моделирования показали. Эксперименты по проверке совместимости матричного материала и армирующих фаз производились с армирующими фазами в виде зерна электрокорунда белого 25A F120, зерна карбида кремния зеленого 63C F120, углеродные волокна Tohotex. Результат инструментального контроля размеров показал, что изделия, армированные всеми тремя фазами, сохранили форму и геометрические размеры (с учетом линейной усадки 0,8...1%), приданные заготовке при формовке методом полусухого прессования. Армирование углеродными волокнами показало в результате испытаний на стойкость к многократному термическому шоку низкую термодинамическую и кинетическую совместимость с матрицей из нитрида кремния.

Проведено сопоставление различных типов лакирующих материалов и биндеров, которые могут применяться при послойном моделировании. Исследованы биндеры на основе 1) поливинилхлорида в диметилформамиде, 2) полиэпоксида, модифицированного олигоорганоциклоксаном, 3) сополимера метилового эфира акриловой кислоты с полиуретаном, с добавками фотонициатора, 4) полисахарида-модифицированного крахмала. Оптимальными являются 3 и 4 варианты.

В процессе выполнения работ за счет внебюджетных средств получены следующие результаты. Разработана конструкторская документация и проведена соответствующая доработка робота-манипулятора для подачи лакированного порошка кремния (рис. 2). Для проведения исследовательского эксперимента робот-манипулятор был оснащен печатным блоком (картриджем). Разработано специализированное программное обеспечение для управления согласованной работой картриджа и движением робота-манипулятора.

По результатам экспериментальной отработки процесса послойного моделирования образцов-заготовок с использованием робота-манипулятора разработаны рекомендации для создания на следующем этапе установки для трехмерной печати.

Разработана методика подготовки сырьевых материалов. Разработана программа и методики структурных и физико-химических исследований и физико-механических испытаний образцов композиционной керамики, которые планируется выполнить на втором этапе проекта.

На первом этапе проекта проведены все работы, определенные техническим заданием и планом-графиком. Проведенные исследования являются базой для выполнения дальнейших работ по проекту.

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

На первом этапе исследований созданы охраноспособные РИД не запланировано.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Результаты исследований, полученные в рамках настоящего проекта, должны быть использованы в дальнейших ОКР и ОТР, направленных на создание отечественных высокопроизводительных установок для получения высококачественных крупногабаритных изделий (элементов конструкций космических аппаратов) из композитной не оксидной керамики. В частности, разрабатываемая технология сможет применяться при создании термонагруженных деталей жидкостно-ракетных двигателей и электроракетных двигателей (в том числе ионно-плазменных и стационарно-плазменных). Разработанные технологии и оборудование должны быть запатентованы исполнителем работ и переданы, в дальнейшем, промышленному партнеру.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Разрабатываемая технология позволит создавать новые образцы космической техники, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками (планируется получения возможности изготовления ответственных керамических деталей сложной формы с характеристиками прочности не ниже 200 МПа при рабочей температуре не ниже 1250 С). При этом будут снижены производственные затраты и сокращено время производства изделий сложной формы. В частности, планируется снизить трудоемкость изготовления ответственных керамических деталей сложной формы на 50% и сроки их изготовления должны быть снижены в 2-2,5 раза.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Непосредственными заказчиками и потребителями конечной продукции (изделия сложной формы из композитной керамики на основе нитрида кремния) станут предприятия космической отрасли, занимающиеся разработкой перспективных элементов конструкций космической техники с применением керамики в качестве основного конструкционного материала.

7. Наличие соисполнителей

Соисполнители не привлекались.

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)"

Начальник научно-организационного
управления МАИ

(должность)

(подпись)

Раздолин А.М.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

декан факультета

(должность)



(подпись)

Рабинский Л.Н.

(фамилия, имя, отчество)