

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 3

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-15-2019-1307, Внутренний номер соглашения 14.574.21.0162

Тема: «Разработка технологии получения нового поколения алюмоматричных композиционных материалов модифицированных углеродными наноструктурами для машиностроения и авиакосмической отрасли»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов

Период выполнения: 26.09.2017 - 30.06.2020

Плановое финансирование проекта: 120.00 млн. руб.

Бюджетные средства 60.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 60.00 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: Композит, алюминий, углерод, фуллерен, дуплексная структура, прочность, экструзия, порошковая металлургия, спекание, консолидация.

1. Цель проекта

Разработка нового поколения алюмоматричных композиционных материалов модифицированных углеродными наноструктурами (НКМ) для машиностроения и авиакосмической отрасли.

2. Основные результаты проекта

В процессе работы на первом этапе настоящего ПНИ осуществлены работы по проведению аналитического обзора информационных источников. В результате установлено, что направление ПНИ является актуальным и перспективным, имеются возможности для масштабирования и развития предлагаемых методов получения НКМ, кроме того предлагаемые методы создания НКМ имеют конкурентные преимущества перед традиционными лабораторными методиками. Проведенный патентный поиск и анализ отобранных аналогов объекта поиска выявил задачи, решение которых является патентоспособным. В результате проведенных работ по выбору и обоснованию направления исследований сделан выбор, обоснование и экспериментальное исследование исходных материалов для получения НКМ. Установлено, что наиболее перспективным является применение деформационных сплавов типа АМг. В качестве базового сплава выбран сплав АМг6, а в качестве модифицирующих добавок выбраны такие УНС, как фуллерены С60, УНТ, УДА и Графит. Для выбранных исходных материалов был произведен выбор и обоснование способа получения порошков НКМ, в том числе порошков НКМ с дуплексной структурой. В качестве одного из наиболее перспективных методов был выбран метод размола исходных материалов в планетарных шаровых мельницах. Для объяснения механизмов формирования структурно-фазового состава НКМ их влияния на конечные физико-механические свойства, было проведено квантово-химическое моделирование взаимодействия алюминия с различными УНС и их фрагментами. В результате проведенных расчетов, было показано, что УНС и алюминий могут образовывать метало-углеродные комплексы с прочными ковалентными связями. На основании моделирования сделано предположение о том, что такая дополнительная сшивка кристаллитов метало-углеродными комплексами окажет положительное влияние на физико-механические свойства НКМ. Для выбранных исходных материалов и метода их наноструктурирования было проведено экспериментальное определение режимов и условий получения порошков НКМ в лабораторных условиях. В результате проведенных экспериментов было установлено, что выбранный метод позволяет проводить одновременно смешивание компонентов и их измельчение. Средний размер кристаллитов алюминия при размоле составил менее 50 нм за время обработки 40 минут. На основании полученных данных о режиме получения порошков НКМ, были проведены работы по определению влияния типа и концентрации различных УНС на структуру и морфологию порошков НКМ полученных в лабораторных условиях. Для полученных порошков НКМ исследованы структура и фазовый состав. В результате установлено, что порошки

НКМ имеют сложную иерархическую структуру и представляют собой агрегаты состоящие из высокоплотных агломератов, которые в свою очередь являются совокупностью наноразмерных кристаллитов.

За счет внебюджетных средств проведены работы по экспериментальному определению режимов и условий получения порошков НКМ на промышленном оборудовании, а также работы по изучению влияния типа и концентрации УНС на структуру и фазовый состав таких порошков НКМ. В результате проведенных работ установлено, что применение гравитационных мельниц мокрого типа не позволяет получить порошки НКМ с требуемым размером кристаллитов алюминия, а гравитационные мельницы сухого типа позволяют достичь среднего размера кристаллитов алюминия менее 90 нм за 48 часов обработки, при этом в некоторых случаях наблюдается значительный до 5 вес.% натир материалов размольных контейнеров. В рамках выполнения п.1.9 ПГ, ИП произвел частичное материально-техническое обеспечение работ по п.1.5-1.6 ПГ. Поставленные задачи на 1 этапе работ полностью выполнены в соответствии с планом графиком.

В процессе работы на втором этапе настоящего ПНИ осуществлены работы по разработке лабораторной методики порошков НКМ, в результате которых были определены последовательность технологических операций для получения порошков НКМ Типа А со средним размером области когерентного рассеяния алюминия менее 90 нм и размером частиц порошка не более 250 мкм, и порядок проведения контрольных операций. Согласно разработанной методике получения порошков НКМ были получены экспериментальные образцы порошков НКМ Типа А. Всего 10 различных составов по 200 грамм каждого типа (с учетом непросева). Для полученных экспериментальных образцов была разработана программа и методики исследовательских испытаний. В рамках разработки ПМ были доопределены требования разработчика к экспериментальным образцам порошков НКМ, а также определены оборудование и методики проведения испытаний. На основании проведенных работ по п.2.1-2.4 ПГ была проведена корректировка ЛМ получения порошков НКМ в части повышения выхода годного, за счет изменения режима размола исходных материалов в планетарной шаровой мельнице. В результате проведения работ по экспериментальному определению режимов и условий получения порошков НКМ с дуплексной структурой были рассмотрены несколько методов смешивания порошков с различным размером кристаллитов (порошки Типа А и Типа Б), в результате чего, было установлено, что более предпочтительной является обработка в планетарной шаровой мельнице, т.к. при этом происходит смешивание не только отдельных частиц порошка (агрегатов), но и более мелких структурных составляющих – агломератов. На основании проведенных работ по экспериментальному определению режимов и условий получения порошков НКМ с дуплексной структурой была разработана лабораторная методика получения таких порошков. ЛМ описывает последовательность технологических и контрольных операций требуемых для получения экспериментальных образцов порошков НКМ с дуплексной структурой удовлетворяющих требованиям ТЗ. Согласно разработанной лабораторной методике получения порошков НКМ с дуплексной структурой были получены экспериментальные порошки Типа Д с размером частиц менее 250 мкм. Всего 10 различных типов НКМ с дуплексной структурой по 200 грамм каждого материала (с учетом непросева). Для полученных порошков НКМ с дуплексной структурой была разработана программа и методики исследовательских испытаний экспериментальных образцов порошков. В ПМ доопределены требования разработчика к экспериментальным порошкам Типа Д, определено оборудование и методики проведения испытаний. На основании результатов работ по п.2.6-2.10 ПГ была проведена корректировка ЛМ получения порошков НКМ с дуплексной структурой. Изменения внесены в режимы смешивания порошков Типа А и Б для увеличения выхода годного и избегания изменения среднего размера области когерентного рассеяния алюминия при смешивании компонентов. Был проведен выбор, обоснование и экспериментальное исследование способа консолидации порошков НКМ и НКМ с дуплексной структурой. Были рассмотрены несколько наиболее распространенных в современной промышленности методов консолидации порошковых тел, в результате чего было установлено, что наиболее подходящими из рассмотренных являются методы горячей экструзии и спекания в камере высокого давления.

ИП провел экспериментальное определение режимов и условий получения порошков НКМ с дуплексной структурой на промышленном оборудовании, в результате чего было установлено, что на промышленных шаровых гравитационных мельницах возможно получение порошков НКМ с дуплексной структурой, однако для этого требуется по крайней мере 58-60 часов обработки. При этом. Смешивание происходит лишь на уровне отдельных частиц порошка (агрегатов), а не на уровне более мелких структурных частей (агломератов).

В результате работ ИП по выбору, обоснованию и экспериментальному исследованию способа консолидации порошков НКМ и НКМ с дуплексной структурой было установлено, что наиболее перспективным методом для получения крупногабаритных заготовок является метод экструзии. Также, теоретически, показана перспективность метода прокатки. В рамках выполнения п.2.16 ПГ, ИП произвел частичное материально-техническое обеспечение работ по п.2.1-2.12 ПГ.

Поставленные задачи на 2 этапе работ полностью выполнены в соответствии с планом графиком и техническим заданием Проекта.

В процессе работы на третьем этапе настоящего ПНИ осуществлены работы по экспериментальному исследованию влияния режимов и условий получения, а также типа и концентрации углеродных наноматериалов на структуру и свойства образцов НКМ. В результате, установлены близкие к оптимальным параметры консолидации НКМ, а также исследовано влияние температуры постобработки на механические свойства НКМ и выявлены зависимости изменения механических свойств и фазового состава от концентрации основного легирующего элемента матричного сплава – магния. В результате установлено, что оптимальной температурой консолидации является интервал 280 ± 10 °С. Для получения НКМ могут быть применены как метод спекания в ЯВД, так и метод горячей экструзии. При этом показано, что метод экструзии более перспективен, в случае с НКМ, для дальнейшего промышленного использования. В результате выполнения работ по разработке лабораторной методики получения НКМ были определены последовательность технологических операций для получения НКМ Типа и порядок проведения контрольных операций. Согласно разработанной методике получения НКМ были получены экспериментальные образцы НКМ Типа АК. Всего 10 различных составов. Для полученных экспериментальных образцов была разработана программа и методики исследовательских испытаний. В рамках разработки ПМ были разработаны методики проведения испытаний, подобрано оборудование и режимы. На основании проведенных работ по п.3.1-3.5 ПГ была проведена корректировка ЛМ получения НКМ в части повышения выхода годного, за счет изменения режима брикетирования порошковых смесей НКМ. Для полученных образцов НКМ были проведены сравнительные испытания с наиболее широко применяемыми типами алюминиевых сплавов и композитом типа САП. В результате было показано, что разработанные НКМ значительно превосходят по прочностным свойствам данный материалы. На основании результатов первого, второго и третьего этапов была проведена оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей ПНИ. В результате было установлено, что цели и задачи ПНИ достигнуты, работы проведены в соответствии с ПГ, а полученные результаты полностью соответствуют

требованиям ТЗ. В рамках заключительного этапа проведения работ были разработаны проект задания на проведения ОТР по тематике Проекта и комплекс предложений и рекомендаций по реализации (коммерциализации) результатов ПНИ.

ИП провел экспериментальное определение режимов и условий получения НКМ на промышленном оборудовании, в результате чего было установлено, что размерный фактор вносит коррективы в режимы получения НКМ, а именно для нивелирования возросшего вклада трения брикета о стенки камеры прессования необходимо прибегать к таким приемам как экструзия в оболочке или обратная экструзия. Также силами ИП проведены сравнительные испытания образцов НКМ, полученных на промышленном оборудовании, с образцами традиционных алюминиевых сплавов или композитов на их основе. В результате было показано, что образцы НКМ полученные на промышленном уровне не уступают по свойствам НКМ полученным в лабораторных условиях более чем на 5%. В рамках выполнения п. 3.14 ПГ, ИП произвел частичное материально-техническое обеспечение работ по п. 3.1-3.10 ПГ.

Поставленные задачи на 3 этапе работ полностью выполнены в соответствии с планом графиком и техническим заданием Проекта.

Работы проведены в соответствии с планом-графиком и соответствуют техническому заданию Проекта.

Запланированные в рамках Проекта показатели и индикаторы достигнуты в полном объеме.

Полученные результаты превосходят по показателям аналогичные работы, определяющие мировой уровень знаний и техники в исследуемой предметной области.

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

Программа для ЭВМ свидетельство № 2018664257 от 14 ноября 2018 г, "Программа определения влияния градиента распределения температуры на степень карбидообразования" РФ

Программа для ЭВМ свидетельство № 2018664530 от 19 ноября 2018 г, "Программа локализации областей для проведения испытаний методом индентирования", РФ

Изобретение заявка № 2019141821 от 17 декабря 2019 г, "Способ получения наноструктурированного композитного материала на основе алюминия", РФ

Изобретение заявка № 2019141822 от 17 декабря 2019 г, "Способ получения наноструктурированного композитного материала на основе алюминия", РФ

Изобретение заявка № 2019141823 от 17 декабря 2019 г, "Способ получения наноструктурированного композитного материала на основе алюминия", РФ

4. Назначение и область применения результатов проекта

Разрабатываемый в ходе выполнения научно-технический результат ориентирован на методы получения алюмоматричных композиционных материалов, модифицированных углеродными наноструктурами, для их применения в машиностроительной и авиакосмической отрасли в качестве элементов и несущих конструкций различных узлов и агрегатов.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение разрабатываемых наноструктурных алюмоматричных композиционных материалов, модифицированных углеродными наноструктурами в различные области науки и техники позволит повысить энергоэффективность узлов и агрегатов за счет снижения их массы при сохранении или увеличении прочности конструкции в целом. Кроме того, разрабатываемые технологии получения таких композитов являются экологически чистыми, ориентированными на применение отечественного оборудования, не дефицитного сырья и практически исключают отходы собственного производства.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

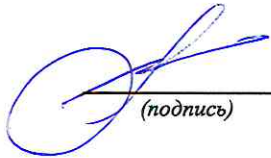
По предварительным оценкам, потенциальный объем коммерциализации разрабатываемых в рамках Проекта наноструктурных композиционных материалов превышает 1 трлн. рублей. Основными потребителями продукции из разработанных НКМ являются предприятия авиационно-космической и машиностроительной отрасли. Разработанные материалы могут быть реализованы как в виде длинномерных заготовок полученных методом экструзии, так и в виде готовых изделий как по отдельности, так и в составе различных узлов и агрегатов.

7. Наличие соисполнителей

Соисполнители в рамках выполнения Проекта не привлекались

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

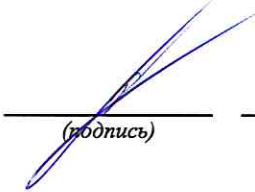
Временно исполняющий обязанности директора
(должность)


(подпись)

Терентьев С.А.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту
Научный сотрудник
(должность)




(подпись)

Евдокимов И.А.
(фамилия, имя, отчество)