

Ф А Н О
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

**ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. А.А. Байкова
Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)**

119991, ГСП-1, Москва, Ленинский пр., 49

факс (499) 135-86-80; телефон (499) 135-20-60;

эл. почта imet@imet.ac.ru

ИНН/КПП 7736045483/773601001

19.10.2015 № 12202-2116 / 40

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора
по научной работе
Д.Т.Н.
Колмаков А.Г.
« 29 » октября 2015 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) на диссертационную работу Агуреева Леонида Евгеньевича на тему:

«Разработка способа получения алюмокомпозитов высокой прочности модифицированием микродобавками порошков наноксидов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Актуальность темы

Работа направлена на решение актуальной проблемы создания экономически эффективных дисперсно-упрочнённых алюмоматричных композиционных материалов (КМ), предназначенных для массового применения в ракетно-космической технике и машиностроении. В диссертационной работе разработана технология получения композиционного материала, упрочнённого микродобавками оксидных наночастиц, методом порошковой металлургии; исследовано влияние микродобавок наночастиц на структуру и механические свойства порошкового

алюмокомпозита; адаптирована микромеханическая модель на основе градиентной теории упругости для прогнозирования механических свойств алюмокомпозитов с микродобавками наночастиц оксидов и проектирования их состава. Упрочнение алюмоматричного КМ введением микродобавок (до 0,15 % об.) наночастиц методом порошковой металлургии является ранее не исследованной задачей.

Научная новизна результатов

1. Обнаружен экстремальный характер зависимости механических свойств алюмокомпозитов от концентрации оксидных наночастиц (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , SiO_2) 0,01-0,15% об.: наблюдается максимум прочности при сжатии, растяжении, изгибе, обусловленный, согласно теории Образцова-Лурье, наличием напряженного поля вокруг частиц в области малых концентраций.

2. Предложена компьютерная оптимизационная микромеханическая модель, основанная на градиентной теории упругости применительно к алюмокомпозитам, модифицированным нанооксидами (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , SiO_2) в микроконцентрациях (0,01-0,15%об.), позволяющая проектировать состав и прогнозировать прочностные свойства алюмокомпозитов.

Практическая значимость

1. На основании результатов расчёта в программной среде ТЕРРА установлены температуры начала образования нанооксидов при плазмохимическом синтезе: оксида циркония – 3427 °С, оксида алюминия – 3427 °С, оксида магния – 3027 °С, а также массовые доли образующегося после реакций молекулярного кислорода, что позволило снизить расход кислорода в 1,5-3 раза и повысить выход нанопорошков требуемого качества.
2. Разработан способ изготовления изделий (втулок, крыльчаток, прокладок) ракетно-космического назначения из порошковых алюмокомпозитов, модифицированных наноразмерными порошками оксида алюминия, оксида циркония, оксида магния и оксида кремния в количестве 0,01-0,15% об. и порошками меди микронного размера в количестве 3 % об., включающий

смешивание (ультразвуковая гомогенизация в этаноле, сухое перемешивание в шаровой мельнице), прессование при $P=400$ МПа и спекание в вакууме при $T=650$ °С в течение 120 мин.; получены образцы алюмокомпозитов с относительной плотностью 97% (заявка на патент №2015116514 от 30.04.2015).

3. Разработаны технические условия ТУ 410002-002-07365-2015 «Алюминиевый композиционный материал с микродобавками оксидных наночастиц» и технологическая инструкция ТИ ТУ 410002-002-07365-2015 «Изготовление алюминиевого композиционного материала с микродобавками оксидных наночастиц».
4. Проведено моделирование (в среде ANSYS) распределения критических нагрузок на крыльчатке из разработанного алюмокомпозита для турбокомпрессора генератора (ТКГ) ядерного реактивного двигателя (ЯРД) транспортного энергетического модуля (ТЭМ) для экспедиции на Марс, которое показало пригодность его использования.
5. На предприятии ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» проведены стендовые испытания на сжатие втулок из алюмокомпозита Al- 1,5 % об. Cu- 0,1 % об. MgO, используемых в узлах РКТ, которые показали целесообразность его применения в дальнейшем производстве.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Материалы диссертации изложены на 153 листах машинописного текста, содержат 91 рисунок, 26 таблиц, 4 приложения, включают список литературы из 109 наименований.

В первой главе дан аналитический обзор литературы по состоянию исследований в области получения КМ на основе алюминия, упрочнённых наноразмерными частицами различной природы и получаемых методами порошковой металлургии; проанализированы основные тенденции и достигнутые

результаты; приведены основные механические и эксплуатационные характеристики широко применяемых КМ.

Во **второй главе** дано описание исходных материалов, методик исследования и используемого оборудования. В работе использовался порошок алюминия марки АСД-4, порошок меди, наночастицы Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , SiO_2 , изготовленные плазмохимическим методом.

В **третьей главе** описано влияние наночастиц и технологических параметров на относительную плотность КМ и усадку при его спекании. В процессе исследований были проведены следующие работы:

- изучены зависимости относительной плотности и усадки порошкового алюмокомпозита в зависимости от количества и типа оксидных наночастиц, давления прессования, температуры и длительности спекания;
- изучены микроструктура полученных КМ на основе алюминия, упрочнённых дисперсными наночастицами, характер распределения наночастиц в объеме композиционного материала.

Методами растровой и просвечивающей микроскопии показано, что наночастицы оксидов и их кластеры располагаются по границам зёрен матрицы. Исследование микроструктуры КМ на шлифах показало наличие фрагментов оксидных плёнок, распределённых преимущественно по границам зёрен. Обнаружено появление θ' -фазы внутри зёрен алюминия при добавлении порошка меди.

В **четвёртой главе** приведены результаты исследований механических свойств алюмокомпозитов в зависимости от типа и количества наночастиц оксидов.

Установлена экстремальная зависимость прочностных свойств (модуль Юнга, предел текучести, пределы прочности на сжатие, изгиб, растяжение, микротвёрдость) от количеств нанодобавок (0 – 0,15 %об.).

С помощью микромеханической модели на основе градиентной теории упругости проведены прогнозные расчёты механических свойств алюмокомпозитов в зависимости от типа и количества используемых наноксидов с целью проектирования состава композитов.

При исследовании прочности образцов КМ на сжатие, изгиб и растяжение был обнаружен экстремум в интервале концентраций наночастиц от 0,01 до 0,15 %об. Для ряда нанодобавок, что говорит о правильности предположения Образцова-Лурье-Белова, основанных на градиентной теории упругости.

Для материалов без легирующей меди отмечено увеличение прочности по сравнению с алюминием без наночастиц, в среднем на 30-50% (максимальное значение 155 МПа для Al-0,1%Al₂O₃). Для алюмокомпозита, легированного медью, увеличение предела прочности при растяжении составило в среднем 10-15% по сравнению с материалом без наночастиц (максимальное значение 340 МПа для Al-Cu-0,1%Al₂O₃ или ZrO₂). Наибольшей предел прочности при изгибе для алюмокомпозитов был отмечен при содержании 1,5 об.% меди и 0,01 %об. наночастиц MgO и составлял ~315 МПа. Алюмокомпозит Al+Cu без наночастиц имеет предел прочности на изгиб, равный 277 МПа.

В пятой главе представлены практические рекомендации по использованию результатов исследований. Изготовлены втулки болтовых креплений и проведено твердотельное моделирование крыльчатки ядерного ракетного двигателя из алюмокомпозита.

Оценивая диссертацию в целом, можно отметить, что она написана с соблюдением требований ВАК РФ, основные выводы отражают существо полученных результатов. Работа выполнена на высоком научном уровне, хорошо написана и оформлена. Завершённость работы подтверждается выдачей конкретных предложений и рекомендаций по использованию полученных результатов в промышленности, ряд которых внедрены на предприятиях.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 13 работах, включая 4 статьи, из них 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 8 тезисов докладов в сборниках трудов конференций, а также 1 патент.

Замечания

1. Автор исследовал эффект дисперсного упрочнения алюминия (с добавками меди) наночастицам четырех оксидов; обнаружено их различное

влияние на прочность при разных схемах нагружения. Желательно было бы иметь итоговые рекомендации по выбору оптимального варианта упрочняющих частиц.

2. Обычно данные по прочности сопровождаются результатами их статистической обработки.

3. Автор получил интересные результаты по исследованию микроструктур КМ; их можно было бы отметить в выводах (а не только данные по размеру зерна).

Замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное автором самостоятельно на высоком уровне на актуальную тему. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными, достоверными и имеют практическое и научное значение. Диссертация написана логично, стиль изложения удовлетворительный. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, а опубликованные автором единолично и в соавторстве работы дают достаточно полное представление об основных результатах исследований.

Результаты работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, занятых в области исследований и разработок дисперсно-упрочнённых алюмоматричных КМ, таких как ИМЕТ РАН, НИТУ «МИСиС», ОАО «ВИЛС», а также при разработке учебных курсов для студентов и аспирантов, обучающихся по специальности «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Заключение

Диссертационная работа Агуреева Л.Е. содержит результаты, имеющие научную новизну и практическую значимость, соответствует паспорту специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и охватывает следующие области исследования, предусмотренные паспортом:

- изучение структуры и свойств порошковых, композиционных полуфабрикатов и изделий, покрытий и модифицированных слоев на полуфабрикатах и изделиях, полученных методом порошковой металлургии или другими способами;

- разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов производства, контроля и сертификации полуфабрикатов и изделий различного назначения из порошковых и композиционных материалов, а также материалов и изделий с покрытиями и модифицированными слоями.

В целом считаю, что диссертационная работа Агуреева Л.Е. «Разработка способа получения алюмокомпозитов высокой прочности модифицированием микродобавками порошков наноксидов» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена проблема технологии дисперсного упрочнения алюмоматричных КМ с применением порошковой металлургии. Работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней (п. 9), а её автор Агуреев Леонид Евгеньевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв, составленный доктором технических наук Калашниковым И.Е., заслушан и одобрен на заседании секции «Неорганическая химия и керамические материалы» Учёного совета ИМЕТ РАН, протокол № 5 от 29 октября 2015 года. Результаты голосования: «за» единогласно.

Составитель отзыва, д.т.н.

Калашников И.Е.

Председатель секции Ученого совета ИМЕТ РАН

д.т.н., проф., чл.- корр. РАН

Баринов С.М.

Подписи Калашникова И.Е. и Барина С.М. удостоверяю

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.

Фомина О.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ФГБУН ИМЕТ РАН)

Адрес: Россия, Москва, 119991, Ленинский пр-т., 49

Тел.: +7(499)135-20-60, факс: +7(499)135-86-80

Адрес электронной почты: imet@imet.ac.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.imet.ac.ru>