



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001

на № 23.10.2023 от 23.10.2023



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «СФУ»,
кандидат философских наук

Р.А. Барышев

«23» 10 2023

Г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической ценности диссертации
Кутжанова Магжана Кайыржановича
на тему «Разработка композиционных материалов на основе алюминия, дисперсно-упрочненных керамическими наночастицами»
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности
2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность работы заключается в разработке эффективных технологий получения легких высокопрочных композиционных материалов (КМ), работающих в широком диапазоне температур. Сплавы алюминия находят широкое применение в качестве конструкционных материалов благодаря высокой удельной прочности, достигающей 900 МПа, что, практически, на порядок превышает прочность чистого алюминия. Такое повышение прочности достигается в результате дисперсионного упрочнения. Недостатком этих материалов является быстрая деградация их механических свойств при повышении температуры в результате растворения дисперсионных фаз. По этой причине, дисперсионно-упрочненные материалы на основе алюминия применяются в температурном диапазоне не выше 200-300 °С. Повысить высокотемпературную прочность алюминиевых сплавов можно путем создания металлокерамических композиционных материалов с добавлением дисперсно-упрочняющей наноразмерной керамической фазы. При дисперсном упрочнении, повышение прочности композита обусловлено несколькими механизмами: более эффективное торможение дислокаций, повышение энергии движения дислокаций в результате возникновения напряжений решетки на границе раздела

металлической матрицы и керамической частицы, развитие мелкозернистой структуры металла и, как следствие, снижение концентрации дислокаций в металлических зернах, зернограницное упрочнение и др. Важно подчеркнуть, что эти механизмы работают и при существенном повышении температуры, поэтому работоспособность дисперсно-упрочненных сплавов сохраняется вплоть до 0,9-0,95 температуры плавления матрицы, что в случае алюминия составляет 590-620 °С. Это примерно на 300 °С выше, чем предельная температура эксплуатации современных дисперсионно-упрочненных сплавов на основе алюминия. Актуальность диссертационной работы подтверждается выполнением ее в соответствии с тематическими планами университета по проекту Российского научного фонда № К2-2020-015, К2-2018-013 и К2А-2018-037, а также Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по проекту FSME H005 (FSME-2023-0004).

Цель работы - создание металломатричных композиционных материалов на основе алюминия, упрочненных керамическими наночастицами, обладающих повышенной прочностью при комнатной и повышенной температуре и высокой пластичностью.

Диссертационная работа Кутжанова М.К. состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованных источников. Диссертация имеет объем 108 страниц, включая 5 таблицы, 57 рисунков, список использованных источников из 157 наименований.

Во введении представлена общая характеристика работы, в том числе ее актуальность, основные цели и задачи, научная и практическая значимость полученных результатов, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой аналитический обзор научно-технической литературы, в котором рассмотрены основные показатели сравнения механических свойств композитов и сплавов на основе алюминия, полученных различными методами порошковой металлургии. Рассмотрены методы обработки и консолидации порошковых материалов, включая высокоэнергетическое шаровое измельчение, плазмохимическую обработку и искровое плазменное спекание. Также показано, что использование керамических наночастиц SiC, SiN_xO_y и Al₂O₃ в качестве упрочняющих добавок приводит к высоким механическим свойствам композита.

Во второй главе представлено подробное описание используемых материалов, методов исследования, и оборудования для создания металломатричных композиционных материалов. Автор использовал субмикронный порошок алюминия и различные нанодисперсные системы (SiC, SiN_xO_y и Al₂O₃) в качестве упрочняющей дисперсной фазы, а также подробно описал процессы синтеза (высокоэнергетический шаровой размол (ВЭШР), плазмохимический синтез и искровое плазменное спекание (ИПС)) и характеристики материалов. Этот раздел предоставляет полную методологическую основу

для понимания и репликации экспериментов, что делает его важным компонентом данной диссертационной работы.

В третьей главе представлено исследование, посвященное разработке композитов на основе Al с улучшенными термомеханическими свойствами, которое решает важнейшую задачу в области материаловедения и машиностроения. Проблемы, связанные с обеспечением равномерного распределения упрочняющей фазы в металлической матрице и созданием прочной границы раздела металл/керамика, хорошо известны в данной области, что делает исследование весьма актуальным.

Использование порошковых смесей нано-Al/нано-SiC, подвергнутых высокоэнергетическому шаровому размолу и обработке микроволновой Ar плазмой, представляет собой сложный подход, позволяющий решить проблемы удаления оксидной пленки и адсорбции примесей, а также улучшить смачивание SiC расплавом Al и предотвратить агломерацию наночастиц. Последующее формирование частиц композита Al/SiC с равномерно распределенными упрочняющими наночастицами SiC является оригинальным решением, способным значительно улучшить механические свойства получаемых композитов.

В четвертой главе успешно объединены два ключевых подхода к созданию высокопрочных и жаростойких материалов, а именно дисперсионное упрочнение и стабилизация наноразмерных зерен алюминия с использованием зернограницных преципитатов. Для достижения этой цели была введена аморфная фаза SiN_xO_y в концентрациях 1, 2, 3, 4, 5 и 10 вес. % как реакционная добавка к субмикронному Al, а процесс создания композитов КМ Al-SiN_xO_y осуществлялся с применением высокоэнергетического шарового размола и искрового плазменного спекания.

Результаты исследования демонстрируют, что в результате химических реакций между аморфной SiN_xO_y и алюминием образовались наноразмерные фазы AlN, Al₂O₃ и , которые эффективно разместились как на границах зерен алюминия, так и внутри металлической матрицы с бимодальным распределением размеров, составляющими примерно 50-150 нм и 3-10 нм соответственно. Ключевым моментом является улучшение механических характеристик материала с добавкой 3% SiN_xO_y . Твердость увеличилась на 464%, прочность на разрыв – на 103% при 25 °С, 84% при 300 °С и 86% при 500 °С. Прочность на сжатие выросла на 200% при 25 °С, 164% при 300 °С и 192% при 500 °С. Кроме того, материал проявил улучшенное сопротивление ударному износу, увеличившись на 33-46%.

Исследования микроструктуры с использованием трансмиссионной электронной микроскопии после деформации позволили точно выявить типы дефектов и основные

механизмы деформации и упрочнения. Полученные результаты имеют высокое значение в контексте разработки композитных материалов на основе алюминия, которые способны эффективно функционировать в широком температурном диапазоне.

В пятой главе представлено исследование, посвященное сложной задаче достижения баланса между высокой прочностью и пластичностью в композитах на основе металлов, особенно в широком диапазоне температур. Комбинирование нанопорошков Al и путем ВЭШМ и ИПС привело к созданию композитов нано-Al₂O₃/нано-Al с высокими прочностными характеристиками на растяжение и сжатие. Материалы продемонстрировали хорошую пластичность при температурах 25 и 500 °С, сравнимую с обычной высокопрочной сталью, но при этом имели значительно меньшую массу: их плотность составляла 2,7 и 7,8 г/см³ соответственно. Среди различных исследованных составов наиболее перспективными термомеханическими свойствами обладал материал Al-3%Al₂O₃, который показал прочность на растяжение 512 МПа и 280 МПа, прочность на сжатие 489 МПа и 344 МПа при 25 и 500 °С соответственно, а также хорошее удлинение до разрушения 15-18%.

Прочность композитов нано-Al₂O₃/нано-Al объясняется наличием двух типов наночастиц Al₂O₃, образующихся in-situ и вводимых в порошковую смесь, а также небольшого количества наночастиц AlN, образующихся в процессе ВЭШМ. Полученные материалы имели бимодальную микроструктуру, состоящую из микронных и субмикронных зерен Al, окруженных каркасом Al/Al₂O₃/AlN, с размерами в диапазоне 20-50 нм.

Практическая значимость выполненных исследований подтверждена регистрацией но-хау: «Способ получения композиционного материала на основе алюминия, упрочненного наночастицами карбида кремния» в депозитарии НИТУ МИСИС № 09-774-2023 ОИС от 18.05.2023. Разработана и зарегистрирована технологическая инструкция на процесс получения заготовок для втулок из композиционного материала на основе алюминия упрочненного керамическими наночастицами (ТИ 60-11301236-2023). Также были проведены исследования механических свойств образцов днищ поршней при температурах 25 °С и 300 °С, что предел прочности при растяжении при 25 °С и 300 °С соответственно на 60% и 95% выше прочности сплава AlSi₁₂CuMgNi, используемого для изготовления днищ поршней двигателей внутреннего сгорания.

По материалам диссертации Кутжанова М.К. имеется 3 публикаций в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of science, 8 докладов на конференциях и 1 ноу-хау.

Несмотря на то, что диссертация заслуживает положительной оценки за четкий и понятный язык и хорошо продуманную структуру, в ее тексте допущен ряд грамматических, стилистических и пунктуационных ошибок.

По работе Кутжанова М.К. имеются следующие замечания:

1. По тексту работы имеются отдельные грамматические и стилистические неточности и опечатки.
2. При описании плазменной обработки исходной смеси порошков упоминается очистка поверхности за счет действия высоких температур и УФ излучения плазмы. В данном случае лучше использовать более корректный термин: плазменная активация поверхности, т.к., помимо обозначенных эффектов, при такой обработке происходит активное взаимодействие поверхности с заряженными частицами из плазмы, что может вносить основной вклад в очистку поверхности.
3. Не приведены сравнительный анализ литературы механических свойств для композиционных материалов $Al-SiN_xO_y$
4. Желателен сравнительный экспериментальный анализ прочности при 300 °С для всех полученных композиционных материалов.
5. В пятой главе не ясно, как сделали сокращения образцов Al-0 – Al-20.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы М.К. Кутжанова, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным задачам.

Заключение

Диссертационная работа Кутжанова М.К. представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной научно-практической задачи в области порошковой металлургии – разработка композиционных материалов на основе алюминия

Диссертационная работа «Разработка композиционных материалов на основе алюминия, дисперсно-упроченных керамическими наночастицами» по объему и оригинальности полученных результатов, научной и практической значимости выводов, целям и задачам соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года, а ее автор, Кутжанов Магжан Кайыржанович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составлен и принят на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций соискателя, обсуждения доклада Кутжанова М.К. на заседании кафедры

ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», протокол № 3 от 05 октября 2023 г.

Исполняющий обязанности
заведующего кафедрой ЮНЕСКО
«Новые материалы и технологии»
кандидат технических наук



Карпов Игорь Васильевич

20.10.2023

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край, г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79

телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-89-25

