

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,
Fax +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 027000890168,
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.:+7-3822-606333, +7-3822-701779,
факс +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и инновациям
д.т.н. Степанов И.Б.

2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Хрусталёва Антона Павловича на тему «Исследование физико-механических свойств дисперсно-упрочнённых композитов на основе алюминия и магния», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность избранной темы

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена потребностью в повышении прочностных свойств и эксплуатационных характеристик алюминиевых и магниевых сплавов, используемых в автомобилестроении, судостроении и аэрокосмической отрасли. Упрочнение легких алюминиевых и магниевых сплавов методом дисперсного упрочнения позволяет повысить их механические свойства.

Тема диссертационной работы А.П. Хрусталёва связана с установлением закономерностей процессов деформации и разрушения дисперсно-упрочнённых неметаллическими наночастицами композитов на основе алюминия и магния, отвечает практическим потребностям в создании легких, прочных и энергоэффективных конструкций.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки

Результаты диссертационной работы имеют важное значение для развития механики деформируемого твердого тела в области установления законов деформирования и разрушения дисперсно-упрочнённых наночастицами сплавов. Направление исследований диссертационной работы соответствует пункту 4 паспорта специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе выполнены новые экспериментальные исследования механического поведения ряда отечественных марок литейных магниевых и алюминиевых сплавов, упрочненных неметаллическими наночастицами трифторида скандия и нитрида алюминия при квазистатическом и динамическом нагружения. Для теоретических исследований процесса ударно-волнового компактирования разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать параметры прессования различных порошковых материалов

Основные новые научные результаты и выводы, полученные автором, состоят в следующем:

1. Результаты исследования механических свойств новых дисперсно-упрочненных алюминиевых и магниевых сплавов на основе порошковых смесей Al-ScF₃ и Mg-AlN, полученных с использованием механического перемешивания в стеариновой кислоте и петролейном эфире. Было показано, что равномерное распределение наночастиц ScF₃ или AlN с оптимальной концентрацией приводит к существенному уменьшению размеров зерна, повышению предела прочности и деформации до разрушения.

2. Показано, что ударно-волновое компактирование порошковой смеси магний-нитрид алюминия не влияет на кристаллическую структуру и фазовый состав порошковой смеси, что позволяет увеличить твёрдость ударно-компактированного композита за счет сохранения наночастиц нитрида алюминия в его структуре.

3. В работе показано, что введение наночастиц ScF₃ в алюминиевый сплав АК7 приводит к одновременному увеличению предела прочности и пластичности сплава. Эффект может быть описан при учете вкладов трёх физических механизмов: передачи нагрузки от частиц к матрице, уменьшения среднего размера зерна и разности коэффициентов термического расширения алюминиевой матрицы и частиц ScF₃.

4. Показано, что введение наночастиц нитрида алюминия в сплав МЛ12 приводит к одновременному увеличению прочности и пластичности за счёт вклада передачи нагрузки от частиц к матрице и закона Холла-Петча.

5. Введение наночастиц нитрида алюминия в магниевый сплав МЛ5 приводит к измельчению размера зерна, за счёт чего происходит увеличение механических характеристик сплава при квазистатическом растяжении.

6. Показано, что дисперсное упрочнение сплавов магния позволяет существенно повысить величины гюгониевского предела упругости и откольной прочности. Было установлено, что введение наночастиц нитрида алюминия приводит к повышению динамического предела текучести и откольной прочности.

Сформулированные в диссертационной работе рекомендации имеют перспективы использования при решении широкого круга прикладных задач, связанных с разработкой новых металломатричных композитов с улучшенными свойствами, созданием новых образцов техники с высокими эксплуатационными характеристиками (надежностью, долговечностью, и т.д.).

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

На основе полученных диссертантом экспериментальных результатов установлены закономерности деформации и разрушения магниевых и алюминиевых сплавов, расширяющие и уточняющие знания о механическом поведении легких сплавов, упрочнённых неметаллическими наночастицами при квазистатическом и динамическом нагружении.

В диссертации А.П. Хрусталёва сделан вклад в понимание связей между типом и количеством наночастиц на структуру и деформационное поведение алюминиевых и магниевых сплавов.

Разработанная математическая модель позволяет сложный процесс динамического воздействия в результате детонации взрывчатых веществ на уплотнение порошковых смесей.

Выводы диссертационной работы углубляют понимание закономерностей механического поведения дисперсно-упрочнённых легких сплавов и могут быть использованы при разработке технологий получения новых сплавов с повышенными физико-механическими свойствами.

Полученные в диссертационной работе экспериментальные данные о механических свойствах легких сплавов при квазистатическом и динамическом нагружении представляют интерес для инженерной практики.

Результаты диссертации могут быть использованы в машиностроении, судостроении, аэрокосмической индустрии при проектировании элементов конструкций из легких алюминиевых и магниевых сплавов.

Результаты, полученные в диссертации А.П. Хрусталёва, могут быть использованы для предприятий, занимающихся производством алюминиевых сплавов (корпорации РУСАЛ, АВИСМА и др.), разработкой и внедрением новых типов сплавов (ЦНИИ КМ «Прометей», АО «ИСС им. М.Ф. Решетнёва» и др.).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации А.П. Хрусталёва, подтверждаются применением апробированных экспериментальных методик и современного сертифицированного оборудования.

Разработанная физико-математическая модель основана на базовых положениях классических теорий механики деформируемого твердого тела, что

обеспечивает корректность математических постановок задач. Для решения задач применены апробированные численные методы. Полученные теоретические результаты имеют хорошее согласие с экспериментальными данными, в том числе с опубликованными данными других исследователей.

В работе проведены комплексные исследования влияния зёрненной структуры и концентрации наночастиц на механические свойства дисперсно-упрочненных алюминиевых и магниевых сплавов, полученных на основе порошковых смесей Al-ScF₃ и Mg-AlN, в условиях квазистатического растяжения; исследования влияния зёрненной структуры сплавов и концентрации наночастиц нитрида алюминия на механические характеристики магниевого сплава МЛ5 при ударно-волновом нагружении; исследования влияния структуры и концентрации наночастиц на твёрдость и механические характеристики дисперсно-упрочнённых сплавов на основе алюминия и магния при квазистатическом растяжении; исследования фазового состава и гранулометрической структуры исходных порошков и порошковых смесей Al-ScF₃ и Mg-AlN, полученных на их основе; исследования зёрненной структуры и распределения наночастиц частиц в образцах сплавов АК7-ScF₃, МЛ12- AlN, МЛ5-AlN. Для этих исследований использовано сертифицированное оборудование.

Математическое моделирование процесса ударно-волнового компактирования порошковых смесей построена с использованием известных математических зависимостей.

Таким образом, выносимые на защиту научные положения, выводы и заключения являются обоснованными и достоверными и не противоречат современным положениям механики деформируемого твердого тела.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению

Диссертация состоит из введения, шести разделов и заключения, списка литературы, изложенных на 127 страницах машинописного текста, включая 70 рисунков, 13 таблиц. Список литературы включает 120 наименований.

Во введении обоснована актуальность исследуемой в диссертации проблемы, сформулированы цель и задачи работы, перечислены полученные новые результаты, их научно-практическая ценность, приведены положения, выносимые на защиту, а также обоснованность и достоверность результатов и выводов.

Первый раздел посвящён анализу и систематизации научных источников по в области получения и исследования свойств современных металломатричных композитов. Описаны основные типы металломатричных композитов, способы их получения и механизмы упрочнения.

Второй раздел посвящён постановке задач исследования, обоснован выбор материалов и методик исследования.

Третий раздел посвящён описанию результатов исследования морфологии, фазового состава и параметров кристаллической структуры исходных порошков алюминия, магния, трифторида скандия и нитрида алюминия. Кроме этого, в третьей главе проведено исследование влияния различных методов перемешивания на распределение наночастиц в порошковой смеси, которое позволило выявить, что перемешивание с использованием раствора петролейного эфира и стеариновой кислоты является наиболее оптимальной методикой перемешивания порошковых смесей на основе алюминия, содержащих неметаллические наночастицы.

Четвёртый раздел посвящён описанию результатов математического моделирования процесса ударно-волнового компактирования порошков и порошковых смесей. Предложенная физико-математическая модель образования композита при ударно-волновом воздействии позволяет рассчитывать пороговые значения давления и время воздействия для получения прочного компакта, исходя из свойств материала частиц. Установлено, что для алмаза четвёртый предел по давлению (достижение которого означает плавление материала) ниже, чем третий и второй пределы.

Пятый раздел посвящён исследованию структуры, фазового состава и их влияния на механические характеристики композита магний-нитрид алюминия, полученного методом ударно-волнового компактирования. Установлено, что наночастицы в композите магний-нитрид алюминия распределены достаточно равномерно. Результаты измерения твёрдости показали, что твёрдость композита выше твёрдости чистого магния, полученного ударно-волновым компактированием и литого магния технической чистоты.

Шестой раздел содержит исследования структуры и деформационного поведения при растяжении алюминиевых и магниевых сплавов, упрочнённых наночастицами. Введение наночастиц ScF_3 в сплав АК7 приводит к одновременному увеличению предела прочности и пластичности сплавов. Согласно проведённым расчётам, при использовании наночастиц трифторида скандия доминирующим механизмом упрочнения является разность коэффициентов теплового расширения матрицы и частиц. В образцах сплава МЛ12, содержащих нитрид алюминия, наблюдается уменьшение среднего размера зерна с одновременным увеличением прочности и пластичности. Такое увеличение прочностных характеристик сплава по сравнению с исходным сплавом МЛ12 автор связывает с наличием структурных неоднородностей значительно влияющих на конечные механические свойства материала. Введение наночастиц нитрида алюминия привело к формированию более однородной микроструктуры сплава и уменьшению среднего размера зерна. Введение наночастиц AlN приводит к увеличению предела текучести и предела прочности с одновременным увеличением пластичности. Также введение наночастиц нитрида алюминия

способствует увеличению динамического предела текучести и откольной прочности.

В Заключении диссертационной работы представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе проведенных исследований.

Диссертационная работа А.П. Хрусталёва вносит достойный вклад в решение научных задач, связанных выявлением связей между структурой композитов и сплавов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.

Оценивая содержание диссертации в целом, можно заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную в рамках актуального научного направления, содержащую новые научные результаты и имеющую практическое значение. Диссертационная работа написана грамотным научным языком и хорошо оформлена.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат в полной мере соответствует основным положениям диссертации.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты, содержащиеся в диссертации, изложены в 19 опубликованных работах, в том числе 5 статьях в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (из них 2 статьи в зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science), 2 статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science и Scopus и 3 патентах на изобретение Российской Федерации.

Замечания по работе

1. Следовало бы большее внимание уделить методикам проведения экспериментов, в частности, подготовки поверхности образцов для металлографических исследований в поляризованном свете.

2. В результатах отсутствуют данные рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа полученных сплавов, которые могли бы подтвердить наличие наночастиц в структуре сплавов.

3. Результаты динамических испытаний всех сплавов дали бы более широкое представление о механизмах влияния наночастиц на деформацию полученных материалов.

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы А. П. Хрусталёва.

Заключение

Диссертация А.П. Хрусталёва соответствует отрасли «физико-математические науки», а содержательная часть и полученные результаты соответствуют специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов и имеет внутреннее единство. Личный вклад автора в решение поставленных проблем не вызывает сомнений. Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Таким образом, диссертация Хрусталёва Антона Павловича «Исследование физико-механических свойств дисперсно-упрочнённых композитов на основе алюминия и магния» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 действующего Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в ред. от 01.10.2018) к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твёрдого тела.

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре Научно-образовательного инновационного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» (НОИЦ НМНТ) Инженерной школы новых производственных технологий (ИШНПТ) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» 06 сентября 2019 г., протокол №4.

Директор НОИЦ НМНТ ИШНПТ
федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»,
доктор технических наук, профессор



Хасанов Олег Леонидович

