

## ОТЗЫВ

официального оппонента

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 темы диссертационного исследования

Диссертационная работа А.П. Хрусталёва посвящена процессам деформации и разрушения дисперсно-упрочнённых наночастицами композитов. Для увеличения механических свойств традиционно используемых в промышленности сплавов на основе алюминия магния, упрочнение наночастицами является достаточно перспективным методом, а работы в данной области ведутся во всем мире. Использование наночастиц в качестве упрочнителей может давать значительный прирост свойств, однако механизмы формирования этих характеристик в настоящее время до конца не описаны. В связи с этим тема исследований диссертационной работы представляется современной и актуальной.

### Анализ содержания диссертации

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

**Во введении** приводится актуальность и степень разработанности темы исследования, изложены цель работы, задачи диссертационного исследования, научная новизна диссертации, теоретическая и практическая значимость работы, обзор методов исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов, личный вклад автора, сведения об апробации результатов работы, о публикациях, личный вклад соискателя, данные об объеме и структуре работы.

**Первый раздел** посвящен анализу работ в области получения и исследования свойств современных композитов с металлической матрицей. Данный раздел включает описание основных способов упрочнения металлической матрицы частицами и волокнами, методы получения композитов и механизмы упрочнения металлической матрицы неметаллическими включениями.

**Во втором разделе** поставлены задачи исследования, обоснован выбор материалов и методик исследования. В качестве исходных порошков в работе использован алюминиевый микропорошок, магниевый микропорошок и нанопорошки нитрида алюминия и трифторида скандия. В качестве матрицы в работе были использованы алюминиевый сплав марки АК7 и магниевые сплавы

марок МЛ5 и МЛ12. Описан метод ударно-волнового компактирования порошковой смеси для получения композита магний-нитрид алюминия и метод литья алюминиевых и магниевых сплавов, содержащих наночастицы трифторида скандия и нитрида алюминия. Также раздел включает описание методов исследования структуры и механических свойств при квазистатическом и динамическом нагружении.

**Третий раздел** диссертации посвящен описанию исходных порошков, использованных в диссертационной работе. Получены данные о среднем размере частиц в порошках алюминия, магния, трифторида скандия и нитрида алюминия. В разделе представлены результаты экспериментальных работ по распределению наночастиц в порошковых смесях с микропорошками. Нанопорошок трифторида скандия перемешивался в микропорошке алюминия, а нанопорошок нитрида алюминия в микропорошке магния. По результатам экспериментов было рекомендовано в дальнейшем использовать раствора петролейного эфира-стеариновая кислота для подготовки порошковых смесей с наночастицами.

**Четвёртый раздел** посвящён математическому моделированию процесса ударно-волнового компактирования порошков и порошковых смесей. Предлагаемая в диссертационном исследовании математическая модель позволяет рассчитать давления необходимые для образования плотного контакта между частицами порошков и порошковых смесей. Автор предлагает разделить процесс ударно-волнового компактирования на 4 стадии: 1 – схватывание частиц между собой, 2 – струйное очищение поверхности частиц, 3 – давление для получения максимально плотного компакта, 4 – плавление частиц. На основе полученной модели проведён расчёт для сплава алюминиевого сплава и для алмазного порошка. В результате расчёта выявлено, что для алмазного порошка плавление будет происходить раньше, чем произойдёт струйное очищение поверхности и получение плотного компакта.

**Пятый раздел** посвящён исследованию влияния структуры и фазового состава на механические характеристики композита магний-нитрид алюминия, полученного методом ударно-волнового компактирования. Проведённый элементный анализ поверхности композита показал, что материал состоит из магния, который является матрицей и кислорода, который присутствует в порошке магния в исходном состоянии. Найденные в композите методом элементного анализа азот и алюминий косвенно могут свидетельствовать о введении нитрида алюминия в матрицу, что подтверждается данными рентгенофазового анализа с помощью которого удаётся вывить нитрид алюминия в структуре. По данным электронной микроскопии 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** посвящён исследованию структуры и деформационного поведения при растяжении алюминиевых и магниевых сплавов, упрочнённых наночастицами. При введении трифторида скандия наблюдалось измельчение среднего размера зерна сплава и значительное увеличение механических свойств сплавов. Стоит отметить, что увеличивалась не только твёрдость, предел текучести и предел прочности, но и пластичность сплава. Согласно проведённым в разделе расчётами, при использовании наночастиц трифторида скандия доминирующим механизмом упрочнения является разность коэффициентов теплового расширения матрицы и частиц.

Введение наночастиц нитрида алюминия способствовало уменьшению среднего размера зерна магниевого сплава МЛ12 и увеличению предела прочности с пластичностью с неизменной твёрдостью.

Введение наночастиц нитрида алюминия способствовало уменьшению среднего размера зерна магниевого сплава МЛ5 и увеличению его предела текучести, предела прочности и пластичности. Также введение наночастиц нитрида алюминия способствует увеличению динамического предела текучести и откольной прочности с 635 до 820 МПа.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы диссертационной работы.

Основные результаты диссертации А.П. Хрусталёва отвечают заявленным целям диссертационного исследования.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и практических рекомендаций

Полученные результаты работы, безусловно, отличаются научной новизной, так как расширяют и уточняют знания о закономерностях деформации и разрушения, дисперсно-упрочнённых сплавов на основе алюминия и магния при квазистатическом и динамическом нагружении.

Новые и наиболее ценные научные результаты и выводы диссертационной работы, состоят в следующем:

1. Предложен способ расчёта порогового значения давления и времени его воздействия для получения прочного компакта, исходя из свойств материала частиц.

2. Найдены закономерности влияния наночастиц трифторида скандия на структуру и механические свойства алюминиевого сплава АК7 при квазистатическом нагружении.

3. Найдены закономерности влияния наночастиц нитрида алюминия на структуру механические свойства магниевого сплава МЛ12 при квазистатическом растяжении.

4. Найдены закономерности влияния наночастиц нитрида алюминия на структуру и механические свойства магниевого сплава МЛ5 при квазистатическом и динамическом нагружении.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений. Достоверность численных результатов обеспечивается корректной постановкой задачи и разработанной модели. Достоверность результатов экспериментальных исследований обеспечена применением современного сертифицированного испытательного оборудования, а также методов проведения испытаний и обработки их результатов в соответствии с требованиями стандартов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы и опираются на результаты экспериментальных исследований, фундаментальные математические формулировки и принципы современной механики деформируемого твердого тела.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Результаты диссертационной работы способствуют более глубокому пониманию закономерностей деформации, повреждения и разрушения алюминиевых и магниевых дисперсно-упрочнённых композитов и сплавов.

Предложенный способ расчета пороговых значений давления расширяет возможности применения ударно-волнового компактирования для создания композитов и изделий из них. Полученные на основе экспериментальных исследований результаты обеспечивают более полное понимание закономерностей процессов деформации и разрушения в условиях квазистатического и динамического нагружения дисперсно-упрочнённых сплавов.

Результаты диссертационной работы могут применяться при решении как прикладных, так и научных поисковых задач. Полученные данные о процессах деформирования упрочнённых сплавов могут быть использованы при проектировании элементов новой авиакосмической техники, корпусов приборов и высоконагруженных механизмов, подверженных статическим и динамическим нагрузкам.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации А.П. Хрусталёва могут быть рекомендованы к использованию в организациях и предприятиях, выполняющих исследовательские, проектные и опытно-конструкторские работы, связанные с

созданием новых сплавов для техники из легких материалов, а также в исследовательских университетах РФ. В их число входят РУСАЛ, Прометей, ИСС Решетнёва, КАМАЗ и другие организации.

#### Замечания по содержанию и оформлению диссертации

По диссертации А.П. Хрусталёва следует сделать несколько замечаний:

1. Пункт «Научная новизна» сформулирован слишком обще и не дает представления о конкретных новых научных результатах.
2. Известно, что существует значение концентрации вводимых в матрицу нано-или микрочастиц, обеспечивающее максимальное увеличение упругих и прочностных свойств композиционного материала. В диссертационной работе такой информации для исследуемых материалов нет. Надеюсь, такие исследования автор проведет в будущем.
3. В 4 разделе предлагается способ расчёта порогового значения давления и времени его воздействия для получения прочного компакта, исходя из свойств материала частиц, что позволяет подобрать параметры ВВ для компактирования. Но это не является математическим моделированием процесса ударно-волнового компактирования порошков и порошковых смесей.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации.

#### Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Тема диссертационного исследования соответствует п. 4 паспорта специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

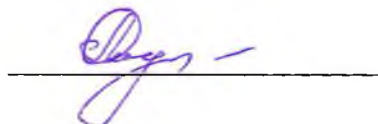
Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации отражены в 19 работах, в том числе 5 статьях в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (из них 2 статьи в зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science; 3 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science), 2 статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science и Scopus, 9 публикаций в сборниках материалов международных научных конференций, симпозиума, конгресса; получено 3 патента 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 твёрдого тела является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. По высказанным соображениям работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в ред. от 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, обладает научной новизной и практической значимостью, а сам автор заслуживает присвоения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

директор Института кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), профессор



Радченко Андрей Васильевич

«09» сентября 2019 г.

Подпись Радченко Андрея Васильевича удостоверяю.

И.о. проректора по научной работе ТГАСУ

  
Юрьев И.Ю.  
«09» сентября 2019 г.



*Сведения об организации:* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»; 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; (3822) 47-28-91; rector@tsuab.ru; сайт организации: <http://www.tsuab.ru>