

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Кветинской Алеси Владимировны

**«Механические свойства материалов на основе алюминия,
дисперсно-упрочненных наноразмерными частицами Al_2O_3 »,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

Развитие моделей механики деформируемого твердого тела, учитывающих влияние структуры конструкционных материалов на их механические свойства, представляется важным для ускорения использования новых сплавов с повышенными удельными прочностными характеристиками. Дисперсно-упрочненные алюминиевые сплавы и алюмоматричные композиты, несомненно, представляют интерес для использования в аэрокосмической и автомобильной промышленности.

Особый интерес представляет изучение композитов с наноразмерными упрочняющими элементами структуры, которое открывает возможность создания и применения нового класса легких сплавов с повышенной удельной прочностью, пластичностью, трещиностойкостью и сопротивлением ползучести.

Важной задачей является получение экспериментальных данных для разработки научных основ прогноза механического поведения алюмоматричных нанокompозитов, оптимизации структуры.

Актуальным представляется использование металломатричных композитов, повышение механических свойств которых осуществляется за счёт введения тугоплавких, в том числе, керамических частиц. При переходе к наноразмерным упрочнителям открывается возможность получения абсолютно нового класса легких материалов с повышенной удельной прочностью, пластичностью, трещиностойкостью и сопротивлением ползучести

В этой связи диссертационная работа А. В. Кветинской, посвященная изучению влияния структуры и свойств нанокompозитов $Al-Al_2O_3$, полученных различными методами, на сопротивление деформированию и разрушению в условиях ударного сжатия и статических нагрузок, является **актуальной.**

Новизна научного направления, развиваемого в диссертационном исследовании А. В. Кветинской, заключается в изучении закономерностей деформации и разрушения нового класса алюмоматричных нанокompозитов при динамических нагрузках, исследовании влияния наноразмерных включений оксида алюминия на механизмы упрочнения композитов на основе алюминия.

В диссертации А. В. Кветинской развиты представления о влиянии наноразмерных включений оксида алюминия на механизмы деформации и разрушения материалов на основе алюминия при динамических нагрузках. С использованием лазерного дифференциального интерферометра VISAR установлено, что добавка в алюминий 10 масс. % наночастиц оксида алюминия может увеличить динамический предел упругости композиционных порошковых материалов Al-Al₂O₃, при этом наличие остаточной пористости существенно понижает сопротивление разрушению.

На примере результатов исследования алюминия с различной концентрацией наноразмерных частиц оксида алюминия показано, что использование ультразвуковой обработки расплава алюминия способствует более равномерному распределению наночастиц оксида алюминия в слитке алюминия. Получены комплексные результаты исследования структуры алюмоматричных нанокомпозитов с использованием метода электронной микроскопии, показавшие, что при содержании наночастиц ~1 масс. %, включения оксида алюминия преимущественно распределены в теле зерна и в виде агломератов. Установлено, что введение наночастиц в расплав алюминия способствует повышению предела текучести, предела.

В этой связи, получение новых экспериментальных данных о структуре и механических свойствах алюмоматричных нанокомпозитов, приобретает ключевое значение, что определяет **научную ценность** диссертационного исследования.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных методик, полученных данных и рекомендаций для создания и применения новых нанокомпозитов с алюминиевой матрицей с различной микроструктурой и текстурой в условиях квазистатического и динамического нагружения.

Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка литературы. Диссертация хорошо структурирована, изложение материала выстроено логически грамотно. Список литературы содержит 115 ссылок на работы отечественных и зарубежных авторов, большинство из которых выполнены за последние десятилетия.

Во введении обосновывается актуальность работы, определяются цели, задачи и методы исследования, обсуждается научная новизна и практическая значимость, формулируются выносимые на защиту положения, приводятся данные об апробации и публикации результатов, обозначен личный вклад автора, приводится краткое содержание разделов диссертации.

Первый раздел является обзорным. В нем представлены результаты аналитического обзора опубликованных результатов, касающихся методов производства алюминиевых сплавов, методов их упрочнения, а также достигнутых физико-механических свойствах. Особое внимание уделяется обзору подходов, используемых для изменения прочностных свойств и структуры алюминиевых композиционных материалов, анализу механизмов

повышения прочностных свойств композитов на основе алюминия, упрочненного частицами Al_2O_3 . Выполненный обзор свидетельствует о хорошем знании автором отечественной и зарубежной литературы и современных тенденций, сложившихся в области исследования.

Во втором разделе приводится формулировка целей и постановка задач исследования, обоснование выбора материалов и методик исследований. На основе анализа механизмов поликристаллического и многофазного упрочнения обоснованы принципы формирования новых композитных материалов с использованием дискретных частиц второй фазы, распределенных в матрице основного материала.

Проведены экспериментальные исследования возможности реализации одновременно двух механизмов упрочнения за счет возможности измельчения зерна и торможения движения дислокаций на частицах второй фазы.

Методом электрического взрыва проводников получены наноразмерные частицы оксида алюминия и исследованы их характеристики.

Исследования порошка Al_2O_3 , полученного по технологии электрического взрыва проводников, показали, что частицы в порошке не агломерированы и имеют правильную сферическую форму. Проведенный рентгенофазовый анализ показал, что порошок Al_2O_3 состоит из $\gamma-Al_2O_3$, однако присутствуют следы α -фазы.

Показано, что разработанная технология ударно-волнового компактирования смеси Al и Al_2O_3 позволяет получать лигатуры $Al-10\%Al_2O_3$, с использованием которых в дальнейшем могут быть получены алюмоматричные композиты с требуемой концентрацией наноразмерных упрочняющих нано частиц оксида алюминия и соответствующими физико-механическими свойствами.

Третий раздел посвящен анализу полученных результатов исследований структуры и свойств порошков алюминия и оксида алюминия, используемых для получения композитов, структуры, механических характеристик литых сплавов алюминия, упрочненных наночастицами Al_2O_3 при статических и динамических нагрузках.

Исследования структуры алюмоматричных композитов упрочненных наночастицами Al_2O_3 , показали наличие поровой структуры композитов. Установлено, что пористость композитов, упрочненных наночастицами Al_2O_3 в несколько раз выше, чем у исходного сплава.

Кроме того, добавление наночастиц приводит к уменьшению размера зерен алюминиевой матрицы в нанокompозитов.

В четвертом разделе представлены результаты исследований деформирования и разрушения алюмоматричных композиционных материалов при статических и динамических нагрузках. Проведенные экспериментальные исследования сжатия образцов композитов показали, что полученные алюмоматричные композиционные материалы $Al-10$ масс. %

Al_2O_3 обладают низкой пластичностью (~1 %). Исследование структуры композитов позволило установить, что снижение пластичности алюмоматричных композиционных материалов обусловлено кластеризацией оксидных частиц, во время производства композитов.

Показано, что при статическом одноосном растяжении образцов литых сплавов алюминия наличие наночастиц оксида алюминия в их структуре существенно повышает предел прочности, предел текучести и пластичность одновременно.

В результате проведенных исследований А. В. Кветинской, установлено, что присутствие наноразмерных частиц оксида алюминия в матрице алюминия приводит к повышению предела прочности при статическом сжатии получаемых алюмоматричных композитов (предел прочности при сжатии для композитов, содержащих 5 масс. % Al_2O_3 , составил 300 МПа, а для нанокompозитов с содержанием 10 масс. % Al_2O_3 – 345 МПа).

В результате выполненных исследований по нагружению образцов композитов плоскими ударными волнами, обнаружено, что в литых сплавах наличие наночастиц оксида алюминия не оказывает существенного влияния на динамический предел упругости и прочности. При введении в алюминиевую матрицу 0,5 и 1 масс. % наночастиц оксида алюминия, динамический предел упругости композита увеличился с 55,8 МПа для сплавов без частиц до 124,6 МПа и 150,3 МПа, а предел прочности с 137 МПа до 220 МПа и 227 МПа, соответственно.

При этом динамическая (откольная) прочность исследуемых Al- Al_2O_3 композитов оказалась существенно ниже, чем у технически чистого алюминия. Обнаружено, что откольная прочность композитов Al- Al_2O_3 равна 0,4 ГПа и 0,35 ГПа для образцов толщиной 2 мм и 5 мм, в то время как динамическая прочность образцов технически чистого алюминиевого сплава АД1 составляет 1,8 ГПа при толщине образца 2,13 мм.

Установленное снижение значений динамической (откольной) прочности в композитах Al- Al_2O_3 объяснено значительным увеличением микродефектов при сжатии в ударной волне, распространяющейся в композите.

В пятом разделе описаны основные области применения алюминиевых сплавов, включая возможные применения исследованных композитов. Показано, что полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке технологических регламентов для получения композиционных материалов на основе алюминия для их дальнейшего практического применения в производстве изделий.

Указано, что часть результатов была использована в производственной практике малого инновационного предприятия ООО «АлКом».

В заключении приведены основные результаты и выводы,

соответствующие положениям, выносимым на защиту, обозначены перспективы дальнейшего развития темы.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1. Ряд полученных в диссертационном исследовании экспериментальных данных о физико-механических свойствах материалов представлены без указанных доверительных интервалов.

Отсутствуют указанные доверительные интервалы полученных параметров также и в таблицах 4.1, 4.2, 4.3, 4.4. Следовало бы указать доверительные интервалы условных напряжений и условных деформаций, представленных на рисунках 4.1 4.5, 4.6 4.7, 4.8.

2. Хорошо известно, что механическое поведение сплавов и композитов зависит от скорости деформации, вида нагружения (сжатия или растяжения). Поэтому, следовало бы указать, при каких скоростях деформации были испытаны образцы алюмоматричных композитов, для которых на рисунках 4.1 4.5, 4.6 4.7, 4.8, представлены диаграммы условное напряжение – условная деформация.

3. В работе получены новые комплексные экспериментальные данные о параметрах структуры и механических свойствах алюмоматричных композитов.

Следовало бы обобщить полученные результаты в форме физико-математических моделей и соотношений, описывающих влияние параметров структуры на прочностные характеристики нанокompозитов. Также следовало бы обобщить данные о влиянии зёрненной структуры и параметров распределения упрочняющих наночастиц в алюмоматричных композитах на сопротивление пластической деформации и характеристики разрушения в условиях квазистатического и высокоскоростного нагружения.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы и квалификации ее автора. Работа выполнена на высоком научном уровне.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 11 работах, в том числе в 3 статьях в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 1 статье в зарубежном научном журнале, входящем в Web of Science, 1 статье в российском научном журнале, переводная версия которого входит в Web of Science, 1 статье в российском научном журнале, входящем в Web of Science), 1 статье в сборнике материалов конференции, представленном в зарубежном научном издании, входящем в Web of Science, 6 публикациях в сборниках материалов международных научных конференций (из них 2 зарубежные конференции); получен 1 патент Российской Федерации.

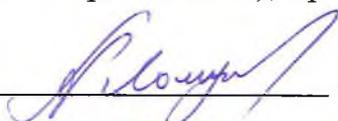
Содержание автореферата соответствует диссертации.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов обеспечивается применением апробированных современных экспериментальных методов определения механических свойств и параметров структуры, сертифицированных приборов и аппаратуры, стандартизированных методик в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов, согласием, полученным в диссертации результатов, частным экспериментальным данным других исследователей, приведенным в литературе.

На основании изложенного можно утверждать, что представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, которая по объему и значимости полученных данных, уровню их представления и новизне, а также учитывая перспективность развиваемого подхода, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а, Кветинская Алеся Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Проблем прочности, динамики и ресурса Научно-исследовательского института механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), профессор

 Ломунов Андрей Кириллович

«24». января. 2020 г.

Подпись А. К. Ломунова удостоверяю



Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
адрес: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 6;
тел.: +7(831)465-16-22; unn@unn.ru; <http://unn.ru/>.