

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Кветинской Алеси Владимировны

на тему «Механические свойства материалов на основе алюминия, дисперсно-упрочненных наноразмерными частицами  $Al_2O_3$ », 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.В. Кветинской посвящена изучению процессов деформации и разрушения дисперсно-упрочнённых композитов на основе алюминия. Для повышения механических свойств сплавов на основе алюминия, традиционно используемых в промышленности, дисперсное упрочнение является перспективным методом, и работы в данной области интенсивно проводятся в России и за рубежом. Использование тугоплавких наночастиц в качестве упрочняющей фазы в легкоплавких металлических матрицах при определенных условиях эксплуатации позволяет существенно повысить свойства алюминиевых сплавов. Однако механизмы деформации и разрушения таких композитов до сих пор недостаточно описаны. В связи с этим тема диссертационного исследования является актуальной как в научном, так и в прикладном аспектах.

### Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 131 страницах машинописного текста, включая 86 рисунков, 6 таблиц и 1 приложение. Список литературы включает 115 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.

**Первая глава** посвящена анализу работ в области получения алюминиевых сплавов, способах их упрочнения и влияния неметаллических включений на физико-механические характеристики алюминиевых сплавов.

**Во второй главе** поставлены задачи исследования, обоснован выбор материалов и методик исследования. В качестве исходных порошков для получения высоконаполненных неметаллическими частицами композитов в работе использован алюминиевый микропорошок и нанопорошок оксида алюминия. Базовыми сплавами в работе являлись технически чистый

алюминий и модельный сплав Al-4%Cu. Обосновано применение метода ударно-волнового компактирования порошковой смеси для получения металло-керамического композита «алюминий - оксид алюминия» и методы литья алюминиевых сплавов, содержащих наночастицы оксида алюминия. Также во второй главе описаны примененные методы исследования структуры и механических свойств при квазистатическом и динамическом нагружении.

**Третья глава** диссертации посвящена характеристике структуры и морфологии исходных порошков алюминия, алюминиевых сплавов Al-4%Cu и композиционных материалов Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Представлены экспериментальные данные о среднем размере частиц в порошках алюминия и оксида алюминия. Показано влияние наночастиц оксида алюминия на структуру и твёрдость алюминиевого композита, полученного методом ударно-волнового компактирования; алюминиевого сплава Al-4%Cu, полученного методом литья с ультразвуковой обработкой расплава.

**В четвёртой главе** приведены результаты исследований характера деформирования и разрушения алюмоматричных композиционных материалов, сплавов Al-4%Cu и Al-4%Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при испытаниях статическими и динамическими нагрузками.

**В пятой главе** описаны основные области применения алюминиевых сплавов и композитов на их основе, включая возможное практическое использование исследованных металло-керамических нанокompозитов.

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

Основные результаты диссертации А.В. Кветинской подтверждают достижение поставленной цели и решение задач диссертационного исследования.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и практических рекомендаций

Оригинальные результаты работы соискателя имеют научную новизну, так как расширяют и уточняют знания о закономерностях деформации и разрушения дисперсно-упрочнённых материалов на основе алюминия при статическом и динамическом нагружении.

Новые и значимые научные результаты и выводы диссертационной работы состоят в следующем:

1. Установлено, что добавка в алюминий 10 масс.% наночастиц оксида алюминия может увеличить механические свойства при статическом сжатии и одновременно увеличить динамический предел упругости композиционных порошковых материалов на основе алюминия.

2. 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.

3. Результаты исследований Кветинской А.В. подтвердили ранее полученные выводы, что динамическая прочность метало-матричных композитов Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ниже по сравнению с литыми и монокристаллическими материалами, то есть не для всех случаев справедливо утверждение о дисперсном упрочнении металлов и сплавов даже наноразмерными керамическими частицами.

4. Показано, что использование ультразвуковой обработки расплава алюминия способствует более равномерному распределению наночастиц оксида алюминия в слитке алюминия, а при введении 0,1 % наночастиц оксида алюминия наблюдается существенное уменьшение среднего размера зерна (от 330 мкм до 200 мкм).

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений, так как в экспериментальных исследованиях применено современное сертифицированное оборудование, а методы проведения испытаний и обработки их результатов применены 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 дисперсно-упрочнённых композитов.

Результаты диссертационной работы могут применяться при решении как научных поисковых, так и прикладных задач. Полученные результаты диссертационного исследования могут составить основу технологических регламентов изготовления композиционных материалов на основе алюминия для их дальнейшего практического применения в производстве изделий на профильных предприятиях (например, АО РУСАЛ, ЦНИИ КМ «Прометей», АО «ИСС имени М.Ф.Решетнёва», АО КАМАЗ, ГНЦ ВИАМ). Часть результатов исследования соискателя применены в производственной практике малого инновационного предприятия ООО «АлКом».

### Замечания по содержанию и оформлению диссертации

1) Каковы были параметры процессов получения нанопорошков оксида алюминия методом электрического взрыва проводников (в данном случае – металлического алюминия)? В диссертации приводится лишь библиографическая ссылка на статью [73] 2004 года.

2) Как определялись средний поверхностный и средний массовый размер частиц  $Al_2O_3$ ?

3) Почему при увеличении концентрации оксида алюминия в композите возрастает размер кристаллитов  $Al_2O_3$  (рис. 3.7)?

4) Каковы могут быть рекомендации для оптимизации режимов ударно-волнового компактирования исследуемых композитов, чтобы уменьшить степень агломерации наночастиц  $Al_2O_3$  (стр. 76) и обеспечить их более гомогенное распределение в композите? Какова наиболее предпочтительная локализация дисперсных частиц  $Al_2O_3$  в металлической матрице: в теле зёрен алюминия или на их границах (стр. 85)?

5) На рис.3.12 приведены изображения поверхности сплава Al-4%Cu-0,1масс.% $Al_2O_3$ . Откуда возникла указанная на рисунке эвтектика Si?

6) На рис.3 автореферата представлена схема установки для получения композита Al-4%Cu -  $Al_2O_3$  из расплава. Однако в диссертации (рис. 3.13) эта схема относится к экспериментам из источника [77] и не отражает реализацию ультразвуковой обработки расплава, как это описано на стр.64 диссертации.

7) Почему оптимальные концентрации дисперсных частиц  $Al_2O_3$  отличаются на два порядка для композитов с матрицей из алюминия, получаемых ударно-волновым компактированием (10%  $Al_2O_3$ ), и для композитов с матрицей Al-4%Cu, получаемых из расплавов с ультразвуковой обработкой (0,1%  $Al_2O_3$ )?

### 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 отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации 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; получен 1 патент Российской Федерации.

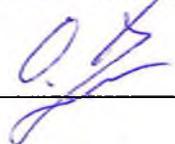
Таким образом, рассматриваемая диссертация «Механические свойства материалов на основе алюминия, дисперсно-упрочненных наноразмерными

частицами  $Al_2O_3$ », представленная 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 методические, технологические решения и разработки, имеющие важное значение для развития страны.

Считаю, что работа Кветинской Алеси Владимировны 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 её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

**Официальный оппонент:**

директор Научно-образовательного инновационного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор технических наук (05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), профессор

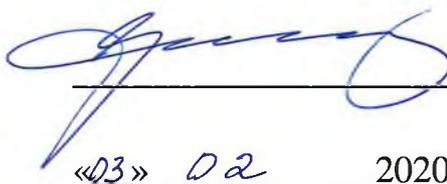
  
\_\_\_\_\_ Хасанов Олег Леонидович

«03» 02 2020 г.

Подпись Хасанова Олега Леонидовича удостоверяю.

Ученый секретарь

Национального исследовательского Томского политехнического университета

  
\_\_\_\_\_ Ананьева Ольга Афанасьевна

«03» 02 2020 г.



*Сведения об организации:* Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; (3822) 42-72-42; khasanov@tpu.ru; сайт организации: <http://www.tpu.ru>  
tpu@tpu.ru