

«Утверждаю»

Заместитель директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ИМЕТ РАН),
член-корреспондент РАН

Колмаков А.Г.

« 31 » января 2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе ФАЕРШТЕЙНА
КОНСТАНТИНА ЛЕОНИДОВИЧА «Синтез наноструктур BN и их
применение для упрочнения легких металлических матриц на основе Al»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (металлургия)»

Актуальность работы

Разработка композиционных материалов на основе Al с повышенными прочностными характеристиками при комнатной и повышенной температурах является важной научно-технической проблемой. Решение данной проблемы позволит увеличить долговечность работы изделий при снижении общего веса конструкции. В частности, для аэрокосмической промышленности, это позволит увеличить полезную нагрузку летательных аппаратов, сократить расходы топлива и выбросы в атмосферу двуокиси углерода.

Для решения данной проблемы, в настоящее время, активно разрабатываются дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе Al. Исследуются композиты на основе Al, упрочненные различными наноструктурами. В частности, большое количество работ посвящено применению многостенных углеродных нанотрубок, наночастиц SiC, Al₂O₃, TiB₂ в качестве армирующих добавок в композиты на основе Al.

Оригинальным подходом к разработке новых композиционных материалов на основе Al является, предложенное автором, использование наноструктур гексагонального BN (h-BN) в качестве упрочняющей добавки к Al матрице. Согласно приведенным в работе литературным данным, для наноструктур h-BN характерны уникально высокие

механические свойства, а также высокая стойкость к высокотемпературному окислению. Плотность h-BN составляет $2,2 \text{ г/см}^3$, что делает его самым легким материалом по сравнению с другими армирующими добавками. Кроме того, h-BN хорошо смачивается жидким Al, что обеспечивает отсутствие микропор и высокую адгезию на границе Al/BN. Сочетание указанных свойств, даёт основание полагать, что композиты на основе Al, упрочненные наноструктурами h-BN, могут обладать высокими значениями удельной прочности и жаропрочности при низком весе конструкции.

Одним из основных факторов, сдерживающих исследования в области применения наноструктур h-BN в качестве упрочняющих добавок в дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе Al, является отсутствие отработанной технологии их получения. Это, прежде всего, связано с недостатком информации о механизме образования и роста h-BN наноструктур.

Таким образом, диссертацию К.Л. Фаерштейна, посвященную разработке новых научных и технологических подходов к синтезу наноструктур BN и их применению для создания композиционных материалов с высокой удельной прочностью, а также исследованию их механических свойств, таких как прочность при комнатной и повышенной температурах, и исследованию структуры полученных композитов, следует считать весьма актуальной.

Научная новизна работы

Анализ диссертационной работы К.Л. Фаерштейна показывает, что им получен большой объем оригинальных результатов. В работе эффективно использованы методы структурных исследований (сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, энергодисперсионный анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния и рентгеноструктурный анализ), а также методы испытаний механических свойств, полученных материалов при комнатной и повышенных температурах, результаты которых адекватно проанализированы и обобщены автором. Полученные результаты показали возможность достижения высокого значения прочности на растяжение для композиционных материалов на основе Al (386 МПа при комнатной температуре и 187 МПа при 500°C), что является одним из достоинств диссертационной работы, заслуживающих особенного внимания.

Наиболее важным и оригинальными результатами диссертационной работы являются следующие:

1. Экспериментально установлена каталитическая активность оксидов щелочных и щелочноземельных металлов при синтезе наноструктур BN.

2. Определена оптимальная температура синтеза нанотрубок BN при использовании Li_2O в качестве катализатора.
3. Предложена эмпирическая модель зарождения и роста нанотрубок BN, согласно которой рост нанотрубок BN осуществляется из расплава бората, образованного за счет реакции Li-содержащих соединений с BN подложкой.
4. На основании предложенной модели роста, был разработан новый метод синтеза BN наноструктур за счет прямой реакции бората Li с аммиаком.
5. Установлены оптимальные температуры для синтеза нанотрубок, графеноподобных листов и наночастиц BN.
6. Впервые получены композиционные материалы на основе Al, упрочненного наноструктурами BN, с применением методов спиннингования из расплава и искрового плазменного спекания.
7. Экспериментально установлено существенное увеличение прочности композитов по сравнению с чистым Al как при комнатной, так и при повышенной температуре.

Практическая значимость работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, представляют несомненный практический интерес с позиций их использования в различных технических областях. В работе даны практические рекомендации по получению высокопрочного композиционного материала, который может быть использован для конструктивных элементов аэрокосмической, автомобильной и ветроэнергетической продукции. Определена связь между оптимальными технологическими режимами получения реакционных смесей и композиционных материалов, концентрацией упрочняющей фазы BN, структурой и механическими свойствами конечных продуктов.

По результатам диссертационной работы были поданы заявки на патенты «Способ получения графеноподобных листов из нитрида бора» и «Способ получения нанотрубок нитрида бора».

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность результатов, полученных в ходе диссертационной работы К.Л. Фаерштейна, подтверждается значительным объемом данных, полученных современными методами исследования структуры и механических свойств композиционных материалов на основе Al, сходимостью полученных данных с результатами, представленными в отечественной и зарубежной научной литературе. Все

научные выводы и заключения, представленные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, и основные положения, выносимые на защиту, могут быть использованы в практике получения BN наноструктур и композиционных материалов на основе Al, фундаментальных исследований их структуры и механических свойств, а также в качестве учебного материала в курсах лекций по материаловедению.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе предложена эмпирическая модель зарождения и роста нанотрубок BN, согласно которой рост нанотрубок BN осуществляется из расплава бората, образованного за счет реакции Li-содержащих соединений с BN подложкой, однако отсутствуют результаты теоретического моделирования данного процесса, подтверждающие или опровергающие предложенную модель.
2. Важной эксплуатационной характеристикой композиционных материалов на основе Al является их прочность при повышенных температурах. В главе 5 в результате испытаний на растяжение при 500 °C показано, что полученные композиционные материалы демонстрируют существенное повышение прочности на разрыв при данной температуре по сравнению с чистым Al и сплавами на его основе. Однако, отсутствуют исследования изменения механических свойств, полученных образцов после длительной выдержки при данных температурах.
3. В работе отсутствуют результаты исследования таких важных эксплуатационных характеристик для конструкционных материалов как модуль упругости, предел прочности на изгиб и ударная вязкость.

Общая характеристика диссертационной работы

Анализ работы показывает, что, несмотря на указанные замечания, диссертация по своим целям, содержанию, примененным экспериментальным подходам и значимости результатов заслуживает высокой оценки. Она соответствует специальности 05.16.09 – «Материаловедение (металлургия)». Текст работы изложен в надлежащем стиле и оформлен в соответствии с установленными требованиями. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для

защиты кандидатских диссертаций, и обсуждены на ряде российских и международных конференций. Автореферат и публикации диссертанта достаточно полно отражают основные положения работы.

Диссертационная работа К.Л. Фаерштейна является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Результаты, полученные в ходе работы, представляют собой существенный вклад в развитие научного направления, связанного с разработкой перспективных композиционных материалов.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (металлургия)».

Диссертационная работа К.Л. Фаерштейн обсуждена на заседании лаборатории металловедения цветных и легких металлов ИМЕТ РАН. Протокол заседания № 37 от 31 января 2017 года.

Зам. зав. лабораторией металловедения
цветных и легких металлов ИМЕТ РАН,
д.т.н., профессор

Л.Л. Рохлин

rokhlin@imet.ac.ru – Рохлин Лазарь Леонович (+7 (499) 135 8660)

kolmakov@imet.ac.ru – Колмаков Алексей Георгиевич (+7 (499) 135 4531)

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

Краткое наименование: ИМЕТ РАН

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, 49

Телефон: +7(499) 135-2060

Факс: +7(499) 135-8680

E-mail: imet@imet.ac.ru

<http://www.imet.ac.ru>

Основные научные направления:

- Физико-химические основы металлургии цветных и редких металлов.
- Металловедение цветных и легких металлов.
- Пластическая деформация металлических материалов.
- Конструкционные стали и сплавы.
- Физикохимия аморфных и нанокристаллических сплавов.
- Прочность и пластичность металлических и композиционных материалов и наноматериалов.

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Суханов А.В., Леонова Н.П. Структура и свойства холоднодеформированных сплавов на основе системы Al-Mg₂Si, легированных добавками переходных металлов // Перспективные материалы, – 2016. – №3. – с.20-26.
2. Murashkin M., Sabirov I., Prosvirnin D., Ovid'ko I., Terentiev V., Valiev R., Dobatkin, S. Fatigue Behavior of an Ultrafine-Grained Al-Mg-Si Alloy Processed by High-Pressure Torsion // Metals, 2015, Volume 5, Issue 2, PP. 578-590.
3. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Тарытина И.Е. Влияние скандия совместно с цирконием на рекристаллизацию алюминиевых сплавов системы Al-Mg₂Si // Металлы. 2015. № 3. С. 51-59.
4. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Тарытина И.Е. Влияние скандия совместно с цирконием на структуру и прочностные свойства сплавов на основе системы Al-Mg₂Si // Металлы. 2015. № 5. С. 60-66.
5. Мурашкин М.Ю., Бобрук Е.В., Просвирнин Д.В., Овидько И.А., Терентьев В.Ф., Добаткин С.В., Валиев Р.З. Усталостная прочность ультрамелкозернистого алюминиевого

сплава 6061, полученного интенсивной пластической деформацией кручением. Деформация и разрушение. 2015, №4, с. 17-24.

6. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Леонова Н.П., Тарытина И.Е. Влияние дополнительного легирования скандием и скандием совместно с цирконием на прочностные свойства сплавов системы Al-Mg₂Si // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. С. 25-29.

7. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Суханов А.В., Леонова Н.П. Исследование кинетики распада пересыщенного твердого раствора в сплавах Al-Mg₂Si с добавками скандия, циркония и гафния // Металлы. 2014. № 2. С. 67-72.

8. Головин И.С., Бычков А. С., Михайловская А. В., Добаткин С. В. Вклад фазовых и структурных превращений в многокомпонентных Al-Mg сплавах в линейные и нелинейные механизмы неупругости // ФММ. 2014. Т. 115. № 2. с. 204–214.

9. Терентьев В.Ф., Добаткин С.В., Копылов В.И., Просвирнин Д.В., Петракова Н.В. Особенности статического и циклического разрушения субмикроструктурного Al-Mg-Sc сплава // Материаловедение, 2013, №2, С.7-14.

10. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Рыбальченко О.В., Тарытина И.Е., Суханов А.В. Исследование фазовых равновесий при кристаллизации богатых алюминием сплавов тройной системы Al-Sc-Si // Металлы, 2012, №4, С. 63-69.

Ученый секретарь ИМЕТ РАН,

К.Т.Н.

О.Н. Фомина