

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный архитектурно-строительный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

**21–24 апреля 2015 г.**

## **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

XII International Conference of students and young scientists

**21–24 April, 2015**

Томск 2015

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**В.А. Красновейкин, Б.В. Хандаев, Н.В. Скрипняк

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Скрипняк

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина,  
36, 634050

E-mail: volodia74ms@ya.ru

**STUDY OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL ULTRA-FINE-GRAINED  
MAGNESIUM ALLOYS AVIATION APPLICATION**V.A. Krasnoveikin, B.V. Handaev, N.V. Skripnyak

Scientific Supervisor: Prof., V.A. Skripnyak

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 36, 634050

E-mail: volodia74ms@ya.ru

*The samples of magnesium alloy Ma2-1 in coarse and ultrafine-grained (UFG) state were investigated. UFG - structure in the investigated alloy produced by severe plastic deformation at high-temperature equal channel angular pressing. The influence of the method of severe plastic deformation on the microstructure of the alloy is determine. The estimation of physico-mechanical properties of the alloy at the axial tensile plane specimens at strain rates ranging from 0,001 to 1000 1/s and determining microhardness was carried.*

**Введение.** В настоящее время ведутся интенсивные работы по разработке технологий получения и обработки ультрамелкозернистых (УМЗ) и наноструктурных (НН) легких конструкционных сплавов на основе магния и алюминия, которые должны обеспечить качественное повышение эффективности в авиационной и космической технике [1-3]. Интерес к таким сплавам обусловлен их особыми механическими свойствами: высокой прочностью, твердостью, коэффициентами трения и износостойкостью, высокоскоростной сверхпластичностью, усталостной прочностью и механическим поведением при динамических нагрузках, которые существенно отличаются от свойств поликристаллических аналогов. Известно, что получить изменения внутренней структуры и механических свойств в легких сплавах можно различными способами [2, 4], основанными на реализации методов интенсивной пластической деформации (ИПД). Одним из наиболее распространенных и доступных в реализации методов ИПД является метод равноканального углового прессования (РКУП), в котором правильно подобранный режим прессования приводит к равномерному измельчению внутренней структуры и, как следствие, изменению физико-механических свойств сплавов в сторону увеличения предела текучести, временного сопротивления, предельных величин пластической деформации.

Целью данной работы было исследование особенностей изменения физико-механических свойств легкого конструкционного магниевого сплава Ma2-1 после обработки методами интенсивной пластической деформации.

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

**Методики исследования и оборудование.** Для получения УМЗ-структуры в материале применяли методы интенсивной пластической деформации при ортогональном равноканальном угловом прессовании при повышенных температурах с использованием методики и оснастки, разработанной и изготовленной при участии авторов данной работы [5]. После обработки образцов сплава проводили комплекс физико-механических исследований, который включал в себя:

- элементный и рентгеноструктурный анализ, для определения химического и фазового состава с использованием последовательного рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра Shimadzu XRF 1800 и дифрактометра XRD-6000;

- рентгеновская томография с использованием томографа Y. Cheetah YXLON, для оценки дефектности внутренней структуры, определения пористости, наличия микротрещин, пустот в объеме обработанных материалов;

- микроструктурный анализ методами оптической микроскопии с использованием инвертированного металлографического микроскопа Nikon Epiaphot-200, для определения средних размеров зеренной структуры;

- для определения физико-механических свойств применяли методы осевого растяжения плоских образцов при скоростях деформации в диапазоне от 0,001 до 1000 1/с на универсальном сервогидравлическом стенде Instron VHS 40/50 и определения микротвердости по Виккерсу с использованием микротвердомера Shimadzu HVM G21ST.

**Результаты работы и обсуждение.** Химический элементный и рентгеноструктурный анализ показали, что, не смотря на высокую температуру и большие степени пластических деформаций, при соблюдении режимов прессования в процессе РКУП в исследуемых сплавах не происходит побочных химических реакций и образования новых фаз. Определено появление внутренних упругих напряжений, что может внести вклад в общее напряжено-деформированное состояние при последующих этапах исследований.

С использованием современных методов рентгеновской томографии проводилась оценка дефектности внутренней структуры, определения пористости, наличия микротрещин, пустот в объеме обработанных материалов. Соблюдение технологии реализации интенсивной пластической деформации, описанной в [5], позволило получить свободную от макро- и микродефектов структуру сплавов. Получены результаты исследования микроструктуры материала образцов до и после обработки. По результатам исследований показано, что многопроходное РКУП сплава Ma2-1 позволяет уже после четырех проходов формировать в объеме образцов равномерную УМЗ-структуру. В состоянии поставки исследуемый магниевый сплав Ma2-1 обладает распределением размеров зерен от 2 до 55 мкм в объеме (средний размер зерна 18 мкм). После РКУП при выбранных режимах средний размер зерна уменьшается до 7 мкм. Вместе с тем обнаружены отдельные зерна с размерами 15-30 мкм, которые не претерпели измельчения.

Получены диаграммы деформирования плоских образцов при одноосном растяжении при разных скоростях деформации. Экспериментально установлено, что после воздействия ИПД на исследуемые сплавы, увеличивается предел текучести, кратковременной прочности до 20%. Максимальные значения предельных деформаций при одноосном растяжении увеличиваются до 60%.

Одновременное увеличение предела текучести, кратковременной прочности и предельных деформаций при квазистатическом нагружении является аномальным эффектом. Из литературы

известно, что при соблюдении закона Холла-Петча для УМЗ материалов при росте пластических деформаций после ИПД в материале наблюдается уменьшение значений предела текучести и кратковременной прочности. Данный факт заслуживает дополнительных микроструктурных исследований материала образцов до и после испытаний, оценки влияния степени ориентации кристаллической структуры, распределения зерен по размерам на физико-механические свойства материала при одноосном растяжении. Известно, что сформированная разными технологическими методами (прокатом, экструзией, термообработкой и т. п.) исходная текстура материала оказывает влияние на сопротивление деформированию и разрушению [6]. Предварительный анализ результатов высокоскоростных испытаний свидетельствует о том, что уменьшение средних размеров зерна в объеме сплава приводит к повышению параметра скоростной чувствительности напряжения течения.

Получены зависимости изменения напряжений от пластических деформаций в истинных координатах для диапазона скоростей деформации от 0,001 до 1000 1/с. Зафиксировано изменение значений пределов текучести и кратковременной прочности с изменением скорости деформации. При повышении скорости деформации обнаружено упрочнение материала с повышением значений предела текучести и кратковременной прочности, в УМЗ сплаве эти показатели выше.

После четырех проходов зафиксировано увеличение микротвердости  $H_v$  среднем на 50-60 % от исходной, максимальная величина микротвердости достигает ~960 МПа при исходной не превышающей 560 МПа.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках проекта № 14-01-31144 мол\_а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meyers M.A., Mishra A., Benson D.J. Mechanical properties of nanocrystalline materials // Progress in materials Sciences. - 2006. - Vol. 51. - P. 427–556.
2. Валиев Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы / Р.З. Валиев, И.В. Александров. - М.: Академкнига, - 2007. - 397 с.
3. Meyer L.W., Hockauf M., Kruger L., Schneider I. Compressive behaviour of ultrafine-grained AA6063T6 over a wide range of strains and strain rates // International journal of materials research. -2007. -Vol. 98, № 3. - P. 191-199.
4. Скрипняк В.А., Скрипняк Е.Г., Козулин А.А., Скрипняк В.В. Влияние структурированного поверхностного слоя на циклическую долговечность легких сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2012. - Т. 55, № 9-3. - С. 109-113.
5. Козулин А.А., Скрипняк В.А., Красновейкин В.А., Скрипняк В.В., Каравацкий А.К. Исследование физико-механических свойств ультрамелкозернистых магниевых сплавов после интенсивной пластической деформации // Известия вузов. Физика. - 2014. - Т. 57. - № 9. - С. 98-104.
6. Гаркушин Г.В., Разоренов С.В., Красновейкин В.А., Козулин А.А., Скрипняк В.А. Влияние структурных факторов на механические характеристики магниевого сплава Ма2-1 при квазистатическом и высокоскоростном деформировании // Физика твердого тела. - 2015, - Т. 57. - В. 2. - С. 321-327.