

## ОТЗЫВ

официального оппонента Илларионова Анатолия Геннадьевича на диссертационную работу Распоиенко Дмитрия Юрьевича «Влияние мегапластической деформации и термической обработки на структуру и свойства высокопрочных стареющих сплавов на основе Al-Li», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

**Актуальность темы диссертации.** Диссертационная работа рассматривает вопросы возможности использования мегапластической деформации для повышения комплекса свойств современных конструкционных алюминиевых сплавов, легированных литием, за счет формирования субмикроструктурного (СМК) и наноструктурного состояния, обладающего хорошей термической стабильностью в процессе вылеживания, что является актуальной металловедческой задачей как с научной так и практической точек зрения.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа Распоиенко Д. Ю., изложена на 174 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения и библиографического списка литературы, включающего 237 источников.

Во *введении* обоснована актуальность тематики диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, а также сведения об опубликованных материалах в научных журналах и докладах на конференциях различного уровня.

*Первая глава* представляет обзор литературы по тематике диссертационной работы, на основании которого сформулированы цель и задачи исследования. Показано современное состояние науки в области изучения фазовых превращений, связанных с распадом метастабильных твердых растворов в алюминиевых сплавах типа дуралюминов, а также в двойных и многокомпонентных сплавах на основе системы Al-Li. Рассмотрены вопросы формирования СМК- и НК-структур при мегапластической деформации (МПД) чистых металлов и сплавов, а также ее влиянию на эволюцию структуры и фазового состава металлических материалов, включая последующее термическое воздействие.

Во *второй главе* приведено описание составов исследуемых сплавов (1450, В-1469, В-1461), методов и режимов их МПД и последующей термической обработки, методик исследования структуры и комплекса механических свойств полученных материалов в СМК, НК-, УМЗ-состоянии. Основным методом МПД было выбрано кручение под высоким давлением (КВД), а в качестве термообработки использовали низкотемпературный изотермический отжиг. Анализ структуры осуществляли комплексно преимущественно методами просвечивающей электронной микроскопии, а

также с использованием растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Аттестацию механических характеристик проводили методом инструментального индентирования на современных специализированных нанотвердомерах.

*Третья глава* посвящена изучению влияния МПД и термообработки на фазовые и структурные превращения в модифицированном сплаве 1450 дополнительно легированном Sc и Mg. Рассмотрена структура сплава в микрокристаллическом (МК) состоянии после закалки, а также его структура и механические свойства после МПД и последующей термообработки при 150 и 190 °С. Показано, что дополнительное легирование Sc и Mg сплава 1450 способствует при МПД формированию высокопрочного наноструктурированного состояния, необразующегося в сплаве 1450 без Sc с Mg. Обнаружено, что в ходе термообработки после МПД модифицированного сплава параллельно протекают процессы рекристаллизации с формированием НК, СМК структуры и распада пересыщенного твердого раствора с образованием S<sub>1</sub> и T<sub>2</sub>-фаз несвойственных для МК-состояния при аналогичной термообработке.

В *четвертой главе* приведены экспериментальные результаты по влиянию МПД и термообработки на фазовые и структурные превращения в закаленном сплаве В-1469. Рассмотрена эволюция структуры в зависимости от числа оборотов при КВД вплоть до трансформации МК- состояния до СМК- и НК-состояния и показано, что в таком состоянии (СМК, НК) изменяется механизм и последовательность распада пересыщенного твердого раствора при старении, повышаются микродюрметрические и упругие характеристики сплава. Обнаружено, что отжиг при 150°С сплава после МПД способствует за счет выделения стабильной T<sub>2</sub>-фазы по границам имеющихся нанозерен росту последних при увеличении выдержки при отжиге со стабилизацией НК-структуры с повышенной пластичностью, модулем упругости и незначительным снижением твердости.

*Пятая глава* содержит данные о влиянии МПД, термообработки на структуру и фазовое состояние сплава В-1461. Обнаружено, что с увеличением степени МПД от нанофрагментированной (НФр-) к НК-структуре, что способствует развитию гетерогенного выделения T<sub>2</sub>-фазы при естественном старении, в то время как в закаленном недеформированном сплаве в ходе искусственного старения 160°С, 32 ч. фиксировали только гомогенное выделение  $\delta_1$ , T<sub>1</sub>-фаз. Показано, что отжиг 150°С, 15 ч сплава после МПД способствует формированию рекристаллизованной структуры из смеси СМК и нанозерен, а характер выделения T<sub>2</sub>-фазы при отжиге аналогичен фиксируемому при МПД. Установлено, что в состоянии после МПД сплав переходит в высокопрочное состояние, которое достаточно стабильно и сохраняется после проведения отжига.

В шестой главе исследовано влияние длительного вылеживания после МПД, а также последующего отжига на изменение структуры и фазового состава сплавов 1450 со Sc и Mg, В-1469. Обнаружено, что структура после МПД нестабильна и при вылеживании сплавов 1450, В-1469 трансформируется в смешанную НК и СМК рекристаллизованную зеренную структуру с пониженной дефектностью, которая достаточно стабильна за счет барьерного эффекта образующихся ультрамелкодисперсных стабильных фаз, что обеспечивает и стабильность механических свойств. Показано, что при низкотемпературном отжиге сплава 1450 после вылеживания до 1,5 лет структура и фазовый состав практически не изменяются

В заключении приведены основные выводы по диссертационной работе.

В целом, полученные в диссертации Распоиенко Д.Ю. результаты по влиянию МПД и термообработки на структуру и свойства высокопрочных стареющих сплавов на основе Al-Li позволяют говорить о их достаточной значимости как в научном, так и практическом аспекте.

#### **Научная новизна результатов диссертационной работы**

Диссертационная работа Распоиенко Д.Ю. вносит существенный вклад в развитие современных представлений о влиянии мегапластической деформации и последующей термообработки на эволюцию структуры, фазового состава и свойств промышленных алюминиевых сплавов, легированных литием:

- на примере сплавов 1450, В-1469, В-1461 впервые показано, что их МПД приводит к образованию НФр-, НК- или смешанной (НФр- и НК-) структуры, тип которой определяется полнотой развития при МПД динамической рекристаллизации (ДР), зависящей от химического состава сплава и степени деформации;
- установлено, что формирование НФр- или НК – состояния в ходе МПД исследуемых сплавов способствует развитию деформационно-индуцированного распада пересыщенного твердого раствора с образованием высокодисперсных фаз и изменению при старении (естественном и искусственном) схемы распада (вместо метастабильных фаз  $\delta'$ ,  $\beta'$ , и равновесной  $T_1$ -фазы выделяются равновесная  $T_2$ -фаза (сплавы 1450, В-1461, В1469), а также  $S_1$ -фаза (сплав 1450),  $\Omega$ -фаза (сплав В-1469) и его механизма (с преимущественно гомогенного на гетерогенный);
- обнаружено, что образующаяся в сплавах после МПД НФр- структура нестабильна и при последующем низкотемпературном отжиге или длительном вылеживании трансформируется в полностью или частично рекристаллизованную НК-структуру, которая не вызывает радикального изменения механических свойств после МПД, в частности из-за хорошей размерной стабильности рекристаллизованной НК-структуры

формируемой при длительном вылеживании вследствие барьерного эффекта образующихся высокодисперсных фаз.

### **Практическая значимость полученных результатов**

В работе показана возможность создания методами МПД высокопрочного СМК-, НС- состояния в алюминиевых сплавах, легированных литием, с достаточно высокой термостабильностью и сохранением их уникальных свойств, что может в дальнейшем найти применение в конкретных промышленных изделиях.

Полученные результаты работы полностью соответствуют поставленным целям и задачам, их достоверность подтверждается высоким уровнем воспроизводимости. Для экспериментов и исследований в работе использовалось аттестованное оборудование. Результаты, полученные в работе, хорошо согласуются с более ранними литературными данными.

### **По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:**

1. В литературном обзоре (глава 1) на рисунках 1.14, 1.15, 1.17, 1.18, 1.19 и ряде других, непонятно в массовых или атомных процентах указано содержание лития, что затрудняет восприятие представленной на рисунках информации.
2. В главе 2 в таблицах 2.4 (стр. 69) и 2.7 указаны составы сплавов В-1469 и В-1461. Если это средний марочный состав сплава, то в соответствии с каким документом указан, если конкретный плавочный состав, то он как определялся?
3. На основании чего выбирались использованные в работе режимы низкотемпературных отжигов исследуемых сплавов?
4. В главе 3, связанной с изучением сплава 1450, дополнительно легированного Sc и Mg, отсутствуют данные о его структуре и фазовом составе в исходном закаленном состоянии, хотя, на мой взгляд, эти данные важны, чтобы адекватно оценивать процессы, протекающие при дальнейшем деформационном и термическом воздействии. С чем это связано?
5. В разделе 4.1 рассмотрена структура сплава В-1469 в состоянии поставки. Вопрос – а что это за состояние? Если такого рода данных нет, то как его можно охарактеризовать с точки зрения окончательного типа обработки исходя из полученной структуры?
6. В таблице 5.1. (стр. 123 диссертации) зафиксировано немонотонное изменение модуля упругости в сплаве В-1461 после МПД, но в тексте диссертации есть только констатация этого факта без конкретного его объяснения. Каковы же могут быть причины наблюдаемого явления?
7. Как методически производили в сплаве 1450 разделение на фрагментированную (Фр) и нанокристаллическую (НК) исходную структуру, указанную в таблице 6.2 (стр. 135 диссертации)?

Вышеуказанные вопросы и замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную работу, в рамках которой проведено большое количество всесторонних экспериментальных исследований и дана научно-обоснованная их интерпретация.

Диссертация соответствует отрасли технических наук, а именно пунктам 2 - «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях» и 3 - «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов» паспорта специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Содержание автореферата Д.Ю. Распосиенко соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы были представлены на 19-ти российских и международных научных конференциях, основные данные проведенных исследований опубликованы в 8-ми статьях в российских журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также в 6-ти статьях в переводных версиях этих изданий, индексируемых базами данных Scopus, Web of Science.

Считаю, что диссертационная работа «Влияние мегапластической деформации и термической обработки на структуру и свойства высокопрочных стареющих сплавов на основе Al-Li» полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Распосиенко Дмитрий Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

**Официальный оппонент:**

доцент кафедры термообработки и физики металлов  
Уральского федерального университета имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
кандидат технических наук  
Дата подписания отзыва: « 17 » ноября 2017 г.

Илларионов  
Анатолий Геннадьевич

Подпись Илларионова А.Г. удостоверяю,  
Ученый секретарь Ученого совета  
университета

Морозова Вера Анатольевна

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19  
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина  
Тел: +7(343)-375-48-03. E-mail: illarionovag@mail.ru

*С отзывом ознакомлен, 20.11.2017  
Распосиенко Д.Ю.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Распоиенко Дмитрия Юрьевича «Влияние мегапластической деформации и термической обработки на структуру и свойства высокопрочных стареющих сплавов на основе Al-Li», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Фамилия, имя, отчество	Илларионов Анатолий Геннадьевич
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень (с указанием шифра специальности по которой защищена)	кандидат технических наук, 05.16.01
Основное место работы	
Должность	Доцент
Наименование подразделения	Кафедра термообработки и физики металлов
Полное наименование организации в соответствии с уставом	ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Почтовый индекс, адрес, веб сайт, телефон, адрес электронной почты организации	620002, ул. Мира, д. 19, г. Екатеринбург, <a href="http://www.urfu.ru">http://www.urfu.ru</a> +7(343) 375-44-44 <a href="mailto:rector@urfu.ru">rector@urfu.ru</a>

Список основных публикаций официального оппонента, составляющего

отзыв, за последние пять лет по теме диссертации:

1. Rusakov, G.M., Illarionov, A.G., Loginov, Y.N., Lobanov, M.L., Redikul'tsev, A.A. Interrelation of Crystallographic Orientations of Grains in Aluminum Alloy AMg6 Under Hot Deformation and Recrystallization // Metal Science and Heat Treatment, 2015 (11-12) pp. 650-655
2. Illarionov, A.G., Shchetnikov, N.V., Illarionova, S.M., Popov, A.A. Effect of heating temperature on the formation of structure and phase composition of a biocompatible alloy Ti-6Al-4V-ELI subjected to equal-channel angular pressing // Physics of Metals and Metallography 2017. 118(3), pp. 272-278
3. Khadzhieva, O.G., Illarionov, A.G., Popov, A.A. Effect of aging on structure and properties of quenched alloy based on orthorhombic titanium aluminide  $Ti_2AlNb$  // Physics of Metals and Metallography, 2014, 115(1), pp. 12-20
4. Pal-Val, P.P., Loginov, Y., Demakov, S.L., Illarionov A.G., Davydenko, A.A., Rybalko, A.P. Unusual Young's modulus behavior in ultrafine-grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing // Materials Science and Engineering A 2014. 618, pp. 9-15
5. Illarionov, A.G., Demakov, S.L., Stepanov, S.I., Illarionova, S.M. Structural and phase transformations in a quenched two-phase titanium alloy upon cold deformation and subsequent annealing // Physics of Metals and Metallography. 2015, 116(3), с. 267-273
6. Loginov, Y.N., Shalaeva, M.S., Demakov, S.L., Ivanova, M.A., Illarionov, A.G. Severe deformation, structure, and texture of the metal in the production of capillary copper tubes // Russian Metallurgy (Metally) 2014 (5), pp.372-376.
7. Логинов Ю.Н., Илларионов А.Г. Неравномерность структуры прессованных труб из алюминиевого сплава АМг6. // Известия вузов. Цветная металлургия. 2013, №6, с.35-40.
8. Логинов Ю.Н., Шалаева М.С., Демаков С.Л., Илларионов А.Г., Иванова М.А. Сравнение структур теплотехнической меди в высоко-нагартованном и рекристаллизованном состояниях // Цветные металлы, 2013, №8, с.92-96.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в сети информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" и в единой информационной системе.

Официальный оппонент

А. Г. Илларионов

Ученый секретарь УрФУ

В. А. Морозова