

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
ЗАБРОДИНА Павла Андреевича

«Низкотемпературная пластическая деформация ультрамелкозернистых поликристаллов Al, Al-Li и Mg-Al-Zn», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика твердого тела)

Изучение закономерностей и механизмов пластической деформации в области низких температур металлических материалов, характеризующихся весьма малыми значениями важнейшего структурного элемента – размера зерна – ультрамелкозернистых и наноструктурных, находится в ряду важных задач физики твердого тела. Фундаментальной характеристикой пластической деформации кристаллических тел является дискретность течения на различных структурных уровнях. Яркое ее проявление - низкотемпературная скачкообразная деформация (НСД), механизмы реализации которой включают целый ряд факторов, учитывающих не только температуру, но и структурное состояние, особенности междислокационного взаимодействия и др. Проведение экспериментов при температурах ниже 1 К дает возможность выявить специфику и механизмы НСД. Нарботка и интерпретация экспериментального материала по особенностям поведения характеристик прочности и пластичности ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов в широкой области температур, включая низкие, имеет не только большое научное, но и прикладное значение, учитывая возможности применения легких ГЦК и ГПУ металлов и сплавов в качестве конструкционных материалов для криогенной техники, автомобилестроения, аэрокосмической и других отраслей промышленности. В этой связи, диссертационная работа Забродина Павла Андреевича, в которой проведены сравнительные исследования пластической деформации ультрамелкозернистых (УМЗ) и крупнозернистых (КЗ) ГЦК (Al, сплав Al-Li) и ГПУ (сплав Mg-Al-Zn) поликристаллов в области температур 0,5 ... 350 К, **является актуальной. Актуальность диссертации** подтверждает перечень госбюджетных тем, выполненных в отделе физики реальных кристаллов ФТИНТ им. Б.И.Веркина НАН Украины, в рамках которых соискателем были получены основные научные результаты.

Структура диссертации, основные научные и практические результаты и их новизна.

Структура диссертации П.А. Забродина стандартна: работа состоит из введения, пяти разделов, выводов и библиографического списка.

Во Введении автором определены предмет и объект исследования, показана связь с НИР, участниками которых он являлся, приведены данные о публикациях и апробации результатов диссертационной работы и др.

Раздел 1 содержит элементы теории пластической деформации ГЦК металлов и сплавов, анализ и обобщение литературных данных о скачкообразной деформации, включая теоретические модели. Завершается обзор указанием на задачи, подлежащие рассмотрению в рамках диссертации.

В Разделе 2 охарактеризованы объекты исследования – технически чистый Al, сплавы Al-Li (твердый раствор Al-3,8 ат.% Li), Mg-Al-Zn (AZ31), методики формирования в них УМЗ и КЗ структур, включающие различные виды интенсивных пластических деформации и отжиг. Раздел содержит описание методик исследований: механических испытаний на растяжение в интервале температур 0,5-350 К, в том числе с использованием криогенных жидкостей; структурных исследований (рентгеновская дифрактометрия, трансмиссионная, сканирующая и оптическая микроскопия).

В Разделах 3-5 представлены результаты исследований процессов и механизмов пластической деформации УМЗ и КЗ Al, сплавов Al-Li и Mg-Al-Zn в области сверхнизких и низких температур, а также при умеренных температурах в широком интервале степеней пластической деформации.

Среди полученных Забродиным П.А. значимых результатов, соответствующих критерию новизны, необходимо отметить следующие:

1. Для УМЗ поликристаллов Al установлено сильное снижение пороговой температуры активации поперечного скольжения дислокаций (до 77 К) и зернограницного проскальзывания (до 140 К), что в $\sim 1,5$ -2 раза ниже по сравнению с крупнозернистыми поликристаллами.

Такой вывод следует из результата анализа экспериментальных данных (п.3.1.4) температурных и скоростных зависимостей напряжения течения. В пользу этого результата также свидетельствуют данные работы К.В.Иванова и Е.В.Найденина (Зав. лаб. Диагностика материалов, №7, 2011, т.77), где экспериментально установлено, что вклад зернограницного проскальзывания в общую деформацию УМЗ Al при комнатной температуре составляет 13,9%.

2. Показано, что низкотемпературный предел текучести УМЗ поликристаллов с ГЦК (Al-Li) и ГПУ (Mg-Al-Zn) решетками определяется средним размером зерна, средней плотностью дислокаций и текстурой. Упрочнение кристаллов вследствие измельчения зерна при интенсивной пластической деформации ослабляется за счет усиления текстуры, благоприятной для легкого скольжения дислокаций.

Это положение подтверждается анализом данных о влиянии на предел текучести структурного фактора и текстуры, зависящих от режимов применяемых ИПД (п.3.2.5, п.3.3.3, п.3.3., п.3.3.5).

3. Показаны особенности распределение локальных деформаций при растяжении поликристаллических образцов Al и Al-Li с разным размером зерна в области температур 4,2...350 К. Установлено, что температурная зависимость равномерной пластической деформации КЗ поликристаллов определяется температурной зависимостью коэффициента аннигиляции винтовых дислокаций. Уменьшение пластичности УМЗ поликристаллов по сравнению с КЗ связано с увеличением предела текучести и уменьшением скорости деформационного упрочнения вследствие увеличения плотности границ зерен и дислокаций.

Существенное влияние на характер распределения локальных деформаций температуры и размера зерна иллюстрирует рис.4.2 (рис.7 автореферата). Анализ, проведенный в п.4.6, свидетельствует, что экспериментальные данные о температурной зависимости равномерной деформации КЗ поликристаллов соответствуют модельным представлениям об упрочнении как конкуренции процессов накопления и аннигиляции дислокаций путем поперечного скольжения только в меру зависимости от температуры коэффициента аннигиляции. Для УМЗ поликристаллов кристаллов вследствие снижения размера зерна уменьшается интенсивность накопления дислокаций и усиливаются процессы их аннигиляции.

4. В результате исследований деформационного упрочнения и скачкообразной деформации УМЗ и КЗ сплава Al-Li при 0,5 К показана корреляция изменение коэффициента деформационного упрочнения, среднего скачка напряжения и средней плотности дислокаций в зависимости от эволюции микроструктуры при деформации и отжиге, что свидетельствует о дислокационной природе низкотемпературной скачкообразной деформации, проявляющейся в коллективном движении мощных дислокационных скоплений (лавин).

В пользу этого положения свидетельствуют корреляция изменений среднего коэффициента деформационного упрочнения и среднего скачка напряжения в процессе низкотемпературной деформации и деформации после отжигов при 623 и 372 К (рис.5.6, рис.11 автореферата), а также результаты анализа амплитуды и статистики скачкообразной деформации (п. 5.3.2).

Обоснованность научных положений и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечена использованием в экспериментах стандартных измерительных приборов, апробированных методик определения механических свойств и структурных исследований, получения сверхнизких температур. Следует также отметить, что автор владеет основами теории пластичности и практического материаловедения и использует свои знания при анализе и физической трактовке экспериментальных данных.

Полнота изложения основных научных и практических результатов в опубликованных работах. Завершенность и стиль изложения.

Основные результаты работы П.А.Забродина опубликованы в 5 статьях в специализированных научных журналах, включая 1 в зарубежном издании. Полученные результаты также были представлены на Международных научных конференциях и изложены в 18 сборниках тезисов этих конференций.

В диссертации получен ряд новых результатов, даны их интерпретация и обобщение. Диссертация является завершенным научным трудом, написана хорошим научным языком и оформлена в соответствии с требованиями ДАК Украины.

Автореферат отражает основное содержание и структуру диссертационной работы.

Тема диссертационной работы и существо ее научных результатов соответствует паспорту специальности 01.04.07. – физика твердого тела, физико-математические науки.

Научная и практическая значимость результатов диссертации. Основные научные результаты, представленные в диссертации, являются важными для углубления физических представлений о влиянии структурного фактора и температуры на характеристики прочности и пластичности ГЦК металлов и сплавов и могут быть использованы при прогнозировании их поведения в конструкциях, эксплуатируемых при высоких уровнях нагрузки в области низких температур.

Замечания по содержанию диссертации и автореферата. Работа в целом выполнена на высоком научном уровне, однако, при чтении диссертации и автореферата возникает некоторые вопросы и замечания.

1. Во Введении в формулировке цели работы указано, что температурный интервал исследований – низкие и сверхнизкие температуры. Согласно рекомендациям 13 конгресса Международного института холода (1971 г.) низкие температуры – это $T < 120$ К. В диссертации исследования проводились в интервале температур от 0,5 до 350 К, включающем сверхнизкие, низкие и умеренные (от низких до 350 К) температуры.
2. В Разделе 1 из рис.1.18 следует, что значения равномерной деформации алюминия при 77 К выше, чем значения деформации до разрушения.
3. В Разделе 2 не указано «происхождение» УМЗ материалов, исследованных в диссертации, и не приведена точность определения средней плотности дислокаций и плотности дислокаций в границах кристаллитов.
4. В подразделе 3.1.3 при анализе влияния различных механизмов пластической деформации на параметр скоростной чувствительности напряжения течения явно не хватает структурных исследований, что смогло бы подтвердить рассуждения о перестройках дислокационной структуры в области температур, где характерно несоответствие предсказаний модели термоактивированного пересечения дислокаций экспериментальным данным.
5. Во вступительном абзаце к Разделу 4 говорится, что «... изучена локализация пластической деформации Al и сплава Al-Li (образование шейки) ...». На самом деле, как следует из содержания этого раздела, изучалось влияние микроструктуры на равномерную (до образования шейки) деформацию и распределение локальных (по рабочей части образца) деформаций.
6. В подписи к рис.4.4 вместо обозначения (3) следует ввести (4.1).
7. В подписи к рис.4.6 не приведено обозначение символов (залитые и светлые окружности).
8. На рис.4.7 представлено распределение прироста микротвердости в головках и на рабочей части образцов сплава Al-Li, испытанных до разрыва при 4,2 К и 77 К. Следует дать объяснение различию разброса данных для недеформированных головок, составляющему ~ (20-30) %.
9. В автореферате и диссертации не на всех графиках приведены «усы», характеризующие разброс соответствующих экспериментальных данных.

Указанные замечания не касаются существа решенной задачи и не влияют на высокую оценку диссертации в целом.

По актуальности, новизне, уровню представленных научных результатов и их практической значимости рецензируемая диссертация «Низкотемпературная пластическая деформация ультрамелкозернистых поликристаллов Al, Al-Li и Mg-Al-Zn» соответствует требованиям к кандидатским диссертациям и удовлетворяет «Порядку присуждения научных степеней і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова КМУ від 24.07.2013 №567), в частности, п.п. 9, 11, 12, а также требованиям МОН Украины к кандидатским диссертациям, а ее автор – Забродин Павел Андреевич, безусловно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика твердого тела.

Официальный оппонент
 заведующий отделом физики твердого тела
 и конденсированного состояния вещества
 института физики твердого тела,
 материаловедения и технологий
 ННЦ «Харьковский физико-технический институт»
 НАН Украины,
 доктор физико-математических наук



В.И. Соколенко

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар
 ННЦ ХФТ

06



Забродин П.А.
Забродин П.А.