

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Бобрук Елены Владимировны «Наномасштабные особенности границ зерен и механизмы низкотемпературной сверхпластичности наноструктурированных сплавов на основе алюминия», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы

В последнее время методы обработки интенсивной пластической деформацией стали применяться не только к простым металлам, но также к многокомпонентным сплавам и соединениям, склонных к протеканию фазовых переходов, перераспределением компонент между различными фазами, выпадением их в осадок и т.д. Значительное место в этой картине занимают алюминиевые сплавы такие, как Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si и Al-Mg-Mn в ультрамелкозернистом состоянии. Обработанные интенсивной пластической деформацией эти материалы реализуют уникальный комплекс физических и механических свойств, в том числе склонность к низкотемпературной сверхпластичности. Деформация при более низких температурах подавляет рост зерна, что позволяет сохранить ультрамелкозернистую структуру, полученную методами интенсивной пластической деформации.

В работе представлены закономерности структурно-фазовых превращений с образованием наноразмерных частиц вторичных фаз и зернограницных сегрегаций атомов легирующих элементов в наноструктурированных сплавах систем легирования Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu, Al-Cu-Mg для расширения температурно-скоростного диапазона протекания сверхпластичности; и особенности механизмов реализации сверхпластичности при понижении температуры и повышении скорости деформации. Показано влияние наноразмерных частиц вторичных фаз и сегрегаций атомов легирующих элементов на реализацию низкотемпературной сверхпластичности в сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si и Al-Mg-Mn с ультрамелкозернистой структурой. Установлено, что легирование цинком Al сплавов приводит к образованию зернограницных прослоек атомов Zn шириной 2-3 нм, которые облегчают развитие полос сдвига по механизму зернограницного проскальзывания, аккомодации которых способствуют развороту Al зерен. Присутствие других легирующих элементов, таких как Mg, приводит к образованию неоднородных зернограницных сегрегаций, а также наночастиц вторичной фазы в теле зёрен, первые из которых ограничивают рост зёрен, вторые – повышают напряжения, необходимые для действия внутризеренного дислокационного скольжения, обеспечивая, таким образом, преимущественный вклад зернограницного проскальзывания в деформацию, для

Уфимский университет науки и технологий	
Вх. №	4148-13
« 30 »	10 20 25 г.

аккомодации которого, в свою очередь, необходимо усиление диффузионных процессов.

Теоретическая значимость определяется полученными знаниями об особенностях механизмов низкотемпературной сверхпластичности в сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg с наномасштабными параметрами, которые способствуют протеканию зернограницного проскальзывания, поддерживаемое внутризерненным дислокационным скольжением и вращением зерен; а также представленной картой температурно-скоростных условий реализации низкотемпературной сверхпластичности сплавов систем Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, предназначенных для применения в перспективных конструкциях наземного и воздушного транспорта.

В качестве практической значимости можно отметить предложенный способ получения наноструктурированного листового полуфабриката в виде фольги из сплава системы Al-Mg-Mn с размером зерен 200 нм, который демонстрирует реализацию сверхпластичности при температурах 250-300°C.

Диссертационная работа Бобрук Е.В. выполнена на высоком научном уровне с привлечением современных методов исследований, такие как просвечивающая и сканирующая микроскопия, в том числе с применением высокого разрешения, рентгеноструктурный анализ, атомная пространственная томография. Результаты исследований, представленных в диссертационной работе, апробированы на российских и международных конференциях и симпозиумах, результаты опубликованы в известных рецензируемых российских и зарубежных журналах.

В качестве замечаний следует отметить:

1. Фактически, пересыщенность твердого раствора означает, что в начальном состоянии он находится в неравновесном состоянии и только в процессе интенсивной пластической деформации (ИПД) переходит в некоторое равновесное состояние с выпадением вторичных фаз. Однако, согласно работе Страумала В.В. (Straumal et al. *Acta Materialia* **195**, 184 (2020)) при решении аналогичной задачи (для раствора серебра в медной матрице) и начальное (до ИПД) и конечное состояния (после ИПД) являются равновесными. О равновесности начального состояния свидетельствует то обстоятельство, что материал перед ИПД подвергался длительному отжигу. В процессе ИПД меняется вся структура материала и система в целом стремится к некоторому универсальному стационарному состоянию с определенным содержанием структурных дефектов, растворенных компонентов и отдельных фаз, а вовсе не потому, что в начальном состоянии раствор был пересыщен.

2. В автореферате много сокращенной аббревиатуры, что делает его трудночитаемым.

Указанные замечания не снижают общей высокой ценности полученных результатов. В целом диссертационная работа Бобрук Е.В. свидетельствует о высокой квалификации ее автора. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842., предъявляемым ВАК России к докторским диссертациям. Бобрук Е.В. безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Доктор физико-математических наук, профессор,
Чл.-корр. РАН,
Научный руководитель ФГБНУ «Донецкий
Физико-технический институт им. А.А. Галкина»
Варюхин Виктор Николаевич

20 октября 2025 г.

Докторская работа Варюхина В.Н. защищена по специальности 01.04.07 физика твердого тела.

Контактная информация:

283048, г. Донецк, ул. Розы Люксембург, д. 72

ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»

Тел.: +7 949 289-27-96

e-mail: scsecr@donfti.ru

Подпись заверяю:
Учёный секретарь
ФГБНУ «Донецкий физико-технический
институт им. А.А. Галкина»
Е.А. Пилипенко

