

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Кильмаметова Аскара Раитовича «Закономерности структурно-фазовых превращений в металлических сплавах под воздействием интенсивной пластической деформации», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6 – нанотехнологии и наноматериалы

Актуальность диссертации

Активное развитие нанотехнологий сопровождается неуклонным ростом требований к анализу микроструктурных особенностей получаемых материалов на основе последних достижений экспериментальной физики. В частности, для ультрамелкозернистых металлов и сплавов стали доступны новые методы исследования, позволяющие с высокой точностью оценивать изменения микроструктуры в нанометровом диапазоне. Кроме того, появилась возможность анализировать большие массивы данных по структурным особенностям различного типа материалов, в том числе и нанокристаллических, для более чёткого понимания взаимосвязи специфики структуры и необходимого уровня свойств перспективных материалов. В диссертационной работе Кильмаметова А.Р. представлены результаты детального изучения фазовых превращений при наноструктурировании металлических материалов с использованием интенсивной пластической деформации, которая в настоящее время рассматривается одним из наиболее эффективных способов получения объёмных наноструктурных материалов. Представленный в работе глубокий анализ структурно-фазовых изменений в ряде сплавов на основе меди и титана является весьма своевременным и безусловно полезным для теории и практики наноструктурных материалов.

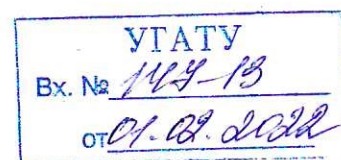
Структура и основное содержание диссертации

Диссертация изложена на 293 страницах, включает 71 рисунок и 13 таблиц. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержащего 380 наименований.

Во введении обозначены актуальность работы, цели и задачи исследования, показаны научная новизна, практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены количественные оценки дефектной структуры, такие как увеличение статических и динамических атомных смещений, ослабление прочности межатомных связей в меди, как модельном материале, в результате ИПДК. Эти данные проанализированы в связи с формированием неравновесных границ зёрен, характеризующихся повышенной диффузионной активностью. Проведена оценка неравновесной избыточной концентрации вакансий непосредственно в процессе ИПДК с использованием «in situ» экспериментов по дифракции высокоэнергетического синхротронного излучения и определена её взаимосвязь с диффузионно-контролируемыми фазовыми превращениями в сплавах на основе меди.

Во второй главе представлены результаты экспериментального изучения и моделирования конкурирующих процессов распада пересыщенного твёрдого раствора и образования частиц выделения вторичной фазы, рассмотрены распад твёрдых растворов и сегрегирование под воздействием ИПДК, а также даны численные оценки изменений эквивалентных коэффициентов диффузии в ряде медных сплавов в связи с ускорением массопереноса в условиях интенсивной деформации. На основе связи между эквивалентной концентрацией дефектов, возникающих в стационарном состоянии во время ИПДК при низкой гомологической температуре и равновесными дефектами, существующими в том же



материале при повышенной температуре, сделан вывод о состоятельности концепции эффективной температуры, применение которой объясняет структурно-фазовое состояние исследованных медных сплавов после воздействия ИПДК.

В третьей главе изложены основные закономерности бездиффузионных фазовых превращений под воздействием ИПДК, приводящих к формированию ω -фазы высокого давления в титане и $(\alpha + \beta)$ сплавах на основе титана. Установлено, что при легировании титана различными элементами выбор конкретного β -стабилизатора и его концентрация влияют на объёмную долю ω -фазы. В явном виде существование промежуточной β -фазы при $\alpha \rightarrow \omega$ переходе не обнаружено. Как и в случае чистого титана, в процессе ИПДК прослеживается развитие сильной базисной текстуры типа $\langle 0001 \rangle$ при степенях деформации, предшествующих зарождению ω -фазы. Установленные кристаллографические ориентации между соседствующими зёрнами различных фаз подтверждают теоретические расчёты о наиболее энергетически благоприятных путях фазовых $\beta \rightarrow \omega$ и $\alpha \rightarrow \omega$ переходов. Определено, что помимо бездиффузионных (сдвиговых) механизмов фазовых превращений при формировании ω -фазы имеет место диффузионно-контролируемый массоперенос.

В четвёртой главе представлены результаты изучения комплексных фазовых превращений, одновременно включающих в себя как диффузионно-контролируемые, так и бездиффузионные превращения, при воздействии ИПДК. На основе анализа содержания легирующего элемента в различных фазах $(\alpha + \beta)$ сплавов на основе титана изучено влияние диффузионного массопереноса, сопровождающего мартенситное превращение при формировании ω -фазы высокого давления. В сплавах с эффектом памяти формы системы Cu-Al-Ni обнаружена и изучена последовательность фазовых превращений, при которой в результате диффузионного массопереноса создаются условия для последующего аустенитно-мартенситного (бездиффузионного) перехода, а именно, непосредственно после ИПДК-индуцированного уменьшения концентрации Al в матрице происходит формирование наноструктурного мартенсита.

В пятой главе представлены результаты исследования фазовых превращений при формировании объёмных нанокристаллических интерметаллидов TiNi и FeAl, радиационной устойчивости полученных нанокристаллов, уникального высокопрочного состояния в нанокристаллическом высокоэнтропийном сплаве CoCrFeMnNi, полученном механическим сплавлением смеси порошков непосредственно в процессе ИПДК. На основе изучения локальных искажений, кластеризации Fe-Fe и поляризации электронов при магнитных переходах в наноструктурном интерметаллиде FeAl показано, что термоиндуцированная перестройка дефектов решетки и последовательное увеличение степени дальнего порядка непосредственно влияют на изменения общего магнитного момента и силы отрицательной спиновой поляризации.

Научная новизна

В результате проведённых исследований был получен ряд новых научных результатов, к которым необходимо отнести следующие:

1. Количественные оценки дефектной структуры, формирующейся в результате ИПДК, и их использование для объяснения повышенной диффузионной активности и анализа фазовых превращений в наноструктурных состояниях.

2. Закономерности изменения фазового состава в медных сплавах на стационарной стадии деформации, а именно: распада пересыщенного твёрдого раствора и конкурирующего с ним растворения атомов легирующего элемента в твёрдом растворе, в том числе представление об эквивалентности состояния твёрдого раствора и вторичных фазовых выделений для данных условий интенсивной деформации.

3. Закономерности формирования ω -фазы высокого давления в чистом титане и в титановых ($\alpha + \beta$) сплавах при ИПДК, кристаллографические соотношения при переходах $\beta \rightarrow \omega$ и $\alpha \rightarrow \omega$, а также определение объёмной доли ω -фазы в зависимости от режимов ИПДК и исходного фазового состава.

4. Взаимосвязь между ИПДК-индуцированными фазовыми превращениями и формированием нанокристаллических состояний, проявляющих такие перспективные эксплуатационные свойства, как повышенная радиационная стойкость, уникальная высокая прочность, а также контролируемое изменение тонкой магнитной структуры.

Приведённые выше результаты позволили существенно улучшить понимание структурно-фазовых изменений в металлах и сплавах при наноструктурировании с использованием больших степеней пластической деформации.

Практическая значимость

Диссертационная работа имеет высокую практическую ценность и значимость ввиду того, что в ней установлены основные закономерности структурных и фазовых изменений, которые могут быть использованы для получения необходимых эксплуатационных свойств сплавов в наноструктурных состояниях.

1) Закономерности формирования высокопрочной ω -фазы высокого давления в наноструктурных состояниях в титане и ($\alpha + \beta$) титановых сплавах могут быть использованы для улучшения комплекса механических свойств этих материалов.

2) Достижение максимально высокой прочности в высокоэнтропийном сплаве, обусловленной деформационно-индуцированным сегрегированием наночастиц керамики (оксида хрома) в нанокристаллической матрице, может быть использовано в качестве нового подхода для формирования нанокompозитов с улучшенным комплексом функциональных свойств.

3) Повышенная радиационная стойкость нанокристаллических интерметаллидов позволяет рассматривать их потенциальное применение в энергетике.

4) Установленные изменения тонкой магнитной структуры вследствие контролируемого фазового превращения представляют практический интерес к наноструктурным состояниям в спинтронике.

5) Результаты «in situ» экспериментов могут быть использованы для теоретических и практических курсов по физическому материаловедению в качестве развития дифракционных методов изучения особенностей дефектной структуры наноматериалов.

Достоверность полученных результатов

Обоснованность и достоверность положений и выводов диссертации обусловлены использованием комплекса самых современных взаимодополняющих экспериментальных методик высокоразрешающей просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, атомной пространственной томографии, рентгеновских дифракционных методов исследования, включая использование синхротронного просвечивающего излучения для «in situ» экспериментов. Необходимо отметить хорошую корреляцию между представленными экспериментальными результатами и теоретическими расчётами, а также согласованность результатов данной работы с результатами исследований, проведённых в других научных коллективах, что подтверждается публикациями в рецензируемых журналах. Основные результаты диссертации представлены в 41 российской и зарубежной научной публикации в высокорейтинговых изданиях, входящих в базу данных WoS, Scopus и перечень ВАК РФ. Результаты работы докладывались и обсуждались на ведущих отечественных и международных конференциях, научных семинарах.

Замечания

Небольшие замечания по диссертационной работе:

1. Вызывает сомнение точность определения количественных параметров геометрии неравновесных границ по данным ПЭМ, когда толщина образца более чем на порядок больше величины определяемых характеристик.

2. Не ясно как отличали зерна от субзерен в ПЭМ, и в чем разница между границами субзерен и ячеек (рис. 1.6).

3. Не вполне понятен механизм коалесценции зерен в условиях ИПДК.

4. Описание микроструктурных изменений при ИПДК следовало бы подтвердить изменением прочностных характеристик.

5. Поля упругих напряжений зависят не только от плотности внесенных зернограницных дислокаций, но и (главным образом) от их распределения.

6. Выбор отражений от $\{111\}$ и $\{200\}$ не всегда позволяет исключить влияние текстуры в гцк металлах.

В целом, изложенные выше замечания носят рекомендательный характер, не отражаются на общей высокой положительной оценке диссертационной работы и не снижают ее научной и практической значимости.

Заключение

Диссертация выполнена с применением комплекса современных взаимодополняющих экспериментальных методик и представляет законченную научно-квалификационную работу по систематическому изучению закономерностей и природы фазовых превращений, происходящих в наноматериалах под воздействием интенсивной деформации. Результаты диссертационной работы вносят значительный вклад в физику наноматериалов и нанотехнологий. Научная новизна, практическая значимость, достоверность результатов и положений, вынесенных на защиту, являются обоснованными и имеют важное значение для развития наноматериалов и нанотехнологий.

Диссертационная работа «Закономерности структурно-фазовых превращений в металлических сплавах под воздействием интенсивной пластической деформации» соответствует всем требованиям, предъявляемым в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Кильмаметов Аскар Раитович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6 - Нанотехнологии и наноматериалы.

Официальный оппонент Беляков Андрей Николаевич,

ведущий научный сотрудник лаборатории механических свойств наноструктурных и жаропрочных материалов ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

С обработкой персональных данных согласен.

Адрес: 308015, г. Белгород, Ул. Победы, 85
тел. +7 4722 301211,
адрес электронной почты: info@bsu.edu.ru

