

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кильмаметова Аскара Раитовича на тему «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

Механизмы фазовых превращений в металлах и сплавах под действием различных факторов изучаются не одно десятилетие, и к концу прошлого века были достигнуты значительные успехи в их упрочнении за счет оптимизации фазового состава, зеренной и дислокационной структуры, направленного дизайна границ зерен. Однако, оставался еще большой потенциал упрочнения, трудно реализуемый традиционными методами. Благодаря развитию нанотехнологий, появлению новых высокоэффективных методов исследований появились новые возможности дальнейшего улучшения физико-механических свойств различных материалов. В этой связи поставленная цель, связанная с экспериментальным изучением фазовых превращений при наноструктурировании с использованием интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) на примере сплавов на основе титана и меди, а также установлении роли структурно-фазовых превращений в формировании новых свойств наноструктурированных металлов и сплавов является актуальной и своевременной.

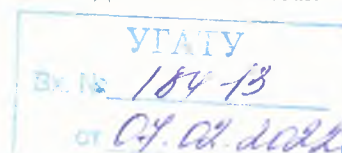
Структура автореферата представляется логичной, в полной мере отображающей содержание диссертационной работы. В разделе «Основное содержание работы» информативно изложены основные результаты работы. Первая глава посвящена определению количественных характеристик дефектной структуры, таким как увеличение статических и динамических атомных смещений, ослабление прочности межатомных связей в меди в результате ИПДК. Далее подробно описаны результаты экспериментов по дифракции рентгеновских лучей «in situ» во время ИПДК крупнозернистой меди в монохроматизированном высокоэнергетическом синхротронном излучении.

В следующей главе приведены данные 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.

В третьей главе представлены основные закономерности бездиффузионных фазовых превращений под воздействием ИПДК, приводящих к формированию ω -фазы высокого давления в титане и $(\alpha+\beta)$ -сплавах на основе титана.

Четвертая глава посвящена результатам изучения комплекса диффузионно-контролируемых и бездиффузионных фазовых превращений при воздействии ИПДК. Впервые в сплавах с эффектом памяти формы на основе меди (Cu-Al-Ni), обнаружена последовательность фазовых превращений, при которой в результате диффузионного массопереноса создаются условия для последующего аустенитно-мартенситного (бездиффузионного) перехода. При этом непосредственно после ИПДК-индуцированного уменьшения концентрации Al в матрице происходит формирование наноструктурного мартенсита.

В пятой главе представлены результаты исследования фазовых превращений для повышения радиационной устойчивости в нанокристаллических интерметаллидах TiNi и FeAl.



Предложен новый способ и описаны условия формирования уникального высокопрочного состояния в нанокристаллическом высокоэнтропийном сплаве CoCrFeMnNi, полученном механическим сплавлением смеси порошков непосредственно в процессе ИПДК. Установлено, что использование метода ИПДК позволяет сформировать в интерметаллидах TiNi и FeAl беспористые нанокристаллические состояния, проявляющие повышенную радиационную устойчивость при ионном облучении.

В работе использован большой набор современных методов структурных исследований, как традиционных, так и редко используемых, включая атомно-зондовую томографию.

В целом диссертационная работа Кильмаметова А.Р. выполнена на высоком научном и методическом уровне. Вместе с тем некоторые подходы и терминология вызывают вопросы:

1. Укоренившийся в русскоязычной научной литературе термин «интенсивная пластическая деформация» несколько расходится с общефизическим подходом к делению величин, процессов, характеристик на интенсивные и экстенсивные. Первые в общем случае, являются частными производными от вторых по размерам, по объему, по количеству вещества, очень часто - по времени. Соответственно, они отличаются и по размерности. На что нормируется характеристика «интенсивная пластическая деформация»? Относительная пластическая деформация ϵ уже отнормирована на исходный размер объекта. Т.е. по сути, это уже интенсивная характеристика в общефизическом смысле. Дальше можно рассматривать ее частную производную по времени, и это будет тоже известная характеристика – скорость пластической деформации. В обычно понимаемом смысле термина «интенсивная пластическая деформация» скоростные зависимости никак не подразумеваются. Если рассматривать пластическую деформацию как некий кинетический процесс, то и для таких процессов интенсивность – это скорость переноса чего-то через единицу площади в единицу времени (интенсивность звука, интенсивность излучения, интенсивность теплопереноса и т.д.). В работе соискателя нет никаких сведений о скорости деформирования и ее варьировании. Т.е. речь идет просто о больших деформациях в относительных единицах. По совокупности изложенного не видно объективных причин называть ее «интенсивной», кроме чисто эмоциональных. Исходный английский термин *severe deformation* также не содержит никаких указаний на интенсивность, скорость деформации; это буквально – просто «сильная, очень выраженная, большая деформация».
2. Второй вопрос тоже можно считать в некоторой степени терминологическим, но в нем содержится больше физического смысла. На страницах 16, 23, 26 и в п. 4 Заключения (стр. 35) автореферата приводятся сведения о гигантских коэффициентах диффузии, превышающих обычные значения в исследованных материалах на 10-20 порядков величины при температуре обработки. В условиях громадной деформации сдвигом при большом давлении сжатия, очевидно, можно допустить существование принудительного «конвективного» массопереноса, имеющего мало общего с обычной диффузией, но гораздо более интенсивного (вот здесь термин «интенсивный массоперенос» - вполне уместен). В этой связи корректнее было бы называть коэффициенты диффузии и энергии активации в такой ситуации «эффективными» и рассматривать проблему массопереноса при больших деформациях с более широкими позиций.
3. Очевидно, чем более мелкого зерна удастся добиваться при обработке, тем дальше материал от термодинамического равновесия и тем сильнее его стремление к

равновесному состоянию. В работе имеется очень ограниченный объем данных о термической и временной стабильности полученных мелкозернистых структур, скорости релаксации в них. Как минимум, не ясно, до каких температур можно эксплуатировать полученные материалы без существенной потери свойств, созданных такой обработкой.

4. Кроме микротвердости в автореферате не приводятся данные о других физико-механических свойствах исследованных материалов (в частности, о модуле упругости, прочности, вязкости разрушения), без которых трудно судить об их практической полезности. Возможно, эти сведения имеются в самой диссертации.

Несмотря на сделанные замечания и пожелания, считаю, что представленная диссертационная работа является законченным и актуальным исследованием, соответствует паспорту специальности 2.6.6 – Нанотехнологии и наноматериалы и всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор Кильмаметов А.Р. заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6 – Нанотехнологии и наноматериалы.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Головин Юрий Иванович

Директор Научно-исследовательского института

«Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВО

Тамбовского государственного университета имени

Г.Р. Державина,

Ведущий научный сотрудник химического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

Заслуженный деятель науки РФ

Д.ф.-м.н. (01.04.07 - физика конденсированного состояния), профессор



Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33

Тел: 8 (4752) 72-34-34

e-mail: nano@tsutmb.ru



Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина

Физико-химический факультет

17 СЕНТЯБРЯ

Декан Департамента

Иванова Д.А. С

* 17 * 01 2022 г.