

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Фаизова Ильшата Альбертовича «Фазовые превращения «растворение-выделение» в низколегированных сплавах системы Cu-Cr-Zr при интенсивной пластической деформации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность. Ключевой задачей в разработке новых материалов и технологий является выбор режимов термомеханической обработки, которые при данном химическом составе позволяют достичь необходимого фазового и структурного состояния, обеспечивающего высокие потребительские свойства. Исследования в области создания материалов с новыми свойствами путем формирования в них ультрамелкозернистой и нанокристаллической структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) ведутся уже два десятилетия. При этом особый интерес вызывают необычные явления фазовой и структурной неустойчивости, развивающиеся в сплавах при интенсивном внешнем воздействии. Природа механизмов, контролирующих кинетику распада или образование выделений фаз протекание фазовых превращений и формирование структур в сплавах, продолжает оставаться предметом дискуссий. Поэтому диссертационная работа Фаизова И.А., в которой поскольку автор с самого начала ставит во главу угла исследование роли определенных процессов в формировании структурного состояния и свойств материала после ИПД, а полученные в ней результаты имеют не только научное, но и очевидное практическое значение. Несмотря на то, что исследования ограничиваются материалами одного класса, полученные результаты и выводы имеют общий характер вносят существенный вклад в развитие представлений о влиянии ИПД на фазовое и структурное состояние сплава.

Само по себе деформационно-индуцированное растворение частиц не является новым явлением. При этом, для получения заметного эффекта подавляющее большинство работ проводится методами, обеспечивающими очень высокие степени деформации. Диссертантом явление деформационно-индуцированного растворения исследуется для практически важных сплавов в

Бюро ИИИМ
№ 855
от 19.09.2017

условиях, аналогичных тем, что реализуются в перспективных промышленных прототипах технологий ИПД. Таким образом, как с точки зрения разработки фундаментальных подходов, так для практических приложений данная работа несомненно является актуальной.

Благодаря применению широкого спектра экспериментальных подходов, автору удастся убедительно продемонстрировать протекание процесса растворения или образования вторых фаз в сплаве системы Cu-Cr-Zr при обработке методом равноканального углового прессования (РКУП) и последующем отжиге. Весь набор получаемых данных образует непротиворечивую картину происходящих структурно-фазовых превращений, которая в целом согласуется с существующими представлениями в данной области. На этом основании **обоснованность** выдвигаемых научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений.

Комплекс использованных в диссертации современных экспериментальных методик, включающий в себя просвечивающую электронную микроскопию, EBSD анализ, дифференциальную сканирующую калориметрию, рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ, а также механические испытания на растяжение на малых образцах, обеспечивает **достоверность** полученных результатов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 194 наименования; общий объем 158 страниц.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы ее цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе содержится литературный обзор, в котором подробно рассмотрены результаты предыдущих исследований сплавов системы Cu-Cr-Zr, методах ИПД, о структурных особенностях и фазовых превращениях, протекающих при ИПД в кристаллических материалах. Особое внимание уделено работам, посвященным процессам деформационно-индуцированного растворения частиц вторых фаз, протекающих при использовании методов ИПД. На основе анализа литературных данных сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе обсуждается выбор материалов и методов исследования, используемых для достижения поставленной цели.

В третьей главе изложены результаты исследований деформационно-индуцированного растворения частиц вторых фаз в ходе ИПД сплава состава Cu-0,6Cr-0,1Zr в исходном состоянии которого в медной матрице отсутствуют растворенные элементы. На основании наблюдаемых особенностей кривой ДСК, снижения электропроводности с последующим ее восстановлением при отжиге, повышения предела прочности при отжиге и наблюдаемой эволюции частиц вторых фаз сделан вывод о доминирующем механизме растворении частиц вторых фаз при РКУП (фрагментация при перерезании дислокациями).

В четвертой главе приведены результаты исследований эволюции частиц вторых фаз в ходе ИПД и последующего отжига промышленного сплава состава Cu-1Cr-0,2Zr-0,7Al. Особенностью этого сплава является присутствие частиц вторых фаз различного химического состава. Поскольку обмен атомами легирующих элементов между индивидуальными фазами и ТР может иметь разную интенсивность и даже знак, в этом случае кроме деформационно-индуцированного растворения имеет место и кинетически обратный процесс выделения частиц. В результате используемой обработки существенно изменяется спектр частиц вторых фаз, что обеспечивает достижение высоких прочностных свойств при сохранении требуемого уровня электропроводности.

В пятой главе представлены результаты детального исследования влияния протекающих превращений «растворение-выделение» на эволюцию отдельных фаз с различным химическим составом в ходе предварительной высокотемпературной ТО, комплексной ИПД и пост-деформационного отжига. Сделан вывод, что механическая фрагментация частиц по тому или иному механизму является существенным фактором на начальном этапе растворения частиц. Важным интересным наблюдением является образование частиц в процессе комплексной ИПД (Cu_3Al , Cu_4Al , CuAl , Al_2Zr), которые отсутствуют в сплаве после ВТО. Проведены расчеты вкладов различных механизмов упрочнения в величину предела текучести с использованием полученных экспериментальных результатов и известных из литературы данных. Показано, что определяющим является вклад, обусловленный дисперсионным упрочнением.

Значимость для науки и практики. Исследованное Фаизовым И.А. деформационно-индуцированное растворение в сплавах системы Cu-Cr-Zr в условиях РКУП представляет собой новый интересный результат в данной области и поэтому наверняка послужит дополнительным стимулом в поиске механизмов и разработке моделей деформационно-индуцированного растворения. Показав сложность проблемы формирования высокопрочных состояний для дисперсионно-упрочняемых сплавов, работа намечает конкретные подходы для ее решения и демонстрирует, что оптимизация процессов формирования ультрамелкозернистых состояний сплавов данного класса невозможно без учета стимулированных деформацией процессов «растворения-выделения».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертационной работы Фаизова А.И. представляют несомненный интерес для специалистов в области физики конденсированных сред и материаловедения и могут быть использованы в научных учреждениях, занимающихся решением фундаментальными и прикладными исследованиями, направленными на получения материалов с новыми свойствами, в частности, в ФГБОУ ВО Тольяттинском государственном университете, ФГАОУ ВПО Белгородском государственном национальном исследовательском университете, ФГБУН Институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», ФГБУН Институте физики твердого тела РАН, ФГБУН Институте физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, ФГБУН Институте проблем сверхпластичности металлов РАН и других.

В целом, содержание диссертации и основные выводы соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

По работе имеются следующие *замечания* и вопросы:

1. В диссертации практически не обсуждается роль сегрегаций легирующих элементов на дислокациях и границах зерен и их влияние на фазовое равновесие. В тоже время, при столь высокой концентрации дефектов, образование сегрегаций может существенно изменять общий баланс в твердом растворе и границы фазового равновесия.

2. Для расчета вклада отдельных механизмов в прочность материала, диссертант основывается на том, что эти вклады аддитивны. В данном случае речь идет о рекордных показателях прочности для данного материала, отсутствие взаимодействия отдельных вкладов уже не является очевидным. Вопрос о степени влияния повышенной плотности частиц на свойства границ и дислокационных скоплений заслуживает отдельного обсуждения, чего в диссертации не сделано.

3. Из текста главы 5 не ясно, учитывалась ли при оценке вкладов в возможная смена механизма упрочнения от перерезания на огибание с изменением размера частиц.

4. В оформлении диссертации и автореферата имеется ряд недостатков, в частности, в таблице 1 на странице 15 автореферата нет информации о том, что приведенные в таблице численные значения относятся к размерам частиц, в тексте диссертации на рисунке 3.2 (стр. 64) неверно обозначена ось ординат – вместо N_i/N_0 приведено обозначение V ; на рисунке 3.15 вместо принятого термина «циклы РКУП» ось абсцисса обозначена «проходы РКУП»; в главе 2 нумерация формул не соответствует принятому стилю; пункт 1 основных задач диссертации сформулирован стилистически неудачно «Детально исследовать изменение структуры и свойств низколегированного сплава Cu-0,6Cr-0,1Zr с предельно низкой концентрацией твердого раствора в исходном состоянии при ходе РКУП...»

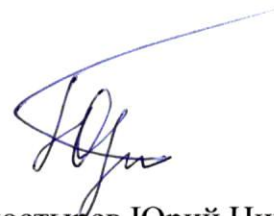
Сделанные критические замечания не умаляют общей положительной оценки работы.

Диссертация Фаизова Ильшата Альбертовича «Фазовые превращения «растворение-выделение» в низколегированных сплавах системы Cu-Cr-Zr при интенсивной пластической деформации» является научно-квалификационной работой. Результаты экспериментальных исследований друг друга, обосновывая сделанные выводы. Основное содержание диссертации отражено в 15 публикациях, из них 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК и 10 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Представленная работа отвечает критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор

заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.04.07 –
Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник лаборатории
теоретической физики ФГБУН
Институт физики металлов УрО РАН,
доктор физико-математических наук



Горностырев Юрий Николаевич

Дата: 18.09.2017

Адрес организации: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени
М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН),
www.imp.uran.ru, E-mail: physics@imp.uran.ru, Тел. +7 (343) 374-0230.



Подпись *Горностырева*
заверяю
Руководитель общего отдела
Мещеряков Н.Ф.Лямина
18 09 20 17