

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Тимофея Павловича Толмачёва
«ФОРМИРОВАНИЕ, СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА
ОСНОВЕ ГЦК-МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ КРУЧЕНИЕМ ПОД ВЫСОКИМ
ДАВЛЕНИЕМ ПРИ КОМНАТНОЙ И КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Методы интенсивной пластической деформации (ИПД) в последние годы прочно заняли свое уникальное (и заслуженное) место среди других – более традиционных – способов термомеханической обработки материалов. Прежде всего, ИПД привлекла внимание материаловедов тем, что позволяет получить в большинстве материалов чрезвычайно малый размер зёрен – в первые сотни или даже десятки нанометров. Однако, по мере расширения «фронта работ» по исследованию ИПД и поиску новых применений, было обнаружено, что – кроме измельчения и перемешивания структуры – методы ИПД обладают ещё целым рядом важных особенностей. Как превратить эти особенности в преимущества? Как их использовать для термомеханической обработки материалов? Ответы на часть из этих вопросов как раз и даёт диссертация Т.П. Толмачёва. Этим и определяется её **актуальность** и возможность **практического применения** полученных результатов.

Научная новизна. Среди полученных в диссертации новых результатов отмечу следующие, по моему мнению, наиболее важные. В процессе ИПД – в особенности это относится к исследованному в работе методу кручения под высоким давлением (КВД) – деформируемая деталь помещена в такие условия, когда она не может разрушиться. Так например, при КВД деформируемый диск заключен между стальными или победитовыми бойками и ему «решительно некуда деваться». В результате, деформация может продолжаться вплоть до разрушения бойков. В случае мягких сплавов, наподобие изученных в работе, речь идёт о сотнях и даже первых тысячах оборотов плунжера. С другой стороны, дефекты, вводимые внешним воздействием, не могут накапливаться в материале бесконечно, а стало быть начинается их аннигиляция и релаксация. В традиционных методах термомеханической обработки подобный динамический возврат и рекристаллизация возникают только при высокой температуре

деформации. При КВД – как показано в диссертации – структура и свойства образца достигают стационарного состояния после некоторого количества оборотов плунжера не только при комнатной температуре, но даже и при температуре кипения жидкого азота. В диссертации впервые очень наглядно продемонстрировано, что крутящий момент, необходимый для деформации детали при КВД, достигает стационарного значения: в частности, показано, когда это происходит и каково значение крутящего момента для чистых компонентов, для сплавов при комнатной температуре и при 80 К. Впервые чётко показано, что в чистых компонентах насыщение наступает очень быстро, буквально за один оборот плунжера и даже быстрее. Для смеси порошков нужно уже пять оборотов, а при 80 К приходится ждать до десяти и более оборотов. Сходным образом растёт и стационарное значение крутящего момента.

Продолжим про **новизну и достоверность**. Как во всякой тщательно и профессионально выполненной экспериментальной работе, значение полученных результатов выходят за рамки выводов, сформулированных самим автором (кстати сказать, чётких, обоснованных и верных). Первый пример с соотношением крутящих моментов мы уже привели в предыдущем абзаце. Далее, Т.П. Толмачёв показал, что при высоких степенях КВД деформации и низких температурах наблюдается полностью межкристаллитный излом, например в сплавах медь-серебро и золото-кобальт. Это важное обстоятельство открывает путь к исследованию зернограницной сегрегации в системе медь-серебро, подобно тому, как мы в наших работах в своё время изучали систему медь-висмут. Третье, в сплаве золото-кобальт после КВД при комнатной температуре в матрице растворено 14 ат. % Со. Такое количество кобальта растворилось бы в золоте после отжига при температуре около 1130 К. В процитированных автором работах [8, 61, 64] такая температура называется эффективной T_{eff} . Там же предсказывается, что при понижении температуры $T_{\text{НРТ}}$ КВД-деформации снижается скорость диффузионной релаксации, а значит – должна увеличиваться и T_{eff} . Смотрим в диссертацию: после КВД при $T_{\text{НРТ}} = 80$ К в золоте растворилось 20 ат. % кобальта. Такова равновесная растворимость кобальта в золоте при 1250 К. Иными словами, при снижении $T_{\text{НРТ}}$ с 300 до 80 К эффективная температура T_{eff} выросла с 1130 до 1250 К. К сожалению, такой простой метод определения T_{eff} не годится для анализа данных автора по сплавам медь – цинк, так как содержание цинка в изученном сплаве ниже предела растворимости даже при комнатной температуре, и в результате КВД просто происходит полное перемешивание

меди и цинка. В системе медь-серебро наблюдаются ещё более сложные явления, и это тоже открывает путь к новым исследованиям.

Методики исследования. Задачи, поставленные автором диссертации, потребовали привлечения как ряда прецизионных экспериментальных методов изучения микроструктуры материалов, так и использования совокупности современных теоретических представлений в области моделирования деформационных процессов в материалах в сочетании с собственными разработанными модельными подходами. Среди них – рентгеновская дифрактография, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, измерения твёрдости и фрактография.

Практическая значимость полученных результатов связана, по моему мнению, в первую очередь с принципиальной возможностью механосплавления для бинарных смесей металлов с различной энтальпией смешения. Полученные экспериментальные данные о стадийности формирования неравновесных и равновесных твердых растворов могут быть использованы при синтезе новых сплавов, возможность получения которых исключена традиционными методами сплавления.

Достоверность полученных в диссертации результатов, положений и выводов сомнений не вызывает. Она обеспечивается использованием комплекса экспериментальных исследований, выполненных с привлечением ряда зарекомендовавших себя современных методик и физически обоснованными модельными подходами. Достигнутые результаты и выполненные численные оценки находятся в удовлетворительном согласии с существующими и полученными опытными данными. Опубликованные в ведущих научных изданиях работы, основанные на проведённых исследованиях, цитируются отечественными и зарубежными авторами.

Сделанные в диссертации выводы обоснованы и соответствуют как задачам исследования, так и полученным результатам.

Отмечу следующие недостатки, обнаруженные при внимательном изучении работы:

1. В литобзоре следовало бы обратиться и к многочисленным работам проф. Р.С. Авербака (R.S. Averback) с сотр., в которых изучались процессы при КВД сплавов медь-серебро.

2. На оси абсцисс на графиках указаны то количество оборотов плунжера, то величина истинной деформации. Это мешает восприятию. Стоило бы указать обе величины, например, на нижнем и верхнем крае графика.

3. Имело бы смысл более детально объяснить, почему величина крутящего момента в стационарном состоянии при 80 К существенно выше, чем при комнатной температуре.

4. В системе Cu–Zn не происходит распада твёрдого раствора при КВД не из-за знака энтальпии смешения, а из-за того, что содержание цинка в меди ниже, чем его предельная растворимость, и твёрдому раствору «некуда» распадаться. Если вертикаль состава сплава пересекает на фазовой диаграмме линию сольвуса, то знак энтальпии смешения не мешает ему распадаться при КВД (пример: сплавы медь-олово).

5. На мой взгляд, обнаруженное влияние величины давления при КВД на структуру и фазовый состав образцов заслуживает более подробного обсуждения.

6. В списке литературы автор не везде следует одному стандарту: Так, первый автор по нынешним правилам ещё раз указывается в самом начале, перед названием работы (как в ссылках 1, 2, 3, 5 и далее). Во многих местах автор диссертации об этом забывает (как в ссылках 4, 8, 9, 17 и далее).

Сделанные замечания несколько не могут изменить общей положительной оценки диссертации Т.П. Толмачёва, работа производит очень хорошее впечатление, и новизной идей, и новизной результатов. Наиболее интересные из них были отмечены выше, и они, безусловно, вносят **весомый вклад** как в физику больших пластических деформаций, физику упрочнения металлов и сплавов, формирования и релаксации дефектов решетки, так и в физику конденсированного состояния и механику деформируемого твёрдого тела в целом.

Рекомендации по использованию работы. Как было указано выше, результаты работы позволяют целенаправленно влиять на свойства ультрамелкозёрнистых материалов, полученных интенсивной пластической деформацией. Этим определяется их значимость для науки и практики: они могут быть использованы как при решении исследовательских задач, так и в практической работе многих организаций, для которых важно учитывать влияние тонкой структуры материала после больших пластических на механические и функциональные свойства материалов. В их числе институты РАН: ИФТТ, ИПСМ, ИМЕТ, ИОНХ, ИПМаш, ИПМех, ИМФ УРО РАН, ИФПМ СО РАН; отраслевые: ЦНИИЧерМет, ВИАМ, ВИЛС; образовательные: МИСиС, СпбГУ, СпбГТУ, БелГУ, факультет наук о материалах МГУ, ННГУ, ТГУ и другие.

Апробация работы представлена докладами на восемнадцати международных и национальных конференциях, а также отражена десятью публикациями, достаточно

полно отражающими содержание работы. Личный вклад Т.П. Толмачёва также не вызывает сомнений – во многих публикациях он является ответственным автором. **Автореферат** адекватно отражает основное содержание диссертации, выводы и положения, выносимые на защиту.

По совокупности перечисленных ранее признаков считаю, что диссертация Т.П. Толмачёва представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук (см. п. II. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.), соответствует паспорту специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния (п.1. «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», и п.3. «Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния»). Считаю, что Т.П. Толмачёв заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика твёрдого тела, профессор, зав. лаб. поверхностей раздела в металлах, Института физики твёрдого тела РАН
Борис Борисович Страумал
3 октября 2017 г.

Подпись Бориса Борисовича Страумала удостоверяю
Ученый секретарь Института физики твёрдого тела РАН
доктор физико-математических наук
Г. Е. Абросимова

142432 Московская обл., г. Черноголовка, Ул. Академика Осипьяна д.2, Институт физики твёрдого тела РАН, <http://www.issp.ac.ru>, тел.: 8(496) 52 219-82, +7 906 095 4402, mailto: gea@issp.ac.ru, straumal@issp.ac.ru , Борис Борисович Страумал

С отзывом ознакомлен 9.10.2017
(Толмачёв Т.П.)

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

кандидатской диссертации Т.П. Толмачева

«Формирование, структура и механические свойства сплавов на основе ГЦК-металлов, полученных кручением под высоким давлением при комнатной и криогенной температурах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Борис Борисович Страумал;

Доктор физико-математических наук;

физико-математические науки, специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния;

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук

старший научный сотрудник, заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах;

почтовый адрес: 142432 ИФТТ РАН, г. Черноголовка, Московская обл., ул.Академика Осипьяна д.2, Россия

Телефон: 8 (49652) 219-82; 283-00

E-mail: straumal@issp.ac.ru

Список

основных публикаций официального оппонента в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. Phase transitions in Cu-based alloys under high pressure torsion / B.B.Straumal, A.R.Kilmametov, A.Korneva, A.A.Mazilkin, P.B.Straumal, P.Zięba, B.Baretzky // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Т. 707, № 15. – С. 20-26.
2. Phase transformations in a Cu-Cr alloy induced by high pressure torsion / A. Korneva, R. Chulist, P. Zięba, B. Straumal, A. Kilmametov, P. Straumal // Materials Characterization. – 2016. – Т. 114. – С. 151-156.
3. Effect of high pressure torsion on microstructure of Cu-Sn alloys with different content of hume rothery phase / A. Korneva, L. Lityńska-Dobrzyńska, P. Zięba, B. Straumal, A. Kilmametov, G. Cios, P. Bała // Materials Characterization. – 2016. – Т. 118. – С. 411-416.

4. Review: grain boundary faceting–roughening phenomena / B.B. Straumal, O.A. Kogtenkova, A.S. Gornakova, V.G. Sursaeva, B. Baretzky // Journal of Materials Science. – 2016. – Т. 51, № 1. – С. 382-404.
5. Рост зернограницной прослойки (α Ti) в сплавах Ti-Co / А.С. Горнакова, С.И. Прокофьев, Б.Б. Страумал, К.И. Колесникова / Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2016. - № 5. – С. 69-77.
6. Wear-resistance and hardness: are they directly related for nanostructured hard materials? / I. Konyashin, B. Ries, D. Hlawatschek, Y. Zhuk, A. Mazilkin, B. Straumal, F. Dorn, D. Park // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2015. – Т. 49, № 1. – С. 203-211.
7. Influence of the grain boundary character on the temperature of transition to complete wetting in the Cu–In system / A.B. Straumal, B.B. Straumal, A.O. Rodin, V.A. Yardley // Journal of Materials Science. – 2015. – Т. 50, № 13. – С. 4762-4771.
8. Grain boundaries as a source of ferromagnetism and increased solubility of ni in nanograined ZnO / B.B. Straumal, A.A. Mazilkin, S.G. Protasova, B. Baretzky, S.V. Stakhanova, P.B. Straumal, G. Schutz, Th. Tietze, E. Goering, M.F. Bulatov // Reviews on Advanced Materials Science. – 2015. – Т. 41, № 1. – С. 61-71.
9. Grain boundary wetting and premelting in the Cu-Co alloys / B.B. Straumal, O. Kogtenkova, B. Baretzky, S.N. Zhevnenko, A. Korneva, P. Zieba, A. Wierzbicka-Miernik, L. Kurmanaeva // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Т. 615, № S1. – С. S183-S187.
10. Phase transitions during high pressure torsion of CuCo alloys / B.B. Straumal, Y.O. Kucheev, A.R. Kilmametov, Y. Ivanisenko, L. Kurmanaeva, B. Baretzky, P. Zięba, A. Korneva, D.A. Molodov // Materials Letters. – 2014. – Т. 118. – С. 111-114.
11. Phase transformations in Al-Mg-Zn alloys during high pressure torsion and subsequent heating / O.A. Kogtenkova, A.A. Mazilkin, B.B. Straumal, G.E. Abrosimova, B. Baretzky, P. Zięba, T. Czeppe, R.Z. Valiev // Journal of Materials Science. – 2013. – Т. 48, № 13. – С. 4758-4765.
12. Interrelation of depletion and segregation in decomposition of nanoparticles / A.M. Gusak, A.O. Kovalchuk, B.B. Straumal // Philosophical Magazine. – 2013. – Т. 93, № 14. – С. 1677-1689.

Подпись

/ Страумал Б.Б.

Дата 03.10.2017

Ученый секретарь ФГБУН ИФТТ РАН д.ф.м.н.

Г.Е. Абросимова

