

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Жемчужниковой Дарьи Александровны

“Влияние деформации на структуру и механические свойства Al–Mg–Sc–Zr сплава”,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы. Все более широкое применение ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов в материалах современной техники стало тенденцией последних лет. Свое место в технике и технологии ультрамелкозернистые и нанокристаллические материалы заняли прочно и, несомненно, будут удерживать его долго. Именно этим определяется актуальность всесторонних – как экспериментальных так и теоретических – исследований процессов упрочнения и пластической деформации в этих материалах. Рецензируемая работа как раз и принадлежит ко все расширяющемуся кругу исследований, которые позволяют не только понять и объяснить, но и предсказать, и научиться планировать уникальные свойства субмикро- и нанокристаллических материалов. К сожалению, приходится констатировать, что без преувеличения огромному валу экспериментальных исследований ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов свойственна некоторая сумбурность и хаотичность, я бы даже сказал, верхоглядство. Причиной этого, как мне кажется, стал недостаток квалифицированных, фундаментальных исследований в этой области, в особенности – посвященных формированию и эволюции микроструктуры. Все сказанное не оставляет сомнений в важности и актуальности крайне своевременно появившегося цикла работ Д.А. Жемчужниковой, которые и составили основу рецензируемой диссертации.

Мне, как сотруднику Лаборатории гибридных наноматериалов, было особенно приятно и в высшей степени полезно познакомиться с циклом работ Д.А. Жемчужниковой. Они, несомненно, свидетельствуют о её высокой квалификации, глубокой экспериментальной и теоретической культуре и достойно продолжают традиции российской школы в области физики и механики субмикро- и нанокристаллических материалов. В диссертации Д.А. Жемчужниковой развиты новые подходы исследования, сформулированы новые идеи, получены новые приоритетные результаты. Работа представляет собой законченное исследование, и вместе с тем, очень четко очерчивая достигнутое, не менее четко указывает дальнейшие пути развития.

Методика исследования. Среди достоинств работы следует в первую очередь отметить колоссальный объем проведенных автором экспериментов по изучению, прежде всего, процессов формирования ультрамелкозернистой структуры при равноканальном угловом прессовании (РКУП) и сварке трением с перемешиванием. До работ автора не уделялось большого внимания тому факту, что размер зерен при РКУП достигает некоторого стационарного значения. Д.А. Жемчужниковой убедительно показано, что одновременное увеличение прочности и пластичности во всех деформированных состояниях сплава Al–Mg–Sc–Zr при понижении температуры от 20°C до –196°C связано с подавлением динамического деформационного старения и увеличением коэффициента деформационного упрочнения, что повышает устойчивость пластического течения

Впечатляет виртуозное владение автором современными экспериментальными методиками. Особенно важным мне представляется широкое использование метода дифракции обратнорассеянных электронов. Экспериментальное мастерство автора, выдумка, остроумные методические приемы, продуманное привлечение партнеров из лучших отечественных лабораторий позволили добиться впечатляющих и выдающихся результатов, несмотря на общеизвестные трудности, с которыми постоянно приходится сталкиваться экспериментатору.

Научная новизна. Среди новых и важных результатов, полученных в работе, отмечу следующие.

Обнаружено, что в литом сплаве Al–Mg–Sc–Zr уменьшение пластичности с понижением температуры связано со сменой механизма разрушения от вязкого внутризеренного при комнатной температуре к хрупкому межзеренному разрушению при –196°C.

Убедительно демонстрируется, что механические свойства ультрамелкозернистых металлов во многом определяются зернограницным скольжением.

Обнаружено, что при комнатной температуре на кривых растяжения сплава Al–Mg–Sc–Zr проявляется эффект Портевена-Ле Шателье. Повышение скорости деформации приводит к переходу от осцилляций напряжения типа С к типу А+В и затем к типу А, при этом устойчивое распространение деформационных полос сохраняется даже при низких скоростях нагружения.

Несомненным достоинством работы является получение сварных соединений горячекатаных листов сплава Al–Mg–Sc–Zr методом сварки трением с перемешиванием. Коэффициент прочности таких соединений при статических испытаниях составляет 90-100% во всем исследуемом интервале температур.

Показано, что близкие значения пределов многоциклового усталости сварных соединений и соответствующих основных материалов также связаны с образованием мелкозернистой структуры центральной части шва, препятствующей зарождению усталостных трещин.

Таким образом, в работе Д.А. Жемчужниковой были сформулированы новые представления о роли неоднородности зеренной структуры в формировании механических свойств ультрамелкозернистых металлических сплавов. Эти представления пригодны для описания широкого круга процессов и прозрачны в отношении вариантов дальнейшего развития.

Достоверность полученных в диссертации результатов, основных выводов, заключений и положений диссертации сомнений не вызывает. Она обеспечивается комплексом выверенных экспериментальных методик, широким спектром исследованных объектов, различающихся составом и структурой, использованием направленного контролируемого воздействия на микроструктуру образцов, большим числом и воспроизводимостью проведенных опытов и физически обоснованной интерпретацией экспериментальных данных, сопоставлением найденных результатов с существующими и вновь разработанными на базе полученных результатов моделями и теориями. Полученные в работе результаты признаны научной общественностью и активно цитируются отечественными и зарубежными авторами.

Сделанные в диссертации выводы обоснованы и полностью отвечают задачам исследования и полученным результатам.

Отметим отдельные **недостатки работы**.

1. В работе не обсуждается возможное перераспределение примесей между объёмом зёрен и границами зерен при резком уменьшении размера зерна. Такое перераспределение может влиять как на механические свойства объёма зёрен (из-за уменьшения вклада твёрдорастворного упрочнения), так и на склонность границ к проскальзыванию и их сопротивляемость распространению трещин.

2. Состав твёрдого раствора в матрице (а значит и её механические свойства) может изменяться не только за счёт сегрегации компонентов сплава на «новых» границах зёрен, но и в результате фазовых превращений растворения или образования частиц интерметаллидов, вызванных интенсивной деформацией. За этим процессом можно было бы проследить, измеряя период решетки твёрдого раствора с помощью рентгеновской дифрактометрии. К сожалению, эта возможность не была использована автором.

3. Ну и, наконец, мелкие замечания по тексту и оформлению диссертации, в целом очень и очень аккуратно подготовленной. Так, не вполне последовательно

выдерживается стиль оформления рисунков. Например, на многих рисунках используется то обозначение типа «Длина (мм)», то – «Длина, мм» (как, скажем, на Рис. 4.8 или 4.10). Кое-где в тексте перепутаны номера рисунков (например, на стр. 23 или 24). Латинские символы в отечественной полиграфической культуре принято набирать курсивом. Иногда автор об этом забывает, как, скажем, на стр. 24 или 196. В литературе на русском языке принято использовать десятичную запятую (как в немецком), а не десятичную точку (как в английском), автор порой не придерживается этого правила, как, например, на стр. 19 или 60. Вместо короткого тире (-), минуса (–), штриха (—) или длинного штриха (—) почти везде используется только тире – как во времена механических пишущих машинок. Нигде не указано, какие проценты используются при указании состава сплавов – атомные или массовые.

Сделанные замечания несколько не могут изменить общей положительной оценки диссертации Д.А. Жемчужниковой, 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 дефектов, физику пластической деформации, формирования и релаксации дефектов решетки, так и в физические основы металловедения и термической обработки металлов и сплавов.

Рекомендации по использованию работы. Результаты работы Д.А. Жемчужниковой позволяют прогнозировать свойства субмикро- и нанокристаллических материалов, этим определяется их значимость для науки и практики. Полученные результаты могут быть использованы как при решении исследовательских задач, так и в практической работе многих организаций, для которых важно иметь информацию об особенностях ультрамелкозернистой структуры материалов и их влиянии на механические и физические свойства. В их числе институты РАН: ИФТТ, ИПТМ, ИМЕТМАТ, ИФХ, ИОНХ, ИМФ УРО РАН, ИФПМ СО РАН; отраслевые: ЦНИИЧерМет, ВИАМ, ВИЛС; образовательные: МФТИ, МИСиС, СПбГУ, СПбГТУ, факультет наук о материалах МГУ, ННГУ, ТГУ, УГАТУ и другие.

Убедительна проведенная **апробация работы**, результаты которой были доложены на десяти международных и национальных конференциях, а также отражены в семи публикациях в рецензируемых журналах и патенте. Все наиболее важные результаты работы отражены в этих публикациях. **Личный вклад автора** также не вызывает сомнений – во всех публикациях её имя стоит первым в списке авторов. Д.А. Жемчужникова – известный как в России, так и за рубежом специалист в области экспериментального исследования взаимосвязи микроструктуры с физическими и механическими свойствами твердых тел.

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации, выводы и положения, выносимые на защиту.

Считаю, что по своим целям и задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне диссертация Д.А. Жемчужниковой соответствует паспорту специальности 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, технические науки (п. 2: «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях», п. 3: «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов», п. 4: «Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, терромагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов») и удовлетворяет требованиям п. II. 9 Положения о присуждении ученых степеней. Считаю, что автор работы Д.А. Жемчужникова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Сведения о составителе отзыва

Борис Борисович Страумал

Почтовый адрес: 119049 Москва, Ленинский проспект, д. 4

Телефон + 7 495 638 4553

Адрес электронной почты: straumal@issp.ac.ru

Наименование организации: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Должность: главный научный сотрудник

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник НИТУ МИСиС,

доктор физико-математических наук

Борис Борисович Страумал

29 февраля 2016 г.

