

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Груздкова Алексея Андреевича

на диссертацию Еникеева Наримана Айратовича

«Границы зёрен и сверхпрочность наноструктурных материалов»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа посвящена изучению влияния структурных особенностей наноструктурированных материалов на их механические свойства и разработке моделей, позволяющих устанавливать связь между свойствами материалов и параметрами технологических процессов их получения.

Актуальность темы

Уникальные физико-механические свойства ультрамелкозернистых (УМЗ) материалов позволяют рассматривать их как перспективные материалы нового поколения, которые в ближайшем будущем найдут широкое применение в самых разных областях. Среди различных методов получения наноструктурированных материалов наиболее привлекательными выглядят методы интенсивной пластической деформации (ИПД), рассматриваемые в диссертационной работе.

Важнейшей проблемой является возможность контроля свойств получаемых материалов за счёт изменения параметров технологического процесса, т. е. влияния на микроструктурные особенности. Сложность проблемы состоит в невозможности анализа процесса в рамках рассмотрения одного масштабного уровня и неприменимости традиционных подходов к УМЗ материалам.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность выводов работы обусловлена использованием при разработке модели общепризнанных методов и теоретических представлений современной механики и физики, сопоставлением результатов расчётов с экспериментальными данными, взятыми как из литературных источников, так и полученными при личном участии автора, с использованием современных методов анализа структуры и свойств.

Оценка достоверности и новизны результатов

Первая глава диссертации посвящена разработке многоуровневой модели интенсивной пластической деформации, которая применяется в последующих частях работы. На макроскопическом уровне используется континуальное описание среды и соответствующие численные методы – конечных разностей и конечных элементов. На

мезоуровне автором применяется модель поликристаллической пластичности, позволяющая учитывать несовместность деформации соседних зёрен.

Несомненной научной новизной обладает подход к моделированию микроуровня, связанного с фрагментацией зёрен. Автор на основе энергетического анализа условий расщепления зерна вводит дисклинационный критерий деления зёрен. Важным результатом является совмещение моделирования на разных уровнях, позволяющее дать полное описание процесса получения наноструктурированных материалов методами интенсивной пластической деформации (ИПД). Таким образом, автору удаётся добиться главного – установить связь параметров ИПД с микроструктурой и текстурой получаемого материала.

Разработанная концепция многоуровневого моделирования реализуется при расчёте многоциклового равноканального углового прессования (РКУП) модельного материала (технически чистая медь).

Во второй главе разработанный подход применяется к расчёту получения методом РКУП длиномерных заготовок наноструктурированного биосовместимого технически чистого титана – материала, используемого в медицине. Расчёты, проведенные для УМЗ палладия, сопоставлялись с экспериментальными данными по разориентировке зёрен. Автором показано, что существенный вклад в общую деформацию вносит зернограничное проскальзывание и некристаллографическое вращение зёрен.

Автор справедливо отмечает, что на свойства наноструктурированных материалов влияет не только размер зерна, но и другие факторы – неравновесность границ зёрен, обусловленная избыточной плотностью дефектов (**третья глава**) и фазовый состав, например, сегрегация легирующих элементов на границах зёрен (**четвёртая глава**). Отметим далее некоторые важные результаты.

Автором разработан метод определения плотности внесённых зернограничных дислокаций в УМЗ материалах, который позволил оценивать степень неравновесности границ зёрен на основе опытных съёмок и численного расчета рентгенограмм. Автором предложена модификация дислокационной кинетической модели, на основе которой получено хорошее соответствие с экспериментальными зависимостями (для меди) по эволюции плотности дислокаций и средней разориентации зерен в ходе различных схем ИПД. В работе показано, что ИПД может приводить к образованию аномальных зернограничных сегрегаций с параметрами, которые существенно отличаются от термодинамически выгодных значений. Данный вывод подтверждается прямыми исследованиями на атомном уровне.

Пятая глава посвящена теоретическому объяснению эффекта сверхпрочности УМЗ материалов, под которым в работе понимается превышение предела прочности над значением, которое соответствует уравнению Холла-Петча. Показано, что дополнительным упрочняющим фактором является повышенная сегрегация примесей на границах зёрен.

С прикладной точки зрения принципиальный интерес представляет вопрос о влиянии температуры на УМЗ материалы, поскольку при повышенных температурах может происходить рекристаллизация. Исследования, проведённые для УМЗ стали,

показали, что при отжиге до температуры 650°C происходит уменьшение плотности дислокаций при отсутствии существенного роста размера зёрен. Заметный рост размера зерна происходит при температуре 700°C и выше. Безусловно интересным является описанное в работе необычное увеличение прочности УМЗ стали при нагреве, что может быть объяснено изменением химического состава границ зёрен. Упомянутые результаты также обладают научной новизной и представляют практический интерес.

Шестая, заключительная, глава диссертации связана с рассмотрением вопроса о повышении стойкости материала к радиационному воздействию. Экспериментальные результаты, приводимые в диссертации, показывают, что наноструктурированные материалы обладают повышенной радиационной стойкостью. Объясняется этот эффект повышенной объемной долей границ зёрен и тем фактом, что границы зёрен являются эффективными стоками точечных дефектов, наведённых радиационным излучением. Данный результат обладает не только научной новизной, но и несомненной практической значимостью.

Таким образом, можно заключить, что с применением механических и физических подходов в диссертации успешно решена крупная научная проблема установления влияния параметров границ зёрен на дополнительное повышение прочностных свойств УМЗ материалов, полученных методами ИПД.

Значимость для науки и практики

Полученные результаты могут использоваться для получения УМЗ материалов с контролируемой микроструктурой и повышенными прочностными и функциональными свойствами. В работе это продемонстрировано на примере моделирования процессов получения биосовместимого УМЗ титана для изготовления медицинских имплантов нового поколения. Практический интерес представляют также результаты по исследованию радиационной стойкости УМЗ нержавеющей стали, которое проводилось, в том числе, в условиях активной зоны исследовательского атомного реактора.

Замечания по диссертационной работе в целом

Хорошо известно, и в диссертационной работе это справедливо отмечается, что требования к улучшению различных характеристик материала могут оказаться противоречивыми. Иными словами, стремясь улучшить одни характеристики, можно существенно ухудшить другие. Поэтому оценка свойств новых материалов должна проводиться на основе испытаний в широком диапазоне параметров внешнего воздействия. К сожалению, в работе не затрагивается вопрос о прочностных свойствах в условиях динамического нагружения. В то же время, в ряде работ отмечается возможность существенного ухудшения характеристик динамической прочности (например, ударной вязкости разрушения) у наноструктурированных материалов.

Данное замечание не носит принципиального характера и не влияет на безусловно положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Несмотря на сделанное выше замечание, диссертационную работу можно оценить как законченный научно-исследовательский труд, выполненный автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, в том числе 10 - в журналах списка ВАК и 26 – в международных журналах, имеющих импакт-фактор Web of Science. Следует отметить высокие наукометрические показатели автора диссертации.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным разделом II положения «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Еникеев Нариман Айратович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по двум специальностям: 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой математики
Санкт-Петербургского государственного
технологического института
(технического университета)

«12» декабря 2016 г.

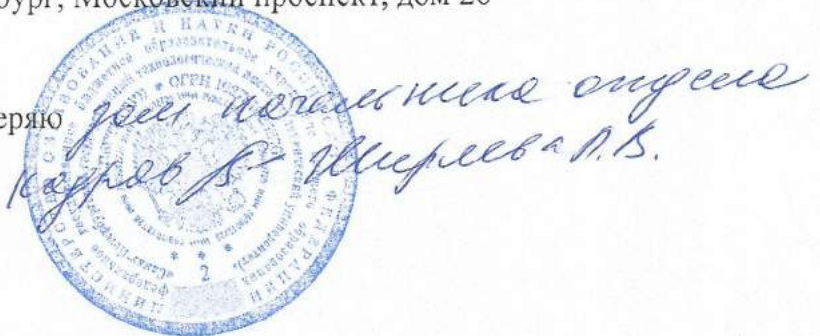


А. А. Груздков

Тел.: +7 (812) 494-92-32; email: gruzdkov@mail.ru

190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26

Подпись А. А. Груздкова заверяю



Земельно-недвижимая служба
Курбанов В. Шерева Н.Б.