

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
НИТУ «МИСиС»
профессор, доктор технических наук

М.Р. Филонов

2015 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической ценности диссертации

Каминского Петра Петровича

на тему: «Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение,
инициируемое изменением межатомного взаимодействия»

на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Тенденцией современного материаловедения является разработка принципиально новых подходов, которые могут быть использованы при создании перспективных материалов для различных отраслей промышленности. Механические свойства материалов в значительной мере определяются особенностями их микроструктуры, которая, как правило, является многоуровневой. Одним из методов формирования требуемой микроструктуры является пластическая деформация материала, в том числе в электрических и магнитных полях. Это, в свою очередь, требует разработки ясных представлений о физике процессов, протекающих в деформируемом материале. В основе существующих теорий пластической деформации металлических материалов лежат представления о дефектах кристаллической решетки и, в первую очередь, о дислокациях. Область применимости теории дислокаций

ограничена начальными стадиями пластической деформации. При больших степенях деформации существенную роль играют коллективные эффекты в ансамбле взаимодействующих дефектов, возбуждение недислокационных мод деформации, формирование многоуровневых структур и т.п. Началу пластической деформации всегда предшествует стадия неупругой обратимой деформации. На этой стадии в поверхностном слое кристалла происходит зарождение дислокаций (топологических дефектов кристаллической решетки), либо зарождение микротрещин, приводящее к увеличению площади свободной поверхности. Физические механизмы такого зарождения в рамках существующих представлений о поведении кристалла под действием внешних сил до сих пор остаются не ясными. Существуют и другие проблемные вопросы, относящиеся к деформируемому кристаллу, в том числе и вопрос, связанный с объяснением влияния электрического поля на процессы пластической деформации. По вышеназванным причинам решаемые в диссертационной работе Каминского П.П. задачи безусловно являются актуальными.

Общая характеристика структуры и содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем работы - 243 страницы, список литературы включает 335 наименований.

Во введении сформулированы цели и задачи диссертации, обоснована их актуальность и новизна. Здесь же сформулированы положения, выносимые на защиту, и приведены сведения об апробации результатов на различных конференциях и семинарах, и о имеющихся публикациях по теме диссертационной работы.

В первом разделе работы предложена модель деформируемого твердого тела, принимающая во внимание две особенности кристалла при деформации. Прежде всего кристалл при деформации является неизоллированной системой. Поэтому во внимание необходимо принимать все возможные структурные состояния кристалла, а не только состояния, связанные с дефектами кристаллической решетки. Также необходимо учитывать смещение энергетических уровней при деформации и возможность реализации эффекта Ландау-Зинера. Туннелирование Ландау-Зинера приводит к изменению межатомного взаимодействия в локальных областях кристалла, возбуждению динамических неупругих смещений атомов и безбарьерному переходу кристалла из одного состояния в другое.

Предложен метод расчета потенциалов межатомного взаимодействия атомов в системах с пониженной симметрией.

Во втором разделе неупругая обратимая деформация однородного кристалла рассматривается как структурное превращение, связанное с возбуждением динамических смещений атомов. Это новый, ранее не рассматривавшийся механизм неупругой деформации. Важно то, что этот механизм позволяет в принципе вычислить микроскопический предел пропорциональности – напряжение перехода кристалла от упругой деформации к неупругой.

В третьем разделе исследуется зарождение пластического сдвига, микротрещины и границы раздела в однородном кристалле, в котором нет каких-либо зародышей необратимой деформации. Необратимые изменения в распределении атомов связываются с возбуждением термически активируемых смещений (переход атомов через потенциальный барьер под действием внешней силы и тепловых флуктуаций). Предполагается, что динамические смещения стимулируют возбуждение термически активируемых смещений. Рассмотрение основано на введении двух параметров порядка. Уравнения эволюции для параметров порядка записаны в модели двух связанных бистабильных сред. Локализованным структурам соответствуют бегущие и статические автосолитоны. Показано, что для зарождения носителей необратимой деформации не требуются напряжения, сравнимые с теоретической прочностью идеального кристалла. Необходимы лишь начальные возмущения. Такие возмущения возбуждаются на свободной поверхности кристалла. Наличие свободной поверхности приводит к зависимости коэффициентов уравнений эволюции для параметров порядка от координат.

Четвертый раздел посвящен исследованию макроскопических пространственно – временных структур в деформируемых средах. Обращено внимание, что в многоуровневой среде необходимо рассматривать не только характерный размер структурных элементов, но и характерные времена протекающих процессов. Это позволяет систему связанных уравнений для параметров порядка свести к двум уравнениям, подобным уравнениям, полученным в разделе 3. Найдены решения, описывающие распространение волны переключения (полосы Чернова-Людерса) на стадии легкого скольжения, системы движущихся полос локализованной деформации на стадии линейного упрочнения и неподвижных полос на стадии параболического упрочнения одноосно деформируемых образцов. Рассмотрены также условия возбуждения пространственно-временных структур

при сверхпластической деформации и локализованных мезополос локализованной деформации.

В пятом разделе предложены новые механизмы влияния импульсных электрических полей на пластическую деформацию (электропластический эффект) и заряда на поверхности проводника на ускорение пластической деформации. Заметим, что эти два эффекта открыты более сорока лет назад, но до сих пор не дано объяснение физической природы этих эффектов. Предложенный в диссертационной работе механизм учитывает поляризацию среды в электрическом поле, что приводит к возбуждению динамических смещений при меньшем значении деформирующего напряжения.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Полученные результаты отличаются новизной и вносят существенный вклад в развитие физики деформируемого кристалла. Наиболее значимым результатом является новое представление о неупругой деформации кристалла, базирующееся на рассмотрении деформируемого твердого тела как квантовомеханической системы, находящейся в смешанном состоянии. Такое представление позволяет объяснить экспериментально наблюдаемые особенности пластической деформации кристаллов без введения каких-либо концентраторов напряжений, либо источников носителей деформации.

Практическая ценность работы

Полученные результаты и разработанные методы могут найти применение в исследованиях по физике твердого тела, пластической деформации и разрушения, проводимых в различных научных и учебных заведениях: Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (г. Уфа), Институт машиноведения УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институт физико-технических проблем севера СО РАН (г. Якутск), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Новосибирский государственный технический университет, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

(г. Якутск), Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк), а также в других организациях, использующих многоуровневый подход при разработке материалов нового поколения с иерархически организованной структурой.

Достоверность и обоснованность результатов работы

Достоверность полученных результатов достигается физической и математической корректностью постановки решаемых задач, применением современных методов расчета, основанных на методе функционала плотности, методе фазового кристаллического поля, теории систем, далеких от состояния равновесия, соответствием полученных результатов результатам других теоретических подходов, а также согласием расчетных данных с соответствующими экспериментальными значениями.

По результатам работы опубликованы 29 статей. Среди них 27 статей, опубликованных в научных журналах, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук, 1 статья опубликована в спецвыпуске научного журнала, 1 коллективная монография (на русском и английском языках). Результаты диссертации докладывались и обсуждались на многих международных и российских конференциях и семинарах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает результаты исследований.

Замечания по диссертационной работе

1. В первом разделе предложен метод расчета энергий межатомного взаимодействия, зависящий от локального распределения атомов. Однако в последующих расчетах, например, микроскопического предела упругости для конкретных кристаллов в дальнейшем не используется. Между тем, такой расчет был бы весьма полезен.

2. Во втором и других разделах рассматривается только скалярный параметр порядка, характеризующий амплитуду неустойчивой моды при структурном превращении. Введение комплексного параметра порядка привело бы к большему разнообразию решений. Этот вопрос не обсуждается.

3. В этом же разделе в формуле (2.5) под k следует понимать разность волновых векторов, а не волновой вектор.

4. Для обоснования представлений о динамических неупругих смещениях атомов необходимо было бы опереться на экспериментальные данные. Этого в работе не сделано, и причины не указаны.

5. В третьем разделе для удобства чтения следовало бы более подробно расписать анализ линейной устойчивости однородных решений, несмотря на то, что такой анализ является стандартной процедурой.

6. При рассмотрении роли поверхности в зарождении пластической деформации коэффициенты в правой части уравнений (3.48), (3.49) зависят от координат. Но их численное решение не проводится, а дело ограничивается только качественным анализом решений.

7. При численном решении уравнений везде рассматривается только одномерный случай. Следовало бы привести и двумерные решения уравнений.

8. При рассмотрении деформации к уравнениям эволюции для параметров порядка необходимо добавить уравнения движения среды с соответствующими начальными и граничными условиями. Этот вопрос в работе не затрагивается.

Вместе с тем указанные замечания не снижают научной значимости и общей положительной оценки диссертационной работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейших исследований.

Заключение

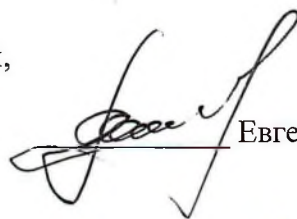
По своим целям и задачам, содержанию и методам исследования диссертация Каминского П.П. соответствует паспорту специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, физико-математические науки по области исследования «Теоретическое изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, в зависимости от химического состава, температуры и давления» (п. 1 паспорта специальности).

Диссертационная работа Каминского Петра Петровича «Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия» является логически завершенным самостоятельным научным исследованием. Совокупность полученных результатов можно квалифицировать как научное достижение в области разработки теоретических подходов к исследованию свойств деформируемых твердых тел. Диссертация удовлетворяет требованиям п.п.9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к докторским

диссертациям, а диссертант Каминский П.П. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07.

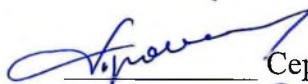
Отзыв заслушан на объединенном семинаре кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий и Научно-учебного центра СВС, протокол № 2 от 23.09.2015 г.

Заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, Директор Научно-учебного центра СВС, д.т.н., профессор



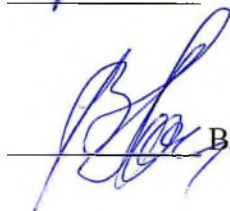
Евгений Александрович Левашов

Главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением, д.ф.-м.н., профессор



Сергей Дмитриевич Прокошкин

Ученый секретарь кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий, доцент, к.т.н.



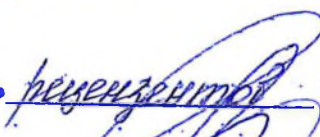
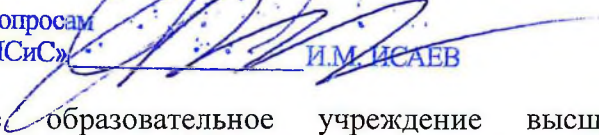
Владимир Юрьевич Лопатин

Ученый секретарь Научно-учебного центра СВС, ведущий научный сотрудник Научно-учебного центра СВС, доцент, к.т.н.



Виктория Владимировна Курбаткина

«Подпись рецензентов заверяю»

ПОДПИСЬ  ЗАВЕРЯЮ
Проректор
по общим вопросам
НИТУ «МИСиС»  И.М. ИСАЕВ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 4, Тел.: (495) 955-00-32; E-mail: kancela@misis.ru, <http://www.misis.ru>