

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.07, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 29 октября 2015 года публичной защиты диссертации Каминского Петра Петровича «Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Время начала заседания: 14-30.

Время окончания заседания: 17-15.

На заседании диссертационного совета присутствовали 17 из 24 членов диссертационного совета, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния:

1.	Ивонин И.В., заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.04.10
2.	Киреева И.В., ученый секретарь диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
3.	Бордовицын В.А.	д-р физ.-мат. наук	01.04.02
4.	Брудный В.Н.	д-р физ.-мат. наук	01.04.10
5.	Гермогенов В.П.	д-р физ.-мат. наук	01.04.10
6.	Дударев Е.Ф.	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
7.	Караваев Г.Ф.	д-р физ.-мат. наук	01.04.10
8.	Коротаев А.Д.,	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
9.	Ляхович С.Л.	д-р физ.-мат. наук	01.04.02
10.	Мельникова Н.В.	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
11.	Потекаев А.И.	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
12.	Старенченко В.А.	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
13.	Трифонов А.Ю.	д-р физ.-мат. наук	01.04.02
14.	Тюменцев А.Н.	д-р физ.-мат. наук	01.04.07
15.	Тютюрев В.Г.	д-р физ.-мат. наук	01.04.10
16.	Шаповалов А.В.	д-р физ.-мат. наук	01.04.02
17.	Шарапов А.А.	д-р физ.-мат. наук	01.04.02

Заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук Ивонин Иван Варфоломеевич.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить П.П. Каминскому учёную степень доктора физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.07
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.10.2015 г., № 40

О присуждении **Каминскому Петру Петровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия»** по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, принята к защите 07.07.2015 г., протокол № 28, диссертационным советом Д 212.267.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 798-745/68 от 13.04.2007 г.).

Соискатель **Каминский Петр Петрович**, 1958 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Термодинамические свойства простых и 3d-переходных металлов и сплавов на их основе» защитил в 1987 году, в диссертационном совете, созданном на базе Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Академии наук СССР.

Работает в должности заместителя директора по научно-производственной работе, по совместительству – в должности старшего научного сотрудника лаборатории физики нелинейных сред в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Диссертация выполнена в лаборатории физики нелинейных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, **Хон Юрий Андреевич**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физики нелинейных сред, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

Наймарк Олег Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория физических основ прочности, заведующий лабораторией

Чернов Вячеслав Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», отдел конструкционных материалов и изделий (П-320), главный научный сотрудник

Арефьев Константин Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра высшей математики, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «**Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС**», г. Москва, в своём положительном заключении, подписанном **Левашовым Евгением Александровичем** (доктор технических наук, профессор, кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий, заведующий кафедрой; научно-учебный центр СВС, директор), **Прокошкиным Сергеем Дмитриевичем**

(доктор физико-математических наук, профессор, кафедра обработки металлов давлением, главный научный сотрудник), **Лопатиным Владимиром Юрьевичем** (кандидат технических наук, доцент, кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий, ученый секретарь) и **Курбаткиной Викторией Владимировной** (кандидат технических наук, доцент, научно-учебный центр СВС, ученый секретарь, ведущий научный сотрудник), указала, что диссертационная работа П.П. Каминского посвящена решению актуальных задач физики пластической деформации кристаллических твердых тел. В работе развито новое представление о неупругой деформации кристалла, базирующееся на рассмотрении твердого тела как квантовомеханической системы, находящейся в смешанном состоянии, позволяющее объяснить экспериментально наблюдаемые особенности пластической деформации кристаллов без введения каких-либо концентраторов напряжений либо источников носителей деформации. Полученные результаты отличаются новизной, вносят существенный вклад в развитие физики деформируемого кристалла и могут найти применение в исследованиях по физике твердого тела, пластической деформации и разрушения, проводимых в различных научных и учебных заведениях.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 29 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 27 (из них 7 статей в зарубежных научных журналах, индексируемых в Web of Science или Scopus, и 7 статей в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются в Web of Science или Scopus), 1 статья в спецвыпуске научного журнала, 1 коллективная монография (на русском и английском языках). Общий объем публикаций – 11,06 п.л., авторский вклад – 7,6 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, опубликованные в научных журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук:

1. Кузнецов В. М. Модельный функционал электронной плотности. I. Металлы / В. М. Кузнецов, **П. П. Каминский** // Физика металлов и металловедение. – 1987. – Т. 63, № 1. – С. 38–45. – 0.47 / 0.42 п.л.

2. Каминский П. П. Об особенностях сплавообразования в системах Cu-Al и Ni-Cu / **П. П. Каминский**, В. М. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 1987. – № 4. – С. 39–43. – 0.30 / 0.27 п.л.

3. Бадаева В. Ф. О неустойчивости однородного пластического течения и локализация деформации в структурно-неоднородных средах / В. Ф. Бадаева, **П. П. Каминский**, Ю. А. Хон // Письма в Журнал технической физики. – 2001. – Т. 27, № 1. – С. 12–18. – 0.37 / 0.27 п.л.

4. Kaminskii P. P. Kinetic theory of low-temperature microscopic crack nucleation in crystals / **P. P. Kaminskii**, Yu. A. Khon // Theoretical and Applied Fracture Mechanics – 2009. – V. 51. – P. 161–166. – 0.33 / 0.26 pp. – DOI: 10.1016/j.tafmec.2009.05.006.

5. Хон Ю. А. О влиянии электрического потенциала на пластическую деформацию проводников / Ю. А. Хон, **П. П. Каминский**, Л. Б. Зуев // Физика твердого тела. – 2013. – Т. 55, № 6. – С. 1047–1051. – 0.21 / 0.1 п.л.

На автореферат поступили 12 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **Б.В. Петухов**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник отдела теоретических исследований Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, г. Москва, *без замечаний*.
2. **В.А. Федоров**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой общей физики Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, *без замечаний*.
3. **В.Е. Громов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физики имени профессора В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, и **С.В. Коновалов**, д-р техн. наук, доц., директор Центра коллективного пользования «Материаловедение», профессор кафедры физики имени профессора В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, *без замечаний*.
4. **М.П. Кащенко**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физики Уральского государственного лесотехнического университета, г. Екатеринбург, *без замечаний*.
5. **Ю.И. Головин**, д-р физ.-мат. наук, проф., директор НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, *без замечаний*.

6. **А.А. Шибков**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, *без замечаний*. 7. **В.А. Попов**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Физика» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, *без замечаний*. 8. **С.А. Безносюк**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физической и неорганической химии Алтайского государственного университета, г. Барнаул, *с замечанием*: не показано наличие пересечения электронных термов ППЭ в конфигурационном пространстве ядер для исследованных материалов в подтверждение предложенных механизмов их структурных превращений. 9. **Л.В. Спивак**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики твердого тела Пермского государственного национального исследовательского университета, *с вопросами*: чем термин «необратимая деформация» отличается от понятия «пластическая реформация»? неупругое поведение кристалла при нагружении следует из простой двухатомной модели, что нового в данном случае дает использование предложенного в работе подхода? что такое «характерный размер микротрещины», и как он соотносится с размером зоны сдвига вблизи дислокации? *с замечаниями*: отсутствует понимание различия между физическими свойствами, имманентно присущими объекту исследования, и его механическими свойствами; теория не учитывает, даже на микроуровне, дискретный характер самой пластической деформации и распространения трещины – процессы по своей природе стохастические. 10. **Ю.Р. Колобов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой наноматериалов и нанотехнологий Белгородского государственного национального исследовательского университета на базе Научного центра РАН в Черногловке, и **М.Б. Иванов**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией биоматериалов Научно-образовательного и инновационного центра «Наноструктурные материалы и нанотехнологии» Белгородского государственного национального исследовательского университета, *с замечаниями*: в заключении к диссертации отражены не только выводы, но и результаты работы, что привело к непропорционально большому объему этого раздела, и в итоге сложно отделить выводы от рассуждений; основная часть

изложения разделов автореферата страдает недостатком пояснений и обобщений, необходимых для полноценного анализа полученных результатов; на стр. 15 автореферата делается принципиальное заключение о существовании только двух устойчивых состояний (решений) системы (напряженного кристалла), связанных с упругой и неупругой обратимой деформацией, а также одного устойчивого состояния, связанного с необратимой деформацией (стр. 17), однако физические предпосылки для такого выбора не приводятся. 11. **В.В. Москвичев**, д-р техн. наук, проф., директор Специального конструкторско-технологического бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН, *с замечанием*: в ряде случаев автор прибегает к неоправданному усложнению при описании рассматриваемых явлений, что затрудняет общее структурирование результатов и характеристику взаимосвязей с физическими представлениями о прочности, деформировании и структурных превращениях кристаллов. 12. **В.В. Поляков**, д-р физ.-мат. наук, проф., декан физико-технического факультета, заведующий кафедрой прикладной физики и электроники Алтайского государственного университета, г. Барнаул, *без замечаний*.

В отзывах отмечается, что основные результаты являются актуальными, поскольку могут быть использованы для объяснения широкого спектра явлений и экспериментальных фактов, связанных с пластической деформацией кристаллических материалов. Фундаментальность полученных результатов состоит в том, что автором разработан новый подход, связанный с описанием неупругой деформации кристалла, основанный на учете изменений межатомного взаимодействия за счет проявления эффекта Ландау-Зинера. Полученные результаты могут быть использованы как в научных исследованиях, так и при разработке технологических процессов получения новых перспективных материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что: **О.Б. Наймарк** является известным специалистом в области физики прочности и математического моделирования; **В.М. Чернов** является известным специалистом в области физики прочности и пластичности, моделирования дефектов и свойств материалов разных кристаллографических классов, в том числе материалов, подверженных радиационному воздействию; **К.П. Арефьев** является известным специалистом в области радиационной физики дефектных кристаллов;

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» является одним из ведущих в России образовательных и научных центров, в котором на мировом уровне выполняются научно-исследовательские работы в области материаловедения. В частности, на кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий, которую возглавляет доктор технических наук, профессор Е.А. Левашов, работают квалифицированные специалисты по направлению физики конденсированного состояния, известные своими достижениями в области создания перспективных материалов с многоуровневой структурой.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новый подход к описанию неупругой деформации кристалла, в том числе в электрическом поле, основанный на учете изменения межатомного взаимодействия при электронных переходах между энергетическими уровнями деформируемого кристалла, метод параметризованных функционалов электронной плотности для расчета многочастичных энергий межатомного взаимодействия, метод исследования пространственно-временных структур в деформируемых кристаллах на микро- и макромасштабном уровнях;

предложены оригинальные модели зарождения носителей необратимой деформации в кристаллах, основанные на учете возбуждения как термически активируемых, так и динамических смещений атомов при деформации кристалла, модели и механизмы формирования макроскопических пространственно-временных структур на стадиях легкого скольжения, линейного и параболического упрочнения на кривой пластического течения, механизм влияния импульсного электрического тока и электрического заряда на поверхности на ускорение пластической деформации проводника, основанный на учете расщепления энергетических уровней кристалла в электрическом поле;

доказано, что: динамические смещения атомов могут инициировать возбуждение термически активируемых смещений, приводя к необратимым структурным превращениям в деформируемом кристалле при напряжениях, существенно меньших теоретической прочности; соотношение между скоростями процессов в двух действующих модах деформации определяет характер

формирующихся пространственно-временных структур на микро- и макромасштабном уровнях; расщепление энергетических уровней кристалла в электрическом поле приводит к снижению величины деформирующего напряжения при пластической деформации металлических кристаллов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что деформируемый кристалл следует рассматривать как квантовомеханическую систему, находящуюся в смешанном состоянии, электронные переходы между энергетическими уровнями в котором приводят к изменению межатомного взаимодействия, возбуждению динамических смещений атомов, инициирующих термически активируемые смещения и необратимую деформацию;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы квантовой механики, физики твердого тела, физики нелинейных сред, численные методы решения нелинейных уравнений;

изложены метод расчета структурно зависящих многочастичных энергий межатомного взаимодействия, метод выделения параметров порядка в деформируемом кристалле при возбуждении динамических и термически активируемых смещений, методы и результаты анализа решений системы нелинейных уравнений, описывающих эволюцию деформируемой среды;

раскрыты новые механизмы зарождения носителей необратимой деформации в идеальных кристаллах при деформирующем напряжении, существенно меньшем теоретической прочности, связанные с инициирующим влиянием электронных переходов между энергетическими уровнями при деформации, в том числе в электрическом поле;

изучено влияние электронных переходов между энергетическими уровнями на зарождение и развитие необратимых структурных превращений в деформируемых кристаллах, в том числе в электрическом поле;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан новый подход к анализу закономерностей зарождения и развития необратимой деформации кристаллов, учитывающий возбуждение новой (атермической) моды деформации, связанной с возбуждением динамических смеще-

ний атомов, который дает возможность путем активации указанной моды возбуждать требуемые либо подавлять нежелательные моды пластической деформации;

определены условия, при которых: (1) происходит переход от упругой к неупругой обратимой, а затем к необратимой деформации кристалла, (2) реализуются различные сценарии локализации микро- и макроскопической пластической деформации, (3) электрические поля стимулируют пластическую деформацию;

представлены результаты, которые показывают, что развиваемые подходы и методы могут быть использованы в дальнейших исследованиях для анализа влияния температуры, скорости и условий деформирования на закономерности пластической деформации поликристаллических и аморфных твердых тел.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты и разработанные методы могут найти применение как в исследовательской, так и в практической работе многих организаций, для которых важно понимать физику процессов, протекающих в деформируемых металлических материалах. В их числе академические институты: Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва), Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (г. Якутск), Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург), отраслевые институты: Центральный НИИ черной металлургии им. И.П. Бардина (г. Москва), Высокотехнологический НИИ неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара (г. Москва), Всероссийский НИИ авиационных материалов (г. Москва); университеты: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва), Санкт-Петербургский государственный университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на использовании принципов квантовой механики, теории твердого тела, теории систем, далеких от состояния равновесия, физики

пластической деформации. Результаты получены благодаря корректной постановке задачи, выбору обоснованных физических моделей и приближений, использованию апробированных методов решения систем нелинейных уравнений;

идея базируется на анализе существующих подходов и их недостатках при описании необратимой деформации кристаллов, анализе имеющихся экспериментальных данных, обобщении результатов теоретического и экспериментального исследования пространственно-временных структур, формирующихся в неравновесных нелинейных системах;

использовано сравнение и сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными и результатами исследования других авторов;

установлены непротиворечивость и качественное согласие полученных результатов с известными из литературы данными.

Научная новизна работы заключается в том, что развиты новые представления о необратимой деформации кристалла на атомном уровне, как квантовой системы, структурные изменения в которой инициированы изменением межатомных взаимодействий. Развита метод расчета структурно зависящих многочастичных энергий межатомного взаимодействия в металлах и сплавах. Предложен новый механизм зарождения пластического сдвига и микротрещины в идеальном кристалле, основанный на учете возбуждений динамических смещений атомов при электронных переходах между энергетическими уровнями при деформации. Объяснены низкие по сравнению с теоретической прочностью кристалла значения микроскопического предела пропорциональности, напряжения зарождения носителей необратимой деформации и влияние свободной поверхности на эти процессы. Развита феноменологическая теория формирования макроскопических пространственно-временных структур в одноосно деформируемом кристалле на стадиях легкого скольжения, линейного и параболического упрочнения на кривой пластического течения. Предложен механизм влияния постоянного электрического потенциала на поверхности проводника на ускорение его пластической деформации в условиях ползучести и импульсного электрического тока на снижение деформирующего напряжения при активной деформации.

Личный вклад соискателя. Автором диссертации совместно с научным консультантом поставлена цель и сформулированы задачи работы. Все результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично, как в индивидуальных, так и в коллективных исследованиях. Автором диссертации выполнены теоретические исследования и расчеты, проведен анализ и обработка полученных результатов, сделаны выводы. По полученным результатам написаны статьи (в соавторстве), сделаны доклады на научных конференциях и семинарах.

Диссертация соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области разработки теоретических подходов к исследованию необратимых структурных превращений в твердых телах при деформации, в том числе при деформации в электрических полях.

На заседании 29.10.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить **Каминскому П.П.** учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.10.2015 г.



Ивонин Иван Варфоломеевич

Киреева Ирина Васильевна