

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Каминского Петра Петровича **«Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Металлы с кристаллической структурой являлись и, несомненно, будут ещё долго являться основой конструкционных изделий для техники различного назначения. Разработке и созданию новых металлических конструкционных материалов уделяется большое внимание. Имеется огромный массив экспериментальных и теоретических работ, посвященных разработке методов целенаправленного изменения свойств твёрдых металлических материалов и выяснению физико-химических механизмов такого изменения. К числу таких методов относится изменение внутренней структуры (микроструктуры) металла при пластической деформации. Физика пластической деформации металлических кристаллов основана на представлениях о дефектах их кристаллических решеток, в первую очередь, дислокациях. Несмотря на большие успехи в понимании закономерностей и механизмов изменения микроструктуры при пластической деформации в твердых металлах, накопились данные и явления, которые в рамках существующих представлений не получили объяснения и/или объяснены не полностью и не всегда доказательно, что указывает на ограниченность существующих представлений о физике пластической деформации, её источниках и носителях в металлах. К ним относятся, в частности, явление хладноломкости и хрупкого разрыва, источники и носители пластической деформации и её зависимость от внешних воздействий разной природы и интенсивности (механических, термических, радиационных, электромагнитных). Поэтому развитие новых представлений о физике процессов, протекающих в металлическом кристалле при его деформации, является актуальной и важной задачей. Такая актуальность определяется ещё и тем, что в ряде важных областей техники, работающей в экстремальных условиях (ядерной, авиакосмической, арктического назначения, др.), на основе имеющегося знания уже достигнуты предельные характеристики созданных металлических материалов, и дальнейшее развитие материаловедческой науки для создания новых материалов требует новых представлений и качественно нового знания о физической природе механизмов формирования требуемых свойств и их изменений в разрабатываемых материалах. Такая задача и поставлена в диссертационной работе Каминского П.П., где обоснованно поставлены новые задачи и получены их решения или

существенное развитие в области физики пластического деформирования металлических кристаллов.

В основе развиваемых в работе представлений, изложенных в первом разделе диссертации, лежит учет двух важных факторов, которые в литературе по физике пластичности металлических кристаллов или не рассматривались или только обсуждались. Сюда относятся предложенные и разработанные в диссертации представления о смешанном состоянии деформированных металлов и обоснованная необходимость рассмотрения всех структурных состояний кристалла, а не только состояний, связанных с дефектами кристаллической решетки. Очень интересным и важным является введение динамических смещений при деформации, дополняющих термически активируемые смещения атомов. Возбуждение динамических смещений слабо зависит от температуры, связано с изменением межатомного взаимодействия при электронных переходах Ландау-Зинера в окрестности точки пересечения энергетических уровней и приводит к возможности изменения структурного состояния кристалла без преодоления потенциального барьера. В диссертации развита оригинальная методика расчета энергий межатомных взаимодействий, основанная на теории функционала плотности.

Во втором разделе обращено внимание на важность рассмотрения и учета неупругой обратимой деформации, рассмотрению которой обычно уделяется мало внимания. Рассмотрена неупругая обратимая деформация кристалла без дефектов, связанная только с возбуждением динамических смещений атомов. Изменения структуры при таких смещениях характеризуются скалярным параметром порядка. Такой подход позволяет рассмотреть неупругую деформацию только вблизи точки потери устойчивости упруго деформированного состояния, но позволяет избежать трудоемких численных расчетов, что и определило получение в диссертации важных и достаточно обоснованных результатов.

Третий раздел посвящен изучению влияния динамических смещений на зарождение и развитие термически активируемых смещений и связанных с ними необратимых изменений структуры. Здесь необратимые изменения структуры характеризуются также одним скалярным параметром порядка. Взаимное влияние динамических и термически активируемых смещений в уравнениях эволюции учитывается членами, содержащими произведения параметров порядка. При этом обоснованно предполагается, что динамические смещения стимулируют возбуждение термически активируемых смещений. Физически это оправдано тем, что пластическая деформация всегда развивается на фоне неупругой обратимой деформации. Здесь заслуживают внимания два интересных и важных результата:

- зарождение носителей неупругой деформации и разрушения происходит путем возбуждения автосолитона при напряжениях, величина которых существенно меньше теоретической прочности кристаллической решетки.

- поверхность кристалла является источником начальных возмущений для параметров порядка.

В четвертом разделе рассматриваются макроскопические пространственно-временные структуры, формирующиеся в многоуровневых средах при деформации, и предложена теория формирования макроскопических пространственно-временных структур. Система связанных уравнений для параметров порядка сведена к двум уравнениям, решениям которых соответствуют экспериментально наблюдаемые бегущие полосы (стадия легкого скольжения), бегущие системы полос (стадия линейного упрочнения) и неподвижные полосы локализованной деформации (стадия параболического упрочнения).

Пятый раздел посвящен исследованию влияния электрического поля на процесс пластической деформации. Рассмотрено влияние импульсного электрического тока (электропластический эффект) и влияние электрического заряда на поверхности проводников на их ползучесть. Интересен предложенный в диссертации механизм электропластического эффекта, связанный с расщеплением энергетических уровней кристалла при поляризации среды (квадратичный эффект Штарка). Интересен и практически важен результат, что электропластический эффект должен проявляться только в металле, деформируемом внешней силой.

В целом, в работе Каминского П.П. предложены и развиты новые представления о механизмах необратимой деформации как структурного превращения, основанные на учете квантовых свойств металлического кристалла, в том числе при его деформации в электрическом поле. Эти представления пригодны для описания широкого круга процессов в деформируемых металлических кристаллах.

Достоверность полученных в работе результатов, основных выводов, заключений и основных положений диссертации достаточно обоснована и сомнений не вызывает. Она обеспечивается использованием известных методов квантовой теории, теории систем далеких от состояния равновесия, качественным согласием полученных результатов с известными экспериментальными данными.

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

В качестве некоторых замечаний необходимо сделать следующие:

1. Название диссертации включает общее определение «необратимая деформация кристаллов», но реально в диссертации рассмотрены только металлические кристаллы. С этой точки зрения необходимо было бы дополнительно пояснить необходимость привлечения в работе моделей и результатов для неметаллических кристаллов.

2. Рассмотрение в диссертации проведено практически для сплошной изотропной среды, а частое употребление определений «структура» и «структурные превращения» не всегда ясны, в том числе практически не обсуждаются кристаллографические структуры и симметрия металлов и особенности формирования структуры и свойств ОЦК, ГЦК и ГПУ кристаллов.

3. При записи уравнений для параметров порядка связь задается слагаемыми, включающими произведение параметров порядка. Такой выбор связи необходимо было пояснить, поскольку возможны и другие типы связей.

4. В ряде случаев используется и привлекается параметр «плотность дефектов» без выделения из него плотности подвижных дефектов, что важно при рассмотрении пластической деформации (стр. 6, 91).

5. В ряде случаев необходимо было бы дополнительно пояснить необходимость введения и выбор значений некоторых параметров и определений типа «предел прочности» (стр. 127, 133), «совокупность координат атомов (ядер) в нагружающем устройстве» (стр. 29), «дефекты, накопленные за счет предшествующей деформации, создают поле напряжений», которое введено в вероятность реализации некоторых рассмотренных процессов (стр. 128), третьей стадии в развитии трещины, на которой «система переходит в равновесное (стационарное) состояние» (стр. 132), «зарождение трещины и полосы и их распространение по поперечному сечению образца» (стр. 26, 90, 110), «при хрупком разрушении, когда о дислокациях говорить не приходится» (стр. 27).

Сделанные замечания, являющиеся, в значительной мере, пожеланиями для продолжения этих важных исследований, не снижают общую высокую положительную оценку диссертации Каминского П.П. Работа производит хорошее впечатление новизной идей и результатов. Наиболее интересные и важные из них были отмечены выше и они, несомненно, вносят весомый вклад в физику пластической деформации и разрушения металлических кристаллических твердых тел. Результаты работы Каминского П.П. позволяют по-новому взглянуть на протекающие в деформируемых средах процессы и с учетом этого могут использоваться как в исследовательской работе, так и в практической работе многих организаций, для которых важно знать физику процессов, протекающих в деформируемых металлических материалах. В их числе институты РАН: ИФТТ, ИМЕТ, ФТИ, ИФТПС СО РАН, ИМФ УроРАН, отраслевые: ЦНИИ ЧерМет, ВИАМ, ВНИИНМ; образовательные: МИСИС, МФТИ, СпГУ, ТГУ, ТПУ.

Убедительна апробация работы, результаты которой доложены на различных конференциях, а также полностью отражены в 29 публикациях высокого научного уровня. Личный вклад автора сомнений не вызывает.

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

Диссертационная работа Каминского П.П. является завершенным научным исследованием, которое соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. В соответствии с п. II.9 Положения о присуждении ученых степеней она обоснованно может рассматриваться как научно-квалификационная работа, в которой решены актуальные и важные вопросы в общей проблеме физики пластической деформации и физики разрушения кристаллических металлов с учетом их квантовых свойств при деформации.

По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости, объему полученных результатов диссертационная работа «Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия», отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Считаю, что автор работы Каминский П.П. заслуживает присуждение ему ученой степени доктора физико-математических наук (специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния).

Отзыв составил официальный оппонент
доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник
отдела конструкционных материалов и изделий (П-320) Акционерного общества

«Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»



Вячеслав Михайлович Чернов

Дата

05.10.2015

Подпись В.М. Чернова заверяю

Учёный секретарь

А.А. Парфенов

Акционерное общество «Высокотехнологический
научно-исследовательский институт неорганических
материалов имени академика А.А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ»)
123098, г. Москва, ул. Рогова, д.5а, тел. (499)742-57-21,
e-mail: post@bochvar.ru; <http://www.bochvar.ru>