

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Селезнева Михаила Николаевича «Пространственно-временные закономерности локализованной пластической деформации объемных металлических стекол», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Селезнева М. Н. посвящена исследованию быстропротекающих процессов, сопровождающих локализованную пластическую деформацию в металлических стеклах. На протяжении всей работы прослеживается тесная взаимосвязь между проводимыми автором экспериментальными исследованиями и предлагаемыми им в процессе обсуждения результатов феноменологическими и теоретическими трактовками, позволяющая рассматривать данную диссертацию как единое целое.

Актуальность выбранной темы диссертационной работы не вызывает сомнений. Металлические стёкла, являясь аморфным веществом, сочетают в себе упругие свойства стекла и пластичные свойства металла, и именно эта особенность привлекает внимание исследователей на протяжении последних десятилетий и приближает использование данных материалов в прикладных отраслях производства. Однако, несмотря на кажущиеся оптимистичные перспективы, применение металлических стекол на практике сдерживается очень серьёзной проблемой, а именно наличием сильной локализации деформации, носителем которой являются полосы сдвига. Локализация деформации в практически двумерной области материала приводит к появлению неустойчивости и к последующему стремительному разрушению. Механизмы, сопровождающие зарождение и последующую эволюцию полосы **сдвига**, являются ключевыми в понимании закономерностей локализованной **пластической деформации** объемных металлических стёкол. В этом смысле **выполненная** диссертантом работа находится на самом переднем крае

Входящий ИИ СМ
№ 606
от 14.06.17

исследований перспективного класса функциональных материалов, таких как металлические стёкла, и вносит важный вклад в развитие современных представлений о характере протекающих в них процессов деформации.

Материалы диссертации изложены на 152 страницах и организованы в виде краткого введения, четырех глав, заключения, включающего список основных результатов и обширного библиографического списка, включающего 185 наименований. В контексте поставленных диссертантом задач предложенная структура диссертации выглядит вполне оправданной.

Введение отражает структуру работы согласно требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. В нём обосновывается актуальность представляемого исследования, его цели и задачи, а также лаконично излагаются основные тезисы, выносимые на защиту. Далее отражена новизна и значимость результатов с теоретической и практической точек зрения, представлена публикационная активность автора по результатам проведенных исследований с отражением личного вклада, а также представлен ряд научных мероприятий, на которых были успешно апробированы результаты работы.

Первая глава представляет собой внушительный обзор научной литературы, посвященный исследованию металлических стекол в мировом научном сообществе. Автор диссертации обобщает известные физические свойства аморфных металлов, обращается к методам их исследования, анализируя их с точки зрения ограничений по экспериментальным возможностям. Кроме того, автор выстраивает хронологию концепций, применяемых к описанию пластической деформации металлических стекол и, в частности, подчеркивает наличие дислокационного подхода к описанию полос сдвига, согласно которому они должны иметь дальнедействующие поля напряжений и зарождаться с конечными скоростями.

Вторая глава посвящена описанию оборудования и исследовательских методик, применявшихся в диссертационной работе, в том числе приведено

описание самостоятельно разработанного испытательного стенда для исследования локализации деформации металлических стёкол. Глава великолепно иллюстрирована схемами и фотографиями, выполненными в цвете, и это, несомненно, дает ясное представление об арсенале экспериментальных средств, использованных автором в своей работе. Глава включает в себя подробное описание процесса пробоподготовки, а также методик получения и обработки экспериментальных результатов.

Третья глава представляет результаты экспериментального исследования статической локализованной деформации в заторможенной полосе сдвига. С помощью видеосъемки было получено изображение распределения упругого поля полосы сдвига и проведено его сравнение с соответствующими модельными полями макродислокаций типа Вольтерра, сформированных в упругом континууме. Убедительно показано, что поля абсолютной деформации полосы сдвига как качественно, так и количественно совпадают с теоретически рассчитанным полем макродислокации, расположенной в вершине полосы сдвига. Описано существование объёмной дилатации в полосе сдвига и показано, что формирование избыточного свободного объема в полосе сдвига может быть объяснено дислокационным скольжением.

В четвертой главе проведено исследование кинетики локализованной деформации в металлическом стекле методом высокоскоростной видеосъемки. Установлено, что полоса сдвига формируется с конечной скоростью. Показано, что зависимость мгновенной скорости полосы сдвига от времени условно состоит из двух этапов: быстрое нарастание скорости фронта от нуля до некоторого максимального значения, а затем медленное уменьшение мгновенной скорости по степенному закону.

Подводя итоги своей работы, **в заключении** автор формулирует основные результаты и выводы.

Научная новизна представляемой к защите диссертационной работы обозначается следующими тезисами:

1. Впервые экспериментально реализована синхронизация записи видеокамеры и исследуемого события локализованной деформации за счёт сигнала акустической эмиссии, которая сопровождает само событие.

2. Впервые экспериментально показано, что поле абсолютной деформации в вершине фронта заторможенной полосы сдвига в металлическом стекле количественно совпадает с модельным полем макродислокации.

3. Теоретически рассчитано, что формирование избыточного свободного объема при скольжении в полосе сдвига объяснимо в рамках дислокационного подхода.

4. Экспериментально продемонстрировано, что полоса сдвига в металлическом стекле формируется с конечной скоростью.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Метод синхронизации высокоскоростной видеозаписи по сигналу АЭ универсален и может быть применен при исследовании быстрых, локальных, стохастических явлений в материалах (дислокационное скольжение, трещинообразование, двойникование, фазовые превращения и т.д.).

2. Разработанная экспериментальная установка обладает прикладной и научной ценностью и может быть использована в дальнейших исследованиях, как аморфных металлических сплавов, так и любых других конструкционных материалов.

3. Результаты измерений, расчетов и моделирования, полученные в настоящей диссертационной работе, универсальны и могут быть полезны при описании локализованной деформации упругих изотропных твердых тел.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации, кроме указанных в замечаниях, обеспечивается корректностью постановки решаемых задач, их физической обоснованностью, большим объемом экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследований. Результаты исследований хорошо согласуются между собой и не **противоречат** известным научным представлениям. Результаты работы прошли

апробацию на 7 всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 5 статьях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в том числе 3 – в научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science. Получен 1 патент РФ.

Личный вклад автора не вызывает сомнений, в большинстве публикаций его имя возглавляет список авторов.

Замечания по диссертационной работе состоят в следующем:

1. В работе предложен дислокационный подход к описанию локализованной деформации металлических стекол, который противопоставляется таким широко известным моделям, как теория среднего поля или перколяция зон сдвиговой трансформации. Однако, в отличие от названных моделей, представленный в работе дислокационный подход является феноменологическим и не даёт информации о молекулярно-кинетических механизмах сдвигообразования металлических стекол.

2. В третьей главе представлены поля смещений вокруг вершин полос сдвига с цветовой индикацией. Сравнение экспериментальных и модельных величин смещения приводится для кругового сечения вокруг вершины полосы сдвига. Для этого же сечения приведены значения напряжений, отличных от нуля, из чего далее следует вывод о наличии дальнедействующих напряжений в вершине ПС. Однако, не указаны значения напряжений в вершине ПС, величина которых принципиально важна для оценки адекватности предложенной дислокационной трактовки. Если величина сдвига «макродислокации», экспериментально найденная оптически, составляет сотни микрометров, то напряжения в вершине ПС могут достигать критических величин – каким образом материал может выдерживать такие напряжения?

3. Если за радиус ядра дислокации в кристаллическом теле принимается величина вектора Бюргерса, то значит ли это, что радиус ядра «макродислокации» составляет сотни микрон, согласно определенной

оптически величине «вектора Бюргерса»? Какова в этом случае структура ядра дислокации?

4. При количественной оценке возникновения избыточного свободного объема в полосе сдвига используется уравнение свободного объема ядра дислокации. Однако, как указано в замечании №3, ядро такой «макродислокации» должно составлять сотни микрон. При этом, толщина полосы сдвига, в которой рассчитывается свободный объем, согласно сторонним исследованиям составляет 10 нм. Каким образом упругое поле ядра «макродислокации» размером в несколько сотен микрон формирует свободный объем лишь в толщине 10 нм?

В то же время, сделанные замечания не снижают положительную в целом оценку представленной диссертационной работы и не подвергают сомнению основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Общая оценка диссертационной работы

В целом, диссертация Селезнева М.Н. представляет собой комплексное исследование, объединенное единым замыслом и построенное логично и естественно. Она написана простым, понятным и грамотным научным языком. Диссертация прекрасно иллюстрирована и хорошо оформлена. Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и доложены на международных и российских конференциях. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа М. Н. Селезнева выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании полученных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, вносящее существенный вклад в развитие знаний о локализованной пластической деформации объемных металлических стекол. Диссертационное исследование М. Н. Селезнева соответствует п.п. 1 и 7

паспорта специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния и соответствует требованиям п. II.9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а сам автор безусловно заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Руководитель сектора «Моделирование объёмных наноматериалов» научно-исследовательского института физики перспективных материалов, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (ФГБОУ ВО УГАТУ),

кандидат физико-математических наук,

Нариман Айратович Еникеев

тел. +7(2472)734449

E-mail: nariman.enikeev@ugatu.su



13.06.2017

450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

