

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Селезнева Михаила Николаевича «Пространственно-временные закономерности пластической деформации объемных металлических стекол», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Актуальность темы диссертационной работы

Металлические стекла (МС) являются твердыми некристаллическими веществами с преимущественно металлической связью между атомами. Сочетание свойств стекла и металла делает МС чрезвычайно интересным объектом как для фундаментальных исследований, так и для прикладной науки и производства.

Одним из главных недостатков, сдерживающих применение МС, является сильная локализация деформации при невысоких гомологических температурах в полосах сдвига, которые весьма сходны с таковыми в кристаллических металлах. Сильная локализация дестабилизирует пластическое течение МС и провоцирует раннее развитие микротрещин в полосах сдвига, что приводит к падению вязкости, пластичности и, в конечном счете, к преждевременному хрупкому разрушению. Таким образом, сдвигообразование является ключевым явлением, определяющим механические свойства МС. Однако, несмотря на весьма значительный и неослабевающий интерес к локализованной деформации МС, ясного и общепринятого понимания физического механизма ее реализации нет до сих пор. Именно поэтому изучение локализованного пластического течения МС и выявление закономерностей его реализации и является несомненно актуальной задачей.

В настоящее время существует целый ряд теорий и гипотез, описывающих механизм локализованной деформации МС. Одна из таких гипотез заключается в том, что полосы сдвига являются по существу макроскопическими дислокациями, которые, в свою очередь, могут состоять из совокупности «микроскопических» дислокаций. Эта гипотеза опирается на установленные экспериментальные факты: а) локализованное пластическое течение сопровождается образованием полос сдвига, окачивающихся в объеме материала и представляющих собой заторможенный сдвиг и б) полосы сдвига создают сильные дальнедействующие поля упругих напряжений, которые являются стабильными во времени в области температур реализации локализованной деформации МС. Этих фактов достаточно для интерпретации полос сдвига как макроскопических дислокаций. Однако, с одной стороны, такая точка зрения распространения в литературе не получила, видимо, в силу традиционного понимания дислокаций как линейных дефектов исключительно кристаллической структуры, что, по существу, представляется ошибочной точкой зрения. С другой стороны, имеется явный недостаток экспериментальной информации о кинетике локализованного сдвигообразования и прямого определения полей деформаций, создаваемых полосами сдвига. Этот серьезный пробел компенсирует диссертация М.Н. Селезнева. В диссертации впервые прямо показано, что поле деформации, создаваемое полосой сдвига, эквивалентно полю деформации макроскопической дислокации. Диссертационное исследование М.Н. Селезнева выполнено на исключительно высоком экспериментальном уровне, является несомненно актуальным, а его результаты являются в значительной степени пионерскими.

Содержание диссертации

Во введении обоснована актуальность исследования локализованной пластической деформации металлических стекол, сформулированы цели и задачи исследования, а также научные положения, выносимые на защиту. Описаны новизна, теоретическая и практическая

одобран ИИИМ
№ 530
от 24.05.2017

значимость результатов работы, дана информация о числе публикаций, структуре и объеме диссертации, отражен личный вклад автора, указаны научные конференции и семинары, на которых обсуждались результаты работы.

В первой главе приведен большой обзор литературы, посвященной исследованию пластического течения металлических стекол и локализации деформации в полосах сдвига. Подробно описаны как ранние, так и недавние экспериментальные результаты. Рассмотрены концепции и модели, применяемые к описанию локализованной пластической деформации МС, в том числе дислокационные представления.

Во второй главе подробно описаны материалы, оборудование и исследовательские методы, применявшиеся в диссертационной работе. Представлена информация об изготовлении образцов, параметры использованных экспериментальных установок, а также методы проведения экспериментов и их анализа. Помимо стандартного оборудования, автор использовал ряд оригинальных устройств и методик, в частности а) деформационную микромашину сжатия-растяжения-изгиба с высокоточным электромеханическим приводом, б) видеокамеру со скоростью съемки до 120 000 кадров/с, в) оптическую систему с максимальным разрешением 1 мкм/пиксель, г) быстродействующий многоканальный модуль сбора сигналов акустической эмиссии с возможностью беспороговой записи и др. Знакомство с материалом, изложенным во этой главе, приводит к выводу о том, что экспериментальная часть работы выполнена на стандартном и оригинальном оборудовании самого высокого мирового уровня.

В третьей главе представлены результаты исследования упругих полей полос сдвига в МС, полученных с помощью видеосъемки и сравнение их с соответствующими модельными полями макродислокаций Вольтерра, сформированных в упругом континууме. Убедительно показано, что поля деформаций, создаваемых полосами сдвига, как качественно, так и количественно совпадают с теоретически рассчитанным полем деформации макродислокации, расположенной в вершине полосы. Полагаю, что этот результат является наиболее важным результатом диссертации.

В четвертой главе описано исследование кинетики локализованной деформации методом высокоскоростной видеосъемки. Основной результат состоит в определении кинетики движения полосы сдвига: показано, что зависимость скорости полосы сдвига от времени состоит из двух этапов: (1) быстрое (менее 30 мкс) нарастание скорости фронта от нуля до некоторого максимального значения (не менее 5 м/с), а затем (2) медленное (около 300 мкс) затухание по степенному закону.

В заключении приводятся выводы диссертационного исследования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней **впервые**:

1. Экспериментально доказано, что поле деформации в вершине полосы сдвига в металлическом стекле количественно совпадает с модельным полем макроскопической дислокации.

2. Экспериментально установлено, что полоса сдвига в металлическом стекле формируется с конечной скоростью, причем скорость фронта сдвига обнаруживает быстрое нарастание до некоторого максимального значения, после чего следует ее затухание по степенному закону.

3. Теоретически показано, что формирование избыточного свободного объема при скольжении в полосе сдвига может быть интерпретировано в рамках дислокационного подхода.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Вывод об идентичности полей упругих деформаций полосы сдвига и макроскопической дислокации является фундаментальным и может быть использован для разработки и верификации адекватного механизма локализованного течения МС. Полагаю, что научная значимость этого результата выходит за рамки стандартной кандидатской диссертации.

2. Разработанный метод синхронизации высокоскоростной видеозаписи по сигналу акустической эмиссии универсален и может быть применен при исследовании быстрых, локальных, стохастических явлений в материалах (дислокационное скольжение, трещинообразование, двойникование, фазовые превращения и т.д.).

3. Разработанная экспериментальная установка для исследования деформационных явлений в целом обладает очевидной прикладной ценностью и может быть использована в дальнейших исследованиях как металлических стекол, так и других материалов.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации обеспечивается корректностью постановки решаемых задач, их физической обоснованностью, большим объемом экспериментальных данных, полученных с применением наиболее 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.

Замечания по диссертации

1. В обзоре литературы упущен целый ряд отечественных работ, выполненных начиная с середины 80-х годов прошлого века. В этих работах убедительно доказано образование дальнедействующих полей упругих напряжений в процессе локализованной деформации МС, определена их величина, временная стабильность, эволюция с температурой и роль в механических релаксациях (см. *Металлофизика* 9 (1987) 52; *Физика Металлов и металловедение* 70 (1990) 174, *Физика Твердого Тела* 32 (1990) 722; *Физика Твердого Тела* 32 (1990) 1378; *Металлофизика* 13 (1991) 100, *Acta Metallurgica et Materialia* 40 (1992) 1387, *Физика Твердого Тела* 34 (1992) 3682, *Физика Твердого Тела* 35 (1993) 2567, *Scripta Metallurgica et Materialia* 30 (1994) 571, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358 (2012) 220). Было также установлено, что локализованное пластическое течение МС вызывает целый набор релаксационных явлений, аналогичных релаксациям дислокационной природы в кристаллах (см. *Физика Твердого Тела* 27 (1985) 1788; *Металлофизика* 10 (1988) 99; *Физика Металлов и металловедение* 68 (1989) 185; *Металлофизика* 11 (1989) 106; *Physica Status Solidi (a)* 116 (1989) 255; *Journal of Alloys and Compounds* 211/212 (1994) 114; *Физика Твердого Тела* 36 (1994) 1703; *Journal of Non-Crystalline Solids* 192& 193 (1995) 603; *Scripta Metallurgica et Materialia* 32 (1995) 1369; *Acta Materialia* 44 (1996) 367). Учет этих работ сделал бы восприятие литературного обзора существенно иным. Результаты этих работ, кроме того, были бы несомненно полезны при анализе экспериментов, выполненных автором.

2. В диссертации многократно упоминается, что полосы сдвига являются носителями деформации МС (см. напр. с.14). Очевидно, что полосы сдвига как таковые носителями деформации не являются, они являются результатом локализованного пластического течения. Вопрос о носителях деформации при локализованном пластическом течении является самостоятельным, см. ниже.

3. Одним из вариантов детализации дислокационной концепции локализованного пластического течения МС является гипотеза о том, что макроскопическая дислокация, отождествляемая с полосой сдвига, в свою очередь состоит из совокупности дислокаций «микроскопического» масштаба. В этом случае сигналы акустической эмиссии должны нести информацию об этих «микродислокациях». Более того, вероятно, метод акустической эмиссии

будет едва ли не единственным экспериментальным методом, который мог бы дать информацию по этому вопросу. К сожалению, указанная гипотеза в диссертации даже не упоминается, а соответствующий анализ эксперимента не проводился. Между тем, именно такая гипотеза может объяснить многочисленные дислокационно-подобные релаксации, наблюдаемые в МС после локализованной деформации.

4. Утверждение о том, что «Возможность существования дислокации как линейного дефекта в твердом некристаллическом теле доказана для таких сред, как и, согласно результатам данной работы, аморфные металлические сплавы» (с.122) является чрезмерно оптимистичным. Возможность существования дислокаций в металлических стеклах показана далеко не только в результате выполнения диссертационного исследования М.Н. Селезнева.

5. Диссертация не свободна от некоторого числа грамматических и орфографических неточностей (с.51, с.68 и др.), неудачных выражений (напр. «Электродвигатель, вращаясь...», с.72), отсутствия некоторых деталей эксперимента (напр. с.65, не указана длина волны излучения), неточностей (подпись к рис.2.8 на с.70) и т.п.

Отмеченные недостатки не снижают в сколько-нибудь значительной степени очевидных достоинств диссертации М.Н. Селезнева.

Общая оценка диссертационной работы

Работа написана грамотным научным языком и в целом очень хорошо оформлена. Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и доложены на международных и Всероссийских научных конференциях. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Селезнева Михаила Николаевича выполнена на высоком научном уровне и является законченным научно-квалификационным исследованием в области физики конденсированного состояния. По своей актуальности, научно-методическому уровню, научной новизне, достоверности и значимости полученных результатов диссертация, безусловно, соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и п.п. 1 и 7 паспорта специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Проректор по научной работе, заведующий кафедрой общей физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный педагогический университет»,

доктор физико-математических наук

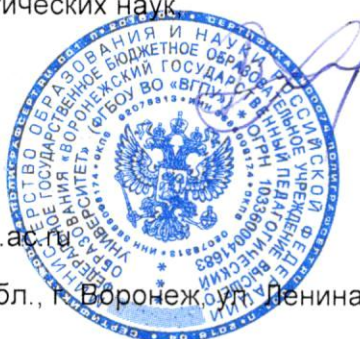
профессор

тел. +7 908 1407859

E-mail: v.a.khonik@vspu.ac.ru

394024, Воронежская обл., г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86

Виталий Александрович Хоник



Личную подпись проф. В.А. Хоника удостоверяю

Начальник управления кадров ВГПУ

16.05.2017

И.С. Полякова