

Протокол № 34.06-30-1-9

заседания диссертационного совета Д 212.232.30

от 15.06.2018

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 24 человек. Присутствовали на заседании 17 человек (из них 6 докторов наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела).

Председатель: д. физ.-мат.наук, профессор Товстик Петр Евгеньевич.

Присутствовали: д. физ.-мат. наук Товстик Петр Евгеньевич, д. физ.-мат. наук Морозов Никита Федорович, д. физ.-мат. наук Кустова Елена Владимировна, д. физ.-мат. наук Бауэр Светлана Михайловна, д. физ.-мат. наук Волков Александр Евгеньевич, д. физ.-мат. наук Греков Михаил Александрович, д. физ.-мат. наук Иванова Елена Александровна, д. физ.-мат. наук Лестев Александр Михайлович, д. физ.-мат. наук Матвеев Сергей Константинович, д. физ.-мат. наук Мельников Геннадий Иванович, д. физ.-мат. наук Нагнибеда Екатерина Алексеевна, д. физ.-мат. наук Павловский Валерий Алексеевич, д. физ.-мат. наук Рыдалевская Мария Александровна, д. физ.-мат. наук Рябинин Анатолий Николаевич, д. физ.-мат. наук Тихонов Алексей Александрович, д. физ.-мат. наук Филиппов Сергей Борисович, д. физ.-мат. наук Юшков Михаил Петрович.

Повестка дня.

Защита диссертации Болтынюка Евгения Вадимовича на тему: «Механическое поведение аморфных сплавов со структурой, модифицированной интенсивной пластической деформацией» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела.

Слушали: защиту диссертации Болтынюка Евгения Вадимовича на тему: «Механическое поведение аморфных сплавов со структурой, модифицированной интенсивной пластической деформацией» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела.

Официальные оппоненты по диссертации: доктор физ.-мат. наук профессор Аронин Александр Семенович, доктор физ.-мат. наук Гуткин Михаил Юрьевич.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Постановили: Диссертация Е.В. Болтынюка является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой актуальной задачи повышения пластичности объемных металлических стекол методом интенсивной пластической деформации кручением. Диссертация вносит существенный вклад в развитие теории пластичности и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», в том числе п. 9 (абзац 2).

На основании результатов тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель совета



Товстик Петр Евгеньевич

Ученый секретарь совета



Кустова Елена Владимировна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.232.30
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», ПРАВИТЕЛЬСТВО РФ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.06.2018 г. №34.06-30-1-9

О присуждении Болтынюку Евгению Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Механическое поведение аморфных сплавов со структурой, модифицированной интенсивной пластической деформацией» по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела принята к защите «10» апреля 2018 года, протокол № 34.06-30-1-6 диссертационным советом Д 212.232.30 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Правительство РФ, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7-9, приказ Минобрнауки РФ № 75/нк от 15.02.2013 г.

Соискатель Болтынюк Евгений Вадимович, 1991 года рождения, в 2014 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», в настоящее время обучается в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» инженером-исследователем в исследовательской лаборатории механики перспективных массивных наноматериалов для инновационных инженерных приложений.

Диссертация выполнена на кафедре теории упругости федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Правительство РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Валиев Руслан Зуфарович, профессор, главный научный сотрудник исследовательской лаборатории механики перспективных массивных наноматериалов для инновационных инженерных приложений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Официальные оппоненты:

1. Аронин Александр Семенович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук, заведующий лабораторией структурных исследований;
2. Гуткин Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией механики наноматериалов и теории дефектов
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва – в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, директором института новых материалов и нанотехнологий НИТУ «МИСиС» С.Д. Калошкиным, кандидатом технических наук, доцентом кафедры Физического материаловедения НИТУ «МИСиС» В.Ю. Задорожным, утвержденном проректором по науке и инновациям, доктором технических наук, профессором, М.Р. Филоновым, указала, что диссертация отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Е.В. Болтынюк, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 7 работ опубликовано в научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, из них 6 работ – в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

В опубликованных работах соискатель выполнил анализ имеющихся данных по теме исследования, выполнил основную часть экспериментов, осуществил обработку и анализ полученных данных, выполнил расчёт изменения механизмов деформирования аморфных сплавов, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК), участвовал в обсуждении полученных данных и подготовке публикаций. Соискателем осуществлены подготовка образцов для структурных исследований и механических испытаний, проведены механические испытания и их обработка. Постановка задачи исследования и обсуждение результатов выполнены совместно с Р.З. Валиевым и Д.В. Гундеровым. А.Ю. Чурюмовым были предоставлены образцы

исходного объёмного металлического стекла $Zr_{62}Cu_{22}Al_{10}Fe_5Dy_1$. Данные наноиндентирования получены совместно с М.А. Monclús, L.W. Yang, J.M. Molina-Aldareguia, А.И. Тюриным. Анализ данных наноиндентирования и расчёт изменения механизмов деформирования осуществлён соискателем. Данные структурных исследований были получены в ресурсном центре Рентгенодифракционные методы исследования, междисциплинарном ресурсном центре по направлению «Нанотехнологии», ресурсном центре Термогравиметрические и калориметрические методы исследования научного парка Санкт-Петербургского государственного университета. Исследования методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) выполнены совместно с Е.В. Убыйвовком. Измерения плотности выполнены совместно с А.Р. Кильмаметовым.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Boltynjuk E.V., Gunderov D.V., Ubyivovk E.V., Lukianov A.V., Kshumanev A.M., Bednarz A., Valiev R.Z. The structural properties of Zr-based bulk metallic glasses subjected to high pressure torsion at different temperatures // AIP Conference Proceedings, 2016. Vol. 1748. DOI: 10.1063/1.4954352.
2. Ubyivovk E.V., Boltynjuk E.V., Gunderov D.V., Churakova A.A., Kilmametov A.R., Valiev R.Z. HPT-induced shear banding and nanoclustering in a TiNiCu amorphous alloy // Materials Letters, 2017. Vol. 209. P. 327-329. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.08.028
3. Boltynjuk E.V., Gunderov D.V., Ubyivovk E.V., Monclús M.A., Yang L.W., Molina-Aldareguia J.M., Tyurin A.I., Kilmametov A.R., Churakova A.A., Churyumov A.Y., Valiev R.Z. Enhanced strain rate sensitivity of Zr-based bulk metallic glasses subjected to high pressure torsion // Journal of Alloys and Compounds, 2018. Vol. 747. P. 595-602. DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.03.018

На автореферат диссертации поступило пять положительных отзывов из:

1. Федерального государственного унитарного предприятия «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина». Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, директором Института металловедения и физики металлов А.М. Глезером. В качестве замечаний указано: «1. В работе сделан вывод об изменении плотности аморфного сплава в результате деформации при различных температурах на 2.15 и 1%. Однако, при этом не указано конкретное значение точности измерений объемной плотности и каким образом столь аномально высокая достоверность была достигнута (ошибка измерений должна быть, судя по полученным результатам, не более 0.01%). 2. Автором показано, что по мере деформации в камере Бриджмена пластическое течение

аморфного сплава приобретает более однородный характер. Следовало бы сравнить и обсудить этот важный результат в соответствии с аналогичным результатом, ранее полученным в работе Glezer A.M., Plotnikova M.R. (Bulletin Russian Acad. Science: Physics, 77 (2013) 1391), где обнаружен и объяснен эффект самоторможения и делокализации полос сдвига в процессе деформации в камере Бриджмена аморфных сплавов Ni-Ti-Cu, Fe-Ni-B и Ni-Fe-Co-B,-Si».

2. Университета Тохоку (Япония) (Advanced Institute for Materials Research Tohoku University, Japan). Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником группы объемных металлических стекол Д.В. Лузгиным. В качестве замечаний указано: «1. В научном тексте следует избегать технического «жаргона» вроде «упругого модуля» вместо известного термина «модуля нормальной (или продольной) упругости» (модуль Юнга). Также, «скоростная чувствительность» деформации правильно называется «показателем скоростной чувствительность». 2. В автореферате написано «Значение уширений гало в исходном состоянии составляют 4.00 и 8.1 °». Наверное, в данном случае имеется в виду «полуширина» - ширина пика от аморфной фазы на половине его высоты, не так ли» 3. На странице 9 ошибочно написано «образуют угол в 40-45 °С». 4. Из фотографий ПЭМ трудно увидеть, что вторичные полосы имеют толщину 1-2 нм».

3. Белгородского национального исследовательского государственного университета. Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, руководителем лаборатории объемных наноструктурных материалов Г.А. Салищевым. В качестве замечаний указано: «1. Собственно любое пластическое воздействие ведет к уменьшению плотности материала из-за накопления дефектов кристаллического строения. А как же это происходит при деформации аморфного сплава? Результат, полученный в работе, не объясняется. 2. Повышение температуры при ИПДК ведет к росту и модуля упругости, и твердости. Значения приближаются к данным этих характеристик состояния сплава после кристаллизации. Можно предположить, что растет доля кристаллических объемов в структуре. В работе не дано объяснения полученного результата».

4. Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, заведующим лабораторией металловедения цветных и легких металлов С.В. Добаткиным. В качестве замечаний указано: «1. Отсутствие значений погрешности некоторых измеряемых величин: твердости, модуля упругости и др. Также в автореферате диссертации не указаны значения температур стеклования различных состояний аморфного циркониевого

сплава, необходимые для проведения расчетов по определению размеров зон сдвиговой трансформации».

5. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН. Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории цветных сплавов, руководителем отдела электронной микроскопии В.Г. Пушиным, замечаний не содержит.

Ответы на замечания в отзывах на автореферат даны в ходе защиты.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» является одним из ведущих научных центров, осуществляет научно-исследовательские работы в области исследования механизмов формирования, структуры, фазовых превращений, деформации, механических и физических свойств объемных металлических стекол. Научно-исследовательские работы в области механики деформируемого твердого тела проводятся сотрудниками кафедры Физического материаловедения на современном уровне с применением новейшего экспериментального оборудования, вычислительных средств и программного обеспечения.

Выбор оппонента Аронина Александра Семеновича обосновывается тем, он является признанным специалистом в области электронной микроскопии, эволюции свойств и структуры металлических стекол, подвергнутых интенсивному пластическому деформированию. Прекрасно знаком с текущим состоянием исследуемого вопроса, является автором более 100 научных публикаций.

Выбор оппонента Гуткина Михаила Юрьевича обосновывается тем, что он является признанным специалистом в области микромеханики пластической деформации и разрушения наноструктурных материалов. Прекрасно знаком с проблематикой исследуемого вопроса. Автор более 500 научных работ, в том числе 4 монографий, 2 учебных пособий, 7 отдельных глав в коллективных монографиях, около 200 статей в реферируемых журналах, статей в сборниках и трудах конференций, препринтов, авторских свидетельств и т.д.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

исследовано влияние предварительного пластического деформирования на механические и структурные свойства объемного металлического стекла (ОМС) на основе циркония (Zr).

Выявлены закономерности модификации механических и структурных свойств ОМС $Zr_{62}Cu_{22}Al_{10}Fe_5Dy_1$ методом ИПДК. **Обнаружено** формирование высокой плотности полос сдвига в объемном металлическом стекле на основе Zr; полосы сдвига могут быть разделены на два типа: первичные и вторичные; морфология полос сдвига зависит от температуры ИПДК обработки. Методами прямого измерения плотности и рентгеноструктурного анализа **установлено** увеличение свободного объема ОМС на основе Zr, подвергнутых ИПДК. **Показано**, что воздействие ИПДК приводит к изменению характера поверхности разрушения – увеличению микропластичности аморфного сплава при механических испытаниях на растяжение. По данным наноиндентирования **установлено**, что предварительная ИПДК обработка приводит к понижению значений модуля упругости и твердости аморфного сплава, изменению вида кривой индентирования – отсутствию зубчатого течения и полос сдвига вблизи отпечатков индентора. **Установлено** увеличение показателя скоростной чувствительности ОМС на основе Zr, подвергнутого ИПДК при температурах 20 и 150°C, от значения 0.014 в исходном состоянии до 0.036 и 0.02, соответственно. На основе модели совместного сдвига Джонсона и Сэмвера **установлено** уменьшение размеров зон сдвиговой трансформации (ЗСТ) ОМС $Zr_{62}Cu_{22}Al_{10}Fe_5Dy_1$ после ИПДК при температурах 20 и 150 °C в 2.36 и 1.52 раза, соответственно. Уменьшение размеров зон сдвиговой трансформации ОМС на основе Zr наряду с понижением барьера потенциальной энергии активации объясняет изменение характера деформирования ОМС. За счет облегченного и более однородно распределенного формирования и прохождения ЗСТ деформирование ОМС становится более однородным.

Теоретическая значимость проведённых исследований заключается в определении корреляции между модификацией механических свойств и модификацией структурных параметров объемного металлического стекла на основе Zr методом ИПД. Установлено изменение механизмов деформирования объемного металлического стекла на основе Zr методом ИПД.

применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использована теоретическая модель совместного сдвига Джонсона и Сэмвера для расчета размеров зон сдвиговой трансформации ОМС на основе Zr, подвергнутого ИПДК. **Использован** комплекс современных экспериментальных методик исследования механических (наноиндентирование, испытания на растяжение) и структурных (просвечивающая электронная микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, прецизионная методика измерения плотности образцов

весом в несколько миллиграмм, дифференциальная сканирующая калориметрия) свойств металлических сплавов, позволяющий проследить взаимосвязь модификации их структуры и свойств.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что продемонстрирован потенциал повышения механических свойств аморфных сплавов на основе Zr путём контролируемой модификации их структуры методом ИПД, что позволяет в дальнейшем расширить область применения аморфных сплавов как конструкционных материалов. **Представлены** рекомендации по учету размеров ЗСТ для оценки деформационных и прочностных характеристик объемных металлических стекол.

Результаты работы могут быть использованы в таких организациях, как Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Физики Перспективных Материалов Уфимского государственного авиационного технического университета, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Институт физики твёрдого тела РАН, Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

расчет размеров зон сдвиговой трансформации основан на хорошо зарекомендовавшей себя теории совместного сдвига Джонсона и Сэмвера;

установлено качественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные хорошо апробированные методики исследования механических свойств и структурных параметров объемных металлических стекол.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса исследования: анализе имеющихся данных по теме исследования, выполнении основной части экспериментов, осуществлении обработки и анализа полученных данных, выполнении расчёта изменения механизмов деформирования аморфных сплавов, подвергнутых ИПДК, участии в обсуждении полученных данных и подготовке публикаций. Соискатель проводил апробацию результатов исследования и подготовку публикаций по теме работы.

Диссертация Болтынюка Е.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой актуальной задачи повышения пластичности объемных металлических стекол методом интенсивной пластической деформации кручением. Диссертация вносит существенный вклад в развитие теории пластичности и полностью

соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», в том числе п. 9 (абзац 2).

На заседании 15 июня 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Болтынюку Евгению Вадимовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212.232.30

д. ф.-м.н., профессор

Товстик Петр Евгеньевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.232.30

д. ф.-м.н., профессор

Кустова Елена Владимировна

15.06.2018 г.

