



## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной  
деятельности

ФГБОУ ВО «Уфимский  
университет науки и технологий»

к.т.н. доцент

Г.К. Агеев

« 04 » 06 2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

**Диссертация** на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Трансформация структуры объёмного металлического стекла Vit105 при кручении под высоким давлением» выполнена на кафедре материаловедения и физики металлов института технологий и материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**В период подготовки диссертации соискатель Астанин Василий Владимирович** работал ассистентом кафедры материаловедения и физики металлов института технологий и материалов ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**В 2006 г. окончил магистратуру** ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» с присуждением степени магистра техники и технологии по направлению 150600 «Материаловедение и технология новых материалов».

**Справка о сданных кандидатских экзаменах** по истории и философии науки и иностранному языку №71/654.2 выдана 09.08.2023 ФГБНУ Уфимский

федеральный исследовательский центр Российской академии наук, справка о сданном экзамене по научной специальности №24-24 от 26.03.2024 выдана ФБГОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – Гундеров Дмитрий Валерьевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики молекул и кристаллов ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук.

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

Диссертационная работа Астанина В.В. «Трансформация структуры объёмного металлического стекла Vit105 при кручении под высоким давлением» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п.9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 N 842 (ред. от 25.01.2024). Работа посвящена разработке теоретической модели деформации и экспериментальному исследованию особенностей деформации аморфных материалов на примере сплава Vit105, установлению трансформации его структуры и механических свойств при кручении под высоким давлением.

**Все основные результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично, либо при его непосредственном участии:**

Построена физическая модель и проведено моделирование деформации на основе принципов молекулярной динамики аморфного сплава Vit105 и его поведения при деформации, с помощью которой впервые описана феноменологическая модель, показывающая, что смещение в полосе сдвига происходит не классическим сдвигом, а с помощью формирования наноразмерных ротационных вихрей.

Разработан экспериментальный метод изучения формирования полос сдвига при КВД и установления картины формирующихся полос сдвига в сплаве Vit105. С помощью неё установлен характер формирующейся картины полос сдвига, показана их способность сливаться при небольшом угле встречи, и становиться препятствиями для движения других полос.

Экспериментально изучена трансформация структуры аморфного сплава Vit105 под воздействием кручения под высоким давлением. Показано, что под влиянием кручения под высоким давлением сплав Vit105 сохраняет аморфную структуру, в которой в результате расслоения формируется наноразмерная кластерная структура. Установлено, что при деформации увеличивается свободный объём сплава на 0,8%.

Установлено влияние КВД на механические свойства ОМС Vit105; показано, что пластическая деформация сплава Vit105 приводит к росту микропластичности, а также происходит понижение микротвердости относительно исходного состояния, что является результатом роста свободного объёма, неоднородность деформации влияет на неоднородность микротвердости в образце.

В основных работах, полученных соискателем, приведены следующие результаты:

В работах [8,9] – разработана теоретическая модель с использованием принципов молекулярной динамики аморфного сплава Vit105 и его поведения при деформации, с помощью которой впервые описана феноменологическая модель, отличающаяся тем, что смещение в полосе сдвига происходит не трансляционным сдвигом, а путём формирования наноразмерных ротационных вихрей, что позволяет объяснить наблюдаемые особенности продвижения полосы сдвига.

В работах [1,2,10—12,15] – разработан и применён экспериментальный метод изучения процесса формирования полос сдвига, позволяющий установить закономерности формирования полос при КВД, достичь высокой плотности полос сдвига, пригодных для анализа инструментальными методами, и установить параметры формирующейся картины полос сдвига и показать способность полос сдвига к взаимодействию.

В работах [3,4,6,7] показана трансформация структуры аморфного сплава Vit105 под воздействием КВД заключающаяся в том, что под влиянием кручения под высоким давлением сплав Vit105 сохраняет аморфную структуру, при деформации увеличивается свободный объём сплава, а в результате расслоения аморфной фазы формируется наноразмерная кластерная структура, что позволяет модифицировать свойства сплава.

В работах [5,14] – Новизна свойств деформационно-модифицированного ОМС Vit105 заключается в улучшении механических характеристик сплава, отличающихся повышенной пластичностью на микроуровне, что позволяет применять сплав для конструкционных изделий.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы. Автор принимал непосредственное личное участие в обсуждении и постановке задач, обзоре известных литературных данных, получении и анализе основных результатов диссертационной работы. Статьи опубликованы совместно с научным руководителем и другими соавторами научного коллектива.

**Достоверность полученных результатов и выводов** данной диссертационной работы определяется корректностью сформулированных задач, использованием прецизионных методов исследований, применяемых в физике конденсированного состояния, большим объемом экспериментальных данных и их непротиворечивостью с исследованиями других авторов. Достоверность и надежность результатов также подтверждается публикацией основных результатов работы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ и международные базы Web of Science и Scopus, представлением и обсуждением их на конференциях по данной тематике.

**Научная новизна исследований заключается в следующем:**

1. Новизна разработанной теоретической модели заключается в использовании принципов молекулярной динамики аморфного сплава Vit105 и его поведения при деформации, с помощью которой впервые описана феноменологическая модель, отличающаяся тем, что смещение в полосе сдвига происходит не трансляционным сдвигом, а путём формирования наноразмерных ротационных вихрей, что позволяет объяснить наблюдаемые особенности продвижения полосы сдвига.

2. Новизна экспериментального метода изучения формирования полос сдвига заключается в том, что данный метод позволяет установить закономерности формирования полос при КВД, отличающиеся тем, что достигается высокая плотность полос сдвига, пригодных для анализа

инструментальными методами, что позволяет установить параметры формирующейся картины полос сдвига и показать способность полос сдвига к взаимодействию.

3. Новизна результатов экспериментального изучения трансформации структуры аморфного сплава Vit105 под воздействием КВД заключается в том, что под влиянием кручения под высоким давлением сплав Vit105 сохраняет аморфную структуру, отличающуюся тем, что при деформации увеличивается свободный объём сплава, а в результате расслоения аморфной фазы формируется кластерная структура, что позволяет модифицировать свойства сплава.

4. Новизна свойств деформационно-модифицированного ОМС Vit105 заключается в улучшении механических характеристик сплава, отличающихся повышенной пластичностью на микроуровне, что позволяет применять сплав для конструкционных изделий.

**Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:**

На основе экспериментальных данных о деформации аморфного сплава Vit105 и моделировании методами молекулярной динамики получены новые представления о механизме пластической деформации и предложена новая теоретическая модель деформации разупорядоченных структур. На практике продемонстрирована возможность целенаправленного формирования и трансформации структуры металлических стёкол, за счёт чего возможно изменение механического поведения и дальнейшее повышение эксплуатационных свойств объёмных металлических стёкол для практического применения в качестве конструкционных материалов специального назначения.

**Ценность научной работы заключается в том, что в результате выполненных исследований:**

Предложена теоретическая модель формирования ротационных вихрей, позволяющая объяснить наблюдаемые особенности зарождения и продвижения полосы сдвига. Разработанные методы исследования могут быть использованы в последующих исследованиях деформационного поведения металлических стёкол.

## **Обоснование выбранных специальностей и отрасли науки диссертации**

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы», при этом работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

п. 2. «Структурные, морфологические и механические свойства наноматериалов и композитных структур на их основе».

п. 9. «Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах и композитных структурах.».

**Отрасль науки** – физико-математические науки, поскольку приведённые результаты исследований представляют собой научные сведения о трансформации структуры и свойств металлических стёкол при применении пластической деформации, а именно кручения под высоким давлением, путём изменения структурных особенностей: образования и продвижения полос сдвига, повышения плотности полос сдвига и увеличения свободного объёма.

**Полнота изложения материалов диссертации** обеспечена публикацией 15 научных работ, в том числе 7 из которых опубликованы в изданиях, индексируемых в цитатно-аналитических базах данных Web of Science и/или Scopus, а также 1 из перечня рецензируемых научных изданий ВАК РФ, рекомендованных по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки). Две статьи опубликованы в журналах, входящих в РИНЦ. Пять статей опубликовано в сборниках трудов научных конференций. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором, достаточная.

*Научные публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и международные реферативные базы данных и систем цитирования: Web of Science, Scopus:*

1. Gunderov D.V., Churakova A.A., Boltynjuk E.V., Ubyivovk E.V., Astanin V.V., Asfandiyarov R.N., Valiev R.Z., Xioang W., Wang J.T. Observation of shear bands in the Vitreloy metallic glass subjected to HPT processing. Journal of Alloys and Compounds. 2019. Volume 800. P. 58–63. DOI:10.1016/j.jallcom.2019.06.043. (K1: Web of Science Q1).

2. Gunderov D.V., Churakova A.A., Astanin V.V., Asfandiyarov R.N., Hahn H., Valiev R.Z. Accumulative HPT of Zr-based bulk metallic glasses. *Materials Letters*. 2020. Volume 261, № xxxx. P. 127000. DOI:10.1016/j.matlet.2019.127000. (K1: Web of Science Q2).

3. Gunderov D., Astanin V., Churakova A., Sitdikov V., Ubyivovk E., Islamov A., Wang J.T. Influence of High-Pressure Torsion and Accumulative High-Pressure Torsion on Microstructure and Properties of Zr-Based Bulk Metallic Glass Vit105. *Metals*. 2020. Volume 10, № 11. P. 1433. DOI:10.3390/met10111433. (K1: Web of Science Q2).

4. Gunderov D., Astanin V. Influence of HPT Deformation on the Structure and Properties of Amorphous Alloys. *Metals*. 2020. Volume 10, № 3. P. 415. DOI:10.3390/met10030415. (K1: Web of Science Q2).

5. Астанин В.В., Гундеров Д.В., Титов В.В. Распределение микротвердости по поверхности металлического стекла на основе циркония, подвергнутого интенсивной пластической деформации кручением. *Frontier Materials & Technologies*. 2022. № 3. P. 33–40. DOI:10.18323/2782-4039-2022-3-1-33-40. (K2: ВАК по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки)).

6. Astanin V., Gunderov D., Titov V., Asfandiyarov R. The Influence of High-Pressure Torsion on the Free Volume and Shear-Band Formation during the Indentation of Vit105 Metallic Glass. *Metals*. 2022. Volume 12, № 8. P. 1278. DOI:10.3390/met12081278. (K1: Web of Science Q2).

7. Абросимова Г.Е., Астанин В.В., Волков Н.А., Гундеров Д.В., Постнова Е.Ю., Аронин А.С. Изменение радиуса первой координационной сферы в аморфных сплавах при деформировании. *Физика металлов и металловедение*. 2023. Volume 124, № 7. P. 622–634. DOI:10.31857/S0015323023600521. (K1: Web of Science Q3).

8. Астанин В.В., Корзникова Е.А., Гундеров Д.В., Астанин В.В., Дмитриев С.В., Бхатт Д. Роль наноразмерных ротационных вихрей в холодной деформации металлических стёкол на примере сплава Vit105. *Физическая мезомеханика*. 2024. № 4. (K1: Scopus Q2).

***Публикации в журналах, входящих в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных по российскому индексу научного цитирования (РИНЦ):***

9. Astanin V.V., Korznikova E.A., Abdullina D.U., Astanin V. V., Dmitriev S. V. Application of Morse potential function to 2D metallic glass simulation // Laser Physics, Photonic Technologies, and Molecular Modeling / ed. Derbov V.L. SPIE, 2022. P. 24. DOI:10.1117/12.2626366.

10. Titov V.V., Gunderov D.V., Gunderova S.D., Sharafutdinov A.V., Astanin V.V. Shear bands distribution on the surface of deformed Zr-based BMG samples. Materials. Technologies. Design. 2022. Volume 4, № 1. P. 64–72. DOI:10.54708/26587572\_2022\_41764.

***Публикации в трудах научных конференций:***

11. Astanin V.V., Gunderov D., Boltynjuk E., Ubyivovk E., Churakova A., Gunderova S. SEM and AFM analysis of the shear bands in Zr-based BMG after HPT. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Volume 672. P. 012019. DOI:10.1088/1757-899X/672/1/012019.

12. Astanin V., Gunderov D., Qiang Ren Z., Valiev R., Wang J.T. High density of shear bands in the Vitreloy bulk metallic glass subjected to high-pressure torsion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Volume 1008, № 1. P. 012031. DOI:10.1088/1757-899X/1008/1/012031.

13. Khasanova D.A., Gunderov D. V, Astanin V. V, Gunderova S.D., Churakova A.A., Bazlov A.I., Louzguine-Luzgin D. V. High-pressure torsion of Zr-based bulk metallic glasses and amorphous melt-spun ribbons. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Volume 1008, № 1. P. 012029. DOI:10.1088/1757-899X/1008/1/012029.

14. Astanin V., Gabbyasova R., Astanin V. Influence of high-pressure torsion on the deformation nature of Vit105 metallic glasses during microhardness tests. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Volume 1967, № 1. P. 012024. DOI:10.1088/1742-6596/1967/1/012024.

15. Gunderov D. V, Astanin V. V, Sharafutdinov A. V, Bhatt J. Slippage during high-pressure torsion processing of Vitreloy 105 bulk metallic glass. Journal of Physics:



Conference Series. 2021. Volume 1967, № 1. P. 012062. DOI:10.1088/1742-6596/1967/1/012062.

Диссертация Астанина В.В. соответствует п. 14 Положения о присуждении учёных степеней:

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;
- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

Диссертация «Трансформация структуры объёмного металлического стекла Vit105 при кручении под высоким давлением» Астанина Василия Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасль науки – физико-математические).

**Заключение принято на расширенном заседании** кафедры материаловедения и физики металлов ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.


**Присутствовало на заседании** 29 человек, в том числе 10 докторов наук.

**Результаты голосования:** «за» – 29 человек, «против» – 0, «воздержалось» – 0.

Протокол № 10 от «25» апреля 2024 г.

Председатель заседания  
д.т.н., доцент



  
Е.В. Парфенов

Секретарь  
Иванов Е.В.  
подпись « 04 » 06 2024 г.  
Материальник общего отдела УУНИТ  
Иванов Е.В.