

## РСА ИССЛЕДОВАНИЯ АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ZR, ПОДВЕРГНУТОГО АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ИПДК

Д. А. ХАСАНОВА<sup>1</sup>, Д. В. ГУНДЕРОВ<sup>2</sup>, В. В. АСТАНИН<sup>3</sup>, А. В. ШАРАФУТДИНОВ<sup>4</sup>

dianamorth@mail.ru

<sup>1-4\*</sup>Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет (УГАТУ)

<sup>2</sup>Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН (ИФМК)

**Аннотация.** Объемное металлическое стекло (ОМС) Vit 105 на основе ZR было подвергнуто интенсивной пластической деформации кручением при температуре 20 °С и аккумулярующей ИПДК при 20 °С. РСА исследования показывают, что ИПДК приводит к сдвигу центра тяжести аморфного гало в сторону меньших углов, что соответствует увеличению радиуса первой координационной сферы и росту свободного объема. Про этом аккумулярующая ИПДК приводит к более значительной трансформации ОМС.

**Ключевые слова:** аморфные сплавы; интенсивная пластическая деформация; структуры; РСА.

### ВВЕДЕНИЕ

Аморфные материалы [1–3], в том числе так называемые объемные металлические стекла (ОМС), активно исследуются несколько десятилетий. Сплавы с аморфной структурой отличаются по своим физическим и механическим свойствам от кристаллических металлических материалов, для которых характерно упорядоченное расположение атомов. Формирование аморфной структуры в металлах и сплавах приводит к фундаментальным изменениям их магнитных, электрических, механических, коррозионных и других свойств [1–3].

Невозможность реализации традиционных механизмов пластической деформации - дислокационного или двойникового типов, присущих кристаллическим сплавам приводит к снижению пластичности аморфных сплавов [1-3]. Одним из путей трансформации свойств аморфных материалов может быть интенсивная пластическая деформация кручением (ИПДК) [5-10].

Многие вопросы влияния ИПД на тонкую структуру аморфных сплавов в значи-

тельной степени не решены и требуют продолжения исследований.

В данной работе проводились исследования влияния ИПДК на ОМС Vit105 Zr52,5Cu17,9Ni14.6Al10Ti5. ОМС было получено литьем в вакууме в медную охлажденную литейную форму. Скорость охлаждения расплава составила около 10 К/с.

Образцы Vit105 были подвергнуты ИПДК при комнатной температуре  $n=10$  и аккумулярующей ИПДК  $n_{сум}=10$ .

Метод аккумулярующего ИПДК заключается в многократном повторении ИПДК на  $n=1$  оборотов с ломкой и промежуточной осадкой образца [11].

Рентгеноструктурный анализ был выполнен на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием  $CuK\alpha$  излучения с шагом 0.02 град и выдержкой 2 сек на град.

В табл. 1 представлены параметры аморфных гало, наблюдаемых на образцах –  $D$  (ang) – среднее межатомное расстояние первой координационной сферы в ангстремах по положению гало 1,  $R$  (ang) – радиус первой координационной сферы, FWHM – уширение гало,  $\Delta V$  – изменение свободного объема в %,  $\Delta FWHM$  – изменение уширение гало в %.

Данные РСА ОМС Vit105 после ИПДК T=20 и разных оборотах

Состояние	D	R1, Å	FWHM, deg	$\Delta V$ , %	$\Delta FWHM$ , %
Исходный ОМС	2,399	2,950	6.40		
VIT 105 после ИПДК 20С 10 об	2,402	3,002	6.68	0,38	4
VIT 105 после аккумуляции ИПДК 20С 1+1+1+7=10 об	2,409	3,011	7.31	1,26	14

В результате ИПДК происходит прирост как свободного объема, так и прирастает уширение галло (табл. 1, рис. 1).

ИПДК приводит к сдвигу центра тяжести галло первой координационной сферы Vit105, что соответствует увеличению размеров первой координационной сферы R1. ИПДК ОМС приводит к заметному росту уширения. Большее значение уширения (FWHM) означает состояние с большим набором (спектром) значений атомных расстояний в соответствующей координационной сфере. Отсюда ИПДК приводит к уменьшению порядка в аморфной фазе.

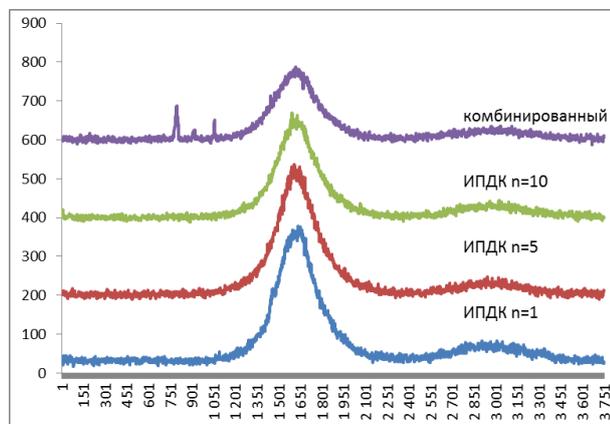


Рис. 1. Сравнение рентгенограмм ОМС Vit105 после ИПДК T=20 и разных оборотах

Сдвиг центра тяжести галло первой координационной сферы в область малых углов говорит о росте межатомных расстояний, соответственно, о росте свободного объема, и в целом о росте неравновесности аморфной фазы.

Наиболее интенсивное изменение структурных параметров происходит после аккумуляющей ИПДК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greer A.L. // Mater. Today 12, 2009, 14–22. [A.L. Greer in Mater. Today 12, 2009, 14–22.]

2. Abrosimova G.E. EVOLUTION OF THE STRUCTURE OF AMORPHOUS ALLOYS // Physics-Uspekhi, 2011, T. 54, № 12, С. 1227-1242. [G.E. Abrosimova “EVOLUTION OF THE STRUCTURE OF AMORPHOUS ALLOYS” in Physics-Uspekhi, 2011, T. 54, № 12, С. 1227-1242.]

3. Louzguine-Luzgin D.V., Inoue A. Bulk Metallic Glasses. Formation, Structure, Properties, and Applications // Handbook of Magnetic Materials, Edited by K.H.J. Buschow, 2013, Elsevier Vol. 21, pp. 131-171 [D.V. Louzguine-Luzgin, A. Inoue “Bulk Metallic Glasses. Formation, Structure, Properties, and Applications in Handbook of Magnetic Materials” in Edited by K.H.J. Buschow, 2013, Elsevier Vol. 21, pp. 131-171]

4. Валиев Р.З., Пушин В.Г., Гундеров Д.В., Попов А.Г. // Докл. РАН, 2004, Т. 398, № 1, С. 54. [R.Z. Valiev, V.G. Pushin, D.V. Gunderov, A.G. Popov in Dokl. RAS, 2004, v. 398, No. 1, p. 54.]

5. Попов А.Г., Гавико В.С., Щеголева Н.Н., Шредер Л.А. Столяров В.В., Гундеров Д.В., Жан Х.Ю., Ли В., Ли Л.Л. Интенсивная пластическая деформация быстрозакаленного сплава Nd9Fe85B6 // Физика металлов и металлургия, 2007, Т. 104, № 3, С. 251-260. [A.G. Popov, V.S. Gaviko, N.N. Schegolev, L.A. Schroeder, V.V. Stolyarov, D.V. Gunderov, H.Yu. Jean, V. Lee, L.L. Lee. “Intensive plastic deformation of the rapidly quenched Nd9Fe85B6 alloy” in Physics of Metals and Metallurgy, 2007, V. 104, No. 3, P. 251-260.]

6. Abrosimova G.E., Aronin A.S., Dobatkin S.V., Kaloshkin S.D., Matveev D.V., Rybchenko O.G., Tatiyanin E.V., Zverkova I.I. The formation of nanocrystalline structure in amorphous Fe-Si-B alloy by severe plastic deformation // Journal of Metastable and nanocrystalline Materials, 2005, v. 24-25, p.69. [G.E. Abrosimova, A.S. Aronin, S.V. Dobatkin, S.D. Kaloshkin, D.V. Matveev, O.G. Rybchenko, E.V. Tatiyanin, I.I. Zverkova “The formation of nanocrystalline structure in amorphous Fe-Si-B alloy by severe plastic deformation” in Journal of Metastable and nanocrystalline Materials, 2005, v. 24-25, p.69.]

7. Gunderov D.V., Slesarenko V.Yu., Churakova A.A., Lukyanov A.V., Soshnikova E.P., Pushin V.G., Valiev R.Z.. Evolution of the amorphous structure in melt-spun Ti50Ni25Cu25 alloy subjected to high pressure torsion deformation Intermetallics, 2015, V. 66, P. 77–81. [D.V. Gunderov, V.Yu. Slesarenko, A.A. Churakova, A.V. Lukyanov, E.P. Soshnikova, V.G. Pushin, R.Z. Valiev, “Evolution of the amorphous structure in melt-spun Ti50Ni25Cu25 alloy subjected to high pressure torsion deformation” in Intermetallics, 2015, V. 66, P. 77–81.]

8. Gunderov D.V., Slesarenko V.Yu., Lukyanov A.V., Churakova A.A., Boltynjuk E.V., Pushin V.G., Ubyvovk E.V., Shelyakov A.V. and Valiev R.Z. Stability of an Amorphous Ti-CuNi Alloy Subjected to High-Pressure Torsion at Different

temperatures // *Advanced Engineering Materials*, 2015, V. 17, Is. 12, p. 1728–1732. [D.V. Gunderov, V.Yu. Slesarenko, A.V. Lukyanov, A.A. Churakova, E.V. Boltynjuk, V.G. Pushin, E.V. Ubyivovk, A.V. Shelyakov and R.Z. Valiev “Stability of an Amorphous TiCuNi Alloy Subjected to High-Pressure Torsion at Different temperatures” in *Advanced Engineering Materials*, 2015, V. 17, Is. 12, p. 1728–1732]

9. Гундеров Д.В. Аморфизация и нанокристаллизация при ИПД кристаллических и аморфных сплавов // *Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. Сборник научных трудов Выпуск 2(7), 2013, стр 395-411.* [D.V. Gunderov. “Amorphization and nanocrystallization during SPD of crystalline and amorphous alloys” in *Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions. Collection of scientific works Issue 2 (7), 2013, pp. 395-411.*]

10. Гундеров Д.В., Болтынюк Е.В., Убийвовк Е.В., Чуракова А.А., Лукьянов А.В., Прокофьев Е.А., Кшуманев А.М., Рерих С.И., Мулюков В.Ф., Хасанова Д.А. Структура и микротвердость аморфного сплава на основе Zr подвергнутого ИПД и отжигу // *Сборник научных трудов «Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: Вып. 5 (10).— Уфа: ООО «Монография», 2016, С. 382-389.* [D.V. Gunderov, E.V. Boltynjuk, E.V. Ubyivovk, A.A. Churakova, A.V. Lukyanov, E.A. Prokofiev, A.M. Kshumanev, S.I. Roerich, V.F. Mulyukov, D.A. Khasanova. “Structure and microhardness of an amorphous alloy based on Zr subjected to SPD and annealing” in *Collection of scientific papers “Oil and Gas Technologies and New Materials. Problems and Solutions: Vol. 5 (10). — Ufa: Monograph LLC, 2016, S. 382-389*]

11. 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 // *Journal, 2020, Materials Letters 261.* [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” in *Journal, 2020, Materials Letters 261.*]

**Abstract:** Bulk metallic glass (BMG) Vit 105 based on Zr has been subjected to severe plastic deformation by torsion at 20 ° C and accumulating HPT at 20 ° C. X-ray diffraction studies show that HPT leads to a shift in the center of gravity of the amorphous halo towards smaller angles, which corresponds to an increase in the radius of the first coordination sphere and an increase in free volume. About this accumulating HPT leads to a more significant transformation of BMG.

**Key words:** amorphous alloys, intense plastic deformation, structures, X-ray diffraction.

**About authors:**

**HASANOVA, Diana Alferovna**, 2-year graduate student of the USATU.

**GUNDEROV, Dmitry Valerievich**, Professor, Department of Materials Science and Metal Physics.

**ASTANIN, Vasily Vladimirovich**, engineer of Department of Materials Science and Metal Physics.

**SHARAFUTDINOV, Alfred Vasimovich**, engineer of Department of Materials Science and Metal Physics.

**ОБ АВТОРАХ**

**ХАСАНОВА Диана Алферовна**, аспирант 2-го курса факультета ИАТМ;

**ГУНДЕРОВ Дмитрий Валерьевич**, профессор, кафедра МиФМ;

**АСТАНИН Василий Владимирович**, инженер МиФМ;

**ШАРАФУТДИНОВ Альфред Васимович**, инженер МиФМ.

**METADATA**

**Title:** X-Ray research of amorphous alloy on the basis of Zr, suspended by an accumulating HPT

**Authors:** D. A. Khasanova <sup>1</sup>, D. V. Gunderov <sup>2</sup>, V. V. Astanin <sup>3</sup>, A. V. Sharafutdinov <sup>4</sup>

**Affiliation:**

<sup>1-4</sup> Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Ufa.

<sup>2</sup> Institute of Physics of Molecules and Crystals, (IPMC), Ufa.

**Email:** dianamorthe@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** *Molodezhnyj Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 146-148, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).