

Научная статья

УДК 538.911

Определение размеров элементов микроструктуры нанокристаллического сплава типа *Finemet*

**Николай Николаевич Никульченков¹,
Артур Радионович Исинбаев²**

^{1,2} Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Институт реакторных материалов, Заречный, Россия

¹ nikolai.nikulchenkov@urfu.ru

Аннотация. Методом сканирующей электронной микроскопии с использованием статистического металлографического анализа были определены размеры зерен нанокристаллического сплава *Finemet* после отжига при различных температурах. Проведено сравнение рассчитанных размеров зерен и диаметров областей когерентного рассеяния, определенных рентгенографическим методом.

Ключевые слова: металлическое стекло, *Finemet*, микроструктура, область когерентного рассеяния, сканирующая электронная микроскопия

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-38-90117\20. Авторы выражают благодарность научному руководителю — доктору технических наук, профессору М. Л. Лобанову.

Original article

Size Determination of Microstructure Elements for Nanocrystalline Finemet-Type Alloy

Nikolai N. Nikul'chenkov¹, Arthur R. Isinbaev²

^{1,2} Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Reactor Materials, Zarechny, Russia

¹ nikolai.nikulchenkov@urfu.ru

Abstract. The grain sizes of the Finemet nanocrystalline alloy after annealing at different temperatures were determined by scanning electron microscopy using statistical metallography. Comparison of the calculated grain sizes and coherent scattering regions, determined by X-ray diffraction, was carried out.

Keywords: metallic glass, Finemet, microstructure, coherent scattering region, scanning electron microscopy

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 20-38-90117\20. The authors express their gratitude to the scientific advisor — doctor of technical sciences, professor M. L. Lobanov.

Нанокристаллические сплавы типа Finemet при определенных размерах зерен обладают уникальными магнитными свойствами и, соответственно, используются для производства сердечников для трансформаторов [1–3]. В «Фазовых и структурных превращениях в нанокристаллическом сплаве $\text{Fe}_{72.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ » Н. Н. Никульченкова, А. С. Юровских, Ю. Н. Стародубцева, М. Л. Лобанова были определены средние диаметры зерен как размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) по данным рентгенографического анализа [4].

Настоящая работа посвящена анализу структуры аморфного магнитомягкого сплава $\text{Fe}_{72.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ в нанокристаллическом и рекристаллизованном состояниях и сравнению его с результатами рентгенографического анализа.

Для определения размеров зерен сплава в нанокристаллическом состоянии (отжиг аморфной ленты при 550 °С) и рекристаллизованном состоянии (отжиг при 700 °С) были использованы изображение сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) максимально высокого разрешения (рис., а, в). В случае нанокристаллического состояния выделялись отдельные области, характеризующиеся практически одинаковым контрастом, которые принимались за зерна (рис., б). Для случая рекристаллизованного состояния выбиралась произвольная прямоугольная область с известной площадью. Области практически

одинакового контраста (оттенка серого) помечались точками и принимались в качестве отдельных зерен (рис., *в*). Полученные изображения обрабатывались методами статистической металлографии в программном обеспечении комплекса SIAMS-700.

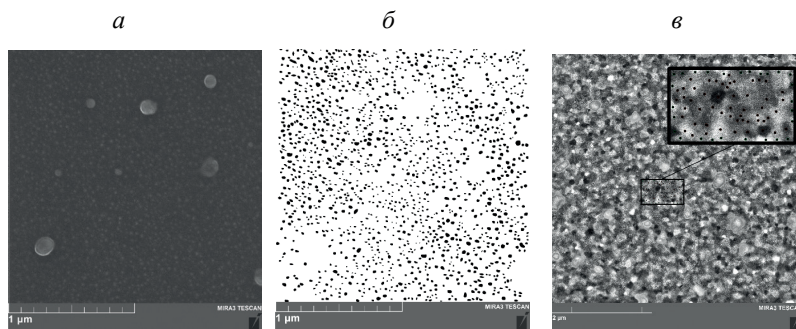


Рис. Микроструктуры ленты сплава $\text{Fe}_{72,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ (СЭМ) после отжига при *a* — 550 °С; *б*, *в* — демонстрация использования методов статистической металлографии для оценки размеров зерен; *в* — 700 °С;

Сравнение данных, полученных рентгенографическим методом: 14 ± 3 нм для нанокристаллического состояния и 86 ± 18 нм для рекристаллизованного. Результаты статистической металлографии: 17 ± 4 нм для нанокристаллического состояния и 85 ± 9 нм для рекристаллизованного, показали их согласие.

Список источников

1. Дилатометрический анализ процесса нанокристаллизации магнитомягкого сплава $\text{Fe}_{72,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ / В. С. Цепелев, Ю. Н. Стародубцев, В. А. Зеленин [и др.] // Физика металлов и металловедение. 2017. Т. 118, № 6. С. 584–588.
2. Herzer G. Nanocrystalline soft magnetic alloys//Handbook of magnetic materials. 1997. Vol. 10. P. 415–462.
3. Стародубцев Ю. Н. Магнитомягкие материалы. М. : Техносфера, 2011. 664 с.
4. Фазовые и структурные превращения в нанокристаллическом сплаве $\text{Fe}_{72,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ / Н. Н. Никульченков, А. С. Юровских, Ю. Н. Стародубцев [и др.] // Письма о материалах. 2019. Т. 9, № 1. С. 64–69.

References

1. Dilatometric analysis of the nanocrystallization process of the soft magnetic alloy $\text{Fe}_{72,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ / V. S. Tsepelev, Yu. N. Starodubtsev, V. A. Zelenin [et al.] // *Physics of Metals and Metallology*. 2017. Vol. 118, no. 6. P. 584–588.
2. Herzer G. Nanocrystalline soft magnetic alloys // *Handbook of magnetic materials*. 1997. Vol. 10. P. 415–462.
3. Starodubtsev Yu. N. *Soft magnetic materials*. M. : Technosphere, 2011. 664 p.
4. Phase and structural transformations in a nanocrystalline alloy $\text{Fe}_{72,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{14}\text{B}_9$ / N. N. Nikulchenkov, A. S. Yurovskikh, Yu. N. Starodubtsev [et al.] // *Letters about materials*. 2019. Vol. 9, no. 1. P. 64–69.