

УДК 54-161

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК АМОРФНОГО СПЛАВА Fe–Si–Nb–Cu–Mo–В ТЕРМОРЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ*

Никульченков Н.Н., магистрант кафедры «Термообработка и физика металлов» (nikolai.nikulchenkov@urfu.ru)

Юровских А.С., к.т.н, доцент кафедры «Термообработка и физика металлов»
Лобанов М.Л., д.т.н., профессор кафедры «Термообработка и физика металлов»

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация. Терморентгенографическим методом определены критические точки аморфного сплава системы Fe–Si–Nb–Cu–Mo–В, полученного методом спиннингования. Установлен температурный интервал существования сплава в нанокристаллическом состоянии.

Ключевые слова: аморфный сплав, нанокристаллизация, магнитомягкий сплав, терморентгенографический анализ, Finemet.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-6-492-493

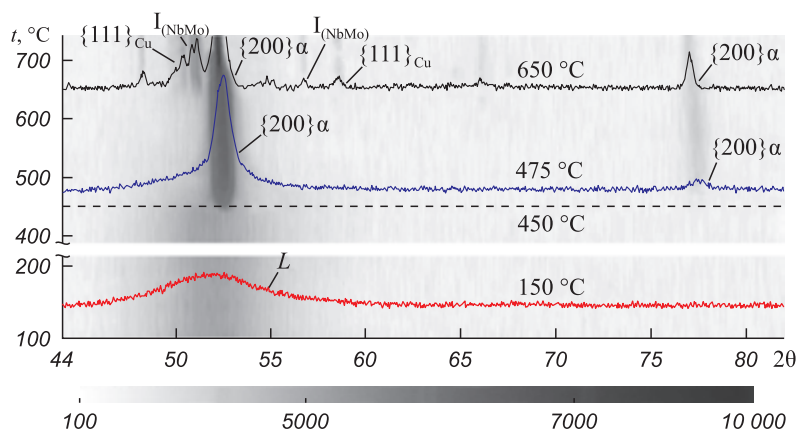
Магнитомягкие аморфные сплавы типа Finemet [1, 2], обладающие превосходными электромагнитными свойствами (высокой проницаемостью, низкой коэрцитивной силой), в настоящее время являются объектом изучения многих исследователей [3, 4]. Последнее связано с возможностью получения в подобных материалах нанокристаллического (не более 100 нм) состояния с дальнейшим улучшением электромагнитных свойств [5].

Целью настоящей работы является определение критических точек аморфного сплава системы Fe–Si–Nb–Cu–Mo–В в виде ленты толщиной примерно 20 мкм, полученной методом спиннингования, для оптимизации температурно-временных режимов его тер-

мической обработки, которая приводит к нанокристаллическому состоянию материала.

Терморентгенографический анализ образцов аморфной ленты выполнен с использованием рентгеновского дифрактометра Bruker ASX ADVANCE D8. Дифрактограммы снимали в рентгеновском K_{α} -излучении кобальта в температурном интервале 100 – 700 °С с шагом нагрева 25 °С в изотермических условиях в течение 25 мин.

Терморентгенографический фазовый анализ показал, что до температуры 425 °С образец находился в аморфном состоянии (см. рисунок). В интервале температур 425 – 450 °С происходило заметное изменение дифракционной картины, соответствующее кристалли-



Распределение интенсивности рентгеновского излучения в зависимости от температуры нагрева исходно аморфного сплава Fe–Si–Nb–Cu–Mo–В; t – температура образца, L – «галло», означающее аморфную фазу; внизу приведена шкала интенсивности рентгеновского излучения

X-ray intensity distribution depending on heating temperature of initially amorphous Fe–Si–Nb–Cu–Mo–B alloy; t – sample’s temperature, L is “halo”, indicating amorphous phase; X-ray radiation intensity scale is given below

* Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства РФ (контракт № 02.А03.21.0006) и в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ (проект № 11.1465.2014/К).

зации, т.е. появляются новые рефлексы (отражение от плоскостей кристаллической решетки с формированием нанокристаллической структуры), причем рефлексы имеют значительное размытие. В температурном интервале 625–650 °С реализовывалась рекристаллизация сплава: ее начало было связано с выделением из твердого раствора частиц меди и интерметаллидных фаз.

Таким образом, в температурном интервале 450–650 °С при нагреве образца со скоростью примерно 1 °С/мин аморфный сплав находится в нанокристаллическом состоянии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2002. – 366 с.
2. Yoshizawa Y., Oguma S., Yamauchi K. New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure // *J. Appl. Phys.* 1988. Vol. 64. No. 10. P. 6044–6046.
3. Feizabad M.H.K., Sharafi S., Khayati G.R., Ranjbar M. Effect of process control agent on the structural and magnetic properties of nano/amorphous Fe_{0.7}Nb_{0.1}Zr_{0.1}Ti_{0.1} powders prepared by high energy ball milling // *J. of magnetism and magnetic materials.* 2018. Vol. 449. P. 297–303.
4. Huang B., Yang. Y., Wang A.D., Wang Q., Liu C.T. Saturated magnetization and glass forming ability of soft magnetic Fe-based metallic glasses // *Intermetallics.* 2017. Vol. 84. P. 74–81.
5. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Нанокристаллические магнитомягкие материалы // *Компоненты и технологии.* 2007. № 4. С. 144–146.

Поступила в редакцию 28 января 2019 г.

После доработки 7 февраля 2019 г.

Принята к публикации 11 февраля 2019 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2019. VOL. 62. NO. 6, pp. 492–493.

DETERMINATION OF CRITICAL POINTS OF AMORPHOUS Fe–Si–Nb–Cu–Mo–B ALLOY USING NON-AMBIENT X-RAY DIFFRACTION METHOD

N.N. Nikul'chenkov, A.S. Yurovskikh, M.L. Lobanov

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Critical points of amorphous alloy of Fe–Si–Nb–Cu–Mo–B system was determined using the non-ambient x-ray diffraction method. The sample with amorphous structure was produced by planar flow casting process. Temperature range of alloy nanocrystalline state was established.

Keywords: amorphous alloy, nanocrystallization, high-permeability alloy, non-ambient x-ray diffraction method, Finemet.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-6-492-493

nano/amorphous Fe_{0.7}Nb_{0.1}Zr_{0.1}Ti_{0.1} powders prepared by high energy ball milling. *J. of Magnetism and Magnetic Materials.* 2018, vol. 449, pp. 297–303.

4. Huang B., Yang. Y., Wang A.D., Wang Q., Liu C.T. Saturated magnetization and glass forming ability of soft magnetic Fe-based metallic glasses. *Intermetallics.* 2017, vol. 84, pp. 74–81.
5. Starodubtsev Yu.N., Belozеров V.Ya. Nanocrystalline magnetic materials. *Komponenty i tekhnologii.* 2007, no. 4, pp. 144–146. (In Russ.).

Funding. The work was financially supported within the Act 211 of Government of the Russian Federation (Contract no. 02.A03.21.0006) and within the order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project no.11.1465.2014/K).

Information about the authors:

N.N. Nikul'chenkov, MA Student of the Chair “Heat Treatment and Physics of Metals” (nikolai.nikulchenkov@urfu.ru)

A.S. Yurovskikh, Cand. Sci. (Eng.) Assist. Professor of the Chair “Heat Treatment and Physics of Metals”

M.L. Lobanov, Dr. Sci. (Eng.) Professor of the Chair “Heat Treatment and Physics of Metals”

Received January 28, 2019

Revised February 7, 2019

Accepted February 11, 2019

REFERENCES

1. Starodubtsev Yu.N., Belozеров V.Ya. *Magnitnye svoystva amorfnykh i nanokristallicheskh splavov. Uchebnoe posobie* [Magnetic properties of amorphous and nanocrystalline alloys. Manual]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta, 2002, 366 p. (In Russ.).
2. Yoshizawa Y., Oguma S., Yamauchi K. New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure. *J. Appl. Phys.* 1988, vol. 64, no. 10, pp. 6044–6046.
3. Feizabad M.H.K., Sharafi S., Khayati G.R., Ranjbar M. Effect of process control agent on the structural and magnetic properties of