

Влияние магнитоимпульсной обработки на магнитные свойства аморфного твёрдого раствора $Al_{85}Fe_7Ni_5La_3$

*М. Н. Шипко, В. В. Коровушкин, А. Г. Савченко, М. А. Степович,
Н. Д. Бахтеева, Е. С. Савченко, Е. В. Тодорова*

Исследовано влияние импульсов слабого магнитного поля на аморфный сплав $Al_{85}Fe_7Ni_5La_3$, полученный методом спиннингования в виде фольги толщиной 20 мкм. Изучены следующие гистерезисные характеристики аморфного твёрдого раствора до и после магнитоимпульсной обработки: удельная намагниченность насыщения, удельная остаточная намагниченность, коэрцитивная сила и площади петель гистерезиса. Вид и параметры петель магнитного гистерезиса указывают на наличие в сплаве магнитоупорядоченных областей – кластеров, а специфическая форма петель магнитного гистерезиса сплава указывает также на наличие в аморфной фольге наведенной магнитной анизотропии. После магнитоимпульсной обработки лент аморфного сплава $Al_{85}Fe_7Ni_5La_3$ в результате протекания релаксационных процессов (увеличения степени химического и топологического порядка, снижения степени наведенной магнитной анизотропии) наблюдается существенное изменение значений всех структурно-чувствительных гистерезисных характеристик, в том числе более чем 6-кратное увеличение удельной намагниченности насыщения. Полученные результаты указывают на возможность использования магнитоимпульсной обработки аморфных сплавов для управления их магнитными свойствами.

Ключевые слова: магнитоимпульсная обработка, аморфный твёрдый раствор, упорядочение, магнитные свойства, анизотропия.

Ссылка: Шипко М. Н., Коровушкин В. В., Савченко А. Г., Степович М. А., Бахтеева Н. Д., Савченко Е. С., Тодорова Е. В. // Прикладная физика. 2019. № 3. С. 81.

Reference: M. N. Shipko, V. V. Korovushkin, A. G. Savchenko, M. A. Stepovich, N. D. Bakhteeva, E. S. Savchenko, and E. V. Todorova, Prikl. Fiz., No. 3, 81 (2019).

Шипко Михаил Николаевич¹, профессор, д.т.н.
Коровушкин Владимир Васильевич², профессор,
 д.г.-м.н.
Савченко Александр Григорьевич², зав. каф., к.ф.-м.н.
Степович Михаил Адольфович³, профессор, д.ф.-м.н.
Бахтеева Наталия Дмитриевна⁴, в.н.с., д.т.н.
Савченко Елена Сергеевна², н.с., к.т.н.
Тодорова Елена Викторовна⁴, с.н.с., к.т.н.

¹ Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина.
 Россия, 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.
 Тел. +7(910) 668-75-65. E-mail: michael-1946@mail.ru

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Россия, 119049, Москва, Ленинский проспект, 4.

³ Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского.

Россия, 248023, г. Калуга, ул. Степана Разина, 26.

⁴ Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН.
 Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 49.
 Тел.: +7(910) 403-08-39, +7(499) 135-94-84.

Статья поступила в редакцию 22 марта 2019 г.

© Шипко М. Н., Коровушкин В. В., Савченко А. Г., Степович М. А., Бахтеева Н. Д., Савченко Е. С., Тодорова Е. В., 2019

Исследования выполнены по государственному заданию № 075-00746-19-00, а также при частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-03-00271), гранта РФФИ и правительства Ивановской области (проект № 18-43-370012) и гранта

*РФФИ и правительства Калужской области
(проект № 18-41-400001).*

ЛИТЕРАТУРА

1. Кекало И. Б. Атомная структура аморфных сплавов и ее эволюция. – М.: Изд-во «Учеба», МИСиС, 2006.
2. Шипко М. Н., Тихонов А. И., Степович М. А., Коровушкин В. В., Савченко Е. С., Корнев И. А. // Прикладная физика. 2018. № 4. С. 94.
3. Шипко М. Н., Тихонов А. И., Степович М. А., Вирюс А. А., Каминская Т. П., Коровушкин В. В., Савченко Е. С., Еремин И. В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2018. Т. 82. № 8. С. 1090.
4. Шипко М. Н., Коровушкин В. В., Костишин В. Г., Исаев И. М., Степович М. А., Савченко Е. С. // Изв. РАН. Сер. физ. 2018. Т. 82. № 2. С. 232.
5. Палатник Л. С., Черемской П. Г., Лукашенко Л. И., Роценко С. Т., Авраменко Б. А., Муровцев Л. Г., Утевская О. Л. // ФММ. 1985. Т. 60. Вып. 4. С. 695.
6. Староверов Б. А., Степович М. А., Шипко М. Н. // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 8. С. 1.
7. Степович М. А., Шипко М. Н., Коровушкин В. В., Костишин В. Г. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 8. С. 1152.
8. Скулкина Н. А., Иванов О. А., Павлова И. О., Минина О. А. // ФММ. 2013. Т. 114. № 5. С. 411.
9. Скаков Ю. А., Крапошин В. С. Затвердевание в условиях сверхбыстрого охлаждения и фазовые превращения при нагреве металлических стекол / В. кн.: Итоги науки и техники. Сер. Металловедение и термическая обработка. – М.: ВИНТИ, 1980. Т. 13. С. 3–78.
10. Yamamoto R., Matsuoka H., Doiyama M. // Phys. Stat. Sol. (a). 1978. Vol. 45. No. 1. P. 305.

PACS: 75.50.Kj;75.50.Bb;81.40.Rs

The effect of magnetic pulse treatment on the magnetic properties of amorphous solid solution $Al_{85}Fe_7Ni_5La_3$

*M. N. Shipko¹, V. V. Korovushkin², A. G. Savchenko², M. A. Stepovich³,
N. D. Bakhteeva⁴, E. S. Savchenko², and E. V. Todorova⁴*

¹ Lenin Ivanovo State Power Engineering University
34 Rabfakovskaya st., Ivanovo, 153003, Russia
E-mail: michael-1946@mail.ru

² National University of Science and Technology "MISiS"
4 Leninsky Ave., Moscow, 119049, Russia
E-mail: krvsch@mail.ru, algsav@gmail.com, savchenkoelena@ya.ru

³ Tsiolkovsky Kaluga State University
26 Stepan Razin st., Kaluga, 248023, Russia
E-mail: m.stepovich@rambler.ru

⁴ Baykov Institute of Metallurgy and Materials Science RAS
49 Leninsky Ave., Moscow, GSP-1, 119991, Russia
E-mail: nbach@imet.ac.ru, elena.panfilova10@yandex.ru

Received March 22, 2019

The effect of weak magnetic field pulses on an amorphous $Al_{85}Fe_7Ni_5La_3$ alloy obtained by spinning in the form of a foil 20 μm thick is investigated. The following hysteresis characteristics of amorphous solid solution before and after magnetic pulse treatment were studied: specific saturation magnetization, specific residual magnetization, coercive force, and area of hysteresis loops. The type and parameters of magnetic hysteresis loops indicate the presence of magnetically ordered regions – clusters in the alloy, and the specific shape of the magnetic hysteresis loops of the alloy also indicates the presence of induced magnetic

anisotropy in the amorphous foil. After magnetic pulse processing of amorphous Al₈₅Fe₇Ni₅La₃ alloy ribbons as a result of relaxation processes (increasing the degree of chemical and topological order, reducing the degree of induced magnetic anisotropy), there is a significant change in the values of all structurally sensitive hysteresis characteristics, including more than 6-fold increase in the saturation magnetization. The results indicate that it is possible to use magnetic pulse treatment of amorphous alloys to control their magnetic properties.

Keywords: magnetic pulse treatment, amorphous solid solution, ordering, magnetic properties, anisotropy.

REFERENCES

1. B. Kekalo, *Atomic structure of amorphous alloys and its evolution* (Izd. Ucheba, Moscow, 2006) [in Russian].
2. M. N. Shipko, A. I. Tikhonov, M. A. Stepovich, V. V. Korovushkin, E. S. Savchenko, and I. A. Kornev, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 94 (2018).
3. M. N. Shipko, A. I. Tikhonov, M. A. Stepovich, A. A. Viryus, T. P. Kaminskaya, V. V. Korovushkin, E. S. Savchenko, and I. V. Eremin, *Bul. Rus. Acad. Sci.: Physics* **82** (8), 988 (2018).
4. M. N. Shipko, V. V. Korovushkin, V. G. Kostishin, I. M. Isaev, M. A. Stepovich, and E. S. Savchenko, *Bul. Rus. Acad. Sci.: Physics* **82** (2), 203 (2018).
5. L. S. Palatnik, P. G. Cheremskoy, L. I. Lukashenko, S. T. Roshchenko, B. A. Avramenko, L. G. Murovtsev, and O. L. Utevskaia. *Fizika Metallov i Metallovedeniye* **60** (4), 695 (1985).
6. B. A. Staroverov, M. A. Stepovich, and M. N. Shipko, *Promyshlennyye ASU i Kontrollery*, No. 8, 1 (2011).
7. M. A. Stepovich, M. N. Shipko, V. V. Korovushkin, and V. G. Kostishin, *Bul. Rus. Acad. Sci.: Physics* **81** (8), 1152 (2017).
8. N. A. Skulkina, O. A. Ivanov, I. O. Pavlova, and O. A. Minina, *The Physics of Metals and Metallography* **114** (5), 375 (2013).
9. Yu. A. Skakov and V. S. Kraposhin, *Hardening under conditions of ultrafast cooling and phase transformations during heating of metallic glasses* (Results of Science and Technology. Ser. Metal Science and Heat Treatment, **13**, 3, VINITI, Moscow, 1980).
10. R. Yamamoto, H. Matsuoka, and M. Doyama, *Phys. Stat. Sol. (a)* **45** (1), 305 (1978).