**Получение нанокристаллического состояния В аморфном сплаве FINEMET-типа при воздействии интенсивного импульсного излучения конденсируемого искрового разряда**

**Назипов Р.А., Зюзин Н.А., Пятаев А.В., Митин А.В.**\*

Казанский (Приволжский) федеральный университет

420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

rusnazipov@mail.ru

\*Казанский национальный исследовательский технологический университет

420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68

Известно [1, 2], что в аморфных сплавах типа FINEMET, с химическим составом Fe73,5±*x*±*y*Cu1Nb3Si13,5±*x*B9±*y*(где *x* и *y* не более 3), нанокристаллическая структура образуется в условиях изотермического отжига при температуре около 550°С в течении 30-60 минут. При этом сплав приобретает исключительную магнитную мягкость, в некоторых случаях превышающую магнитную мягкость пермаллоев. Вместе с тем, при отжиге из аморфного состояния сплав становится очень хрупким, что исключает возможность изготовить магнитопровод после отжига. В некоторых патентах [3, 4] были предложены методы динамического отжига, которые позволяют целенаправленно модифицировать структуру аморфного сплава в процессе изготовления магнитопровода. Динамический отжиг подразумевает быстрый нагрев ленты с последующим быстрым охлаждением в процессе намотки магнитопровода. Однако, данные методы используются для снятия напряжений и структурной релаксации аморфных сплавов, а не для формирования оптимальной нанокристаллической структуры. Целью настоящих исследований являлось поиск методов отжига поверхности аморфной ленты с составом близким к FINEMET, при которых формируется нанокристаллическая структура в значительной части её объема и происходит улучшение её магнитных свойств.

С привлечением методов рентгеноструктурного анализа, мёссбауэровской спектроскопии и магнитометрии проведены исследования структурных превращений и магнитных свойств сплава 5БДСР, который относится к сплавам типа FINEMET, под действием световых импульсов высокой интенсивности. В качестве источника мощного светового излучения использовалось свечение плазмы конденсированного искрового разряда (до 2 кВ): воздушные разрядники и газоразрядные лампы-вспышки.

Проведенные исследования показали, что образование нанокристаллической структуры происходит при облучении поверхности ленты аморфного сплава серией световых импульсов (не менее 5 — 10 вспышек). Их энергия должна быть меньше, чем необходимо для кристаллизации аморфной ленты одиночным импульсом, но больше, чем некоторое пороговое значение, при котором наблюдается изменения ближнего порядка в аморфном состоянии. Для сплава 5БДСР оптимальная нанокристаллическая структура формируется при облучении количеством импульсов не менее 30. При этом наблюдается насыщение доли нанокристаллической фазы твердого раствора α-Fe-Si со структурой D03 и улучшение магнитомягкости сплава. Размер нанокристаллитов при этом почти не увеличивается, и среднее значение размеров нанокристаллических зерен составляет около 10-11 нм. Мёссбауэровские исследования в геометрии пропускания показали, что при облучении поверхности ленты толщиной около 20 мкм, нанокристаллизации подвергается значительный её объем.

Работа поддержана грантом РФФИ №31111.

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] Yoshizawa, Y. New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure / Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi // J. Appl. Phys. — 1988. — Vol. 64, №10. — P. 6044-6046.

[2] United States Patent 5,160,379 Fe-base soft magnetic alloy and method of producing same / Y. Yoshizawa, K. Yamauchi, S. Oguma. — Assignee: Hitachi Metals, Ltd. (Tokyo, JP). — Appl. No.: 07/643,104. — Filed: Jan. 22, 1991. — Date of Patent: Nov. 3, 1992.

[3] United States Patent 5,069,428 Method and apparatus of continuous dynamic Joule heating to improve magnetic properties and to avoid annealing embrittlement of ferro-magnetic amorphous alloys / James C. M. Li, Der-Ray Huang. — Assignee: James C. M. Li, China Steel Corporation (Kaohsiung, Taiwan). — Appl. No.: 379,329. — Filed: Jul. 12, 1989. — Date of Patent: Dec. 3, 1991.

[4] United States Patent 4,512,824 Dynamic annealing method for optimizing the magnetic properties of amorphous metals / Alan I. Taub. — Assignee: General Electric Company (Schenectady, N.Y.). — Appl. No.: 364,299. — Filed: Apr. 1, 1982. — Date of Patent: Apr. 23, 1985.