

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ МАГНИТОМЯГКИХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В АТМОСФЕРЕ АЗОТА

Бородихин А.Ю.¹, Незнахин Д.С.¹, Фещенко А.А.¹, Степанова Е.А.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: oraxisart@gmail.com

MAGNETIC PROPERTIES OF AS-QUENCHED SOFT MAGNETIC ALLOYS AFTER HEAT TREATMENT IN NITROGEN ATMOSPHERE

Borodikhin A.Y.¹, Neznakhin D.S.¹, Feshchenko A.A.¹, Stepanova E.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This work presents the results of a study of the effect of heat treatment (HT) at 380 °C in a nitrogen atmosphere on the magnetic properties of as-quenched soft magnetic alloys. It is shown that a significant effect of nitrogen was detected on the Fe-B-Si-C alloy samples as a result of HT at 1 hour.

Быстрозакаленные магнитомягкие сплавы благодаря своим свойствам (например, высокому электросопротивлению, низкой коэрцитивной силе и высоким значениям магнитной проницаемости) широко используются для изготовления магнитных экранов, микротрансформаторов и т.п. Для улучшения магнитных свойств этих сплавов часто применяют различные термические обработки (ТО), в том числе и в различных химически активных средах [1-2]: на воздухе, в водороде, сере и т.п. Известно, что отжиг в присутствии азота при высоких температурах и/или больших временах выдержки применяется для изменения физических свойств кристаллических материалов, например, для сталей [3]. Однако, данные режимы ТО не могут применяться для быстрозакаленных магнитомягких сплавов из-за их низкой температуры кристаллизации. В данной работе было проведено исследование магнитных свойств лент быстрозакаленных магнитомягких сплавов $\text{Co}_{72}\text{Ni}_{12.2}\text{Fe}_{5.7}\text{Si}_{6.5}\text{B}_{3.6}$ (имеет константу магнитострикции λ порядка 0.1 ppm, $T_C = 250$ °C и $T_{кр} = 530$ °C) и $\text{Fe}_{81}\text{B}_{13}\text{Si}_4\text{C}_2$ (имеет константу магнитострикции λ порядка 30 ppm, $T_C = 370$ °C и $T_{кр} = 480$ °C) после проведения ТО при температуре 380 °C с различной длительностью изотермической выдержки в печи СУОЛ в атмосфере азота или в вакууме (контрольные образцы).

Были измерены квазистатические кривые намагничивания и максимальные петли гистерезиса на установке ММКС-100-0,05 (НИИ СТТ «Эдельвейс»). Динамические свойства исследуемых образцов при частотах перемагничивания 400 и 1000 Гц измерены на установке УКМП-0,05-100 (НИИ СТТ «Эдельвейс»). Погрешность определения свойств не превышала 3 %. При наблюдении поверхности образцов в оптической моде магнитооптического Керр-микроскопа (Evico magnetics) получено, что ТО в азоте приводит к уменьшению их шероховатости.

Исследование магнитных свойств показало следующее. Для всех длительно-стей изотермической выдержки ТО сплава на основе Со магнитные свойства контрольных образцов (ТО в вакууме) улучшаются значительно, чем в случае ТО в атмосфере азота. Такой же характер изменения магнитных свойств наблюдается и для лент на основе Fe при длительностях изотермической выдержки 10 и 30 минут. Однако повышение длительности до 1 часа приводит к более существенному уменьшению удельных магнитных потерь и к увеличению максимальной магнитной проницаемости (рис. 1) для образцов, прошедших ТО в азоте, по сравнению с уровнем свойств контрольных образцов.

Вероятнее всего, данный характер изменения свойств может быть связан с тем, что азот взаимодействует с атомами Fe при более низких температурах, чем с атомами Со. При отжиге в атмосфере азота образуется Fe_2N и при длительности 1 час формируется достаточное количество данного соединения для его проявления влияния на магнитные свойства. Кроме того, сплав на основе Fe имеет более высокое значение магнитострикции, вследствие чего он сильнее может реагировать на создание растягивающих напряжений при появлении Fe_2N в поверхностном слое образца.

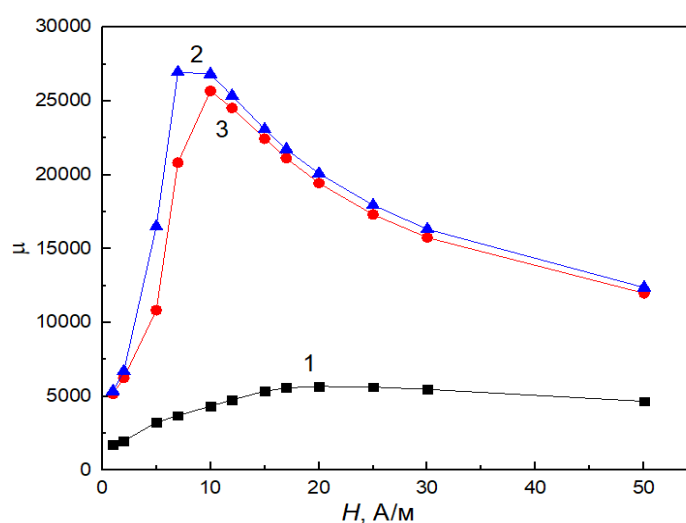


Рис. 1. Зависимость магнитной проницаемости от магнитного поля для лент быстрого закаленного магнитомягкого сплава Fe-B-Si-C: 1 – закаленное (исходное) состояние; 2 – после ТО в атмосфере азота; 3 – контрольный образец (ТО).

1. O.Zivotsky, Y. Jiraskova., A. Hendrych, V. Matejka, L. Klimsa, J. Bursík, IEEE Transactions on Magnetics. 48, Iss.4, 1367–1370 (2012)
2. Н.А. Скулкина, О.А. Иванов, Е.А. Степанова, О.В. Блинова, П.А. Кузнецов, А.К. Мазеева, ФММ 117, №. 10, 1015–1022 (2016).
3. Ю.М.Лахтин, Я.Д. Коган Азотирование стали (1976).