

А. А. ЛУКШИН и Я. С. ШУР

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ОТ ИСХОДНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 10 III 1951)

1. Экспериментально установлено, что в ряде ферромагнетиков термомагнитная обработка (охлаждение от температуры Кюри до комнатной в присутствии магнитного поля) приводит к возникновению анизотропии магнитных свойств. Причиной этой анизотропии является преимущественная ориентация намагниченности доменов вдоль того направления в образце, вдоль которого действовало магнитное поле при его охлаждении (1).

Обычно принималось, что такая магнитная анизотропия возникает благодаря рассасыванию при высокой температуре путем пластического течения материала магнетострикционных деформаций, возникающих в каждом домене при охлаждении ферромагнетика ниже точки Кюри. И так как под действием поля намагниченность доменов ориентируется вдоль поля, то и в этом направлении происходит снятие магнетострикционных деформаций, что и приводит к магнитной анизотропии. Из такого объяснения данного явления следует, что величина эффекта, производимого термомагнитной обработкой, должна определяться только соотношением энергии магнетострикции и энергии магнитной анизотропии (2). Следовательно, если изменить исходные свойства материала таким образом, что величины констант анизотропии и магнетострикции остаются при этом практически неизменными, то это не должно оказывать влияния на эффект термомагнитной обработки. Однако исследования последних лет показали, что изложенная теория не позволяет объяснить ряд опытных фактов. Отсюда делается предположение, что термомагнитная обработка не просто перераспределяет намагниченность доменов, но вызывает определенные изменения в самой кристаллической решетке ферромагнетика (3). Если такое предположение верно, то следует ожидать, что эффект термомагнитной обработки будет зависеть от исходных свойств материала, т. е. от состояния кристаллической решетки. Экспериментальному выяснению данного вопроса и посвящена настоящая работа.

2. Исследование проводилось на двух мягких магнитных материалах: 66-пермаллой (66% Ni, 34% Fe) и альсифер (5,5% Al, 9,5% Si, остальное Fe).

Образец сплава 66-пермаллой исследовался после двух видов термообработки: 1) отжиг в вакууме в течение 30 мин. при 850°; 2) отжиг в водороде при 1200° в течение 5 час. с последующим отжигом в вакууме при 900° с выдержкой 1 час. Таким образом, образцы после второго отжига имели более совершенную кристаллическую решетку и содержали меньше примесей, чем после первого отжига.

Образцы сплава альсифер предварительно проходили отжиг в вакууме при 950° в течение 2 час. Все исследованные образцы сплава

альсифер были близки между собою по химическому составу, но, ввиду очень резкой зависимости магнитных свойств сплава альсифер от химического состава⁽⁴⁾, они заметно отличались друг от друга по своим исходным магнитным свойствам.

При проведении термомагнитной обработки образцы 66-пермаллой и альсифера нагревались, соответственно, до 650 и 750°, выдерживались при этой температуре в течение 30 мин. и затем медленно охлаждались в присутствии магнитного поля, равного 200 эрст. До и после термомагнитной обработки с образцов обычным баллистическим методом снимались кривые магнитной проницаемости.

3. Результаты измерений для сплавов 66-пермаллой и альсифер представлены в табл. 1, где μ_0 и $\mu_{\text{макс}}$ — значения начальной и максимальной проницаемости, $\Delta\mu/\mu$ — относительное изменение проницаемости после термомагнитной обработки.

Таблица 1

Сплав	№ образцов	μ_0 после термообработки		$\frac{\Delta\mu_0}{\mu_0}, \%$	$\mu_{\text{макс}}$ после термообработки		$\frac{\Delta\mu_{\text{макс}}}{\mu_{\text{макс}}}$	Начальная термообработка
		без поля	в поле		без поля	в поле		
66-пермаллой	1	2 500	3 200	28	14 000	26 000	85	Отжиг в вакууме 850° 30 мин.
	2	3 000	5 000	66	34 000	220 000	550	Отжиг в водороде 1200° 5 час., затем в вакууме 900° 2 часа
Альсифер	3	3 000	3 200	66	11 600	12 300	7	Отжиг в вакууме 900° 2 часа
	4	4 300	4 800	12	21 000	23 500	12	То же
	5	8 000	9 100	14	29 000	33 600	15	" "
	6	11 000	13 200	20	40 000	47 000	18	" "

Из данных таблицы видно, что эффект, производимый термомагнитной обработкой, зависит от исходных свойств материала. А именно, в образце сплава 66-пермаллой, прошедшем низкотемпературный отжиг (образец № 1), термомагнитная обработка приводит к росту μ_0 на 28% и $\mu_{\text{макс}}$ на 85%, а в образце, прошедшем высокотемпературный отжиг (образец № 2), эта же обработка вызывает значительно более высокий рост магнитных свойств: μ_0 на 66% и $\mu_{\text{макс}}$ на 550%. Из этой таблицы также следует, что в сплаве альсифер относительное возрастание μ_0 и $\mu_{\text{макс}}$, вызванное термомагнитной обработкой, тем больше, чем выше исходные значения магнитных характеристик.

Таким образом, из приведенных экспериментальных данных видно, что эффект, производимый термомагнитной обработкой, зависит от исходных свойств материала, причем относительная величина эффекта повышается с улучшением исходных магнитных свойств. Следовательно, для получения в мягком магнитном материале наибольшего эффекта от термомагнитной обработки необходимо довести его до максимально возможного магнитно-мягкого состояния.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
14 XII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, М., 1948, стр. 735.
² R. M. Bozorth and J. F. Dillinger, Physics, 6, 285 (1935). ³ Я. С. Шур и И. Е. Старцева, ДАН, 74, 473 (1950). ⁴ А. С. Займовский и В. В. Усов, Металлы и сплавы в электротехнике, 1949, стр. 173.