

Л. В. КИРЕНСКИЙ и В. С. АФОШИН

ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ ГИСТЕРЕЗИС МАГНИТОСТРИКЦИИ
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Магнитострикция λ ферромагнетиков является неоднозначной функцией магнитного поля H , внешних упругих напряжений σ , температуры T и угла φ между вектором намагниченности и некоторым произвольно выделенным направлением в кристалле:

$$\lambda = \lambda(H, \sigma, T, \varphi).$$

Эта неоднозначность проявляется в гистерезисе магнитострикции. В зависимости от выбора фиксированных параметров имеют место различ-

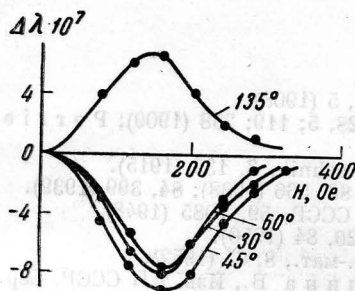


Рис. 1. Зависимость вращательного гистерезиса магнитострикции от напряженности магнитного поля при различных углах между направлением измерения и направлением поля

ные виды гистерезиса. При постоянных H , σ и T магнитострикция будет неоднозначной функцией φ . В этом случае по аналогии с вращательным гистерезисом намагниченности можно говорить о вращательном гистерезисе магнитострикции (ВГМ).

В настоящей работе ВГМ исследовался на вальцованном поликристаллическом никеле с обжатием от 3,3 до 1 мм. Образец имел форму диска диаметром 18 мм и был отожжен в вакууме при температуре 1100°. ВГМ определялся по изменению магнитострикции при вращении поля от заданного значения угла на 360° по и против часовой стрелки, т. е. величиной $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, где λ_1 — магнитострикция образца при вращении поля по часовой стрелке и λ_2 — против часовой стрелки. Измерялся ВГМ в зависимости от H при фиксированных значениях угла φ и в зависимости от φ при фиксированном значении поля H .

Поскольку настоящему исследованию предшествовала всего одна работа практически качественного характера [1], то, естественно, следовало прежде всего определить величины, при помощи которых можно количественно характеризовать ВГМ; эти величины следующие:

1) разность $\Delta\lambda$ конечного и начального значений магнитострикции по завершении цикла;

2) среднее (по площади) значение ВГМ, определяемое соотношением

$$(\Delta\lambda)_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |\Delta\lambda| d\varphi,$$

или же его относительная величина $\frac{(\Delta\lambda)_{\text{ср}}}{\lambda_0}$, где λ_0 — максимальное значение магнитострикции в направлении $\varphi = 0$, совпадающем с направлением прокатки.

Результаты измерений представлены на рис. 1—4.

На рис. 1 показана зависимость $\Delta\lambda$ от поля H для различных углов φ между направлением измерения и направлением поля. Из рис. 1 видно, что с ростом поля H абсолютная величина $\Delta\lambda$ растет, достигая максимума при $H = 160$ Ое. Далее $\Delta\lambda$ убывает практически до нуля (при

$H = 360$ Ое). Максимальное значение $\Delta\lambda$ при $\varphi = 45^\circ$ и $H = 160^\circ$ Ое равно $9 \cdot 10^{-7}$, что составляет менее 2,5% от величины магнитострикции насыщения никеля. Для углов $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ $\lambda_1 < \lambda_2$, т. е. $\Delta\lambda$ отрицательно. Для углов $90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ ВГМ положителен. Для углов $180^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$ картина повторяется (четный эффект). При изменении последовательности в направлении вращения поля знак $\Delta\lambda$ меняется на обратный.

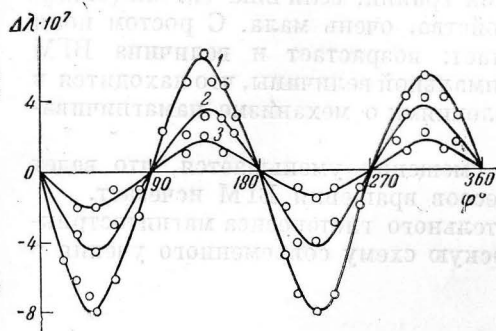


Рис. 2. Зависимость вращательного гистерезиса магнитострикции от угла φ в полях различной напряженности: 1 — 200 Ое; 2 — 240 Ое; 3 — 280 Ое

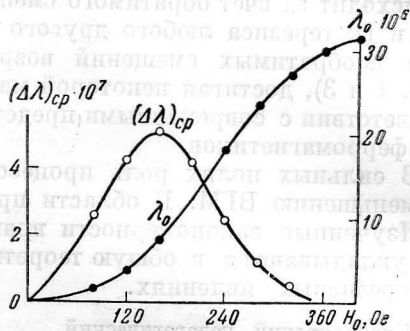


Рис. 3. Среднее значение вращательного гистерезиса магнитострикции и величина продольной магнитострикции в направлении прокатки в зависимости от поля

На рис. 2 показана зависимость ВГМ никеля от угла φ в постоянном магнитном поле. Для примера приведены кривые $\Delta\lambda(\varphi)$ при $H = 200$; 240 и 280 Ое. Для других значений H получаются аналогичные кривые. Из рис. 2 видно, что $\Delta\lambda$ является периодической функцией угла φ , причем период этой функции равен периоду изменения самой магнитострикции, т. е. 180° . Амплитудные значения зависят от H . Например, при $H = 200$ Ое $\Delta\lambda_{\text{амп}} = 8 \cdot 10^{-7}$, при $H = 280$ Ое $\Delta\lambda_{\text{амп}} = 2 \cdot 10^{-7}$.

На рис. 3 дана зависимость $(\Delta\lambda)_{\text{ср}}$ от поля H . Значения $(\Delta\lambda)_{\text{ср}}$ получены в ре-

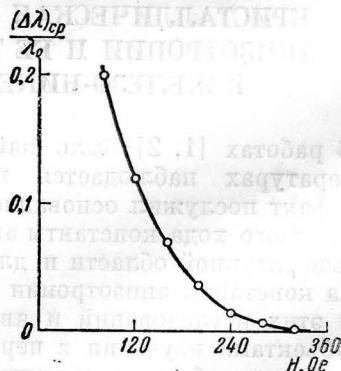


Рис. 4. Зависимость относительной величины вращательного гистерезиса магнитострикции от поля

зультате усреднения значений $\Delta\lambda$ для различных углов φ при $H = \text{const}$. С ростом поля $(\Delta\lambda)_{\text{ср}}$ возрастает от нуля до максимума, равного $5 \cdot 10^{-7}$ при $H = 160$ Ое, затем убывает, и в поле 360 Ое практически обращается в нуль. На рис. 3 приводится также кривая зависимости магнитострикции от поля в направлении прокатки при $\varphi = 0$.

На рис. 4 приводится зависимость $\frac{(\Delta\lambda)_{\text{ср}}}{\lambda_0}$ от поля.

Интересно отметить, что ход кривых зависимости $\Delta\lambda(H)$ при $\varphi = \text{const}$ и $\frac{(\Delta\lambda)_{\text{ср}}}{\lambda_0} = f(H)$ качественно совпадает с ходом соответствующих кривых температурного магнитного гистерезиса [2].

Вращательный гистерезис магнитострикции как результат неоднозначности доменной структуры

Гистерезисные явления в ферромагнетиках объясняются необратимыми изменениями доменной структуры. Сопоставляя ход кривой технического намагничивания с характером изменения $\Delta\lambda(H)$, можно заметить весьма характерную особенность. В тех полях, где намагничивание происходит за счет обратимого смещения границ, величина $\Delta\lambda$ или $(\Delta\lambda)_{\text{ср}}$, как и гистерезиса любого другого свойства, очень мала. С ростом поля доля необратимых смещений возрастает; возрастает и величина ВГМ (рис. 1 и 3), достигая некоторой максимальной величины, что находится в соответствии с современными представлениями о механизме намагничивания ферромагнетиков.

В сильных полях роль процессов смещения уменьшается, что ведет к уменьшению ВГМ. В области процессов вращения ВГМ исчезает.

Изученные закономерности вращательного гистерезиса магнитострикции укладываются в общую теоретическую схему современного учения о гистерезисных явлениях.

Красноярский педагогический
институт

Литература

1. Киренский Л. В., Власов А. Я., Втюрин Н. И., Дрокин А. И., Ивлев В. Ф., Тукалов Р. И., Изв. АН СССР. Сер. физ., **29**, № 9, 1201 (1957).
2. Лаптей Д. А., Изв. высш. учебн. завед. Физика, № 1, 136 (1959).