

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

д. И. ВОЛКОВ

**О МАГНИТОСТРИКЦИОННОМ ГИСТЕРЕЗИСЕ  
ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ СПЛАВОВ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 3 V 1950)

1. Явление гистерезиса магнитострикции, обнаруженное впервые Нагаока <sup>(1)</sup> и Б. Розингом <sup>(2)</sup>, до сих пор изучалось, главным образом, в магнитно-мягких ферромагнетиках.

В настоящем сообщении даны некоторые результаты исследования магнитострикционного гистерезиса в высококоэргитивных материалах. Изучение гистерезисных свойств магнитострикции высококоэргитивных ферромагнетиков представляет интерес в том отношении, что эти свойства непосредственно связаны с необратимыми изменениями намагниченности, причины которых в высококоэргитивных ферромагнетиках в полной мере остаются до настоящего времени не выясненными.

2. В качестве высококоэргитивного материала использовался железо-кобальт-ванадиевый сплав (викаллой) состава: 38% Fe, 52% Co, 10% V. В исследуемых образцах (длинные полоски) путем холодной обработки и последующего низкотемпературного отпуска (500—600°) создавалась различная коэргитивная сила; образцы имели:  $H_c = 48, 177$  и  $310$  эрст.

Магнитострикция измерялась методом проволочных тензометров, примененным для этих целей впервые Н. С. Акуловым и автором.

3. Обратим, прежде всего, внимание на зависимость магнитострикции  $\lambda$  от намагниченности  $I$ , представленную на рис. 1 для образцов с  $H_c = 48$  и  $310$  эрст. \*. При этом значения  $\lambda$  и  $I$  взяты из нулевых кривых, при измерении каждой точки которых образец предварительно подвергался размагничиванию.

Для образцов с  $H_c = 48$  эрст. ход магнитострикции в слабых и сильных магнитных полях, как видно, различен. В сильных полях (вблизи насыщения), где в основном уже исключены процессы смещения границ между доменами, имеет место линейная зависимость магнитострик-

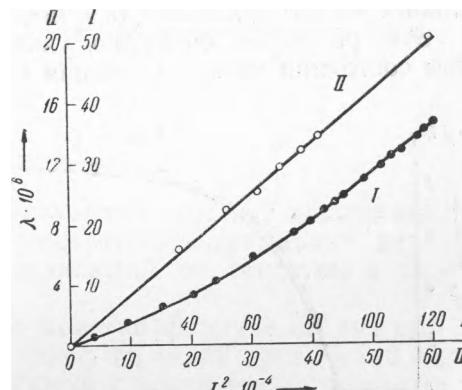


Рис. 1. I —  $H_c = 48$  эрст. (внутренний масштаб); II —  $H_c = 310$  эрст. (наружный масштаб)

\* Зависимость магнитострикции викаллоя от поля была измерена ранее Штуркиным и Шуром <sup>(3)</sup>.

ции от квадрата намагниченности:  $\lambda = k(I^2 - I_0^2)$  ( $I_0 \ll I \ll I_s$ ,  $I_s$  — намагниченность насыщения), в то время как в слабых полях ход магнитострикции оказывается более сложным.

С увеличением коэрцитивной силы, т. е. при переходе в высококоэрцитивное состояние, магнитострикция викаллоя (образцы с  $H_c = 310$  эрст.,

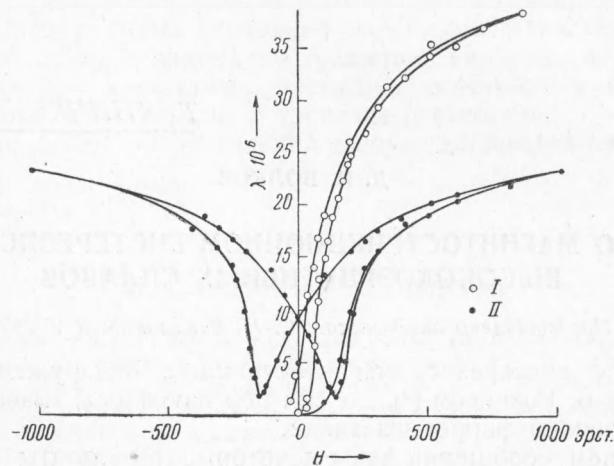


Рис. 2. I —  $H_c = 48$  эрст.; II —  $H_c = 177$  эрст.

рис. 1) имеет линейный ход от  $I^2$  не только вблизи насыщения, но и в слабых магнитных полях ( $\lambda = kI^2$ ,  $0 \ll I \ll I_s$ ).

Этот результат, очевидно, указывает на то, что в высококоэрцитивном состоянии магнитострикция викаллоя при намагничивании обусловлена в основном процессом вращения намагниченности доменов. Однако, как будет показано в дальнейшем, роль процесса смещения границ между доменами полностью не исключается.

На рис. 2 дана полная петля гистерезиса магнитострикции  $\lambda(H)$  для образцов с  $H_c = 177$  эрст. Аналогичные петли гистерезиса магнитострикции были получены для викаллоя с  $H_c = 310$  эрст. Для образцов с  $H_c = 48$  эрст. на рис. 2 приведены (для сравнения) лишь нулевая кривая и кривая  $\lambda(H)$ , соответствующая кривой размагничивания петли магнитного гистерезиса.

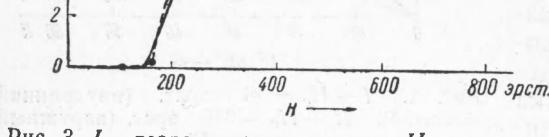


Рис. 3. I — теоретическая кривая, II — экспериментальная

Как и следовало ожидать, в образцах с высококоэрцитивным состоянием наблюдается значительный гистерезис магнитострикции; площадь петли  $\lambda(H)$  при этом тем больше, чем больше коэрцитивная сила и остаточная намагниченность  $I_r$ .

Остаточная магнитострикция  $\lambda_r$  образцов с малым сравнительно значением  $H_c$  (в нашем опыте  $H_c = 48$  эрст.) мала по сравнению с  $\lambda_{\max}$ , соответствующей вершине гистерезисного магнитострикционного цикла, т. е.  $\lambda_r \ll \lambda_{\max}$ . Наоборот, в образцах с высококоэрцитивным состоянием  $\lambda_r$  по порядку величин близка к  $\lambda_{\max}$ .

Представлялось важным исследовать зависимость остаточной магнитострикции от поля. Подобная зависимость, полученная путем измере-

ния магнитострикции на частых циклах, дана на рис. 3. В слабых магнитных полях ( $H < H_c$ )  $\lambda_r$ , как видно, близка к нулю, т. е. ход магнитострикции почти обратим. Далее остаточная магнитострикция резко возрастает и в полях, близких к насыщению, стремится к некоторому предельному значению ( $\lambda_r$ )<sub>s</sub>.

Сравнение хода кривой  $\lambda_r(H)$  с кривой  $I_r(H)$  (рис. 4) показывает, что в полях  $H > H_c$  остаточная магнитострикция пропорциональна квадрату остаточной намагниченности. Однако в полях  $H < H_c$  эта пропорциональность нарушается; остаточная магнитострикция в этой области полей близка к нулю, несмотря на то, что остаточная намагниченность имеет здесь сравнительно высокие значения.

Эти наблюдения указывают, очевидно, на определенную роль в процессе перемагничивания исследованных нами высококоэрцитивных материалов (викаллой) необратимых смещений границ между доменами. Следует заметить, что в сильных полях ( $H > H_c$ ) ход остаточной намагниченности от поля (рис. 4) хорошо описывается соотношением, аналогичным известному соотношению Вейсса — Кондорского <sup>(4)</sup>.

Для остаточной магнитострикции  $\lambda_r$ , как функции поля  $H$  имеем при этом соотношение:

$$\lambda_r = (\lambda_r)_s \left[ 1 - \left( \frac{H_0}{H} \right)^2 \right]^2, \quad \lambda_r = k \eta^2 \frac{I_s^2}{4}, \quad (1)$$

где  $k$  — угловой наклон  $\lambda_r$  от  $I_s^2$ ;  $I_s$  — намагниченность насыщения;  $H_0$  — напряженность магнитного поля, соответствующая точке перегиба кривой  $\lambda_r(H)$ ;  $\eta$  — коэффициент, зависящий от текстуры в распределении намагниченности доменов.

Ход остаточной магнитострикции от поля по формуле (1) при значениях  $k = 0,22 \cdot 10^{-10}$  гаусс<sup>-2</sup>,  $I_s = 946$  гаусс,  $H_0 = 142$  эрст.,  $\eta = 1,44$ , представленный на рис. 3 сплошной кривой, с достаточной точностью описывает, как видно, найденные на опыте закономерности для  $\lambda_r$  от  $H$ .

Научно-исследовательский институт физики  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
15 IV 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Nagaoka, Ann. d. Phys., 55, 487 (1894). <sup>2</sup> Б. Розинг, ЖРФХО, 26, 253 (1894). <sup>3</sup> Д. А. Штуркин и Я. С. Шур, ЖТФ, 19, в. 2 (1949). <sup>4</sup> P. Weiss, Journ. de Phys. et le Rad., (4), 6, 661 (1907); Е. И. Кондорский, ЖЭТФ, 10, в. 4 (1940).

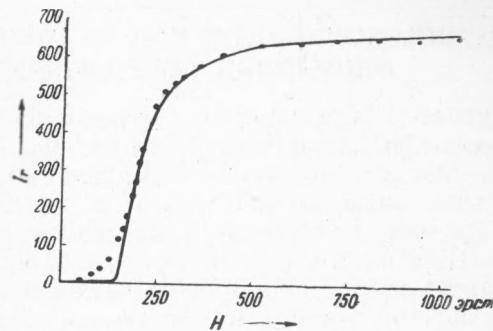


Рис. 4. Кривая — теория, точки — эксперимент