

Е. КОНДОРСКИЙ

## К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 3 V 1937)

Намагничение ферромагнетиков в слабых полях является, как показали работы Сикстуса и Тонкса (1), Беккера (2) и Блоха (3), результатом сдвига границ между областями спонтанного намагничивания.

Сдвиг границ между областями, спины которых расположены под углом  $90^\circ$  или вообще не антипараллельны, связан с затратой энергии, так как при повороте спинов на  $90^\circ$  вследствие магнитострикции изменяется упругая энергия объема поглощаемой при намагничении области. Поле, при котором область со спинами, составляющими  $90^\circ$  с направлением магнитного поля, полностью исчезает, пропорционально максимальному значению напряжения внутри области. Как показал Беккер (2), это поле

$$H_{e\perp} = \frac{3}{2} \frac{\sigma_i \lambda}{I_s}, \quad (1)$$

где  $\lambda$ —магнитострикция,  $\sigma_i$ —максимальная величина напряжения внутри области,  $I_s$ —намагничение при насыщении.

Значение  $H_{e\perp}$ , если его определять через величину магнитной восприимчивости, которая также содержит  $\sigma_i$ , значительно превышает наблюдаемые значения коэрцитивной силы.

Совершенно другой характер носит смещение границ между областями с антипараллельными спинами. В этом случае спины при намагничении поворачиваются на  $180^\circ$ , и магнитострикция не происходит. Если бы упругие напряжения внутри тела были однородны, перемещение границы не встречало бы препятствий и совершалось бы в ничтожно слабом поле. Блох (3) предполагает, что внутри материала имеются места, где благодаря наличию пластической деформации изменяется параметр решетки и связанное с ним значение интеграла обмена. Так как изменение интеграла обмена влечет изменение энергии  $U'$ , связанной с граничным слоем, продвижение границы через деформированную зону связано с затратой работы. Подсчет Блоха приводит к заключению, что коэрцитивная сила обратно пропорциональна исходной ширине границы.

Однако, как показал автор настоящей заметки, существует другая возможность объяснения того, что перемещение зоны границы между антипараллельными областями связано с затратой работы.

Благодаря наличию внутри материала неоднородных внутренних напряжений при движении границы изменяется упругая энергия, связанная с граничным слоем. Если магнитострикция граничного слоя не равна нулю, к энергии его, обусловленной магнитной анизотропией кристаллов, прибавляется величина  $\lambda' \sigma \delta$ , где  $\sigma$  — напряжение,  $\lambda'$  — магнитострикция граничного слоя,  $\delta$  — толщина границы, и передвижение границы в зоны с другим значением напряжения  $\sigma$  требует затраты работы. Если предположить, что в объемах, где напряжения остаются упругими, интеграл

обмена приблизительно остается постоянным, подсчет приводит к следующему выражению для коэрцитивной силы области, спины которой составляют с направлением поля угол  $180^\circ$ ,

$$H_{e\parallel} \approx \sim \frac{\lambda' g \delta}{4 I_s}, \quad (2)$$

где  $g$  — градиент внутренних напряжений,  $I_s$  — намагничение при насыщении. В случае если угол между спинами и направлением поля  $180^\circ - \varphi$ , из теории непосредственно вытекает

$$H_{e\varphi} = \frac{H_{e\parallel}}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

т. е. выражение, которое Вейсс принял на основании формальных соображений.

Сравнение (1) и (2) дает возможность оценить величину  $\delta$ . При этом  $H_{e\perp}$  следует рассматривать, как поле, при котором в направлении легкого намагничения достигается насыщение, а  $H_{e\parallel}$ , как коэрцитивную силу для того же направления.

По данным Хонда и Каэя (4), для направления  $100$  в монокристалле железа поле, при котором достигается насыщение:  $H_s = 70$  эрстед, коэрцитивная сила  $H_e \leq 0.05$  эрстед. Из (1) и (2), принимая  $H_{e\perp} = H_s$  и  $H_{e\parallel} = H_e$  и полагая  $\sigma_i = \frac{g\Delta}{2}$ , где  $\Delta$  — ширина области, получим:

$$\delta \leq 0.002\Delta. \quad (4)$$

Это находится в довольно хорошем совпадении с оценкой отношения  $\delta$  и  $\Delta$ , данной до сих пор различными авторами.

Как известно, при сильном натяжении направления легкого намагничения в материалах с положительной магнитострикцией совпадают с направлением растяжения. Наоборот, в материалах с отрицательной магнитострикцией направления легкого намагничения располагаются перпендикулярно направлению растяжения. Отсюда, принимая во внимание (3), легко вывести следствие, что коэрцитивная сила материалов, подвергнутых внешнему растяжению, в случае положительной магнитострикции должна быть меньше, в случае отрицательной магнитострикции должна быть больше, чем у тех же материалов в нерастянутом состоянии.

Кроме того легко показать, что при действии натяжения уменьшается ширина граничной зоны  $\delta$ , что согласно (2) также ведет к уменьшению коэрцитивной силы у материалов с положительной магнитострикцией.

Указанное уменьшение коэрцитивной силы в материалах с положительной магнитострикцией (железо-никелевые сплавы 85% Fe, 15% Ni) и увеличение ее в материалах с отрицательной магнитострикцией (никель), как показали экспериментальные исследования Прейзаха (5), Беккера и Керстена (6), Сикстуса и Тонкса (1), действительно наблюдается.

Автором настоящей заметки было проделано исследование необратимых изменений намагничения в железо-никелевых сплавах, которое подтвердило количественно основные его выводы. Об этом последует вскоре подробное сообщение.

Институт физики.  
Московский государственный университет.

Поступило  
26 IV 1937.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> K. Sixtus u. L. Tonks, Phys. Rev., **37**, 930 (1931). <sup>2</sup> R. Becker, Phys. ZS., **33**, 905 (1932). <sup>3</sup> F. Bloch, ZS. f. Phys., **74**, 295 (1932). <sup>4</sup> K. Honda u. S. Kaaya, Sc. Rep. Tôhoku Univ., **15**, 721 (1926). <sup>5</sup> F. Preisach, Ann. d. Phys., **3**, 137 (1929). <sup>6</sup> R. Becker u. M. Kersten, ZS. f. Phys., **64**, 660 (1930); M. Kersten, там же, **71**, 555 (1931).