Доклады Академии Наук СССР
1950. Том LXXIV, № 3

ФИЗИКА

Л. В. КИРЕНСКИЙ и Л. И. СЛОБОДСКОЙ

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ХОД КРИВОЙ НАМАГНИЧЕНИЯ В СИЛЬНЫХ ПОЛЯХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 10 VII 1950)

В настоящее время можно считать установленным, что в области сильных магнитных полей ($I > 0,97\, I_s$)

$$I = I_s\left(1 - \frac{a}{H} - \frac{b}{H^2} - \frac{c}{H^3}\right) + \chi_p H, \tag{1}$$

где I — интенсивность намагничения в поле напряженности H, I_s — интенсивность спонтанного намагничения при данной температуре; χ_p — восприимчивость парапроцесса; a, b, c — некоторые константы исследуемого ферромагнетика.

Что касается величины a, то, как показывает опыт [1-3], она зависит от пластических сдвигов в образце и путем длительного отжига может быть сделана сколь угодно малой. Теоретическое истолкование коэффициента a затруднительно. Здесь можно лишь указать на работу Броуна [4], сделавшего попытку рассчитать величину a с привлечением гипотезы о наличии в сильно деформированном образце так называемых линейных дислокаций. Согласно этой теории, в коэффициент a ни энергетические константы анизотропии, ни магнитострикционные константы в явном виде не входят.

Что касается коэффициентов b и c, то, согласно Н. С. Акулову [5], их значение может быть подсчитано. Расчет, проведенный Н. С. Акуловым, приводит к соотношению, известному под названием „закона приближения к насыщению". В частности, для поликристаллических материалов, лишенных текстуры и упругих напряжений,

$$b = \frac{8}{105}\frac{K_1^2}{I_s^2}, \tag{2}$$

где K_1 — так называемая первая константа магнитной анизотропии.

Соотношение (2) чрезвычайно важно, так как дает возможность экспериментально определить величину K_1 путем измерения дифференциальной восприимчивости на поликристаллических образцах, не прибегая к изготовлению монокристаллов.

Используя соотношение (2), ряду авторов удалось определить численные значения констант анизотропии не только чистых металлов, но и сплавов [2,6].

Коэффициент b также существенно зависит от наличия упругих напряжений в образце. Исследования Н. С. Акулова и одного из нас [7] показали, что в случае диффузных напряжений:

$$b = \frac{1}{I_s}\left[\frac{8}{105}K_1^2 + \frac{3}{25}\sigma^2\left(2\lambda_{100}^2 + 3\lambda_{111}^2\right)\right], \tag{3}$$

и для случая напряжений, направление которых совпадает с направлением поля:

$$b=\frac{1}{I_s^2}\left[\frac{8}{105}K_1^2+\frac{8}{35}K_1\sigma(\lambda_{100}-\lambda_{111})+\frac{6}{35}\sigma^2(\lambda_{100}-\lambda_{111})^2\right]. \qquad (4)$$

Однако в некоторых случаях соотношения (2), (3) и (4) оказываются недостаточными. Современные, необычайно высокие требования, предъявляемые к магнитным материалам, а также высокая техника экспериментального исследования требуют, с одной стороны, учета коэффициента c в уравнении (1), а также учета второй константы магнитной анизотропии. В частности, без учета K_2 и упругих напряжений в образце, согласно Гансу,

$$c=\frac{192}{5005}\frac{K_1^3}{I_s^3}. \qquad (5)$$

Так как в выражение (5) K_1 входит в нечетной степени, то это дает возможность определить знак K_1, не прибегая к изготовлению монокристаллов. Эта задача была экспериментально решена Н. С. Акуловым и Н. З. Мирясовым [1]. Учет константы K_2 в коэффициенте b приводится в монографии С. В. Вонсовского и Я. С. Шура [8].

В предыдущих сообщениях [9,10] авторами были получены соотношения, выражающие закон приближения к насыщению, с учетом второй константы анизотропии K_2 и диффузно-рассеянных упругих напряжений. Расчет охватывал коэффициенты b и c.

В настоящей работе приводятся метод и результаты расчета закона приближения к насыщению при наличии направленных упругих напряжений, причем вектор приложенной силы параллелен вектору поля.

Расчет исходит из минимума полной энергии:

$$U=U_a+U_e+U_\sigma, \qquad (6)$$

где U_a — энергия внешнего магнитного поля, причем

$$U_a=-HI_s\sum s_ih_i, \qquad (7)$$

U_e — энергия кристаллографической анизотропии. Для кристаллов кубической системы

$$U_e=U_0+K_1\sum_{i<j}s_i^2s_j^2+K_2s_1^2s_2^2s_3^2. \qquad (8)$$

U_σ — магнитная энергия упругой деформации, величина которой согласно Н. С. Акулову [5],

$$U_\sigma=-\sigma\left[\frac{3}{2}\lambda_{100}\left(\sum s_i^2v_i^2-\frac{1}{3}\right)-3\lambda_{111}\sum_{i<j}s_is_jv_iv_j\right]. \qquad (9)$$

Во всех этих соотношениях: s_i, s_j — косинусы углов вектора спонтанного намагничения с тетрагональными осями кристалла; h_j — направляющие косинусы вектора деформирующей силы σ. λ_{100}, λ_{111} — магнитострикции при насыщении в направлениях [100] и [111].

Отыскание минимума (6) проводится тем же методом, что и в предыдущих работах авторов. Подсчет коэффициентов b и c приводит в случае направленных вдоль поля напряжений к следующим соотношениям:

$$b=\frac{1}{I_s^2}\left[\frac{8}{105}K_1^2+\frac{16}{1155}K_1K_2+\frac{8}{5005}K_2^2+\frac{8}{35}K_1\sigma(\lambda_{100}-\lambda_{111})+\right.$$

$$\left.+\frac{8}{385}K_2\sigma(\lambda_{100}-\lambda_{111})+\frac{6}{35}\sigma^2(\lambda_{100}-\lambda_{111})^2\right]; \qquad (10)$$

$$
\begin{aligned}
c = \frac{1}{I_s^3}\Big[& \frac{192}{5005} K_1^3 - \frac{64}{15015} K_1^2 K_2 - \frac{64}{19635} K_1 K_2^2 - \frac{64}{285285} K_2^3 - \\
& - \frac{288}{715} \sigma^3 \lambda_{100}^3 - \frac{3132}{5005} \sigma^3 \lambda_{111}^3 - \frac{64}{1001} K_1^2 \sigma \lambda_{100} - \frac{2256}{5005} K_1 \sigma^2 \lambda_{100}^2 - \\
& - \frac{1968}{5005} K_1^2 \sigma \lambda_{111} + \frac{3516}{5005} K_1 \sigma^2 \lambda_{111}^2 - \frac{64}{7735} K_2^2 \sigma \lambda_{100} - \frac{48}{5005} K_2 \sigma^2 \lambda_{100}^2 - \\
& - \frac{16}{12155} K_2^2 \sigma \lambda_{111} + \frac{408}{5005} K_2 \sigma^2 \lambda_{111}^2 + \frac{180}{1001} \sigma^3 \lambda_{100}^2 \lambda_{111} + \\
& + \frac{288}{1001} \sigma^3 \lambda_{100} \lambda_{111}^2 - \frac{256}{5005} K_1 K_2 \sigma \lambda_{100} - \frac{32}{1001} K_1 K_2 \sigma \lambda_{111} + \\
& - \frac{12}{5005} K_1 \sigma^2 \lambda_{100} \lambda_{111} + \frac{48}{5005} K_2 \sigma^2 \lambda_{100} \lambda_{111} \Big]. \qquad (11)
\end{aligned}
$$

Полученные соотношения показывают, что в случае малой бианизотропии ($\lambda_{100} \approx \lambda_{111}$) влияние направленных напряжений на коэффициент b крайне незначительно. В коэффициенте же c их влияние может быть весьма существенным, так как числовые коэффициенты при $\sigma^3\lambda^3$ порядка 0,5, т. е. значительно перекрывают значения числовых коэффициентов при K_1 и K_2 даже в постоянной b. Полученные результаты должны быть особенно учтены для сплавов с малой константой анизотропии и заметной магнитострикцией.

В заключение выражаем благодарность Н. Г. Беляниной, оказавшей нам помощь в подсчете числовых коэффициентов.

Красноярский педагогический институт

Поступило 5 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. С. Акулов и Н. З. Мирясов, ДАН, **66**, № 1 (1949). [2] Н. С. Акулов и И. М. Пузей, Изв. АН СССР, сер. физ., **11**, № 5 (1949). [3] H. Polley, Ann. d. Phys., **36**, 625 (1939). [4] W. F. Brown, Phys. Rev., **58**, 736 (1940); **60**, 1939 (1941). [5] Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. [6] Н. С. Акулов, О. И. Блохина, К. М. Большова и А. П. Чернова, ЖТФ, **19**, 865 (1949). [7] Н. С. Акулов и Л. В. Киренский, ЖТФ, **9**, 1145 (1939). [8] С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. [9] Л. В. Киренский и Л. И. Слободской, ДАН, **69**, № 5 (1949). [10] Л. В. Киренский и Л. И. Слободской, ДАН, **70**, № 5 (1950).