

В. В. ПАРФЕНОВ

О ВЛИЯНИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ФОРМУ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 24 IX 1953)

I. Экспериментальное исследование кривых намагничивания ферромагнетиков в области высоких магнитных полей имеет большое значение для построения теории кривой намагничивания. Действительно, если в области слабых и средних полей форма кривой намагничивания сильнее всего зависит от структурного состояния ферромагнетика и магнитной предистории его (гистерезис), что и создает большие трудности для построения теории, то в области высоких полей процессы перемагничивания упрощаются, и кривые намагничивания приобретают более универсальный характер, чем в области слабых и средних полей.

Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям (1) дифференциальную восприимчивость в области высоких магнитных полей можно представить в виде

$$\chi = \frac{a}{H^3} + \frac{b}{H^2} + \chi_p(H), \quad (1)$$

где χ_p — восприимчивость пара-процесса, зависящая от поля по закону $\chi_p = C/H^{1/2}$; член a/H^3 обусловлен энергией кристаллографической анизотропии и энергией упругих напряжений; член b/H^2 , как показано в работе Беккера и Поля (2) и др., обусловлен пластическими деформациями.

Одно из возможных объяснений природы члена b/H^2 было дано Брауном (3). Он показал, что наличие нарушений кристаллической решетки (типа дислокаций), локализованных в малых объемах, вносит возмущение в распределение электронных спинов в гораздо большем объеме, чем занимают сами нарушения (дислокации), что и приводит к заметному отклонению намагниченности от насыщения. Браун считает, что член b/H^2 определяется пластическими деформациями, что и было подтверждено экспериментально (2, 4, 9). Конечно, теорию Брауна нельзя считать окончательной, и она требует дальнейших уточнений. Однако эта теория не только объясняет природу члена b/H^2 в равенстве (1), но и предсказывает возможность существования членов других порядков относительно поля H , связанных с другим характером нарушений строения кристаллической решетки, что и было обнаружено экспериментально в одной из наших работ (5).

Необходимо отметить, что вопрос о влиянии пластической деформации на форму кривой намагничивания в области высоких магнитных полей до сих пор изучен крайне слабо. Действительно, несмотря на исключительную важность такого рода исследований, до настоящего времени экспериментальные результаты получены лишь для никеля в ограниченной области магнитных полей до 3000 эрст.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния пластической деформации кручения и растяжения на форму кри-

вой намагничивания в никеле и железе в области магнитных полей до 10 000 эрст.

II. Экспериментальное исследование производилось на никеле и железе состава 99,9%, переплавленных в высокочастотной печи. Из полученных отливок после проковки были изготовлены образцы в форме цилиндров диаметром 5 мм и длиной 100 мм. После отжига в вакууме образцы подвергались пластической деформации. На образцах, подвергнутых различной деформации, были произведены измерения дифференциальной восприимчивости в области полей до 10 000 эрст. Измерения восприимчивости производились нами в электромагните по методике, предложенной Р. И. Янус и описанной нами ранее (5, 6).

III. Основные результаты наших измерений следующие.

1. Исследование влияния пластической деформации кручения и растяжения в никеле на ход восприимчивости в области высоких полей показало, что:

а) В случае никеля, подвергнутого пластической деформации кручения и растяжения, экспериментальные значения восприимчивости в области полей от 600 до 10 000 эрст. можно представить формулой (1) в предположении, что восприимчивость пара-процесса зависит от поля по закону $\chi_p = C/H^{1/2}$ как этого требует более точная теория (7).

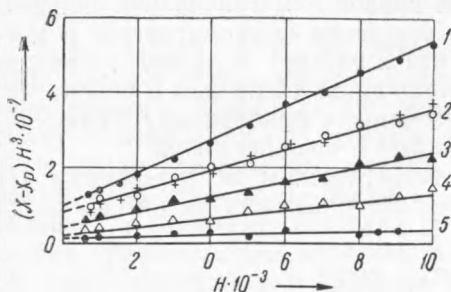


Рис. 1. Никель, подвергнутый различной деформации растяжения. 1— $\Delta l/l = 30\%$; 2—23 и 24%; 3—9,5%; 4—6,0%; 5—после обжига образца 1

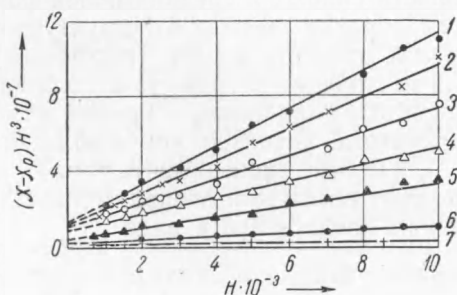


Рис. 2. Никель, подвергнутый деформации кручения. 1— $\varphi = 75^\circ$; 2— $\varphi = 66^\circ$; 3— $\varphi = 55^\circ$; 4— $\varphi = 32^\circ$; 5— $\varphi = 14^\circ$; 6— $\varphi = 10^\circ$; 7—после обжига образца 1

На рис. 1 и 2 представлены результаты измерений восприимчивости (для различных углов закручивания φ и относительных удлинений $\Delta l/l$). Равенство (1) представлено в форме:

$$(\chi - \chi_p)H^3 = a + bH. \quad (2)$$

Зависимость $(\chi - \chi_p)H^3$ от H оказалась линейной для всех образцов, подвергнутых пластической деформации кручения и растяжения, в интервале полей от 600 до 10 000 эрст.

б) Константы a и b , определенные из графиков согласно равенству (2), с ростом пластической деформации возрастают.

в) Полученные экспериментальные результаты подтверждают, что член b/H^2 обусловлен действием таких искажений кристаллической решетки, которые снимаются длительным высокотемпературным отжигом. Действительно, как это видно из рис. 1 и 2, у образца из никеля, подвергнутого максимальной деформации растяжения (рис. 1, 1), $b = 4,5 \cdot 10^3$, а после отжига того же образца $b = 0,1 \cdot 10^3$ (рис. 1, 5); соответственно в никеле, подвергнутом максимальной деформации кручения, $b = 10^4$ (рис. 2, 1), а после длительного отжига того же образца $b = 0,1 \cdot 10^3$ (рис. 2, 7).

г) Проведенные эксперименты подтверждают теорию Н. С. Акулова (8) о том, что член a/H^3 в равенстве (1) обусловлен кристаллографиче-

ской анизотропией. Константы магнитной анизотропии, рассчитанные для образцов после длительного отжига, дают хорошее совпадение с константами, рассчитанными из измерений на монокристаллах.

2. Исследование влияния пластической деформации кручения и растяжения в железе на ход восприимчивости в области высоких полей показало, что:

а) В случае железа, подвергнутого пластической деформации кручения и растяжения, наши измерения не подтвердили результатов Н. С. Акулова и К. М. Большой (10, 11) о том, что восприимчивость для пластически деформированного железа в области высоких магнитных полей следует закону, ранее установленному Н. С. Акуловым (8), и член b/H^2 , обусловленный пластической деформацией, отсутствует в равенстве (1) или (2). Действительно, из рис. 3 видно, что линейная зависимость между χ и $1/H^3$ не выполняется во всем диапазоне исследованных нами магнитных полей до 10 000 эрст. (на графике приведены результаты измерений восприимчивости для образца № 1, подвергнутого деформации кручения).

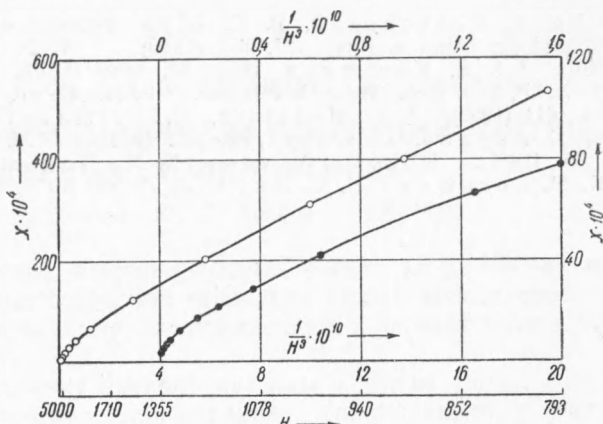


Рис. 3. Зависимость χ от H^{-3} для железа, подвергнутого максимальной деформации кручения

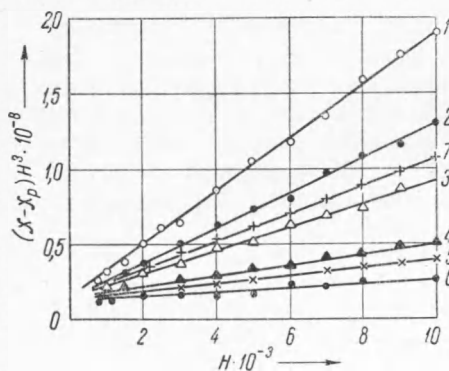


Рис. 4. Железо, подвергнутое пластической деформации. 1 — $\varphi = 75^\circ$; 2 — $\varphi = 67^\circ$; 3 — $\varphi = 50^\circ$; 4 — $\varphi = 24^\circ$; 5 — $\varphi = 16^\circ$; 6 — после отжига образца 1; 7 — $\Delta l/l = 33\%$

этом член b/H^2 и в этом случае обусловлен такими искажениями в кристаллической решетке, которые снимаются после длительного высокотемпературного отжига. На рис. 4 прямая 6 снята после высокотемпературного отжига с образца, подвергнутого максимальной деформации кручения (рис. 4, 1). В исходном состоянии после максимальной деформации $b = 1,5 \cdot 10^4$, а после отжига $b = 0,1 \cdot 10^4$.

г) В случае железа, подвергнутого пластической деформации растяжения, наши экспериментальные значения восприимчивости также находятся в хорошем согласии с равенством (1) в исследованном нами диапа-

б) Наши результаты не подтверждают высказывания тех же авторов о том, что в хорошо отожженном железе восприимчивость в области высоких магнитных полей следует закону Акулова. На расхождение этих результатов мы уже обратили внимание в работе (5).

в) Экспериментальные значения восприимчивости для железа, подвергнутого пластической деформации кручения, так же как и для никеля, находятся в хорошем согласии с формулой (1) в интервале полей от 800 до 10 000 эрст.

Результаты измерений восприимчивости на железе, подвергнутом различной пластической деформации кручения, изображены на рис. 4. При

зоне полей. Результаты измерений восприимчивости для образца, подвергнутого максимальной деформации растяжения (относительная деформация 33%), изображены на рис. 4, 7. Для других образцов получается аналогичная зависимость.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
29 V 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Венсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. ² R. Becker, H. Polley, *Ann. d. Phys.*, **37**, 534 (1940). ³ W. F. Brown, *Phys. Rev.*, **58**, 736 (1940). ⁴ A. R. Kaufmann, *ibid.*, **57**, 1089 (1940). ⁵ В. В. Парфенов, *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **16**, 5, 601 (1952). ⁶ Р. И. Янус, В. В. Парфенов, там же, **16**, 5, 611 (1952). ⁷ T. Holstein, H. Primakoff, *Phys. Rev.*, **59**, 388 (1941). ⁸ Н. С. Акулов. *Zs. f. Phys.*, **69**, 822 (1931). ⁹ Н. З. Мирясов, *Вестн. МГУ.* **5**, 65 (1951). ¹⁰ Н. С. Акулов, К. М. Большова, *ДАН*, **83**, 817 (1952). ¹¹ К. М. Большова, Н. С. Акулов, *Вестн. МГУ*, **9**, 79 (1950).