Доклады Академии наук СССР
1959. Том 128, № 2

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. В. КИРЕНСКИЙ, М. К. САВЧЕНКО и И. Ф. ДЕГТЯРЕВ

О ТЕХНИЧЕСКОМ НАМАГНИЧИВАНИИ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 22 V 1959)

Согласно современным представлениям техническое намагничивание складывается из процесса смещения границ между доменами и процесса вращения ([1]). По завершении процесса смещения кристалл оказывается намагниченным до насыщения как единое целое вдоль оси легкого намагничивания, ближайшей к направлению поля; процесс же вращения считается завершенным, когда вектор намагниченности совпадает по направлению с вектором поля. Процесс смещения границ и процесс вращения частично перекрываются на некотором сравнительно небольшом участке технической кривой намагничивания. Наличие этих процессов не вызывает никакого сомнения и может быть легко обнаружено ([2]).

Однако, как показывают наблюдения за изменением доменной структуры, процесс намагничивания в общем случае не может быть описан только процессами смещения и вращения. Во многих случаях кроме этих двух процессов наблюдается еще один, который сводится к перестройке доменной структуры. Процесс вращения завершает техническое намагничивание, процесс смещения границ предшествует перестройке доменной структуры. В настоящей работе сообщается об этой перестройке.

Проведение эксперимента. Исследование производилось на кристаллах железа с 3% кремния. Образцы вырезались в форме дисков диаметром 20 мм и толщиной от 0,3 мм и меньше. Поверхность образцов совпадала с кристаллографической плоскостью (110). Образцы отжигались в вакууме в течение 2—3 час. с последующим медленным охлаждением и затем подвергались электрополировке. Изменения доменной структуры в магнитном поле нарастающей напряженности изучались методом порошковых фигур и с помощью магнитооптического эффекта Керра ([3]).

Результаты наблюдений и их анализ. Изменение доменной структуры при намагничивании по различным направлениям, лежащим в плоскости образца, выявленное магнитооптическим методом, показано на рис. 1. В отсутствие поля исходные фигуры состоят из параллельных светлых и темных полос, которые соответствуют доменам, намагниченным вдоль и против легкой оси [001], расположенной горизонтально.

Как видно из рисунков, изменение доменной структуры при намагничивании по различным направлениям происходит неодинаково. При намагничивании вдоль легкого направления (рис. 1 *а*) наблюдается только смещение 180° границ.

На рис. 1 *б* показано изменение доменной структуры при намагничивании того же образца под углом 55° к легкой оси. В этом случае в полях до 100 эрст. в основном наблюдается расширение светлых полос, т. е. смещение границ. В полях 100—200 эрст. происходит перестройка доменной структуры. При визуальном наблюдении этой перестройки виден ее ярко выраженный скачкообразный характер. С дальнейшим ростом до 300 эрст. наблюдается процесс смещения междоменных границ вновь возникающей структуры.

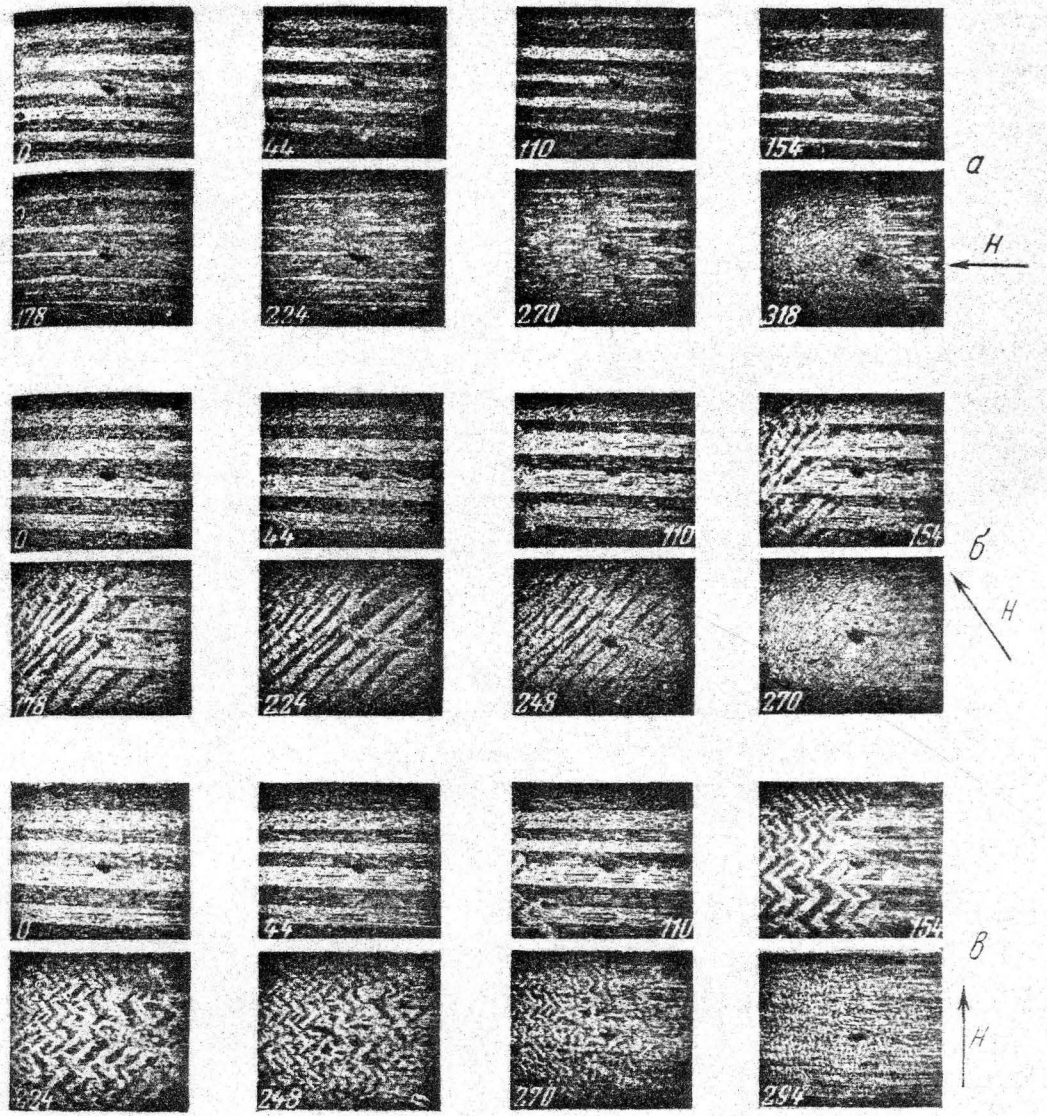

Рис. 1. Динамика доменной структуры при намагничивании: *а* — вдоль легкой оси (горизонтальная); *б* — под 55° к легкой оси; *в* — вдоль среднего направления намагничивания (вертикальное). Величины внешних намагничивающих полей указаны около рисунков. 5×

Еще более сложное изменение доменной структуры наблюдается при намагничивании под углом 90° к легкой оси, т. е. в направлении [110]. В этом случае процесс смещения практически не наблюдается (рис. 1 *в*). В полях примерно до 90 эрст. доменная структура почти не изменяется. С дальнейшим ростом поля (примерно от 90 до 200 эрст.) первоначальная структура доменов разрушается, идет перестройка к новому виду доменов в виде ломаных полос. При еще большем увеличении поля происходит дальнейшее дробление доменов на более мелкие, и фигуры принимают вид изви-

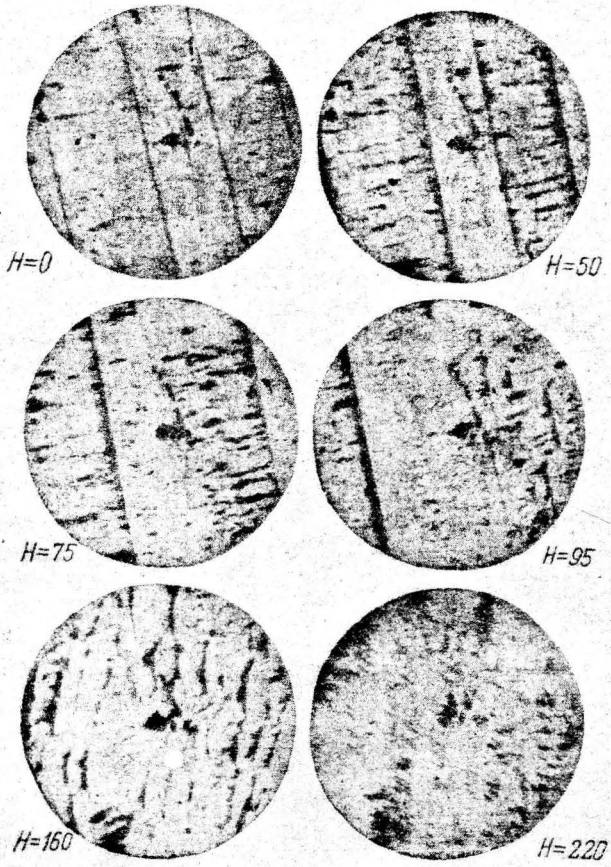

Рис. 2. Динамика доменной структуры при намагничивании под углом 72° к легкой оси. Направление поля горизонтальное. 90×

листых полос с преимущественным направлением вдоль оси [110], т. е. по полю. С уменьшением напряженности поля процесс протекает в обратном порядке. Как видно из этого рисунка, а также из визуальных наблюдений, в течение всего процесса намагничивания смещения границ не наблюдается, а происходящая перестройка фигур идет в виде скачков, при которых перемагничиваются отдельные объемы образца. Очевидно, что такое резкое изменение фигур обусловлено существенным изменением доменной структуры внутри образца.

Подобное изменение доменной структуры наблюдалось при намагничивании и под другими углами к легкой оси, превышающими угол ~30°. На рис. 2 показано подобное изменение доменной структуры, выявленное порошковым методом при намагничивании под углом 72° к легкой оси. Характер изменения доменной структуры в основе такой же, как и при выявле-

нии ее магнитооптическим методом. Имеется только небольшая разница в деталях, которые обусловлены разным характером самих методик и увеличением при фотосъемке.

Приведенные фотографии показывают, что намагничивание за счет перестройки доменной структуры происходит тем в большей мере, чем ближе к 90° угол между направлениями легкой оси и намагничивающего поля. Если этот угол составляет точно 90°, то никакого смещения практически не наблюдается и не должно наблюдаться, так как намагниченность во всех доменах кристалла одинаково направлена по отношению к полю и перпендикулярна ему. Намагничивание в этом случае происходит за счет поворота к направлению поля вектора отдельных участков образца. Но этот поворот совершенно не сходен с характером процесса вращения, каким он представляется до настоящего времени — поворотом вектора J_s всего образца в целом после окончания процессов смещения границ.

Таким образом, техническое намагничивание ферромагнетиков не исчерпывается процессами смещения границ и вращения. Значительную роль в процессах намагничивания играет процесс перестройки доменной структуры, которой соответствует, по-видимому, максимальная магнитная проницаемость и наибольшее число скачков Баркгаузена ([4]).

Институт физики
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступило
14 V 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. В. Вонсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. [2] Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров, Физ. металл. и металловед., 3, 216 (1956). [3] Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров, М. К. Савченко, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 1250 (1957); F. Bitter, Phys. Rev., 38, 1903 (1931); N. S. Akulov, M. V. Dehtjar, Ann. d. Phys., 15, 750 (1932); Л. В. Киренский, И. Ф. Дегтярев, ЖЭТФ, 35, 584 (1958). [4] В. Ф. Ивлев, В. Л. Ильюшенко, Л. И. Асеева, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 1250 (1957).