

Известия Академии наук СССР
Серия физическая
т. XXI, № 8, 1957 г.

МАТЕРИАЛЫ III СОВЕЩАНИЯ ПО ФИЗИКЕ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ
(Москва, 23—31 мая 1956 г.)

Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров и М. К. Савченко

ДИНАМИКА ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КРИСТАЛЛАХ
КРЕМНИСТОГО ЖЕЛЕЗА

Л. В. КИРЕНСКИЙ, В. Д. ДЫЛГЕРОВ и М. К. САВЧЕНКО

ДИНАМИКА ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИСТОГО ЖЕЛЕЗА

Согласно современным воззрениям процесс технического намагничивания состоит из двух стадий: процесса смещения междоменной перегородки и процесса вращения. Также известно, что процесс намагничивания существенным образом зависит от упругих напряжений в кристалле.

В настоящей работе приводятся результаты исследования порошковых фигур при непрерывном изменении упругих напряжений и магнитного поля, а также непосредственные наблюдения процесса вращения методом порошковых фигур.

Исследования проводились на монокристаллах кремнистого железа, плоскость (110) которых совпадала с наблюдаемой поверхностью.

Влияние магнитных полей изучалось на образцах в виде дисков ϕ 13 мм и толщиной 0,2 мм; влияние упругих напряжений изучалось на полосках $30 \times 5 \times 0,2$ мм, вырезанных по различным кристаллографическим направлениям.

Перед наблюдением порошковых фигур образцы отжигались в вакууме и электролитически полировались. Изменения порошковых фигур были сняты на киноплёнку.

Влияние упругих напряжений

В отсутствие упругих напряжений первоначальная структура доменов на плоскости (110) имеет вид почти параллельных, местами изломанных линий, которые располагаются на образцах на неодинаковых расстояниях друг от друга. Эта неодинаковость расстояний между линиями и их изломы являются следствием наличия небольших внутренних остаточных напряжений в образце и неоднородности его состава. Изменения порошковых фигур при растяжении монокристаллов вдоль различных кристаллографических направлений различны. Направления растяжений на приводимых фотографиях указаны стрелками.

Растяжения вдоль направления [100]. При растяжении происходит выравнивание доменов по ширине путем параллельного смещения границ между двенами (рис. 1), что является следствием относительного выравнивания общих напряжений в образце. Выравнивание доменов по ширине может происходить также путем распространения по образцу «клинообразных» доменов, которые при наложении напряжений становятся шире и распространяются в сторону своего острия (рис. 2). На рис. 3, а показана структура доменов при напряжении $\sigma = 10$ кг мм⁻². При увеличении напряжения до 15 кг см⁻² (рис. 3, б) произошли резкие изменения: некоторые из доменов разделились пополам вновь образующимися границами (на рис. 3, а эти домены обозначены буквами А и В, на рис. 3, б вновь образовавшиеся границы обозначены стрелками). Это явление можно назвать перемагничиванием доменов под влиянием напряжений. При этом всегда появляется четное число новых границ.

Растяжение вдоль направления [110]. При наложении напряжений происходит «рассасывание» резких прямых границ между домена-

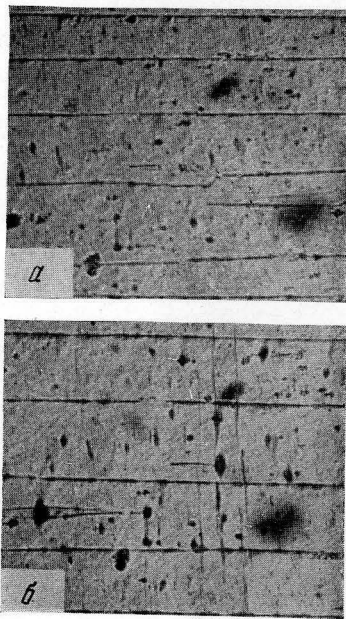


Рис. 1. Выравнивание доменов по ширине при растяжении вдоль [100]; $a - \sigma = 0$; $b - \sigma = 29 \text{ кг мм}^{-2}$. Направление растяжения на рис. 1—4 соответствует горизонтальной линии

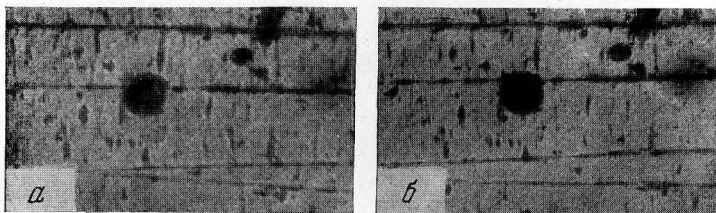


Рис. 2. Распространение клинообразных доменов при растяжении: $a - \sigma = 7$, $b - \sigma = 14 \text{ кг мм}^{-2}$

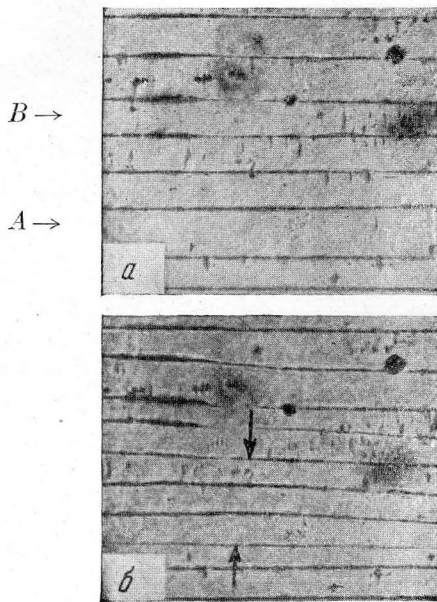


Рис. 3. Деление доменов вновь образующимися границами: $a - \sigma = 10$, $b - \sigma = 15 \text{ кг мм}^{-2}$; вновь появившиеся границы отмечены стрелками

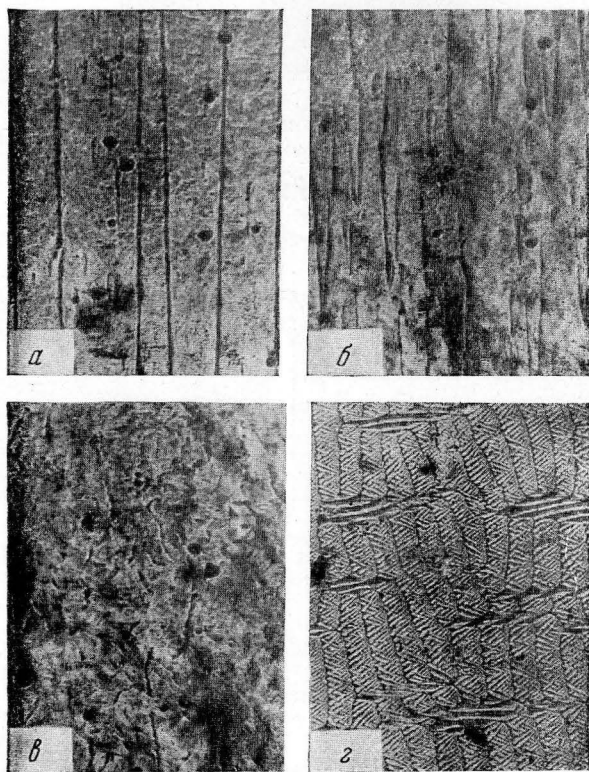


Рис. 4. Изменение порошковых фигур при растяжении вдоль направления $[110]$: $a - \sigma = 0,4$, $b - \sigma = 8$, $в - \sigma = 12$, $г - \sigma = 19 \text{ кг мм}^{-2}$

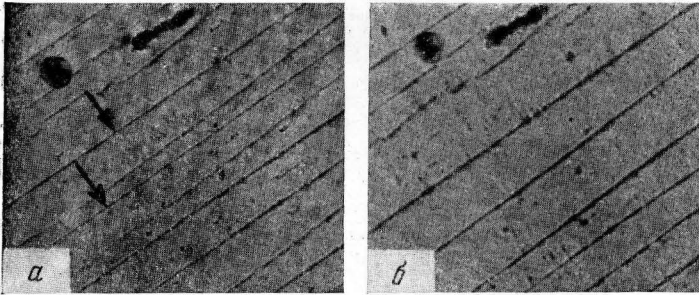


Рис. 5. Исчезновение границ между доменами при растяжении вдоль направления $[111]$: $a - \sigma = 0$, $b - \sigma = 4 \text{ кг мм}^{-2}$; исчезающие границы обозначены стрелками. Направление растяжения на рис. 5 и 6 соответствует вертикальной линии

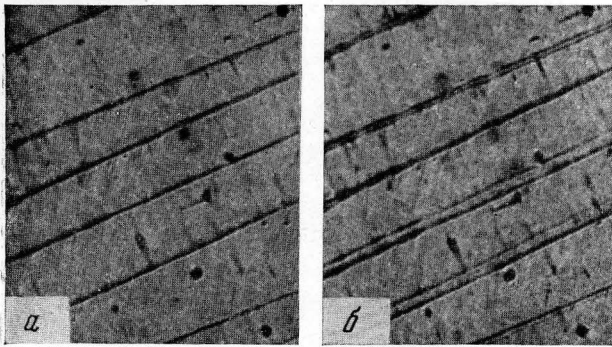


Рис. 6. Расщепление границ между доменами при растяжении вдоль направления $[111]$: $a - \sigma = 4,5$, $b - \sigma = 10 \text{ кг мм}^{-2}$

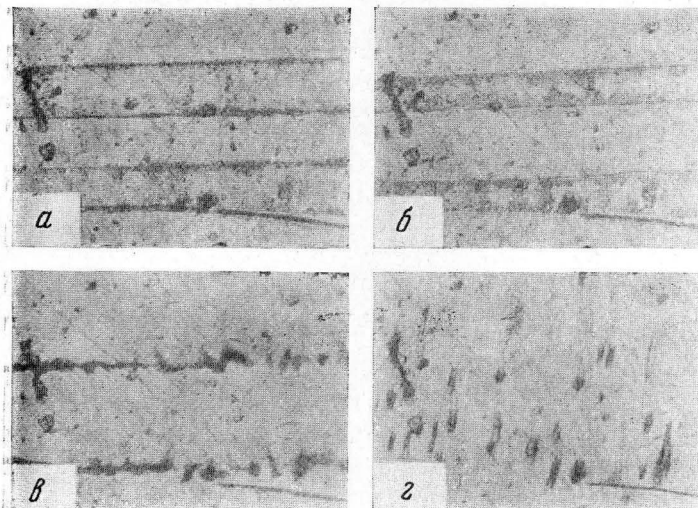


Рис. 7. Намагничивание до насыщения осуществляется путем процессов смещения и вращения. Снимки $a - г$ сделаны при увеличивающемся поле

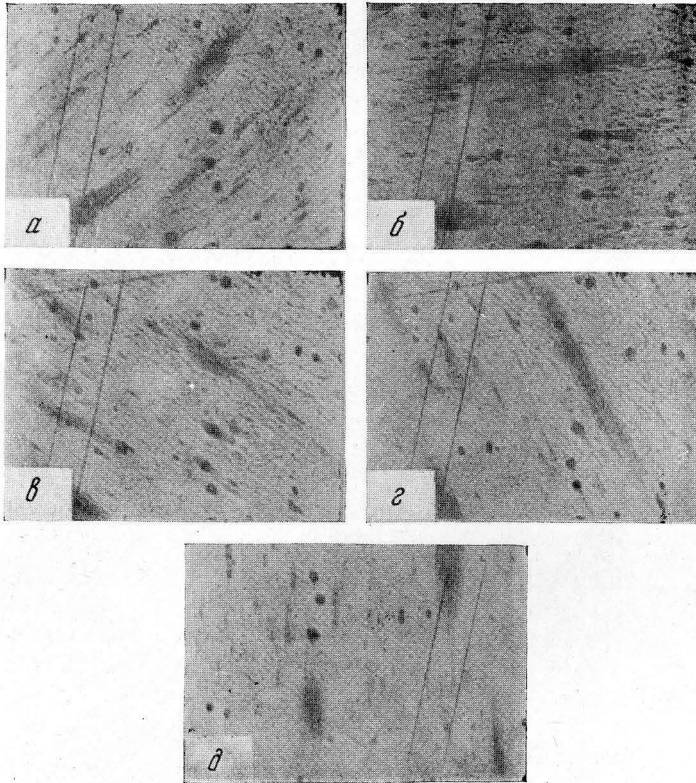


Рис. 8. Вращение вектора намагниченности кристалла при непрерывном вращении внешнего магнитного поля насыщения

ми. Структура становится клинообразной. Клинья далее уменьшаются и превращаются в беспорядочные кусочки линий. Динамика этих процессов хорошо видна на рис. 4, *a—в*. При дальнейшем увеличении напряжений начинается упорядочение этих кусочков, которые затем образуют своеобразную мозаику, замыкающуюся на появляющихся при этом горизонтальных полосах (рис. 4 *г*), что приводит к сложным фигурам замкнутого типа. С дальнейшим ростом напряжений горизонтальные полосы растут за счет мозаики, однако никогда не наблюдалось, чтобы они заняли всю поверхность образца. Для этого, по-видимому, нужны очень сильные напряжения, превосходящие предел упругости данного материала. Подобное возникновение мозаики при растяжении кристалла кремнистого железа вдоль направления [110] наблюдал также Дикстра [1].

Растяжение вдоль направления [111]. При растяжении вдоль [111] с фигурами происходят изменения, сходные с изменениями при растяжении вдоль [100], т. е. происходит параллельное смещение границ, и при достаточно больших напряжениях некоторые домены делятся пополам вновь образующимися границами. Однако наблюдались случаи, когда происходило не образование новых границ, а их исчезновение. Это явление видно на рис. 5, *a* и *б*. Границы, имеющиеся на рис. 5, *a* и исчезнувшие при наложении напряжений на рис. 5, *б*, отмечены на рис. 5, *a* стрелками.

На некоторых кристаллах при растяжении наблюдалось «расщепление» границ между доменами (рис. 6, *a* и *б*). Границы оказываются раздвоенными, причем с увеличением напряжений расстояния между линиями дублетов увеличиваются. Подобное «расщепление» границ наблюдалось и при растяжении вдоль направления [100].

Влияние внешнего магнитного поля

Образцы в виде дисков растягивались вдоль направления [100] до тех пор, пока их магнитная структура не приобретала одноосный характер. На полученных магнитно-одноосных кристаллах при помощи порошковых фигур исследовались процессы вращения.

Вращение вектора намагниченности обнаруживалось по фигурам насыщения [2], всегда перпендикулярным направлению вектора намагниченности.

На серии рис. 7 приведены кадры кинофильма, снятого при намагничивании образца в поле, ориентированном под некоторым углом к оси легкого намагничивания. Рисунок непосредственно показывает, что намагничивание действительно осуществляется путем смещения границ с последующим вращением вектора намагниченности образца.

Процесс вращения отчетливо обнаруживается при помощи порошковых фигур, что видно на серии рис. 8, представляющих собой кадры из кинофильма, снятого при непрерывном вращении внешнего магнитного поля насыщения.

Красноярский
гос. педагогический институт

Цитированная литература

1. Dijkstra L. J., Martius H. M., Rev. Mod. Phys. 25, 146 (1953).
2. Williams H. J., Bozorth R. M., Shockley W., Phys. Rev., 75, 155 (1949).