

М. В. ДЕХТЯР и Л. М. ДЕХТЯР

## О ПЕТЛЕ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА, БЛИЗКОЙ ПО ФОРМЕ К ПРЯМОУГОЛЬНОЙ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 3 X 1951)

В предыдущей работе <sup>(1)</sup> было показано, что поликристаллический ферромагнетик, подвергшийся рекристаллизации в растянутом под нагрузкой состоянии, приобретает петлю гистерезиса прямоугольной формы. Было отмечено, что петля такой формы наблюдается только при условии, что исследуемый образец после выдержки при температуре рекристаллизации разгружен перед охлаждением. Опыты были выполнены на сплаве Fe — C (C ~ 0,65%).

В настоящей работе обработка — рекристаллизация материала под нагрузкой — применена к сплаву Fe — Ni. Опыты были выполнены на проволоке из легированного пермаллоя  $d = 0,5$  мм.

На рис. 1 приведены половинки петель гистерезиса, измеренные на астатическом магнитометре: кривая 1 — для исходного материала, кривая 2 — для образца, рекристаллизованного под нагрузкой. Последний был нагружен при комнатной температуре  $\sigma = 57$  кг/мм<sup>2\*</sup>, нагрет до 600° и выдержан при этой температуре 15 мин. После этого нагрузка была снята, и образец охлажден до комнатной температуры.

Из рис. 1 видно, что для образца 2 остаточное намагничение  $I_r$  равно намагничению насыщения  $I_s$  ( $I_r/I_s \cong 1$ ). Петля приобрела форму, близкую к прямоугольной. Кривая 3 (рис. 1) принадлежит образцу, который также был выдержан при 600° в растянутом состоянии ( $\sigma = 57$  кг/мм<sup>2</sup>), но охлаждался под нагрузкой. В этом случае  $I_r \ll I_s$  ( $I_r/I_s = 0,57$ ), а петля по форме ближе к петле гистерезиса исходного материала. На том же рис. 1 приведена петля гистерезиса (кривая 4) образца, который не нагружался вовсе ( $\sigma = 0$ ), но подвергался такой же тепловой обработке, как образцы 2 и 3. Коэрцитивная сила и  $I_r$  этого образца меньше, чем для образца 2 ( $I_r/I_s = 0,66$ ), а форма петли далека от прямоугольной.

Сопоставляя кривые на рис. 1, нетрудно убедиться, что при рекристаллизации под нагрузкой кристаллы растут и деформируются так, что образовавшаяся структура и новое распределение напряжений сообщают сплаву петлю, близкую к прямоугольной. Как мы уже указывали <sup>(1)</sup>, это, вероятно, связано с тем, что в области температуры рекристаллизации соседние зерна и границы между ними не препятствуют пластической деформации новых кристаллитов, так что при растяжении могут оказаться в движении одни и те же, общие для вновь возникших зерен системы плоскостей скольжения.

\* Петля приобретает прямоугольную форму только после обработки при нагрузках, близких при данной температуре (600°) к пределу текучести.

Однако при охлаждении под нагрузкой с температур, лежащих на пороге нижней границы интервала температур рекристаллизации, скольжения не могут простираются на большие расстояния без взаимодействия соседних зерен. Изгибы и искривления кристаллической решетки приводят к неоднородным искажениям поликристаллического агрегата; таким образом исчезают условия, необходимые для получения прямоугольной петли\*.

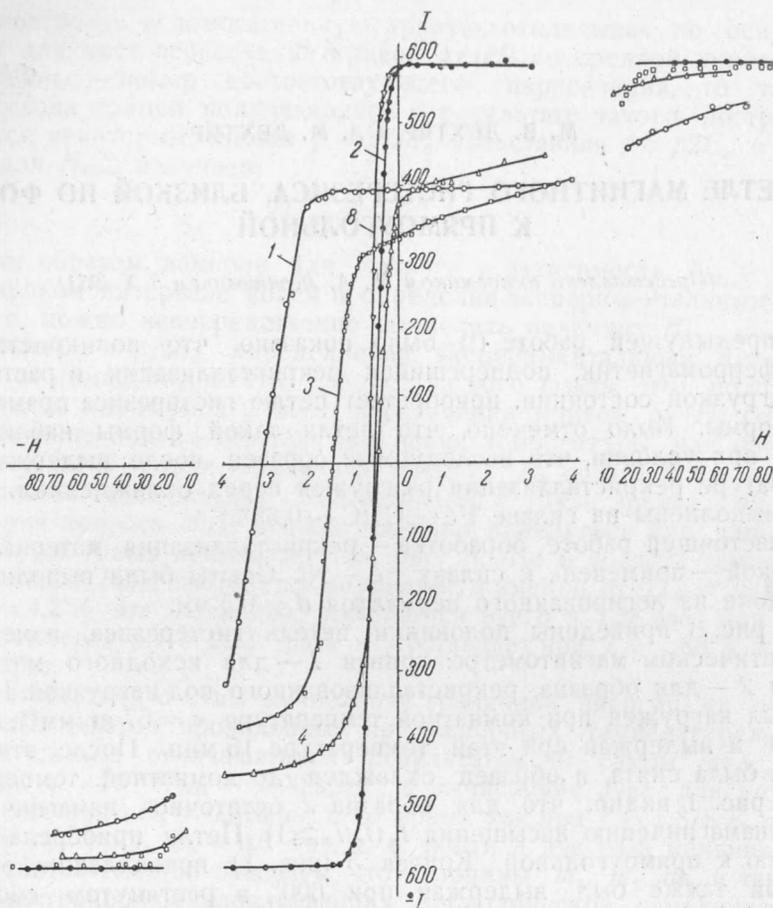


Рис. 1

Дополнительные опыты показали, что крутизна размагничивающей части петли гистерезиса образца, обработанного при  $600^\circ$  под нагрузкой и затем перед охлаждением разгруженного, возрастает с увеличением скорости охлаждения с  $0,5^\circ$  в секунду (рис. 1, 2) до  $40^\circ$  в секунду (рис. 1, 8)\*\*. Точка Кюри исследуемого материала лежит около  $400^\circ$ . Поэтому упомянутое увеличение крутизны размагничивающей части петли гистерезиса, возможно, связано с тем, что большая скорость охлаждения предотвращает незначительные пластические сдвиги, которые могли бы произойти под действием напряжений термострик-

\* Подробнее об условиях, при которых ферромагнетики обладают прямоугольной петлей гистерезиса, см. работы (2-5).

\*\* Для кривой 8 даны только точки на размагничивающей части петли гистерезиса.

ции\*, возникающих непосредственно ниже точки Кюри (в связи с появлением и взаимодействием областей спонтанного намагничения). Но тогда следует ожидать, что прямоугольная петля образца, рекристаллизованного под нагрузкой, после охлаждения в магнитном поле сильно деформируется. Поставленные опыты подтвердили это предположение.

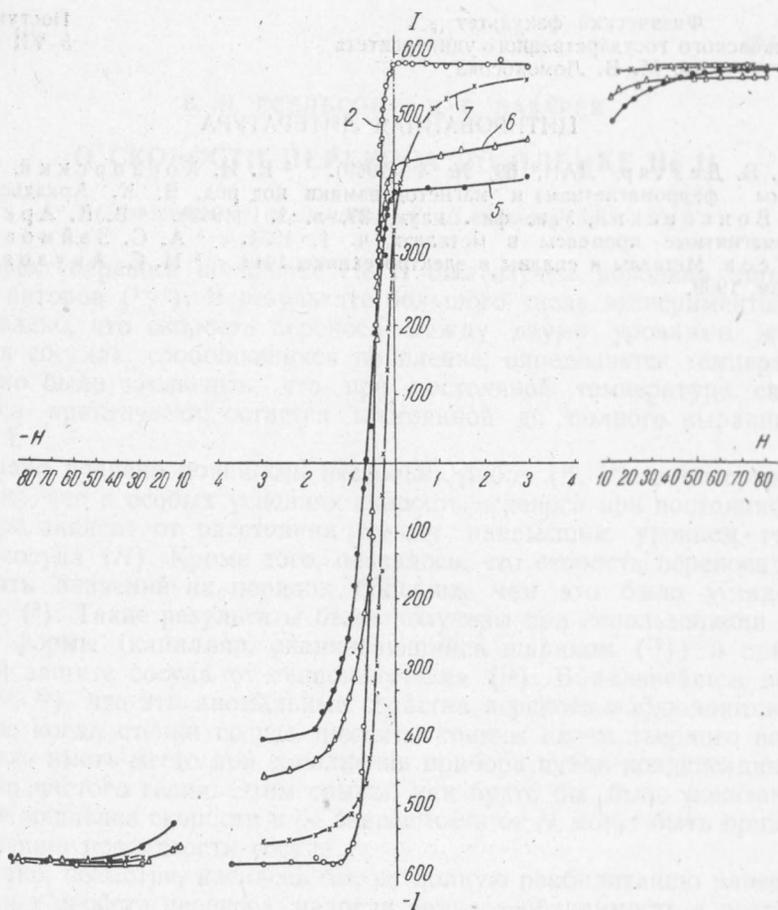


Рис. 2

На рис. 2 приведена кривая 5 для образца, нагретого до  $600^\circ$  в растянутом состоянии ( $\sigma = 57 \text{ кг/мм}^2$ ), выдержанного при этой температуре 15 мин., затем разгруженного и охлажденного в магнитном поле  $H = 10$  эрст. со скоростью  $3^\circ$  в минуту.  $I_r$  после такой обработки снизилось до величины, близкой к  $I_r$  исходного материала ( $I_r/I_s = 0,7$ ), а петля гистерезиса потеряла прямоугольную форму.

Интересно было также сопоставить степень приближения к петле гистерезиса прямоугольной формы после нашей обработки и после охлаждения сплава в магнитном поле.

На рис. 2 приведены половинки петель гистерезиса (6 и 7), полученные после термомагнитной обработки. Ненагруженные образцы нагревались до  $600^\circ$  (6) и до  $800^\circ$  (7) и после 15-минутной выдержки

\* По терминологии Н. С. Акулова (6).

охлаждались со скоростью  $3^\circ$  в минуту в магнитном поле  $H = 10$  эрст. С увеличением температуры обработки до  $800^\circ$  коэрцитивная сила образца уменьшилась почти вдвое (по сравнению с образцом 2),  $H_c = 0,25$  эрст. Однако в этом случае степень приближения формы петли к прямоугольной значительно меньше по сравнению с тем, что получено нами после обработки сплава рекристаллизацией под нагрузкой.

Физический факультет  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
5 VII 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. В. Дехтяр, ДАН, **69**, № 4 (1949). <sup>2</sup> Е. И. Кондорский, Сборн. Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики под ред. В. К. Аркадьева, 1946. <sup>3</sup> С. В. Вонсовский, Усп. физ. наук, **37**, в. 1, 1 (1949). <sup>4</sup> В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, ч. 1, 1934. <sup>5</sup> А. С. Займовский и В. В. Усов, Металлы и сплавы в электротехнике, 1949. <sup>6</sup> Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939.