

Е. КОНДОРСКИЙ

НАМАГНИЧЕНИЕ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ НАТЯЖЕНИЮ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА ВОЗРАСТАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 17 V 1938)

С целью получения более подробных сведений о магнитных свойствах железо-никелевых сплавов, подвергнутых натяжению⁽¹⁾, нами были определены для сплава Fe—Ni с 15% Ni: 1) кривые намагничения $I(H)$; 2) кривые зависимости остаточного намагничения от напряженности поля $I_r(H)$; 3) кривые зависимости обратимой восприимчивости [определяемой по Гауссу⁽²⁾] от напряженности поля $\chi_r(H)$. Измерения производились с помощью чувствительного астатического магнетометра*. Указанные кривые были получены для ненапрянутого состояния и при различных натяжениях.

В процессе проведения измерений было обнаружено, что обычно наблюдаемая разница между кривыми коммутирования и кривыми намагничения, получаемая без коммутирования намагничивающего тока, оказывается во много раз больше, когда образцы измеряются в натянутом состоянии. Это явление стало предметом специального изучения. Для того чтобы выяснить влияние способа возрастания магнитного поля на намагничение, были выбраны два способа увеличения намагничивающего тока.

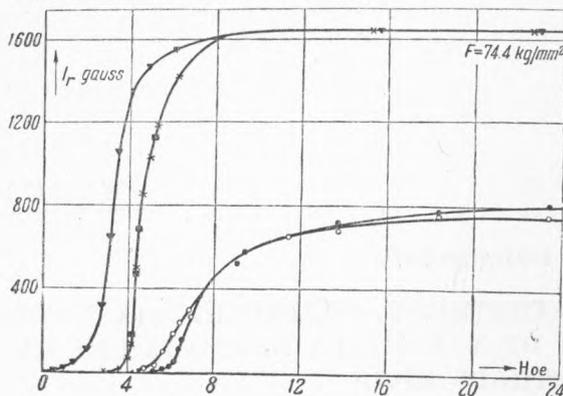
а) При увеличении поля намагничивающий ток непрерывно коммутируется, т. е. поле непрерывно изменяет знак при своем увеличении.

б) Ток вообще не коммутируется, т. е. поле возрастает без изменения знака.

Фиг. 1 дает кривые $\chi(H)$ и $\chi_r(H)$, фиг. 2—кривые $I_r(H)$, полученные указанными выше двумя способами. Для ненапрянутого состояния кривые, полученные способами а и б, совпадают. Для натянутого состояния это совпадение имеет место только в том случае, если размагничивание производилось под нагрузкой (коммутированием намагничивающего тока и постепенным уменьшением его величины до нуля). Как видно из фиг. 2, в том случае, когда при своем возрастании поле непрерывно изменяет знак, остаточное намагничение до определенного значения поля H_0 остается близким к нулю. Из фиг. 1 видно, что в этом случае в полях, не превышающих значения H_0 , восприимчивость в пределах точности изме-

* Магнетометр, на котором производились измерения, был описан Акуловым и Бычковым⁽³⁾, изучавшими при помощи этого прибора влияние упругих натяжений на начальную восприимчивость железа, никеля и кобальта.

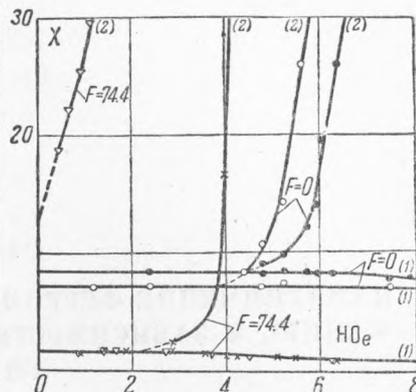
рений совпадает с обратимой восприимчивостью. В случае, когда поле возрастает без изменения знака (при применении способа б), остаточное намагничение образцов, размагниченных без нагрузки и затем нагруженных, начинает возрастать вместе с полем и достигает больших значений в полях, меньших, чем H_0 . Это показывает, что необратимые процессы при намагничении могут происходить в полях, значительно меньших, чем



Фиг. 1.

Восприимчивость сплава Fe—Ni с 15% Ni
(1) обратимая восприимчивость,
(2) восприимчивость.

- $F=0$ до наложения нагрузки. { Образец размагничен без нагрузки
- $F=0$ после наложения нагрузки. { (в ненапрянутом состоянии).
- ▽—▽—▽— $F=74.4$ кг/мм². Образец размагничен без нагрузки. Коммутирование намагничивающего тока не производится. В процессе возрастания поле не изменяет знака.
- ×—×—×— $F=74.4$ кг/мм². Образец размагничен без нагрузки. При возрастании поле непрерывно изменяет знак.
- $F=74.4$ кг/мм². Образец размагничен под нагрузкой.



Фиг. 2.

Остаточное намагничение сплава Fe—Ni с 15% Ni

H_0 и чем критическое поле Сикстуса и Тонкса, значение которого, как показывает сравнение, близко к H_0 .

Начальная восприимчивость образцов, размагниченных без нагрузки, затем нагруженных и измеренных по способу б, является в значительной мере необратимой. В то время как начальная обратимая восприимчивость уменьшается с нагрузкой, начальная необратимая восприимчивость с нагрузкой увеличивается. Начальная обратимая восприимчивость при натяжении $F=74.4$ кг/мм² составляет приблизительно $1/5$ от значения той же величины в ненапрянутом состоянии. При этом начальная обратимая восприимчивость от характера увеличения поля не зависит.

Если нагруженный образец намагнитен и затем размагничен уже под нагрузкой* (указанным выше способом), кривые, получаемые по способу а и б, совпадают между собой и совпадают с кривой, ранее (после размагничивания без нагрузки) получаемой по способу а. Чтобы снова получить кривую с повышенной начальной восприимчивостью, необходимо снять нагрузку, размагнитить образец и затем, нагрузив его, увеличивать поле, не изменяя его знака (по способу б).

Одно из возможных объяснений зависимости I_r и χ от характера возрастания поля состоит в следующем: при размагничивании без нагрузки образуются домены с различными направлениями спинов, зависящими от

* Независимо от настоящей работы влияние размагничивания под нагрузкой на начальную восприимчивость одновременно изучал на кристаллах железа сотрудник Ин-та физики МГУ М. В. Дехтяр.

направлений внутренних напряжений. После того как образец исследуемого сплава подвергнут достаточно сильному упругому растяжению, линия растяжения становится осью легкого намагничивания, и спины доменов устанавливаются параллельно этой оси (и параллельно или антипараллельно друг по отношению к другу). Поэтому в данном случае при намагничении вдоль линии растяжения рост намагничивания, главным образом, происходит за счет смещения границ между доменами, спины которых антипараллельны. Значение магнитного поля в объеме, окружающем границу доменов с противоположно направленными спинами, при котором эта граница приходит в движение и один домен поглощает другой, может быть получено из выражения Блоха⁽⁴⁾* для поверхностной энергии доменов с помощью условия минимума магнитной и упругой энергии. Вычисление⁽⁶⁾ приводит к следующему выражению для значения H_c этого поля:

$$H_c = \frac{\lambda' \delta}{4 I_s \cos \varphi} \frac{\partial \sigma_s}{\partial n}, \quad (1)$$

где $\delta = \sqrt{\frac{J}{K + \lambda' \sigma_s} \frac{a}{a}}$ (по Блоху δ представляет ширину граничного слоя между доменами, в котором спины имеют промежуточные направления), J —интеграл обмена, K —константа магнитной анизотропии, a —параметр решетки, σ_s —напряжение вдоль линии, параллельной направлению спинов доменов, ∂n —смещение границы в направлении нормали к ее поверхности, λ —магнетострикция граничного слоя при ориентации его спинов в направлении спинов доменов, имеющих этот слой границей, и φ —угол между спинами поглощаемого домена и направлением магнитного поля.

Из (1) следует, что при изменении направления спинов должно изменяться значение H_c . H_c изменяется не только потому, что увеличивается $\cos \varphi$ или уменьшается δ , но также вследствие изменения $\frac{\partial \sigma_s}{\partial n}$, так как при изменении направления спинов изменяется величина σ_s . При этом благодаря «выравнивающему» действию внешнего натяжения $\frac{\partial \sigma_s}{\partial n}$ в большей части образца уменьшается или даже обращается в нуль, и многие границы между доменами оказываются в состоянии неустойчивого равновесия. Отсюда следует, что в случае, когда размагничивание образца исследуемого сплава произведено без нагрузки и затем этот образец подвергнут натяжению, необратимые намагничивания должны начинаться в более слабых полях, чем в случае, когда размагничивание образца произведено под нагрузкой, и в результате образовались домены, устойчивые при данных условиях. Если при увеличении поля производится непрерывное коммутирование тока (способ а), процесс поглощения неустойчивых доменов идет в ту и другую сторону и образуется равное количество устойчивых доменов с противоположно направленными спинами. Поэтому в данном случае до определенного значения поля H_0 остаточное намагничение не должно появляться. Оба эти вывода, как показывают изложенные выше результаты измерений, находятся в согласии с опытом.

На основании изложенного можно сделать заключение, что размагничивание без нагрузки с последующим наложением натяжения может служить своеобразным методом получения в жестких ферромагнитных материалах с положительной магнетострикцией таких исходных состояний, которые при обычном способе размагничивания (т. е. в случае, когда размагничивание произведено после наложения груза), могли бы существо-

* Выражение Блоха для поверхностной энергии доменов получило экспериментальное подтверждение в работе Доринга⁽⁵⁾.

вать только после того, как материал подвергнут отжигу. Возможность получения высоких значений магнитной восприимчивости в жестких материалах при помощи специальных способов показывает, что разница между мягкими и жесткими магнитными материалами не в том, что в жестких материалах намагничение в слабых полях не может произойти вообще, а в том, что в этих материалах обычно отсутствуют условия, при которых оно может начаться.

Институт физики.
Московский государственный
университет.

Поступило
14 V 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. Preisach, Ann. d. Phys., **3**, 737 (1929), Phys. ZS., **33**, 913 (1932); K. Sixtus a. L. Tonks, Phys. Rev., **37**, 930 (1931), **42**, 419 (1932), **43**, 70, 931 (1933). ² R. Gans, Ann. d. Phys., **27**, 1 (1908), **29**, 301 (1909), **61**, 379 (1920). ³ Н. Акулов, Н. Бычков, ЖЭТФ (1933); ZS. d. Phys. (1932). ⁴ F. Bloch, ZS. d. Phys., **74**, 295 (1932). ⁵ W. Doring, ZS. d. Phys., **108**, 137 (1938). ⁶ Е. Кондорский, ЖЭТФ, **7**, 1117 (1937); Phys. ZS. d. Sowjetunion, **11**, 597 (1937).