

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, Р. С. Носова и Н. В. Решетникова

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ МАГНИТНЫХ
СВОЙСТВ НИКЕЛЯ

Л. В. КИРЕНСКИЙ, Р. С. НОСОВА и Н. В. РЕШЕТНИКОВА

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НИКЕЛЯ

В работе описаны результаты двух экспериментальных исследований: а) зависимости энергетических констант магнитной анизотропии от напряженности магнитного поля при различных температурах и б) температурной зависимости гальваномагнитного эффекта в полях насыщения.

Исследование зависимости энергетических констант магнитной анизотропии ферромагнетиков от напряженности магнитного поля посвящено немногих работ. Первое исследование в этом направлении было проведено Шлехтвегом [1]. Однако, имея в своем распоряжении поля сравнительно малой напряженности, он не смог сделать каких-либо надежных выводов.

Более подробное исследование было проведено Тарасовым [2] на монокристаллических дисках кремнистого железа, причем в области полей $2000 \div 3000$ Ое им было установлено соотношение

$$M = M_{\infty} \left(1 - \frac{A}{H}\right) \quad (1)$$

где M — величина максимального механического момента, приложенного к диску в однородном магнитном поле напряженностью H , M_{∞} — величина механического момента в поле, равном бесконечности, A — некоторая постоянная.

Поскольку величина механического момента M пропорциональна константе анизотропии K , а в плоскости (100) при угле $22^{\circ},5$ между направлением поля и тетрагональной осью кристалла

$$K = 2M, \quad (2)$$

то в области сильных полей имеем:

$$K = K_{\infty} \left(1 - \frac{A}{H}\right). \quad (3)$$

Дальнейшие исследования, проведенные Вильямсом и Бозортом [3], а также Шубиной [4], показали, что соотношение (1) не всегда имеет место, но остается справедливым при ориентации кристалла в плоскости (100) при угле в $22^{\circ},5$ между направлением поля и тетрагональной осью кристалла вплоть до очень сильных полей [5]. Из приведенных выше соотношений следует, что зависимость константы анизотропии от напряженности магнитного поля будет определяться температурной зависимостью величины A в соотношении (3). Насколько нам известно, исследований этой зависимости не проводилось.

В настоящей работе было проведено исследование зависимости энергетической константы магнитной анизотропии от напряженности магнитного поля на монокристаллическом никелевом шаре $\phi 9,75$ мм в интервале температур $20 \div 300^{\circ}$. Исследование проводилось методом измерения механических моментов, приложенных к образцу в сильном однородном магнитном поле. Механический момент измерялся при помощи высокочувствительного азимометра, работающего по принципу крутильных весов. Чувствительность азимометра достигала 4 эрг на 1 мм шкалы.

Механический момент, соответствующий полю 3150 Ое, компенсировался закручиванием упругой нити. Прирост механического момента с увеличением напряженности поля автоматически записывался на фотопленку, помещенную в цилиндрическую фотокамеру [6]. Вращение валика фотокамеры происходило синхронно с ростом тока в катушках электромагнита, а следовательно, и с ростом напряженности поля. Синхронизация осуществлялась при помощи привода, соединяющего ось валика фотокамеры с ножом электролитического реостата.

Одновременно с записью кривой механических моментов производилась фотозапись величины тока в катушках электромагнита, а следовательно, и величины напряженности поля. Кроме того, одновременно записывалась так называемая «нулевая» кривая зависимости напряженности

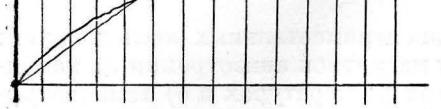


Рис. 1. Магнитограмма механического момента и силы тока в обмотке электромагнита

поля от тока, соответствующая значению механического момента, равному нулю. Значения напряженности магнитного поля фиксировались на фотопленке в виде ординатных линий.

Пример такого рода магнитограммы представлен на рис. 1, где зафиксированы — кривая механических моментов, ординатные отсечки и «нулевая» кривая.

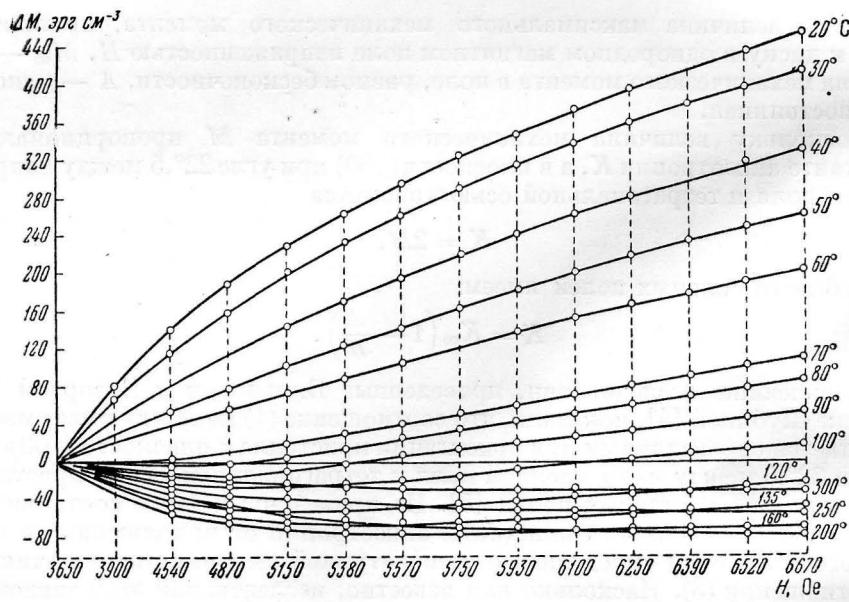


Рис. 2. Зависимость прироста механического момента от напряженности поля при различных температурах

Измерения проводились при всех восьми значениях углов, соответствующих максимальным значениям механических моментов в плоскости (100).

Зависимость прироста механических моментов от напряженности магнитного поля при различных температурах представлена на рис. 2.

Как видно из приведенных кривых, прирост механического момента в интервале $20\text{--}70^\circ$ только положителен, в интервале $80\text{--}180^\circ$ вначале отрицателен, затем положителен, в интервале же температур от 160° и выше — только отрицателен.

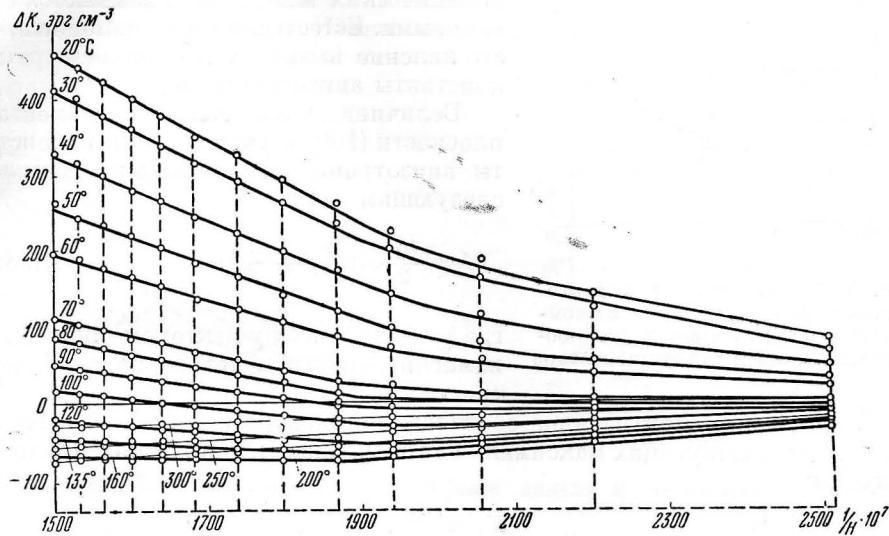


Рис. 3. Зависимость изменения константы анизотропии от $1/H$ при различных температурах

На рис. 3 представлена зависимость величины ΔK от $\frac{1}{H}$. Как видно из приведенных кривых, начиная с $\frac{1}{H} = 1900 \cdot 10^{-7}$ и выше, что соответствует напряженности поля 5260 Ое и выше, зависимость ΔK от $\frac{1}{H}$ действительно оказалась линейной для всех температур, при которых проводились измерения.

Из приведенной выше зависимости константы анизотропии от поля (формула (3)) следует, что тангенс угла наклона прямых зависимости ΔK от $\frac{1}{H}$ выражается следующим образом:

$$\operatorname{tg} \varphi = K_\infty A.$$

Значения $\operatorname{tg} \varphi$ легко находятся из опыта, также легко находятся значения K_∞ методом экстраполяции. Значения K_∞ , как и значения K , оказываются подчиняющимися соотношению, найденному Брюхатовым и Киренским [7] примерно до $130\text{--}140^\circ$.

На рис. 4 представлена зависимость A от температуры. Как видно из приведенной кривой, величина A в интервале температур $20\text{--}135^\circ$ оказывается не зависящей от температуры и равной примерно 208 Ое. Дальнейший рост температуры вызывает уменьшение величины A и изменение ее знака при температуре около 170° .

При проведении исследования мы также заметили, что положения максимальных значений механического момента чередуются не через 45° , а идут в последовательности $47, 43, 47, 43^\circ$ и т. д., в то время как нулевые

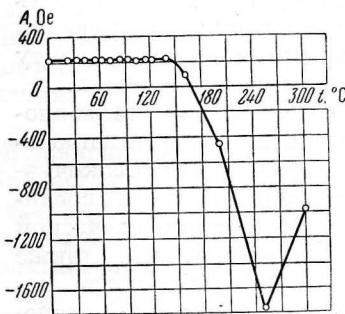


Рис. 4. Зависимость A от температуры

значения моментов повторяются через 45° с точностью до $5'$. Такое чередование углов для максимумов механических моментов не может быть следствием неточной ориентации или геометрической анизотропии образца, тем более, что максимальные значения механических моментов оказываются одинаковыми. Естественно предположить, что это явление вызывается влиянием третьей константы анизотропии K_3 .

Величина механического момента в плоскости (100) с учетом третьей константы анизотропии может быть представлена следующим образом:

$$M = \frac{K_1}{2} \sin 4\varphi + \frac{K_3}{8} \sin 4\varphi - \frac{K_3}{16} \sin 8\varphi,$$

Рис. 5. Температурные характеристики образца и одного из компенсаторов: 1 — кривая для образца, 2 — кривая для компенсатора

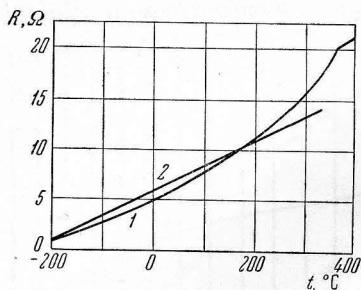
Подставляя в приведенное соотношение экспериментальные значения углов, соответствующих максимальным значениям механических моментов, получим

$$K_3 = \frac{K_1}{3}.$$

Интересно отметить, что максимумы моментов чередуются в указанном порядке для всех исследованных температур, что указывает на то, что температурная зависимость константы K_3 примерно такая же, как и K_1 , что можно считать установленным в интервале температур $20 \div 160^\circ$, где положение максимумов определяется с достаточной степенью точности. При более высоких температурах точность определения положений максимумов ниже, ввиду размытости последних.

Исследование гальваномагнитного эффекта проводилось методом высокочувствительного моста в соединении с цилиндрической фотокамерой, что также позволяло проводить работу методом автоматической фотозаписи.

Измерения проводились на проволочном образце из электролитического никеля $\phi 0,1$ мм и сопротивлением $4,75 \pm 0,1 \Omega$ при 0° . Для устранения возможных температурных колебаний электросопротивления применялся специальный компенсатор из тонкой медной проволоки. Компенсатор подбирался так, что при изменении температуры нагревательной печи в пределах от $50 \div 100^\circ$ световой луч от зеркальца гальванометра практически не смешался. Поскольку температурные коэффициенты сопротивления у меди и никеля различны, приходилось использовать несколько компенсаторов, каждый для определенного интервала температур.



где φ — угол между вектором спонтанной намагниченности и тетрагональной осью кристалла.

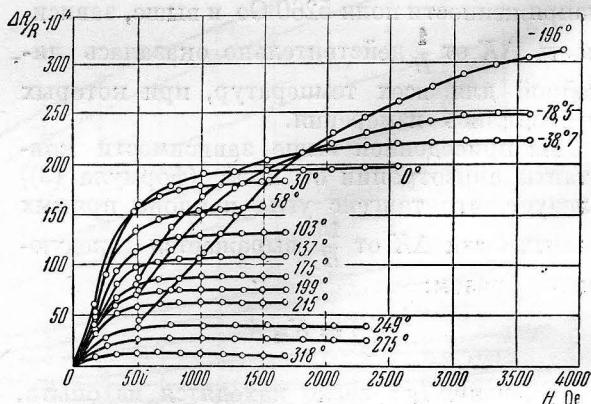


Рис. 6. Изотермы гальваномагнитного эффекта никеля для интервала температур $-196 \div +318^\circ$

На рис. 5 представлена характеристика работы одного из компенсаторов. Из графика видно, что в интервале температур $-50 \div +50^\circ$ температурное изменение сопротивления компенсатора и образца одинаково, так как их температурные характеристики идут практически параллельно.

Однородное поле на длине 15 см напряженностью до 4000 Ое создавалось при помощи соленоида. Изменение напряженности поля производи-

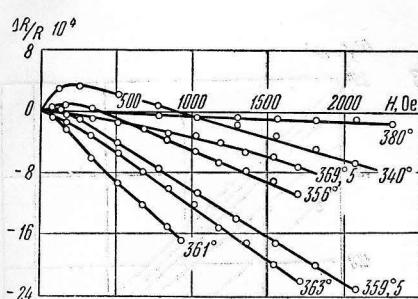


Рис. 7

Рис. 7. Изотермы гальваномагнитного эффекта никеля для интервала температур $340 \div 380^\circ$

Рис. 8. Зависимость гальваномагнитного эффекта никеля в полях насыщения от температуры

лось при помощи водяного реостата, причем время нарастания поля согласовывалось со скоростью вращения барабана фотокамеры. Печь вместе с образцом помещались в сосуд Дюара, который устанавливался вдоль оси соленоида.

На рис. 6 и 7 представлены графики зависимости эффекта от напряженности магнитного поля при различных температурах.

Из приведенных кривых видно, что гальваномагнитный эффект резко возрастает в слабых магнитных полях, соответствующих процессу смещения границ; при переходе к процессу вращения величина эффекта растет медленнее, стремясь к насыщению. В полях, превышающих техническое насыщение, происходит уменьшение гальваномагнитного эффекта, связанное с парапроцессом. С ростом температуры величина эффекта убывает, а насыщение достигается в более слабых полях.

На рис. 8 представлена кривая температурной зависимости гальваномагнитного эффекта никеля в полях насыщения. Как видно из приведенной кривой, в интервале температур $-196 \div 300^\circ$ зависимость получается линейной, что находится в согласии с известным соотношением Акулова [8] для температурной зависимости четных эффектов, подтвержденным для температурной зависимости четных эффектов в работах Дьякова [9] и Власова [10]. При температурах выше 300° наблюдается отклонение от линейной зависимости, как это видно на рис. 8.

При проведении исследования было уделено большое внимание влиянию способа размагничивания на величину измеряемого эффекта, так как, согласно работам Власова [10], величина магнитострикции существенно зависит от способа размагничивания образца перед началом измерений. Все приведенные выше данные относятся к размагничиванию нагреванием выше точки Кюри с последующим охлаждением в магнитной защите.

Изучение влияния способа размагничивания образца на величину гальваномагнитного эффекта проводилось в интервале температур $0 \div +210^\circ$. На рис. 9 представлена магнитограмма гальваномагнитного эффекта, снятая на никелевом образце при 0° при различных способах размагничивания образца. Максимальное значение эффекта соответствует размагничиванию нагреванием с последующим охлаждением в магнитной защите, несколько меньшие значения эффекта при нагревании выше точки Кюри с последую-

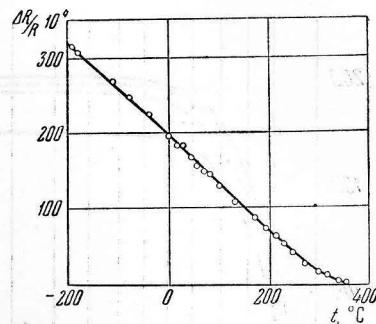


Рис. 8

щим охлаждением в магнитном поле Земли, нормальном к оси образца; при размагничивании коммутацией, с последующим переходом на плавно убывающий 50-периодный ток значения эффекта еще меньше и, наконец, наименьшие значения эффекта получаются при размагничивании коммутацией при убывающем до нуля токе в соленоиде.

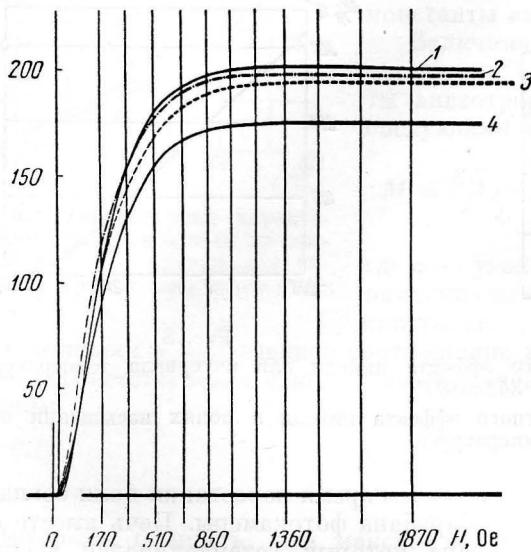
 $\Delta R/R \cdot 10^4$ 

Рис. 9

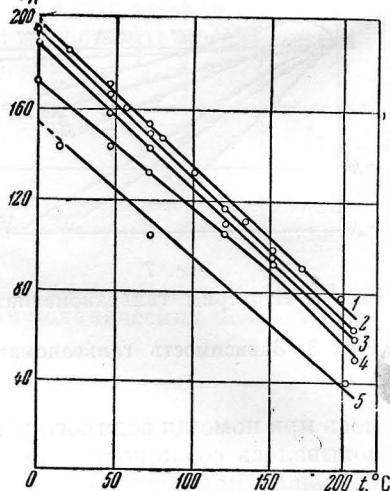
 $\Delta R/R \cdot 10^4$ 

Рис. 10

Рис. 9. Магнитограмма зависимости гальваномагнитного эффекта никеля от поля при различных способах размагничивания образца ($t = 0^\circ$): 1 — нагрев выше точки Кюри с последующим охлаждением в магнитной защите, 2 — нагрев и охлаждение в отсутствие магнитной защиты, 3 — коммутация и переменный ток, 4 — коммутация

Рис. 10. Зависимость гальваномагнитного эффекта никеля от температуры при различных способах размагничивания образца: 1 — нагрев и охлаждение в магнитной защите, 2 — нагрев и охлаждение в отсутствие магнитной защиты, 3 — коммутация и переменный ток, 4 — коммутация, 5 — данные Поттера (для сравнения)

На рис. 10 представлен график температурной зависимости гальваномагнитного эффекта никеля в полях насыщения при различных способах размагничивания образца. Из приведенных данных видно, что абсолютные значения эффекта сильно зависят от способа размагничивания образца и что целесообразнее проводить размагничивание нагреванием выше точки Кюри, с последующим охлаждением в магнитной защите.

Красноярский гос. педагогический
институт

Цитированная литература

1. Schlechtweg H., Ann. Phys., 27, 573 (1936).
2. Tarasov L. P., Phys. Rev., 56, 1124 (1939).
3. Bozorth R. M., Williams H. T., Phys. Rev., 59, 827 (1941).
4. Шубина Л. А., Изв. АН, Серия физич., 11, 27 (1947).
5. Киренский Л. В., Изв. АН, Серия физич., 12, 121 (1948).
6. Вторин Н. И., Изв. АН, Серия физич., 16, 690 (1952).
7. Брюхатов Н. Л., Киренский Л. В., ЖЭТФ, 8, 198 (1938).
8. Акулов Н. С., ДАН СССР, 15, 8 (1937).
9. Дьяков Г. П., Изв. АН, Серия физич., 11, 667 (1947).
10. Власов А. Я., Изв. АН, Серия физич., 16, 718 (1952).