

Л. В. КИРЕНСКИЙ

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ НИКЕЛЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 12 XI 1948)

Согласно современным воззрениям ⁽¹⁾, величина свободной энергии недеформированного ферромагнитного кристалла кубической системы описывается следующим соотношением:

$$U = U_0 + K(s_1^2 s_2^2 + s_2^2 s_3^2 + s_1^2 s_3^2), \quad (1)$$

где U — величина свободной энергии кристалла, K — константа анизотропии, s_1, s_2, s_3 — направляющие косинусы углов вектора спонтанного намагничивания с тетрагональными осями кристалла, U_0 — аддитивная постоянная.

Исследованию величины константы анизотропии для различных ферромагнетиков, а также ее температурному изменению посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ.

Так, предпринятые с различных точек зрения теоретические исследования Н. С. Акулова ⁽¹⁾ и Ван-Флека ⁽²⁾ для кристаллов кубической системы, а также исследования С. В. Вонсовского ⁽³⁾ для кобальта показали, что с повышением температуры константа анизотропии должна убывать по своей абсолютной величине.

Что касается экспериментальных исследований, то начало было положено работами Хонда и его сотрудников ^(4, 5), снимавших кривые намагничивания на монокристаллах по основным кристаллографическим направлениям. По этим кривым намагничивания оказывается возможным вычислить величину константы анизотропии.

Согласно этим данным, приведенным, например, в статье Ван-Флека, константа анизотропии никеля быстро возрастает с понижением температуры, не стремясь к насыщению, а при температуре 420° К меняет знак, но в интервале температур от 480° К и почти до точки Кюри остается неизменной, равной $+10^4$ эрг/см³.

Исследованиями Н. Л. Брюхатова и автора ⁽⁶⁾ для константы анизотропии никеля была установлена экспериментальная формула

$$K = K_0 e^{-aT^2}, \quad (2)$$

где K — константа анизотропии при данной температуре, K_0 — константа анизотропии при абсолютном нуле, равная $-80 \cdot 10^4$ эрг/см³, T — абсолютная температура, a — некоторая постоянная, равная $3,4 \cdot 10^{-6}$ 1/град².

Однако данные, полученные на основании обработки кривых намагничивания, снятых Хонда, Мазумото и Ширакава, вызывают серьезные сомнения, так как в области низких температур явно не было

достигнуто насыщения, а в области высоких температур не замечено стремления константы анизотропии к нулю при приближении к точке Кюри.

Действительно, опыты Вильямса и Бозорта (7), предпринятые с целью проверки соотношения (2), полностью его подтвердили в области очень низких температур.

Нами было предпринято экспериментальное исследование энергетической константы анизотропии никеля в интервале температур от -183°C до точки Кюри. Исследование проводилось методом автоматической записи величины механических моментов, приложенных к образцу, вырезанному в форме диска и помещенному в сильное однородное магнитное поле. Величина энергии монокристаллического диска при его вращении в магнитном поле около полярной оси, очевидно, может быть описана выражением:

$$U = U_0 + Kf(\varphi), \quad (3)$$

где U — энергия кристалла при заданной ориентации, φ — угол между направлением вектора спонтанного намагничивания и некоторой осью, лежащей в плоскости диска и соответствующей экстремальному значению энергии кристалла в данной плоскости, U_0 — аддитивная постоянная.

Величина механического момента, приложенного к образцу, очевидно, будет:

$$M = \frac{dU}{d\varphi} = K \frac{df(\varphi)}{d\varphi}. \quad (4)$$

Так как при данной ориентации образца, независимо от его температуры, $f(\varphi)$ неизменно, то изменение с температурой величины механического момента будет соответствовать изменению с температурой константы анизотропии.

Кроме, того, так как выражение (4) справедливо для любой ориентации кристалла, то, очевидно, оно применимо при исследовании температурной зависимости K и для поликристаллического образца с текстурой и лишенного внутренних напряжений.

Такой образец и был использован в нашей работе. Напряженность поля составила 5400 эрстед, что обеспечивало насыщение образца.

Результаты исследований получались в виде магнитограмм, на которых автоматически записывался механический момент либо в функции угла между некоторой полярной осью и вектором поля, либо в функции поля или температуры при неизменной ориентации образца.

На рис. 1 представлена магнитограмма, где по оси абсцисс или, что то же, по „нулевой“ линии, соответствующей магнитограмме в отсутствие поля, отложено время, в течение которого происходило нагревание исследуемого образца.

В виде непрерывной кривой записан механический момент, приложенный к образцу. Ординаты даны при температурах -150° , -100°C и т. д. через каждые 50° . Последняя ордината дана при 400° , т. е. выше точки Кюри.

Площадка, параллельная „нулевой“ линии, играющей роль оси абсцисс, соответствует температуре -183°C и имеет, естественно, максимальную ординату.

Если по данным магнитограммы построить график зависимости $\log K$ от T^2 , то, как это видно из рис. 2, зависимость оказывается линейной, что и приводит к уравнению (2). При температурах более высоких уравнение (2) перестает быть справедливым. В частности,

при температуре около 130°C , как это следует из приведенной выше магнитограммы, константа анизотропии меняет свой знак.

Обработка магнитограммы рис. 1 приводит к данным, изображенным на рис. 3. Как видно из рис. 3, в области невысоких температур данные, полученные методом автоматической фотозаписи при совмеще-

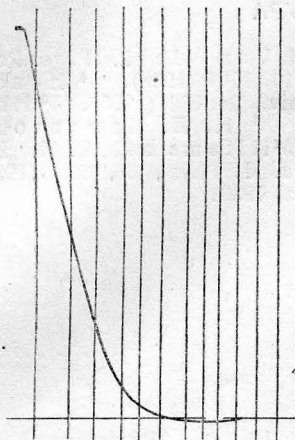


Рис. 1. Магнитограмма изменения механического момента с температурой

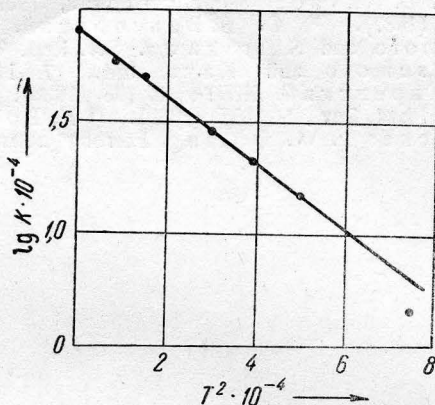


Рис. 2. Зависимость $\log(K \cdot 10^{-4})$ от $T^2 \cdot 10^{-4}$. Данные при $T = 0$ получены экстраполяцией

нии данных для температуры -183°C , вполне соответствуют данным, полученным в свое время Н. Л. Брюхатовым и автором, а также Вильямсом и Бозоргом.

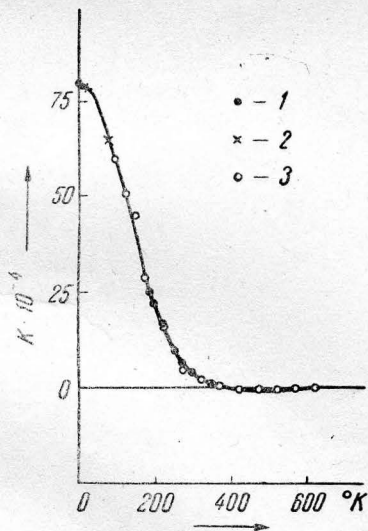


Рис. 3. Температурная зависимость энергетической константы магнитной анизотропии никеля. 1 — по (6), 2 — по (7), 3 — данные автора

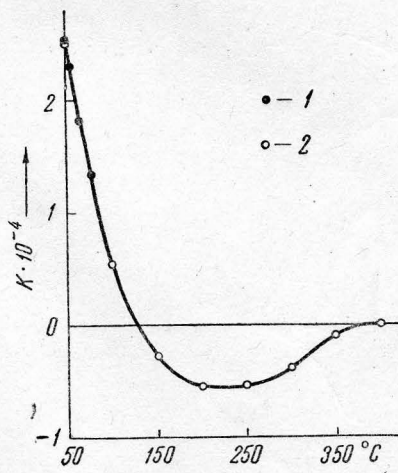


Рис. 4. Температурная зависимость энергетической константы магнитной анизотропии никеля. 1 — по (6), 2 — данные автора

Было проведено более тщательное исследование в области высоких температур, от 50°C до точки Кюри, при повышенной чувствительности установки. Обработка магнитограммы приводит к данным, представленным на рис. 4.

Как видно из рис. 4, изменение знака не вызывает сомнений. Точно так же видна хорошая повторяемость данных опыта с прежними данными Н. Л. Брюхатова и автора.

Красноярский государственный
педагогический институт

Поступило
29 IX 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ² J. H. Van Vleck, Phys. Rev., **52**, 1178 (1937). ³ С. В. Вонсовский, ЖЭТФ, **10**, 1104 (1938). ⁴ Honda, Masumoto and Shirakawa, Sci. Rep. Tôhoku Univ., **24**, 391 (1935). ⁵ Honda, Masumoto and Kaya, *ibid.*, **17**, 111 (1928). ⁶ Н. Л. Брюхатов и Л. В. Киренский, ЖЭТФ, **6**, 198 (1938). ⁷ H. J. Williams and R. M. Vozorth, Phys. Rev., **56**, 837 (1939). ⁸ H. Polley, Ann. d. Phys., **36**, 625 (1939). ⁹ R. Becker u. W. Döring, Ferromagnetismus, Berlin, 1939.