

Л. В. КИРЕНСКИЙ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ НИКЕЛЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 10 VII 1950)

Ферромагнитные кристаллы, как известно, обладают обычно резко выраженной энергетической анизотропией. Согласно Н. С. Акулову ⁽¹⁾, энергия единицы объема ферромагнетика, имеющего кубическую решетку, например никеля, описывается соотношением:

$$u = u_0 + k_1 (s_1^2 s_2^2 + s_2^2 s_3^2 + s_1^2 s_3^2) + k_2 s_1^2 s_2^2 s_3^2, \quad (1)$$

где u — энергия, при условии, что спин кристалла составляет с тетрагональными осями кристалла углы, косинусы которых s_1, s_2, s_3 ; k_1 и k_2 — соответственно первая и вторая константы анизотропии, u_0 — некоторая аддитивная постоянная, определяющая энергию намагничивания вдоль тетрагональной оси.

Очевидно, исследование энергетической анизотропии никеля сведется к изучению констант k_1 и k_2 .

Изучение константы k_1 производилось неоднократно, но тем не менее полной ясности о ее температурном ходе все еще нет. Что касается константы k_2 , то здесь надежных данных вообще нет. Обычно полагают ее равной нулю.

Для константы k_1 , в области низких температур, очевидно, остается справедливым экспериментальный закон, установленный в свое время Н. Л. Брюхатовым и автором ⁽²⁾:

$$k_1 = k_0 e^{-a/T^2}, \quad (2)$$

где k_1 — первая константа анизотропии при абсолютной температуре T , k_0 — при абсолютном нуле, a — некоторая постоянная.

Соотношение (2) было подтверждено Вильямсом и Бозортом ⁽³⁾ при температуре жидкого водорода. Кроме того, как показали Н. С. Акулов и И. М. Пузей ⁽⁴⁾, оно применимо и для бинарных сплавов. Некоторые отступления от (2), полученные Полли ⁽⁵⁾, объясняются недоучетом члена c/H^2 в законе приближения к насыщению. В области высоких температур имеются данные ^(6,7), согласно которым при температуре около 130°C k_1 меняет знак.

Однако относительно этих исследований можно сделать следующие замечания:

1. Данные японских авторов, полученные из кривых намагничивания монокристаллов по основным кристаллографическим направлениям, не могут быть признаны надежными. В частности, вызывает сомнение тот факт, что k_1 , изменив при $t = 130^\circ\text{C}$ знак на положительный, при температуре около 200°C достигает значений $+10^4$ эрг/см³, сохраняя эту величину почти до точки Кюри. Здесь, повидимому, могли сказаться индивидуальные особенности образцов, точность в определении размеров и ориентировок.

2. Данные автора были получены на поликристаллическом сильно текстурированном диске. Несмотря на правильный температурный ход в области низких температур, при высоких температурах при определении k_1 могли произойти погрешности, вследствие малых абсолютных значений k_1 и сравнимых величин магнитопорной анизотропии, наличие которой возможно, несмотря на длительный отжиг. Кроме того, в исследуемом образце никак не учитывалось влияние k_2 .

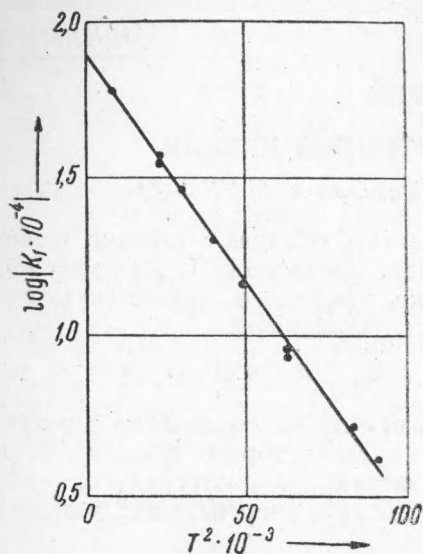


Рис. 1. Зависимость $\log k_1$ от T^2

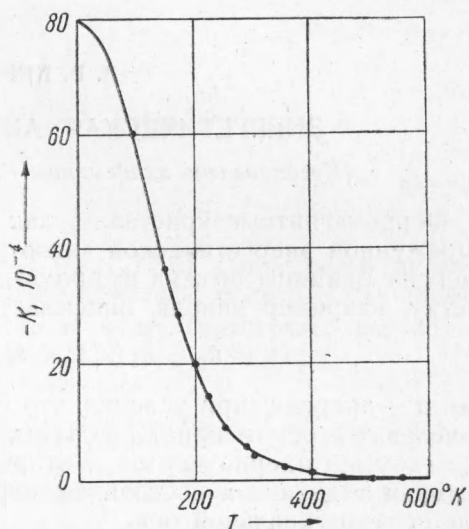


Рис. 2. Зависимость первой константы магнитной анизотропии никеля от температуры

Исходя из вышеизложенного, автором было предпринято экспериментальное исследование величин k_1 и k_2 в интервале температур от 90°K и вплоть до точки Кюри. Измерения были произведены на монокристаллическом никелевом шаре диаметром $9,75 \pm 0,01$ мм методом автоматической фотозаписи механических моментов, приложенных к образцу в однородном магнитном поле напряженностью в 7500 эрстед.

Магнитограммы механических моментов в зависимости от угла поворота вектора поля снимались в плоскостях (100) и (110). Ориентировка кристалла производилась предварительным нахождением выходов осей легкого намагничивания на шаре, с помощью подвеса Кардана (²).

Температура образца измерялась с помощью термопары нихром — константан, причем один спай приводился в непосредственный контакт с испытуемым образцом, другой всегда находился при температуре тающего льда.

Кроме магнитограмм, снятых в функции угла поворота, в интервале температур от 300°K до точки Кюри, снимались магнитограммы непосредственно в функции температуры. Методика исследований описана автором ранее (^{7,8}).

Результаты измерений приведены на рис. 1, на котором представлена зависимость $\log k_1$ от T^2 . Ясно выраженная линейная зависимость, очевидно, приводит к соотношению (2). Количественное определение величины k_1 при температурах 90 и 292°K дает соответственно значения — $59,6 \cdot 10^4$ и $4,73 \cdot 10^4$ эрг/см³. Эти данные полностью совпадают с данными Н. Л. Брюхатова и автора (²). Экстраполяция прямой на абсолютный нуль температуры также дает прежний ре-

зультат: $-80 \cdot 10^4$ эрг/см³; общий ход температурной зависимости представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 2, первая константа энергетической анизотропии никеля не меняет своего знака во всем интервале температур. Отсутствие перемены знака установлено с точностью $7 \cdot 10^2$ эрг/см³.

Результаты измерений позволили также определить температурный ход второй константы анизотропии k_2 . График этой зависимости представлен на рис. 3. Как следует из рис. 3, в области комнатных температур значения величин k_2 действительно невелики и совпадают с прежними данными Н. Л. Брюхатова и автора (2), нашедшими для $t = 14^\circ\text{C}$ значение $k_2 = -0,5 \cdot 10^{-4}$ эрг/см².

При температуре около 300°K происходит явное изменение знака k_2 и обращение ее в нуль в точке Кюри.

Следует заметить, что изменение знака k_2 было обнаружено также Л. А. Шубиной (9) на монокристалле кремнистого железа.

Что касается зафиксированного автором на поликристаллическом диске изменения знака момента при 130°C , то это, повидимому, следует объяснить наличием константы k_2 , имеющей при этих температурах максимальное положительное значение. Не исключена также возможность, что некоторую роль здесь могли сыграть не полностью снятые остаточные напряжения в поликристаллическом вальцованном диске.

Красноярский государственный
педагогический институт

Поступило
5 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ² Н. Л. Брюхатов и Л. В. Киренский, ЖЭТФ, **6**, 198 (1938). ³ Н. J. Williams and R. M. Bozorth, Phys. Rev., **56**, 837 (1939). ⁴ Н. С. Акулов и И. М. Пузей, Изв. АН СССР, сер. физ., **11**, § 5 (1947). ⁵ Н. Polley, Ann. d. Phys., **36**, 625 (1939). ⁶ Honda, Masumoto and Shirakawa, Sci Rep. Tôhoku Univ., **24**, 391 (1935). ⁷ Л. В. Киренский, ДАН, **64**, № 1 (1949). ⁸ Л. В. Киренский, Изв. АН СССР, сер. физ., **12**, № 2, 121 (1948). ⁹ Л. А. Шубина, ДАН, **57**, № 5 (1947).

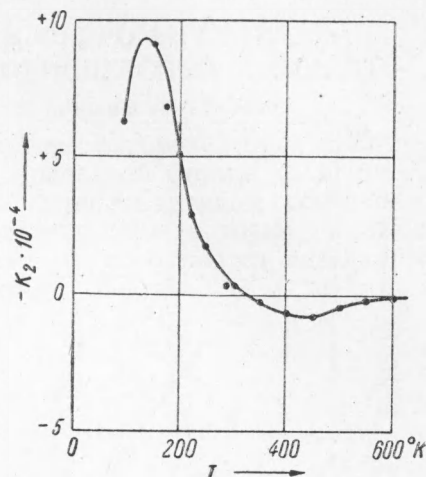


Рис. 3. Зависимость второй константы магнитной анизотропии никеля от температуры