

Л. В. КИРЕНСКИЙ

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ
ГИСТЕРЕЗИС МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ МЕТЕОРИТНОГО
ЖЕЛЕЗА**

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

Известны два случая, когда упавшие на землю метеориты оказывались довольно крупными монокристаллическими образованиями. Именно, метеорит „Браунау“ и метеорит „Богуславка“, упавший в 1916 г. близ Никольск-Уссурийска. Согласно данным академика В. Г. Хлопина, химический состав метеорита „Богуславка“ следующий: 94% Fe, 5,5% Ni, 0,5% Co.

Магнитные свойства этого чрезвычайно любопытного монокристалльного образования исследовались неоднократно.

Так, большое исследование было предпринято Н. С. Акуловым и Н. Л. Брюхатовым⁽¹⁾, которым, в частности, удалось установить, что кристалл обладает шестью направлениями легкого намагничивания, аналогично кристаллу железа. Методом, использованным в свое время Н. Л. Брюхатовым и Л. В. Киренским⁽²⁾, авторы нашли на монокристалльном шаре выходы осей легкого намагничивания и, ориентируя его в магнитном поле в плоскости (100), сняли кривую механических моментов с помощью структурного динамометра⁽³⁾.

Кривая механических моментов дала, как и следовало ожидать, картину, описываемую соотношением:

$$M = \frac{k}{2} \sin 4\varphi, \quad (1)$$

где M — величина механического момента, приложенного к монокристалльному шару, k — энергетическая константа магнитной анизотропии, φ — угол между направлением поля и одной из тетрагональных осей, лежащих в плоскости вращения шара.

Однако численного значения величины константы анизотропии авторы не дают, ссылаясь на недостаточную напряженность магнитного поля, имевшегося в их распоряжении.

Большой комплекс исследований, главным образом в слабых полях, магнитометрическим методом был проведен М. В. Дехтяром⁽⁴⁻⁶⁾.

В магнитной лаборатории Красноярского педагогического института автор⁽⁷⁾ предпринял в свое время исследование зависимости величины энергетической константы магнитной анизотропии от напряженности поля.

Результаты измерений как при комнатных температурах, так и при температуре жидкого кислорода показали рост величины меха-

нического момента M с увеличением напряженности магнитного поля.

Исследование проводилось на диске, вырезанном в плоскости (100) при $\varphi = 22,5^\circ$.

Величина $M = k/2$ с увеличением поля возрастала, так что для величины k оказалось справедливым соотношение

$$k = k_0 \left(1 - \frac{\alpha}{H} \right), \quad (2)$$

найденное еще в свое время Тарасовым⁽⁸⁾ для монокристаллов кремнистого железа.

В уравнении (2) k — константа анизотропии при данной напряженности поля H , k_0 — константа анизотропии в поле, равном бесконечности, α — некоторая постоянная.

Уравнение (2) оказалось справедливым в интервале полей от 10 000 до 30 000 Ое.

В настоящей работе экспериментально исследовалась температурная зависимость энергетической константы магнитной анизотропии монокристалла метеоритного железа „Богуславка“.

Образец представлял собой диск диаметром 0,627 см и толщиной 0,393 см. Магнитограмма механических моментов, снятых в функции угла между направлением вектора поля и некоторой произвольной осью, лежащей в плоскости диска, показывала, что диск вырезан в плоскости, близкой к плоскости (100). Действительно, данные, полученные на магнитограмме, были подвергнуты гармоническому анализу, что дало возможность магнитным методом⁽⁹⁾ определить ориентацию кристалла. Оказалось, что одна из тетрагональных осей составляет с нормалью к плоскости диска угол 13° .

Исследование производилось методом автоматической фотозаписи величины механических моментов, приложенных к образцу в однородном магнитном поле, с помощью анизометра Акулова.

Универсальная установка позволяла производить фотозапись механических моментов в функции угла между направлением магнитного поля и произвольной осью, проведенной в плоскости диска, а также в функции напряженности поля или в функции температуры при фиксированной ориентации.

Результаты исследований получились в виде магнитограмм. Магнитограмма температурной зависимости величины механического момента представлена на рис. 1.

Здесь по оси абсцисс, роль которой выполняет „нулевая“ линия (магнитограмма в отсутствие поля), отложено время, в течение которого происходит нагревание образца от температуры -183°C до точки Кюри. Плавная кривая представляет собою величину механического момента, приложенного к образцу. Ординаты на магнитограмме соответствуют температурам: -183°C , -150° , -100° , 0° и далее через каждые 50° вплоть до 800°C (последняя ордината).

Исследование проводилось в поле напряженностью 11 750 Ое, обеспечивающем магнитное „насыщение“ в исследуемой области температур.

Обработка магнитограммы в интервале от 0 до 550°K приводит к зависимости

$$k = k_0 e^{-aT^2}, \quad (3)$$

установленной в свое время Н. Л. Брюхатовым и автором⁽²⁾. Здесь k — константа анизотропии при данной температуре T , k_0 — константа анизотропии при абсолютном нуле, a — некоторая постоянная.

Факт справедливости соотношения (3) виден из данных обработки магнитограммы, приведенных на рис. 2.

Именно, если по оси абсцисс отложить T^2 , а по оси ординат $\log k$, то в интервале температур от 0 до 550°K мы получаем линейную зависимость.

Экстраполяцией на абсолютный нуль температуры находим значение $k_0 = 39 \cdot 10^4$.

При температурах выше 550°K наблюдаются отклонения от формулы (3), при температуре около 770°K константа анизотропии ме-

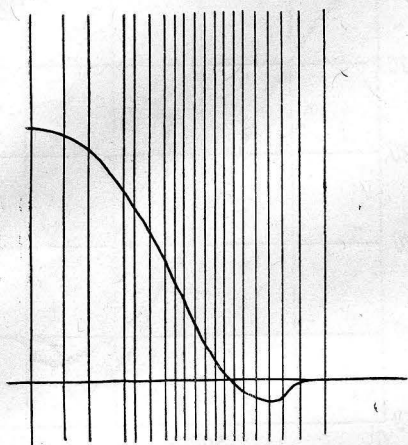


Рис. 1. Магнитограмма механического момента с изменением температуры

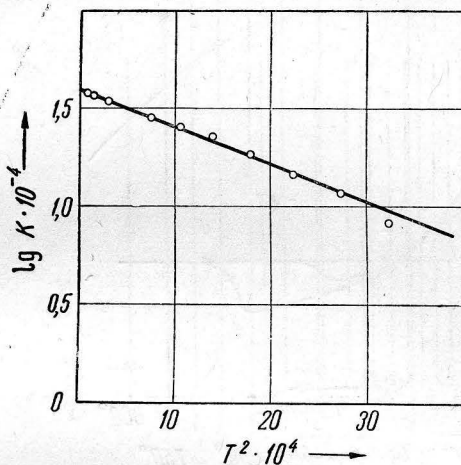


Рис. 2. Зависимость $\log(k \cdot 10^{-4})$ от $(T^2 \cdot 10^{-4})$

няет свой знак, становясь отрицательной, и в точке Кюри обращается в нуль.

При исследовании температурной зависимости константы анизотропии обнаружено явление температурного гистерезиса анизотропии, что ясно видно из магнитограммы рис. 3.

Здесь по оси абсцисс слева направо отложено время, в течение которого производилось нагревание образца, и справа налево — время охлаждения образца. Изменение константы анизотропии представлено на магнитограмме в виде кривой с меньшим отрицательным значением момента. Укороченные ординаты соответствуют в процессе нагревания температурам 200° , 250° и т. д. через 50° до 800°C . При охлаждении образца величина момента описывается кривой с большим отрицательным его значением; ординаты даны при 750° , 700° и т. д. через каждые 50° до 350°C .

Из магнитограммы следует, что как величина отрицательных значений константы анизотропии, так и температурные точки перехода этих значений через нуль при нагревании и охлаждении весьма различны. Именно, при нагревании переход через нуль происходит при температуре около 500°C и варьируется в пределах 70° . При охлаждении точка перехода лежит около 400°C . Максимум отрицательных значений константы анизотропии при нагревании соответствует температуре около 670°C и имеет численную величину, равную $-2,95 \cdot 10^4$ эрг/см³, тогда как в процессе охлаждения максимум отрицательных значений соответствует 600°C и имеет численное значение, равное $-8 \cdot 10^4$ эрг/см³.

На рис. 4 дана температурная зависимость константы анизотропии. Белые кружочки обозначают экспериментальные значения константы, соответствующие процессу нагревания, черные — процессу охлаждения. Точка, соответствующая $T=0$, получена методом экстраполяции. На рис. 4 явно видна температурная гистерезисная петля магнитной анизотропии, что, вообще говоря, и можно было ожидать, так как приведенный выше химический состав указывает на принадлежность исследуемого образца к разряду так называемых необратимых сплавов.

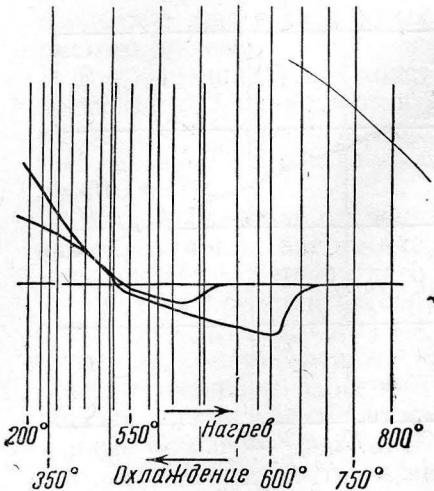


Рис. 3. Магнитограмма температурного гистерезиса механического момента

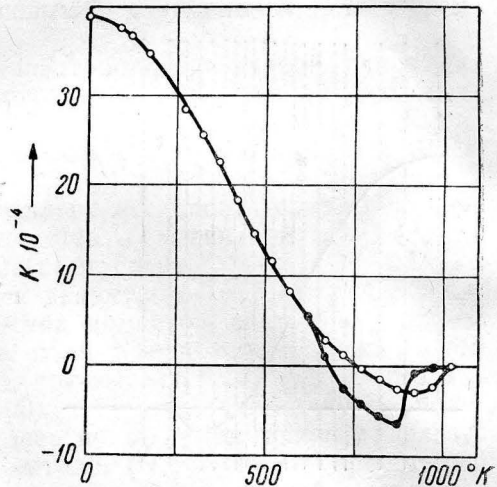


Рис. 4. Температурная зависимость энергетической константы магнитной анизотропии монокристалла метеоритного железа „Богуславка“

Следует также отметить несколько заниженные значения константы анизотропии для данного состава⁽¹⁰⁾, что мы склонны объяснить рентгенографически установленной медленной рекристаллизацией образца.

К сожалению, не представилось возможным определить наличие и роль константы k_2 , на изменение знака которой было указано Л. А. Шубиной⁽¹¹⁾.

Красноярский педагогический институт

Поступило
29 IX 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Акулов и Н. Л. Брюхатов, Метеоритика, в. 1, 23 (1941).
² Н. Л. Брюхатов и Л. В. Киренский, ЖЭТФ, 8, 198 (1938). ³ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ⁴ М. В. Дехтяр, ЖЭТФ, 8, 1124 (1938). ⁵ М. В. Дехтяр, ЖЭТФ, 9, 438 (1939). ⁶ М. В. Дехтяр и Н. И. Андрушин, ЖЭТФ, 10, 1402 (1940). ⁷ Л. В. Киренский, Изв. АН СССР, сер. физ., 12, № 2, 121 (1948). ⁸ L. P. Tarasow, Phys. Rev., 56, 1224 (1939). ⁹ H. Mussman и H. Schlechtweg, Ann. d. Phys., 32, 290 (1938). ¹⁰ С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. ¹¹ Л. А. Шубина, ДАН, 57, № 5 (1947).