

Т. Д. ЗОТОВ и Я. С. ШУР

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 16 VII 1952)

1. Как впервые наиболее четко экспериментально было показано Д. А. Гольдгаммером ⁽¹⁾, в области технического намагничивания электросопротивление ферромагнетика изменяется в магнитном поле, причем в продольном магнитном поле (поле параллельно току в образце) оно возрастает, а в поперечном (поле перпендикулярно току в образце) — убывает (эффект Гольдгаммера — Томсона). Однако в последние годы было обнаружено, что в некоторых ферромагнитных сплавах (трансформаторная сталь ⁽²⁾, никель — марганец ⁽³⁾, хромтеллур ⁽⁴⁾, высококоэрцитивные сплавы ⁽⁵⁾) этот эффект имеет отрицательный знак как в продольном, так и в поперечном магнитных полях*.

Теоретическое объяснение этой «аномалии» впервые было дано С. В. Вонсовским ⁽⁷⁾, показавшим, на основе анализа закона анизотропии четных эффектов Н. С. Акулова ⁽⁸⁾, что эта «аномалия» должна иметь место при определенном соотношении констант анизотропии эффекта Гольдгаммера — Томсона (K_i). Следуя Вонсовскому, для намагниченного до насыщения ферромагнитного поликристалла типа железа, при условии отсутствия магнитной текстуры, получаем следующие средние значения относительного изменения электросопротивления в продольном и поперечном магнитных полях:

$$\frac{\overline{\Delta R}_1}{R} = \frac{2}{5} \left(\frac{2}{3} K_1 + K_2 + \frac{4}{7} K_3 + \frac{1}{7} K_5 \right) + \frac{1}{5} K_3 = 2A + \frac{1}{5} K_3, \quad (1)$$

$$\frac{\overline{\Delta R}_\perp}{R} = -\frac{1}{5} \left(\frac{2}{3} K_1 + K_2 + \frac{4}{7} K_3 + \frac{1}{7} K_5 \right) + \frac{1}{5} K_3 = -A + \frac{1}{5} K_3. \quad (2)$$

Из сравнения уравнений (1) и (2), как показал С. В. Вонсовский, вытекает, что одинаковый отрицательный знак в продольном и поперечном полях должен иметь место при условии:

$$K_3 < 0, \quad |K_3| > 10A. \quad (3)$$

В настоящее время микроскопическая теория этого эффекта еще не получила достаточного развития, и поэтому с ее помощью невозможно вычислить константы K_i ⁽⁹⁾. Поэтому единственным способом определения величин K_i является непосредственное измерение эффекта на монокристаллах. При этом константы K_i можно определить из полярных диаграмм, дающих зависимость относительного изменения

* В сплаве марганец — сурьма была также обнаружена «аномалия»: эффект имеет одинаковый положительный знак в продольном и поперечном полях ⁽⁶⁾.

электросопротивления намагниченных до насыщения ферромагнитных монокристаллов от ориентации поперечного магнитного поля $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(\varphi)$.

Поэтому для однозначной проверки теоретических выводов Вонсовского необходимо произвести измерения на монокристаллах тех сплавов, которые обладают «аномальным» эффектом.

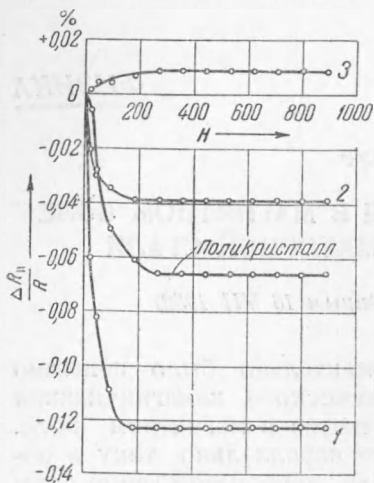


Рис. 1

рических стержней (диаметр 0,43—0,56 мм, длина 25—36 мм) и были получены из монокристаллических пластинок путем «вытачивания» электроискровым способом, позволившем избежать механической деформации образцов. Кристаллографическая ориентация исследуемых образцов определялась рентгенографическим (по Лауэ) и оптическим (10) методами. Кристаллографическая ориентация образцов была выбрана таким образом, что оси образцов 1, 2 и 3 близко совпадали, соответственно, с кристаллографическими осями [100], [110] и [111]. Электросопротивление измерялось с помощью малоомного компенсатора, в схему которого был включен высокочувствительный гальванометр, что обеспечивало точность измерений порядка 10^{-7} ом. Продольный эффект измерялся в соленоиде (в полях до ~ 900 эрст.), а поперечный — в электромагните (в полях до ~ 18100 эрст.). При измерениях поперечного эффекта образец монтировался в специальном приспособлении, позволяющем измерять эффект при вращении в монокристалле в зависимости от угла поворота φ , отсчитываемого от фиксированного направления. Измерения производились на трех указанных монокристаллических и на одном поликристаллическом образцах.

3. Результаты измерений представлены на рис. 1—3. Кривые 1, 2, 3 (рис. 1), снятые в продольном магнитном поле, соответственно относятся к монокристаллам 1, 2 и 3. Как видно из этих кривых $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(H)$,

в монокристаллах трансформаторной стали имеет место резкая анизотропия продольного эффекта Гольдгаммера — Томсона вплоть до различия знака эффекта вдоль различных кристаллографических направ-

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию эффекта Гольдгаммера — Томсона на монокристаллах трансформаторной стали (3,5% Si), обладающих указанной выше «аномалией» (2).

Целью исследования является установление закономерностей этого эффекта в данных монокристаллах, определение констант K_i из экспериментальных кривых и, путем подстановки K_i в неравенство (3), проверка правильности теории Вонсовского, объясняющей «аномалию» эффекта в ферромагнитных сплавах.

2. Исследуемые монокристалльные образцы имели правильную форму цилиндра

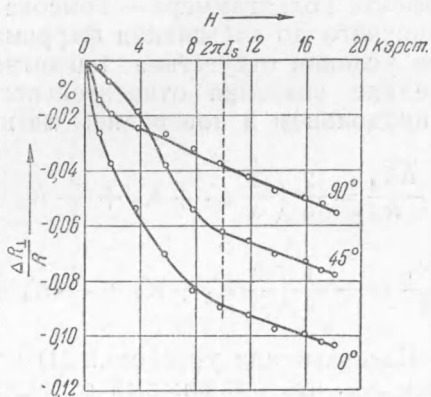


Рис. 2

лений. На рис. 2 приведены снятые в поперечном поле кривые $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(H)$ при трех значениях заданного угла φ , отсчитываемого от некоторого фиксированного направления. Из кривых рис. 2 видно, что в полях, превышающих размагничивающее поле $2\pi I_s \sim 10000$ эрст., величина $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(H)$ линейно убывает с полем и все кривые имеют одинаковый наклон.

Аналогичный ход кривых $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(H)$ был обнаружен и на других монокристаллах. На рис. 3 точками приведены результаты измерений зависимости $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}(\varphi)$ при постоянном поперечном поле ($H = 181000$ эрст.).

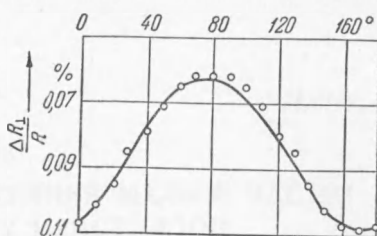


Рис. 3

Из разностей между поперечным эффектом $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}$ и продольным $\frac{\Delta R_{\parallel}}{R}$, чем исключается влияние исходного состояния ⁽¹¹⁾, вычислялись (по методу наименьших квадратов) пять констант анизотропии эффекта Гольдгаммера — Томсона, средние арифметические значения которых оказались следующими:

$$K_1 = -19,6 \cdot 10^{-4}, \quad K_2 = +6,5 \cdot 10^{-4}, \quad K_3 = -16,5 \cdot 10^{-4},$$

$$K_4 = +18 \cdot 10^{-4}, \quad K_5 = -17,9 \cdot 10^{-4}.$$

При подстановке полученных констант K_i в неравенства (3) получаем, что в случае трансформаторной стали эти неравенства выполняются. Рассчитанная с помощью этих констант кривая $\frac{\Delta R_{\perp}}{R}\varphi$ для монокристалла 2 представлена сплошной линией на рис. 3. Как видно из рис. 3, эта вычисленная кривая находится в хорошем согласии с экспериментальными точками.

4. На основании приведенных результатов измерений можно полагать, в полном соответствии с теоретическими выводами С. В. Вонсовского ⁽⁷⁾, что причиной «аномального» эффекта Гольдгаммера — Томсона, наблюдаемого на ряде сплавов, является определенное соотношение знаков и абсолютных величин констант анизотропии данного эффекта. Следовательно, в зависимости от электронной и кристаллографической структуры ферромагнетика может иметь место тот или иной знак эффекта Гольдгаммера — Томсона.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
9 III 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. А. Гольдгаммер, Журн. Русск. физ.-хим. об-ва, 19, 145 (1887); Уч. зап. МГУ, в. 8 (1888). ² В. И. Дрожжина, Я. С. Шур, ДАН, 58, 1017 (1948). ³ А. П. Комар, И. И. Портнягин, ДАН, 60, 569 (1948). ⁴ И. Г. Факидов, Н. П. Гражданкина, А. К. Кикоин, ДАН, 68, 491 (1949). ⁵ В. И. Дрожжина, Я. С. Шур, ЖТФ, 18, 149 (1948). ⁶ И. Г. Факидов, Н. П. Гражданкина, ДАН, 66, 847 (1949). ⁷ С. В. Вонсовский, ЖТФ, 18, 145 (1948). ⁸ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ⁹ С. В. Вонсовский, К. П. Родионов, ДАН, 75, 643 (1950). ¹⁰ Э. С. Яковлева, ЖТФ, 9, 1281 (1939). ¹¹ W. Döring, Ann. d. Phys. (5), 32, 259 (1938).