

Д. И. ВОЛКОВ и В. И. ЛЕОНТЬЕВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СПЛАВОВ МАРГАНЕЦ — ОЛОВО

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 5 V 1954)

Теория четных эффектов Н. С. Акулова⁽¹⁾ приводит к количественным соотношениям, устанавливающим связь между величинами продольного и поперечного четных эффектов; именно, при техническом насыщении поперечный эффект имеет знак, противоположный знаку продольного, и по абсолютной величине в 2 раза меньше последнего (второе правило четных эффектов). В частности, для магнитострикционных явлений второе правило четных эффектов имеет вид

$$\lambda_{\perp} = -\frac{1}{2}\lambda_{\parallel}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\parallel}$ и $\lambda_{\perp}$ — магнитострикция насыщения λ_s , измеренная, соответственно, в направлении **H** (продольная магнитострикция) и перпендикулярно **H** (поперечная магнитострикция). Некоторые отступления от второго правила четных эффектов могут быть обусловлены, как указывается в теории, наличием магнитной и кристаллографической текстуры, а также влиянием объемных эффектов при техническом намагничении. Экспериментальные исследования магнитострикционных явлений показывают, что для ряда ферромагнетиков второе правило четных эффектов с достаточным приближением выполняется^(2, 3). Наличие магнитной текстуры в образцах действительно приводит к отступлениям от второго правила четных эффектов (1). Однако различие в знаках $\lambda_{\parallel}$ и $\lambda_{\perp}$ в этом случае сохраняется⁽²⁾.

Сравнительно немногочисленные данные об объемном магнитострикционном эффекте в ферромагнетиках указывают на то, что объемная магнитострикция $\delta v/v$ при техническом намагничении обычно крайне мала (для Ni и Co, например, $\delta v/v$ при насыщении равно $\approx 1 \cdot 10^{-6}$). Казалось поэтому, что во всех ферромагнитных металлах и сплавах объемные магнитострикционные эффекты в области технического намагничения могут вызывать лишь некоторые незначительные количественные отступления от второго правила четных эффектов (1).

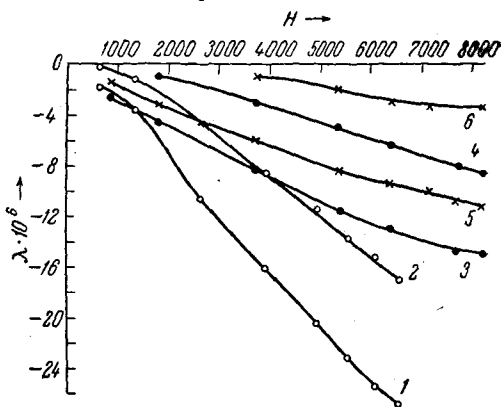


Рис. 1. 1, 3, 5 — $\lambda_{\parallel}$; 2, 4, 6 — $\lambda_{\perp}$. 1 и 2 — 42% Мп, остальное Sn; 3 и 4 — 45% Мп, остальное Sn; 5 — 6 — 48% Мп, остальное Sn

Различие в знаках $\lambda_{||}$ и $\lambda_{\perp}$, требуемое теорией, не должно при этом нарушаться. Исследование, проведенное нами на сплавах Мп—Sn, результаты которого даны ниже, однако, показывает, что для этих сплавов имеют место иные закономерности. Действительно, для сплавов Мп—Sn знаки продольной и поперечной магнитострикции, измеренной

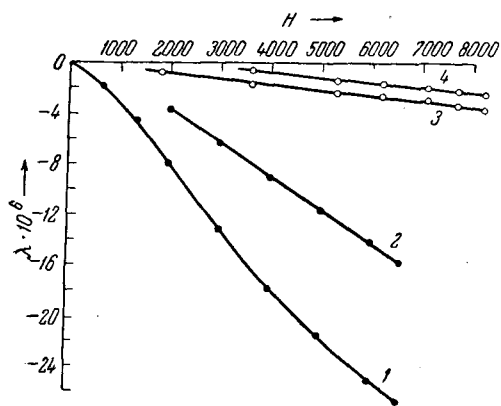


Рис. 2. 42% Мп. 1 и 3 — $\lambda_{||}$; 2 и 4 — $\lambda_{\perp}$.
1 и 2 — $t_1 = -195^\circ$; 3 и 4 — $t_2 = -78^\circ$.

в области технического намагничивания, оказываются не различными, как требуется теорией, а одинаковыми ($\lambda_{||} < 0$ и $\lambda_{\perp} < 0$). В этом смысле сплавы Мп—Sn обладают аномальными магнитострикционными свойствами. Исследование проводилось на сплавах, близких по составу к Mn_2Sn . Эти сплавы, как показали наши измерения, в согласии с данными Поттера (4), неферромагнитны при комнатных температурах; при низких же температурах (-195°) имеют намагниченность в сильных полях, близкую к намагниченности Ni. Магнитострикция сплавов Мп—Sn до сих пор, насколько известно, не изучалась.

Магнитострикция измерялась методом проволочных тензометров, применявшимся и ранее для этих целей Н. С. Акуловым и Д. И. Волковым (5, 6).

Данные измерений магнитострикции при температуре -195° для трех сплавов системы Мп—Sn (42, 45 и 48 вес. % Мп, остальное Sn) представлены на рис. 1. Как видно, для всех трех сплавов наблюдается характерная особенность, отмеченная выше, а именно, их продольная ($\lambda_{||}$) и поперечная ($\lambda_{\perp}$) магнитострикции имеют один и тот же (отрицательный) знак во всем исследованном интервале полей до поля $H = 8500$ эрст., близкого к полю насыщения. Величина магнитострикции уменьшается с увеличением содержания Мп в сплаве. Она имеет наибольшее значение для сплава, содержащего 42% Мп; в полях $H = 8500$ эрст. $\lambda_{||}$ близка по величине к λ_s никеля ($\lambda_{||} = -27 \cdot 10^{-6}$). То обстоятельство, что продольная и поперечная магнитострикции в указанных сплавах оказываются одного знака, указывает на наличие значительной величины объемных эффектов при техническом намагничении.

Следует иметь в виду, что объемные магнитострикционные эффекты в ферромагнетиках могут быть обусловлены, как известно, и изменением спонтанной намагниченности (пара-процесс). Однако объемная магнитострикция при этом является положительной (3, 7). Далее, объемная магнитострикция пара-процесса с приближением к точке Кюри, естественно, растет. Для исследованных нами сплавов закономерности оказываются другими, а именно, объемная магнитострикция имеет

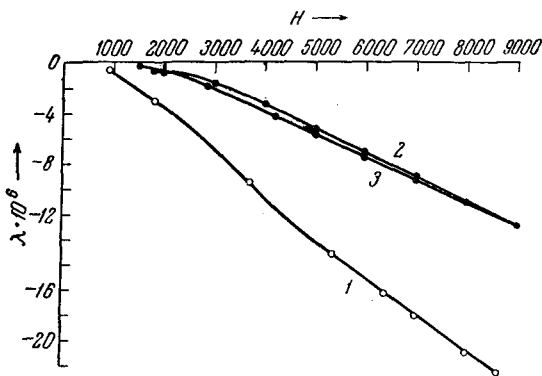


Рис. 3. 1 — $\lambda_{||}$; 2 — $\lambda_{\perp}^{(1)}$; 3 — $\lambda_{\perp}^{(2)}$.

отрицательный знак и с повышением температуры уменьшается по величине (см. рис. 2). Таким образом, наблюдаемые нами объемные магнитострикционные эффекты в сплавах Mn — Sn не могут быть связаны с явлением пара-процесса.

В целях оценки величины магнитострикции, обусловленной объемным эффектом, из сплава Mn — Sn, содержащего 42% Mn, был изготовлен кубик (с ребром $a = 13,8$ мм), по трем граням которого наклеивались проволочные тензометры во взаимно-перпендикулярных направлениях. На рис. 3 дана (при $t = -195^\circ$) для такого кубика продольная магнитострикция $\lambda_{||}$ и поперечные магнитострикции $\lambda_{\perp}^{(1)}$ и $\lambda_{\perp}^{(2)}$, измеренные в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, а на рис. 4 — магнитострикция, обусловленная объемным эффектом, при $t_1 = -195^\circ$ и $t_2 = -78^\circ$. В последнем случае все три тензометра (датчика) при измерении были соединены последовательно между собой. Эти измерения с большой определенностью показывают, что, действительно, объемные магнитострикционные эффекты в сплавах Mn — Sn имеют значительную величину (при $H = 9000$ эрст. $\lambda_v = -17 \cdot 10^{-6}$).

Теория четных эффектов дает возможность установить некоторые количественные соотношения для закономерностей магнитострикционных явлений, которые нами наблюдаются на сплавах Mn — Sn. Действительно, из закона анизотропии Акулова ⁽¹⁾, при учете тензора магнитострикции высшего порядка после усреднения непосредственно получается:

$$\lambda_{||} = \frac{2}{5} \left(\frac{2}{3} x_1 + x_2 + \frac{4}{7} x_4 + \frac{1}{7} x_5 \right) - \frac{2}{15} x_3, \quad (2)$$

$$\lambda_{\perp} = -\frac{1}{5} \left(\frac{2}{3} x_1 + x_2 + \frac{4}{7} x_4 + \frac{1}{7} x_5 \right) - \frac{1}{15} x_3, \quad (3)$$

где x_i — константы магнитострикции (кубического) кристалла; x_3 — константа объемной магнитострикции; $\lambda_{||}$ и $\lambda_{\perp}$ — продольная и поперечная магнитострикции насыщения поликристалла.

При $x_3 = 0$ из (2) и (3) непосредственно следует (1). Однако, если положить, следуя С. В. Вонсовскому ⁽⁸⁾, что $x_3 \neq 0$ и имеют место неравенства, а именно

$$x_3 > 0; |x_3| > 3 \left| \frac{2}{3} x_1 + x_2 + \frac{4}{7} x_4 + \frac{1}{7} x_5 \right|,$$

то $\lambda_{||}$ и $\lambda_{\perp}$ будут иметь одинаковые (отрицательные) знаки.

Научно-исследовательский
институт физики
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 IX 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ² Д. И. Волков, Уч. зап. МГУ, № 6 (1952). ³ Д. И. Волков, В. В. Зубов, ДАН, 71, № 5 (1950). ⁴ N. Potter, Phil. Mag., 12, 255 (1931). ⁵ Н. С. Акулов, Д. И. Волков, Вестн. МГУ, № 6 (1950). ⁶ Д. И. Волков, В. И. Скоробогатов, ЖТФ, 20, в. 9 (1950). ⁷ К. П. Белов, Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 1952. ⁸ С. В. Вонсовский, ЖТФ, 18, в. 2 (1948).

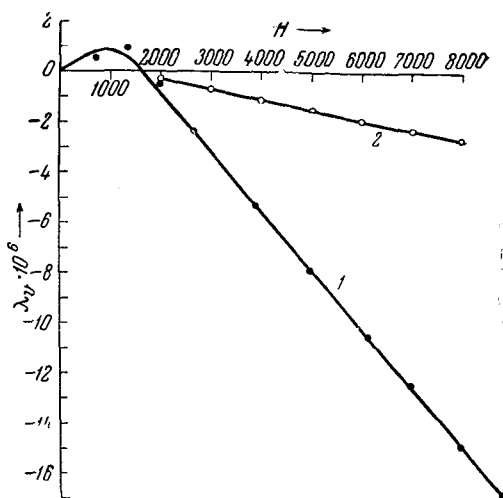


Рис. 4. 1 — $t_1 = -195^\circ$; 2 — $t_2 = -78^\circ$