

И. М. КИРКО

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРРОМАГНЕТИКА И ПОЛОСЫ МАГНИТНОЙ ДИСПЕРСИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 11 XI 1947)

Для объяснения уменьшения магнитной проницаемости с периодом магнитного поля В. К. Аркадьев в 1931 г. высказал гипотезу ⁽¹⁾ о возможном влиянии поверхностной неоднородности ферромагнетика, которая при сильном скин-эффекте может затруднять прохождение магнитного потока. Для подтверждения этой мысли В. К. Аркадьев предлагает измерять в переменном поле продольную проницаемость гладких стержней и стержней, покрытых винтовой резьбой ⁽²⁾.

Этот же опыт может служить иллюстрацией к другой гипотезе В. К. Аркадьева о причине исчезновения магнитных свойств при высокой частоте, в основе которой лежит представление о доменной структуре ферромагнетика ⁽³⁾: магнитные свойства сильно уменьшаются, когда глубина проникания z_1 электромагнитной волны в металл делается сравнимой с размерами доменов.

Для выполнения указанного опыта были изготовлены цилиндрические стержни, половина длины которых покрывалась резьбой, после чего они подвергались продолжительному отжигу. Вдоль стержней перемещался соленоид, сопротивление и индуктивность которого измерялись мостиком Максвелла на диапазоне частот от 50 до 15 000 герц. Производилось исследование отношений эффективных проницаемостей нарезанной и гладкой частей стержня μ_{1p}/μ_1 и μ_{2p}/μ_2 , где μ_{1p} и μ_{2p} — консервативная и консумптивная эффективные проницаемости нарезанной части, а μ_1 и μ_2 — соответствующие величины для гладкой части.

Их значения очевидны из выражения средней по сечению индукции

$$\bar{B} = \mu_1 H_0 \cos \omega t + \mu_2 H_0 \sin \omega t.$$

Из выражений для эквивалентной глубины проникновения электромагнитного процесса в металл

$$z_1 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{T}{\mu_k \sigma}}$$

и консумптивной эффективной проницаемости

$$\mu_2 = \frac{c}{2\pi r} \sqrt{\frac{\mu_k T}{\sigma}}$$

получим формулу для определения z_1 :

$$z_1 = \frac{c^2}{4\pi^2 r \sigma} \frac{\Gamma}{\mu_2}.$$

В интервале частот, при которых соблюдается неравенство

$$1,5 \geq \frac{z_1}{d} \geq 0,3,$$

где d — глубина канавки резьбы, при измерениях получалось соотношение

$$\frac{\mu_{1p}}{\mu_1} < \frac{\mu_{2p}}{\mu_2} < 1. \quad (1)$$

При этом наблюдалось одновременное уменьшение обоих отношений до величин порядка 0,5—0,6.

При переходе в область более высоких частот наблюдалось обратное неравенство

$$\frac{\mu_{2p}}{\mu_2} < \frac{\mu_{1p}}{\mu_1} < 1 \quad (2)$$

с одновременным увеличением обоих отношений до величин порядка 0,8—0,9.

Такое поведение обоих отношений позволяет сделать вывод, что спад магнитной проницаемости реальных ферромагнетиков нельзя объяснить какими-либо поверхностными изъянами и непроводящими включениями.

Для изучения влияния одних только магнитных неоднородностей в поверхностном слое при сохранении однородной электрической проводимости были проведены измерения с винтами, канавки которых заполнены сплавом олова и свинца с удельным электрическим сопротивлением, равным удельному сопротивлению образца. При этом наблюдается значительное усиление неравенства (1), сопровождающееся уменьшением обоих отношений до величин порядка 0,25—0,3.

При более высоких частотах также оказывалось действительным неравенство (2), но сила его была значительно ослаблена, и для образцов с прямоугольной формой резьбы отношения возрастали с частотой до величин, не превышавших 0,35—0,4.

Так как электропроводность образцов в этом случае мы можем считать по всему сечению одинаковой, то, имея в виду, что (4)

$$\mu_1 = \frac{\sqrt{\mu_n}}{2 z_1}, \quad \mu_2 = \frac{\sqrt{\mu_k}}{2 z_1},$$

можно принять

$$\frac{\mu_{1p}}{\mu_1} = \sqrt{\frac{\mu_{np}}{\mu_n}}, \quad \frac{\mu_{2p}}{\mu_2} = \sqrt{\frac{\mu_{kp}}{\mu_k}}, \quad (3)$$

где μ_{np} и μ_{kp} — кажущиеся консервативная и консумптивная проницаемости вещества нарезанной части, а μ_n и μ_k — реально существующие проницаемости ферромагнитного материала, из которого изготовлен образец.

Введя определение модельной проницаемости $\mu_{км}$ и $\mu_{нм}$ с помощью соотношений:

$$\mu_{км} = 100 \frac{\mu_{kp}}{\mu_k}, \quad \mu_{нм} = 100 \frac{\mu_{np}}{\mu_n}, \quad (4)$$

которые при условии независимости проницаемости материала образца от частоты пропорциональны $\mu_{кр}$ и $\mu_{лр}$, получим на основании (3) и (4) выражения:

$$\mu_{лм} = \sqrt{\mu_{км} \mu_{лм}} = 100 \left(\frac{\mu_{1р}}{\mu_1} \cdot \frac{\mu_{2р}}{\mu_2} \right), \quad (5)$$

$$\rho_{лм}' = \frac{\mu_{км} - \mu_{лм}}{2} = 50 \left(\frac{\mu_{2р}^2}{\mu_2^2} - \frac{\mu_{1р}^2}{\mu_1^2} \right). \quad (6)$$

На рис. 1 представлены кривые для величин $\mu_{лм}$ и $\rho_{лм}'$, полученные для образца диаметром 7 мм из стали 35, с треугольной резьбой, с шагом 1 мм и глубиной канавки 0,66 мм, которая заполнена сплавом

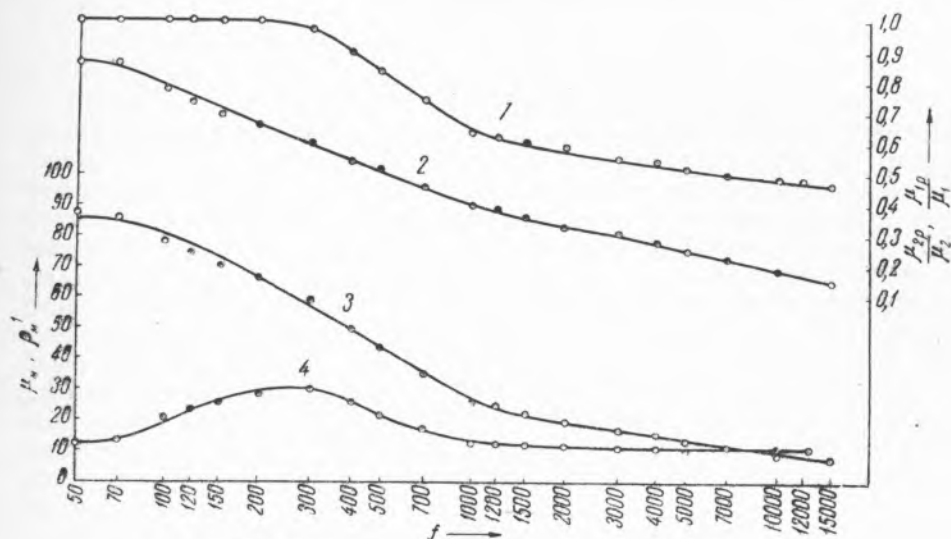


Рис. 1. 1 — $\mu_{2р}/\mu_2$; 2 — $\mu_{1р}/\mu_1$; 3 — μ_m ; 4 — ρ_m'

15,5% олова и 84,5% свинца. Сплав и ферромагнитный материал образца имеют почти одинаковое удельное сопротивление — около $0,20 \Omega \text{ мм}^2/\text{м}$.

В верхней части графика приведены кривые зависимости отношений $\mu_{1р}/\mu_1$ и $\mu_{2р}/\mu_2$ от частоты, на основе которых построены кривые μ_m и ρ_m' .

Максимум ρ_m' наблюдается при частоте 280 герц, что соответствует отношению $z_1/d = 0,41$.

Эти результаты подтверждают возможность объяснения полосы магнитной дисперсии влиянием магнитной неоднородности металла, указанным В. К. Аркадьевым (1-3).

Латвийский государственный
педагогический институт
Рига

Поступило
11 XI 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Arkadiew, Ann. d. Phys. 11, 406 (1931). ² В. К. Аркадьев, Сб. Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики, изд. АН СССР, М., 1946, стр. 20.
³ В. К. Аркадьев, ДАН, 2, 204 (1935). ⁴ В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, ч. II, М., 1936, стр. 108 и 111.