

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ВДОЛЬ ПОЛОГО СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ, НАМАГНИЧЕННОГО В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Ф. Матюк, д-р техн. наук, А.А. Осипов, канд. техн. наук,
А.В. Стрелюхин, канд. техн. наук
Институт прикладной физики НАН Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)

Распределение остаточной магнитной индукции вдоль полого цилиндрического ферромагнитного стержня круглого сечения, намагниченного в разомкнутой магнитной цепи однородным постоянным магнитным полем, представляет интерес при расчете и проектировании различных устройств радио- и электротехники, измерительной техники и неразрушающего контроля.

Характер этого распределения зависит от размеров стержня, магнитных свойств его материала и от величины поля, в котором стержень был намагничен. Строгое решение этой задачи возможно только численными методами. Однако для практического применения необходимо иметь аналитическое выражение, позволяющее рассчитать усредненное по поперечному сечению распределение продольной составляющей остаточной магнитной индукции вдоль поверхности полого стержня.

Подобные выражения в литературе отсутствуют, а имеющаяся формула для сплошных стержней дает большую погрешность, так как не учитывает толщину стенки полого стержня.

Проведя многочисленные измерения на магнитоизмерительной установке УИМХ [1] и численный расчет величины остаточной магнитной индукции B_r и взяв за основу предложенное авторами ранее выражение для распределения магнитной индукции B полого стержня в приложенном магнитном поле, нами получено новое выражение для расчета распределения относительной величины остаточной магнитной индукции B_r/B_{r0} .

$$\frac{B_r}{B_{r0}} = 1 - \frac{\left(\frac{2z}{L}\right)^2}{1 + \frac{1,7}{\lambda} + \frac{0,25}{1 + \frac{100}{\lambda}}} \left[1 - \frac{1 - \left(\frac{2z}{L}\right)^4}{1 + \left(\frac{1}{\frac{4\lambda\mu_0}{\sqrt{\rho\epsilon - \rho}} + \frac{2,4 \cdot 10^{-5} \lambda^2 B_r^M}{\rho\epsilon - \rho} H_{cs}} \cdot \left(\frac{B_r^M}{H_{cs}} + \frac{4B^M}{H_{вш}} \right) \right)^2} \right],$$

где B_{r0} – величина остаточной магнитной индукции в центральном поперечном сечении стержня;

B^M и B_r^M – магнитная индукция и остаточная магнитная индукция материала стержня в замкнутой магнитной цепи при поле, равном $H_{вщ}$; H_{cs} – коэрцитивная сила материала стержня;

z – расстояние от центрального поперечного сечения до рассматриваемой точки;

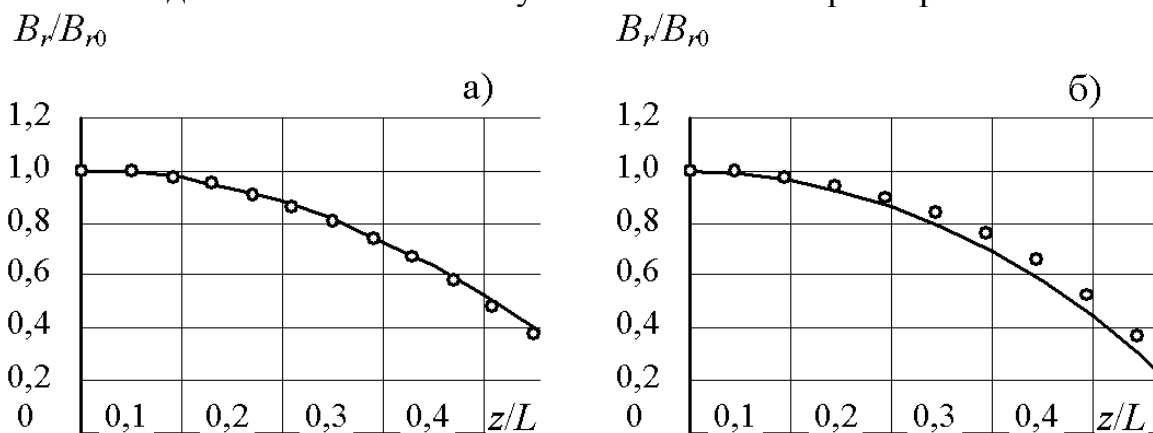
$\lambda = L/(2R_2)$ – относительная длина стержня;

$\rho = (R_2 - R_1)/R_2$ – относительная толщина стенки стержня; L – длина стержня;

R_1 и R_2 – соответственно внутренний и внешний радиусы стержня; μ_0 – магнитная постоянная.

Расчет по предложенной формуле сравнивался с результатами эксперимента и численного расчета, проведенных на полых стержнях с λ от 2 до 200 и ρ от 0,1 до 0,9 для материалов с H_{cs} , равной 160, 724 и 3000 А/м при величинах напряженности намагничивающего поля от 500 до 40000 А/м.

Анализ полученных результатов показал, что предложенная формула описывает распределение относительной величины остаточной индукции практически во всем диапазоне изменения указанных выше параметров.



○ – эксперимент и численный расчет; — расчет по формуле

а: $\lambda = 5$; $\rho = 0,1$; $H_{cs} = 160$ А/м; $H_{вщ} = 500$ А/м;

б: $\lambda = 20$; $\rho = 0,9$; $H_{cs} = 3000$ А/м; $H_{вщ} = 40000$ А/м

Рисунок – Распределение остаточной магнитной индукции

Основное отличие результатов расчета и эксперимента обнаружено для стержней с $\lambda \geq 50$ при $z > 0,25$, причем с ростом H_{cs} это отличие усиливается. Некоторое отличие наблюдается и для стержней с $\lambda=2$ из разных материалов для всех величин ρ при величинах намагничивающего поля от $H_{вщ} = 500$ до 10000 А/м.

Литература

1. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Установка УИМХ для измерения магнитных характеристик магнитомягких материалов и изделий / В.Ф. Матюк, А.А. Осипов // Дефектоскопия. – 2007. – № 3. – С. 12–25.