

УДК 620.179.14
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ВДОЛЬ
ФЕРРОМАГНИТНОГО СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

В.Ф. МАТЮК, А.А. ОСИПОВ, А.В. СТРЕЛЮХИН

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В различных устройствах радио- и электротехники, измерительной техники и неразрушающего контроля используются ферромагнитные сердечники в виде стержней круглого сечения. Знание распределения остаточной магнитной индукции вдоль их длины является весьма актуальной задачей при расчете и проектировании таких устройств.

Характер распределения остаточной магнитной индукции вдоль стержня зависит от его размеров, магнитных свойств материала, из которого стержень изготовлен, и от величины внешнего поля, в котором он был намагничен. Однако систематизированные экспериментальные данные, характеризующие это распределение, весьма немногочисленны, а известная формула для расчета распределения остаточной магнитной индукции представляет собой степенной ряд относительно координаты рассматриваемой точки, в котором коэффициент разложения определяется по результатам измерения остаточной магнитной индукции в центральном и торцевом сечениях стержня. Эта формула характеризуется низкой точностью вследствие использования только одного члена степенного ряда и необходимостью определять ее коэффициент для каждого значения соотношения между длиной и диаметром стержня в зависимости от магнитных свойств его материала и величины магнитного поля, в котором стержень находился.

В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований распределения относительной величины продольной составляющей вектора остаточной магнитной индукции в цилиндрических стержнях круглого сечения после их намагничивания однородным постоянным магнитным полем в разомкнутой магнитной цепи, на основе которых предложена и экспериментально проверена новая формула, учитывающая магнитные характеристики материала стержня, его размеры и величину намагничивающего поля.

Исследования проводились на образцах с относительной длиной $\lambda = L/(2R)$ (L – длина стержня, R – радиус стержня) от 2 до 200 и коэрцитивной силой H_{cs} материала, равной 160, 724 и 3000 А/м. Ввиду трудностей изготовления стержней некоторых размеров вместо экспериментальных измерений был выполнен численный расчет.

Измерения остаточной магнитной индукции проводили на магнитоизмерительной установке УИМХ при величинах напряженности $H_{вн}$ намагничивающего поля от 500 до 40000 А/м. Направление этого поля совпадало с продольной осью стержня, а его неоднородность в рабочей

области намагничивающего соленоида ($10 \times 20 \times 200 \text{ мм}^3$) не превышала 1 %. Измерительная катушка имела длину 2 мм, число витков 80 и могла передвигаться вдоль стержня с точностью 0,5 мм.

В результате установлено, что для стержней в диапазоне изменения λ от 2 до 20 в полях напряженностью от 500 до 40000 А/м характер распределения относительной величины магнитной индукции имеет параболический вид и практически не зависит от магнитных свойств материала.

При увеличении длины стержня (λ равно 50 и 100) с ростом величины коэрцитивной силы наблюдается некоторое расширение протяженности центральной области, причем эта зависимость проявляется для всех величин намагничивающего поля и наиболее выражена для материала с большей величиной коэрцитивной силы. Такие же закономерности справедливы и для образцов с $\lambda = 200$, однако следует отметить, что характер распределения относительной величины индукции для стержней с $H_{cs} = 3000 \text{ А/м}$ имеет уже П-образную форму.

На основе анализа полученных экспериментальных данных, результатов численного расчета и представления Вюршмидта для распределения намагниченности сплошного стержня круглого сечения в виде степенного ряда (с корректировкой Бурцева), нами предложено новое выражение для практических расчетов распределения остаточной магнитной индукции B_r относительно ее величины B_{r0} в центральном поперечном сечении стержня круглого сечения вдоль его продольной оси с учетом размеров стержня, магнитных характеристик его материала и величины внешнего намагничивающего поля:

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

где B^M – магнитная индукция материала стержня в замкнутой магнитной цепи при поле, равном $H_{вш}$; B_r^M – остаточная магнитная индукция материала стержня после выключения внешнего магнитного поля замкнутой магнитной цепи, равного по величине $H_{вш}$; μ_0 – магнитная постоянная.

Расчет по предложенному выражению в исследуемом диапазоне изменений длины стержня, коэрцитивной силы материала и внешнего намагничивающего поля согласуется с результатами эксперимента и численного расчета с приемлемой для практических расчетов точностью.