

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ
В ДВУХСЛОЙНОМ ФЕРРОМАГНИТНОМ СТЕРЖНЕ

А. А. ОСИПОВ, А. В. СТРЕЛЮХИН

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

В различных областях техники широкое применение получили изделия, имеющие слои с различными эксплуатационными свойствами. Контроль таких изделий неразрушающими методами является важной задачей для производства. Магнитный метод часто применяется для контроля толщины и качества дополнительного слоя.

Настоящая работа посвящена моделированию магнитного состояния ферромагнитного стержня круглого сечения, имеющего двухслойную ферромагнитную структуру, переманичиваемого в однородном квазистатическом магнитном поле. Исходными параметрами являются размеры стержня, соотношение между толщинами основного и дополнительного слоев, магнитные характеристики материала каждого из слоев и величина намагничивающего поля, создаваемого внешним источником.

Методика численного расчета основана на методе пространственных интегральных уравнений. При этом используется интегральное выражение напряженности магнитного поля или магнитной индукции через намагниченность элементов магнитной системы [1]. Выбор этого метода обусловлен простотой ввода магнитных характеристик материала для разных областей, а также возможностями ограничить область расчета только объемом ферромагнетика и отказаться от задания граничных условий.

При построении модели приняты следующие допущения: между слоями с различными магнитными свойствами отсутствует переходная область [2], в исходном состоянии стержень размагничен, а ферромагнитный материал считается изотропным в пределах элемента разбиения.

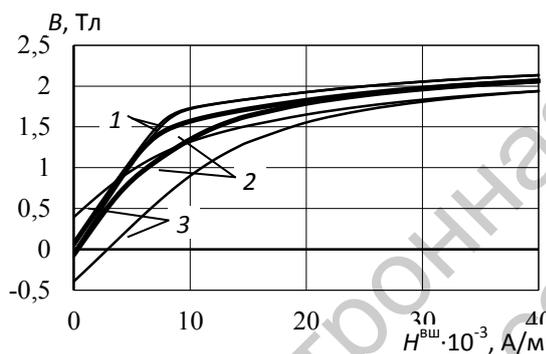
При решении использовалась дискретная математическая модель ферромагнетика с кусочно-постоянной аппроксимацией вектора намагниченности по объему в элементах разбиения. Распределение вектора намагниченности в стержне определялось итерационным методом и считалось найденным, когда изменение всех его компонент в каждом элементе разбиения не превышало заданного значения. Используя полученные величины, можно определить распределение вектора магнитной индукции, создаваемого намагниченностью в заданной области вне стержня.

Магнитные характеристики материала для каждого из слоев вводились в задачу с помощью аппроксимирующих выражений для основной кривой намагничивания и ветвей петли магнитного гистерезиса [3].

Расчеты проводились на ферромагнитных стержнях длиной от 20 до 200 мм и радиусом 5 мм. Величина намагничивающего поля $H_m^{вн}$ изменялась от 500 до 40000 А/м, а его направление совпадало с продольной осью стержня. Магнитные характеристики материала основного и дополнительного слоев существенно отличались. Их коэрцитивные силы H_{cs} имели значения, равные 150 А/м и 3120 А/м соответственно.

При моделировании толщина h дополнительного слоя, находящегося на внешней поверхности стержня, изменялась от 0 до значения радиуса. В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости величины магнитной индукции в центральном сечении цилиндрического стержня длиной 200 мм и радиусом 5 мм от изменения величины магнитного поля $H^{вн}$ при разных значениях толщины основного и дополнительного слоев. На рис. 2 для стержня с толщиной дополнительного слоя $h = 1$ мм показано изменение ширины петли гистерезиса ΔB в зависимости от величины магнитного поля $H^{вн}$.

Таким образом, разработанная методика может быть использована при моделировании магнитного состояния объектов с двухслойной ферромагнитной структурой.



h , мм: 1 – 0, 2 – 1, 3 – 5
Рис. 1. Зависимость B от $H^{вн}$

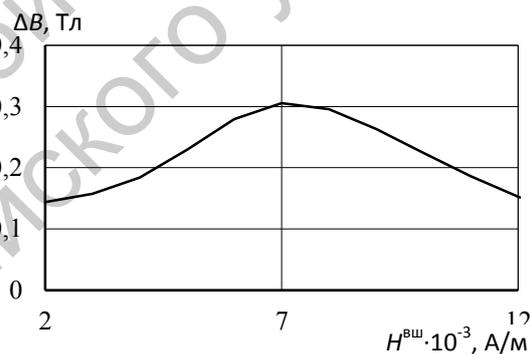


Рис. 2. Зависимость ΔB от $H^{вн}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов, П. А. Численный расчет электромагнитных полей / П. А. Курбатов, С. А. Аринчин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
2. Михеев, М. Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. :Наука,1993. – 252 с.
3. Матюк ,В. Ф. Математическая модель намагничивания ферромагнетиков / В. Ф. Матюк, А. А. Осипов // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48. – № 2. –С. 52–55.