

УДК 620.179.14
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО МАГНИТНОГО
СОСТОЯНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО ДИСКА

А. А. ОСИПОВ, А. В. СТРЕЛЮХИН
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Решение многих задач магнитного контроля связано с необходимостью знать распределение остаточного магнитного поля в объекте контроля и вне его. Наличие нелинейной зависимости между напряженностью внешнего поля и магнитными характеристиками ферромагнитного материала, сложный характер перераспределения намагниченности в реальных объектах, зависящий от размеров изделия, свойств его материала, а также от величины и конфигурации внешнего поля не позволяют решить задачу «намагничивающая система – объект контроля» аналитически. Эти трудности преодолеваются путем численного моделирования.

Расчет любой магнитной системы в задачах такого класса строится относительно формальных источников поля, анализируемых на макроскопическом уровне. Широкое распространение при решении квазистатических задач получил интегральный метод расчета, в котором используются промежуточные параметры поля – скалярный или векторный потенциал.

В настоящей работе в качестве методики численного расчета остаточного магнитного состояния ферромагнитного диска положен метод пространственных интегральных уравнений, основанный на общем интегральном выражении напряженности поля или магнитной индукции через намагниченность элементов магнитной системы

$$\frac{\vec{M}(Q)}{\chi(H(Q))} = -\frac{1}{4\pi} \text{grad}_Q \int_{V_M} \vec{M}(P) \text{grad}_P \left\{ \frac{1}{|r_{PQ}|} \right\} dV_P + \vec{H}^{\text{вн}}(Q), \quad (1)$$

где P – точка источника поля, Q – точка наблюдения, $\vec{H}^{\text{вн}}(Q)$ – напряженность магнитного поля, создаваемая внешним источником; χ – магнитная восприимчивость; $\vec{M}(P)$ – вектор намагниченности материала в точке P ; V_M – объем ферромагнетика; \vec{r}_{PQ} – радиус-вектор из точки P в точку Q .

Применение этого метода для решения различных задач, его достоинства и недостатки, показаны в многочисленных работах, например [1, 2]. Связь между векторами, характеризующими магнитное поле в

ферромагнетике задается на основе аппроксимирующих выражений, описывающих основную кривую намагничивания и петли магнитного гистерезиса.

Определенную трудность при моделировании остаточного магнитного состояния представляет вычисление магнитной восприимчивости по частным петлям магнитного гистерезиса при величине $\vec{H}^{\text{ост}}(Q) = 0$. Для этой цели использовалось введение в расчет дополнительного поля, равного коэрцитивной силе для данной петли гистерезиса [3].

Предложенная методика была применена для расчета остаточного магнитного состояния ферромагнитного диска, намагниченного неоднородным магнитным полем накладного соленоида. Приводятся результаты расчета напряженности поля остаточной намагниченности вдоль поверхности диска с разной толщиной и разными магнитными характеристиками материала.

Известно, что при импульсном намагничивании плоских изделий наблюдается расползание пятна остаточной намагниченности, характеризующееся увеличением расстояния l перехода через 0 от оси симметрии диска распределения нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности. Показано, что подобный эффект наблюдается при квазистатическом намагничивании. Используя разработанную методику, был проведен расчет этой величины для дисков диаметром 195 мм разной толщины h для нескольких магнитных материалов (результаты расчета приведены на рис. 1).

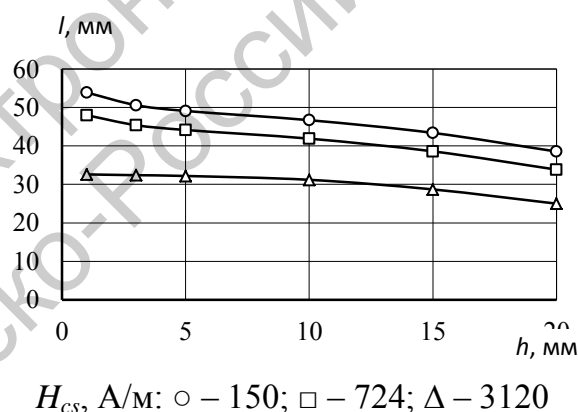


Рис. 1. Зависимость l от h

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тозони, О. В. Расчет трехмерных электромагнитных полей / О. В. Тозони, И. Д. Маергойз. – М. : Техника, 1974. – 352 с.
2. Курбатов, П. А. Численный расчет электромагнитных полей / П. А. Курбатов, С. А. Аринчин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
3. Захаров, В. А. Магнитостатика систем с ферромагнетиками / В. А. Захаров. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1986. – 95 с.