

В. Н. КОСТИН, О. Н. ВАСИЛЕНКО
ФГБУН ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

Магнитные методы определения структурно-фазового и напряженно-деформированного состояния основаны на измерении магнитных параметров контроля (коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, начальная проницаемость и т. д.) и последующей оценке контролируемых параметров (твердость, предел прочности, уровень внутренних напряжений и т. д.) объектов. Наиболее часто применяется локальное измерение магнитных параметров с помощью приставных преобразователей. Локальное полюсное намагничивание приводит к неоднородному распределению поля и магнитного потока в контролируемом объекте. Как было показано в работе [1], пространственное распределение потока преимущественно зависит от формы и размеров электромагнита. Зазор в составной магнитной цепи “преобразователь-объект” оказывает весьма существенное влияние на результаты локального измерения магнитных свойств [2–3]. Зазор также должен менять пространственное распределение поля и магнитного потока внутри объекта контроля изменяя таким образом информативный объем, свойства которого оказывают влияние на результаты измерений магнитных параметров контроля. Однако этот вопрос до настоящего времени не исследовался. Для решения этих вопросов было выполнено с использованием программы ANSYS [4] численное моделирование пространственного распределения магнитной индукции (плотности магнитного потока) при вариации параметров составной цепи “преобразователь-объект”.

На рис. 1 показано пространственное распределение плотности магнитного потока в продольном сечении массивной плиты, намагничиваемой электромагнитом с межполюсным расстоянием 40 мм контактно (рис. 1, а) и при наличии между полюсами и плитой зазора $d = 1$ мм (рис. 1, б). На этом и последующих рисунках второй полюс электромагнита находится слева. Как видно из рис. 1, а, даже без зазора центр межполюсного пространства намагничивается значительно слабее, чем околополюсное и подполюсное пространство ферромагнитного объекта. Появление зазора в 1 мм приводит к тому, что общий магнитный поток в цепи “преобразователь-объект” падает почти в 2 раза. Кроме того, при этом зазоре межполюсное пространство объекта практически не намагничивается, и П-образный электромагнит действует как два отдельных однополюсных электромагнита.

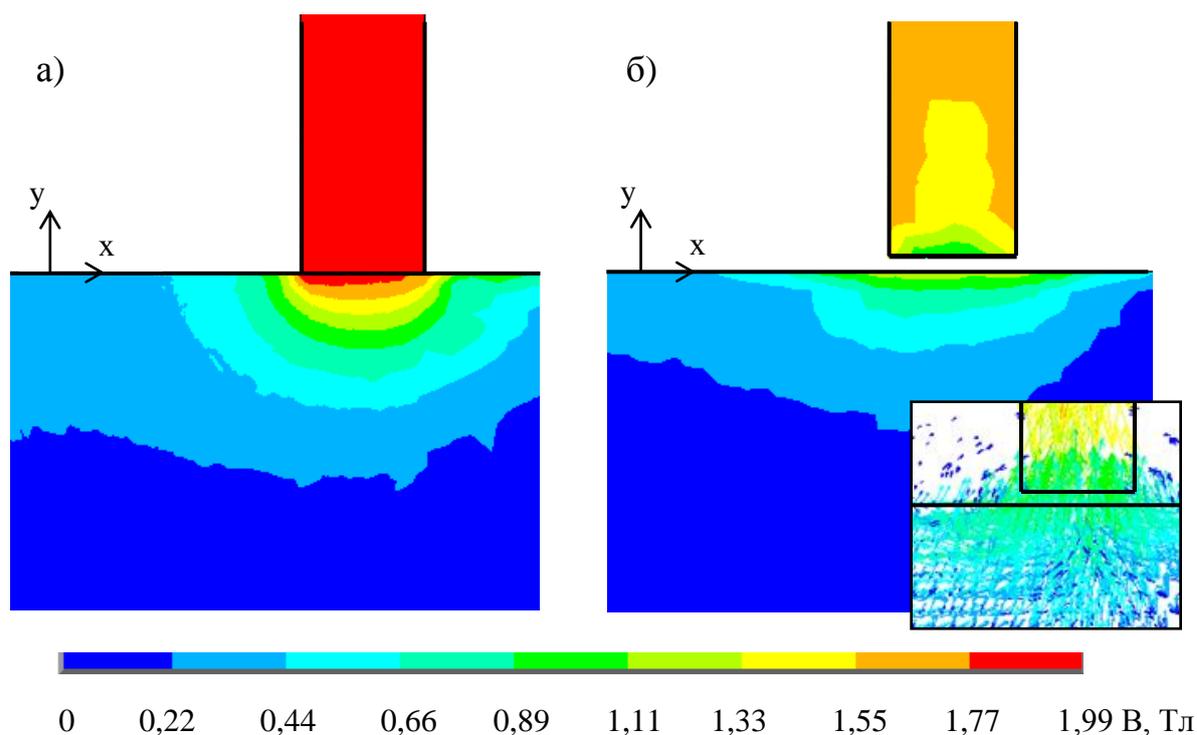


Рис. 1. Магнитная индукция (плотность магнитного потока) в массивной плите из динамной стали с размерами 300x230x84 мм, намагничиваемой электромагнитом с сечением полюсов 10x28 мм и межполюсным расстоянием 40 мм, при нулевом зазоре между полюсами (а) электромагнита и объектом и зазоре $d = 1$ мм (б)

При контактном намагничивании уменьшение межполюсного расстояния от 40 до 25 мм повышает плотность магнитного потока в центре межполюсного пространства от 0,3 до 0,55 Тл (почти двукратное увеличение). При этом тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля в центре межполюсной области объекта (т. е. внутреннее поле) возрастает от 1,6 А/см ($X_0 = 40$ мм) до 2,14 А/см ($X_0 = 25$ мм), т.е. более чем на 30 %.

Как было показано в [1] и как следует из рис. 1, а, уменьшение межполюсного расстояния существенно повышает тангенциальную составляющую индукции в центре межполюсного пространства за счет снижения бокового рассеяния магнитного потока. Очевидно, что при уменьшении межполюсного расстояния ($X_0 \rightarrow 0$) или увеличении ширины полюсов электромагнита ($Y_0 \rightarrow \infty$) боковое рассеяние должно стремиться к нулю. Заметим, что рассмотренные варианты межполюсного расстояния отличаются тем, что в случае $X_0 = 40$ мм межполюсное расстояние существенно превышает ширину $Y_0 = 28$ мм полюсов электромагнита, а во втором случае $X_0 < Y_0$.

Уменьшение межполюсного расстояния также снижает влияние зазора на характер намагничивания: при зазоре в 1 мм и межполюсном расстоянии $X_0 = 40$ мм плотность магнитного потока в поверхностном слое объекта под центром межполюсного пространства составляет 0,21 Тл, а при $X_0 = 25$ мм – плотность потока равна 0,41 Тл.

Следует отметить, что в настоящее время в коэрцитиметрии наиболее часто используются датчики с $X_0 > Y_0$. Типичные размеры электромагнитов (сечение полюса, межполюсное расстояние): 4x10 мм, 15мм; 5x15 мм, 25 мм; 12x28 мм, 32 мм. Как следует из приведенных выше результатов, при таких типоразмерах электромагнитов межполюсная зона объектов намагничивается недостаточно и показания коэрцитиметров зависят не только от свойств и объема, но и местоположения магнитных неоднородностей, находящихся в околополюсном и межполюсном пространстве. Учитывая, что при $X_0 < Y_0$ межполюсная зона ферромагнитного объекта намагничивается до существенно более высоких значений как при контактном намагничивании, так и при наличии зазора в магнитной цепи, целесообразно с помощью встречно направленных наконечников уменьшать межполюсное расстояние приставных электромагнитов для обеспечения необходимой чувствительности к свойствам всей межполюсной зоны контролируемого объекта.

Работа выполнена при поддержке гранта РЦП-14-П2 и гранта 12-П-2-1031 программы Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование пространственного распределения поля и индукции в локально намагничиваемых массивных объектах и оптимизация конструкции П-образных преобразователей / В. Н. Костин [и др.] // Дефектоскопия. – 2010. – № 6. – С. 13–21.

2. **Костин, В. Н.** Локальное измерение индукции коэрцитивного возврата при наличии зазора в составной цепи «преобразователь-объект» / В. Н. Костин, О. Н. Василенко // Дефектоскопия. – 2012. – № 7. – С. 3–14.

3. **Пат. 2483301 РФ, МПК⁷ G 01 N 27/72.** Способ локального измерения коэрцитивной силы ферромагнитных объектов [Текст] / В. Н. Костин, О. Н. Василенко; заявитель и патентообладатель ИФМ УрО РАН. – № 2011147435/28; заявл. 22.11.11; опубл. 27.05.13, Бюл. № 15. – 12 с.

4. Параллельные вычисления в УрО РАН. Запуск программ из пакета ANSYS. URL: <http://www.parallel.uran.ru/node/264>.

E-mail: kostin@imp.uran.ru
vasilenko@imp.uran.ru