

А.Н. Вислович, А.Б. Сухоцкий  
(БГТУ, г. Минск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ СИЛОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Силометрические методы определения параметров магнитных материалов имеют две основные разновидности – метод Фарадея и метод Гуи [1]. Метод Фарадея состоит в измерении с помощью чувствительных весов силы, действующей на небольшой образец, помещенный в неоднородное поле. Метод Гуи отличается тем, что используется вытянутый образец, один конец которого помещается в однородное поле, а другой выходит за пределы этого поля. Эти методы применяются в основном для исследования свойств слабых магнетиков. Их применение для сильномагнитных материалов проблематично, поскольку в используемых для измерения магнитных полях образец находится в положении неустойчивого равновесия и может смещаться к полюсам. Кроме того, в методе Гуи определяется средняя по длине образца магнитная восприимчивость и, следовательно, не может быть получена существенная для ферромагнетиков информация о законе намагничивания.

В настоящей работе представлены результаты аэробации модификации метода Фарадея для определения магнитных свойств ферромагнетиков. Проблема позиционирования сильно взаимодействующего с неоднородным полем образца решается с помощью специального источника магнитного поля, характеристики которого исследованы в работе [2]. Модуль напряженности поля, создаваемый источником, описывается выражением

$$H_0 = H_* e^{-kz}$$

где  $z$  – расстояние от поверхности магнита (рис.1),  $H_* = 168,5$  кА/м и  $k = 0,0785$  мм<sup>-1</sup> – постоянные величины. Выражение для  $z$ -проекции силы, действующей в этом поле на малый образец объемом  $V$  и средней намагниченностью  $M$ , преобразуется к виду

$$F_{zm} = \mu_0 M \frac{dH_0}{dz} V = -\mu_0 k H M e^{-kz} V$$

Отсюда находим среднюю по объему намагниченность образца:

$$M = F_{zm} / \left( \mu_0 V k H e^{-kz} \right) \quad (1)$$

Напряженность намагничивающего поля  $H$  образца определяется через коэффициент размагничивания  $\beta$ :

$$H = H_0 - \beta M \quad (2)$$

Для проведения эксперимента образец помещается в точку устойчивого равновесия, в которой потенциальная энергия  $U = -VMH_0$  минимальна. При  $H_0 = const$  минимум достигается, если намагничённость максимальна, то есть при минимальном коэффициенте размагничивания (2). Наименьшее значение  $\beta$  достигается при совпадении вектора напряжённости магнитного поля с наибольшим габаритным размером образца. Поскольку вектор напряжённости при перемещении образца вдоль оси  $x$  постоянен по модулю, но изменяется по направлению, то всегда существует такое положение, в котором размагничивающий фактор минимален и, следовательно, образец находится в устойчивом равновесии.

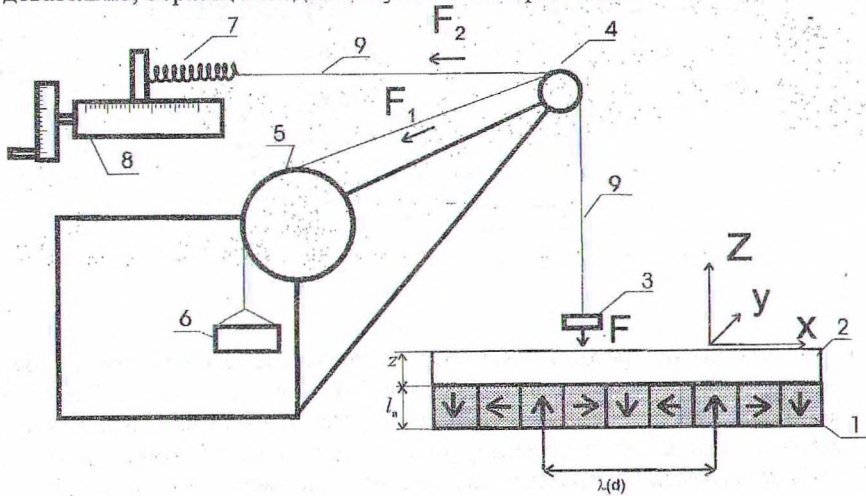


Рис. 1

Магнитная сила определяется методом отрыва. Данный метод основан на создании критического усилия, направленного противоположно результирующей  $F$  гравитационной и магнитной сил, при котором происходит отрыв образца от рабочей поверхности подвижной пластины 2. Критическое усилие создается двумя силами: весовой и пружинной. Весовая сила  $F_1$  предназначена для грубой компенсации силы  $F$ . Она создается грузами, помещенными на подвес 6. Подвес соединен посредством нити 9 и двух легко вращающихся колесиков 4,5 с капсулой 3, в которую помещен образец. Пружинная сила  $F_2$  имеет более точную регулировку и предназначена для повышения точности эксперимента. Она создается растянутой пружиной 7. Степень растяжения пружины регулируется микрометрическим винтом 8. Модуль магнитной силы, входящей в (1), определяется по формуле  $F_m = F - mg$ , где  $m$  – масса образца и капсулы.

Апробация метода была проведена на образцах дисперсного ферромагнетика в виде короткого цилиндра (таблетки) с массой  $m \approx 1,0$  грамм и габаритными размерами: диаметр  $d = 10$  мм, высота  $h = 4$  мм, для которых коэффициент размагничивания  $\beta = 0,292$ . Он помещается на рабочей поверхности подвижной пластины в положении, где поле направлено вдоль оси  $x$ . На рис.2 представлены рассчитанные по (1), (2) кривые намагничивания.

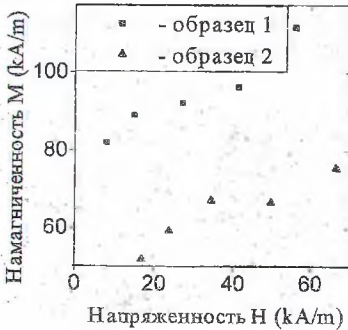


Рис. 2

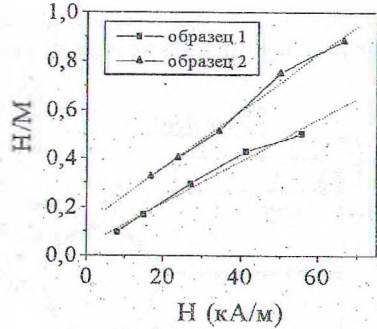


Рис. 3

Как видно, предложенный метод позволяет классифицировать образцы согласно их магнитным свойствам. Для обоих образцов наблюдается замедление темпа роста намагниченности при увеличении напряженности магнитного поля, что соответствует стремлению к насыщению. Для оценки намагниченности насыщения аппроксимируем экспериментальную зависимость аналитической формулой  $M = M_s H / (H_c + H)$ , где  $M_s$  (намагниченность насыщения) и  $H_c$  – постоянные параметры. Согласно этому уравнению, отношение  $H/M$  напряженности поля к намагниченности и напряженность поля  $H$  связаны линейной зависимостью. Представив экспериментальные данные в этих координатах (рис.3) и аппроксимировав их прямой, получаем параметры кривой намагничивания (в кА/м): образец 1 –  $M_s = 115,6$ ;  $H_c = 5,995$ ; образец 2 –  $M_s = 86,1$ ;  $H_c = 11,243$ .

Точность измерений установки может быть легко повышена путем уменьшения шага изменения расстояния при снятии силометрической кривой. Использование более точного силометрического оборудования позволит расширить пределы исследования кривой намагничивания как в область слабых, так и в область более сильных полей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чечерников В.И. Магнитные измерения. – М.: Издательство Московского университета, 1963.

2. Вислович.А.Н., Сухоцкий А.Б. Отражение пространственной гармоник магнитостатического поля от намагничивающегося слоя // Труды БГТУ. – Вып. VII, физ.-мат. науки. – Минск, 1999. – С.56-64.

УДК 519.72

М. И. Кулак, О. П. Боброва,  
И. Г. Пиотух

(БГТУ, г. Минск)

## ФРАКТАЛЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БУМАГИ И КРАСКИ В ПРОЦЕССЕ ПЕЧАТАНИЯ

В результате развития технологии печатания в течение многих веков появился широкий спектр видов и способов получения печатных оттисков. В большинстве случаев эти способы основаны на различных физических принципах и процессах, но объединяет их главенствующая роль давления печатного контакта, которое часто служит единственным индикатором правильности проведения технологического процесса.

Разработка строгой модели краскопереноса требует построения описания распределения пор в печатных бумагах. Как было показано ранее [1], скелет бумаги по своей структуре является фрактальным кластером. Поэтому, следуя принципу взаимности, поровое пространство также можно рассматривать как фрактальный кластер, пересекающийся с кластером скелета. Учитывая, что закон распределения плотности фрактального кластера бумаги известен [2], фрактальная размерность порового пространства будет иметь вид:

$$D_p(x) = d + \frac{\ln(1 - x^{D-d})}{\ln(x)}$$

Данное выражение характеризует поровое пространство как мультифрактальный объект – статистический ансамбль проникающих друг в друга фрактальных кластеров. Распределение  $D_p$  по толщине бумажного листа будет следующим: в центре листа, там, где структура наиболее плотно упакована, фрактальная размерность порового пространства минимальна. По мере перехода к приповерхностным слоям структура порового пространства усложняется и его размерность растет. Далее, при выходе на поверхность, поровое пространство становится открытым и близким к плотно упакованному. Соответственно его фрактальная размерность приближается к значению, равному 3.

Общая тенденция в законах распределения пористости для всех бумаг одинакова — по мере приближения к поверхности пористость растет.

Таким образом, теория фракталов позволяет учесть всю сложность микрогеометрии порового пространства бумаги. Это даст возможность по-