

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-2012. – Введ. (в РБ) 01.01.2016. – М.: 2014. – 16 с.
2. Испытания бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012 – Введ. 01.01.2013. – Минск: Госстандарт, 2013. - 20 с.
3. Качанов, В.К. Многоканальный мультипликативный метод акустического контроля крупногабаритных компактных строительных конструкций из бетона /В.К. Качанов, И.В. Соколов// Дефектоскопия. – 2008. - № 12. - С. 23-37.
4. Ковалев, А.В. Импульсный эхо-метод при контроле бетона. Полеми и пространственная селекция / А.В. Ковалев, В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов // Дефектоскопия. – 1990. - № 2. - С. 29-41.
5. Методы контроля бетона в конструкциях: СТБ EN 12504-4-2014, Часть 4. Определение скорости распространения ультразвукового импульса – Введ. 01.01.2015. Госстандарт, Минск, 2014. – 15 с.
6. Снежков, Д.Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович - Минск: БНТУ, 2016. - 330 с.
7. Christian, U. Impact-Echo measurement on fresh and hardening concrete / U. Christian, H. Grosse, W. Reinhart, R. Beutel // Institute of Construction Materials, University of Stuttgart, 2003. – 6 p.

УДК 620.179.14

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА

¹СТРЕЛЮХИН А. В., ²СОЛОВЕЙ Н. П.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

Применение магнитного метода контроля для решения многих практических задач показывает, что использование только одной магнитной характеристики часто недостаточно для получения до-

стоверных сведений о прочностных свойствах стальных изделий. Одним из способов решения таких задач является применение многопараметрового метода, использующего две и более магнитные характеристики.

В работе [1] показана возможность применения многопараметровой структуроскопии с использованием магнитных свойств вещества (магнитных характеристик материала изделия), что позволяет избавиться от влияния геометрии изделия на результаты контроля. Вместе с тем важной остается задача по выбору набора параметров контроля, требования к построению которого приведены в [1].

Для магнитной структуроскопии материалов используют следующие магнитные характеристики: намагниченность насыщения M_s ; максимальная намагниченность M_m при величине напряженности магнитного поля H_m ; начальная магнитная проницаемость μ_n ; максимальная магнитная проницаемость μ_m и соответствующие значения $H_{\mu m}$ и $M_{\mu m}$; значения намагниченностей M_c и M_{2c} при величинах намагничивающего поля H_c и $H_{2c} = 2 \cdot H_c$; дифференциальная магнитная проницаемость в точках (H_c, M_c) , (H_{2c}, M_{2c}) и $(H_{\mu m}, M_{\mu m})$; остаточная намагниченность M_r ; коэрцитивная сила H_c ; коэффициент прямоугольности петли K_p ; максимальная дифференциальная магнитная проницаемость μ_{dm} и значения $H_{\mu dm}$ и $M_{\mu dm}$, ей соответствующие; релаксационная коэрцитивная сила H_r и соответствующая ей релаксационная намагниченность M_{Hr} ; остаточная намагниченность M_{Hc} , полученная после уменьшения внешнего поля от $-H_c$ до нуля; дифференциальные магнитные проницаемости μ_{dHc} и μ_{dMr} в точках $(-H_c, 0)$ и $(0, M_r)$; релаксационная магнитная проницаемость μ_r ; магнитная проницаемость на кривой возврата от коэрцитивного поля μ_{rc} и потери энергии на перемагничивание образца P .

Чаще всего значения этих характеристик определяют экспериментально, что достаточно затруднительно на практике. Однако эту задачу можно решить в некотором приближении, используя компьютерное моделирование и аппроксимирующие выражения для кривой намагничивания, петли магнитного гистерезиса и кривой возврата. При этом основная сложность заключается только в определении экспериментальных величин, входящих в эти аппроксимирующие выражения применительно к конкретным магнитным материалам.

Результаты расчета и эксперимента для некоторых магнитных характеристик стали У10А в зависимости от температуры нагрева при отпуске приведены на рисунке 1.

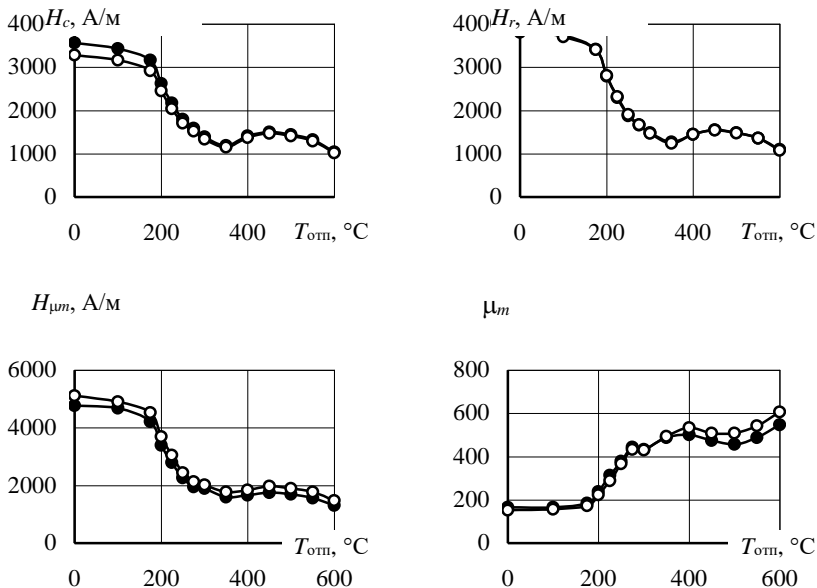


Рис. 1. Зависимость магнитных характеристик стали У10А от температуры нагрева при отпуске (● – эксперимент, ○ – расчет)

В настоящей работе использовались следующие аппроксимирующие выражения для магнитного материала [2]:

для основной кривой намагничивания

$$M = \chi_n \frac{H_{cs}^2 H}{H^2 + H_{cs}^2} + \frac{M_s}{\pi} \frac{H^2}{H^2 + kH_{cs}^2} \left(\arctg \frac{H_{cs} + H}{H_0} - \arctg \frac{H_{cs} - H}{H_0} \right); \quad (1)$$

для описания ветвей петли гистерезиса

$$M^{\pm} = \chi_H \frac{H_{cs}^2 H}{H^2 + H_{cs}^2} \pm \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + \alpha H_{cs}^2} \times \left[2 \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} \pm H}{H_0} - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H_0} \right) \right]; \quad (2)$$

для остаточной намагниченности любого частного цикла при $H = 0$

$$M_r = \pm \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + k H_{cs}^2} \left[\frac{M_{rs}}{M_s} \pi - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H_0} \right) \right], \quad (3)$$

где H и M – текущее значение напряженности поля и соответствующее ей значение намагниченности; H_m – напряженность поля в вершине петли гистерезиса; M_s , M_{rs} , H_{cs} , H_0 , α , χ_H – параметры, характеризующие магнитный материал.

Расхождения, наблюдающиеся в результатах, объясняется как несовершенством используемых аппроксимирующих выражений, так и погрешностью эксперимента. Вместе с тем предложенный подход позволяет частично отказаться от проведения сложных экспериментальных исследований и может быть использован для предварительного анализа, выбора и последующего построения оптимального набора параметров контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин В.Н., Осинцев А.А., Сташков А.Н., Царькова Т.П. Многопараметровые методы структуроскопии стальных изделий с использованием магнитных свойств вещества // Дефектоскопия. – 2004. – № 3. – С. 69–82.
2. Мельгуй М.А. Формулы для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков // Дефектоскопия. – 1987. – № 11. – С. 3–10.