

Ф И З И К А

Н. С. АКУЛОВ и Д. И. ВОЛКОВ

О ПРЕЦИЗИОННОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИИ

В 1947—1948 гг. в Магнитной лаборатории Московского государственного университета широкое применение получил предложенный нами метод измерения магнитострикции с помощью электрических датчиков. Как известно, ранее эти датчики применялись исключительно для измерения упругих напряжений в деталях машин и в других случаях, когда не требуется особо прецизионных измерений.

Усовершенствование этого метода позволило впервые применить его для анализа явлений магнитострикции.

Настоящее краткое сообщение посвящено изложению теоретических основ нового метода измерения магнитострикции.

Пусть испытуемый образец имеет приблизительно плоскую или цилиндрическую поверхность, на которую наклеена в виде зигзага тонкая проволока (рис. 1).

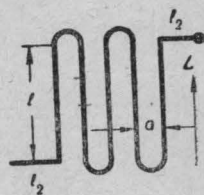


Рис. 1

Пусть под действием намагничения создаются напряжения, характеризуемые шестью компонентами тензора магнитострикции.

Пусть τ_{11} — компонента этого тензора в направлении L , а τ_{22} — в перпендикулярном направлении. Тогда, если какой-нибудь элемент датчика Δl_i направлен под углом φ_i к направлению L , то, как это следует из общих формул тензорного анализа, для величины удлинения рассматриваемого элемента проволоки имеем:

$$d\Delta l_i = (\tau_{11} \cos^2 \varphi_i + \tau_{22} \sin^2 \varphi_i) \Delta l_i. \quad (1)$$

Одновременно изменится и радиус рассматриваемого цилиндрического элемента датчика

$$dr = -r\sigma(\tau_{11} \cos^2 \varphi_i + \tau_{22} \sin^2 \varphi_i) = -\frac{d\Delta l_i}{\Delta l_i} r\sigma, \quad (2)$$

где σ — коэффициент Пуассона.

Пусть ρ — удельное сопротивление. Для изменения омического сопротивления данного элемента тогда имеем:

$$\begin{aligned} d\Delta R &= d\left(\rho \frac{\Delta l_i}{\pi r^2}\right) = \frac{d\rho}{\rho} \Delta R + \frac{d\Delta l_i}{\Delta l_i} \Delta R - \rho \frac{\Delta l_i}{\pi r^2} \cdot \frac{2dr}{r} = \\ &= \Delta R \left(\frac{d\rho}{\rho} + \frac{d\Delta l_i}{\Delta l_i} - \frac{2d\sigma}{\sigma}\right). \end{aligned} \quad (3)$$

Но $\frac{d\rho}{\rho}$, согласно формуле Хвольсона, пропорционально относительному удлинению:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \chi \frac{d\Delta l_i}{\Delta l_i}. \quad (4)$$

Таким образом, подставляя (1), (2) и (4) в (3), получим:

$$d\Delta R = \Delta R (1 + 2\sigma + \chi) (\tau_{11} \cos^2 \varphi_i + \tau_{22} \sin^2 \varphi_i). \quad (5)$$

Суммируя по всем элементам датчика, найдем:

$$\delta R = R_1^* (1 + 2\sigma + \chi) \sum_i (\tau_{11} \cos^2 \varphi_i + \tau_{22} \sin^2 \varphi_i) \Delta l_i, \quad (6)$$

где R_1^* — сопротивление единицы длины проволоки в исходных условиях. Датчик наклеивается с помощью особого приборчика, который обеспечивает параллельность основных линий зигзага и правильность полуокружностей.

Определим долю изменения омического сопротивления, которую вносит каждая полуокружность, соединяющая стороны зигзага. Пусть a — расстояние между сторонами зигзага, равное диаметру полуокружности. Пусть элемент окружности $dl = \frac{1}{2} a d\varphi_i$. Тогда, согласно (6), для изменения омического сопротивления полуокружности получим:

$$\Delta R' = \frac{\pi}{4} R_1^* a (1 + 2\sigma + \chi) (\tau_{11} + \tau_{22}), \quad (7)$$

где $\frac{\pi R_1^* a}{2}$ — начальное сопротивление полуокружности. Для изменения сопротивления каждой стороны зигзага, согласно (6), при $\varphi_i = 0$ получим:

$$\Delta R'' = R_1^* (1 + 2\sigma + \chi) \tau_{11} l. \quad (8)$$

Пусть, кроме того, мы имеем часть датчика длиной l_2 , приклеенного перпендикулярно к направлению оси L . Тогда для нее получим, согласно (6),

$$\Delta R''' = R_1^* (1 + 2\sigma + \chi) \tau_{22} l_2. \quad (9)$$

Итак, для полного изменения сопротивления найдем:

$$\Delta R = R_1^* (1 + 2\sigma + \chi) (c_1 \tau_{11} + c_2 \tau_{22}), \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= n_1 l + \frac{\pi}{4} n_2 a \\ c_2 &= \frac{\pi}{4} n_2 a + 2l_2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Здесь n_2 и n_1 соответственно числа полуокружностей и стенок. Поскольку полная длина применяемой проволоки равна $n_1 l + \frac{\pi a}{2} n_2 + 2l_2$, формула (10) может быть написана в виде;

$$\Delta R = (1 + 2\sigma + \chi) [R_0 \tau_{11} + \varepsilon (\tau_{22} - \tau_{11})], \quad (12)$$

где:

$$\varepsilon = \left(\frac{\pi}{4} n_2 a + 2l_2 \right) R_1^*$$

и

$$R_0 = \left(n_1 l + \frac{\pi}{2} n_2 a + 2l_2 \right) R_1^*.$$

Если члены квадратичного типа невелики, то, как нами было показано, при исключении парапроцесса выполняется приближенно второе правило четных эффектов:

$$\tau_{22} = -\frac{1}{2} \tau_{11} \quad (13)$$

и, таким образом, формула (12) дает возможность по величине ΔR определить τ_{11} . В общем случае должен быть применен метод двух датчиков. Второй датчик должен быть наклеен перпендикулярно первому. Мы получим для него, аналогично (12),

$$\Delta R' = (1 + 2\sigma + \chi) [R'_0 \tau_{11} + \varepsilon' (\tau_{22} - \tau_{11})], \quad (14)$$

где

$$\varepsilon' = \left(\frac{\pi}{4} n'_2 a' + 2l'_2 \right) R_1^*.$$

Решая два уравнения с двумя неизвестными, получим значения τ_{11} и τ_{22} . В изотропном материале для объемной магнитоstriction мы получим тогда:

$$\theta = \tau_{11} + 2\tau_{22}. \quad (15)$$

При работе на тонких пластинках весьма важно учесть возможность изгибания при намагничении. Поэтому датчики должны быть наклеены с двух сторон и должно быть взято среднее. Большое значение имеет также способ закрепления пластин. Очень удобен станочек, устроенный так, что одна сторона пластины крепится наглухо, а другая удерживается двумя пружинками, допускающими перемещение вдоль пластины. При наклейке датчика меняется R_0 . Поэтому сперва определяется сопротивление до наклейки, а затем из сопротивления после наклейки вычитается сопротивление ненаклеенных обрезков. Длина их точно измеряется. Таким образом находим величину R_0 .

При расчете поправки ε достаточно взять сопротивление ненапряженной проволоки. Из других предосторожностей весьма важна стабилизация температуры термостатом и учет температурного коэффициента сопротивления. Коэффициентом Хвольсона, как правило, можно пренебречь, если речь не идет об особенно точных измерениях.

Разработанный метод дает возможность получить значительно большую точность и удобство измерений, чем какой-либо из ранее известных. При этом измерения особенно упрощаются там, где не требуется знания абсолютного значения.

Поступила в редакцию
19.7.1949 г.

Кафедра
магнетизма