

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*The main problems of thickness measuring of protective coatings over metals and modern methods of their solution such as magnetic induction method and eddy-current high-frequency parameter methods are surveyed. Author describes the best ways of their using and decreasing of influence of the hindering factors. The basic characteristics of electromagnetic thickness gauges of a number of leading companies are adduced.*

Покрытия, толщина  $T$  которых подлежит контролю, можно разделить на следующие группы:

1. Диэлектрические на ферромагнитных электропроводящих основаниях;
2. Электропроводящие неферромагнитные на ферромагнитных электропроводящих основаниях;
3. Электропроводящие слабомагнитные на ферромагнитных электропроводящих основаниях;
4. Диэлектрические на неферромагнитных электропроводящих основаниях;
5. Электропроводящие неферромагнитные на неферромагнитных электропроводящих основаниях;
6. Электропроводящие ферромагнитные на неферромагнитных электропроводящих основаниях.

Для толщинометрии покрытий двух первых групп в настоящее время используют первичные индукционные трансформаторные преобразователи.

До недавнего времени в большинстве приборов первичная обмотка запитывалась током частотой от 50 до 400 Гц, а в качестве первичного информативного параметра принималась амплитуда ЭДС, наведенной на вторичной обмотке вблизи металла. Однако этому методу присущ один принципиальный недостаток: невозможность отстройки от влияния вихревых токов, наводимых в электропроводящем покрытии, и основании и связанное с этим ограничение диапазона

контролируемых толщин покрытий.

В настоящее время ведущие фирмы используют другой метод – первичная обмотка  $W_1$  подключается к источнику постоянного напряжения в момент  $t_0$  на время  $\tau$ , большее времени существования вихревых токов и кратное периоду сетевого напряжения; при этом на вторичной обмотке  $W_2$  наводится ЭДС  $e(t)$ . В качестве первичного информативного параметра используется напряжение

$$U(T) = 1/t_u \int_{t_0}^{t_0+\tau} e(t) dt = 1/t_u (\Psi_0 + \Psi_B(T)) = U_0 + U_B(T),$$

где  $e(t)$  – ЭДС, наведенная на обмотке  $W_1$  при коммутации источника поля  $W$  в момент времени  $t_0$  подключения к источнику постоянного напряжения;  $t_u$  – постоянная времени интегратора;  $\tau$  – время интегрирования (коммутации);  $\Psi_B(T)$  – вносимое потокосцепление, обусловленное магнитными свойствами основания;  $\Psi_0$  – стационарное значение потокосцепления обмоток при  $T = \infty$ ;  $U_B(T)$  – вносимое напряжение.

Для толщинометрии покрытий групп 4 и 5 используются первичные вихретоковые параметрические преобразователи. Первичный преобразователь представляет собой автогенератор с включенной в его контур измерительной обмоткой, частота  $f$  на выходе которого зависит от толщины покрытия  $T_i$ . В качестве первичного информативного параметра выбирается величина разности частот  $\Delta f(T_i) = f(T_i) - f(T_0)$ , где  $T_0$  может принимать разные значения (например, нуль или  $\infty$ ) в зависимости от алгоритма обработки измерительной информации. Рабочие частоты преобразователей выбираются в диапазоне от 2 до 10 МГц в зависимости от толщины и электропроводности покрытия и основания.

## Об авторе

Сясько  
Владимир  
Александрович



Директор ЗАО  
"Константа"  
(Санкт-Петербург),  
канд. техн. наук.  
Научная специализация – приборы  
контроля защитных покрытий.

Для толщинометрии покрытий групп 3 и 6 используются трансформаторные преобразователи, первичная обмотка которых запитывается напряжением  $U(t)$  частотой от 40 до 120 кГц, а в качестве информативного параметра используется разность фаз  $\varphi(T)$  между наведенной на вторичной обмотке ЭДС  $e(t)$  и напряжением  $U(t)$ . При этом  $\varphi(T)$  в большинстве случаев прямо пропорциональна толщине  $T$  покрытия. Данные преобразователи позволяют контролировать ферромагнитные покрытия толщиной до 200 мкм.

Основное внимание при проектировании современных электромагнитных толщиномеров уделяется подавлению влияния мешающих факторов, основными из которых

являются вариация электропроводности и магнитной проницаемости покрытий и оснований, шероховатость основания, наличие краевого эффекта и размеров изделий, а также климатических условий.

Для уменьшения влияния вариаций электропроводности и магнитной проницаемости используются тестовые методы контроля с многообмоточными преобразователями и рационально выбираются рабочие частоты и размеры преобразователя; компенсации влияния шероховатости добиваются статистическими методами (многократные измерения на этапе калибровки приборов и в процессе измерения). Однако главным является повышение абсолютной чувствительности приборов при уменьшении габаритов преобразователей, сами преобразователи выполняются в экранах различной конструкции, уменьшающих зону контроля.

В таблице приведены основные характеристики толщиномеров ряда ведущих фирм.



Elcometer 345

Elcometer 355



Minitest 300



Minitest 600

DUO-CHECK  
ST-20

Марка прибора	Диапазон контролируемых толщин*, мм	Погрешность измерения, мм	Диаметры зоны контроля, мм	Минимальный радиус изделия, мм	Количество ячеек памяти	Связь с IBM PC	Габариты, мм вес, г
Elcometer 345 Top memory	1,2 – 0...5 4 – 0...3	$\pm (0,03T + 0,001)$	6; 20 6; 10	5 5	1000	—	120×56×24 115
Elcometer 355 Top	1,2 – 0...15 4 – 0...5	$\pm (0,01T + 0,001)$	3, 6, 20 6; 10	3 5	5000	+	175×83×42 650
Minitest 300	1,2 – 0...1,5	$\pm (0,03T + 0,002)$	6	5	—	—	125×27×18 60
Minitest 600	1,2 – 0...3 4 – 0...2	$\pm (0,02T + 0,002)$	6 (совмещенный датчик)	5	—	+	115×64×25 100
DUO-CHECK ST-20	1,2 – 0...5 4 – 0...2	$\pm (0,01T + 0,002)$	6; 10 6	5 3	100	+	108×48×38
Константа К5	1,2 – 0...15 3 – 0...0,12 4 – 0...30 5 – 0...0,2 6 – 0...0,1	$\pm (0,02T + 0,001)$ $\pm (0,03T + 0,002)$ $\pm (0,02T + 0,001)$ $\pm (0,03T + 0,002)$ $\pm 0,003$	2,4; 6; 20 4,7 2; 6; 30 4,7 2,4	1...10 3 1...10 2	500	+	150×80×30

\* по группам покрытий