

ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ МАГНИТНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ПОКРЫТИЙ

В.И. ШАРАНДО

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Толщинометрию немагнитных покрытий на магнитных основаниях производят приборами, обеспечивающими намагничивание локальной области поверхности изделия и измерение индуцируемых вторичных полей. На информативный сигнал оказывает влияние геометрия изделия. Появляющиеся при этом погрешности для большинства сертифицированных типов приборов контроля, работающих в одинаковых диапазонах толщин, близки и имеют сходный характер. Минимальные требования к основанию, при которых основная погрешность не выходит за пределы допускаемой, оговариваются в Технических условиях. Для контроля изделий, по геометрии выходящих за указанные пределы, необходимо чёткое представление о порядке величин возможных погрешностей и о способе их устранения.

В предлагаемой работе изучены условия использования магнитных толщиномеров покрытий для контроля изделий с большой кривизной поверхности, рассмотрены возникающие погрешности при отсутствии каких-либо подстроек и возможность отстройки от данного мешающего фактора.

Исследования выполнены с помощью магнитодинамического толщиномера МТЦ-3, сертифицированного в Республике Беларусь и Российской Федерации в качестве средства для измерения толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях. Сравнивались две модификации толщиномера: МТЦ-3-1 (магнит диаметром 3 мм, диапазон контролируемых толщин покрытий 0÷1 мм) и МТЦ-3-2 (магнит диаметром 5мм, диапазон контролируемых толщин покрытий 0÷5 мм). Согласно ТУ РБ 100289280.011-2004, для приборов такого типа допускаемая погрешность составляет $\pm(1,5 + 2 \% \text{ измеряемой величины})$ мкм при минимальном радиусе кривизны контролируемой поверхности 40 мм. При указанных условиях толщиномер не требует каких-либо настроек и регулировок и готов к работе сразу после включения. Может возникнуть лишь необходимость подстройки нуля при переходе к контролю изделий из стали другой марки.

В качестве магнитных оснований использованы цилиндрические образцы из стали 45 диаметром 4, 6, 14, 16, 25 и 60 мм. Образцами покрытий являлись накладываемые на поверхность полимерные плёнки толщиной 76 и 197 мм. Перед измерениями производилась настройка нуля толщиномера на непокрытом плоском основании из этой же стали.

В табл. 1 представлена зависимость показаний толщиномера в микрометрах от диаметра цилиндрического основания для толщин покрытия 0, 76, и 197 мкм. При этом в левой части приведены показания толщиномера лишь после первичной настройки нуля на непокрытом плоском основании (радиус кривизны ∞). Результаты в правой части получены по измерениям после настройки нуля на непокрытом основании непосредственно используемой кривизны.

Табл. 1. Результаты измерений толщины покрытия толщиномерами МТЦ-3-2 и МТЦ-3-1

Радиус цилиндра, мм	Толщина покрытия, мкм											
	0	76	197	0	76	197	0	76	197	0	76	197
	Показание толщиномера, мкм без настройки нуля на основании						Показание толщиномера, мкм с настройкой нуля на основании					
	МТЦ-3-2			МТЦ-3-1			МТЦ-3-2			МТЦ-3-1		
∞	0	76	197	0	76	197	0	76	197	0	77	196
60	8	87	211	4	80	203	0	74	195	0	78	199
25	24	108	241	10	91	231	0	77	199	0	75	200
16	35	122	263	14	105	249	0	78	201	0	77	197
14	37	126	268	19	117	261	0	75	199	0	76	196
8	58	143	298	30	138	301	0	74	200	0	78	198
4	78	170	341	45	158	339	0	77	196	0	76	201

Из приведенных данных следует, что уменьшение диаметра цилиндрического основания приводит к завышению показываемых прибором толщин. Эффект ложного покрытия увеличивающейся толщины проявляется и на непокрытых основаниях, при этом он больше для толщиномера модификации МТЦ-3-2, имеющего магнит большего диаметра. Это связано с увеличением размера информативной зоны и попаданием в неё участков основания, находящихся под более острым углом к преобразователю. При измерениях на покрытиях погрешности для обоих толщиномеров сближаются, так как прибор МТЦ-3-1, обладающий меньшим магнитом, имеет в используемом диапазоне покрытий более крутую зависимость измеряемого сигнала от толщины покрытия. Характерно, что завышение толщин покрытий происходит на гораздо большую величину, чем составляют показания на непокрытом основании. Устранить погрешность просто вычитанием показания фиктивной толщины, полученной при измерениях на непокрытом основании, не является возможным. Это связано с нелинейностью зависимости измеряемого сигнала от толщины покрытия, на градуировочной кривой по мере роста покрытия одному и тому же изменению сигнала ставится в соответствие всё большее изменение толщины.

Из правой части таблицы следует, что нормированные погрешности обеспечиваются для всех рассмотренных диаметров оснований при настройке нулевого значения непосредственно на непокрытой поверхности.

Применительно к меньшим диаметрам изделий и толщинам покрытий, сопоставимым с нормированной погрешностью толщиномера, изучена возможность контроля толщины латунированного слоя на стальных проволоках Белорусского металлургического комбината. Проволоки имели диаметр $1,90 \pm 3,0$ мм, по 2÷4 образца каждого диаметра, из разных плавков. Толщина слоя латуни, по данным предприятия, составляла около 2 мкм. В табл. 2 представлены зависимости показаний толщиномера МТЦ-3 с диаметром магнита 1,5 мм от диаметра проволоки E_0 при отсутствии покрытия и $E_{2\mu}$ со слоем латуни на поверхности. Величина измеренного и усиленного сигнала считывалась в милливольтгах, без пересчёта в единицы толщины покрытия, поскольку стандартная градуировка в данном случае неприменима. Для устранения влияния оставшихся магнитных следов перед каждым измерением образцы размагничивались. Разброс показаний как на непокрытых, так и на латунированных образцах одного диаметра, меняясь от плавки к плавке, составлял не более 1 ± 3 мВ; при занесении их в табл. 2 производилось усреднение. Кроме этого, приведены величины сигналов $E_{43\mu}$, полученных с наложенной на непокрытый образец проволоки полимерной плёнкой толщиной 47 мкм, а также разности $E_{2\mu} - E_0$ и $E_{43\mu} - E_0$.

Табл. 2. Результаты измерений толщины покрытий толщиномером МТЦ-3

Диаметр проволоки	E_0	$E_{2\mu}$	$E_{2\mu} - E_0$	$E_{43\mu}$	$E_{43\mu} - E_0$	$\frac{E_{43\mu} - E_0}{43\mu}$	$\frac{E_{43\mu} - E_0}{E_0 \times 43\mu}$
мм	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ/мкм	1/мкм
1,90	1146	1135	11	840	306	6,5	0,0056
2,15	1189	1174	15	878	311	6,6	0,0055
2,65	1260	1246	14	930	330	7,0	0,0055
3,00	1300	1282	18	965	335	7,1	0,0054

Изменение сигнала $E_{2\mu} - E_0$, вызываемое появлением немагнитного слоя, составляет приемлемую для измерений величину. Довольно сильное различие значений $E_{2\mu} - E_0$ для диаметров проволоки 1,90 и 3,00 мм может быть вызвано неодинаковой реальной толщиной латунного слоя. С целью оценки чувствительности на один микрометр вычислены величины отношений $(E_{43\mu} - E_0)/43\mu$ и $(E_{43\mu} - E_0)/(E_0 \times 43\mu)$. В первом случае получено значение около 7 мВ/мкм, несколько изменяющееся с толщиной проволоки, во втором – практически одинаковое для всех толщин проволоки значение.

Из полученных результатов следует, что при настройке нуля на проволоке конкретного диаметра можно измерять толщину немагнитного покрытия по полученному сигналу с учётом чувствительности для данной толщины проволоки. Может быть принята и более универсальная, общая цена деления, основанная на делении измеренного с покрытием сигнала на сигнал с непокрытой проволоки.

E-mail: lab1@iaph.bas-net.by