

УДК 620.179.142.6

## РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ СЕРИЙНЫМИ ПРИБОРАМИ ТИПА МТЦ

*В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЕВ, О. В. БУЛАТОВ*

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

UDC 620.179.142.6

## DEMAGNETIZING DEVICE FOR INCREASING PRECISION MEASUREMENT OF THICKNESS OF NICKEL COATINGS BY MEANS OF SERIAL GAUGES MTG

*V. I. SHARANDO, A. V. CHERNYSHEV, O. V. BULATOV*

### Аннотация

Обоснована возможность применения серийных приборов МТЦ-2М-2 и МТЦ-3-5 для измерения толщины никелевых покрытий на неферромагнитных основаниях в диапазоне (0 – 300) мкм, в три раза превышающем паспортный диапазон этих приборов. Установлено, что пятна остаточной намагниченности на поверхности таких покрытий могут приводить при измерении их толщины к дополнительной погрешности, достигающей 50 %. Предложено механическое размагничивающее устройство, позволяющее устранять эти пятна; основными его достоинствами являются простота конструкции, портативность и отсутствие необходимости в источнике питания. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность этого устройства.

### Ключевые слова:

никелевые покрытия, толщина покрытий, магнитные толщиномеры, диапазон измерений, остаточная намагниченность, размагничивающее устройство, точность измерений.

### Abstract

The possibility of applying of the serial gauges MTG-2M-2 and MTG-3-5 for measuring thickness of nickel coatings on non-ferromagnetic bases in the range (0–300) mkm that is three times the passport range of these gauges has been established. It is found that spot residual magnetization on surface of such coatings during measuring their thickness can lead to additional error that reaches 50 %. Mechanical device for eliminating this magnetization is proposed; the basic advantages of the devise are simplicity of design, portability and no need for a power source. Experimental data confirming the effectiveness of this device have been presented.

### Key words:

nickel coatings, thickness of coatings, magnetic thickness gauges, measuring range, residual magnetization, demagnetizing device, measurement accuracy.

Современные толщиномеры типа МТЦ [1, 2], серийно выпускаемые ИПФ НАН Беларуси, предназначены в основном для измерения толщины

неферромагнитных покрытий, нанесенных на ферромагнитные (стальные) основания. Эти приборы базируются на магнитодинамическом методе, главное достоинство которого состоит в изначальном отсутствии в информативном сигнале преобразователя составляющей, обусловленной создаваемым им намагничивающим полем и снижающей чувствительность к измеряемой толщине покрытий [1]. В итоге магнитодинамический прибор по сравнению с другими магнитными обеспечивает толщинометрию в наиболее широком диапазоне. Серийные приборы типа МТЦ имеют небольшие габаритные размеры (электронный блок – 150 x 80 x 30 мм, преобразователь – Ø19x55 мм) и питаются автономно от батареек ААА или аналогичных аккумуляторов [2]. Приборы МТЦ-2М и МТЦ-3 сертифицированы в Республике Беларусь: первые имеют сертификат об утверждении типа средств измерений № 6931 и декларацию об их соответствии требованиям технических регламентов Таможенного союза № ТС ВУ/112 11.01. ТР020 003 16641, вторые – сертификат № 6932 и декларацию № ТС ВУ/112 11.01. ТР020 003 16640. К настоящему времени на отечественных предприятиях внедрено более тысячи таких приборов.

Приборы типа МТЦ позволяют также измерять толщину гальванических никелевых покрытий, нанесенных на неферромагнитные или ферромагнитные основания, в диапазоне (0–100) мкм. Его ширина достаточна для большинства промышленных изделий, однако когда данная толщина выходит за этот диапазон, достигая в отдельных случаях 300 мкм, использование указанных приборов не регламентировано их технической документацией. Для таких случаев используют, например, токовихревые приборы ВТН-600 украинской фирмы «Кром» [3] или «Константа-К6Ц» российской фирмы «Константа» [4]. В настоящей работе приведены экспериментальные данные, свидетельствующие о возможности измерения приборами типа МТЦ толщины никелевых покрытий в диапазоне (0–300) мкм на неферромагнитных основаниях.

Существует и другая проблема магнитной толщинометрии никелевых покрытий, обусловленная наличием пятен остаточной намагниченности на их поверхности. Такие пятна появляются при измерении толщины покрытий магнитными приборами, а также могут возникать в процессе изготовления изделий. По результатам экспериментальных исследований, проведенных с помощью измерителя магнитных полей ИМП-1 [2], установлено, что остаточная магнитная индукция над поверхностью никелевых покрытий может достигать 5 мТл. Так как приборы МТЦ-2М-2, МТЦ-2М-3, МТЦ-3-4 и МТЦ-3-5 имеют преобразователи, создающие намагничивающие поля относительно малой интенсивности, столь высокая остаточная индукция может привести к недопустимо большой погрешности измерения толщины покрытий. Решать эту проблему следует путем размагничивания участков покрытия, имеющих пятна остаточной намагниченности, до измерения его толщины. Ниже рассмотрена конструкция механического

устройства, устраняющего такие пятна и за счет этого позволяющего измерять толщину никелевых покрытий с требуемой на практике точностью.

Функциональные возможности приборов МТЦ-2М-2 и МТЦ-3-5, предназначенных для измерения толщины никелевых покрытий на неферромагнитных основаниях, были исследованы на примере первого из них. Исследование проведено с использованием пяти мер никелевых покрытий, нанесенных гальваническим методом на неферромагнитные (бронзовые) основания; толщина наиболее толстого покрытия составляла ~655 мкм. Для устранения возможных пятен остаточной намагниченности каждая мера была предварительно размагничена в электромагнитном поле соленоида, подключенного к сети переменного тока. Так как исходную градуировку прибора МТЦ-2М-2 выполняют в диапазоне (0–100) мкм, указанном в его паспорте, толщина покрытий всех мер измерена в градуировочном режиме и показания прибора отображались на его индикаторе в безразмерных единицах. Средние арифметические значения показаний, полученных при измерении этой толщины, представлены в виде точек на рис. 1. По этим значениям методом наименьших квадратов найдено уравнение зависимости информативного сигнала  $F$  преобразователя от толщины  $b$  покрытий. По данному уравнению построена приведенная здесь же кривая функции  $F = f(b)$ .

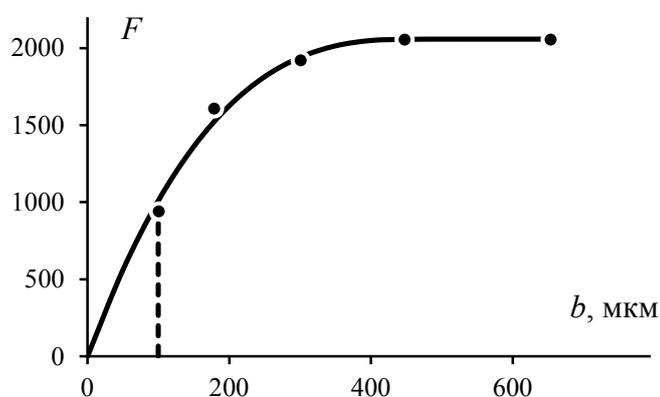


Рис. 1. Зависимость информативного сигнала  $F$  магнитодинамического преобразователя прибора МТЦ-2М-2 от толщины  $b$  никелевых покрытий, нанесенных на бронзовые основания (вертикальная штриховая прямая – верхний предел паспортного диапазона значений толщины  $b$ , в котором градуируют приборы МТЦ-2М-2 и МТЦ-3-5)

Характер кривой, изображенной на рис. 1, свидетельствует о том, что фактический диапазон измеряемой приборами МТЦ-2М-2 и МТЦ-3-5 толщины никелевых покрытий, расположенных на неферромагнитных основаниях, не менее чем в три раза шире паспортного диапазона обоих приборов. Следовательно, каждый прибор можно проградуировать на мерах, охватывающих диапазон (0–300) мкм, а затем использовать для измерения указанной толщины в этом диапазоне.

Наличие пятен остаточной намагниченности на поверхности никелевых покрытий может привести к тому, что погрешность измерения их толщины превысит допускаемую на практике. В настоящей работе это показано путем намагничивания размагниченных в соленоиде покрытий перед измерением их толщины. Оно выполнено прикладыванием к поверхности каждого покрытия плоского торца постоянного цилиндрического магнита, изготовленного из неодим-железо-бора.

На рис. 2 сплошные кривые построены по изображенным точками среднеарифметическим значениям показаний прибора МТЦ-2М-2, полученным в ходе многократных измерений толщины покрытия каждой из пяти указанных выше мер, проведенных при различных направлениях намагничивающего поля.

Кривая 1 построена по показаниям, полученным в случае, когда вектор намагниченности приставного магнита был противоположен вектору намагниченности постоянного магнита, установленного в преобразователе прибора. Кривая 2 соответствует случаю, когда векторы намагниченности приставного магнита и магнита преобразователя были направлены одинаково. В виде штриховой кривой представлена зависимость, показанная на предыдущем рисунке. Диаметр приставного магнита выбран достаточно большим (10 мм) для того, чтобы после намагничивания любого никелевого покрытия на его поверхности осталось магнитное пятно, имеющее индукцию 4–5 мТл. Так как диаметр этого магнита примерно втрое больше диаметра магнита преобразователя, остаточная намагниченность очень сильно изменила показания прибора МТЦ-2М-2.

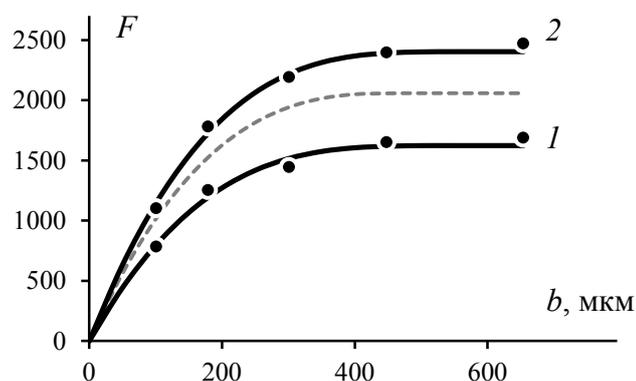


Рис. 2. Влияние на функцию  $F = f(b)$  магнитного состояния материала никелевых покрытий, нанесенных на бронзовые основания: 1 – при противоположном направлении векторов намагниченности приставного магнита и магнита, установленного в преобразователе; 2 – при одинаковом направлении этих векторов

Рис. 2 позволяет визуально оценить уровень дополнительной погрешности измерения толщины никелевых покрытий, обусловленной практически максимальной намагниченностью их материала. Видно, что в случае

противоположной ориентации векторов намагниченности приставного магнита и магнита преобразователя данная погрешность несколько больше, чем в случае их одинаковой ориентации. В целом из рисунка следует, что по модулю эта погрешность может достигать нескольких десятков процентов, значительно превосходя допускаемую на практике погрешность, в большинстве случаев не превышающую 10 %.

Решение проблемы, обусловленной пятнами остаточной намагниченности, состоит в их устранении путем предварительного размагничивания материала покрытий. Такое размагничивание предложено реализовывать с помощью механического устройства, конструкция которого показана на рис. 3, а. Оно состоит из трех элементов: корпуса с внутренним резьбовым отверстием, размещенного в нем винта и жестко закрепленного на его нижнем торце постоянного цилиндрического магнита. Его ось и вектор намагниченности перпендикулярны осям корпуса и винта, материалы которых должны быть ферромагнитными (дюраль, латунь, эбонит и т. п.). Габаритные размеры предложенного устройства невелики: из рис. 3, б видно, что оно сопоставимо с батареей АА.

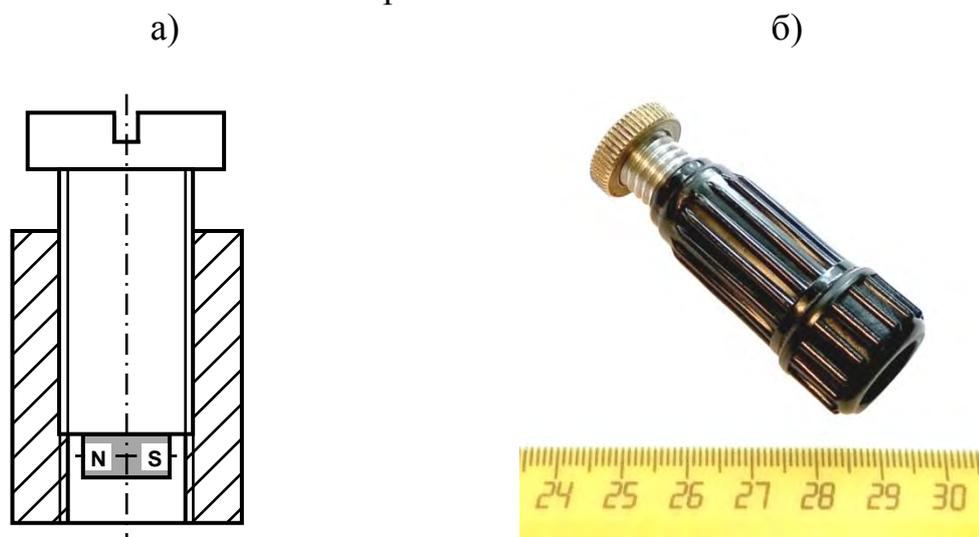


Рис. 3. Механическое устройство, обеспечивающее полное размагничивание материала никелевых покрытий: *а* – конструкция устройства; *б* – его внешний вид

Работает предложенное устройство следующим образом:

- 1) устанавливают его на поверхность покрытия;
- 2) вворачивают винт в корпус до упора магнита в эту поверхность;
- 3) выворачивают винт до удаления от нее магнита на расстояние, на котором поле магнита уже практически не изменяет магнитное состояние материала покрытия.

Вращение и одновременное вертикальное перемещение магнита действуют аналогично низкочастотному магнитному полю, амплитуда колебаний которого сначала возрастает до максимума, а затем убывает до нуля. Результат применения размагничивающего устройства практически экви-

валентен внесению изделия с намагниченным покрытием в соленоид, генерирующий переменное поле, и последующему удалению из него.

Эффективность предложенного устройства подтверждают табличные данные (табл. 1). Перед их получением прибор МТЦ-2М-2 был проградуирован на четырех мерах (не использована мера с наиболее толстым покрытием) после полного их размагничивания полем соленоида. Показания прибора, полученные при толщинометрии размагниченных соленоидом мер, оказались практически равными значениям толщины их покрытий, приведенным в столбце 1 табл. 1. Значения  $T_{cp}$  в столбцах 2 и 4 вычислены по показаниям, полученным после намагничивания материала покрытий этих мер приставным магнитом, обеспечивающим остаточную индукцию около 5 мТл; при этом направления векторов намагниченности приставного магнита и магнита преобразователя прибора МТЦ-2М-2 в первом случае были одинаковыми, а во втором – противоположными. Отсутствие двух значений в столбце 2 обусловлено тем, что на соответствующих мерах информативный сигнал преобразователя превысил верхний предел градуировочного диапазона. В столбцах 3 и 5 приведены соответствующие обоим случаям значения  $\delta$  дополнительной погрешности, обусловленной наличием пятен остаточной намагниченности. Столбцы 6 и 7 содержат данные, полученные после размагничивания материала покрытий с помощью предложенного устройства.

Табл. 1. Результаты измерений прибором МТЦ-2М-2 толщины намагниченных и размагниченных никелевых покрытий

Покрытия размагничены соленоидом	Покрытия намагничены в направлении поля преобразователя		Покрытия намагничены противоположно полю преобразователя		Покрытия размагничены устройством	
	$T_{cp}$ , мкм	$\delta$ , %	$T_{cp}$ , мкм	$\delta$ , %	$T_{cp}$ , мкм	$\delta$ , %
1	2	3	4	5	6	7
91,3	111,9	22,6	73,5	-19,5	91,7	0,4
195,7	236,5	20,8	133,1	-32,0	199,6	2,0
289,5	превышение диапазона градуировки	–	164,2	-43,3	293,3	1,3
426,2		–	205,4	-51,8	411,4	-3,5

Пятна остаточной намагниченности могут увеличить погрешность измерения толщины никелевых покрытий на недопустимые для практики 20–50 %. Для ее снижения до приемлемого уровня вместо соленоида можно использовать предложенное устройство, не уступающее ему по эффективности. Достоинствами этого устройства являются простота конструкции, портативность и малая масса, отсутствие необходимости в каком-либо источнике питания.

Таким образом, использование серийных приборов типа МТЦ в сочетании с предложенным устройством позволяет измерять толщину никеле-

вых покрытий на неферромагнитных основаниях в диапазоне (0–300) мкм с приемлемой для практики точностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
2. Приборы неразрушающего контроля [Электронный ресурс] / Гос. науч. учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси». – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/VDev/index.html>. – Дата доступа: 30.05.17.
3. Вихретоковый толщиномер никелевых покрытий ВТН-600 [Электронный ресурс] / Производственная коммерческая фирма «Кром». – Режим доступа: <http://test.krom.ua/ru/production/ourwarehouse/2>. – Дата доступа: 31.05.17.
4. Прибор измерения геометрических параметров многофункциональный «Константа К6Ц: руководство по эксплуатации УАЛТ.192.000.00РЭ [Электронный ресурс] / ЗАО «Константа». – Режим доступа: [http://constanta.ru/bitrix/templates/constanta\\_index/images/Паспорта/Паспорт%20К6цТФТ.pdf](http://constanta.ru/bitrix/templates/constanta_index/images/Паспорта/Паспорт%20К6цТФТ.pdf). – Дата доступа: 31.05.17.

E-mail: [lab1@iaph.bas-net.by](mailto:lab1@iaph.bas-net.by)