

УДК 620.179.14

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ ТОЛЩИНОМЕР МТНП-1  
ТОЛСТОСЛОЙНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

А. А. ЛУХВИЧ, А. Л. ЛУКЪЯНОВ, О. В. БУЛАТОВ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ»  
Минск, Беларусь

Главное преимущество магнитных методов толщинометрии состоит в том, что все физические свойства материалов основания и покрытия, кроме магнитных, не влияют на погрешность контроля; это обеспечивает их широкое применение в промышленности, в том числе при контроле никелевых покрытий. Однако разрешающая способность и диапазон измерений толщиномеров пондеромоторного и магнитостатического принципов действия существенно ограничены наличием в сигнале преобразователя значительной по величине неинформативной составляющей, обусловленной первичным намагничивающим полем. Магнитодинамический метод толщинометрии [1–3] автоматически исключает составляющую сигнала, обусловленную первичным намагничивающим полем преобразователя, что значительно расширяет возможности по разрешающей способности и диапазонам измерений. Это преимущество позволило создать многофункциональные толщиномеры покрытий типа МТЦ-2М и МТЦ-3, обеспечивающие измерение одним преобразователем толщины любых неферромагнитных и никелевых покрытий на ферромагнитных основаниях в диапазонах до 10000 мкм и 100 мкм соответственно, никелевых на неферромагнитных основаниях в диапазоне до 150 мкм. Приборы сертифицированы в Республике Беларусь и Российской Федерации, осуществлено их широкомасштабное внедрение.

В некоторых отраслях промышленности (например, при производстве камер сгорания ракетных двигателей) толщина никелевых покрытий в соответствии с техническими условиями достигает 700 мкм и более. Толщиномеры типа МТЦ, как и современные зарубежные аналоги, не обеспечивают указанный диапазон измерений. При контроле камер сгорания возникает ряд принципиальных трудностей. Каждая камера по существу представляет собой трехслойную структуру: никелевое покрытие – бронзовая прослойка (толщина 2,7–9,8 мм) – ферромагнитный корпус камеры. Известно, что магнитные свойства никеля в сильной степени зависят от его структурных свойств. Обеспечить необходимый диапазон измерений, исключить или минимизировать погрешность, обусловленную структурой, можно при условии, что первичное намагничивающее поле преобразователя обеспечивает в объеме информативной зоны намагниченность никеля, близкую к его намагниченности насыщения. Преобразователь для реализации этого условия и прибор МТНП-1 на его основе были созданы; зависимость информативного сигнала от толщины никеля в диапазоне до ~1000 мкм (разрешающая способность 0,10–0,15 мкм) показана на рис. 1.

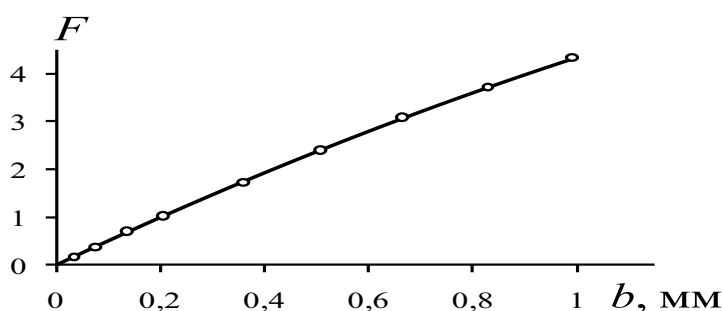


Рис. 1. График зависимости сигнала  $F$  магнитодинамического преобразователя от толщины  $b$  никеля

Поле преобразователя не локализуется в покрытии; намагничивается также корпус камеры и информативный сигнал становится функцией толщины как никеля, так и бронзовой прослойки; величина погрешности достигает десятков процентов. Функциональные возможности прибора обеспечивают измерение, запоминание и компенсацию неинформативной составляющей сигнала, обусловленной ферромагнитным корпусом. Трудности здесь обусловлены тем, что неинформативная составляющая сигнала зависит как от толщины бронзовой прослойки, так и толщины никеля. Для их устранения экспериментально на моделях и фрагментах камер устанавливается характер зависимости величины сигнала от толщин бронзовой прослойки и никеля, полученные значения заносятся в память прибора; его программное обеспечение позволяет выполнить настройку нуля – коррекцию основной градуировочной зависимости, полученной по сертифицированным мерам покрытий.

Одновременно с этим решается задача метрологического обеспечения приборов. Не используя функцию настройки нуля, становится возможным провести поверку приборов по сертифицированным мерам покрытий.

При практическом использовании приборов особых трудностей не возникает. Настройка нуля может быть выполнена на камерах до нанесения никелевых покрытий или на неферромагнитных пластинах разной толщины, накладываемых на материал корпуса. Первый вариант обеспечивает максимальную точность измерений.

В табл. 1. приведены результаты испытаний прибора МТНП-1 с настройкой нуля, выполнявшейся по второму варианту. Толщина никеля на фрагментах камер сгорания определена методом металлографии.

Табл. 1. Показания  $F$  прибора МТНП-1 и погрешность  $\Delta$  при контроле никелевых покрытий толщиной  $b$  на фрагментах камер сгорания ракетных двигателей

№ фрагмента	1	2	3	4	5	6	7
$b$ , мкм	~360	~460	~95	~490	~375	~320	~275
$s$ , мм	6,0	5,7	2,7	5,1	5,3	2,7	2,7
$F$ , мкм	346,2	472,1	90,8	509,0	360,3	295,2	255,3
$\Delta$ , %	-3,8	+2,6	-4,4	+3,9	-3,9	-7,8	-7,2

По табличным данным видно, что погрешность измерений даже при минимальном значении толщины  $s$  прослойки не выходит за пределы  $\pm 8\%$ . При производственных испытаниях с настройкой нуля по первому варианту установлено, что погрешность составляет  $\sim 6\%$ .

На прибор МТНП-1 (см. рис. 2) были разработаны комплекты конструкторской и нормативно-технической документации, на основе которых ФГУП "ВНИИМС" (г. Москва) провели испытания прибора с целью утверждения типа. По результатам испытаний прибор МТНП-1 внесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации под № 44898-10, на прибор выдано свидетельство об утверждении типа № 40481. С целью метрологического обеспечения приборов МТНП-1 созданы меры МТОНП (гальванический никель на бронзе) и МТ-НП (пластины), воспроизводящие толщину никелевых покрытий в диапазоне  $20 \dots 700$  мкм и  $250 \dots 700$  мкм соответственно, с основной погрешностью до  $\pm(0,5 + 1\%)$  мкм, разработана и представлена ФГУП "ВНИИМС" аналогичная документация; меры (см. рис. 3) внесены в Госреестр РФ под № 44899-10, на них выдано свидетельство № 40588.



Рис. 2. Магнитный толщиномер никелевых покрытий МТНП-1



Рис. 3. Меры толщины никелевых покрытий МТ-НП (сверху) и МТОНП (снизу)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Оценка влияния мешающих факторов при магнитной толщинометрии / А. А. Лухвич, А. Л. Лукьянов, А. К. Шукевич // Дефектоскопия. – 2007. – № 12. – С. 43–52.
2. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А. А. Лухвич, О. В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26–34.
3. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.

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