

УДК 620.179.142.6

## МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ НАМАГНИЧЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА БРОНЗЕ

В. И. ШАРАНДО, О. В. БУЛАТОВ, А. В. ЧЕРНЫШЕВ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

В ИПФ НАН Беларуси разработан магнитодинамический метод толщинометрии [1], на основе которого в рамках программы Союзного государства «Космос-НТ» создан и сертифицирован в Российской Федерации (свидетельство № 40481) портативный толщиномер МТНП-1, измеряющий толщину никелевых покрытий в диапазоне от 0 до 700 мкм с основной погрешностью не более  $\pm(1,5 \text{ мкм} + 3 \% \text{ от измеряемой толщины})$ . Область применения прибора – контроль толщины никелевых покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей. В ходе промышленной эксплуатации указанного прибора установлено, что технологически обусловленные пятна остаточной намагниченности никелевых покрытий, имеющие над поверхностью модуль индукции до 5 мТл [2], приводят к увеличению погрешности измерения толщины покрытий.

В 2017 г. в ИПФ НАН Беларуси выполнено задание «Разработать методы и экспериментальные образцы средств термоэлектрического и магнитодинамического контроля технологических покрытий изделий космической техники» по программе Союзного государства «Мониторинг-СГ». В частности, создан экспериментальный образец магнитодинамического толщиномера МТНП-1 [3], оснащенный встроенной системой размагничивания никелевых покрытий, обеспечивающей заданную точность измерения их толщины при наличии на них пятен остаточной намагниченности. При установке доработанного преобразователя (рис. 1) на покрытие в катушку 5 поочередно подаются два разнонаправленных импульса тока, размагничивающие покрытие в зоне контроля.

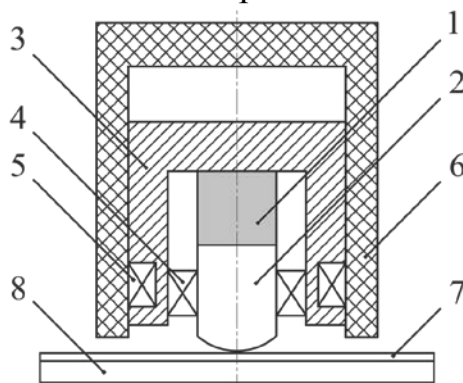


Рис. 1. Схема доработанного преобразователя толщиномера МТНП-1: 1 – постоянный магнит; 2 – ферромагнитный наконечник; 3 – ферромагнитный корпус; 4 – измерительная катушка; 5 – размагничивающая катушка; 6 – немагнитный корпус; 7 – никелевое покрытие; 8 – бронзовое основание

В настоящей работе приведены результаты лабораторных испытаний толщиномера МТНП-1, оснащенного встроенной системой размагничивания, полученные в процессе измерения толщины никелевых покрытий на бронзовых основаниях (табл. 1).

Испытания проведены в три этапа:

- 1) после полного размагничивания всех никелевых покрытий;
- 2) после намагничивания каждого покрытия заданным полюсом магнита, изготовленного из неодим-железо-бора (NdFeB) в виде цилиндра диаметром 10 мм и высотой 5 мм;
- 3) после намагничивания покрытия противоположным полюсом указанного магнита.

Табл. 1. Результаты лабораторных испытаний толщиномера МТНП-1

Толщина никелевого покрытия, мкм	Остаточная индукция, мТл	Показания толщиномера по 5 измерениям, мкм					Среднее, мкм	Основная погрешность, мкм	
		1	2	3	4	5		полученная	допускаемая
195,4	0	195	194	194	196	194	194,0	-1,4	±7,3
	+4,9	194	194	194	194	194	194,0	-1,4	
	-4,0	193	194	194	194	194	193,8	-1,6	
382,7	0	383	383	382	383	383	382,8	+0,1	±12,9
	+4,3	382	383	383	383	383	382,8	+0,1	
	-4,6	382	383	383	381	382	382,2	-0,5	
668,5	0	667	668	669	669	669	668,4	-0,1	±21,5
	+4,8	669	668	669	668	669	668,6	+0,1	
	-4,5	667	669	668	667	669	668,0	-0,5	

Из табл. 1 следует, что при условии использования размагничивающей системы, погрешность измерения толщины предварительно намагниченных никелевых покрытий не превышает основной допускаемой погрешности, указанной в паспорте сертифицированного толщиномера МТНП-1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
2. Лухвич, А. А. Влияние остаточной намагниченности на результаты контроля магнитодинамическими толщиномерами специальных покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // Шестой белорусский космический конгресс: материалы конгресса: в 2 т., Минск, 28–30 окт. 2014 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – Т. 1. – С. 58–61.
3. Магнитодинамические и термоэлектрические приборы для измерения толщины покрытий изделий космической техники / В. И. Шарандо [и др.] // Седьмой белорусский космический конгресс: материалы конгресса: в 2 т., Минск, 24–26 окт. 2017 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2017. – Т. 1. – С. 143–146.

