

УДК 620.179.142.6  
МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ СЛОЯ ХРОМА  
НА СЛОЕ НИКЕЛЯ С ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ

В. И. ШАРАНДО, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА,  
О. В. БУЛАТОВ, А. В. ЧЕРНЫШЁВ  
Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Для защиты от прогорания камер сгорания жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) используют двухслойные хромоникелевые покрытия. Толщина слоя хрома, нанесённого на слой никеля и непосредственно контактирующего с высокотемпературными продуктами сгорания топливной смеси, является одним из важнейших критериев качества покрытия камеры. Эту толщину можно измерить с помощью магнитодинамического преобразователя со стержневым магнитом, создающим относительно слабое поле [1, 2]. Однако при этом наличие случайных пятен остаточной намагниченности слоя никеля под слоем хрома может приводить к недопустимо большой погрешности измерений.

С целью уменьшения погрешности было предложено оснастить типовой магнитодинамический преобразователь внешним кольцевым магнитом, перемещаемым по вертикали и фиксируемым в крайнем верхнем или нижнем положении. При нижней фиксации кольцевой и стержневой магниты преобразователя создают суммарное поле, устраняющее исходную остаточную намагниченность слоя никеля под слоем хрома. После подъёма и фиксации кольцевого магнита в верхнем положении проводят обычное измерение, при этом слабое поле преобразователя обеспечивает высокую чувствительность его информативного сигнала к толщине слоя хрома и минимальное влияние на данный сигнал вариации толщины слоя никеля. Градуировку толщиномера и все измерения осуществляют при наличии нового пятна остаточной намагниченности, имеющего заданные параметры.

Для проверки работоспособности преобразователя с кольцевым магнитом (рис. 1) измерена толщина имитаторов слоя хрома (пяти полимерных плёнок), поочерёдно наложенных на два образца с никелевыми покрытиями, находящимися в разных магнитных состояниях. Одно из них состоит в полном размагничивании никелевых покрытий полем соленоида, подключённого к сети переменного тока, а два других достигнуты приложением к размагниченным никелевым покрытиям северного либо южного полюса стержневого магнита диаметром 10 мм из высококоэрцитивного материала (неодим–железо–бор), обеспечивающего в месте контакта остаточную индукцию до 5 мТл. Различие направлений намагничивания условно обозначено стрелками ↑ и ↓.



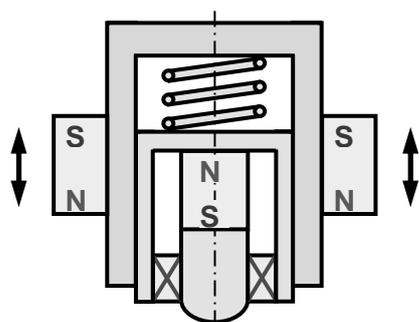


Рис. 1. Схема магнитодинамического преобразователя с подвижным кольцевым магнитом

указанного магнита (б) шесть линий, соответствующих разным магнитным состояниям никеля, сливаются в две линии, соответствующие двум никелевым покрытиям. Таким образом, применение кольцевого магнита позволяет устранить дополнительную погрешность измерений, обусловленную исходной остаточной намагниченностью никеля.

Измерения проведены преобразователем с зафиксированным сверху кольцевым магнитом (аналог типового преобразователя) и после опускания и подъёма магнита. Результаты измерений представлены на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что без применения кольцевого магнита (а) остаточная намагниченность слоя никеля оказывает сильное влияние на информативный сигнал. В случае применения

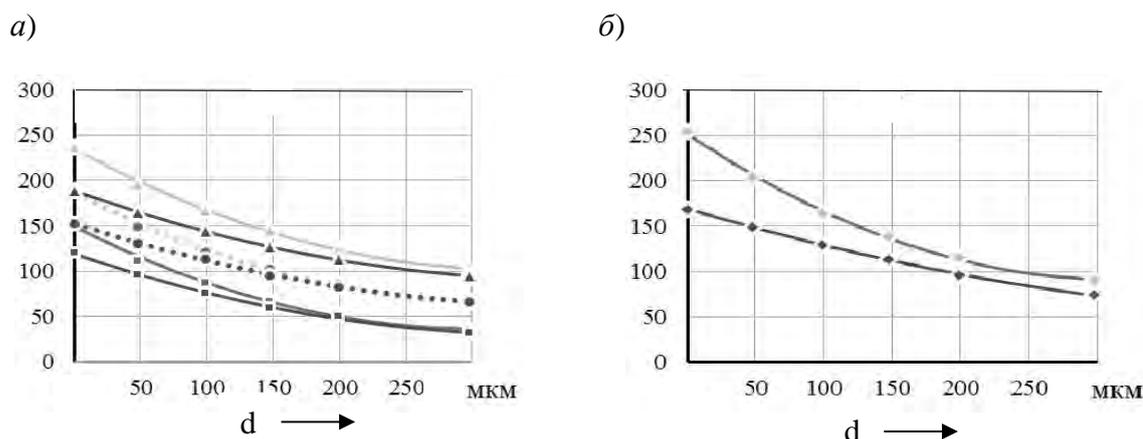


Рис. 2. Зависимость информативного сигнала  $F$  без подмагничивания (а) и после подмагничивания (б) опускаемым кольцевым магнитом от толщины  $d$  неферромагнитного слоя на слое никеля толщиной  $b$  при разной намагниченности никеля:  $\dots\bullet\dots$  и  $\dots\circ\dots$  – никель размагничен;  $\blacktriangle$  и  $\blacktriangleleft$  – никель намагничен  $\uparrow$ ;  $\blacksquare$  и  $\blacktriangleright$  – никель намагничен  $\downarrow$ ;  $\blacklozenge$  и  $\blacklozenge$  – слившиеся кривые для никеля в любом из трёх магнитных состояний. Коричневый цвет соответствует  $b = 179$  мкм, сиреневый –  $b = 636$  мкм

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А. А. Лухвич, О. В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26–34.
2. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины покрытий с неоднородными свойствами (эксперимент) / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // Дефектоскопия. – 2009. – № 11. – С. 46–53.