

А.А. ЛУХВИЧ, О.В. БУЛАТОВ

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Контроль ингредиентов многослойных покрытий является наиболее сложной задачей толщинометрии. Существующие методики и приборы обеспечивают измерения однослойных, их выбор определяется сочетанием физических свойств покрытия и основания. Рассмотрена задача контроля ингредиентов двухслойного хромоникелевого покрытия на двухслойном основании (немагнитная прокладка-ферромагнетик). Эта схема характерна для двигателей различного назначения, она обеспечивает высокую адгезионную прочность между слоями хром-никель и никель-бронза и тепловую защиту камер сгорания. Бронзовая прослойка выполняет функцию теплоотвода, в качестве материала внешней оболочки двигателя в большинстве случаев используются высокопрочные ферромагнитные стали.

В приведённой четырёхслойной структуре важнейшим параметром является толщина никеля. Трудности здесь обусловлены широким диапазоном контроля (до 700 мкм и более), а также зависимостью свойств никеля от технологии его нанесения. Чтобы обеспечить такой диапазон и минимизировать или исключить влияние структуры никеля на точность измерений, необходимо сильное первичное намагничивающее поле, обеспечивающее глубину промагничивания ~ 1 мм и намагниченность в объёме информативной зоны, близкую к намагниченности насыщения. При решении названной задачи оптимальным является магнитодинамический метод толщинометрии [1-3], который, в отличие от других магнитных методов, исключает влияние первичного намагничивающего поля на информативный сигнал, что значительно расширяет диапазон измерений и повышает разрешающую способность.

Авторами было установлено, что при величине поля, обеспечивающей заданный диапазон измерений и отстройку от структуры покрытия, основным мешающим фактором становится влияние на информативный сигнал ферромагнитной оболочки двигателя. Степень влияния определяется толщиной бронзовой прослойки, которая может изменяться в пределах 3-12 мм. В докладе приведены результаты расчётов зависимости величины информативного параметра (поток индукции вторичного магнитного поля) от толщин хрома, никеля и бронзы на ферромагнитной оболочке при разных значениях первичного намагничивающего поля (энергия постоянного магнита преобразователя). Расчёты выполнены с учётом магнитных свойств никеля и ферромагнитной оболочки; энергия магнита варьирова-

лась в пределах 14-180 мДж, толщина хрома – до 0,3 мм, никеля – до 1 мм, бронзовой оболочки – 3-10 мм. На рис. 1 показана зависимость информативного параметра от толщин никеля и бронзы на ферромагнитном основании для двух значений энергии постоянного магнита преобразователя.

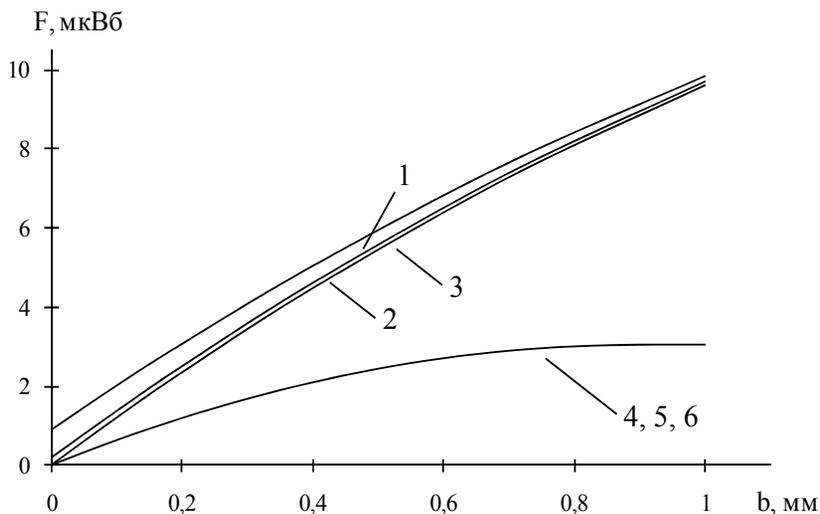


Рис. 1. Зависимость потока F индукции вторичного магнитного поля от толщин никеля b и немагнитной прослойки при различной энергии магнита: кривая 1 – толщина прослойки 5 мм; 2 – 10 мм; 3 – бесконечно большая, энергия 179 мДж; кривые 4, 5, 6 соответствуют тем же значениям толщины прослойки, энергия 53 мДж

Из приведенных данных следует, что при энергии магнита ~ 180 мДж информативный параметр зависит практически линейно от толщины никеля и обеспечивается диапазоном измерений до 1000 мкм и более. Погрешность измерений при этом существенно возрастает с уменьшением толщины немагнитной прослойки между никелем и ферромагнитной оболочкой и уменьшается с ростом толщины никеля. Например, при толщине прослойки 10 мм погрешность составляет 6,5 % при никеле толщиной 200 мкм и 2,7 % толщиной 400 мкм, при 5-миллиметровой прослойке, соответственно, 31,8 и 12,9 %. Для преобразователя с энергией магнита 53 мДж погрешность для указанных значений толщин никеля и прослойки составляет 0,3 и 0,1, 1,7 и 0,5 %. Диапазон измерений толщины никеля в этом случае ограничивается величиной 500-600 мкм. Приведём расчётные данные по усреднённой по объёму информативной зоне намагниченности никеля: для преобразователя с энергией магнита 179 мДж она составляет $2,8 \cdot 10^5$ А/м, что близко к намагниченности насыщения никеля ($\sim 6 \cdot 10^5$ А/м),

при энергии $53 \text{ мДж} - 0,6 \cdot 10^5 \text{ А/м}$, что примерно в 4,5 раза ниже. Следовательно, погрешность измерений, обусловленная структурой никелевого покрытия, во втором случае будет гораздо выше. Выбор и оптимизация параметров преобразователя будут определяться конкретным соотношением геометрических характеристик изделий, требуемым диапазоном измерений и точностью контроля. Полученные в данной работе результаты позволяют это сделать.

Что касается контроля толщины хрома на никеле, то задача во многом упрощается. Она сводится к контролю немагнитного покрытия на ферромагнитном основании. В общем случае сигнал преобразователя будет определяться толщиной хрома, никеля и его свойствами. При контроле двухслойных хромоникелевых покрытий необходимо обеспечить достаточную разрешающую способность по толщине хрома в диапазоне до 200-250 мкм, на никеле толщиной 200-700 мкм, с максимально возможной отстройкой от его свойств. Разрешающая способность по толщине хрома возрастает с увеличением толщины никеля и снижается с ростом энергии магнита. Результаты расчётов и экспериментальные данные показывают, что при толщине никеля $\sim 300-400 \text{ мкм}$ магнитодинамические преобразователи с энергией магнита 15-55 мДж обеспечивают разрешающую способность $\sim 0,2-0,3 \text{ мкм}$; при энергии $\sim 180 \text{ мДж}$ сигнал преобразователя практически не зависит от толщины хрома. Это обстоятельство обуславливает возможность контроля никеля без учёта хромового покрытия. Как и в случае контроля никеля без слоя хрома, полученные результаты позволяют осуществить выбор и оптимизацию параметров преобразователя для измерения толщины хрома. Практически задача контроля ингредиентов двухслойных хромоникелевых покрытий решается использованием одного электронного блока обработки информации и двух преобразователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. на полезную модель № 1030 РБ, МПК G 01R 33/00. Устройство для неразрушающего контроля с посадочными магнитами / А. А. Лухвич, А. Л. Лукьянов; заявитель ИПФ НАН Беларуси. – № u 20030022 ; заявл. 22.01.03 ; опубл. 30.09.03 // Официальный бюллетень. – 2003. – № 3. – Ч. 2. – С. 309.
2. Особенности магнитной толщинометрии гальванических никелевых покрытий / А. К. Шукевич [и др.] // Дефектоскопия. – 2004. – № 11. – С. 62–68.
3. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А. А. Лухвич, О. В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26–34.

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