

УДК 620.179.14
КОНТРОЛЬ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ КАМЕР СГОРАНИЯ РАКЕТНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ НА УЧАСТКАХ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

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

В работах [1, 2] показано, что магнитодинамический преобразователь с высококоэрцитивным стержневым магнитом диаметром 8 мм является оптимальным выбором для контроля толщины никелевых покрытий камер сгорания ракетных двигателей. Проблема, обусловленная влиянием ферромагнитного корпуса камеры на показания прибора МТНП-1, полностью решается автоматической коррекцией с помощью правильно подобранных настроечных коэффициентов (функцию запоминания и коррекции обусловленного корпусом сигнала удобно называть настройкой нуля). Однако ситуация усложняется, когда необходимо измерить толщину покрытия над вырезанным в корпусе камеры технологическим пазом (показан на рис. 1) размерами ~5x5 мм, расположенным на участке, где толщина ячеистой неферромагнитной прослойки минимальна (~2,7 мм).

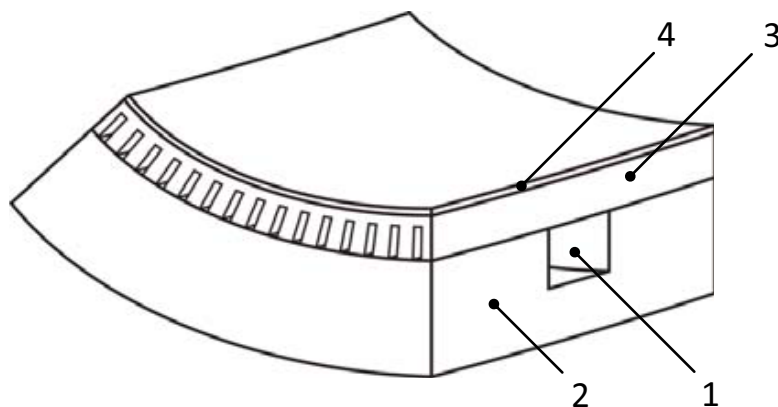


Рис. 1. Технологический паз в корпусе камеры сгорания ракетного двигателя: 1 – технологический паз; 2 – ферромагнитный корпус; 3 – ячеистая неферромагнитная прослойка; 4 – никелевое покрытие

Непосредственно над пазом сигнал преобразователя становится значительно слабее, чем над сплошным корпусом; возникает дополнительная погрешность, обусловленная краевыми эффектами. Выполнены исследования по обеспечению возможности использования алгоритмов и коэффициентов, выбранных для коррекции градуировочной зависимости по корпусу камеры, при контроле покрытия над пазом.

Влияние паза на показания прибора МТНП-1 исследовалось на имитаторах слоев камер сгорания. В качестве корпуса использовалось плоское массивное основание из ракетной стали с вырезанным посередине пазом

размерами 5x5 мм, прослойки – неферромагнитная пластина толщиной 2,72 мм, покрытия – никелевые пластины, толщина которых имела значения, близкие к предельным для участка камеры с пазом (примерно от 150 до 350 мкм). Перед измерениями на той же неферромагнитной пластине, наложенной на аналогичное основание без паза, была выполнена настройка нуля, исключая влияние ферромагнетика на показания прибора. При измерениях преобразователь располагался на разном расстоянии L между его центром и серединой паза. По результатам измерений была определена обусловленная пазом дополнительная погрешность, которая в виде функции $\Delta = f(L)$ представлена на рис. 2; пунктирной прямой отмечено положение одной из боковых стенок паза.

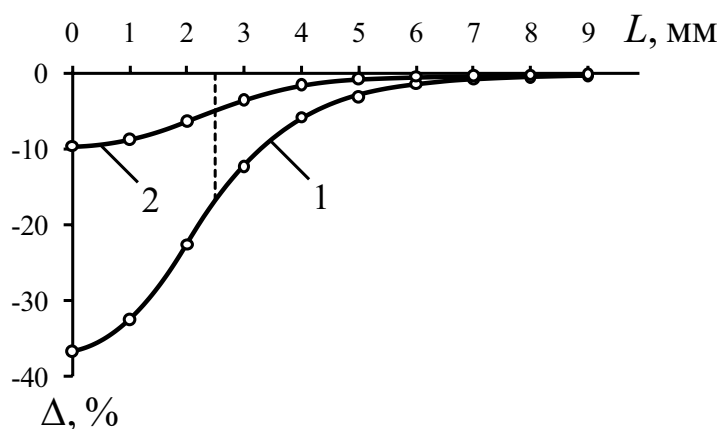


Рис. 2. Зависимость обусловленной пазом дополнительной погрешности Δ от расстояния L между серединой паза и центром преобразователя после настройки нуля, выполненной над сплошным ферромагнетиком: 1 – кривая, соответствующая никелевой пластине толщиной 146 мкм; 2 – 361 мкм

Как и следовало ожидать, влияние паза, по мере смещения преобразователя в сторону от него, постепенно исчезает; видно, что уровень Δ снижается также с ростом толщины покрытия (здесь оно является магнитным экраном, компенсирующим влияние паза пропорционально своей толщине). Несмотря на это, даже при максимальной толщине покрытия Δ над серединой паза составляет $\sim 10\%$; следовательно, влияние паза необходимо компенсировать.

Методика компенсации состоит в том, что до нанесения покрытия следует установить преобразователь на прослойку камеры так, чтобы его центр располагался непосредственно над серединой паза, измерить обусловленный корпусом сигнал и занести его в память прибора. После нанесения покрытия, при контроле его толщины над пазом, программное обеспечение прибора будет автоматически корректировать показания с учетом величины названного сигнала, что обеспечит высокую точность измерений. Сказанное подтверждается рис. 3, который показывает как меняется Δ при такой настройке нуля.

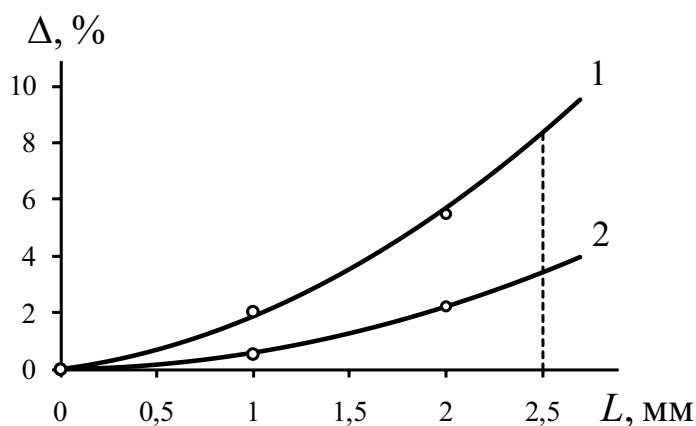


Рис. 3. Зависимость Δ от L после настройки нуля, выполненной при расположении центра преобразователя над серединой паза: 1 – кривая, соответствующая никелевой пластине толщиной 146 мкм; 2 – 361 мкм

Видно, что предварительная настройка нуля полностью решает проблему, обусловленную технологическими пазами. Эффективность настройки обеспечивается при условии, что центр преобразователя не смещается в горизонтальном направлении от середины паза на расстояние более 2,5 мм, т. е. находится в любой точке участка покрытия, условно ограниченного боковыми стенками паза. При выполнении этого условия обусловленная пазом дополнительная погрешность не превышает ~8 % даже при минимальной толщине покрытия, поэтому над пазом будет обеспечиваться такая же высокая точность контроля, как и на остальных участках камеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лухвич, А. А.** Обоснование методик и выбора характеристик магнитодинамических преобразователей контроля никелевых покрытий камер сгорания ракетных двигателей / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // 5-й Белорусский космический конгресс: материалы, Минск, 25-27 октября 2011 г.: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2011. – Т. 1. – С. 50–54.

2. **Булатов, О. В.** Магнитодинамические преобразователи для отдельного контроля толщины хромоникелевых покрытий / О. В. Булатов // Приборостроение-2009: материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. Минск, 11–13 ноября 2009 г. – Минск : БНТУ, 2009. – С. 45–46.

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