

# МНОГОЧАСТОТНЫЙ ВИХРЕТОКОВОЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

А.В. Егоров<sup>1</sup>, В.В. Поляков<sup>1,2</sup>, S.V. Kucheryavskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия,

<sup>2</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup> Aalborg University, Esbjerg, Denmark

pvv@asu.ru

Метод вихревых токов является одним из наиболее эффективных методов неразрушающего контроля характеристик металлических материалов и изготовленных из них изделий и конструкций. К распространенным характеристикам, подлежащим контролю, относятся толщины металлического слоя и нанесенного на него диэлектрического покрытия. Серьезный недостаток вихретоковых измерений в этом случае заключается в том, что на их результаты влияет совместное действие различных конкурирующих факторов [1, 2]. Как следствие, в результате одного измерения разделить контролируемые характеристики и мешающие факторы и определить количественные значения толщин металлического изделия и защитного покрытия весьма затруднительно. В условиях диагностики, определяемых одновременным действием большого числа влияющих факторов, высокую эффективность показал подход, основанный на использовании для обработки результатов измерений математических методов анализа многомерных данных [3, 4]. В настоящей работе этот подход применяется для одновременного контроля толщин металлического слоя и нанесенного диэлектрического покрытия в случае алюминиевых сплавов.

Измерения проводились с помощью измерительно-вычислительного устройства, обеспечивавшего автоматизированное построение годографов системы «вихретоковый датчик - контролируемый образец» в заданном диапазоне частот. При испытаниях использовались накладные параметрические датчики различных диаметров. В качестве материалов выступали технически чистый алюминий и дюраль Д16Т. Образцы имели вид пластин, изготовлявшихся из листов с различной толщиной, на которые наносились диэлектрические покрытия также разной толщины. Снимаемый с вихретокового преобразователя сигнал зависел одновременно от обеих толщин, что обеспечивало выявление возможностей предлагаемого подхода по разделению влияющих факторов.

Обработка результатов вихретоковых измерений проводилась с помощью метода главных компонент. В качестве информативных параметров применялись относительные изменения активного и реактивного сопротивлений датчика при использованных частотах. Каждый образец характеризовался значением удельной электропроводности, толщиной металлической пластины и толщиной диэлектрического покрытия и описывался одной точкой в  $2n$ -мерном пространстве, задававшейся экспериментальным годографом системы «датчик - образец», построенным по  $n$  частотам. Данные расчетов анализировались на графиках проекций вихретоковых измерений на плоскости первых главных компонент.

Полученные результаты показали, что применение предложенного подхода обеспечило надежное разделение значений толщин металлической пластины и покрытия. Для количественного определения этих величин применялся метод регрессии на главные компоненты [5]. Для этого строились математические модели, связывавшие контролируемые характеристики (толщины металлической пластины и покрытия) с координатами соответствующих точек многомерного пространства. Построенные регрессионные модели калибровались по данным независимых измерений и проверялись на тестовых выборках с неизвестными значениями толщин. Результаты расчетов показали, что количественное определение контролируемых характеристик обеспечивалось с достаточно высокой точностью.

Таким образом, предложенный подход, заключающийся в применении метода главных компонент к вихретоковым измерениям, позволил с достаточно высокой точностью провести одновременное определение толщины алюминиевых пластин и диэлектрического покрытия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-00914.*

**Литература:**

1. Garcia-Martin J., Gomez-Gil J., and Vazquez-Sanchez E. Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing. *Sensors (Basel)*. 2011. Vol. 11(3). Pp. 2525–2565.
2. Egorov A.V., Polyakov V.V., Lependin A.A., Gracheva Ya.I. Using Signals of Special Form in Multi-Frequency Eddy Current Testing. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2017. Vol. 53. No. 3. pp. 223-229.
3. Shokralla S, Morelli J.E, Krause T.W. Principal Components Analysis of Multifrequency Eddy Current Data Used to Measure Pressure Tube to Calandria Tube Gap. *IEEE Sens. J.* 2016.16:3147–54.
4. Egorov A.V., Kucheryavskiy S.V., Polyakov V.V. Resolution of effects in multi-frequency eddy current data for reliable diagnostics of conductive materials. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2017. Vol. 160. Pp. 8-12.
5. Егоров А.В., Поляков В.В. Вихретоковой контроль металлических материалов с помощью проекционных методов многомерного анализа данных. *Дефектоскопия*. 2018. №5. С. 57-62.