

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Алтайский государственный университет
Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова
Восточно-Казахстанский государственный технический
университет им. Д. Серикбаева

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ВЫПУСК V

Сборник научных статей

Барнаул
Издательство Алтайского государственного университета
2017

ББК 30.3
Н 766

Ответственные редакторы:

В.В. Поляков, доктор физ.-мат. наук, профессор,
В.А. Плотников, доктор физ.-мат. наук, профессор

Н 766 Новые материалы и технологии. Выпуск V / Сборник научных статей / Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2017. - 160 с.

ISBN 978-5-7904-2249-2

В сборнике статей V Российско-Казахстанской молодежной научно-технической конференции представлены доклады, посвященные технологиям получения новых материалов, особенностям их структуры и процессам формирования физико-механических свойств. В статьях отражены современные тенденции развития науки о материалах, перспективные направления фундаментальных и прикладных исследований.

ISBN 978-5-7904-2249-2

© ФГБОУ ВПО «Алтайский
государственный университет»,
2017

как эволюция структурных уровней пластической деформации // Физическая мезомеханика. 2000. - Т.3. С.91-99.

4.Буйло С.И. Физико-механические и статистические аспекты повышения достоверности результатов акустико-эмиссионного контроля и диагностики. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. 192 с.

5.Егоров А.В., Поляков В.В. Применение метода акустической эмиссии к исследованию деформационного поведения структурно-неоднородных материалов. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2008. 120 с.

6.Поляков В.В., Егоров А.В., Салита Д.С., Колубаев Е.А. Методы диагностики сварных соединений в алюминиевых сплавах. Часть 2. Акустическая эмиссия. // Известия АлтГУ. 2015. №1/1. // Известия АлтГУ. 2015. №1/1.

7.Lependin A.A., Polyakov V.V., Egorov A.V. Some statistical parameters of acoustic emission signals in porous iron under static loading. 13th International Conference on Fracture. Beijing, China, June 16-21, 2013. Beijing, China. Vol. 5. Pp. 3524-3528.

8.Поляков В.В., Егоров А.В., Салита Д.С., Колубаев Е.А. Физические методы диагностики сварных соединений в алюминиевых сплавах. Часть 2. Акустическая эмиссия. // Известия Алтайского государственного университета. - 2015. - №1 С.50-54

9.Егоров А.В., Поляков В.В. Применение метода акустической эмиссии к исследованию деформационного поведения структурно-неоднородных материалов. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2008. 120 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ ВИХРЕТОВОМ КОНТРОЛЕ ТОЛЩИНЫ МЕДНЫХ ОБРАЗЦОВ

Борцова Я.И.

*Россия, Алтайский край, Барнаул, ФГОУ ВО Алтайский
государственный университет
E-mail: gracheva@edu.asu.ru*

Вихретоковые измерения являются одним из наиболее распространенных методов, используемых при автоматизированной диагностике металлических материалов и конструкций. При таких измерениях на одной частоте возбуждающего сигнала из всей совокупности влияющих факторов сложно выделить контролируемый параметр. Многочастотные измерения являются более эффективными, однако последовательный перебор частот значительно увеличивает время проведения измерений.

В настоящей работе применен модифицированный метод многочастотных вихретоковых измерений. Этот метод основан на возбуждении датчика сигналом специальной формы, содержащим необходимый для измерений набор частот, с последующей цифровой обработкой регистрируемых данных. [1] На вход измерительной цепи для одновременного измерения параметров датчика подавался сигнал $u_1(t)$, полученный путем суперпозиции M гармонических сигналов с фиксированными частотами $\omega_1, \dots, \omega_M$:

$$u_1(t) = u_0 \sum_{m=1}^M \sin(\omega_m t)$$

(u_0 – нормировочный коэффициент, ограничивающий максимальное значение сигнала u_1).

При измерениях применялся накладной параметрический датчик, представлявший из себя катушку индуктивности с сердечником. [2] Измерения проводились для датчика без образца и с контролируемым образцом. В качестве материалов для апробации предложенного подхода использовались плоские пластины, вырезанные из листов меди разной толщины. Выбор объекта контроля был обусловлен отсутствием влияния магнитных свойств, широкой распространенностью материалов на основе меди в электротехнической промышленности. [3] Толщина пластины h была выбрана таким образом, чтобы явно проявлялось влияние скин-слоя, и изменялась в интервале от 1.8 мм до 22 мм. Обработка регистрируемых сигналов и построение годографов проводились в среде графического программирования LabView компании National Instruments. [4]

Частоты, при проведении экспериментов, изменялись в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц. На каждой частоте рассчитывались изменения реактивного $\Delta X(\omega_m) = X(\omega_m) - X_0(\omega_m)$ и активного $\Delta r(\omega_m) = r(\omega_m) - r_0(\omega_m)$ сопротивлений датчика (где $X(\omega_m)$ и $r(\omega_m)$ – параметры датчика с образцом на фиксированной частоте ω_m ; $X_0(\omega_m)$ и $r_0(\omega_m)$ – параметры датчика без образца), и строились годографы в координатах « $\Delta X/X_0$ - $\Delta r/X_0$ » для наглядного представления результатов измерений.

Типичные экспериментальные годографы, полученные при измерениях, приведены на рис. 1. Из него следует, что влияние толщины образца проявляется в изменении формы линии годографа. Такое изменение наиболее существенно при малых толщинах, при увеличении h линии годографов сближаются и при дальнейшем росте толщины начинают накладываться друг на друга, расхождение

сохраняется только на верхних участках линий, отвечающих низким частотам.

Метод главных компонент в данной работе применен для разделения факторов, влияющих на результаты многочастотных вихрековых измерений [5]. Результаты измерений активного и реактивного сопротивлений датчика рассматривались как координаты точки многомерного пространства.

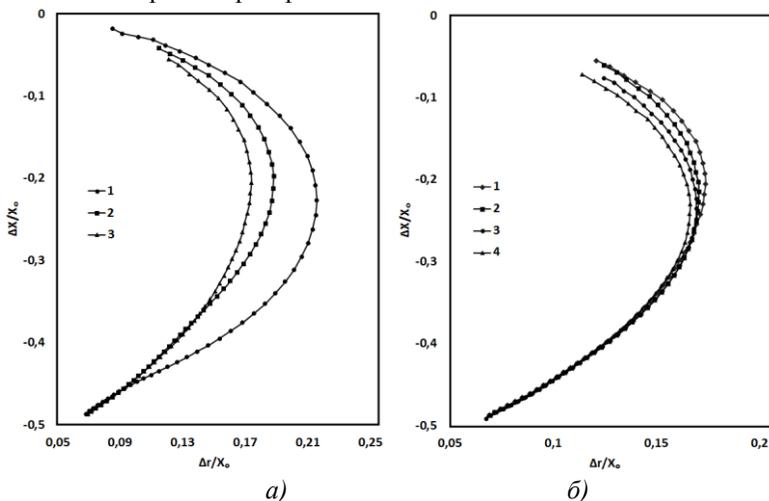


Рис 1. Экспериментальные годографы для медных образцов. 1 – 1.87 мм, 2 – 3.73 мм, 3 – 5.59 мм; 1 – 5.59 мм, 2 – 7.52 мм, 3 – 19.5 мм, 4 – 21.3 мм.

Для количественного контроля толщин металлической пластины в настоящей работе был применен метод регрессии на главные компоненты [6]. Данный метод используется, если известна связь между совокупностью экспериментальных данных, задававших координаты соответствующих точек в многомерном пространстве, и характеристиками контролируемого объекта. [7] При расчетах число компонент (P) определялось по наименьшему разбросу δ значений и наибольшему значению корреляции s , предсказываемых моделью. На рис. 2 приведены зависимости δ и s от числа компонент для контролируемых характеристик. Из рис. 2 следует, что оптимальные значения δ и s при моделировании толщины металлической пластины достигается при $P=10$.

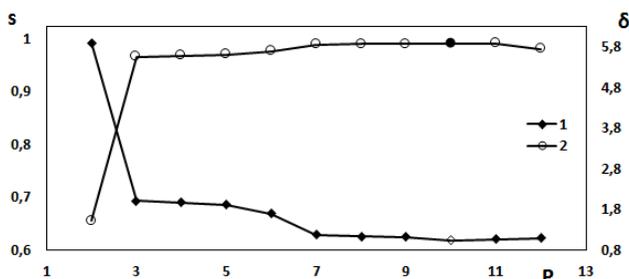


Рис. 2. Определение числа компонент регрессионной модели для медных образцов

Регрессионные модели, построенные по калибровочным выборкам, были использованы для определения толщины образцов, не участвовавших в калибровке, то есть выступавших в роли тестовых образцов с «неизвестными» значениями толщины пластины. [8, 9] Типичные результаты расчетов в сопоставлении с непосредственными измерениями толщины приведены в таблице. Как следует из таблицы, рассчитанные значения отличаются от измеренных не более чем на 5%.

Таблица 1

Характеристики медных образцов.

Измеренное	Рассчитанное
3.73 ± 0.05	3.89
7.52 ± 0.05	8.14

Полученные результаты показали, что предложенный в работе метод дает возможность построить экспериментальные годографы системы «датчик – образец» с существенно меньшими затратами времени. Годографы, построенные на примере медных материалов, показали надежность предложенного метода. Последующее применение метода главных компонент и регрессии на главные компоненты позволило сопоставить с достаточной точностью контролируемую характеристику и результаты расчетов. Предложенный подход обеспечивает достаточно надежное определение такой характеристики, как толщины металлических образцов. Построенные регрессионные математические модели могут быть применены в задачах неразрушающей диагностики структуры металлических материалов.

Список используемой литературы:

1. Егоров А.В., Поляков В.В., Лепендин А.А., Грачева Я.И. Применение сигналов специальной формы в многочастотных вихрековых измерениях. //Автометрия. 2017. Т. 53. №3. С. 28-35.

2. Крайний В.И., Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Повышение надежности обнаружения дефектов сложных конструкций с помощью комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля. // Дефектоскопия, 2012, № 2. С. 54-63.

3. Egorov A.V., Polyakov V.V. The Application of Principal-Component Analysis during Eddy-Current Testing of Aluminum Alloys // Russian Journal of Nondestructive Testing, 2015, Vol. 51, No. 10, pp. 631-636.

4. Егоров А.В., Поляков В.В., Грачева Я.И., Автоматизированный вычислительно-измерительный комплекс для многочастотной вихретоковой диагностики металлических материалов // Известия АлтГУ, 2017, № 2.

5. Lingqi Li; Tsukada K.; Hanasaki K.; Zheng Liu. Fusion of multi-frequency eddy current signals-by using wavelet analysis method // Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion, 2002. Vol. 1. pp. 108 – 113.

6. Егоров А.В., Поляков В.В. Применение метода главных компонент при вихретоковом контроле алюминиевых сплавов// Дефектоскопия. - 2015. - т.51. - N10. - с.42-48.

7. 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. Doi:10.1063/1.4932875.

8. Баштанников Л.А., Бондаренко В.И., Себко В.П., Тюпа В.И. Определение электромагнитных характеристик материала сплошных цилиндрических изделий // Дефектоскопия. 1980, №8. С. 5-9.

9. Поляков В.В., Егоров А.В. Зависимость электропроводности пористых металлов от структуры.// Теплофизика и аэромеханика. 1994. Т.1. №2, с. 179-181.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №17-08-00914).