

*Сторчак А. В., аспірант,
Гальченко В. Я., д.т.н., професор,
Тичков В. В., к.т.н., доцент,
Трембовецька Р. В., к.т.н., доцент,
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій,
Черкаський державний технологічний університет*

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ВИХРОСТРУМОВОМУ КОНТРОЛІ

Контроль стану мікроструктури та хімічного складу об'єктів в рамках сучасного неруйнівного контролю зазвичай виконується в результаті визначення їх електрофізичних параметрів, а саме питомої електропровідності та магнітної проникності, що знаходяться в кореляційному зв'язку з зазначеними показниками. Тому методи вимірювання електрофізичних параметрів шляхом збудженням в об'єктах контролю вихрових струмів мають визначальне значення. На даний час є відомими досить велика кількість варіантів реалізації такого підходу. Зосередимося в подальшому на критичному аналізі відомих із науково-технічної літератури методів з відзначенням їх переваг та недоліків.

У статті [1] запропоновано декілька можливих різновидів систем вимірювання питомої електропровідності тонкостінних листових металів із використанням методу «зустрічних» полів, який заснований на компенсації електромагнітних полів двох соленоїдів у внутрішній порожнині джерел з двома зразками, при магнітно-імпульсній обробці металів. Підхід відзначається суттєвою специфікою використання та не може використовуватися у більш загальних випадках.

Стаття [2] містить розв'язання оберненої задачі багатопараметричного контролю феромагнітних матеріалів змінно-частотним методом вихрових

струмів. Запропоновано оптимізаційний підхід отримання електрофізичних характеристик об'єктів методом Флетчера–Пауела, який мінімізацією функції цілі дає змогу оцінити різницю між виміряними і обчисленими значеннями частоти збудження. Але метод не дозволяє окремо контролювати питому електропровідність та магнітну проникність, а лише обмежується визначенням електромагнітного параметру металевого виробу $\eta = \sigma\mu$.

У дослідженнях [3-5] розглянуто електромагнітний перетворювач з просторово-періодичною структурою поля, що представляє собою соленоїд на немагнітному каркасі з контрольованим об'єктом у формі протяжного феромагнітного циліндру. Показано, що такий датчик дозволяє безконтактно вимірювати електропровідність, магнітну проникність і геометричні параметри металевих виробів за рахунок розміщення вимірювальних обмоток таким чином, щоб можна було отримати інформацію про параметри декількох гармонік поля. Проблемним у використанні такого перетворювача є наявність декількох обмоток, які можуть бути розмішені в різних місцях об'єкту контролю, де електрофізичні характеристики різняться локально, що призводить до додаткових похибок вимірювання. Крім того, можливими є похибки просторового позиціонування вимірювальних обмоток.

В публікації [6] розв'язок оберненої задачі електродинаміки щодо реконструкції структури об'єкта контролю за виміряними сигналами вихрострумів перетворювача рекомендується шукати засобами лінійного програмування. Лінійне припущення, яке використано в математичній моделі, є досить приблизним та не є строгим. Крім того, при проведенні вимірювальних операцій використовуються декілька частот, що ускладнює проведення процедури.

В дослідженнях [7-10] запропоновано найбільш досконалий, на погляд авторів, підхід розв'язку оберненої задачі, оснований на побудові наближеної багатовимірної нелінійної прямої та(або) зворотної функції перетворення вимірювальної системи. Зазначені два класи функцій перетворення

будуються на базі відповідних масивів значень параметрів об'єкта контролю та значень інформаційних параметрів вихрострумowego перетворювача. Масив інформаційних параметрів отримується на різних частотах збудження або при змінюванні геометричних розмірів обмоток перетворювача. Модель зворотної функції перетворення представлена багатовимірним поліномом у базисі інформаційних параметрів. На завершення, при використанні прямої функції перетворення відшукується розв'язок системи нелінійних рівнянь відносно невідомих параметрів. В випадку використання зворотної функції для визначення параметрів об'єкта контролю застосовується знайдена нелінійна поліноміальна залежність від компонент вектору інформаційних параметрів перетворювача. До недоліків методу слід віднести певні труднощі щодо вибору структури полінома, що апіорі є невідомою, яка би забезпечила прийнятну похибку апроксимації гіперповерхні. Також відзначимо, що з ростом числа невідомих параметрів об'єкта контролю, а відповідно розмірності гіперпростору, провести поліноміальну апроксимацію стає практично неможливим.

В публікації [11] головна увага зосереджена на вимірюваннях тільки питомої електропровідності, тобто мова йде щодо однопараметрового контролю. Але більш достовірні висновки щодо мікроструктури об'єкта і його хімічного складу можна зробити на основі багатопараметрового контролю, зокрема електрофізичних параметрів.

Таким чином, критичний аналіз джерел науково-технічної інформації відповідної тематики дозволяє зробити висновок щодо сучасного рівня розвитку методів вирішення досліджуваної проблеми. Алгоритм реконструкції електрофізичних параметрів об'єктів контролю складається з двох частин, а саме виконання вимірювальних операцій та математичного розв'язку оберненої задачі електродинаміки. З вимірювальною процедурою задачі є певна ясність. Такі вимірювання бажано виконувати на одній частоті та в результаті однократної фіксації результату. В свою чергу, математична

частина задачі потребує подальших зусиль дослідників в сенсі розробки універсальних обчислювальних засобів її вирішення в багатопараметровій постановці, які є прийнятними для переважаючого числа можливих випадків вихрострумового контролю.

Література:

1. Измерение удельной электропроводности листовых металлов с использованием магнитно-импульсных технологий / М. В. Барбашова // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. - 2013. - № 1. - С. 140-149.

2. Розв'язання задачі багатопараметричного контролю металевих виробів змінно-частотним методом вихрових струмів / Б. М. Березюк, У. Б. Марікуца, Т. В. Свірідова // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2006. - № 564. - С. 67-71.

3. Электромагнитный преобразователь с пространственно-периодическим полем для систем многопараметрового контроля / Б. М. Горкунов, Е. А. Борисенко, Т. Шибан, И. Шахин // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. - 2018. - № 26(1). - С. 80-85.

4. Gorkunov V. Uncertainty estimation while proceeding multi-parameter eddy current testing / V. Gorkunov, S. Lvov, Y. Borysenko // Системи обробки інформації. - 2018. - Вип. 4. - С. 92-97.

5. Экспериментальные исследования вихретокового преобразователя с пространственно-периодическими полями / Б. М. Горкунов, С. Г. Львов, Шибан Тамер, Е. А. Борисенко // Метрологія та прилади. – 2018. № 4(72). – С. 45-50.

6. Метод суперпозиции при определении глубины упроченного слоя вихретоковым методом / Б. М. Горкунов, А. А. Тищенко // Вестник Национального технического университета "ХПИ" [Текст] : сб. науч. тр. :

темат. вып. / НТУ “ХПИ”. Вып. 19 : Электроэнергетика и преобразовательная техника / отв. ред. Г. М. Сучков. - Харьков : НТУ “ХПИ”, 2011 – С. 94-97.

7. Побудова зворотної функції перетворення приладів вихрострумowego багатопараметрового контролю [Електронний ресурс] / А. Я. Тетерко, В. І. Гутник // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2011. - Т. 47, № 3. - С. 103-108.

8. Тетерко А. Я., Гутник В. І. Концепція побудови апаратури багатопараметрового вихрострумowego контролю // Відбір і обробка інформації. – 2010. – №33(109). – С.9-14.

9. Тетерко А. Я., Гутник В. И., Луценко Г. Г., Тетерко А. А. Метод многопараметровых вихретоковых измерений толщины, электропроводности материала и толщины диэлектрического покрытия элементов конструкций // Техническая диагностика и неразрушающий контроль – 2014. - № 3. – С.55-60.

10. Селективна вихрострумова дефектоскопія [Текст] / А. Я. Тетерко, З. Т. Назарчук ; НАН України, Фіз.-механ. ін-т ім. Г. В. Карпенка. - Л.: 2004. - 248 с.

11. Беда П. И., Сапунов В. М., Поляков А. И., Путников Ю. Г. Методические рекомендации по применению вихретоковых измерителей электрической проводимости для контроля свойств материалов деталей авиационной техники. Люберцы, 13 ГНИИ Минобороны России, Выпуск №6519, 1992. - 108 с.