

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МАГНІТОМЕТРІЇ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

А. Б. Жидков, кандидат технічних наук, доцент
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

Запропоновано вирішення проблем дефектоскопії технічних об'єктів з феромагнітних матеріалів із застосуванням сучасних методів магнітометрії. Досліджено переваги та недоліки використання ферозондових датчиків для дефектоскопії та запропоновано шляхи підвищення їх ефективності. Наведено результати використання методу магнітної пам'яті металу для визначення схованих дефектів та втомлених тріщин в стадії розвитку. Викладено перспективи та напрями подальших досліджень.

Ключові слова: неруйнівний контроль, приховані дефекти, магнітометрія, ферозонд, метод магнітної пам'яті металу.

Постановка проблеми. На даний час для металевих деталей визначення дефектів, які знаходяться в об'ємі металу і не мають виходу на поверхню, ускладнюється тим, що всі методи які застосовуються для цього, є опосередкованими, тому жоден з цих методів априорі не може бути абсолютно надійним. Але використання неруйнівного контролю (НК) значно підвищує надійність експлуатації технічних об'єктів, і основні роботи з удосконалення методів НК зводяться до підвищення інформативності отриманих даних, зниження часу та вартості контролю, підвищення вірогідності виявлення неприпустимих дефектів та чіткому встановленні меж використання. У статті об'єктом дослідження обрано вісь колісної пари залізничного візка, а предметом дослідження є визначення внутрішніх дефектів, особливо зародків втомлених тріщин у стадії розвитку магнітометричними методами.

Аналіз актуальних досліджень. Питанням магнітної дефектоскопії та НК займалися багато авторів впродовж другої половини 20 та початку 21 століття [1-3]. Проблемою безпечної експлуатації технічних об'єктів також опікувалися багато вчених, про що свідчать відповідні публікації [4-6]. На даний

час одним з самих небезпечних варіантів руйнування технічних об'єктів є їх раптове руйнування під час експлуатації. Особливо це небезпечно для рухомих об'єктів, наприклад рухомого складу залізниць. У роботі А. Ф. Гаврилюка було проведено аналіз небезпечних пригод та аварій на Укрзалізниці і зазначено, що внутрішні дефекти, навіть після ремонту, який не усунув їх повністю, є найбільш небезпечними [7]. Згідно з інструкцією з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар «... забороняється випускати в експлуатацію і допускати до слідування в поїздах вагони при наявності ... тріщини в будь-якій частині осі колісної пари чи тріщини в ободі диску і маточині колеса» [8]. Метод виявлення тріщин, який пропонується, це магніто-порошковий метод, або ультразвуковий контроль. Ці методи мають обмеження як за розміром тріщини, яку здатні виявити, так і за глибиною її залягання. Разом з тим відповідно до сучасних уявлень про будову металу, субмікро- та мікротріщини є звичайним елементом структури металу, яка характерна для металоконструкцій, подібно до дислокацій та вакансій [9]. Результат розвитку подібної тріщини показано на рис. 1 [7]

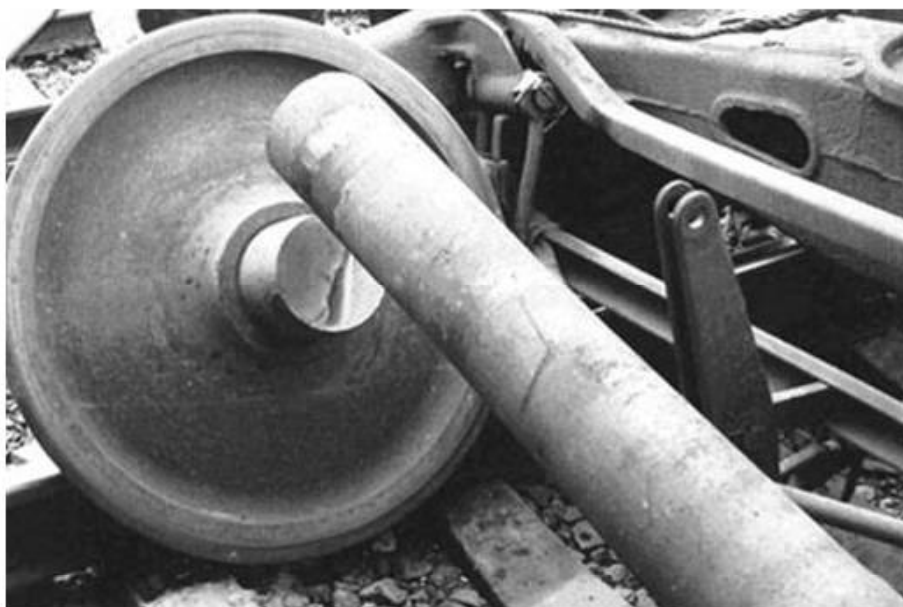


Рис. 1. Руйнування колісної пари у результаті розвитку втомної тріщини осі [7]

Причому необхідно зазначити, що від попереднього повного огляду колісної пари пройшло 5 років та за даний час було проведено 11 поточних ремонтів вагону та 56 оглядів колісної

пари. Це свідчить про велику складність виявлення подібних дефектів.

Необхідно зазначити, що характер дефектів осей, які знаходяться в експлуатації і в стадії виготовлення, є різним. При виготовленні осей основними дефектами, крім тріщин, можуть бути полосовіни, заходи, раковини, флок.

Для експлуатаційних дефектів розроблено спеціальну класифікацію дефектів та несправностей і дій при їх виявленні [10]. У період експлуатації переважаючими дефектами є поперечні тріщини, які при несвоєчасному їх виявленні можуть переходити в злами. Розташування дефектів на осі в обох ви-падках може бути як поперечним, так і похилим, і поздовжнім. В даний час основним засобом діагностики осей колісних пар є магнітопорошкова дефектоскопія, яка застосовується як в період експлуатації колісних пар, так і при виготовленні. Особливістю цього виду діагностики є те, що вона вимагає великих витрат часу, її процес не може бути автоматизований і ймовірність виявлення дефектів залежить від суб'єктивних характеристик оператора.

Мета статті: розглянути можливість використання для НК ферозондів в резонансному режимі та приладів, які використовують метод магнітної пам'яті металу і порівняти їх можливості.

Виклад основного матеріалу. Існує безліч різновидів ферозондових приладів, призначених для вимірювання неоднорідних полів розсіювання намагнічених об'єктів з дефектами. Попередніми дослідженнями доведено [11], що при певній їх технічній адаптації та удосконаленні методів обробки інформаційних сигналів ферозондові прилади можуть бути застосовані для цілей діагностики технічного стану осей колісних пар. Основною труднощію діагностики осей колісних пар при використанні ферозондових приладів є ступінчастість поверхні і складність вирізнення сигналу, який виникає від дефектів та збурень від інших чинників. Тому при застосуванні ферозондового методу основними завданнями є мініатюризація ферозондових датчиків та фільтрація корисного сигналу від перешкод.

На основі аналізу інформаційних параметрів полів розсіювання встановлено, що просторові спектри полів розсіювання дефектів і завад, які викликані східчастою поверхнею осей, не перекривають одне одного. Виділення корисного сигналу на тлі завад можна здійснити просторовою і частотною фільтрацією завади. Запропоновано використання методу багато-східчастої фільтрації сигналів про наявність дефектів, який враховує методи цифрової фільтрації та забезпечує працездатність системи діагностування при високому рівні магнітних завад і підвищує вірогідність результатів діагностування. Для виявлення дефектів розроблено принципово новий алгоритм обробки магнітометричної інформації, на основі якого в даний час ведеться розробка програмного забезпечення. Пропонується використання сучасних математичних методів, що побудовані на використанні принципів нелінійної механіки та теорії хаосу. При цьому дефект визначається не як відхилення сигналу від деякого середнього значення або вихід за межі діапазону, а за більш складним алгоритмом, що передбачає аналіз змін декількох похідних сигналу у часі. Для реалізації такого підходу прилад реєструє лінійні комбінації дискретних відліків функціональної залежності. Основна перевага мультиплексного методу полягає в тому, що він забезпечує більшу інформативність вимірів та послаблює дію таких негативних факторів, як фон стороннього випромінювання, власні шуми ферозонда, дрейф апаратури тощо.

Робота ферозонда у резонансному режимі дозволить підвищити його чутливість до дефектів, але це потребує його модернізації. Режим параметричного резонансу різко підвищує коефіцієнт перетворення ферозондового датчику. Для цього в контур вводиться конденсатор відповідних параметрів [12]. Розрахунки свідчать [12], що при роботі в режимі резонансу для звичайного ферозондового датчику коефіцієнт передачі збільшується на 2-3 порядки. Це дозволяє не використовувати фільтри другої гармоніки та резонансні підсилювачі. Одночасно суттєво зростає стійкість всієї вимірювальної схеми, яка охоплюється дуже глибоким негативним зворотним зв'язком і це поліпшує метрологічні характеристики вимірювального тракту

У результаті параметричного посилення функція перетворення ферозондового датчика збільшується у 8-10 разів. Зараз в Східноукраїнському національному університеті ім. В. Даля ведеться робота по створенню дослідного зразка приладу, який реалізує запропонований принцип.

Однак сам ферозондовий датчик має складну будову і складно виготовляється. Тому паралельно для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати вже розроблений магнітометричний прилад, який працює з використанням явища магнітної пам'яті металу. На відміну від ферозонду, який сам генерує магнітне поле, сутність цього методу полягає в скануванні власного магнітного поля деталі, яка досліджується.

Відомий зв'язок між магнітними параметрами, наприклад коерцитивною силою та напружено-деформованим станом феромагнетиків. Різного роду порушення суцільності металу також відбиваються на власному магнітному полі деталі. Якщо зосередитися на втомній тріщині в стадії розвитку, то розвиток її відбувається при вичерпанні пластичності внаслідок значної мікропластичної деформації та супроводжується концентрації напруг в металі поблизу тріщини. Тому для прогнозування розвитку втомних тріщин необхідно надійно виявляти «сліди» пластичної деформації та концентрацію напруг, використовуючи як інформативний параметр власне магнітне поле деталі.

При застосуванні методу магнітної пам'яті металу зазвичай вважають, що всі частини деталі у вихідному стані мали приблизно однакову намагніченість, однакову форму (типорозмір), однаковий матеріал. Виходячи з цього, після впливу робочого навантаження в деталі виникають магнітні аномалії в зонах концентрації напруг, і, таким чином, шляхом вимірювання розподілу магнітних полів розсіювання в зоні концентрації напруг і поза цими зонами надається можливість робити оцінку стану окремих ділянок. Виникає ситуація, коли сама конструкція і її елементи після зняття робочого навантаження показують свої слабкі місця у вигляді ділянок, з локально аномальним магнітним полем.

Для реалізації такого методу у ВП «НДІ «Іскра» СНУ ім. В. Даля було створено лабораторний зразок приладу, який використовує магніторезистивний датчик для вимірювання слабких магнітних полів (рівня порівнянного з власним магнітним полем Землі) та було проведено його випробування на зразках [13, 14].

В якості чутливого елемента було використано Honeywell HMC5883L, який є модулем для низькопольового (невисокої інтенсивності поля) магнітного зондування за допомогою цифрового інтерфейсу. HMC5883L використовує анізотропні магніторезистивні сенсори, з високою роздільною власністю щодо напрямку осі та високою чутливістю. Вони є одними з найбільш чутливих датчиків низького магнітного поля в промисловості і забезпечують діапазон вимірювання $\pm 1,3 - 8$ Гс (задається програмно) з точністю 5 мГс. Вихідним параметром є напруженість магнітного поля по трьом декартовим координатам.

Результати вимірювання записуються на внутрішній носій формату Micro-CD у вигляді файлу, який потім можна обробляти на ПК.

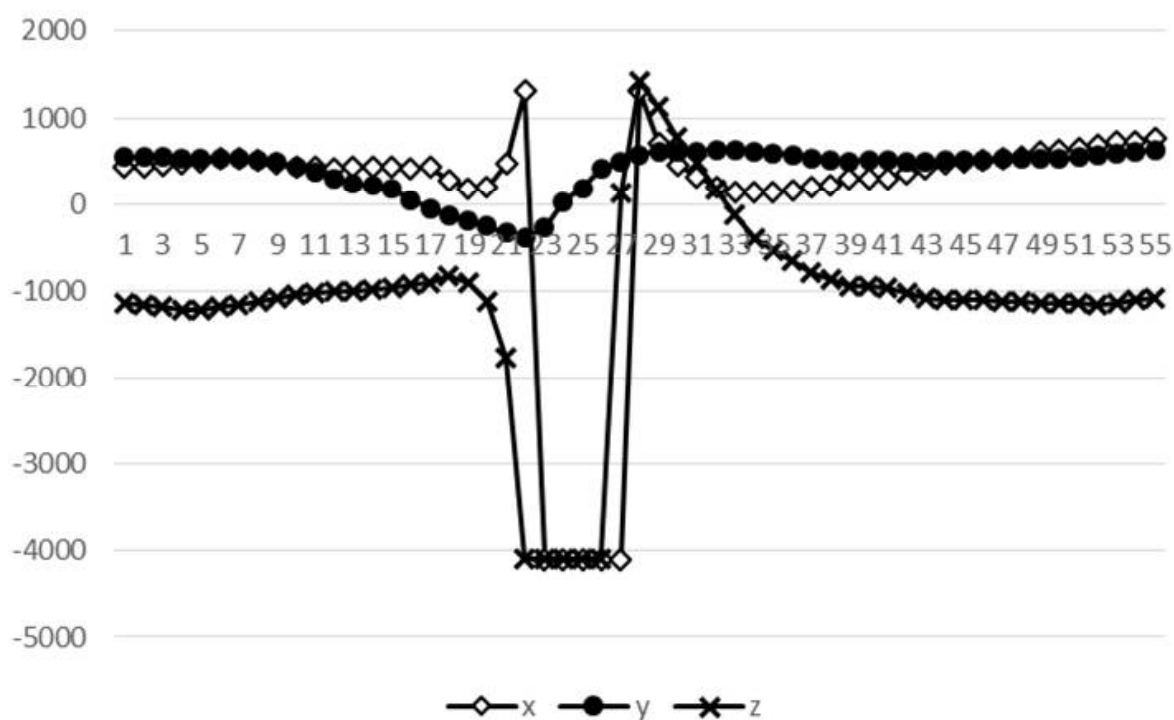


Рис. 2. Магнітне поле плаского зразка з «розривом» завширшки 0,5 мм

Розроблений прилад показав високу чутливість до дефектів типу пори, тріщини, локального корозійного ураження, тобто до всіх дефектів, які є порушенням суцільності металу. Магнітне поле, напруженість якого вимірювалася датчиком на поверхні зразка одночасно у трьох координатах x , y та z поблизу дефекту, має яскраво виражену аномальну ділянку (рис. 2).

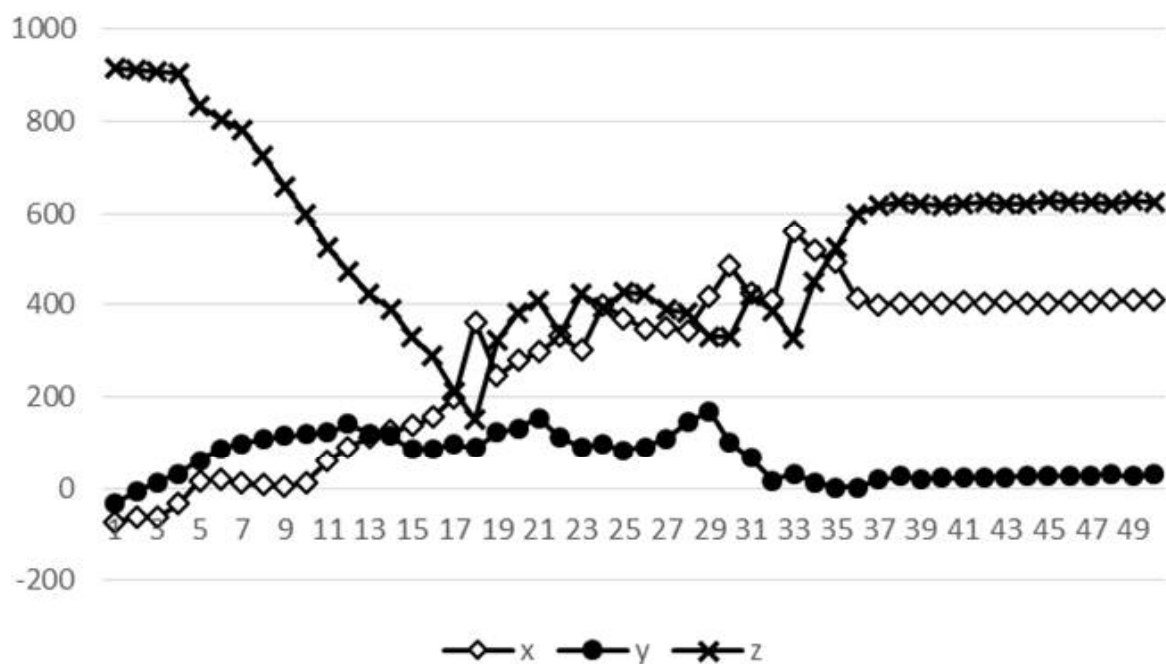


Рис. 3. Магнітне поле суцільних зразків із значною концентрацією напруг.

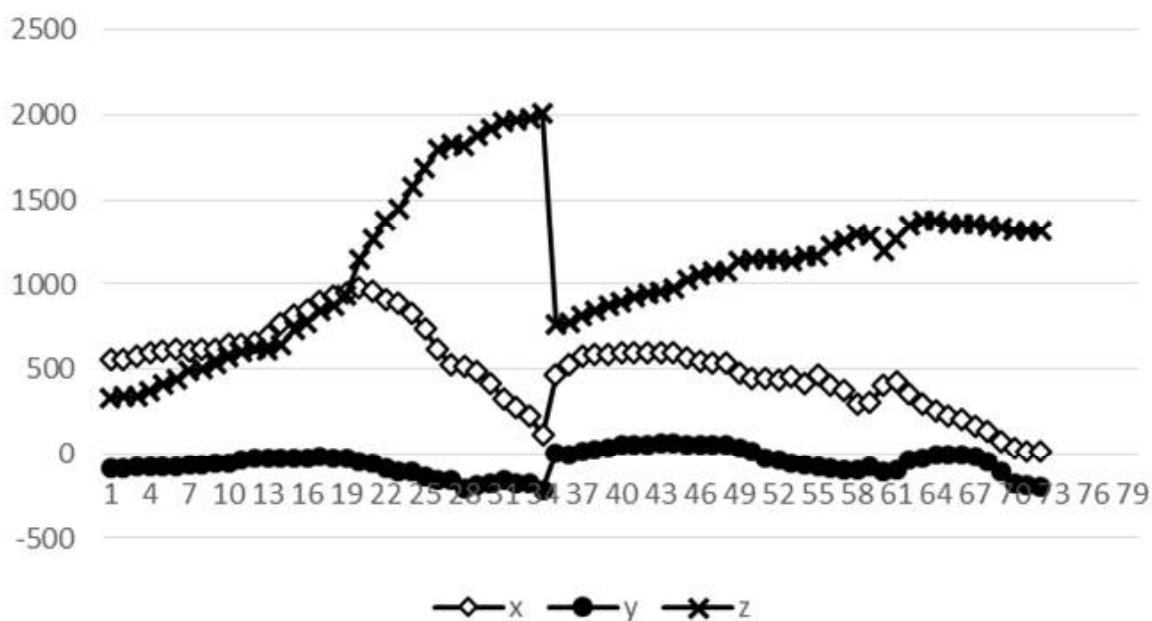


Рис. 4. Магнітне поле для зразків із зародком тріщини, який розвивається

Також доволі впевнено виявлялися концентратори напруг (рис. 3) та зародки тріщин, які розвиваються (рис. 4) на яких також наведено напруженість магнітного поля яке вимірювалося на поверхні зразка.

Запропонований метод та прилад цілком можуть бути використано для НК відповідальних технічних об'єктів, наприклад при обстеженні осей колісних пар.

Але значно більшу інформативність дає представлення результатів вимірювання магнітного поля у тривимірному вигляді, для чого зараз розробляється спеціальне програмне забезпечення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розглянуті два методи магнітометричного контролю з використанням ферозондів в резонансному режимі та визначенням власних магнітних полів деталі магніторезистивним методом надають змогу отримати більше інформації про внутрішні дефекти у деталях відповідальних технічних об'єктів. Розглянуті методи НК базуються на різних принципах і тому доповнюють один одного. Попередні результати говорять про їх ефективність, але для того, щоб повністю оцінити їх можливості необхідно розробити відповідне спеціалізоване програмне забезпечення.

Список використаних джерел:

1. J. Blitz Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing Non-Destructive Evaluation Series (vol 3) / J. Blitz; Springer Science & Business Media, 2012. – 261 p.
2. Неразрушающий контроль : справочник : В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2004.
3. Власов В.Т. Физические основы метода магнитной памяти металла. / Власов В. Т., Дубов А. А. // М. : ЗАО «Тиссо», 2004. 424 с.
4. Aven, T. and E. Zio, Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making. Reliability Engineering & System Safety, 2011. 96(1): p. 64-74.
5. И.Герцбах ; под ред. В.В.Рыкова. Теория надежности: монография. – М. : Нефть и Газ, 2003. – 263 с.
6. Комплексная безопасность на железнодорожном транспорте и метрополитене : монография: в 2 ч. / Б.В. Бочаров и др.; под ред. В.М. Пономарева и В.И. Жукова. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. Ч. 1: Транспортная безопасность на железных дорогах и метрополитене. – 287 с.
7. Гаврилюк А. Ф. Состояние и анализ безопасности на железных дорогах Украины. Пути развития средств неразрушающего контроля [Электронный ресурс] / А. Ф. Гаврилюк, Т. А. Рябец. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ndt.com.ua/ru/applications/railway/sostoyanie-i-analiz-bezopasnosti-na-zheleznikh-dorogakh-ukrainy-puti-razvitiya-sredstv-nerazrushayushchego-kontrolya>.

8. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiCvv_T9bjYAhWENpoKHS3YD2oQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fppl.tolava.ua%2Findex.php%2Ffuchni%2Ffailovyi-arkhiv%2Fcategory%2F14-pomichnyk-mashynista.html%3Fdownload%3D152%3Ainstruktsiia-ohliadu-obstezhenniu-ta-formuliuivanniu-kolisnykh-par-tsv-tsl-0062%26start%3D40&usq=AOvVaw0L5hQ_Q3CRkJ0KTq2QqGcH.
9. Norman E. Dowling / Mechanical Behavior of Materials (4th Edition). – Courier/Westford USA. – 954 p.
10. Классификатор неисправностей вагонных колесных пар и их элементов [Электронный ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <http://rcit.su/techinfo51.html#ti51-121>.
11. Шевченко А.И. Схемотехника феррозондовых ма-гнитометров с однополярным импульсным возбуждением / Шевченко А.И., Рубинская И.Ю. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2012.–№ 18 (189), С.304-310.
12. Резонансный режим работы феррозонда [Текст] / Мирошников В.В., Костин С.В., Карманов Н.И., Мартыненко Н.В. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Электро-энергетика та перетворювальна техніка – 2012. – №40. С. 35–46.
13. Marchenko D., Zhydkov A. Magnetometric new generation device for determination of the operability of metal structures // Тека. Commission of motorization and energetic in agriculture – 2015, vol. (15), No 4, pp. 41–46.
14. Визначення переддефектного стану металокопструкцій об'єктів підвищеної небезпеки / Д. М. Марченко, М. Ф. Смирний, Г. О. Бойко, А. Б. Жидков. – Северодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2016. – 268 с.

А. Б. Жидков. *Использование современных методов магнитометрии для дефектоскопии технических объектов.*

Предложено решение проблем дефектоскопии технических объектов из ферромагнитных материалов с применением современных методов магнитометрии. Исследованы преимущества и недостатки использования феррозондовых датчиков для дефектоскопии и предложены пути повышения их эффективности. Приведены результаты использования метода магнитной памяти металла для определения скрытых дефектов и усталых трещин в стадии развития. Изложены перспективы и направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, скрытые дефекты, магнитометрия, феррозонд, метод магнитной памяти металла.

А. В. Zhydkov. *Use of modern magnetometry methods for defectoscopy of technical objects*

The solution of problems of flaw detection of technical objects from ferromagnetic materials with application of modern methods of magnetometry is offered. The advantages and disadvantages of the use of ferrosonde sensors for flaw detection have been explored, and ways to improve their efficiency have been proposed. The results of using the method of magnetic memory of metal for determining hidden defects and fatigue cracks in the development stage are presented. Prospects and directions for further research are outlined.

Keywords: non-destructive control, hidden defects, magnetometry, ferrosod, method of magnetic memory of metal.