

УДК 620.179.14

Ю. В. ХОМЯК, С. Н. ГРИГОРЕНКО, А. Ю. СЛОБОДЧУК, И. В. ГРИГОРЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЭКРАНИРОВАННЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Предлагается метод повышения точности обнаружения дефектов экранированным ортогональным вихрековым преобразователем, за счет расширения зоны чувствительности, что подтверждено математическим и имитационным моделированием; уменьшить влияние конструктивных особенностей объекта контроля. Описывается способ повышения точности обнаружения поверхностных дефектов с использованием экранированного накладного ортогонального вихрекового преобразователя при контроле металлических изделий с шероховатой поверхностью.

Ключевые слова: вихрековый преобразователь, моделирование, датчик, возбуждающая обмотка, измерительная обмотка, поверхностный дефект, трещина, точность.

Пропонується метод підвищення точності виявлення дефектів екранованим ортогональним перетворювачем, за рахунок розширення зони чутливості, що підтверджено математичним і імітаційним моделюванням; зменшити вплив конструктивних особливостей об'єкта контролю. Описується спосіб підвищення точності виявлення поверхневих дефектів з використанням екранованого накладного ортогонального вихрекового преобразователя при контролі металевих виробів з шорсткою поверхнею.

Ключові слова: вихрострумний перетворювач, моделювання, датчик, збудлива обмотка, вимірювальна обмотка, поверхневий дефект, тріщина, точність.

A method is proposed for increasing the accuracy of detection of defects by a screened orthogonal eddy current transducer, by expanding the sensitivity zone, which is confirmed by mathematical and simulation modeling; Reduce the influence of design features of the object of control. A method for increasing the accuracy of detection of surface defects using a screened overhead orthogonal eddy current transducer is described for the control of metal products with a rough surface.

Keywords: eddy current transducer, simulation, sensor, exciting winding, measuring winding, surface defect, crack, accuracy.

Введение. Контроль качества выпускаемой продукции для изделий из металла, которые являются узлами и звеньями ответственных промышленных объектов, всегда является обязательным гарантом выпуска качественной продукции в соответствии с требованиями нормативной документации. Для качественной оценки таких объектов применяются методы и средства неразрушающего контроля (НК) [1–2].

Среди широкого разнообразия методов и средств НК металлических изделий выделяется один из перспективных методов НК и технической диагностики, а также дефектоскопии и толщинометрии – вихрековый, что позволяет проводить исследования и разработки в данном научном направлении кафедры [3–8]. В качестве источника первичной информации используется вихрековый преобразователь (ВТП).

Поверхность объекта контроля (ОК) может иметь различную шероховатость, которая приводит к появлению ложных сигналов о дефекте.

Следует учитывать, что на амплитуду полезного сигнала ВТП могут влиять такие основные факторы как: электромагнитные помехи, характеристики схем измерения, потери в кабеле, который соединяет датчик (ВТП) и прибор. Поэтому исследование и разработка различных специализированных ВТП и приборов для вихрековой дефектоскопии является актуальной задачей.

Целью работы является повышение точности обнаружения поверхностных дефектов с использованием экранированного накладного ортогонального вихрекового преобразователя при контроле металлических изделий с шероховатой поверхностью.

При дефектоскопии в местах расположения металлических поверхностей уступов, боковых поверхностей, крепежных элементов ОК и т.д. может происходить их влияние на полезные сигналы ВТП, что показано на рис. 1.

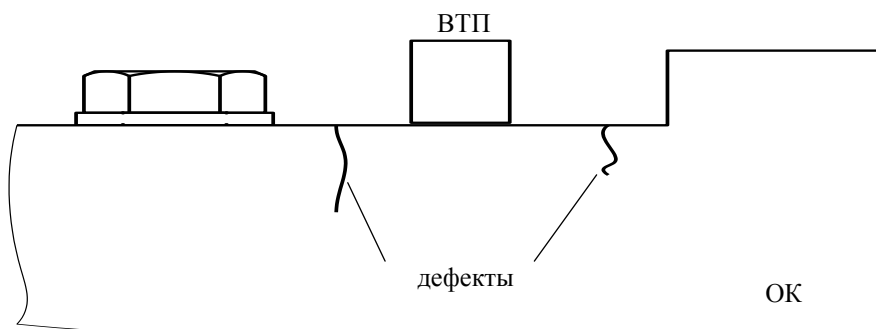


Рис.1 - Контроль дефектов вблизи уступов и конструктивных элементов

С целью уменьшения нежелательного влияния конструктивных особенностей ОК был разработан экранированный накладной ортогональный ВТП, конструкция которого представлена на рис. 2.

Применение электромагнитного экрана позволяет существенно уменьшить влияние указанных конструктивных элементов ОК. Настройка такого ВТП сводится к такому расположению экрана и обмоток (возбуждающей и измерительной) внутри него, при котором начальное напряжение при отсутствии дефекта минимально. Как показали исследования, для экранированных накладных

ортогональных ВТП также характерно уменьшение краевого эффекта.

В промышленности при проведении контроля производят сканирование поверхности ОК по различным схемам и с различным шагом, которые регламентируются технической документацией. Была исследована зависимость выходного сигнала ВТП от координаты перемещения x по поверхности ОК.

Для практической реализации данного метода необходимо определить характер чувствительности ортогонального ВТП в зависимости от положения дефекта.

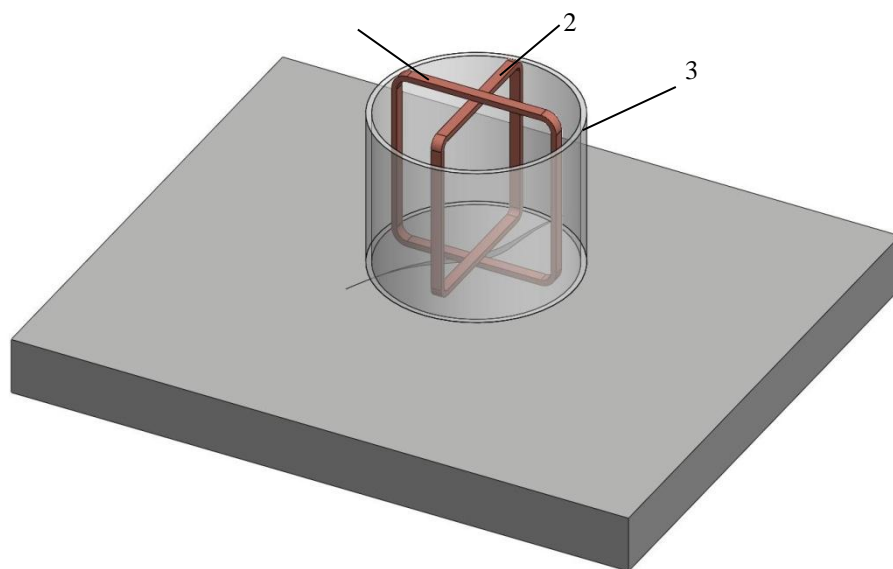


Рис. 2 – Конструкция экранированного накладного ортогонального ВТП:
1 – возбуждающая обмотка; 2 – измерительная обмотка; 3 – экран.

На рис. 3 представлена схема перемещения ВТП по поверхности ОК относительно дефекта.

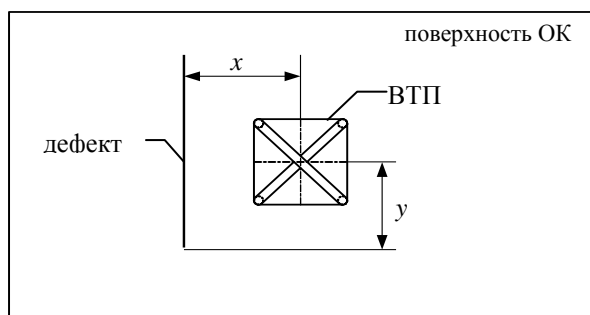


Рис. 3 – Схема перемещения ВТП по поверхности ОК относительно дефекта

Сигнал измерялся при последовательном перемещении датчика относительно дефекта, а координата x отсчитывалась по месту расположения центра ВТП. Зазор поддерживался постоянным.

Измерения были проведены при частоте возбуждающего тока 100 кГц.

Эксперименты проводились на плоском образце из углеродистой стали с искусственным дефектом в виде паза, выполненного электроэрозионным способом.

Дефект имел следующие параметры:
протяженность – 100 мм,
раскрытие – 0,4 мм, глубина – 3 мм.

Результаты измерений могут содержать как систематические так и случайные погрешности. Случайные погрешности можно устранить статистической обработкой результатов измерений. Гораздо сложнее обнаружить и устранить систематические погрешности. Применение тестовых методов коррекции систематических погрешностей средств измерения при бездемонтированном контроле в рабочих режимах с использованием реляционно-разностных моделей операторов коррекции даёт хорошие результаты при решении задач тестового контроля средств измерений [9].

Применение статистической обработки результатов измерений, полученных с помощью вихретокового преобразователя даёт возможность повысить точность измерений путём обнаружения и

устранения случайных погрешностей из результата измерения.

Проведём обработку результатов измерения полученных на образце при многократном сканировании дефектной области.

Результаты ограниченного ряда наблюдений за изменением максимальной амплитуды сигнала ВТП A_i случайной величины A рассмотрим как выборку из генеральной совокупности.

Определение оценок параметров распределение случайных величин.

Находим среднеарифметическое значение:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = 181,733, \quad (1)$$

где $n = 30$ – количество элементов выборки.

Находим несмещенную оценку дисперсии:

$$\bar{D} = \frac{1}{n-1} \sum (A_i - \bar{A})^2 = 61,200, \quad (2)$$

Вычислим несмещенную оценку СКО по формуле:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (A_i - \bar{A})^2} = 7,823, \quad (3)$$

Рассчитаем центральные моменты 2, 3, 4 порядка:

$$m_2^0 = \frac{1}{n} \sum (A_i - \bar{A})^2 = 59,160, \quad (4)$$

$$m_3^0 = \frac{1}{n} \sum (A_i - \bar{A})^3 = 185,282, \quad (5)$$

$$m_4^0 = \frac{1}{n} \sum (A_i - \bar{A})^4 = 9459,217, \quad (6)$$

Определим выборочное значение коэффициента вариации, которое является относительной изменчивости наблюдаемой величины:

$$V_x = \frac{\bar{S}}{\bar{A}} \cdot 100 = 4,305 \%, \quad (7)$$

Выполняя проверку наличия аномальных ошибок по критерию Стьюдента:

$$\tau_p = \frac{|A_i - \bar{A}|}{\bar{S}} = 2,018, \quad (8)$$

В результате проведения проверки выяснено что, $\tau_p \leq \tau(5\%, n)$ ($2,018 < 2,048$), следовательно, грубых результатов нет.

Выполняем предварительную проверку гипотезы о нормальности закона распределения.

Критерий среднего абсолютного отклонения.

$$CAO = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - \bar{A}| = 6,291, \quad (9)$$

$$\left| \frac{CAO}{\bar{S}} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

$$0,006 < 0,073.$$

Условие выполняется, следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения подтверждается.

На рис. 4 представлена модель данного экранированного накладного ортогонального ВТП, которое проводилось с помощью современного программного обеспечения для моделирования трёхмерных электромагнитных полей методом конечных элементов.

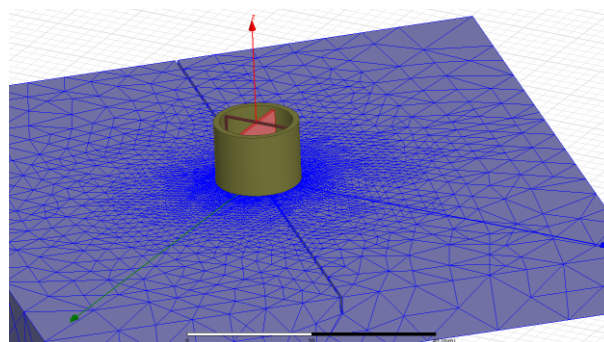


Рис. 4 – Моделирование экранированного накладного ортогонального ВТП

На рис. 5 приведены зависимости сигнала ВТП от координаты x , полученные на плоском образце с искусственными дефектами. Максимальное значение амплитуды сигнала достигается непосредственно над центром дефекта.

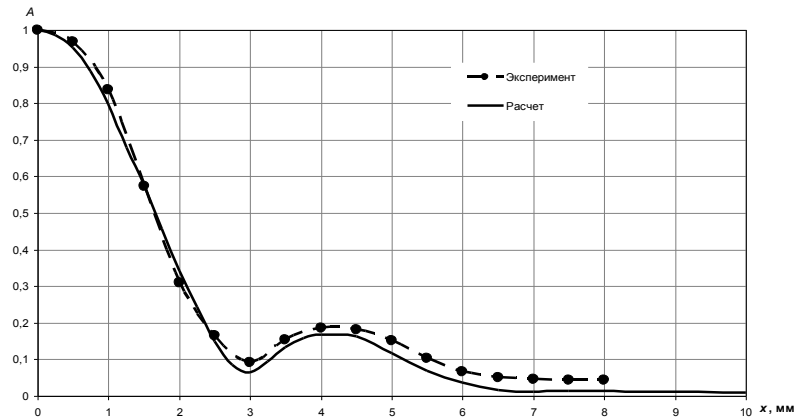


Рис. 5 – Зависимости сигнала ВТП от x , полученные на плоском образце ОК с искусственными дефектами

Выводы. Применение экрана в конструкции накладного ортогонального вихретокового преобразователя дало возможность повысить точность обнаружения дефектов за счет расширения зоны чувствительности, что подтверждено математическим и имитационным моделированием, а также уменьшить влияние конструктивных особенностей объекта контроля.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 2: В 2 кн. Кн 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.
2. Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев, Ф. П. Соснин, А. В. Ковалев и др.; Под ред. В. В. Клюева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
3. Пат. 55471 U (Україна), МПК (2009) G01N 27/90. Накладний вихорострумний перетворювач для неруйнівного контролю / Г. М. Сучков, Ю. В. Хомяк; Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (UA). – № u201008320; заяв. 05.07.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
4. Сучков Г. М. Развитие возможностей вихретоковой дефектоскопии / Г. М. Сучков, Ю. В. Хомяк // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – № 17. – С. 3–7.
5. Сучков Г. М. Повышение возможностей вихретокового контроля поверхности непрерывно литых слывов из ферромагнитных сталей / Г. М. Сучков, Ю. В. Хомяк. // Дефектоскопия. – Екатеринбург. – 2013. – № 1. – С. 78–83.
6. Глоба Светлана. Применение моделирования в вихретоковой дефектоскопии / Светлана Глоба, Григорий Сучков, Юрий Хомяк, Юрий Хорошайло, Антон Слободчук // Proceeding of 24th National Scientific Symposium with International Participation "METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2014", September 07–11, 2014, Sozopol, Bulgaria. – pp. 139–143.
7. Сучков Г. М. Вихретоковый дефектоскоп с низкой чувствительностью к шероховатости поверхности объекта контроля / Г. М. Сучков, Ю. В. Хомяк, С. Н. Глоба, Ю. К. Тараненко, А. Ю. Слободчук // Методи та прилади контролю якості. – 2015. – № 1. – С. 14–18.
8. Глоба С. М. Моделирование накладного вихрострумного перетворювача для контролю металовиробів / С. М. Глоба, Ю. В. Хомяк, С. Г. Семенов, А. Ю. Слободчук, С. О. Акулов // Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування: матеріали II Всеукр. наук.-техн. конфер., 10–11 грудня 2015 р. – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 106–108.
9. Григоренко И. В. Методи додаткових вимірювань при корекції

систематичних похибок засобів вимірювання / И. В. Григоренко, С. М. Глоба, С. И. Ко-драшов // Метрологія та прилади. – Харків: "Національний університет радіоелектроніки". – № 1 (57), 2016. – С. 22–26.

References (transliterated)

1. Non-destructive testing: Handbook: Vol.8. / Под общ. Ed. V. V. Klyuyeva. Vol. 2: In 2 books. Kn 2: Eddy current testing. – Moscow, Mechanical Engineering, 2006. – 688 p.
2. Klyuev V.V. Non-destructive testing and diagnostics: reference book/ V.V. Klyuev, FR Sosnin, AV Kovalev et al. ; Ed. V. V. Klyuyeva. - 3rd ed., Pererab. And additional. – Moscow, Mechanical Engineering, 2005. - 656 p.
3. Pat. 55471 U (Ukraine), IPC (2009) G01N 27/90. Vihorostrumoviy remnants of pereotvoluvach for non-verifiable control / GM Suchkov, Yu. V. Khomyak; National Information Technology University "Kharkiv Polytechnical Institute" (UA). - No. u201008320; Claiming. 05/07/2010; Publ. 10.12.2010, Bul. No. 23.
4. Suchkov G.M Development of eddy current flaw detection capabilities / GM Suchkov, Yu. V. V. Khomyak // Methods to control the anchor. - 2006. - No. 17. - pp. 3-7.
5. G. Suchkov. Increase in the potential for eddy current control of the surface of continuously cast slabs from ferromagnetic steels / GM Suchkov, Yu. V. Khomyak. // Defectoscopy. - Ekaterinburg. - 2013. - No. 1. - pp. 78-83.
6. The Globa Svetlana. Application of simulation in eddy current flaw detection / Svetlana Globa, Grigory Suchkov, Yuri Khomyak, Yuri Horoshaylo, Anton Slobodchuk // Proceeding of the 24th National Scientific Symposium with International Participation "METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2014", September 07-11, 2014, Sozopol, Bulgaria. - pp. 139-143.
7. Suchkov G.M An eddy current defect-scop with a low sensitivity to the surface roughness of the control object / GM Suchkov, Yu. V. Khomyak, SN Globa, Yu. K. Taranenko, A. Yu. Slo -bodchuk // Methods and control of the anchor. - 2015. - No. 1. - pp. 14-18.
8. Globa S.M Modeluvannya an overhead virohrostromovoy peretvoyuvacha for control of meta-polymers / SM Globa, Yu. V. Khomyak, S.G. Semenov, A. Yu. Slobodchuk, S.O. Akulov // News Problems of automatics and that of adjudication: the material of the II All-Ukr. Sciences: -techn. Conference., 10-11 грудня 2015 р. – Kharkov, NTU "KhPI", 2015. - pp. 106-108.
9. I.V. Grigorenko. Methodology of dodatkovykh vimiryuvan at korektsii systematic kidnapping zasobiv vimiryugannya / IV Grigorenko, S.N. Globa, SI Kondrashov // Metrologiya ta priladi. – Kharkov, "National University of Radioelektroniki". - No. 1 (57), 2016. - pp. 22-26.

Поступила (received) 23.06.2017

Бібліографічні описи /Библиографические описания /Bibliographic descriptions

Повышение вероятности обнаружения дефектов экранированным ортогональным вихретоковым преобразователем / Ю. В. Хомяк, С. Н. Григоренко, А. Ю. Слободчук, И. В. Григоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 63–67. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-4525.

Підвищення ймовірності виявлення дефектів екранованим ортогональним перетворювача / Ю. В. Хом'як, С. М. Григоренко, А. Ю. Слободчук, І. В. Григоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. - Х.: НТУ «ХПІ», 2017. - № 4 (1226). - С. 63-67. - Бібліогр .: 9 назв. - ISSN 2079-4525.

Increased probability of detection of defects by a screened orthogonal eddy current transducer / Yu. V. Khomyak, S. N. Grigorenko, A. Yu. Slobodchuk, I. V. Grigorenko // News of NTU "KhPI". Серія: : Elektroenergetika i preobrazovatel'naya tehnika. - – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. - No. 4 (1226). - P. 63-67. - Bibliography: 9 . ISSN 2079 4525.

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Хомяк Юрий Валентинович – кандидат технических наук (2013), доцент кафедры компьютерных и радиоэлектронной систем контроля и диагностики, электромашинно-строительный факультет, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков; тел.: (095) 883-17-90; e-mail: homyak.yv@gmail.com.

Khomyak Yury Valentinovich - Candidate of Technical Sciences (2013), Associate Professor of the Department of Computer and Radio Electronic Control and Diagnostics Systems, Electric Machine-Building Faculty, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov; tel .: (095) 883-17-90; e-mail: homyak.yv@gmail.com.

Григоренко Светлана Николаевна – кандидат технических наук (2000), доцент (2005); доцент кафедры компьютерных и радиоэлектронной систем контроля и диагностики, заместитель заведующего кафедры компьютерных и радиоэлектронной систем контроля и диагностики, электромашинностроительный факультет; учёный секретарь специализированного учёного совета Д 64.050.09 по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ; Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт".; тел.: (050) 137-77-73; e-mail: sngloba@gmail.com.

Hrihorenko Svetlana Nikolaevna - candidate of technical sciences (2000), associate professor (2005); Associate Professor of the Department of Computer and Radio Electronic Control and Diagnostics Systems, Deputy Head of the Department of Computer and Radio-Electronic Control and Diagnostics Systems, Electric Machine-Building Faculty; Scientific secretary of the specialized scientific council D 64.050.09 on the specialty 05.11.13 - instruments and methods for monitoring and determining the composition of substances; National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" .; tel.: (050) 137-77-73; e-mail: sngloba@gmail.com.

Слободчук Антон Юрьевич - аспирант кафедры компьютерных и радиоэлектронное систем контроля, электромашинно-строительный факультет, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков. тел .: (066) 027-22-48; e mail: slobodchuk_ay@mail.ru.

Slobodchuk Anton Yuryevich - post-graduate department of computer and electronic monitoring and diagnostics, electrical and construction faculty, National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute', m. Kharkiv; tel .: (066) 027-22-48; e mail: slobodchuk_ay@mail.ru.

Григоренко Игорь Владимирович – кандидат технических наук (2010), доцент (2011); профессор кафедры кафедры информационно-измерительных технологий и систем, заместитель декана по научной работе факультета автоматизации и приборостроения; Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт".; тел.: (050) 642-75-02; e-mail: grigmaestro@gmail.com.

Hrihorenko Igor Vladimirovich - candidate of technical sciences (2010), associate professor (2011); Professor of the Department of the Department of Information and Measurement Technologies and Systems, Deputy Dean for Research at the Faculty of Automation and Instrument-Making; National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" .; Tel .: (050) 642 75 02; E mail: grigmaestro@gmail.com.