

УДК 620.179.14

## ВИХРЕТОКОВЫЙ ДЕФЕКТОСКОП С НИЗКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ К ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Ю.В. Хомяк<sup>1)\*</sup>, Г.М. Сучков<sup>1)</sup>, Ю.К. Тараненко<sup>2)</sup>, С.Н. Глоба<sup>1)</sup>, А.Ю. Слободчук<sup>1)</sup>

1)–Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, hotuyak-yv@mail.ru

2)–Днепропетровский университет им. Альфреда Нобеля, ул. Набережная Ленина, 18, г. Днепропетровск, 49000, taranen@rambler.ru

*Проаналізовано практичні особливості конструкцій і варіанти розташування котушок накладних ортогональних вихрострумових перетворювачів. Описана структурна схема вихрострумового дефектоскопу, управління якою здійснюється за допомогою мікроконтролера. В якості керуючого мікроконтролера використана мікросхема ATmega32 фірми Atmel Corporation. Розроблено та виготовлено макет вихрострумового дефектоскопу. Випробування показали, що поверхневі дефекти у вигляді тріщин виявляються з мінімальною чутливістю до шорсткості поверхні об'єкта контролю та ідентифікуються по глибині.*

*Ключові слова: вихрострумовий перетворювач, поверхневий дефект, тріщина, мікроконтролер, вихрострумовий дефектоскоп.*

*Проанализированы практические особенности конструкций и варианты расположения катушек накладных ортогональных вихретоковых преобразователей. Описана структурная схема вихретокового дефектоскопа, управление которой осуществляется с помощью микроконтроллера. В качестве управляющего микроконтроллера использована микросхема ATmega32 фирмы Atmel Corporation. Разработан и изготовлен макет вихретокового дефектоскопа. Испытания показали, что поверхностные дефекты в виде трещин обнаруживаются с минимальной чувствительностью к шероховатости поверхности объекта контроля и идентифицируются по глубине.*

*Ключевые слова: вихретоковый преобразователь, поверхностный дефект, трещина, микроконтроллер, вихретоковый дефектоскоп.*

*The practical design features and options for the location of overhead coils orthogonal eddy current transducers are analyzed. Described block chart of eddy current flaw detector, which is controlled by a microcontroller. As manager of the microcontroller chip used ATmega32 firm Atmel Corporation. Developed and manufactured to the layout of eddy current flaw detector. Tests have shown that surface defects such as cracks are detected with minimal sensitivity to roughness control object and are identified in depth.*

*Keywords: eddy current transducer, surface defect, flaw, microcontroller, eddy current flaw detector.*

**Вступ.** Для оценки технического состояния ответственных объектов и узлов на различных стадиях производства и эксплуатации во многих отраслях промышленности широко применяются методы неразрушающего контроля. Развитие современного энергетического, машиностроительного и металлургического производства неразрывно связано с созданием и усовершенствованием методов и средств неразрушающего контроля, позволяющих обеспечить высокую надежность и безопасность. Особое место среди большого количества методов и средств неразрушающего контроля металлических изделий занимают вихретоковые методы [1-4]. Для осуществления

современной вихретоковой дефектоскопии применяют широкую номенклатуру серийных приборов. Но в каждом частном случае имеет место специфика (структура и свойства объекта контроля, его форма и конструкция и т.п.), которая обуславливает необходимость дополнительных исследований и разработку специализированных средств вихретокового контроля. Особенно это проявляется при дефектоскопии изделий, которые имеют сложную поверхность. В общем случае поверхность объекта контроля (ОК) может иметь шероховатость вызывающую ложные сигналы о дефекте. При практическом применении вихретокового дефектоскопа

важным параметром является значение отношения сигнал-шум. Кроме амплитуды полезного сигнала с вихретокового преобразователя (ВТП) эта характеристика обусловлена промышленными электромагнитными помехами, характеристиками схем измерения, потерями в кабеле, соединяющем датчик и прибор. Поэтому исследование и разработка методов и средств с повышенным соотношением сигнал-шум при вихретоковой дефектоскопии является актуальной задачей.

**Цель работы** – повышение выявляемости обнаружения и оценки параметров дефектов изделий с шероховатой поверхностью.

Для достижения поставленной цели поставлены и решены следующие задачи

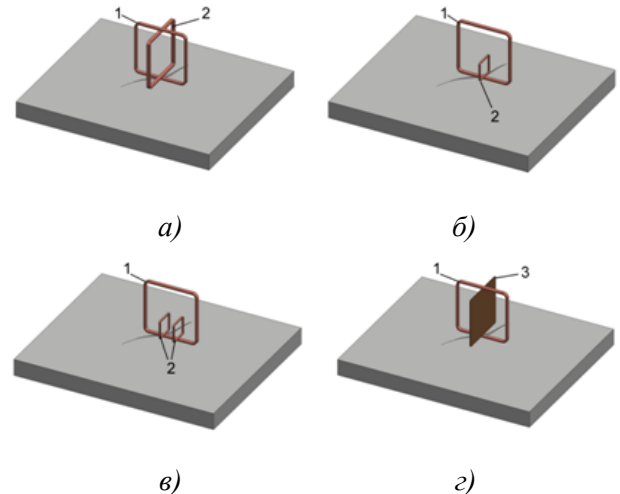
- усовершенствовать ВТП для средств вихретоковой дефектоскопии.

- разработать портативный вихретоковый дефектоскоп с возможностью контроля объектов с шероховатой поверхностью и оценить его возможности.

#### Результаты разработки и исследований

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований была разработана конструкция накладного ортогонального ВТП (рис.1,а) [5]. Его создание и исследования выявили ряд практических особенностей, среди которых – начальное напряжение измерительной обмотки, которое в идеале стремится к нулю [6, 7]. Было выявлено, что начальное напряжение зависит от взаимного расположения ВТП и ОК. Также оно обусловлено геометрической неточностью изготовления каркаса ВТП и обмоток. В связи с этим возникла задача по нахождению способов уменьшения начального напряжения измерительной обмотки ВТП. В общем случае, при прочих равных условиях, сигнал измерительной обмотки ВТП зависит от ее площади. Поэтому, суммируя результаты исследований, было принято решение в пользу уменьшения площади измерительной обмотки ВТП. Результатом стало появление конструкций ВТП представленных на рис.1, б, в. Использование двух одинаковых измерительных обмоток включенных дифференциально (рис.1, в) позволило увеличить отношение сигнал-шум, хотя при этом требуется более тонкая настройка. Для расширения области применения ортогонального ВТП была разработана конструкция параметрического варианта (рис.1,г). В нем измерительная обмотка короткозамкнутая, то есть имеет место обратное электромагнитное влияние на параметры возбуждающей обмотки. В конструкции на

рис.1, г применена медная пластина. Исследования такого параметрического ВТП показали хорошие результаты при работе в качестве датчика края электропроводных объектов.



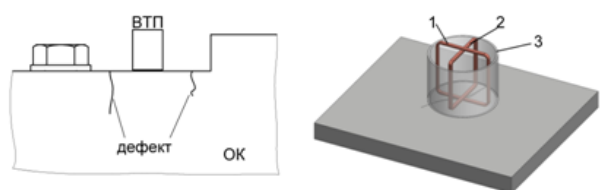
1 – возбуждающая обмотка; 2 – измерительная обмотка; 3 – электропроводящая пластина

#### Рисунок 1 – Варианты расположения катушек ортогональных накладных ВТП

При дефектоскопии в местах расположения металлических поверхностей уступов, боковых поверхностей, крепежных элементов ОК и т.д. может происходить их влияние на полезные сигналы ВТП (рис. 2, а). С целью уменьшения нежелательного влияния конструктивных особенностей ОК был разработан экранированный ортогональный ВТП, конструкция которого представлена на рис.2,б. Применение электромагнитного экрана позволяет существенно уменьшить влияние указанных конструктивных элементов ОК. Настройка такого ВТП сводится к такому расположению экрана и обмоток внутри него, при котором начальное напряжение при отсутствии дефекта минимально. Как показали исследования, для экранированных ВТП также характерно уменьшение краевого эффекта.

Для разработки вихретокового дефектоскопа был проведен ряд работ по созданию макета и отработки схемотехнических решений [8,9]. В дефектоскопе использован амплитудный метод определения дефектов. То есть, сигнал на выходе приемной катушки ВТП имеет амплитуду пропорциональную параметрам и наличию дефекта в контролируемом образце. Для обеспечения минимального энергопотребления было принято решение питать ВТП одиночным импульсом. При этом

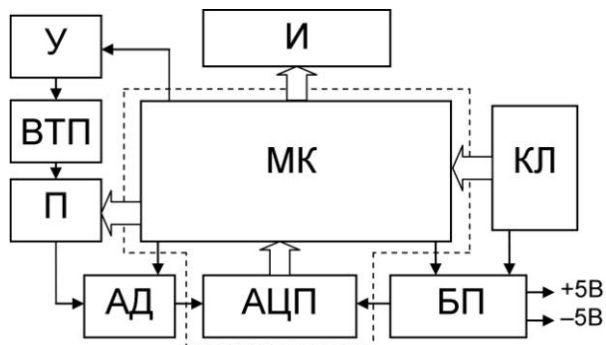
использован принцип, рассмотренный в [8], позволяющий максимально приблизить форму сигнала возбуждающей обмотки ВТП к синусоидальной, а так же уменьшить потери в кабеле, соединяющем ВТП и электронный модуль дефектоскопа. Как следует из [8] для получения максимального сигнала с ВТП необходима подстройка длительности возбуждающего импульса, которая должна соответствовать частоте резонанса колебательного контура возбуждающей обмотки ВТП.



а) б)  
1 – возбуждающая обмотка; 2 – измерительная обмотка; 3 – экран

**Рисунок 2 – Контроль дефектов вблизи уступов и конструктивных элементов (а) и конструкция экранированного ортогонального ВТП (б)**

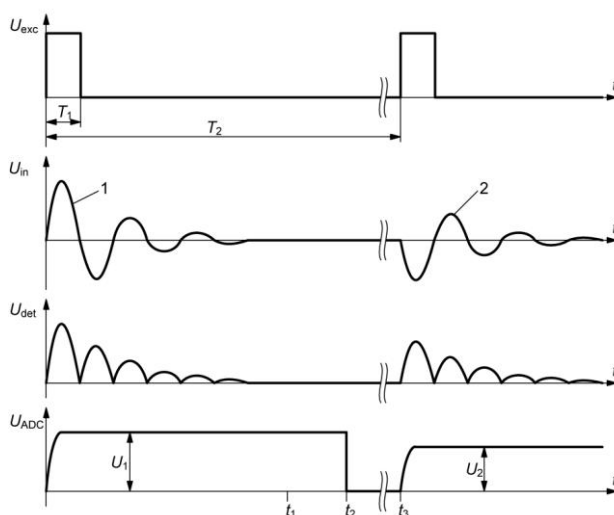
На рис. 3. приведена структурная схема разработанного дефектоскопа.



**Рисунок 3 – Структурная схема вихретокового дефектоскопа**

Управление работой прибора осуществляется с помощью микроконтроллера МК имеющего в своем составе аналого-цифровой преобразователь АЦП. Клавиатура КЛ служит для включения-выключения и управления параметрами работы дефектоскопа. Жидкокристаллический индикатор И служит для отображения режимов работы, осуществляет отображение текущей информации об амплитуде сигнала ВТП в графическом (шкала) и в численном виде, а

также выдает информацию о состоянии батареи питания. Источник питания БП вырабатывает  $\pm 5$  В и состоит из гальванической батареи, преобразователя постоянного напряжения и схемы управления включением-выключением дефектоскопа. На рис.4 показаны эпюры основных сигналов вихретокового дефектоскопа поясняющие принцип его работы.



$U_{exc}$  – напряжение на выходе усилителя мощности;  $U_{in}$  – напряжение на измерительной обмотке ВТП;  $U_{det}$  – сигнал на выходе выпрямителя;  $U_{ADC}$  – напряжение на входе АЦП

**Рисунок 4 – Эпюры сигналов вихретокового дефектоскопа**

Микроконтроллер вырабатывает импульс заданной длительности ( $T_1$ ), который поступает на усилитель мощности У. Усилитель нагружен кабелем возбуждающей обмотки ВТП и формирует импульс  $U_{exc}$ . Сигнал с измерительной обмотки ВТП  $U_{in}$  подается через цифровой потенциометр П на амплитудный детектор АД. Потенциометр служит для регулировки и подстройки амплитуды сигнала ВТП при различных режимах работы дефектоскопа и при использовании различных преобразователей. Амплитудный детектор выпрямляет ( $U_{det}$ ), детектирует ( $U_{ADC}$ ) сигнал и после аналого-цифрового преобразования ( $t_1$ ) сбрасывается ( $t_2$ ) по команде микроконтроллера до следующего рабочего цикла ( $t_3$ ). Различным сигналам 1 и 2 будут соответствовать  $U_1$  и  $U_2$ .

В качестве управляющего микроконтроллера использована микросхема Atmega32 фирмы Atmel Corporation. Это 8-и разрядный микроконтроллер AVR архитектуры с 32 К байт внутрисистемно программируемой FLASH

памяти программ, допускающей чтение во время записи, 1024 байт EEPROM, 2 К байт SRAM, 32 рабочих регистра, три гибких таймера-счётчика с модулем сравнения, внутренние и внешние прерывания, последовательный программируемый интерфейс USART, байт-ориентированный двухпроводный последовательный интерфейс, 8-и канальный, 10-и битный АЦП с дифференциальным программируемым усилителем, порт SPI и шесть режимами сбережения энергии. В Atmega32 существует специальный режим подавления шума АЦП, при этом в целом в спящем режиме функционирует только АЦП и асинхронный таймер для уменьшения цифровых шумов преобразования. Построение основных узлов разработанного прибора описано в [9].

На рис.5 показан внешний вид разработанного вихретокового дефектоскопа. Прибор состоит из электронного блока и подключенного к нему ВТП. Электронный блок дефектоскопа выполнен в виде прибора переносного типа. Питание дефектоскопа осуществляется от двух гальванических элементов типа АА суммарным напряжением 3 В. На лицевой панели электронного блока расположены: жидкокристаллический индикатор, 5 кнопок и светодиод сигнализации дефекта. Включение дефектоскопа осуществляется нажатием на кнопку «ВКЛ», а при длительном нажатии (более 3 с) – выключение. Также кнопкой «ВКЛ» производится включение и отключение подсветки жидкокристаллического индикатора. В процессе работы на экране дефектоскопа отображается значение эквивалентной глубины дефекта в миллиметрах и в виде горизонтальной амплитудной шкалы. Также отображается порог срабатывания сигнализации дефекта и состояние батареи питания. Кнопками «◀» и «▶» осуществляется изменение порога сигнализации дефекта и значений параметров в сервисном меню.



Рисунок 5 – Внешний вид вихретокового дефектоскопа

Вход в сервисные настройки и выбор изменяемого параметра осуществляется кнопкой «меню». В сервисном режиме может производиться установка длительности импульса возбуждающего тока, выбор количества циклов измерения с усреднением и подстройка коэффициента усиления. Кнопкой «>0<» производится установка нуля при расположении ВТП на бездефектном участке контролируемого изделия.

На втором этапе были выполнены натурные испытания образца разработанного дефектоскопа в условиях ПАО «МК «Азовсталь» [10]. Испытания прибора на слябах текущего производства проводились в транспортно-отделочном отделении кислородно-конверторного цеха и на складе слябов толстолистового цеха. Для исследований были представлены слябы, имеющие поверхностные дефекты, выявленные отделом технического контроля при визуальном осмотре.

Испытания показали, что, невзирая на «сложную» поверхность непрерывно-литых слябов, трещины различной глубины уверенно обнаруживаются и идентифицируются по глубине.

## ВЫВОДЫ

Разработан вихретоковый дефектоскоп, обладающий высокой чувствительностью, широким диапазоном оценки глубины дефектов, малым энергопотреблением, незначительной массой и низкой стоимостью. Прибор позволяет выполнять неразрушающий контроль по шероховатой поверхности.

1. Астащенко А.И. Измерения. Контроль. Качество. Неразрушающий контроль: справ. технического ком. по стандартизации / А.И. Астащенко, Л.С. Бабаджанов, В.С. Иванов и др. - М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 708 с. : ил. 2. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; Под ред. В.В. Клюева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. - 656 с. 3. Metals handbook / Amer.soc.for metals. – 9th ed. – Metals Park(Oh): [s. n.]. Vol. 17: Nondestructive evaluation and quality control. – 9th. ed. – 1989. – XI, 795 p.p.: ill. 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. Пат. 55471 U (Україна), МПК (2009) G 01N 27/90. Накладний вихорострумівий перетворювач для неруйнівного контролю /

Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (UA).- № и201008320; заяв. 05.07.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23. – 4с.

6. Сучков Г.М. Теоретическое исследование накладного вихретокового преобразователя с минимальной взаимной индуктивностью / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – №48. – 2008. – с. 100–103.

7. Сучков Г.М. Исследование модели накладного ортогонального вихретокового преобразователя / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк, М.В. Добробаба // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – №19. – 2011. – с. 113–126.

8. Сучков Г.М. Улучшение характеристик вихретокового преобразователя за счет включения его обмоток в колебательные контуры / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк. // Вісник

НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – №35. – 2007. – с. 41–44.

9. Сучков Г.М. Разработка элементов вихретокового дефектоскопа / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – №14. – 2009. – с.124–128.

10. Сучков Г.М. Повышение возможностей вихретокового контроля поверхности непрерывно литых слябов из ферромагнитных сталей / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк. // Дефектоскопия. – Екатеринбург. – 2013. – №1. – с. 78-83.

**Поступила в редакцію 16.03.2015р.**

**Рекомендували до друку: докт. техн. наук, проф. Лютак І. З., докт. техн. наук, с. н. с. Джала Р. М.**