

11. Sutter G. Very high speed cutting of Ti–6Al–4V titanium alloy—change in morphology and mechanism of chip formation / G. Sutter, G. List // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2013. – 66. – P. 37–43. 12. Чертовских С.В. Триботехнические характеристики ультрамелкозернистого титана и его сплавов / С.В. Чертовских. – автореферат канд. дис., Уфа : Уфа-центр, 2008. – 22 с.

Bibliography (transliterated): 1. Lapovok, R., A. Molotnikov and Y. Levin. «Machining of coarse grained and ultra fine grained titanium.» *J Mater Sci*. No. 47. 2012. 4589–4594. Print. 2. Moreheada, M., Y. Huang, K Ted Hartwig. «Machinability of ultrafine-grained copper using tungsten carbide and polycrystalline diamond tools.» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. No. 47. 2007. 286–293. Print. 3. Chertovskih, S. V. «Obrabatyvaemost' rezaniem ul'tramelkozernistogo titana, poluchennogo metodom ravnokanal'nogo uglovogo pressovaniya.» *Vestnik mashinostroeniya*. No. 5. 2007. 43–46. Print. 4. Muljukov, R. R., A.A. Nazarov and R.M. Imaev «Deformacionnye metody polucheniya, mnogourovnevaya struktura i svoystva nanostrukturnykh materialov.» *Voprosy materialovedeniya*. No. 2(54). 2008. 20–32. Print. 5. Bobrov, V. F. *Osnovy teorii rezaniya metallov*. Moscow: Mashinostroenie, 1975. Print. 6. Malygin, G. A «Plastichnost' i prochnost' mikrokristallicheskih i nanokristallicheskih materialov.» *FTT*. No. 6. 2007. 961–982. Print. 7. Poduraev, V. N. *Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov*. Moscow: Vysshaja shkola, 1985. Print. 8. Granovskij, G. I., V. G. Granovskij. *Rezanie metallov*. Moscow: Vysshaja shkola, 1985. Print. 9. Oxley, P. *Mechanics of machining. An analytical approach to assessing machinability*. New York: Ellis Horwood Ltd, 1989. Print. 10. Altintas, Yu. *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machin Tool Vibrations and CNC Design*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. Print. 11. Sutter, G. and G. List « Very high speed cutting of Ti–6Al–4V titanium alloy—change in morphology and mechanism of chip formation.» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. No. 66. 2013. 37–43. Print. 12. Chertovskih, S. V. *Tribotekhnicheskie harakteristiki ul'tramelkozernistogo titana i ego splavov*. Avtoreferat kand. dis. Ufa: Ufa-centr, 2008. Print.

Поступила (received) 11.10.2015

УДК 620.179.14

Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
Ю. В. ХОМЯК, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
С. Н. ГЛОБА, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. Ю. СЛОБОДЧУК, аспирант НТУ «ХПИ»

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДЕФЕКТОСКОП ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Работа посвящена разработке вихретокового дефектоскопа для неразрушающего контроля металлических изделий. Описана структурная схема прибора, основой которого является микроконтроллер на базе ядра Cortex M0. В качестве управляющего микроконтроллера использована микросхема STM32F030F4P6 производства компании STMicroelectronics. Разработан макет вихретокового дефектоскопа, который состоит из электронного блока, подключаемого к персональному компьютеру через USB-разъем и вихретокового преобразователя.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, вихретоковая дефектоскопия, вихретоковый преобразователь, микроконтроллер, поверхностный дефект.

Введение. Для контроля металлоизделий на наличие дефектов применяются различные методы и устройства [1–3]. Среди них и дефектоскопы различного типа, реализующие возможность неразрушающего контроля

методом вихревых токов. Большинство таких приборов имеют портативное исполнение. Однако современное производство требует автоматизированных систем, позволяющих оперативно проводить неразрушающий контроль изделий. Вихретоковый метод достаточно хорошо поддается автоматизации в виду его особенностей (выходной сигнал – электрическая величина). Но на сегодняшний день автоматизированные системы вихретокового контроля остаются достаточно дорогостоящими. С другой стороны, современная вычислительная микропроцессорная техника набрала огромные темпы в своем развитии, как по качеству, так и по цене. Для решения сложных задач, объемных вычислений существуют 8-и, 16-и и 32-х разрядные платформы микроконтроллеров различных производителей. Данные устройства характеризуются высоким быстродействием и наличием измерительной, исполнительной и коммуникационной периферии. Наиболее приемлемым для создания системы вихретокового контроля является применение микроконтроллеров с ПЭВМ. Такое сочетание позволяет получить высокую эффективность при доступной себестоимости.

Цель статьи – разработка вихретокового дефектоскопа с USB интерфейсом на базе микроконтроллера и персонального компьютера.

Результаты разработки и исследований. В качестве датчика дефектоскопа был применен накладной вихретоковый преобразователь (ВТП) [4]. Его особенности рассмотрены в работах [5–8]. Такой ВТП имеет ряд преимуществ перед классическими преобразователями: минимальный начальный сигнал при отсутствии дефекта, минимальная чувствительность к шероховатости поверхности объекта контроля (ОК), возможность определения ориентации трещины и т.п. Примененный преобразователь состоит из двух взаимно перпендикулярных катушек: возбуждающей 1 и измерительной 2 (рис 1.). Искаженное поверхностным дефектом металла магнитное поле возбуждающей катушки вызывает появление ЭДС на выходе измерительной. Таким образом дефект, находящийся в зоне действия ВТП, приводит к появлению электрического сигнала пропорционального его параметрам.

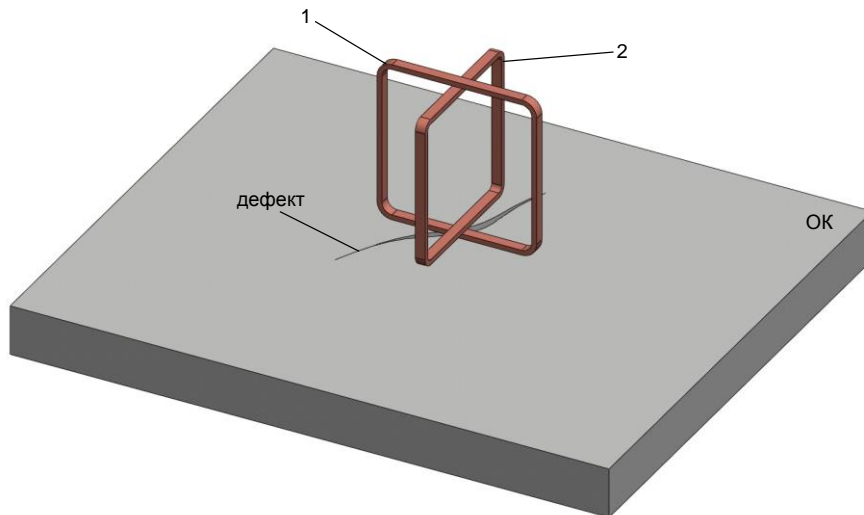


Рис. 1 – Конструкция вихрекового преобразователя

В качестве элемента обработки информации дефектоскопа был выбран относительно недорогой микроконтроллер на базе ядра Cortex M0 [9].

Семейство микроконтроллеров STM32F0 производства компании STMicroelectronics относится к цифровым сигнальным контроллерам и объединяют в себе достоинства классических микроконтроллеров (таких как AVR, PIC, MSP и др.) с развитым набором периферии и вычислительную мощь специализированных процессоров. К основным характеристикам можно отнести: частота работы ядра до 48МГц, увеличенный объем ОЗУ (до 32 кБ), а также встроенной Flash памяти (до 256 кБ), поддержку полнодуплексного интерфейса I²C, последовательных интерфейсов SPI, а также UART. Относительно не большое напряжение питания (2,4–3,6В) позволяет применять данный тип микроконтроллера в системах с батарейным питанием. Потребление менее 1 мкА в спящем режиме с включенным модулем RTC, увеличенная частота работы АЦП, модуль ПДП (прямой доступ к памяти), таймеры-счетчики, модуль ФАПЧ (фазовая автоподстройка частоты) и др.

Микроконтроллер STM32F030F4P6 содержит один аналого-цифровой преобразователь (АЦП), вход которого подключается к определенным выводам микроконтроллера через встроенный аналоговый мультиплексор, который имеет гибкую систему настроек, позволяющую задавать определенную последовательность преобразования каналов. АЦП обладает разрешающей способностью 12 бит и довольно высокой скоростью преобразования

1 млн.отсч./с. Настройки АЦП позволяют производить однократные и циклические измерения. Для проведения преобразования на максимальных скоростях необходимо соблюдать диапазон напряжения питания 2,4...3,6 В. При снижении напряжения до уровня 1,8 В скорость преобразования падает примерно в 2 раза.

Контроллер DMA (ПДП) применяемый в микроконтроллере STM32F030F4P6 имеет 16 каналов (по 8 на каждый контроллер ПДП), каждый используется для управлением запросами доступа к памяти от одной или более периферии. Каждый поток имеет свой арбитраж приоритетности. Приоритеты между DMA-потокками задаются программно (четыре уровня приоритета: очень высокий, высокий, средний и низкий) или аппаратно в случае равенства программных приоритетов. Потокки поддерживают работу с кольцевым буфером.

DMA работает со всей наиболее важной периферией: SPI, I²C, UART, таймеры, ADC.

Модуль приема асинхронного передатчика UART может работать на скоростях от 600 до 115200 бод/с.

Таймеры микроконтроллера STM32 подразделяются на три основных типа: расширенный таймер (advanced control), общего назначения (general purpose) и базовый таймер (basic timer).

Базовые таймеры, согласно руководству по линейке STM32F0, имеют такие возможности:

- 16-битный счётчик с автоперезагрузкой;
- 16-битный программируемый делитель частоты: с 1 по 65535;
- генерация прерывания и/или запроса DMA по переполнению счётчика.

Таймеры общего назначения и продвинутые таймеры имеют функционал, что и базовые таймеры, но у них есть дополнительные возможности до 4-х каналов для:

- захвата сигнала (input capture).
- сравнения вывода (output compare).
- генерации сигнала ШИМ (выровненного по границе или по центру).
- генерации одиночных импульсов.

Порты микроконтроллера (GPIO – General Purpose Input/Output) позволяют взаимодействовать с внешними устройствами, начиная от светодиода и кнопки и заканчивая более сложными устройствами: дисплеями, GPS и GSM модемами и т.д. Также порты позволяют организовать связь с другими устройствами, например с компьютером.

GPIO основной и часто применяемый способ связи с внешней средой. Порты могут работать в двух режимах: вход (прием сигнала) и выход (передача сигнала). Работают они только с логическими уровнями 0 (низкий уровень) или 1 (высокий уровень). Также к определенным выводам микроконтроллера можно программно подключать вход мультиплексора АЦП и уже оцифровывать напряжение на определенном выводе GPIO относительно «земли» V_{SS} .

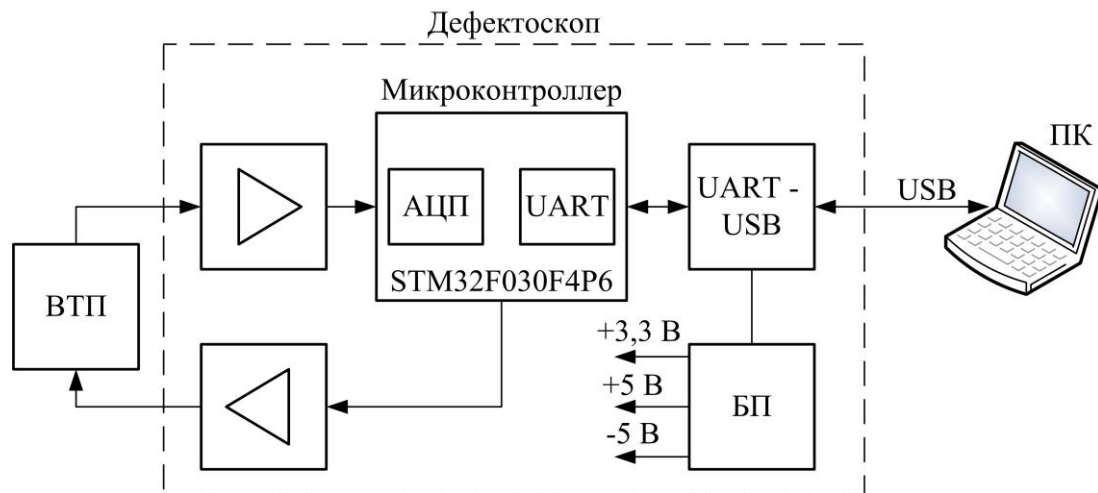


Рис.2 – Структурная схема USB дефектоскопа

Структурная схема разработанного дефектоскопа представлена на рис. 2. Устройство представляет собой приставку подключаемую к персональному компьютеру через порт USB. Для реализации данной возможности в схеме применен UART-USB преобразователь. Основой схемы является микроконтроллер, формирующий по запросу программы на компьютере импульс, который усиливается и подается на возбуждающую обмотку ВТП. В это же время запускается АЦП микроконтроллера, на который подается предварительно усиленный сигнал приемной обмотки ВТП, амплитуда которого несет информацию о наличии дефекта в ОК. АЦП микроконтроллера

запрограммирован на 12-ти битное преобразование с 1 млн.отсч./с. Полученный массив данных передается на ПК. После успешного приема данных процесс циклически повторяется. Электропитание устройства осуществляется от USB порта.

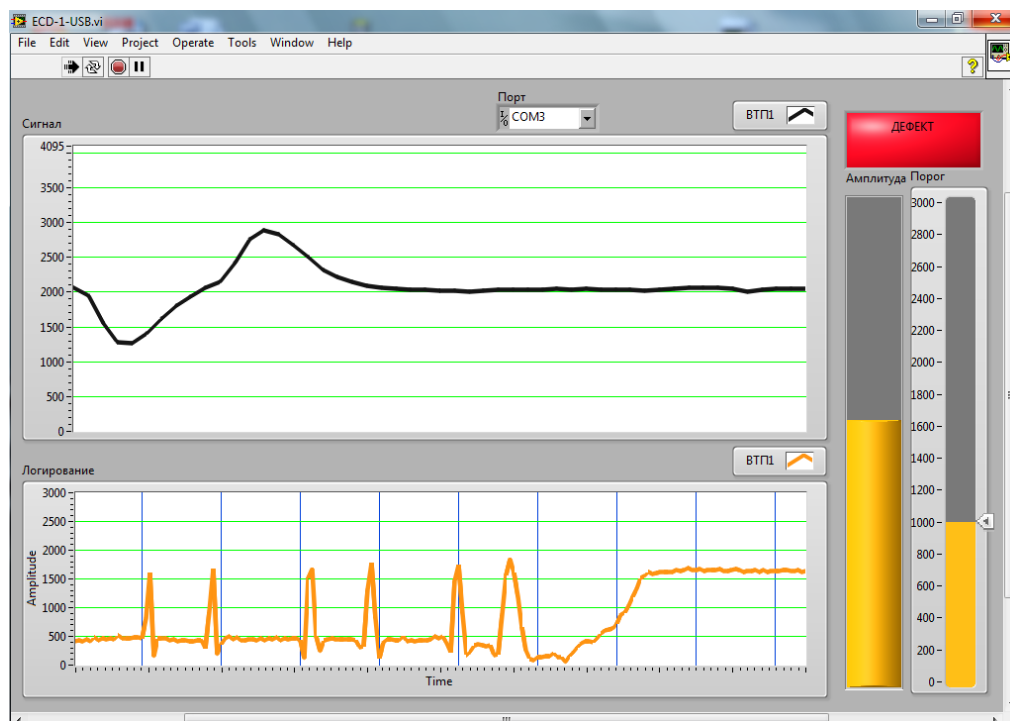


Рис.3 – Окно программы USB дефектоскопа

Со стороны ПК реализована программа управления и обработки информации полученной с модуля дефектоскопа (рис. 3). Для ее создания применен пакет LabVIEW.

В окне программы отображается сигнал измерительной обмотки ВТП и его амплитуда в виде индикатора уровня. Программа позволяет производить установку уровня срабатывания автоматической сигнализации дефекта. При использовании дефектоскопа данный уровень задается по модели дефекта на стандартном образце. Так же ведется хронология уровня сигнала при сканировании поверхности ОК, что способствует удобству работы оператора-дефектоскописта.

Выводы. В результате использования современной элементной базы был разработан недорогой дефектоскоп на базе персонального компьютера. Рассмотренный прибор может работать в составе автоматизированной системы неразрушающего контроля металлических изделий.

Список литературы: 1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика [Текст]: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, Ковалев А. В. и др.; Под ред. В.В. Клюева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с. 2. 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. 3. Сучков Г.М. Развитие возможностей вихретоковой дефектоскопии / Г.М. Сучков, Ю.В. Хомяк. // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – № 17. – с.3–7. 4. Пат. 55471 U (Україна), МПК (2009) G 01N 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. – 4с. 5. 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. 6. 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. 7. 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. 8. Хомяк Ю.В. Вихретоковый дефектоскоп с компенсацией влияния состояния поверхности ферромагнитных металлоизделий [Рукопись]: дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Ю.В. Хомяк ; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. – Харьков, 2013. – 168 с. 9. STM32F0XXXX datasheet (<http://www.st.com/>).

Bibliography (transliterated): 1. Klyuev V.V. Nerazrushayuschiy kontrol i diagnostika [Tekst]: spravochnik / V.V. Klyuev, F.R. Sosnin, Kovalev A. V. i dr.; Pod red. V.V. Klyueva. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moscow: Mashinostroenie, 2005. – 656 p. 2. 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. 3. Suchkov G.M. Razvitie vozmozhnostej vihretokovoj defektoskopii / G.M. Suchkov, Yu.V. Homyak. // Metodi ta priladi kontrolyu yakosti. – 2006. – No 17. – p. 3–7. 4. Pat. 55471 U (Ukrayina), MPK (2009) G01N 27/90. Nakladniy vihorostrumoviy peretvoryuvach dlya neruynlvnogo kontrolyu / G.M. Suchkov, Yu.V. Homyak; Natsionalniy tehnlchniy unIversitet «Kharkivskiy polltehnIchniy Institut» (UA). – No u201008320; zayav. 05.07.2010; opubl. 10.12.2010, Byul. No 23. – 4 p. 5. Suchkov G.M. Teoreticheskoe issledovanie nakladnogo vihretokovogo preobrazovatelya s minimalnoy vzaimnoy induktivnostyu / G.M. Suchkov, Yu.V. Homyak // Visnik NTU «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI». – No 48. – 2008. – p. 100–103. 6. Suchkov G.M. Issledovanie modeli nakladnogo ortogonalnogo vihretokovogo preobrazovatelya / G.M. Suchkov, Yu.V. Homyak, M.V. Dobrobaba // Visnik NTU «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI». – No 19. – 2011. –p. 113–126. 7. Suchkov G.M. Uluchshenie harakteristik vihretokovogo preobrazovatelya za schet vklucheniya ego obmotok v kolebatelnyie konturyi / G.M. Suchkov, Yu.V. Homyak. // Visnik NTU «KHPI». – Kharkiv: NTU «KHPI». – No 35. – 2007. – p.41–44. 8. Homyak Yu.V. Vihretokoviy defektoskop s kompensatsiey vliyaniya sostoyaniya poverhnosti ferromagnitnyih metalloizdeliy [Rukopis]: dis. ... kand. tehn. nauk : 05.11.13 / Yu.V. Homyak ; Kharkovskiy politehnicheskii in-t, nats. tehn. un-t. – Kharkov, 2013. – 168 p. 9. STM32F0XXXX datasheet (<http://www.st.com/>)

Поступила (received) 08/10.2015