

## Вихретоковый преобразователь для контроля дефектов в композитных материалах металл — диэлектрик — металл\*

*С.Ф. Дмитриев<sup>1</sup>, В.Н. Маликов<sup>1</sup>, А.М. Сагалаков<sup>1</sup>, А.В. Ишков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

<sup>2</sup> Алтайский государственный аграрный университет (Барнаул, Россия)

## Eddy Current Transducers for Finding Defects in Metal — Insulator — Metal

*S.F. Dmitriev<sup>1</sup>, V.N. Malikov<sup>1</sup>, A.M. Sagalakov<sup>1</sup>, A.V. Ishkov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Altai State University (Barnaul, Russia)

<sup>2</sup> Altai State Agricultural University (Barnaul, Russia)

Разработан вихретоковый преобразователь для поиска дефектов в слоистых структурах типа металл — диэлектрик — металл. Представлена схема разработанного преобразователя. Описан принцип работы датчика, построенного на основе разработанного преобразователя. Приведены технические сведения о датчике с указанием наиболее важных параметров. Указаны основные характеристики созданных датчиков. Приведена схема управления датчиком с использованием персонального компьютера и разработанного авторами программного обеспечения. Указаны основные сведения о программном обеспечении. Описано взаимодействие программного обеспечения и разработанного вихретокового преобразователя. Приведены результаты поиска дефектов в слоистых структурах типа металл — диэлектрик — металл. Охарактеризованы типы основных дефектов в средах типа металл — диэлектрик — металл. Проведены исследования зависимости отклика преобразователя для слоистой среды с дефектом. В качестве сравнения приведены исследования области слоистой среды без дефекта. Результаты исследований представлены в виде спектральной картины. Сделана расшифровка основных элементов приведенной спектральной картины. На основе полученных результатов сделаны выводы о возможности использования вихретокового преобразователя для поиска дефектов в слоистых структурах.

**Ключевые слова:** вихретоковый преобразователь, металл, диэлектрик, дефект, спектральная картина, амплитуда.

DOI 10.14258/izvasu(2014)1.2-28

Eddy current transducer is designed to search for defects in layered structures of the metal -insulator-metal . A scheme developed by the converter. The principle of operation of the sensor , built on the basis of the developed converter. Contains technical information about the sensor with the most important parameters. Shows the main characteristics of the created sensors. A scheme of the sensor control using a personal computer and developed by the authors of the software. Shows the basic information about the software . The interaction of software and developed an eddy current transducer. This article describes the results from defects in layered structures of the metal — insulator — metal . Describes the types of major defects in the media such as metal — insulator — metal. Researches dependence of the response transducer for a layered medium with a defect . As a comparison, the research field of the layered medium without defect. Results are presented as a spectral pattern. Made deciphering the basic elements of the spectral pattern here. Based on these results conclusions about the possibility of using an eddy current transducer for finding defects in layered structures.

**Key words:** Eddy-current converter , metal, dielectric , defect, spectral pattern , the amplitude

\* Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного Министерством образования и науки РФ (дог. № 02.//G//25.31.0063).

**Введение.** Несмотря на значительный опыт использования вихретоковых преобразователей (ВТП) в области неразрушающего контроля, в настоящее время в этой области все еще остается актуальным целый ряд задач. В частности, это задачи проведения локальных бесконтактных измерений, сочетаемых со сканированием объектов контроля, повышение локальности контроля и выделение диапазона частот, наиболее подходящих для сканирования объекта контроля [1]. В настоящей работе рассмотрены возможности для контроля дефектов в композиционных материалах, предоставляемые использованием сверхминиатюрного вихретокового преобразователя [2].

**Конструкция вихретокового преобразователя.**

Как известно, в основе метода вихревых токов лежит зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в объекте контроля от его геометрических, электромагнитных (и связанных с ними) параметров и от взаимного положения измерительного преобразователя и объекта контроля [3].

Возбуждающая обмотка сверхминиатюрного преобразователя состоит из 10 витков, а ее диаметр составляет 0,13–0,12 мм. Измерительная обмотка состоит из 130 витков и имеет диаметр 0,05–0,08 мм. С целью минимизации влияния возбуждающей обмотки на получаемый сигнал в схему включена компенсационная обмотка, подключенная к измерительной обмотке таким образом, чтобы вычесть напряжение возбуждающей обмотки. Она состоит из 20 витков. Для намотки витков используется медная проволока, имеющая толщину в 0,005 мм. Обмотки наматываются на сердечник пирамидальной формы. Сердечник изготовлен из феррита 2000 НМ3, со значением начальной магнитной проницаемости 500. Схема сверхминиатюрного вихретокового преобразователя представлена на рисунке 1. Характеристики разработанных преобразователей позволяют эффективно локализовать магнитное поле в пределах 2500 мкм<sup>2</sup> и обеспечивать значительную глубину проникновения в исследуемый объект [3].

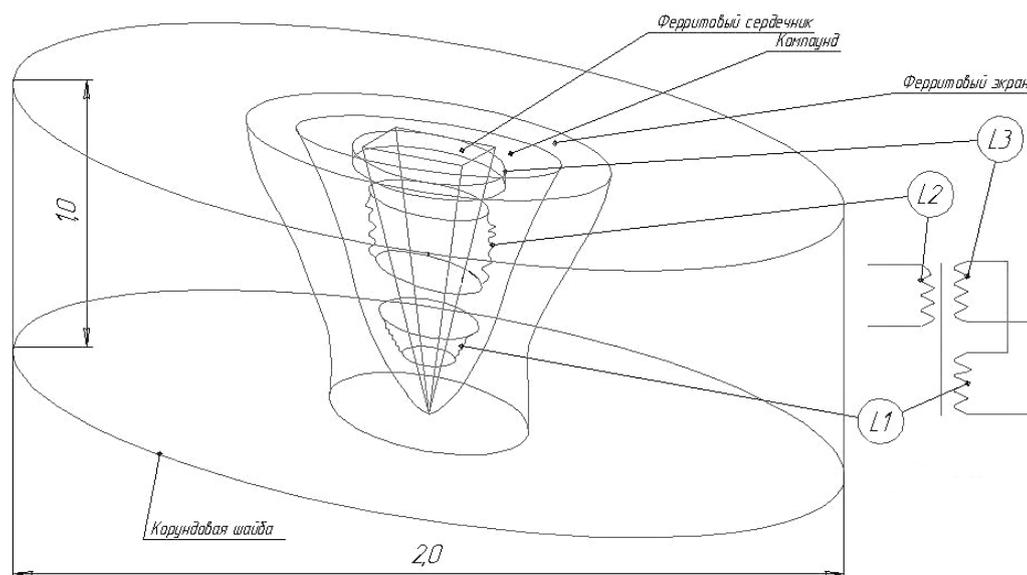


Рис. 1. Схема вихретокового преобразователя

В соответствии с реализуемой авторами концепции виртуализированных приборов [4], предназначенных для исследования однородных и неоднородных электропроводящих сред, ВТП подключен к звуковой плате персонального компьютера, работающего под управлением специального программного обеспечения (ПО). Разработка ПО осуществлялась на языке C++ под операционные системы Windows. Используя микшерную подсистему Windows, ПО управляет подачей напряжения на возбуждающую обмотку преобразователя, задавая уровень и частоту синусоидаль-

ного цифрового сигнала виртуального генератора. Цифровой сигнал от виртуального генератора поступает на вход цифрового аналогового преобразователя (ЦАП) звуковой карты и преобразовывается в аналоговый. Аналоговый сигнал после прохождения усилителя мощности (У) подается на возбуждающую обмотку (В) преобразователя. Проходя по возбуждающей обмотке ВТП, синусоидальный сигнал создает электромагнитное поле, которое наводит ЭДС в измерительной обмотке (И) ВТП. Это напряжение поступает на микрофонный вход звуковой карты и после

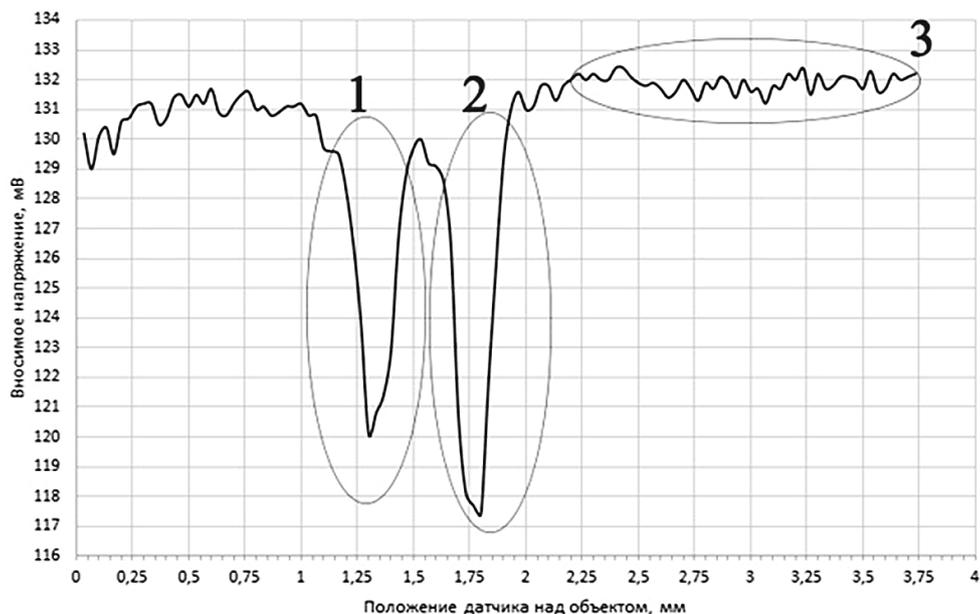


Рис. 2. Спектральная картина, возникающая при перемещении датчика над слоистой средой с дефектами, частота преобразователя — 1000 Гц: 1, 2 — стенки дефектов, 3 — бездефектная часть образца

прохождения преусилителя (ПУ) поступает на вход аналогового цифрового преобразователя (АЦП) звуковой карты. Аналоговый сигнал преобразовывается в цифровой и передается в блок обработки и управления ПО. Блок обработки и управления фиксирует уровень цифрового сигнала в условных единицах, соответствующих значениям напряжения на измерительной обмотке.

Этот уровень принимается за уровень нуля, соответствующий уровню напряжения на измерительной обмотке без объекта контроля. При отсутствии объекта контроля индикатор показывает нуль, соответствующий нулевому значению электропроводности.

Использование звуковой платы компьютера дает возможность осуществлять во время сканирования варьирование частоты электромагнитного поля в пределах от 20 до 20000 Гц, создаваемого возбуждающей обмоткой преобразователя.

Разработанный ВТП позволяет эффективно исследовать переходы металл-диэлектрик в миниатюрных слоистых металлополимерных композитных объектах. Подобные композиты могут содержать несколько металлических слоев, разделенных тонкими полимерными диэлектрическими прослойками. К типичным дефектам таких материалов относятся, например, нарушения сплошности слоев, образование перемычек между слоями. Для исследования слоистых структур металл — диэлектрик — металл использовался вихретоковый преобразователь, разработанный ранее [3], а для снятия амплитудно-частотной характеристики применялось специальным образом модифицирован-

ное программное обеспечение. Для демонстрации работоспособности предлагаемого метода использовалась структура, представляющая собой чередование алюминиевой фольги толщиной 100 мкм, и бумаги, также имеющей толщину в 100 мкм. В глубине слоистой структуры было смоделировано два дефекта. На рисунке 2 представлена спектральная картина, наблюдающаяся при перемещении датчика над слоистой средой, внутри которой находились дефекты. Уровень сигнала с измерительной обмотки в условных единицах характеризует значения электропроводности на исследуемом участке. Для основной рабочей частоты в 1000 Гц уровень вносимого в измерительную обмотку напряжения составлял  $(130 \pm 2)$  мВ. Области 1 и области 2 на графике, в которых происходит падение уровня напряжения до 115 мВ, соответствуют дефектам. Данное изменение амплитуды сигнала составляет 11% от уровня сигнала, соответствующего бездефектной области образца. При этом колебания амплитуды сигнала на бездефектном участке не превышают 4 мВ, что составляет 3% от уровня сигнала, соответствующего бездефектной области образца. Вплоть до глубины расположения дефекта, равной 1400 мкм, прослеживалась явная зависимость отклика преобразователя от положения преобразователя над дефектом.

Таким образом, разработанный вихретоковый преобразователь может быть использован для диагностики композитных многослойных материалов и определения дефектов, залегающих на глубине вплоть до 1400 мкм.

## Библиографический список

1. Клюев В. В. Неразрушающий контроль. Кн. 1, 2. — М., 2003. — 688 с. Т. 2.
2. Дмитриев С. Ф., Маликов В. Н., Ишков А. В. Сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи для задач неразрушающего контроля ферромагнитных материалов // Известия вузов. Физика. — 2012. — №9/2.
3. Javier García-Martín, Jaime Gómez-Gil, Ernesto Vázquez-Sánchez. Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing // Sensors (Basel). — 2011. — №11 (3).
4. Дмитриев С. Ф., Ишков А. В., Маликов В. Н., Сагалков А. М. Виртуализированный измеритель-трансформер // Датчики и системы. — 2013. — №3.