

УДК 534.8

*С. Ф. Дмитриев, А. В. Ишков, В. Н. Маликов, А. М. Сагалаков***Вихретоковые преобразователи
для исследования переходов металл–диэлектрик***S. F. Dmitriev, A. V. Ishkov, V. N. Malikov, A. M. Sagalakov***Eddy Current Transducers for Investigation of Metal-
Insulator Transition Properties**

Ранее разработанный сверхминиатюрный вихретоковый преобразователь использован для неразрушающего контроля переходов металл–диэлектрик. Рассмотрен известный метод вихретокового контроля, основанный на анализе распределения электропроводности по поверхности и в глубине исследуемого материала. Приведено устройство вихретокового датчика и описаны принципы его работы с персональным компьютером, используя звуковую плату. Указаны основные технические параметры преобразователя — тип преобразователя, используемые катушки. Изложен алгоритм программного обеспечения, управляющего датчиком. Коротко указываются некоторые области применения датчика, помимо изложенных в статье. Представлены результаты исследования переходов металл–диэлектрик методом вихревых токов и приведены зависимости отклика преобразователя от толщины слоистой среды с проводящей основой (в качестве основы в эксперименте использовалась медь) и без основы. Описана методика формирования подобных материалов в эксперименте. Указано значение подобных материалов для промышленности и экономики. Определено влияние различных композитных материалов (алюминий–полиэтилен, алюминий–бумага) на отклик преобразователя. Приведены данные о настройке преобразователя для исследования подобного класса материалов.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, слоистые материалы, неоднородность, дефект, метод вихревых токов.

DOI 10.14258/izvasu(2014)1.1-53

Метод вихретокового контроля вместе с ультразвуковыми и рентгеноскопическими исследованиями является одним из самых важных методов неразрушающего контроля в настоящее время. Метод основывается на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя и контролируемого объекта. Конструкция подобных преобразователей может меняться в зависимости от типа и свойств контролируемого объекта, материалов, используемых в нем, или от его топологии.

A miniature eddy current transducer developed earlier by the authors is used for nondestructive testing of metal-insulator transitions. This article describes the well-known eddy current testing method based on the analysis of electrical conductivity distribution across the surface and within the test material. The design of eddy current sensor, principles of operation, and its connection to a personal computer via sound card interface are presented along with main technical parameters, types of transducer, and coils. The paper contains a brief overview of sensor application area and an algorithm of sensor controlling software. Results obtained from eddy current testing of metal-insulator transitions show the dependence of sensor response on thickness of layered media with and without conductive substrate (copper substrate is used). A technique of layered materials development is described, and industrial significance of such materials is shown. The sensor response is proved to be dependant of various composite materials, such as aluminum-polyethylene and aluminum-paper. Sensor settings for testing of composite materials mentioned above are also provided.

Key words: nondestructive testing, layered materials, heterogeneity, defect, method of eddy currents.

Для исследования проводящих неферромагнитных материалов, как правило, используют трансформаторные накладные вихретоковые преобразователи, содержащие не менее двух катушек — возбуждающую и измерительную.

Основной информативный параметр метода вихревых токов — это обобщенный параметр β_0 . Данный параметр представляет собой функцию параметров самого вихретокового преобразователя, природу материала, а также вид и параметры дефекта.

* Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного Министерством образования и науки РФ (дог. №02.G25.31.0063).

Особое место в неразрушающем контроле в настоящее время занимает исследование слоистых металлополимерных композитов типа металл — диэлектрик — металл. Это, например, листовые материалы облицовочных панелей, сотовые панели, щиты звуко- и теплоизоляции самолетов, отражающие радиацию покрытия оборудования и приборов, декоративные металлопластиковые панели, материалы для изготовления печатных плат и другие подобные композиты, содержащие от одного до двух и более металлических слоев, разделенных диэлектрическими прослойками [1].

Дефектоскопия слоистых композитов применяется для нахождения нарушений сплошности металлического слоя, контроля количества и толщины слоев, нахождения перемычек между слоями или анализа поверхности металлического слоя. Основной характеристикой, чувствительной к данным дефектам, является величина локальной электропроводности материала и ее распределение по поверхности каждого слоя.

В Алтайском государственном университете авторами статьи была разработана методика измерений и создан трансформаторный накладной вихретоковый преобразователь, на основе которого был изготовлен измеритель электропроводности неферромагнитных материалов «ИЭНМ-2» (см., например: [2]). Разработанный метод измерений позволяет с помо-

щью виртуализированного измерителя электропроводности решать универсальные задачи по получению, преобразованию и визуализации различной измерительной информации одним датчиком, интегрированным в составе специализированного программно-аппаратного комплекса. Анализ проведенных расчетов и зависимостей импеданса от действительной части вносимого напряжения в измерительную обмотку вихретокового преобразователя для случая неферромагнитного материала показал, что с заданными параметрами датчика можно уверенно фиксировать измерительные сигналы, используя маломощные тракты звуковых адаптеров большинства современных персональных компьютеров [3].

В частности, такой метод позволяет исследовать дефекты и неоднородности слоистых структур типа металл — диэлектрик — металл, например, состоящий из алюминия и бумаги. Разработанный программно-аппаратный комплекс отображает информацию, полученную от датчика в реальном времени, и при желании пользователя сохраняет ее на жесткий диск. Программное обеспечение использует алгоритм, приведенный на рисунке 1, для определения величины проводимости и напряженности постоянного магнитного поля, значение которого может быть использовано при работе в сильных магнитных полях для корректировки показаний датчика [4].

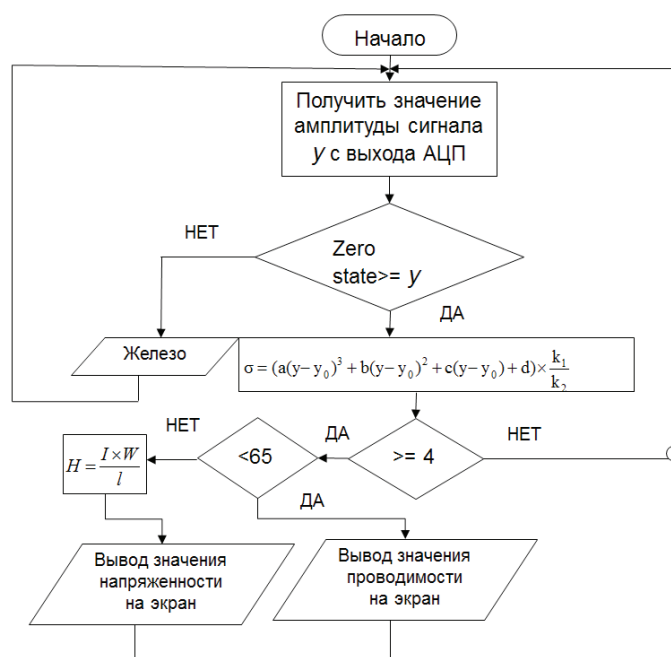


Рис. 1. Алгоритм работы программной части датчика

Слоистые композиты и модели их дефектов изготавливались чередованием слоев алюминиевой фольги, имеющих толщину 100 мкм, со слоями бумаги толщиной 100 мкм. Из данных материалов вырезали образцы, формировали пакет заданного строения

и осуществляли его прессование при температуре 110–120 °С и давлении 5–10 МПа в течение 3 минут.

Основной характеристикой слоистых композитов, чувствительной к дефектам исследованного типа, является электропроводность материала ме-

таллического слоя. Как было показано ранее [5], она входит в неоднородное уравнение Гельмгольца для векторного потенциала поля вихревых токов многослойной среды, наряду с магнитной проницаемостью материала, и стремится к значению этого параметра для сплошного объемного материала по мере увеличения количества слоев в МПСК и уменьшения толщины диэлектрических прослоек. При этом вклад в величину напряжения, вносимого в измерительную обмотку сверхминиатюрного вихретокового преобразователя с высокой локальностью и отношением радиусов приемной и передающей катушек не менее 0,2–0,4 от каждого нового слоя, будет составлять от 10 до 25 %, чего вполне достаточно для фиксирования любым измерительным прибором с величиной абсолютной допускаемой погрешности не более 3–5 %.

На рисунке 2 приведена зависимость интенсивности противопололя от толщины слоистой среды. Слоистая среда формируется из последовательных слоев фольги и бумаги с толщиной 100 мкм. Возрастание интенсивности противопололя связано с толщиной слоистого образца. Так, при толщине образца 100 мкм интенсивность противопололя 7 у.е., зазор в 100 мкм уменьшает интенсивность до 6 у.е. Брикет из двух слоев фольги со 100 мкм диэлектрической прослойкой дает 12 у.е., зазор в 100 мкм уменьшает интенсивность до 10 у.е. Таким образом, реализуется модель слоистой среды и воздействия вихретокового преобразователя на среду низкочастотным электромагнитным полем, когда датчик находится на проводящей поверхности либо имеется зазор 100 мкм. Интенсивность противопололя от слоистого брикета соответствует интенсивности противопололя монолита, когда брикет содержит 19–10 слоев фольги по 100 мкм, переложенных 9 слоями бумаги толщиной в 100 мкм.

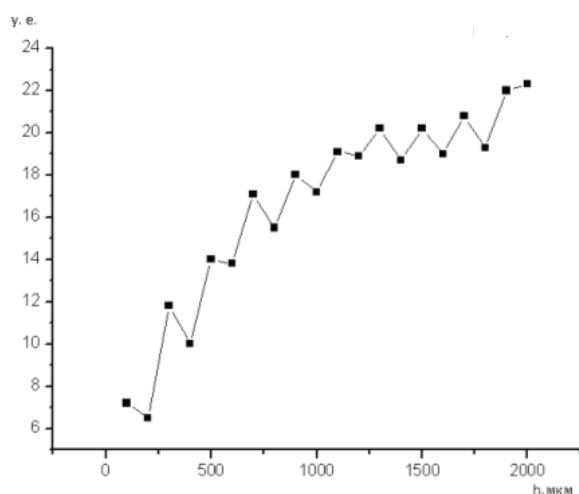


Рис. 2. Алюминиевая фольга 100 мкм + бумага 100 мкм без основы (частота возбуждения 3500 кГц)

На рисунке 3 приведена зависимость показаний прибора ИЭНМ-5ФА от расстояния датчика до поверхности слоистого композита алюминий — полиэтилен — алюминий, расположенного на медной основе толщиной 5 мм.

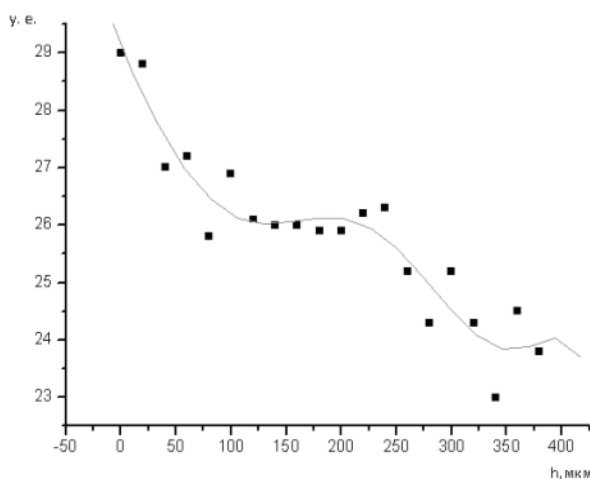


Рис. 3. Основа — медь, покрытия — чередование слоя алюминиевая фольга 20 мкм + полиэтилен 20 мкм (частота возбуждения 3500 кГц); полученные данные аппроксимировались полиномом 4-й степени

Слоистый композит, использованный в данном эксперименте, был получен чередованием двух слоев алюминиевой фольги (20 мкм) и одним слоем полиэтилена низкого давления (20 мкм). Измерения проводились на частоте возбуждения 35 кГц, материал основы — медь М1.

Как следует из рисунка 3, образец такого композита по отношению к медной основе выполняет функцию экрана, введенного в зазор между датчиком прибора и медной основой и постепенно ослабляющего измеренный сигнал.

На расстоянии 100–250 мкм от поверхности композита наблюдается участок, на котором показания прибора сохраняют почти постоянные значения. Очевидно, что на таком удалении от проводящей медной основы топология поля вихревых токов контролируемого образца воспринимается датчиком прибора как поле от однородной среды и появление любого дефекта в материале вызовет отклонение его показаний от среднего значения, измеренного на расстоянии 100–250 мкм.

Проведение дефектоскопии слоистого композита в таком случае возможно при настройке показаний прибора на ноль на бездефектной области (с постоянным значением условной электропроводности) и использовании полого наконечника, выдерживающего постоянное расстояние между поверхностью материала и вихретокового преобразователя в интервале 100–250 мкм.

Заключение

Предложенная в работе модификация вихретокового метода, основанная на применении сверхминиатюрных датчиков с повышенной локальностью измерений, позволила проводить надежную диагностику

структуры композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Разработанное измерительное устройство, реализующее предложенный подход, показало свою перспективность для контроля дефектов в этих материалах.

Библиографический список

1. Поляков В.В., Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. и др. О дефектоскопии многослойных металлополимерных слоистых композитов системы AL- (ПЭНД-AL) X-AL методом вихревых токов // Ползуновский вестник. — 2013. — №2.
2. Маликов В.Н., Дмитриев С.Ф., Ишков А.В. Сверхминиатюрные вихретоковые преобразователи для задач неразрушающего контроля неферромагнитных материалов // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2012. — Т. 55. №9/2.
3. Дмитриев С.Ф., Лященко Д.Н., Новоженев А.В., Ишков А.В. Особенности реализации аппаратной ча-

- сти виртуализированных измерительных приборов в методе вихревых токов // Ползуновский вестник. — 2010. — №2.
4. Дмитриев С.Ф., Маликов В.Н., Ишков А.В., Сагалаков А.М. Виртуализированный измеритель-трансформер // Датчики и системы. — 2013. — №3.
5. Дмитриев С.Ф., Маликов В.Н., Ишков А.В., Сагалаков А.М. Исследование неоднородных материалов методом вихревых токов // Известия Алтайского государственного университета. — 2013. — №1/1.