

Секция 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 620.179.147

ИСПЫТАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ МЕАНДРОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Бусько В.Н., Венгринович В.Л., Кмита К.Ю.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

К одним из наиболее распространенных и эффективных методов неразрушающего контроля (НК), дефектоскопии и исследования электропроводящих материалов и изделий относится метод вихретокового контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля внешнего источника с электромагнитным полем вихревых токов (ВТ), возбуждаемых в объекте контроля переменным магнитным полем [1]. Возбуждение ВТ в материале производится с помощью вихретокового преобразователя (ВТП), от параметров, технических характеристик и конструкции которого зависят эффективность и достоверность получаемых результатов.

В последнее время все большее распространение получают плоские меандровые вихретоковые преобразователи (МВП) накладного типа на гибкой основе, представляющие собой устройства с повторяющимися токопроводящими элементами в виде линий, напоминающих меандр.

Технология создания МВП, получившая название MWM (Meandr Winding Magnetometr), получила широкое развитие для решения различных задач НК и дефектоскопии поверхностных и нанесенных слоев в проводящих материалах [2]. Такие плоские структуры позволяют повысить уровень сигнала, за счет более плотного прилегания к образцу и расширить функциональные возможности вихретокового метода.

Цель работы – разработка, изготовление по технологии MWM и испытание МВП, оптимизация электрических и конструктивных параметров, изучение возможности повышения чувствительности к различным свойствам проводящих материалов, включая немагнитные, магнитные и композиционные (слабопроводящие).

Использовались различные типы и конструкции изготовленных в ИПФ НАН Беларуси МВП, отличающихся габаритами, толщиной пленочного основания, сечением и подключением электрических контуров катушек возбуждения и регистрации, компоновкой и количеством одинарных МВП в матричном преобразователе, а также индуктивностью, реактивным, активным и комплексным сопротивлением [3, 4]. Особое внимание уделено матричным МВП, имеющим преимущество в надежности, производительности и воспроизводимости выявления дефектов.

На рис. 1 представлены примеры классических схем одинарного и двух матричных МВП, состоящих из четырех одинарных датчиков.

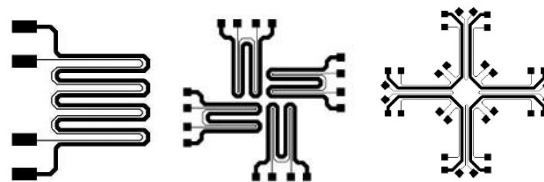


Рисунок 1 – Пример различных схем одинарного и матричного меандрового вихретокового преобразователя

На рисунке 2 в качестве примера показан внешний вид созданных в Институте макетов одинарного и 2-х матричных плоских МВП. Общая толщина одной партии изготовленных МВП составляла 0,12 мм (толщина подложки из полиимиды – 0,1 мм), второй – 0,19 мм.



Рисунок 2 – Фотография внешнего вида изготовленных макетов на пленке одинарного и двух типов матричного МВП

Испытания МВП на различных режимах возбуждения и регистрации ВТ производились на экспериментальной лабораторной установке. Возбудителем ВТ в исследуемом материале являлся переменный синусоидальный ток от генератора с различными амплитудами тока возбуждения в диапазоне от 20 кГц до 3–5 МГц. Измерение ВТ производилось с помощью высокочастотного усилителя и измерительного прибора. В связи с высокой чувствительностью ВТ к зазору между материалом и МВП при измерении ВТ использовались две схемы установки МВП на образец. По первому варианту образец устанавливался на поверхность МВП с помощью вертикального механизма перемещения образца вплотную к преобразователю, второй – основан на установке образца на подставке и перемещающемся вертикально к нему МВП.

Испытания и исследования МВП производились на разных классах и группах проводящих материалов различных форм и размеров:

а) металлических материалах немагнитного класса (цветные металлы и сплавы – Cu, Al, Д16Т, БрБ2, 08Х18Н10, Ti, Рв и др.);

б) металлических материалах магнитного класса – Ст. 3, Э52 и др.;

в) магнитомягких ферритов;

г) слабопроводящих композиционных материалах системы «углерод-углерод» (УУКМ).

В табл. 1 для примера приведены значения удельного электросопротивления (ρ) ряда исследуемых образцов материалов и соответствующие им уровни ВТ, полученные матричным МВП. На рис. 3 показаны зависимости вихрекового сигнала одинарного МВП от вида материала, из которого видна четкая взаимосвязь между значением ВТ и ρ исследуемых образцов.

Таблица 1 – Значения ρ и ВТ для ряда исследуемых материалов (частота тока возбуждения = 220 кГц)

Материал	Удельное электросопротивление, ρ , Ом мм ² /м	Уровень ВТ (ЭДС), $\Delta U_{\text{вк}}$, В
Медь (Cu)	0,018	1,85
Алюминий (Al)	0,028	1,68
Дуралюминий (Д16Т)	0,073	1,7
Берилл. бронза (БрБ2)	0,08	1,43
Нерж. нем. сталь	≈0,11	0,98
Свинец (Pb)	0,22	0,48
Углепластик (УУКМ ₁)*	≈ 2	0,28
Углепластик (УУКМ ₂)*	≈ 2	0,38
Углепластик (УУКМ ₃)*	≈ 2	0,48

*Образцы предоставлены зав. лаб. № 9 Майоровым А.Л

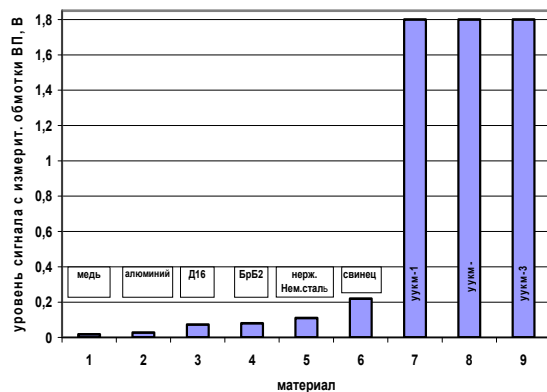


Рисунок 3 – Зависимость сигнала матричного МВП от удельного электросопротивления для различных немагнитных проводящих материалов

На рис. 4 в виде иллюстрации испытаний датчиков представлены результаты влияния частоты тока в катушке возбуждения на сигнал матричного МВП для образцов меди и электро-технической стали, из которого следует,

что наиболее оптимальными для получения максимальных значений ВТ являются частоты возбуждения в области от 1 до 2, 5 МГц.

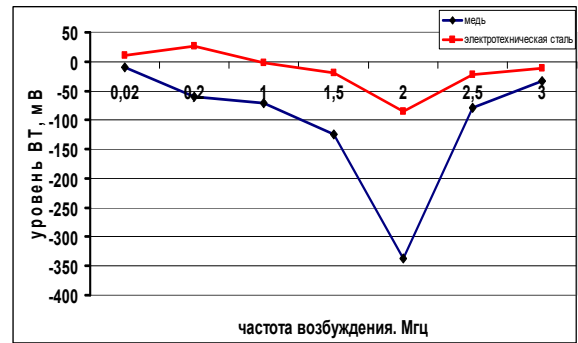


Рисунок 4 – Влияние частоты возбуждения на уровень вихрекового сигнала в матричном МВП для образцов меди и электро-технической стали

Таким образом:

– изготовлены и испытаны плоские МВП различных конструкций и типоразмеров с применением новых технологий;

– получены экспериментальные зависимости влияния удельного электросопротивления, частоты и амплитуды тока возбуждения на уровень ВТ;

– установлено, что исследуемые МВП обладают высокой чувствительностью к удельному электросопротивлению и универсальностью; объектами исследования могут быть практически любые проводящие изделия; на сигнал вихрековой матрицы влияют не только частота и амплитуда тока возбуждения, но и компоновка составляющих ее датчиков, схем подключения катушек и их импеданс [4].

В ИПФ НАН Беларуси продолжают работы по разработке, конструированию и исследованию разных типов МВП для контроля, диагностики и дефектоскопии проводящих материалов.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2. – М. : Машиностроение, 2003. – 688 с.
2. N. Goldfine, V. Zilberstein, Sch. Cardill, D. Schlicker MWM-Array Eddy Current Sensors for Detection of Cracks in Regions with Fretting Damage // ASNT Materials Evaluation, Vol. 60, – № 7 – 2002.
3. Венгринович В.Л., Ануфриева Г.Н. Технология получения гибких датчиков для вихрекового контроля // материалы межд. НТК «Приборостроение–2012», 21–23 ноября 2012, Минск. – С. 29–30.
4. Бусько В.Н., Венгринович В.Л. Повышение уровня сигнала матричного меандрового вихрекового преобразователя // материалы междунар. НТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 27–28 апреля 2018, Могилев, – С. 346–347.