

БЕСКОНТАКТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ВВОДА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

Х.Б. Толипов, С.Ю.Гуревич, Ю.В. Волегов

В статье рассматриваются преобразователи, предназначенные для бесконтактного ввода акустических колебаний в электропроводящие среды.

Неослабевающий интерес к изучению электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразования вызван перспективностью использования его в различных технических приложениях. В силу неоспоримых преимуществ перед контактными методами, этот способ контроля находит все более широкое применение в приборах [1, 2]. Основным элементом в этих приборах является ЭМА-преобразователь. Однако низкие коэффициенты преобразования электромагнитной энергии в акустическую и обратно, вызывают у практиков потребность в создании высокоэффективных преобразователей с большим ресурсом работы дефектоскопической аппаратуры.

Традиционно высокочастотная катушка, наводящая вихревые токи в изделии и являющаяся одним из основных элементов ЭМА-преобразователя, выполняется из тонкого провода. Находясь на поверхности изделия, она испытывает механические напряжения и при сканировании поверхности изделия часто выходит из строя.

Ниже предлагаются оригинальные конструкции преобразователей, которые позволяют избавиться от этого недостатка, увеличить эффективность и ресурс работы.

1. ЭМА-преобразователь с разрезными кольцами

Для возбуждения и регистрации ультразвуковых волн был предложен электромагнитно-акустический преобразователь в виде двух плоских колец, расположенных соосно в плоскостях, параллельных поверхности контролируемого изделия (рис. 1) [3].

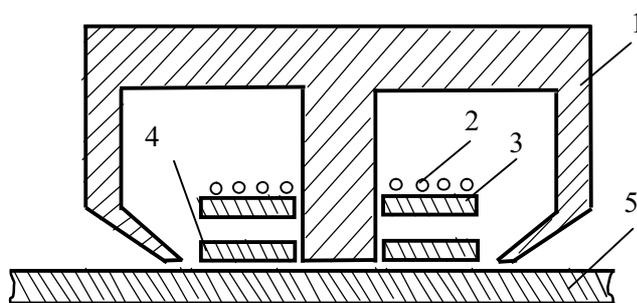


Рис. 1. ЭМА-преобразователь с разрезными кольцами

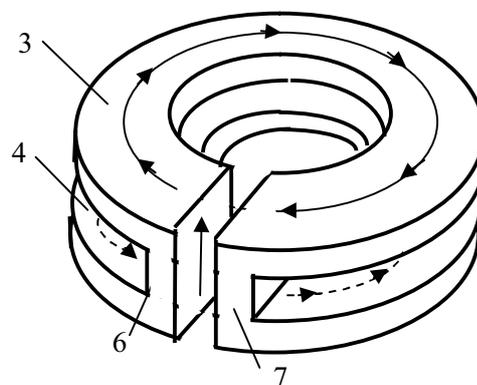


Рис. 2. Форма индуктора преобразователя

Преобразователь содержит осесимметричный магнит 1, расположенную соосно между его полюсами высокочастотную катушку 2 и плоские разрезные электропроводящие кольца 3 и 4, плоскости которых параллельны поверхности контролируемого изделия 5. Гальваническая связь между разрезными кольцами осуществляется с помощью параллельных электропроводящих пластин 6 и 7 так, чтобы токи в кольцах протекали в противоположных направлениях. Форма индуктора показана на рис.2. Индуктор выполнен так, что разрезы колец расположены в одной плоскости, а в параллельных ей плоскостях расположены электропроводящие пластины 6, 7, осуществляющие гальваническую связь.

Преобразователь работает следующим образом. При протекании переменного электрического тока по высокочастотной катушке 2, в верхнем электропроводящем кольце 3 наводится вихревой ток (на рис. 2 показан стрелками). Так как кольца 3, 4 содержат разрезы, то ток через элек-

тропроводящие пластины 6, 7 замыкается в нижнем, обращенном к контролируемому изделию кольце 4. Ток нижнего кольца индуцирует в поверхностном слое изделия вихревые токи, которые взаимодействуют с магнитным полем, создаваемым магнитом 1 в изделии 5, вызывая механические напряжения, являющиеся источником упругих волн.

2. ЭМА-преобразователи с согласующим трансформатором

Использование указанных преобразователей в режиме возбуждения и приема ультразвуковых волн является неэффективным из-за трудностей одновременного согласования с усилителем и генератором дефектоскопа. Поскольку усилитель дефектоскопа обладает высоким входным сопротивлением, имеется возможность путем увеличения числа витков катушки преобразователя

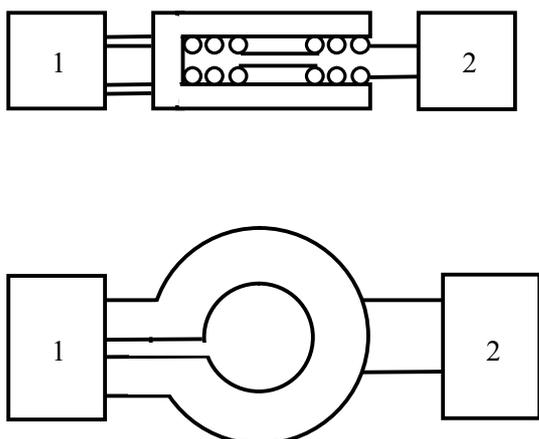


Рис. 3. ЭМА-преобразователь с согласующим трансформатором

значительно повысить уровень сигнала. Однако получающееся при этом значение индуктивности оказывается слишком большим с точки зрения оптимальной работы генератора, имеющего низкий выходной импеданс. Таким образом, оптимизация параметров катушки преобразователя с точки зрения приема нарушает ее согласование с генератором дефектоскопа. Кроме того, дополнительные потери сигнала происходят в цепях, защищающих входной каскад усилителя от воздействия напряжения мощного зондирующего импульса.

Так как величина напряжения зондирующего импульса имеет порядок единиц киловольт, то усилитель не успевает прийти в исходное состояние к приходу первого отраженного импульса при контроле изделий небольшой толщины.

Для повышения чувствительности ЭМА-преобразователя, последний был выполнен в виде двух плоских спиральных катушек, соединенных последовательно встречно и разме-

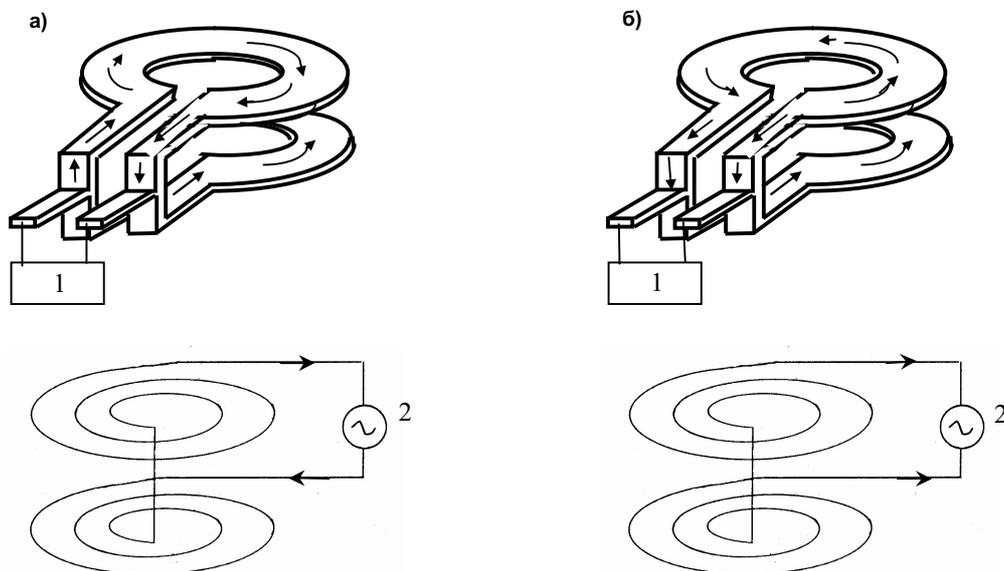


Рис. 4. Форма индуктора и схема соединения катушек:
1 – генератор; 2 – усилитель

щенных соосно внутри индуктора, представляющего собой два расположенных в параллельных плоскостях соосных электропроводящих кольца с гальванической связью между ними (рис. 3) [4]. При подаче на преобразователь электрического сигнала от генератора 1 токи в кольцах протекают в одинаковых направлениях (рис. 4а), поэтому ЭДС, наводимые токами в катушках, вза-

имно уничтожаются и на вход усилителя 2 в режиме возбуждения акустической волны электрический сигнал не поступает, что сокращает «электронную» мертвую зону. При приеме упругих волн токи в кольцах протекают в противоположных направлениях (рис. 4б), в результате ЭДС, наводимые токами в катушках, суммируются. Генератор 1 оказывается нагруженным на низкоомную нагрузку, а на усилитель 2 подается сигнал с высокоомных катушек. В результате этого повышается эффективность возбуждения и регистрации ультразвуковых волн и разрешающая способность.

Повышение эффективности возбуждения упругих волн определяли экспериментально. Из медного листа толщиной 3 мм изготовили два плоских разрезных кольца с наружным диаметром 45 и внутренним диаметром 15 мм, разрезы которых с помощью пайки соединяли с электропроводящими пластинками, изготовленными из того же листа. Расстояние между разрезными кольцами составляло 7 мм. Высокочастотные катушки выполняли в виде плоской спирали, изготовленной из провода МГТФ диаметром 0,07 мм. Число витков подбирали экспериментально таким образом, чтобы резонансная частота была 2,5 МГц.

Кольца соединяли с выходом генератора электрических сигналов, а катушки подключали к входу усилителя серийного дефектоскопа, на экране которого наблюдались донные сигналы.

Установлено, что амплитуда, зарегистрированная с помощью предложенного преобразователя электрических сигналов, превышала амплитуду сигналов преобразователя, выбранного в качестве прототипа, на 30%. Компенсация наводок зондирующего импульса позволила выявить второй донный сигнал при контроле стальной пластины толщиной 2 мм, что свидетельствует о повышении разрешающей способности предлагаемого электромагнитно-акустического преобразователя.

3. ЭМА-преобразователи для сдвиговых волн

В рассмотренных ранее преобразователях магнитное поле направлено вдоль поверхности изделия, что позволяло возбуждать в изделии продольные волны. Для возбуждения сдвиговых волн преобразователь выполнен следующим образом. Он содержит осесимметричный магнит, расположенную соосно между его полюсами высокочастотную катушку и плоские разрезные электропроводящие кольца. Одно из колец охватывает полюс магнита, а второе размещено под этим полюсом (рис. 5). Форма индуктора аналогична форме, показанной на рис. 2.

Такое выполнение преобразователя позволяет направить силовые линии магнитной индукции в основном по нормали к поверхности изделия в той части поверхности изделия, которая расположена под кольцом 3 индуктора. Это позволяет возбудить в изделии поперечные волны, скорость которых приблизительно в два раза меньше скорости продольных волн. В конечном результате, благодаря такому выполнению конструкции преобразователя, достигается более высокая разрешающая способность преобразователя. Традиционно высокочастотную катушку выполняют из тонкого провода и располагают в зазоре между полюсом магнита металлическим образцом. При сканировании преобразователя по образцу возникают механические повреждения изоляции катушки. Учитывая, что на катушку подается мощный электрический зондирующий импульс, при нарушении изоляции происходит пробой и выход ее из строя.

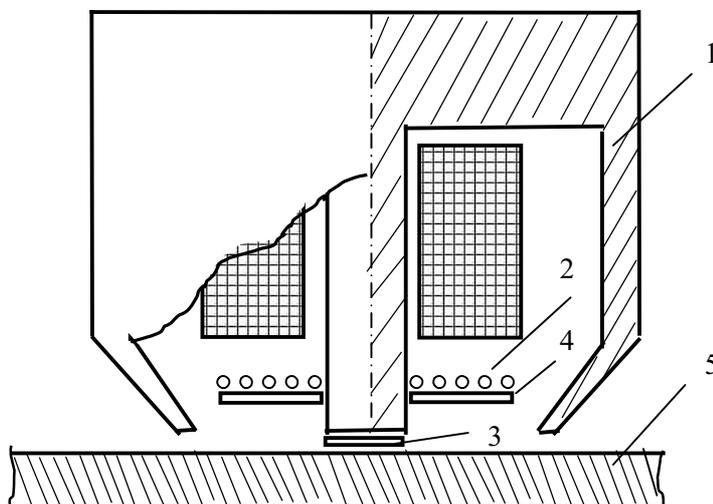


Рис. 5. ЭМА-преобразователь для сдвиговых волн:
1 – осесимметричный магнит; 2 – высокочастотная катушка;
3, 4 – разрезные кольца; 5 – контролируемое изделие

Поэтому предложенная конструкция преобразователя, в котором катушка удалена от поверхности изделия, позволяет устранить эти недостатки и значительно повысить ресурс работы предложенного устройства.

Заключение

Проведенные лабораторные испытания показали работоспособность и эффективность рассмотренных ЭМА-преобразователей. Конструкции преобразователей дают возможность достичь высоких эксплуатационных характеристик, что позволяет рекомендовать их в практику неразрушающего контроля.

Литература

1. Портативный бесконтактный ЭМА-толщиномер/ Г.Я. Безлюдько, Е.В. Долбня, В.Ф. Мужичкий, В.Б. Ремезов// Дефектоскопия. – 2003. – № 12. – С. 46–53.
2. Опыт опробования электромагнитно-акустических толщиномеров типа ЭМАТ-100 на предприятиях МПС и в нефтегазовой промышленности/ В.М. Бердников, Н.Г. Лещенко, В.Ф. Мужичкий и др.// Дефектоскопия. – 2003. – № 11. – С. 20–24.
3. А.с. 1357834, СССР, МКИ G01N29/04. Электромагнитно-акустический преобразователь/ М.С. Бойко, Х.Б. Толипов, С.Ю. Гуревич, А.Д. Каунов (СССР). – 4043761/28; Заявлено 06.01.1986; Оpubл.08.08. 1987// Открытия. Изобретения. – 1987. – № 45.
4. А.с. 1744642, СССР, МКИ G01N29/04. Электромагнитно-акустический преобразователь/ С.Ю. Гуревич, Х.Б. Толипов, Ю.Г. Гальцев (СССР). – 4842671/28; Заявлено 18.06. 1990; Оpubл. 30.06.1992// Открытия. Изобретения. – 1992. – № 24.

Поступила в редакцию 28 февраля 2005 г.