

УДК 620.179.14
ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРОЗОНДО-ВИХРЕТОКОВОЙ АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

В. И. ПУДОВ, Ю. Я. РЕУТОВ
ФГБУН ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УРО РАН»
Екатеринбург, Россия

В данной работе представлена новая конструкция преобразователя магнитного поля, которая может быть использована для диагностики и неразрушающего контроля качества материалов, в частности, для локализации и измерения ферромагнитной неоднородности в виде инородной примеси или структурных изменений, связанных с образованием ферромагнитной альфа-фазы в аустенитных сталях, или контроля дельта-фазы в сталях аустенитно-ферритового класса, а также при оперативной хирургии, в частности, для локализации ферромагнитной неоднородности в виде инородных тел – частиц, стружек, предметов при хирургическом удалении их из тканей и органов человека.

Рассмотрим возможность применения комбинированного феррозондо-вихретокового преобразователя в области медицины, например, в случаях общей и глазной хирургии.

Тяжелые травмы тканей и органов человека, связанные с внедрением ферромагнитных неоднородностей, требуют оперативного хирургического вмешательства. В этой связи, основное значение приобретает точность определения их местоположения. Основные методы диагностики – рентгеновский, ультразвуковой – часто оказываются малоинформативными в решении данной проблемы из-за гематом, труднодоступного размещения неоднородности, малого геометрического размера.

Сложность локализации ферромагнитной неоднородности вблизи важных органов, сосудов, нервов человека, требует применения специальной диагностической аппаратуры.

Одно из наиболее перспективно развивающихся видов специальной диагностики является феррозондовая и вихретоковая [1–5], позволяющие проводить операции, где процент извлекаемости ферромагнитной неоднородности во много раз выше, чем при традиционных методах.

Однако существующие конструкции известных феррозондовых и вихретоковых преобразователей не позволяют повысить эффективность использования феррозондовой и вихретоковой диагностики для ряда операций, например, при детских операциях, связанных с локализацией мелких ферромагнитных неоднородностей или при их локализации в глазной полости, в орбите глаза, то есть на малом операционном поле и т. д. Такого рода операции требуют создания особых конструкций устройств – малых

по размеру, но, в тоже время, имеющих высокую чувствительность рабочих элементов.

Для решения данной проблемы предложен комбинированный вид устройства в основе которого лежит феррозондовый принцип действия.

Комбинированный преобразователь содержит вихретоковую намагничивающую катушку и две пары чувствительных феррозондовых магнитомодуляционных элементов, размещенных параллельно друг другу по обе стороны от намагничивающей катушки, ортогонально продольной оси преобразователя. Чувствительные элементы могут иметь разные рабочие размеры, например, $2,5 \times 0,6$ или $2 \times 0,6$ мм, и их обмотки соединены по градиентометрической схеме.

При прохождении по обмоткам вихретоковой намагничивающей катушки преобразователя переменного тока заданной частоты (от генератора блока питания прибора) создается переменное электромагнитное поле, которое, воздействуя на ферромагнитный материал неоднородности, вызывает в нем вихревые токи. Они формируют вторичное электромагнитное поле, магнитная составляющая которого уже в зависимости от геометрической формы неоднородности определенным образом намагничивает её материал. В результате чего, вокруг неоднородности образуется достаточно сильное магнитное поле рассеяния по сравнению с полем при остаточной намагниченности материала. В феррозондовом магнитомодуляционном преобразователе при прохождении по обмоткам возбуждения его первой и второй пары чувствительных элементов, переменного тока с частой 50 Гц (от генераторов возбуждения) создается переменное магнитное поле, которое периодически доводит пермаллоевые сердечники этих чувствительных элементов до насыщения. В отсутствие ферромагнитной неоднородности, малые величины ЭДС, наводимые в измерительных обмотках чувствительных элементов феррозондового преобразователя от воздействия магнитного поля вихретоковой намагничивающей катушки, взаимно компенсируются, поскольку элементы работают по схеме градиентометра, и выходные сигналы, фиксируемые индикаторами прибора, будут отсутствовать. Причем на первую и вторую пару чувствительных элементов, установленных ортогонально друг к другу (для $\pm 180^\circ$ контроля) и к силовым линиям магнитного поля намагничивающей катушки, действуют только малые его величины, которые компенсируются, не снижая чувствительности элементов феррозондового преобразователя даже к небольшой по размерам ферромагнитной неоднородности. При поднесении рабочего конца комбинированного преобразователя к зоне расположения максимально намагниченной неоднородности, ее магнитное поле рассеяния будет воздействовать на его крайние чувствительные элементы, в результате этого в их измерительных обмотках появится ЭДС, отличающаяся от чувствительных элементов, на которые не воздействует неоднородность. Разницы величин ЭДС, передаваемые в виде выходных сигналов на стрелоч-

ный, звуковой или цифровые индикаторы прибора информируют об обнаружении неоднородности и позволяют установить её форму и ориентацию относительно рабочего конца устройства. В физическом смысле данные величины ЭДС являются мерой продольного градиента тангенциальной компоненты магнитного поля рассеяния ферромагнитной неоднородности направленных относительно продольной оси комбинированного преобразователя.

При необходимости, комбинированный преобразователь может также работать в режиме возбуждения обмотки вихретоковой намагничивающей катушки с постоянным или импульсным током. Причем в этом режиме можно дополнительно перепроверять результаты локализации ферромагнитной неоднородности, путем временного отключения намагничивающей катушки и исследования неоднородности уже при приобретенной ею в этот момент намагниченности, величина которой значительно выше, чем при сформировавшейся остаточной намагниченности неоднородности, но меньше, чем при её максимальном намагничивании.

Чувствительность комбинированного феррозондо-вихретокового преобразователя определялась в положениях, характерных для взаимной ориентации ферромагнитной неоднородности относительно его рабочей концевой части (см. рис. 1).

На рисунке показан вид и изменение выходного сигнала комбинированного преобразователя в зависимости от формы инородных ферромагнитных неоднородностей, которые имеют основные формы представленные в виде: 1 – шара; 2 – диска; 3 – пластины; 4 – стержня.

Сравнение полученных результатов показывает, что чувствительность комбинированного преобразователя на 25-30 % выше чувствительности преобразователей предыдущих моделей вихретокового прибора ЛИТ-2 и феррозондового ПФ-02 [2, 3].

Комбинированный феррозондо-вихретоковый преобразователь обнаруживает, например, мелкие ферромагнитные неоднородности, частицы размером $1,8 \times 1,0$ мм на расстоянии 30–35 мм; обломок швейной иглы размером $10 \times 0,8$ мм на расстоянии 85–97 мм; обломок инъекционной иглы размером $10 \times 0,7$ мм на расстоянии 61–79 мм.

Таким образом, разработанный преобразователь позволяет на качественно новом уровне повысить эффективность диагностики ферромагнитной неоднородности при оперативной хирургии, ферритометрии, неразрушающем контроле материалов. Благодаря его комбинированной конструкции, значительно увеличивается достоверность и точность локализации ферромагнитной неоднородности, в т. ч. небольшой по размеру или слабомагнитной за счет возможности локального намагничивания неоднородности, и, как следствие, увеличения величины её магнитного поля рассеяния до уровня восприятия чувствительными элементами преобразова-

теля, а также осуществления ее двойного контроля при $\pm 180^\circ$ сфере обзора среды. Приобретение комбинированным феррозондо-вихретоковым преобразователем новых функциональных возможностей позволило существенно расширить области для его практического использования и диапазон номенклатуры контролируемой неоднородности.

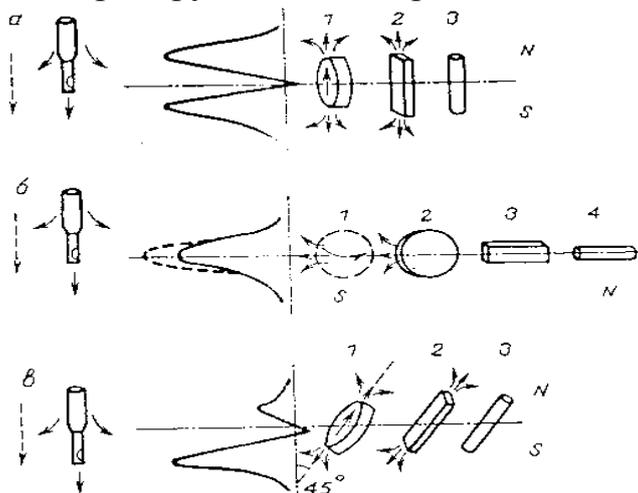


Рис. 1. Магнитомодуляционные элементы преобразователя воспринимают тангенциальную компоненту магнитного поля рассеяния ферромагнитной неоднородности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краснов, М. Л.** Руководство по глазной хирургии / М. Л. Краснов, В. С. Беляев. – М., 1988. – 320с.
2. **Пудов, В. И.** Локализация и удаление инородных металлических тел с помощью вихретокового локатора ЛИТ-2 / В. И. Пудов, Ю. Я. Реутов, С. А. Коротких // Медицинская техника. – 1996. – № 4. – С. 23–28.
3. Локализация и удаление инородных ферромагнитных тел с помощью феррозондового полюсоискателя ПФ-02 / В.И. Пудов [и др.] // Медицинская техника. – 1996. – № 6. – С. 28–33.
4. **Пат. 2123816. РФ, МПК⁶ А61 В 17/50, А 61 В 5/06.** Вихретоковый металлоискатель / Заявитель Ин-т физики металлов УрО РАН; патентообладатели / В. И. Пудов, Ю. Я. Реутов, С. А. Коротких. № 96118542/14; заявл. 18.09.96; опубл. 27.12.98, Бюл. № 36 (II ч.).
5. **Пат. 2127076 РФ, МПК⁶ А 61 В 5/06.** Способ Пудова В.И. для феррозондовой диагностики инородных ферромагнитных тел / В. И. Пудов, В. А. Куликов, С. А. Коротких; Заявитель Ин-т физики металлов УрО РАН; патентообладатели / В. И. Пудов, С.А. Коротких. – № 96117173/14; заявл 23.08.96; опубл. 10.03.99, Бюл. № 7 (II ч.).

E-mail: pudov@imp.uran.ru