

УДК 620.179.16

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В ЭМА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

© Подолян А.А., 2006

Національний технічний університет України «КПІ», г. Київ

Рассмотрены основные схемы формирования магнитного поля в электромагнитных акустических преобразователях, позволяющие оперативно регулировать магнитную индукцию в районе поверхности объекта контроля. Получены зависимости для определения параметров магнитного поля. Показана целесообразность применения схем с подвижным или вращающимся магнитом

Среди исследований, связанных с созданием аппаратуры неразрушающего контроля, особое место занимают поиски бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвука в твердых телах. Под бесконтактными следует понимать методы, позволяющие возбуждать и регистрировать упругие волны в контролируемом объекте без акустической связи между преобразователями и объектами контроля.

Среди существующих бесконтактных методов неразрушающего контроля промышленного оборудования особое место занимает электромагнитный акустический (ЭМА) метод. Для его реализации параллельно поверхности контролируемого объекта помещается система токопроводящих питей или витков. Локальный участок данной поверхности подвергается воздействию постоянного или медленно меняющегося магнитного поля. Одновременно с этим по токопроводящим нитям пропускается токовый сигнал, в общем случае изменяющийся по гармоническому закону. Под воздействием токового сигнала в поверхностном слое объекта контроля индуцируются вихревые токи. Взаимодействие первичного и наведенного токов приводит к появлению давлений, изменяющихся с ультразвуковой частотой.

При допущении жесткого крепления нити и равномерного распределения амплитуды и фазы тока вдоль нити выражение для создаваемых на поверхности объекта контроля давлений p может быть записано в таком виде [1]:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 2 \cdot \omega \cdot t) - \mu_0 \cdot \mu \frac{I_0 \cdot h \cdot H_{\Sigma}}{\pi \cdot (h^2 + y^2)} \cos \omega \cdot t \quad (1)$$

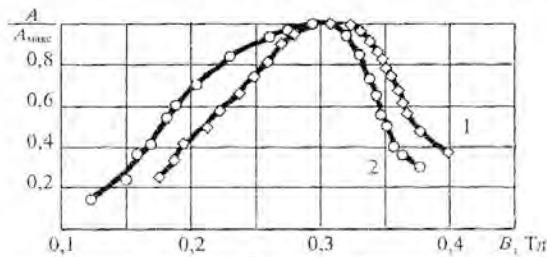
где H_{Σ} - напряженность внешнего постоянного магнитного поля, I_0 - амплитудное значение тока нити, ω - круговая частота, f - частота тока в нити, h - расстояние от центра нити до поверхности объекта контроля, y - расстояние от проекции нити вдоль поверхности объекта контроля в перпендикулярном проекции направлении, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ А} \cdot \text{м} / \text{и}$ - магнитная постоянная, μ - магнитная проницаемость материала объекта контроля.

Из выражения (1) видно, что внешнее магнитное поле оказывает сильное влияние на процесс формирования акустической волны. Одновременно с этим, внешнее магнитное поле оказывает сильное влияние и на процесс распространения акустической волны в объекте контроля, воздействуя на доменные структуры вещества, изменяя тем самым затухание ультразвука. Кроме того, параметры отраженной от дефекта акустической волны оцениваются по вихревым токам, возникающим в результате взаимодействия силовых линий магнитного поля с колеблющимися частицами вещества. Следовательно, параметры магнитного поля определяют эффективность всего процесса контроля объекта ЭМА методом [2].

Многочисленные экспериментальные исследования, проводимые различными авторами, позволяют сделать вывод, то для большинства ферромагнитных сталей существует оптимальная напряженность внешнего магнитного поля, при которой эффективность неразрушающего контроля ЭМА методом будет максимальной. На рис. 1 приведена зависимость относительной амплитуды

реєструємого сигналу від величини магнітної індукції [3].

Очевидно, що магнітні системи ЭМА датчиків апаратури невідрушаючого контролю обладнання повинні забезпечувати оперативну регулювання магнітної індукції в контролююму об'єкті з метою вибору її оптимального значення. Задача найбільш актуальна при контролі об'єктів, знаходячись під впливом сильних зовнішніх магнітних полів.



1 – випромінюваний сигнал; 2 – відбитий сигнал

Рис. 1. Залежність відносної амплітуди реєструємого акустичного сигналу від величини магнітної індукції

В наші часи широке поширення отримали ЭМА перетворювачі, що використовують гребенчатий спосіб збудження нормальних акустических хвиль. В них збудження здійснюється сукупністю нормальних хвилювань, розподілених періодично по поверхні виробу з просторовим періодом, рівним довжині хвилі [4]. Функціональна схема ЭМА перетворювача, що використовує гребенчатий спосіб збудження нормальних акустических хвиль, представлена на рис. 2.

Для П-образного магнітопроводу закон повного струму може бути записаний в такому вигляді:

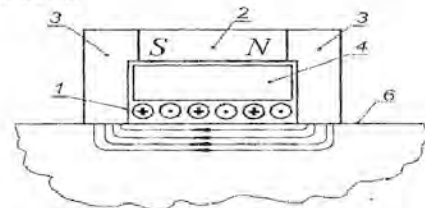
$$F = I_k \cdot \varpi = \sum_{i=1}^m H_i \cdot l_i, \quad (2)$$

де F – магнітодіюча сила (МДС), I_k – струм в котушці (при використанні електромагніта), H_i – напруженість магнітного поля i -ого ділянки магнітної ланки, l_i – напруженість магнітного поля i -ого ділянки магнітної ланки.

Виразення (2) справедливо при допущеннях відсутності розсіювання магнітного потоку і відсутності вступування магнітних ліній в повітряні зазор.

З виразення (2) можуть бути зроблені висновки, що індукція магнітного поля в матеріалі об'єкта контролю може регулюватися наступними способами: зміною МДС, зміною магнітної проникності магнітопроводу або його ділянки, зміною повітряного проміжку.

Практичний інтерес представляє дослідження можливості використання вищезазначених способів для зміни параметрів магнітного поля.



1 – нити-випромінювачі; 2 – магніт; 3 – магнітопроводи; 4 – фіксуюча вставка; 6 – поверхня об'єкта контролю

Рис. 2. Загальна функціональна схема ЭМА перетворювача, що використовує гребенчатий спосіб збудження нормальних акустических хвиль

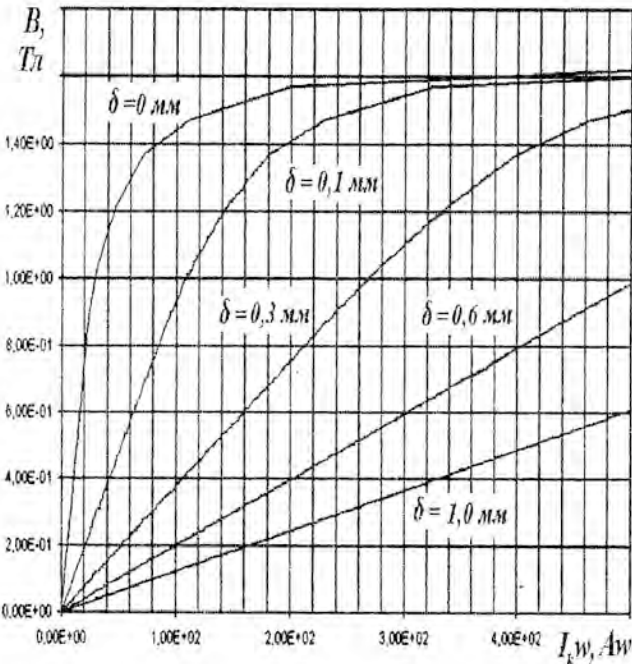
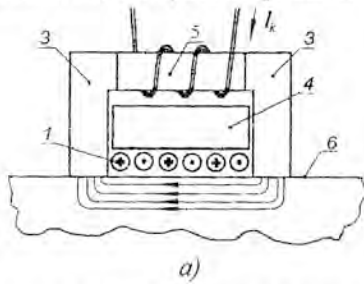
В процесі роботи проводилась оцінка роботи кожного способу зміни магнітної індукції в районі поверхні об'єкта контролю, виготовленого з ферромагнітної сталі. Для моделювання і розрахунків використовувався програмний пакет *Elcut 5.3*.

Зміна МДС можлива при використанні в якості джерела магнітного поля електромагніта. При цьому МДС може регулюватися дискретно шляхом зміни числа витків котушки, або плавно шляхом зміни струму, що протікає в котушці. Число витків котушки може змінюватися з допомогою електронного комутатора, що підключає до джерела струму необхідну групу обмоток. Функціональна схема ЭМА перетворювача з змінною МДС і графіки, що ілюструють зміну магнітної індукції в районі поверхні об'єкта контролю при зміні МДС і різній величині повітряного зазору, показані на рис. 3.

З отриманих залежностей видно, що при наявності невеликого повітряного зазору δ , для створення оптимальної магнітної індукції вимагається застосування електромагніта з відносно великою МДС (200-300 А·м), що призводить до підвищеного енергопотреблення. Використання імпульсного підмагнічування має обмеження через перехідні процеси.

Для управління магнітної індукцією може бути використаний магнітопровід, що містить ділянки з змінною магнітної проникністю. В наші часи відомі матеріали, зокрема, сплави заліза з рідкоземельними металами, що мають ефект пам'яті. Магнітної проникності таких матеріалів залежить від ступеня їх деформації. Однак через відсутність об'єктивної повної інформації по матеріалам з регулюваною магнітної

проницаемостью их применение в магнитопроводах ЭМА преобразователей не рассматривалось.

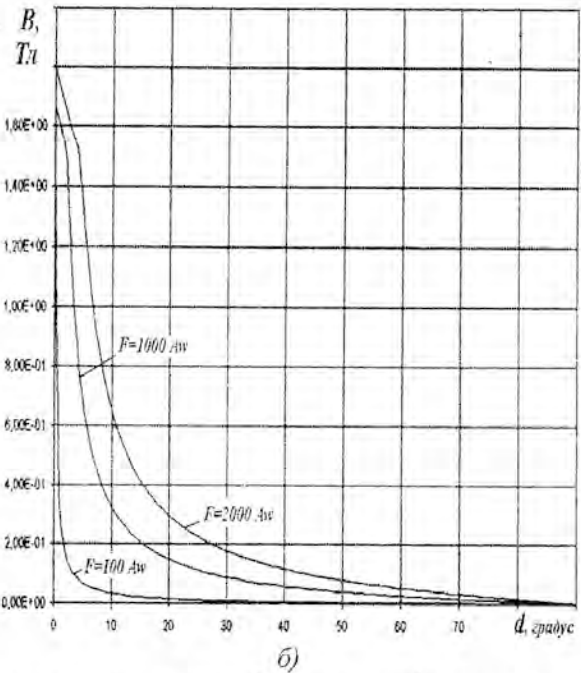
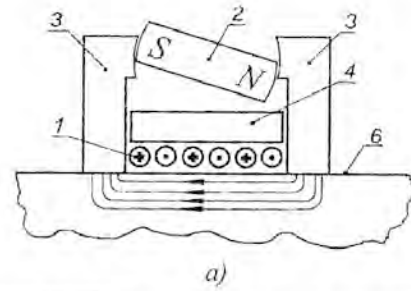


1 – нити-излучатели; 3 – магнитопроводы; 4 – крепежная вставка; 5 – электромагнит; 6 – поверхность объекта контроля

Рис. 3 Функциональная схема ЭМА преобразователя с регулируемой МДС (а) и графики зависимости магнитной индукции контролируемой поверхности от МДС (б)

Более перспективным является применение магнитопроводов с постоянными магнитами и регулируемым воздушным промежутком. При этом воздушный промежуток может меняться путем вращения магнита, его вертикального перемещения и подъемом магнитопровода над объектом контроля.

На рис.4 [5] и рис.5 [6] показаны функциональные схемы ЭМА преобразователя с вращающимся и подвижным магнитами и зависимости соответственно, иллюстрирующие их работу.

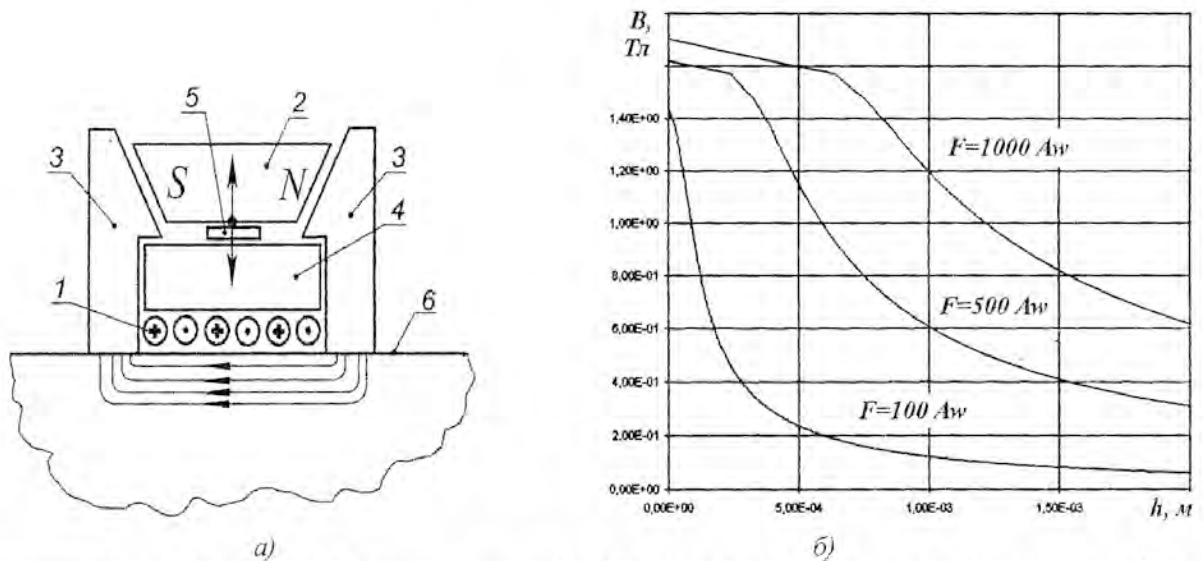


1 – нити-излучатели; 2 – магнит; 3 – магнитопроводы; 4 – крепежная вставка; 5 – электромагнит; 6 – поверхность объекта контроля

Рис. 4 Функциональная схема ЭМА преобразователя с вращающимся магнитом (а) и зависимость магнитной индукции от угла поворота магнита (б)

Изменение воздушного зазора δ путем подъема магнитопровода над поверхностью объекта контроля аналогично по своей сути подъему магнита, однако имеет более сложную техническую реализацию.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что в ЭМА преобразователях, использующих гребенчатый способ возбуждения нормальных акустических волн, для регулирования магнитной индукции целесообразно использовать схемы построения с подвижным магнитом.



1 – нити-излучатели; 2 – магнит; 3 – магнитопроводы; 4 – крепежная вставка; 6 – поверхность объекта контроля

Рис. 5 Функциональная схема ЭМА преобразователя с подвижным магнитом (а) и зависимость магнитной индукции от высоты подъема магнита (б)

1. Сазонов Ю.И., Шкарлет Ю.М. Исследование бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний: Ультразвуковые методы контроля. – Дефектоскопия, 1969, №5. – С. 2. 2. Эйчина В.Г., Кеслер Н.А. Влияние магнитного поля на затухание ультразвуковых колебаний. – Дефектоскопия, 1972, №3. – С. 53-58. 3. Малинка А.В., Дранкин И.А., Коломоец Н.Т. Электромагнитно-акустический метод контроля

ферромагнитных листов и труб. – Дефектоскопия, 1972, №4. – С. 44-48. 4. Глухов Н.А., Бобров В.Т., Веремченко С.В., Дружаев Ю.А., Колмогоров В.Н., Лебедева Н.А. Электромагнитно-акустические преобразователи для упругих волноводов. – Дефектоскопия, 1972, №4. – С. 38-45. 5. Патент Японии 2004-177267, G01N29/04. 6. Подолян А.А. ЭМА преобразователь. Патент Украины на полезную модель № 17947, опуб. 15.10.2006 г., бюл.10.