

А.А. АВРАМЕНКО, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харків

В.В. СКОПЕНКО, соискатель, НТУ "ХПИ", Харків

И.Б. ГОРКУНОВА, ассистент, НТУ "ХПИ", Харків

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ ПОЛЕ

В даній роботі розглянуто метод підвищення точності контролю при вихорострумівій дефектоскопії виробів за рахунок зменшення впливу зазору між контрольованим виробом та вимірювальною котушкою перетворювача

In this work the method for increasing accuracy of eddy current defectoscopy of products by reducing the influence of a controlled clearance between the product and measuring coil transducer is offered

Введение. Важным вопросом неразрушающего контроля в промышленности является дефектоскопия деталей различной конфигурации. Вихретоковый контроль качества протяженных изделий зачастую осуществляется с помощью проходных трансформаторных и параметрических преобразователей [1]. Для повышения точности контроля, особенно ферромагнитных изделий, необходимо использовать достаточно длинные громоздкие преобразователи, что затрудняет проведение непрерывного контроля. С этой точки зрения вихретоковые преобразователи с поперечным полем, которое создается катушками Гельмгольца, имеют существенные преимущества [2]. В этом случае предпочтительнее применение датчиков накладного типа. Однако, при непрерывном контроле протяженных изделий возникают погрешности, вызванные изменением воздушного зазора между контролируемым изделием и измерительной катушкой. Данная работа посвящена вопросу повышения достоверности контроля за счет уменьшения влияния воздушного зазора.

Основная часть. В [3] рассмотрены вопросы контроля поверхностных дефектов в ферромагнитных цилиндрических изделиях. При этом использовались два типа датчиков (накладные и проходные). Представляет практический интерес рассмотреть применение накладных датчиков для контроля поверхностных дефектов в проводящих немагнитных цилиндрических изделиях в поперечных однородных магнитных полях.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования на цилиндрических изделиях радиусом $R = 30$ мм из сплава алюминия с величиной удельной электрической проводимости $\sigma = 1,72 \cdot 10^7$ См/м. Дефекты моделировались в виде радиальных проточек шириной a и глубиной b .

Исследования проводились датчиками накладного типа с числом витков $W = 600$ и средним радиусом катушки $r = 3,15$ мм.

Эксперименты показали, что чувствительность фазовых измерений оказалась довольно низкой. Для повышения чувствительности амплитудных измерений два идентичных накладных датчика включались по дифференциальной схеме. Измерительный ИД и компенсационный КД датчики располагались в поперечном поле вблизи цилиндрического изделия. Плоскости датчиков перпендикулярны направлению возбуждающего поля. Расстояния от плоскостей датчиков до объекта контроля были одинаковы причем, измерительный датчик ИД располагался над дефектом, а компенсационный КД над участком без дефекта. Расположение датчиков и изделия в поперечном электромагнитном поле показано на рис. 1.

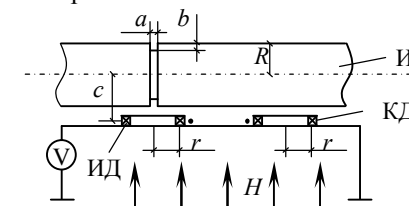


Рис. 1. Расположение датчиков и изделия в поперечном электромагнитном поле

Здесь же показаны размеры датчиков, изделия, дефектов и их взаимное расположение. ИД и КД включены последовательно-встречно. Разностный сигнал э.д.с. измеряется вольтметром V .

Для того, чтобы датчик определял непосредственно реакцию изделия на возбуждающее поле, перейдем к нормированному э.д.с. В этом случае формула для нормированной разности э.д.с. датчика при контроле немагнитных проводящих изделий имеет вид [3]:

$$\lambda \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{I_2(x\sqrt{i})}{I_0(x\sqrt{i})}, \quad (1)$$

где λ – форм-фактор; E_0 – э.д.с. ИД в отсутствие изделия; I_0 и I_2 – модифицированные функции Бесселя первого рода; x – обобщенный параметр;

$$x = R\sqrt{\mu_0\sigma\omega}; \quad (2)$$

μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$); ω – циклическая частота.

Форм-фактор λ в случае круглой измерительной катушки, плоскость которой перпендикулярна к исходному магнитному полю, определяется выражением [3]:

$$\lambda = \frac{1}{2(R/r)^2 \left[1 - 1/\sqrt{1 + (r/c)^2} \right]}, \quad (3)$$

где c – расстояние от центра изделия до середины ИД.

Возбуждающее поле H создается катушками Гельмгольца, которые питаются от генератора синусоидальных сигналов. Величина тока в катушках Гельмгольца поддерживалась постоянной и равной 0,05 А. При этом напряженность магнитного поля составляла 41,8 А/м. Измерения проводились при различных частотах возбуждающего поля. Результаты измерений разностной э.д.с. ΔE приведены в таблице. Здесь же приведена величина э.д.с. небаланса датчиков E_H (при расположении как ИД так и КД над участками изделия, не имеющими дефектов).

Таблица

| $f \cdot 10^3$, Гц | $E_H \cdot 10^{-3}$, В | $\Delta E \cdot 10^{-3}$, В | | | | | |
|------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | $a=0,4$ $b=0,3$ | $a=0,7$ $b=0,3$ | $a=1,0$ $b=0,3$ | $a=0,4$ $b=0,5$ | $a=0,7$ $b=0,5$ | $a=1,0$ $b=0,5$ |
| 10 | 5,6 | 5,8 | 6,2 | 6,6 | 6,6 | 6,8 | 7,4 |
| 15 | 16,0 | 16,2 | 17,5 | 18,3 | 18,2 | 18,8 | 19,5 |
| 20 | 29,0 | 31,0 | 32,0 | 35,5 | 35,8 | 36,2 | 37,5 |

Как видно, увеличение как ширины дефекта, так и глубины приводит к увеличению разностной э.д.с. ΔE при испытаниях немагнитных изделий.

Повышение частоты возбуждающего поля приводит к росту чувствительности. Однако такое увеличение частоты ограничено влиянием емкостных связей между витками (и рядами витков) датчика и катушек Гельмгольца на результаты контроля.

Наибольшее влияние на результаты измерений разностной э.д.с. ΔE оказывает изменение зазора между ИД и изделием.

Для уменьшения влияния этого зазора на результаты контроля можно проводить контроль с применением двух пар измерительных катушек, расположенных относительно изделия как показано на рис. 2.

Как видно, вторая пара измерительных катушек ИД' и КД' между собой включены также последовательно-встречно. Две пары последовательно-встречно включенных катушек соединены последовательно-согласно. Вольтметр V_1 измеряет суммарную э.д.с., равную $2\Delta E$. Увеличение зазора между ИД и изделием приводит к такому же уменьшению зазора между ИД' и изделием.

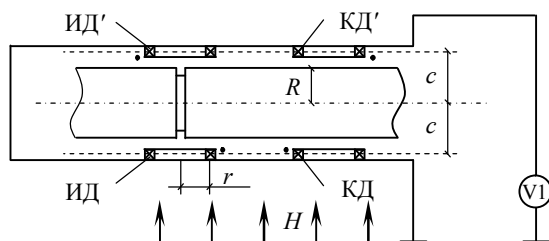


Рис. 2. Схема контроля с двумя парами датчиков

Оценку влияния изменения воздушного зазора на результаты контроля с помощью схемы представленной на рис. 2. Можно получить, если разложить функцию $K = \lambda \Delta E / E_0$ в ряд Тейлора вблизи заданного зазора (то есть c) для каждой из пар встречно включенных катушек. Эта оценка существенно упрощается при условии $r/c \ll 1$. В таком случае ряд Тейлора для величины K при увеличении зазора ($c_x > c$) будет иметь вид:

$$K = K(c) + \frac{1}{1!} \frac{2c}{R^2} \frac{\Delta E}{E_0} \Delta c + \frac{1}{2!} \frac{2}{R^2} \frac{\Delta E}{E_0} \Delta c^2 + \dots \quad (4)$$

А для величины K в случае уменьшения зазора ($c_x < c$) этот ряд записывается в виде:

$$K = K(c) - \frac{1}{1!} \frac{2c}{R^2} \frac{\Delta E}{E_0} \Delta c + \frac{1}{2!} \frac{2}{R^2} \frac{\Delta E}{E_0} \Delta c^2 - \dots, \quad (5)$$

где Δc – изменение воздушного зазора; $\Delta c = c_x - c$.

Поскольку в схеме определяется суммарный сигнал двух пар катушек, то складывая левые и правые части рядов (4), (5) получим:

$$2K = 2K(c) + \frac{1}{1!} \frac{2}{R^2} \frac{\Delta E}{E_0} \Delta c + \dots \quad (6)$$

Видно, что линейные по приращениям воздушного зазора слагаемые рядов Тейлора взаимно компенсируются. Воздействие изменения воздушного зазора на результаты контроля теперь будут проявляться в приближениях ряда соответствующих четным степеням приращения зазора. Исходя из формулы (6). можно дать простую оценку погрешности, вызванной нелинейностью функции K в зависимости от величины Δc (изменения зазора). Эта погрешность будет определяться отношением нелинейного (квадратичного по Δc) члена к величине функции в точке c :

$$\gamma = \frac{\Delta c^2}{c^2} \quad (7)$$

Выводы. Предлагаемую схему целесообразно использовать при контроле изделий имеющих сравнительно большие радиусы (когда c велико) при непрерывном контроле. В этом случае необходимо определить направление наибольших смещений изделия, а затем создать магнитное поле, направленное вдоль этого смещения, соответствующим образом расположить датчики.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т.2 –М.: Машиностроение, 2003. –688с. 2. К расчету параметров вихревого датчика для неразрушающего контроля цилиндрических изделий / Авраменко А.А., Тюпа В.И. // Вестник Харьковского политехнического института. Автоматика и приборостроение. – 1963. – Вып.9. – с.75-78. 3. Бесконтактное измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий в поперечном переменном магнитном поле / А.А.Авраменко, В.П.Себко, В.И.Тюпа, В.А.Друнов // Метрология. – 1983. – № 10. – с.48-54.

Поступила в редколлегию 20.05.11