

УДК 620.179

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОТУШКИ ВИХРОСТРУМОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИ ДОВІЛЬНОМУ ПОЛОЖЕННІ ДЕФЕКТІВ У КОНТРОЛЬОВАНОМУ ОБ'ЄКТІ

© Онгірська Н. Г., Горбатенко М. Ю., 2000

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Запропоновано метод розрахунку параметрів котушки накладного вихрострумowego перетворювача (ВСП), що вносяться об'єктом контролю з тріщиною певної довжини та глибини в залежності від розташування дефекта відносно вісі симетрії котушки перетворювача.

В роботі [1] було наведено метод розрахунку параметрів, що вносяться в котушку накладного параметричного вихрострумowego перетворювача. Розрахунок будується на моделюванні зони розповсюдження вихрових струмів у вигляді набору короткозамкнутих витків, об'єднаних в так звану змодельовану котушку індуктивності. Таким чином, розрахунок взаємодії двох полів зводиться до розрахунку двох котушок: котушки вихрострумowego перетворювача та змодельованої. Також була показана можливість виконання розрахунку складових комплексного опору, що вносяться струмопровідною неферомагнітною пластиною при появі в ній тріщини певної довжини та глибини [2].

В [2] розглянуто розрахунок внесених параметрів при виявленні тріщини, середина довжини якої співпадає з віссю симетрії котушки ВСП. Безперечно, при дефектоскопії об'єктів значної довжини (наприклад, листів) аналізу такої ситуації достатньо для того, щоб зробити висновок щодо можливості виявлення дефекту заданих розмірів перетворювачем з обраними параметрами. Але найбільш поширеною є ситуація, коли потрібно виявити тріщину, що починається від краю об'єкту контролю, наприклад, в зоні навколо кріплення, краю відрізного диска і т.п. Тому в самому загальному випадку слід розглядати ситуацію, коли середина довжини тріщини розташована несиметрично відносно осі котушки перетворювача (рис. 1), при цьому тріщина перетинає зону, що моделюється плоскими котушками.

При розрахунку внесених параметрів при виникненні тріщини в об'єкті контролю (ОК) за допомогою запропонованого методу було зроблено припущення, що витки змодельованої котушки, що перетинаються дефектом, вилучаються із розрахунку. Запроваджуючи таке ж припущення для задачі, що

розглядається і приймаючи при цьому до уваги те, що параметри перетворювача змінюються при порушенні суцільності об'єкта в зоні, де густина вихрових струмів більша або дорівнює густині на глибині їх проникнення в матеріал, розрахунок внесеного опору виконується за наведеним нижче алгоритмом.

В представленому алгоритмі котушка давача має певну кількість витків та шарів. Різниця між алгоритмом, який було складено для одношарової котушки ВСП [1], полягає в тому, що, беручи до уваги принцип суперпозиції полів, у виразі функції $\rho_1(z)$ $R=R1$, де $R1$ - радіус внутрішнього витка котушки давача, а у виразі функції $\rho_2(z)$ $R=R2$, де $R2$ - радіус зовнішнього витка котушки ВСП [1].

Алгоритм розрахунку

1. Кількість плоских змодельованих котушок є такою:

$$N_i = \frac{\rho_2 \left[\frac{z_{i-1} + z_i}{2} \right] - \rho_1 \left[\frac{z_{i-1} + z_i}{2} \right]}{d_0},$$

де i - номер змодельованої плоскої котушки, починаючи від поверхні об'єкта $i \in [1, Q]$; Q - загальна кількість плоских змодельованих котушок, яка дорівнює δ/d_0 ; d_0 - діаметр проводу змодельованої плоскої котушки [1]; $\rho_1(z)$ і $\rho_2(z)$ - функції, що визначають значення відповідно внутрішнього та зовнішнього радіусів плоских котушок; z_i - координата розташування i -тої плоскої змодельованої котушки, що дорівнює: $z_i = d_0 \cdot i$, $z_{i-1} = d_0 \cdot (i-1)$.

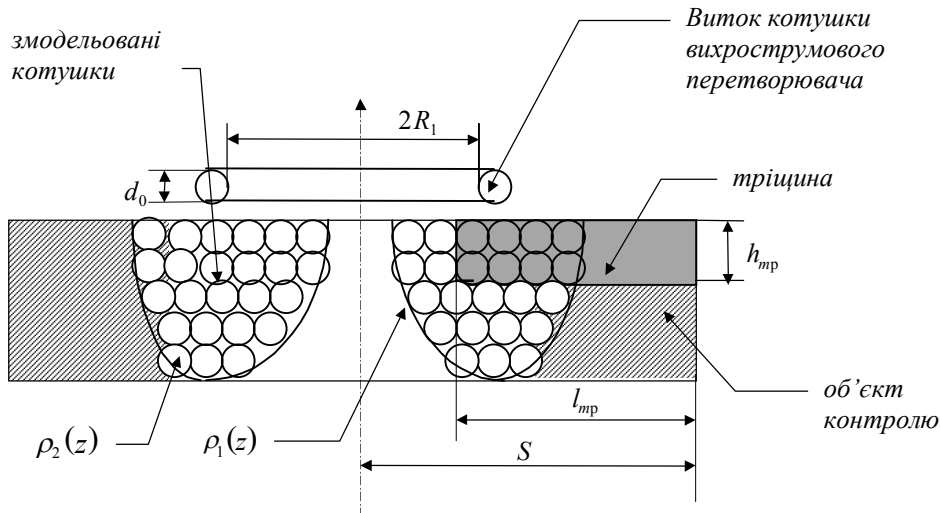


Рис. 1. Моделювання області розповсюдження вихрового струму в об'єкті контролю, що містить тріщину, розташовану несиметрично відносно осі симетрії котушки вихрострумового перетворювача.

2. Кількість витків, що не перетинаються тріщиною, для кожної із змодельованих котушок визначається так:

$$p_i = \frac{s - l_{cr} - \rho_1\left(\frac{z_{i-1} + z_i}{2}\right)}{d_0},$$

де s - відстань (м) від осі симетрії котушки давача до краю об'єкту контролю ($s > \rho_2(0)$) (див.рис.1); l_{cr} - довжина тріщини (м).

3. Власну індуктивність i -тої плоскої змодельованої котушки визначають так:

$$L_i = \mu_0 \cdot \sum_{k=0}^{p_i-1} \sum_{m=0}^{p_i-1} \int_0^{2\pi} \frac{\left(r_i + \frac{d_0}{2} + d_0 \cdot m\right) \cdot (r_i + d_0 \cdot k) \cdot \cos(\varphi)}{\sqrt{\left(r_i + \frac{d_0}{2} + d_0 \cdot m\right)^2 + (r_i + d_0 \cdot k)^2 - 2 \cdot \left(r_i + \frac{d_0}{2} + d_0 \cdot m\right) \cdot (r_i + d_0 \cdot k) \cdot \cos(\varphi)}} d\varphi,$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (\text{Дж}/\text{А}^2)$ - магнітна проникність вакууму; r_i - внутрішній радіус i -тої змодельованої плоскої котушки [1]; k, m - номер витка змодельованої котушки.

4. Взаємна індуктивність змодельованих котушок між собою дорівнює:

$$M_{i,j} = \mu_0 \cdot \sum_{n=0}^{p_i-1} \sum_{m=0}^{p_j-1} \int_0^{2\pi} \frac{(r_i + d_0 \cdot n) \cdot (r_j + d_0 \cdot m) \cdot \cos(\varphi)}{\sqrt{(d_0 \cdot (i-j))^2 + (r_i + d_0 \cdot n)^2 + (r_j + d_0 \cdot m)^2 - 2 \cdot (r_i + d_0 \cdot n) \cdot (r_j + d_0 \cdot m) \cdot \cos(\varphi)}} d\varphi,$$

де i, j - номери плоских котушок, для яких визначається $M_{i,j}$; n, m - номер витка відповідно i -тої та j -тої змодельованої котушки.

5. Індуктивність i -тої змодельованої плоскої котушки дорівнює:

$$L'_i = L_i + \sum M_{i,j},$$

де $\sum M_{i,j}$ - сума взаємних індуктивностей i -тої плоскої котушки з усіма іншими ($i \neq j$).

6. Взаємну індуктивність i -тої змодельованої плоскої котушки з котушкою ВСП визначають так:

$$M_i = \sum_{m=0}^{p_i-1} \sum_{k=1}^W \sum_{n=0}^{q-1} \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 (R1 + nh)(r_i + md_0) \cos(\varphi)}{\sqrt{\left[\frac{d_0}{2}(2i-1) + \frac{h}{2}(2k-1) + h_0\right]^2 + (R1 + nh)^2 + (r_i + md_0)^2 - 2(R1 + nh)(r_i + md_0) \cos(\varphi)}} d\varphi,$$

де W, q - відповідно кількість витків та шарів котушки ВСП; m - номер витка змодельованої котушки; k, n - номери відповідно витка і шару котушки давача; h - шаг намотування котушки перетворювача; $R1$ - внутрішній радіус багат шарової котушки ВСП; h_0 - зазор між поверхнею ОК та першим (найближчим до об'єкту контролю) витком котушки перетворювача.

7. Активний опір i -тої плоскої змодельованої котушки дорівнює:

$$R_i = \frac{1}{\sigma} \cdot \sum_{n=0}^{p_i-1} \frac{8 \cdot (r_i + n \cdot d_0)}{(d_0)^2},$$

де n - номер витка змодельованої котушки, σ - електропровідність об'єкту контролю.

8. Відносні активний $R_{\text{вн}}^*$ та індуктивний $X_{\text{вн}}^*$ опори, що вносяться об'єктом контролю з тріщиною певних розмірів дорівнюватимуть відповідно

$$R_{\text{вн}}^* = \frac{\sum_{i=1}^q \frac{(\omega M_i)^2 R_i}{(\omega L_i)^2 + R_i^2}}{\omega L_0},$$

$$X_{\text{вн}}^* = \frac{\sum_{i=1}^q \frac{(\omega M_i)^2 \omega L_i}{(\omega L_i)^2 + R_i^2}}{\omega L_0},$$

де ω - циклічна частота струму збудження, L_0 - індуктивність котушки ВСП [3].

Як приклад було розраховано параметри, що вносяться в котушку перетворювача ($W = 50$, $q = 7$, $R1 = 0.1 \text{ мм}$, $R2 = 0.7 \text{ мм}$ (див.рис.1), $h = d_0$, частота струму збудження $f = 1.2 \text{ МГц}$) при контролі сталевого відрізного диска (електропровідність сталі 65Γ $\sigma = 8.452 \text{ МСм/м}$) з дефектом глибиною 0.2 мм та довжиною від 1.0 мм до 1.7 мм при $s=0.9 \text{ мм}$. Проаналізувавши отримані дані, було зроблено висновок, що для розглянутої задачі контролю найбільш інформативним параметром є фаза внесеного комплексного опору. Результати розрахунку представлені на графіках зміни фази внесеного комплексного опору у вигляді функції від довжини тріщини в об'єкті контролю (рис. 2).

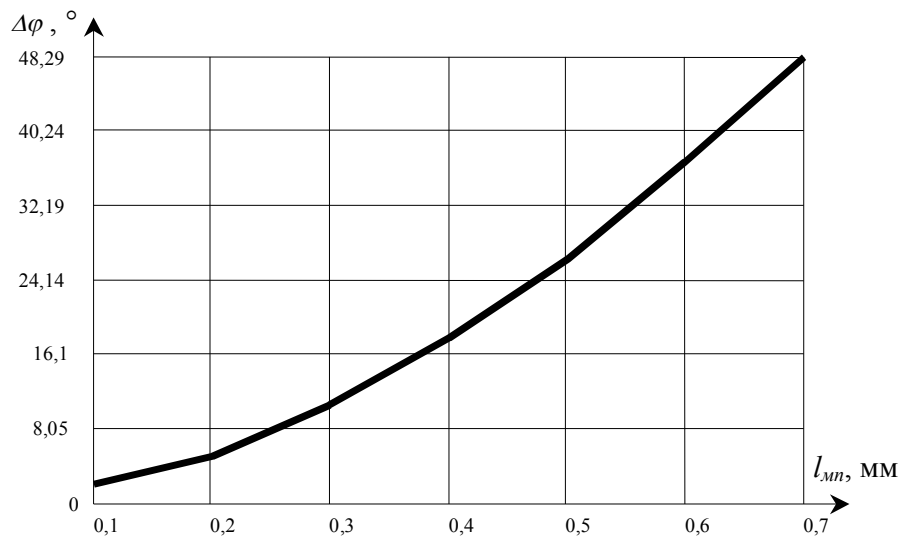


Рис.2. Графік залежності різниці фаз внесеного опору дефектного та бездефектного зразків, якщо тріщина розташована несиметрично відносно осі симетрії котушки перетворювача.

Таким чином можна зробити висновок про можливість застосування розробленого методу для розрахунків впливу дефектів певних розмірів в залежності від їх розташування відносно осі котушки вихрострумів перетворювача на її електричні параметри.

1. Маєвський С. М., Онгірська Н. Г. Методика розрахунку параметрів вихрострумів перетворювачів

// Методи та прилади контролю якості. 1999. - № 3. - С. 3-7. 2. Онгірська Н. Г. Розрахунок параметрів накладних вихрострумів перетворювачів в залежності від геометричних розмірів тріщини // Методи та прилади контролю якості. 1999. - № 3. - С. 8-11. 3. Немцов М. В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

