



УДК 239.3

ДІАГНОСТИКА РУЙНУВАННЯ ДІЕЛЕКТРИКІВ РАДІОПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Даруга В.В., Малежик М.П.

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,
youchina5@yahoo.com

Важливе місце в теорії руйнування займає руйнування від втоми, що відбувається внаслідок поступового розвитку тріщин при повторно-змінному циклічному навантаженні. Таке руйнування виникає в результаті накопичення в матеріалі незворотного пошкодження. При цьому тріщини в матеріалі починають розвиватися задовго до повного руйнування незалежно від того, пластичне воно чи крихке.

У цій роботі пропонується застосовувати радіополяризаційний метод для виявлення і визначення параметрів мікротріщиноватості в діелектриках за використання мікрорадіохвиль ($\lambda = 10 \div 1$ мм) [1,2].

Зародження і розвиток мікротріщин в однорідному діелектрику призводить до зміни його фізичних властивостей, зокрема, і діелектричних.

Розглянемо діелектрик з мікротріщинами, орієнтованими в одному напрямку в межах об'єму ΔV . В такому випадку його діелектричні властивості повинні відрізнитися для хвилі, вектор напруженості електричного поля якого паралельний чи перпендикулярний площині тріщин.

Опишемо діелектричні властивості моделі середовища тензором діелектричної проникності $\{\epsilon\}$, який зв'язує усереднені за об'ємом вектори електричного зміщення D_{cp} і напруженості електричного поля E_{cp}

$$D_{cp} = \{\epsilon\} E_{cp}. \quad (1)$$

В об'ємі ΔV усереднений вектор електричного зміщення:

$$D_{cp} = \frac{1}{\Delta V} \int D dV = \frac{1}{\Delta V} \left[\int_{\Delta V_1} D dV + \int_{\Delta V_2} D dV \right] = D_1 a - D_2 b, \quad (2)$$

де ΔV_1 - об'єм, що займають тріщини, ΔV_2 - об'єм суцільного середовища,

$$a = \frac{\Delta V_1}{\Delta V}, \quad b = \frac{\Delta V_2}{\Delta V},$$

a і b - об'ємний вміст кожної компоненти, D_1 і D_2 - середні значення векторів електричного зміщення у тріщинах і в суцільному середовищі.

Усереднений вектор напруженості електричного поля в об'ємі ΔV можна записати :

$$E_{cp} = E_1 a + E_2 b \quad (3)$$

де E_1 і E_2 - середні значення вектора напруженості електричного поля в тріщинах і в суцільному середовищі відповідно.

Скористаємося співвідношеннями зв'язку

$$D_1 = \varepsilon_1 E_1, \quad D_2 = \varepsilon_2 E_2 \quad (4)$$

а також поняттям про коефіцієнт поля

$$E_{ji} = k_i k_{cp}, \quad (i = x, y, z) \quad (5)$$

На основі (3), (4), (5) отримаємо вираз для компонент тензора діелектричної проникності:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\varepsilon_1 a S_i + \varepsilon_2 b}{a S_i + b}; \quad i = k, \quad \varepsilon_{ik} = \varepsilon_{ki} = 0, \quad (i, k = x, y, z), \quad (6)$$

де $S_i = b \left(\frac{1}{k_i} - a \right)^{-1}$ - коефіцієнт, що зв'язує поля E_1 і E_2 , причому

$E_{1i} = S_i E_{2i}$, k_i - коефіцієнт поля.

Оскільки тензор $S_y = S_z$, ($k_y = k_z$) в даній системі координат має дві рівні компоненти з трьох

$$\varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} \neq \varepsilon_{xx}, \quad (7)$$

то розглядувана модель має властивості однорідного анізотропного середовища, квазіоптичною віссю якого є вісь x .

Зауважимо, що співвідношення (5) виконується у випадку, якщо фаза електричного поля у всьому об'ємі ΔV однакова.

Подібні умови здійснюються, якщо $\sqrt[3]{\Delta V} < \frac{\lambda}{2}$, (λ - довжина електромагнітної хвилі).

Електричне поле всередині тріщини у загальному випадку залежить від її форми, діелектричної проникності, а також від середнього електричного поля і діелектричної проникності середовища.

Використовуючи розв'язок задачі про еліпсоїд, що знаходиться в електричному полі [3], можна отримати такий вираз для коефіцієнтів

$$K_{xx} = 1, \quad K_{yy} = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}. \quad (8)$$

Із (6), враховуючи (7) і (8), отримаємо співвідношення, що дозволяє оцінити об'ємний вміст тріщин

$$a = \frac{1}{k_{yy} - 1} \cdot \frac{\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \quad (9)$$

Величина ступеня анізотропії діелектричної проникності $\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}$, що входить у співвідношення (8), визначається експериментально із використанням відповідного співвідношення радіополяризаційного методу [1,2]

$$\sqrt{\epsilon_{xx}} - \sqrt{\epsilon_{yy}} = \frac{\lambda_0}{\pi h} \arctg \sqrt{\frac{I_1}{I_2}}, \quad (10)$$

де I_1 і I_2 – інтенсивності при схрещених та паралельних осях антен.

При дослідженні мікротріщиноватості ізостати співпадають з траєкторіями переважаючої орієнтації мікротріщин, а ступенем анізотропії характеризується їх упорядкованість.

Досліджувався процес утворення мікротріщин в зразках із оргскла, які навантажувались зусиллям P таким, щоб величина напруження розтягу у зразку була $0,7 \div 0,8 \sigma_b$ даного матеріалу.

Таблиця 1.

№ п/п	Найменування	$E, 10^3 \text{ кг} / \text{см}^2$	$\sigma_{np}, \text{ кг} / \text{см}^2$	$tg\sigma$
1	Оргскло	32,0	300	0,065
2	Термопласт	19,8	530	0,028
3	Епоксидна смола	30,0	266	0,024

Модуль пружності E і тангенс кута механічних втрат $tg\sigma$ вимірювався методом вимушених резонансних коливань [5] згідно першої форми коливань. Межа міцності визначалась на розривній машині Р-0.5.

Оскільки оргскло є оптично прозорим, то наявність мікротріщин в його зразках на певному етапі утомного навантаження реєстрували також візуально, оптичним методом [4]. Це дало можливість порівняти результати, отримані оптичним методом з результатами радіополяризаційних вимірів.

Визначення параметрів тріщинуватості, тобто напряму переважної орієнтації і питомого вмісту мікротріщин в одиниці об'єму $\left(a = \frac{\Delta V_1}{\Delta V} \right)$ виконувалось наступним чином. Зразок розміщували в полі антен мікрорадіохвильового плоского полярископа [6], що працює в режимі "на проходження". Потім, обертаючи систему передавальної і приймальної антен, осі площини поляризації яких взаємноперпендикулярні, навколо поздовжньої осі, знаходимо

напряму зразку, при якому інтенсивність сигналу на цифровому вольтметрі буде мінімальною. Зняті на зразку із оргскла після 10-годинної витримки при $\sigma = 0,8\sigma_b$ головні напрями анізотропії будуть відповідати напрямам, де $I_+ = \min$.

Питомий вміст мікротріщин a визначався в такій послідовності. Знаючи напрями головних осей анізотропії діелектричної проникності, повертаємо схрещену систему передавальної і приймальної антен так, щоб кут між площиною поляризації падаючої хвилі і головним напрямом складав 45° . Вимірюємо інтенсивність сигналу I_+ в цьому положенні за допомогою цифрового вольтметра ВК 7-16. Потім повертаємо приймальну антену, виставляючи її паралельно передавальній. Аналогічним чином вимірювали інтенсивність сигналу при паралельних осях антен $I_{||}$.

За наявними значеннями I_+ і $I_{||}$ скористаємося співвідношенням (10) для визначення питомого вмісту мікротріщин в одиниці об'єму:

$$a = \frac{2c}{\pi h (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \sqrt{\frac{I_+}{I_{||}}}. \quad (11)$$

Оскільки $c = \frac{1}{k_{yy} - 1}$, де $k_{yy} = \frac{2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ залежить від матеріалу, то об-

числення величин k_{yy} виконували попередньо для кожного матеріалу.

В табл. 2 надані значення діелектричної проникності матеріалу ε_2 і коефіцієнтів поля k_{yy} .

Таблиця 2.

№ п/п	Найменування	ε_2	k_{yy}	c
1	Оргскло	3,35	1,540	1,85
2	Епоксидна смола	4,75	1,640	1,56
3	Термопласт	4,15	1,600	1,66

Дослідження анізотропії діелектричної проникності у зразках з оптично прозорого оргскла, які знаходяться під втомним навантаженням ($0,8\sigma_b$), показало, що чутливість радіополяризаційної установки дозволяє реєструвати ступінь анізотропії ($\varepsilon_x - \varepsilon_y$) одночасно з оптичними проявами тріщиноутворення. Залежність інтенсивності утворення мікротріщин a від часу втомного навантаження у зразках, що досліджуються, подана у вигляді чисельних даних в таблиці 3.

Таблиця 3.

№ п/п	Матеріал	Тривалість навантаження (в годинах)	I_+ (мВ)	I_{II} (В)	$\arctg \sqrt{\frac{I_+}{I_{II}}}$	a
1	Оргскло	8	0,5	3,8	0,0148	0,010
		14	3,0	3,8	0,026	0,0172
		20	15	3,8	0,0524	0,035
		24	30	3,8	0,088	0,060
2	Епоксидна смола	8				
		14	3,0	3,8	0,028	0,01
		20	26	3,8	0,082	0,029
		24	42	3,8	0,113	0,040
3	Термопласт	8				
		14	1,1	3,7	0,0174	0,0077
		20	12	3,7	0,056	0,025
		24	66	3,7	0,134	0,06

Зауважимо, що отримані залежності у всіх випадках мають нелінійний характер. В'язкість матеріалу помітно впливає на тривалість накопичення мікротріщин.

1. *Пелех Б.Л., Васильченко И.П., Малежик М.П.* Теоретические основы экспериментального метода исследования напряженного состояния анизотропных тел в невидимом диапазоне электромагнитных волн // Механика полимеров. – 1977. - 2. - С.357 – 361.
2. *Нетребко В.П., Васильченко И.П.* Поляризаационные методы механики композиционных материалов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 160 с.
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. - Гостехиздат, М., 1957.
4. *Филатов М.Я.* Оптические методы исследования разрушения полимерных материалов. - К.: Наукова думка, 1989ю - 132 с.
5. *Перепечко И.И.* Акустические методы исследования полимеров. - Изд-во "Химия", М., 1973ю - 295 с.

DESTRUCTION DIAGNOSTICS OF DIELECTRICS BY A RADIOPOLARIZED METHOD

In the destruction theory the important role occupies fatiguing effect which occurs owing to gradual development of cracks during repeatedly-variable cyclic stress. The reason of such destruction is accumulation in a material of irreversible damage caused repeatedly-variable stress. Thus cracks in a material start to develop long before a final fracture. And it does not depend on what it will be destruction: plastic or fragile. To find out and define parametres of microfracturing in dielectric, in the given work it is offered to apply a

Секція: АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ МЕХАНІКИ
<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2010/materials/pc2010-01-DM-10.pdf>

radiopolarized method with use of microradio-waves ($\lambda = 10 \div 1 \text{ мм}$). Origin and propagation microcracks in homogeneous dielectric is that that changes its physical properties and dielectric properties.