

Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 145-150. – Бібліогр.: 9 назв.

На підставі аналізу накопичених даних представлено феноменологічний опис термокаталітичного розпаду монооксиду вуглецю на металах підгрупи заліза. Представлено аналіз стадій взаємодії: відновлення, карбідизації і виділення вуглецю на каталізаторі.

Ключові слова: вуглець, монооксид, залізо, карбідизація, відновлення, каталізатор

Based on the analysis of accumulated data presented phenomenological description of carbon monoxide catalytic thermal decay on iron subgroup metals. The analysis stages of interaction: recovery carbidization and allocation of carbon on the catalyst..

Keywords: carbon monoxide, iron, carbidization, recovery, catalyst

УДК 519.6: 531.4

Ю. А. РУДЯК, канд. физ.-мат. наук, старш. викл., ТДМУ, Тернопіль;

Г. І. ТКАЧЕНКО, асистент, ТДМУ, Тернопіль;

О. В. ГРИБКОВ, асистент, ТДМУ, Тернопіль;

Д. І. ШОСТАК, учень 1 гімназії, Тернопіль

ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНИХ ЗНАЧЕНЬ ТА ВЕЛИЧИН СПІВВІДНОШЕННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОНСТАНТ ПРОЗОРИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Запропоновано метод визначення абсолютних величин оптико-механічних констант прозорого діелектрика. Для реалізації методу вимірюються оптична різниця ходу променів для двох різних величин навантажень тестових пластин. Використовується оптична схема інтерферометра Маха – Цендера – Рождественського з довільним вибором контрольної пластини.

Ключові слова: оптико-механічна константа, поляризоване випромінювання, оптична різниця ходу, тензор діелектричної проникності.

Вступ. Міцність елементів машин, конструкцій, виготовлених з діелектриків залежить як від групи немеханічних факторів (температури, вологості, радіації), так і від таких механічних факторів, як вид напруженого стану, наявність концентраторів, крайового ефекту, розмірів деталі. Існуючі механічні теорії міцності дають більш стабільні результати для металів, ніж для полімерних матеріалів.

Як відомо, полімери відносяться до діелектриків, однією з основних макрофізичних характеристик яких є діелектрична проникність. Оскільки це одна з базових величин, яка інтегрально характеризує фізико-механічний комплекс параметрів діелектрика, логічно зв'язати граничний стан полімеру з граничними значеннями компонент тензора діелектричної проникності (ТДП). Такий підхід, на нашу думку, дозволить більш глибоко, в комплексі, оцінювати граничний стан полімерів, ніж існуючі чисто механічні критерії міцності. Крім того, критерій ТДП дозволить більш точно реагувати на, навіть незначні, зміни структури самого полімера, його температури, вологості оточуючого середовища, оскільки «фізична складова» у питаннях механічної міцності полімерів набагато вагоміша, ніж у випадку виробів з металів.

У фундаментальні рівняння Максвелла входять величини оптико-механічних констант діелектрика C_1 та C_2 . У рівняння, які визначають граничний стан діелектрика (фізико-механічного критерію ТДП) також, після певних перетворень рівнянь Максвелла, ввійде величина співвідношення C_1/C_2 . В основні рівняння такого потужного експериментального методу, як поляризаційно-оптичний, входить

© Ю. А. РУДЯК, Г. І. ТКАЧЕНКО, О. В. ГРИБКОВ, Д. І. ШОСТАК, 2013

величина $C = C_1 - C_2$, яку прийнято називати коефіцієнтом оптичної чутливості. Таким чином, визначення абсолютних значень C_1 та C_2 , величин їх співвідношень C_1/C_2 , є актуальною та необхідною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемі дослідження напружено-деформованого стану (НДС) та граничних силових параметрів конструкцій присвячено цілий ряд досліджень [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Це і розробка нових методів визначення НДС [4,5,6,7], модифікація класичних підходів експериментальної механіки [1,2,9], нові розробки, присвячені теоріям міцності діелектриків [6]. Відомо, що за своєю структурою полімери можна розділити на лінійні (до яких відносяться органічне скло) та сітчасті (до яких відносяться матеріали на базі епоксидних смол). Для лінійних полімерів характерний більш закономірний характер руйнування, ніж для сітчастих. Для сітчастих полімерів знаходять, як правило, статистичні залежності для деяких середніх значень [3]. Але як для лінійних, так і для сітчастих полімерів, неорганічного скла, інших діелектриків класичні механічні теорії міцності дають менш точні результати, ніж для металів. Тому значний інтерес та практичну значимість має застосування фізико-механічного критерію граничного стану діелектриків, який базується на фундаментальних рівняннях Максвелла [6]. У ці рівняння входять величини оптико-механічних констант C_1 та C_2 . Тому визначення їх абсолютних значень, а також величини їх співвідношення C_1/C_2 є необхідною задачею для побудови фізико-механічного критерію граничного стану прозорих діелектриків.

Мета досліджень Розробити метод визначення абсолютних значень оптико-механічних констант C_1 та C_2 , також величин їх співвідношення C_1/C_2 для прозорих діелектриків за даними поляризаційно-оптичних вимірювань.

Матеріали досліджень. Зв'язок компонента ТДП та параметрів НДС описують відомі рівняння Максвелла:

$$\begin{aligned}\chi_1 &= \chi_0 + C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 &= \chi_0 + C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3) \\ \chi_3 &= \chi_0 + C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\tag{1}$$

де χ_i ($i=1,2,3$) - головні компоненти ТДП;

σ_i ($i= 1,2,3$) – головні компоненти напружень;

C_1, C_2 – абсолютні оптико-механічні постійні діелектрика по напруженням.

Та Неймана (4.1):

$$\begin{aligned}\chi_1 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_1 + \psi_2(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) \\ \chi_2 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_2 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \\ \chi_3 &= \chi_0 + \psi_1 \varepsilon_3 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2),\end{aligned}$$

де χ_i ($i=1,2,3$) - головні компоненти ТДП;

ε_i ($i= 1,2,3$) – головні компоненти деформаційнапружень

ψ_1, ψ_2 – абсолютні оптико-механічні постійні діелектрика по деформаціям.

Перепишемо систему (1) у вигляді (2):

$$\begin{aligned}\chi_1 - \chi_0 &= C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 - \chi_0 &= C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3) \\ \chi_3 - \chi_0 &= C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\tag{2}$$

Розділимо праві і ліві частини рівняння системи (2) на C_2 . Одержимо:

$$\begin{aligned}\frac{\chi_1 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\chi_2 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3) \\ \frac{\chi_3 - \chi_0}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2)\end{aligned}\quad (3)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\chi_1 - \chi_0 &= \Delta \chi_1 \\ \chi_2 - \chi_0 &= \Delta \chi_2 \\ \chi_3 - \chi_0 &= \Delta \chi_3,\end{aligned}\quad (4)$$

Тоді система (3) прийме вигляд :

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \chi_1}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\Delta \chi_2}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3) \\ \frac{\Delta \chi_3}{c_2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2),\end{aligned}\quad (5)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \chi_1}{c_2} &= \sigma_{*1} \\ \frac{\Delta \chi_2}{c_2} &= \sigma_{*2} \\ \frac{\Delta \chi_3}{c_2} &= \sigma_{*3},\end{aligned}\quad (6)$$

З врахуванням (6) перепишемо систему (5) у вигляді:

$$\begin{aligned}\sigma_{*1} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\ \sigma_{*2} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_2 + \sigma_1 + \sigma_3 \\ \sigma_{*3} &= \frac{c_1}{c_2} \sigma_3 + \sigma_1 + \sigma_2\end{aligned}\quad (7)$$

Виходячи з системи (7) сформулюємо фізико-механічний критерій (критерій ТДП) для діелектриків наступним чином: граничний стан діелектрика визначається граничною величиною відносної (на одиницю оптичної чутливості) зміною компонент тензору діелектричної проникності.

Згідно фізико-механічного критерію ТДП руйнування полімеру буде мати місце при виконанні умови :

$$\sigma_{*i \max} = \sigma_{*}^0 \quad (8)$$

($i=1,2,3$)

де σ_{*}^0 – граничне значення відносної компоненти ТДП при даних фізичних умовах (температурі, вологості навколишнього середовища, радіаційному фоні) та певних механічних факторах (вид напруженого стану , співвідношення компонент напруженого стану, масштабний фактор).

У фундаментальні рівняння Максвелла (1) входять абсолютні оптико-механічні константи діелектрика по напруженням C_1 та C_2 . У рівняння (7), які ми одержали шляхом перетворень з рівнянь (1) і які описують граничний стан діелектрика входить величина співвідношення оптико-механічних констант C_1/C_2 , яка є досить інформативним параметром. У той же час, при моделюванні задач механіки суцільного середовища за допомогою поляризаційно-оптичного методу використовується базове рівняння-закон Вертгейма:

$$\frac{\delta}{Cd} = \sigma_1 - \sigma_2, \quad (9)$$

де $C = C_1 - C_2$.

У формулі (9) C – відносна оптико-механічна константа по напруженням. У фотопружності C ще називають коефіцієнтом оптичної чутливості прозорого полімера.

З вищенаведеного зрозуміло, що визначення абсолютних оптико-механічних констант C_1 та C_2 , їх співвідношення C_1/C_2 та відносного оптико-механічного коефіцієнта $C = C_1 - C_2$ є актуальною та необхідною задачею.

Відносний оптико-механічний коефіцієнт $C = C_1 - C_2$ визначають на стандартних, вже давно застосованих у поляризаційно-оптичному методі таріровочних задачах по розтягу вузької пластинки або стиску диска.

Метод градієнтної фотопружності, як і метод ізодин [2,10], дозволяє визначати як абсолютні значення C_1 та C_2 , так і їх співвідношення $C_1/C_2 = 1,43$; для полімерного матеріалу на базі епоксидно-діанової смоли холодного твердження ЕД-16 $C_1/C_2 = 1,78$. При цьому, за даними роботи [2], має місце дисперсія величин абсолютних оптико-механічних констант $C_1(\lambda)$ та $C_2(\lambda)$, де λ - довжина хвилі зонduючого випромінювання, але, практично, відсутня дисперсія співвідношення $C_1/C_2(\lambda)$.

Нами запропоновано метод визначення величин абсолютних оптико-механічних констант C_1 та C_2 за даними фотопружних вимірювань. Нижче наведено порядок експериментальної реалізації та відповідне теоретичне обґрунтування.

1. Збирається оптична схема інтерферометра Маха-Цендера-Рожденственського.
2. Контрольна пластинка вибирається довільно (тобто, може існувати початкова різниця ходу променів δ_0).
3. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів δ_1 для поляризації світла вздовж напрямку напружень σ_1 для визначеного навантаження F_1 .
4. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів δ_1 для поляризації світла вздовж напрямку напруження δ_1 для іншої величини навантаження F_1' .
5. Визначається величина абсолютної оптико-механічної константи C_1 за приведеними нижче формулами:

$$\delta_1 = n_1 d_1 - \delta_0 = (n_0 - \Delta n_1) d_1 - \delta_0 \quad (10)$$

$$\delta_1' = (n_0 - \Delta n_1') d_1' - \delta_0 \quad (11)$$

$$\delta_1' - \delta_1 = \Delta n_1' d_1' - \Delta n_1 d_1 = C_1 d_0 \left[\sigma_1' \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right] \quad (12)$$

У формулах (10), (11), (12) δ_0 , n_0 , d_0 - відповідно, різниця оптичного ходу променів, абсолютний показник заломлення, товщина пластинки для початкового ненавантаженого стану;

δ_1, n_1, d_1 - відповідні параметри, які відповідають навантаженню F_1 ;
 δ_1', n_1', d_1' – відповідні параметри, які відповідають навантаженню F_1' ;
 E, μ – модуль Юнга I роду та коефіцієнт Пуассона полімера.
 З рівняння (12) визначаємо C_1 :

$$C_1 = \frac{\delta_1' - \delta_1}{d_0 \left[\sigma_1' \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right]}, \quad (13)$$

6. Вимірюється абсолютна різниця оптичного ходу променів δ_2 при поляризації, яка перпендикулярна (\perp) до напрямку σ_1 при визначеному навантаженні F_1 .

7. Визначається абсолютна різниця оптичного ходу променів δ_2' при поляризації, яка перпендикулярна (\perp) до напрямку σ_1 при іншому навантаженні F_1' .

8. Визначаємо величину C_2 за формулою:

$$C_2 = \frac{\delta_2' - \delta_2}{d_0 \left[\sigma_1' \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1' \right) - \sigma_1 \left(1 - \frac{\mu}{E} \sigma_1 \right) \right]}, \quad (14)$$

9. Визначаємо величину співвідношення C_1/C_2 , розділивши, почленно, формули (13) на (14):

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\delta_1' - \delta_1}{\delta_2' - \delta_2}, \quad (15)$$

Якщо порівняти формули (13), (14) та (15), бачимо, що точність визначення величини співвідношення C_1/C_2 значно вища, ніж значень абсолютних оптико-механічних констант C_1 та C_2 , оскільки у формулу (15) входять тільки чотири величини, які є, за фізичним змістом, одним параметром (ріницею оптичного ходу променів δ), а у формули (13) та (14) входять ще величини d_0 (товщина), σ_1, σ_2 – напруження, E – модуль Юнга I роду, μ – коефіцієнт Пуассона.

Заключення. Таким чином, запропонований підхід дозволяє визначити величини абсолютних оптико-механічних констант матеріалу C_1 і C_2 , які входять у рівняння Максвелла та величину їх співвідношення C_1/C_2 , яка входить у рівняння граничного стану діелектриків за фізико-механічним критерієм ТДП (7) та відносний оптичний коефіцієнт (коефіцієнт оптичної чутливості) $C = C_1 - C_2$, який входить у основний закон фотопружності-закон Вертгейма (9).

Список літератури: 1. Александров А. Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела [Текст] / А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов. – М.: Наука, 1973. – 576 с. 2. Кепич Т. Ю. Влияние рефракции света на точность фотоупругих измерений в моделях, имитирующих композитные материалы / Т. Ю. Кепич, Е. П. Удалов – «Механика и физика разрушения композитных материалов и конструкций»: тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума. – Ужгород, 1988. – Т. 1. – С.31. 3. Божидарнік В. В. Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів [Текст] / В. В. Божидарнік, О. Е. Андрейків, Г. Т. Сулим: В. В. Божидарнік (заг.ред.); Луцький державний технічний університет. – Луцьк: Надстир'я, 2007. 4. Табанюхова З. М. Решение задач прочности сооружений с концентраторами методом фотоупругости : автореф. на соиск. науч. степени докт. физ.-мат. наук: спец. 01.020.04. «Механика деформируемого твердого тела» / М. В. Табанюхова – Новосибирск, 2006. – 42 с. 5. Фриштер Л. Ю. Расчетно-экспериментальный метод исследования НДС составных конструкций в зонах концентрации напряжений: автореф. дис. на соиск. науч. степени докт. физ.-мат. наук [Текст] / Л. Ю. Фриштер – Москва, 2009. – 40 с. 6. Рудяк Ю. А. Граничний стан елементів машин та конструкцій з діелектриків, коли руйнування проходить в умовах плоского напруженого стану / Ю. А. Рудяк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім..

В. Даля. – Луганськ – 2012 №14 (185), частина 2. – с. 112-115. **7. Рудяк Ю. А.** Математичне обґрунтування методу дифузного поверхневого розсіювання / Ю. А. Рудяк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012.- №6.- С.264-267. **8. Рудяк Ю. А.** Метод визначення величин коефіцієнтів інтенсивності напружень за даними вимірювання поглинання інтенсивності світла / Ю. А. Рудяк // Вісник Сумського державного університету, технічні науки.- 2012.- №4.- С.88-91. **9. Mylnikov A. V.** Investigation of glass structural elements with stress concentrators by optical method / A. V. Mylnikov, R. B. Tverdostaup, Yu. A. Rudyak Recent Advances in Experimental Mechanics // Proceedings of the 10th International conference on experimental mechanics. – Lisbon. – 18-22 July 1994, - P. 201-204. **10. Heeker F. W.** Non-rectilinear light propagation in photoelastic specimens caused by stress gradient / Presented at 1979 SESA Spring Meeting San Francisco, California, May, 1979.

Надійшла до редакції 27.02.2013

УДК 519.6: 531.4

Визначення абсолютних значень та величин співвідношення оптико-механічних констант прозорих діелектриків / Ю. А. Рудяк, Г. І. Ткаченко, О. В. Грибков, Д. І. Шостак // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 150-155. – Бібліогр.: 10 назв.

Предложен метод определения абсолютных величин оптико-механических констант прозрачного диэлектрика. Для реализации метода измеряются оптическая разность хода лучей для двух различных величин нагрузок тестовых пластин. Используется оптическая схема интерферометра Маха - Цендера - Рождественского с произвольным выбором контрольной пластины.

Ключевые слова: оптико-механическая константа, поляризованное излучение, оптическая разность хода, тензор диэлектрической проницаемости.

The method of determining the absolute values of optical-mechanical constants of transparent dielectric. To implement the method measured optical path difference of rays for two different values of load test plates. Using optical circuit Mach - Zehnder - Nativity of arbitrary choice of the control plate.

Keywords: opto-mechanical constant polarized radiation, the optical path difference, the permittivity tensor.