

УДК 535.41

**М.Ф.Ясінський****СЕГНЕТОЕЛАСТИЧНІ ЕФЕКТИ У ФОТОПЛАСТАХ**

Останнім часом зріс інтерес до фотопластів як до матеріалів для відтворення поліграфічної інформації. Основною проблемою тут, як відомо, залишається відносно незначний час роботи полімерних матриць, а отже, актуальним є питання по з'ясуванню механізмів, що призводять до їх руйнування у процесі друкування. Однією з найбільш реальних причин є залишкові механічні напруження, що утворюються та накопичуються в результаті деформації полімерів. Важливою характеристикою у даному випадку може бути границя пружності, що розділяє область пружних і пластичних деформацій. Виникненню останніх передують руйнування певних хімічних зв'язків, які спричиняють послаблення механічних властивостей самого полімера. Таким чином, вивчення залишкових напружень у полімерах є надзвичайно важливим завданням. У цьому сенсі п'єзооптичний метод – один з найчутливіших і водночас точний для визначення деформацій оптично-прозорих матеріалів.

У цій роботі проведені комплексні дослідження п'єзооптичних властивостей фотопласта. Нагадаємо, п'єзооптичний ефект описується співвідношенням [2]

$$\Delta a_{ij} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_0^2} = \pi_{ijke} \sigma_{ke}, \quad (1)$$

де  $\Delta a_{ij}$  – зміна оптичних поліризаційних констант;  $\pi_{ijke}$  – п'єзооптичний коефіцієнт;  $\sigma_{ke}$  – тензор механічних напруг;  $n_0$  та  $n$  – показники заломлення до та після прикладення механічних навантажень.

Зміна оптичних поліризаційних констант під впливом механічних напруг приводить до виникнення двозаломлення  $\Delta n_{em}$ :

$$\Delta n_{em} = \pi_{emij}^0 \sigma_{ij}, \quad (2)$$

де  $\pi_{emij}^0 = 1/2n^3(\pi_{eeij} - \pi_{mmij})$  – ефективний п'єзооптичний коефіцієнт. Величина індукованого двозаломлення може бути визначена одним з існуючих компенсаційних методів. Зокрема, на рис.1

показана принципова схема установки для вимірювання двозаломлення методом Сенармана:

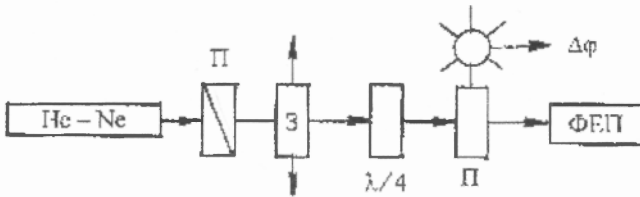


Рис. 1. Принципова схема установки для вимірювання двозаломлення:

He-Ne – гелій-неоновий лазер; З – зразок фотопласта, до якого прикладається розтягуюче механічне напруження;  $\lambda/4$  – чвертьхвильова пластинка; П – поляризатор; А – аналізатор з ноніусом; ФЕП – фотопомножувач

Світло від He-Ne лазера ( $\lambda=632,8$  НМ) після поляризатора П попадає на зразок З (плоскопаралельний), до якого прикладене зовнішнє розтягуюче механічне напруження. Далі воно потрапляє на чвертьхвильову фазову ( $\lambda/4$ ) пластинку, що знаходиться в діагональному положенні відносно напрямку розтягу. Аналізатор А зв'язаний з ноніусом, який докручується на кут  $\Delta\phi$ . Відповідне двозаломлення може бути записане як

$$\Delta n_{em} = \frac{\Delta\phi\lambda}{180d}, \quad (3)$$

де  $\Delta\phi$  – кут докручування аналізатора в градусах до мінімуму світлового потоку, що попадає на ФЕП;  $\lambda$  – довжина світлової хвилі;  $d$  – товщина полімерної плівки.

На рис. 2 зображені залежності п'єзооптичного докручування аналізатора як функція прикладеної механічної напруги  $\sigma_{ij}$ . Як бачимо, при напруженнях  $\sigma < 3 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> залежність  $\Delta\phi(\sigma_{ij})$  є лінійною (криві 1), причому відповідні криві, отримані в процесі зростання та зменшення механічного навантаження, лягають одна на одну. Це свідчить, що в області 0-3.10 Н/м<sup>2</sup> полімерна плівка зазнає лише пружних деформацій, тоді як залишкові деформації відсутні. При напруженнях понад 3.10 Н/м<sup>2</sup> залежність  $\Delta\phi(\sigma_{ij})$  є вже нелінійною (крива 2 та 3), причому криві, отримані при зростанні та зменненні механічного навантаження,

не збігаються. Інакше кажучи, спостерігаються петлі механічного гістерезису, подібні до тих, які є в сегнетоеластичних кристалах [3]. При цьому при знятті механічного навантаження значення кута повороту площини поляризації світла  $\Delta\phi$  не вертається до свого початкового значення, що пов'язано з виникненням залишкових деформацій. Таким чином, напруження  $\sigma = 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  є критичним і при ньому пружна деформація даного полімера змінюється пластичною деформацією.

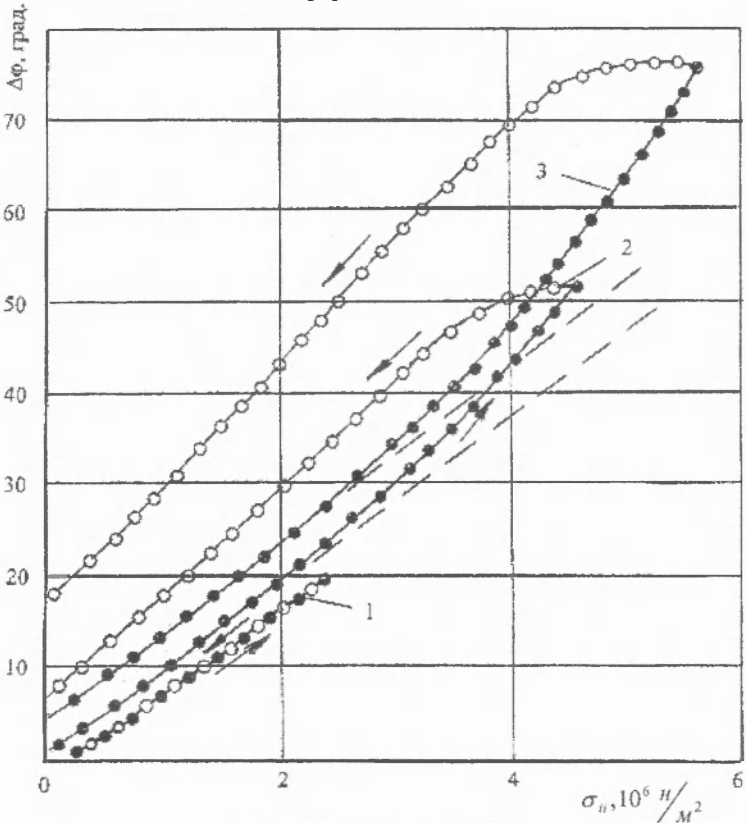


Рис. 2. Залежність  $\Delta\phi$  ( $\sigma_n$ )

При  $\sigma_n > 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  видно появу петель механічного гістерезису (криві 2, 3). Товщина плівки  $d = 1 \text{ мм}$ .

Для з'ясування природи сегнетоеластичних петель нами було проведено оптико-поляризаційні спостереження полімерних плівок під мікроскопом. Отримана фотографія полімерної плівки в поляризаційному світлі (рис.3.). Чітко видно полікристалічну структуру, а також окремі включення. Мабуть, саме цією полікристалічністю можна пояснити особливості механічного гістерезису.

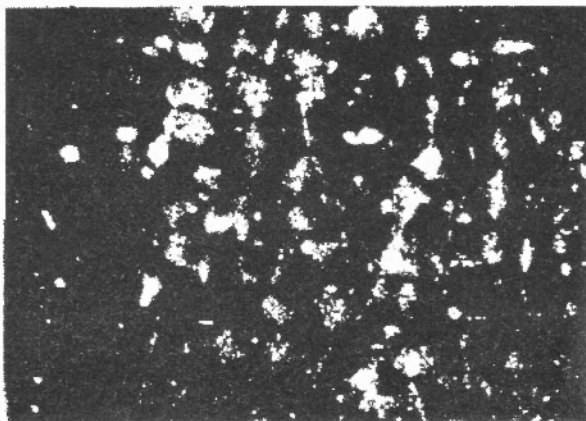


Рис. 3. Фотографія полікристалічної структури поліфталатів у поляризованому світлі (збільшення в 22 рази)

Дуже цікавими є і часові релаксаційні властивості цих полімерів. На рис. 4 показано часову залежність п'єзоіндукованого кута  $\Delta\phi$  після раптового зняття механічного напруження. Найбільші зміни спостерігаються в перші 6 хв, а в наступні 24 хв ця величина виходить на насичення. Таким чином, з часом залишкові напруження мають тенденцію зменшуватись, що, напевно, свідчить про існування процесів внутрішнього тертя з великим часом релаксації. Ефект внутрішнього тертя значною мірою спричиняє пошкодження в полімерах, прискорює їх руйнування. В цьому сенсі п'єзооптичні дослідження є особливо ефективними при кількісній оцінці внутрішнього тертя в полімерах.

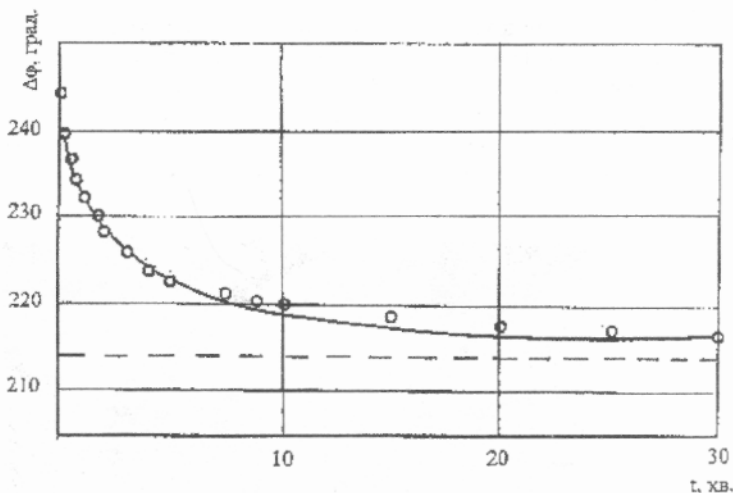


Рис.4. Кінетика релаксації кута п'єзоіндукованого двозаломлення  $\Delta\varphi$

Отже, отримані п'єзооптичні характеристики однозначно вказують на існування фази сегнетоеластичного типу, що робить перспективним використання фотопластів як елементів тензопам'яті.

1. Сонин А.С., Василевская А.С. Электрооптические кристаллы. М. 1971. Физика сегнетоэлектрических явлений / Под ред. Г.А. Смоленского Л., 1985. 2. Perspective of the Polymers Netuovre // Academic Press. 1996. N4. 215 P.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.98