

УДК 655.326.1

М.Ф. Ясінський**ДО ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ФОТОПОЛІМЕРНИХ
ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ ПІД ДІЄЮ МЕХАНІЧНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ**

Прогнозування та керування експлуатаційними властивостями фотополімерних друкарських форм (ФДФ) може базуватися на уявленнях про кінетику і механізм радикально-ланцюгових реакцій, про роль структурних факторів, морфологічних особливостей і надмолекулярних структур, про фотохімічні явища і термоокислювальні деструкції, а також на сучасних досягненнях фізико-хімії і фізико-хімічної механіки полімерів.

При експлуатації ФДФ підлягають, як правило, механічній, тепловій, світловій та ін. дії. У фотополімерному матеріалі одночасно протікають декілька реакцій деструкції різного типу, що призводить до різкої зміни його властивостей, у тому числі й локальних.

Механічна деструкція полімерного матеріалу відбувається під впливом різних механічних взаємодій і може спричиняти повне його руйнування, обумовлена флуктуаціями теплової енергії. Напруження створюють можливість накопичувати флуктуації і забезпечувати спрямованість процесу розриву хімічних зв'язків в основному ланцюгу полімера, що викликає появу місць зародження тріщин. Причиною утворення первинних тріщин у полімерному матеріалі, відповідно до тверджень С.Н. Журкова та його співробітників, є теплові флуктуації або локальне різке зростання внутрішньої енергії, що призводить до розриву хімічних зв'язків в основному ланцюгу полімера. Мікротріщини виникають не тільки на поверхні, але й у всьому об'ємі зразка, і їх утворення є незворотним процесом. Необхідно враховувати, що фотополімерні матеріали є "некласичними", тобто їх поведінка не підпорядкована рівнянням класичної теорії пружності внаслідок залежності властивостей від часу і температури. Однак закони механіки крихкого руйнування можуть бути застосовані до полімерних матеріалів, якщо відомі деякі параметри, достатні для аналізу процесу руйнування.

Значний вплив на зародження та ріст тріщин має активне середовище (фарба, розчинник та ін.).

Із-за специфіки будови полімерного матеріалу спостерігається значне розгалуження тріщин руйнування при одночасній дії рідких активних середовищ і досить великих механічних напруженнях.

Як відомо, фотополімерна форма при встановленні на друкарський циліндр зазнає складних змін: верхні шари розтягаються, а нижні стискаються. Не менш складні зміни відбуваються і в процесі друку, пов'язані із стиском друкарських елементів. Тому вивчення процесів релаксації в полімерному матеріалі ФДФ після прикладеного навантаження впливу інших факторів на процес руйнування є актуальним.

Низькочастотні дослідження еластичних властивостей полімерів проводилися з використанням динамічно механічного аналізатора ДМА-7 ("Перкінг-Елмер", США). Цей прилад дозволяє проводити вимірювання в динамічному режимі в діапазоні ультранизьких частот, що охоплює область 0,01–50 Гц. На рис.1 і 2 наведено дві найтипівіші схеми навантаження зразка, які використовуються в таких низькочастотних пружнодинамічних дослідженнях. Це добре відомі методи паралельного стиску (ПС-метод) та триточкового згину (ТТЗ-метод).

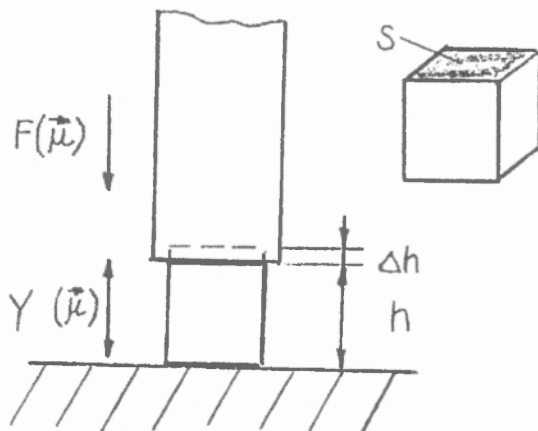


Рис.1. Схема навантаження зразка (паралельний спосіб)

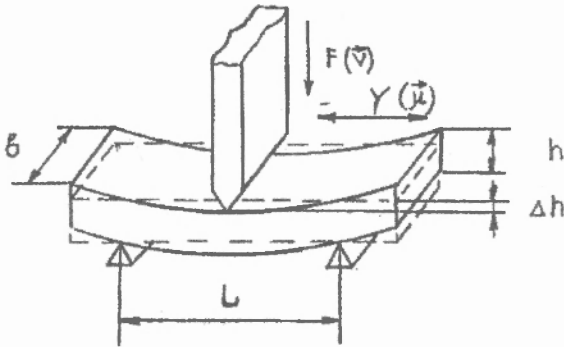


Рис.2. Схема навантаження зразка (триточковий метод)

В обох випадках ефективна пружна константа K виявляється пропорційною модулю Юнга $Y(\mu)$ і визначається співвідношенням

$$K = Y\left(\overset{\rightarrow}{\mu}\right) S/h, \quad (1)$$

(ПС-метод)

$$K = Y\left(\overset{\rightarrow}{\mu}\right) 4b \left(\frac{h}{L}\right)^3 \left[1 + \frac{3}{2} \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{Y\left(\overset{\rightarrow}{\mu}\right)}{G\left(\overset{\rightarrow}{\mu\nu}\right)} \right]^{-1}, \quad (2)$$

(ТТЗ-метод)

де b , h та L – геометричні розміри зразка (див. рис.1, 2); $G(\mu\nu)$ – модуль зсуву; ν – одиничний вектор, що збігається з напрямком прикладення динамічного навантаження. Ефективна пружна константа K визначається за величиною деформації зразка Δh (ПС-метод) чи прогину балки Δh (ТТЗ-метод). В обох випадках апарат ДМА-7 забезпечує значну роздільну здатність при вимірюванні деформації Δh (~ 10 нм). Менш точний у пружних експериментах ПС-метод має суттєву перевагу. Він дозволяє

проводити дослідження на зразках малих розмірів. Зокрема, зразки міліметрового розміру або навіть кількох десятків міліметра є цілком достатніми для досліджень. ТТЗ-метод вимагає зразків більшого розміру ($L > 2$ мм), проте забезпечує значно вищу точність вимірювання, яка, звичайно, на один – два порядки вища, ніж при застосуванні ПС-методу. Динамічний механічний аналізатор ДМА-7 має ще одну важливу особливість. У процесі деформації зразка під впливом динамічного навантаження визначається не лише амплітуда деформації Δh , але й зсув фаз δ . Останній пов'язаний з процесом перетворення механічної енергії в теплову. Сам же параметр δ характеризує втрати механічної енергії, пов'язані як з мікроскопічними (структурними) через руйнування хімічних зв'язків, так і макроскопічними (утворення макротріщин) змінами в процесі деформації полімерів. Ці зміни є головною причиною руйнування полімерних матриць. Отже, визначення частотної характеристики втрат відіграє важливе значення в процесі розробки, випробування та виготовлення полімерних матриць. Власне з дослідженням частотної залежності деяких полімерів безпосередньо пов'язані результати даної роботи. Важливість проведення таких досліджень видається цілком очевидною. До цього слід додати й актуальність частотного діапазону досліджень (0,02–15 Гц), який з впевненістю перекриває циклічну частоту друкарських машин (звичайно 1–3 примірників за секунду).

Запропонована методика дозволяє не тільки провести кількісне порівняння різних полімерів, але й дати рекомендації щодо оптимальної швидкості друкування.

Об'єктом досліджень були: фотополімеризуючі пластини типу PLS “Сайрел” завтовшки 2,84 мм фірми Дю Пон (США); пластини “Найлопринт” завтовшки 0,8 мм фірми БАСФ (Німеччина) і фотополімеризуючі пластини “Фотопласт” завтовшки 1,0 мм (УНДІ ПП ім.Т.Г. Шевченка).

Результати пружнодинамічних досліджень цих полімерів відображені на рис. 3–5. Зокрема, на рис.3 наведено серію частотних залежностей тангенса кута втрат ($\tan \delta$) фотополімерних пластин PLS “Сайрел”, що відповідають різному часу фотополімеризації. Указані вимірювання проводились ПС-методом. Як бачимо, величина $\tan \delta$ в усіх випадках характеризується

нелінійним зростанням із збільшенням частоти від 0–8 Гц. При цьому втрати механічної енергії суттєво зростають також із збільшенням часу фотополімеризації t_n . Так, зокрема, для $t_n = 120$ хв. Вони щонайменше як удвічі більші, ніж полімера з $t_n = 40$ хв. Не аналізуючи в даній роботі можливі фізико-хімічні причини такої залежності (ця проблема є предметом окремої роботи), доходимо висновку: збільшення часу фотополімеризації суттєво погіршує зношувальну стійкість полімера через зростання втрат, що повинно призвести до передчасного руйнування фотополімерних матриць в процесі їх експлуатації. Втрати енергії, а отже, інтенсивність зношування зменшується в області низьких частот. Рекомендована частота друкарського циклу не мала би суттєво перевищувати 1 Гц, що еквівалентно 3600 прим./ год.

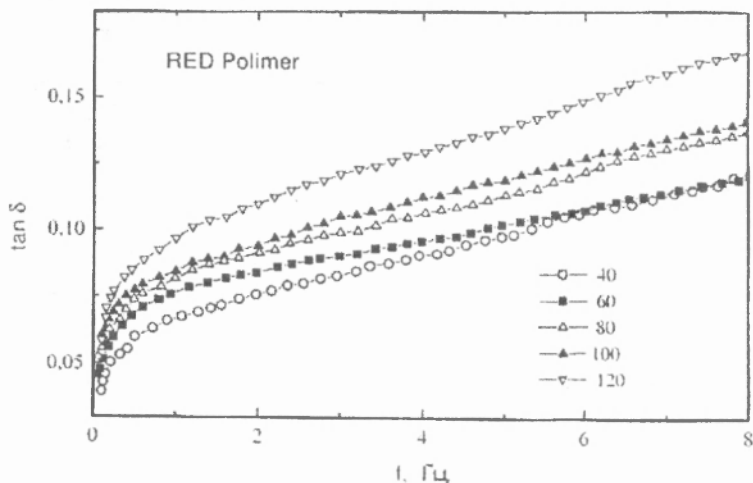


Рис.3. Частотні залежності $\tan \delta$ фотополімера "Ceryl", сформовані при різному часі фотополімеризації (час фотополімеризації дано в хвиликах)

На рис.4, 5 наведено аналогічні частотні залежності для двох інших полімерів ("Найлопринт" і "Фотопласт"), які були отримані ТТЗ-методом. За своїм характером вони схожі на ті, що на рис.3. Очевидно, що фізична природа втрат механічної енергії в усіх цих матеріалах є подібною. З практичної точки зору слід відзначити полімерний матеріал "Фотопласт", який володіє

аномально низькими втратами, особливо в області частот $f \leq 1$ Гц. Очевидно, що при низькій частоті друку (≈ 3000 прим. / год.) цей матеріал повинен володіти високою зношувальною стійкістю.

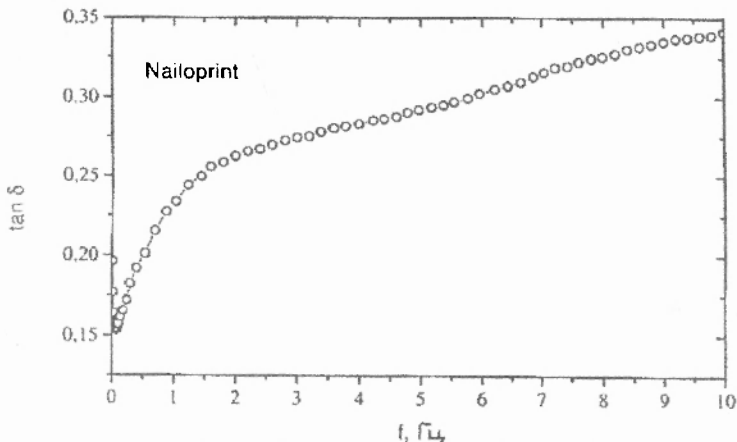


Рис.4. Залежність величини $\tan \delta$ від частоти, друкарського матеріалу "Nailoprint"

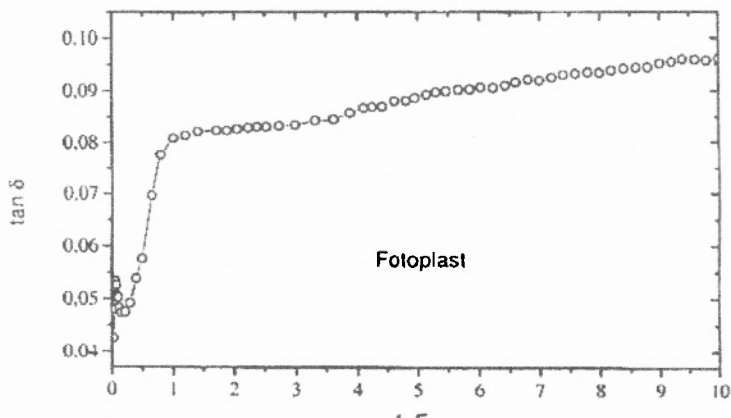


Рис.5. Залежність величини $\tan \delta$ від частоти, типового друкарського матеріалу "Фотопласт"

Запропонована експрес-методика ефективна для дослідження одного з основних механічних параметрів матеріалів – тангенса кута втрат. Вона може бути успішно використана в процесі контролю нових синтезованих полімерів, а також для швидкого контролю механічних властивостей полімерних матриць, застосовуваних у технології друкування.

1. Дуб Я.І., Огірко І.В., Ясінський М.Ф. Математичне моделювання друкарських форм. Львів, 1994. 2. Лазаренко Э.Т. Фотохимическое формирование печатных форм. Львов, 1984. 3. Лазаренко Э.Т., Розум О.Ф., Забуйский А.И. Фотополимерные печатные формы. К., 1978. 4. Тынный А.Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред. К., 1975. 5. Шибанов В.В. Физическая химия фотополимеризующихся материалов. К., 1989.

Стаття надійшла до редколегії 28.01.99