

MECHANIKA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-M/2009
ZESZYT 3
ROK 106
ISSUE 3
YEAR 106

ADAM GNATOWSKI, PAWEŁ PALUTKIEWICZ, TOMASZ STACHOWIAK*

ELASTOOPTYKA I ANALIZA NUMERYCZNA STANU NAPRĘŻEŃ W BADANIACH POLISTYRENU METODĄ DMTA

PHOTOELASTICITY AND NUMERICAL ANALYSIS OF STRESS STATE IN DMTA EXAMINATIONS OF POLYSTYRENE

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych próbek podczas jednoosiowego zginania. Wykonano analizę numeryczną zmian naprężeń zredukowanych w zakresie fazy odkształceń sprężystych. Określono zmiany wartości modułu zachowawczego i współczynnika stratności mechanicznej w funkcji temperatury i częstotliwość drgań metodą DMTA. W celu weryfikacji symulacji numerycznej wykonano badania metodą elastoptyki.

Słowa kluczowe: polistyren, badania metodą DMTA, analiza numeryczna stanu naprężeń

Abstract

Investigations were carried out for polystyrene samples subjected to the one-axial bending. The computer simulations of changes of the stress distribution within the range of elastic strains phase were done. The change in the value of the storage modulus and the mechanical loss tangent in function of temperature and oscillation frequency by the DMTA method was determined. To verify numerical simulation the photoelasticity research was done.

Keywords: polystyrene, DMTA examinations, numerical analysis of stress state

* Dr inż. Adam Gnatowski, mgr inż. Paweł Palutkiewicz, mgr inż. Tomasz Stachowiak, Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska.

1. Wstęp

Tradycyjne mechaniczne charakterystyki otrzymywane jako wynik badań przy obciążeniu statycznym, przy rozciąganiu, ściskaniu i skręcaniu są niewystarczające do przewidywania zachowania się materiałów polimerowych w ekstremalnych warunkach użytkowania, jak również w długim okresie czasu. Problemem jest więc wybór metod badania pozwalających przewidywać zmianę właściwości lepkosprężystych w funkcji czasu na podstawie danych doświadczalnych [1-7]. Ponieważ polimery charakteryzują się właściwościami lepkosprężystymi, zatem wszystkie wskaźniki ich właściwości fizykomechanicznych zależą bardzo silnie nie tylko od czasu ale i od temperatury. Metody ich badania muszą zatem uwzględniać te zależności. Jedną z metod pomiarowych jest termiczna analiza dynamicznych wielkości mechanicznych, tzw. DMTA umożliwiająca ocenę przemian zachodzących w materiałach polimerowych w szerokim zakresie temperatury i częstotliwości zmian obciążeń. W wyniku tej analizy otrzymuje się przebieg zmian modułów dynamicznych Younga i tangensa strat mechanicznych. Znajomość przebiegu tych zmian pozwala na ustalenie związku między molekularnymi parametrami i właściwościami mechanicznymi materiałów polimerowych [1-5].

Celem pracy było określenie właściwości mechanicznych polistyrenu metodą DMTA oraz wyznaczenie rozkładu naprężeń w funkcji temperatury. Przeprowadzono numeryczną symulację stanu naprężeń metodą elementów skończonych przy użyciu programu ADINA System. Zastosowano również metodę elastooptyki umożliwiającą obserwację i analizę stanu naprężenia podczas badania DMTA.

2. Materiały i metodyka badań

Do badań użyto polistyrenu, termoplastycznego polimeru o nazwie handlowej Owispol 525 wyprodukowanego przez Dwory S. A. Oświećim o wskaźniku szybkości płynięcia MFR równym 10 g / 10 minut (określonym przy temperaturze 200 °C i obciążeniu 5 kg).

Próbki dla badań były wykonane metodą wtryskiwania na wtryskarce KRAUSS MAFFEI typu KM65 – 160C, przy następujących parametrach:

- temperatura wtryskiwania 230°C,
- temperatura formy 45°C,
- prędkość wtryskiwania 60mm/s,
- ciśnienie wtryskiwania zależne od ciśnienia docisku i równe 60% wartości ciśnienia docisku,
- czas docisku 15s,
- czas chłodzenia 25s,
- siła zamykania formy 650 kN.

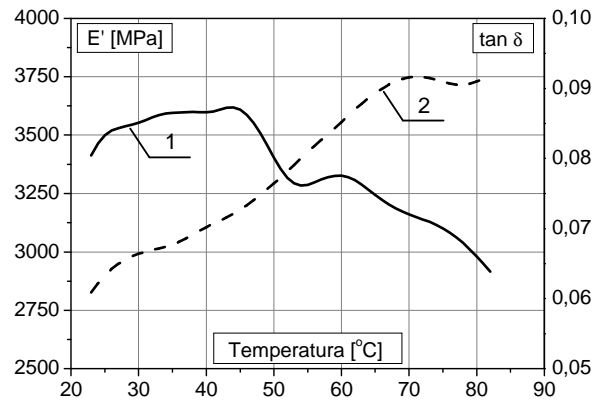
Badania dynamicznych właściwości mechanicznych wykonano z wykorzystaniem urządzenia DMTA 242 firmy NETZSCH z uchwytem do trójpunktowego zginania swobodnego próbki w postaci belki. Na próbkę umieszczoną w uchwycie poprzez trzpień wprowadzono oddziaływanie sinusoidalnie zmiennej siły z częstotliwością 10Hz o stałej amplitudzie, przy jednoczesnym ogrzewaniu próbki od temperatury 25°C do 80° C. Wyniki przedstawiono

w postaci wykresu przebiegu zmian modułu zachowawczego E' oraz kąta stratności $\text{tg}\delta$ w funkcji temperatury.

3. Wyniki badań i ich omówienie

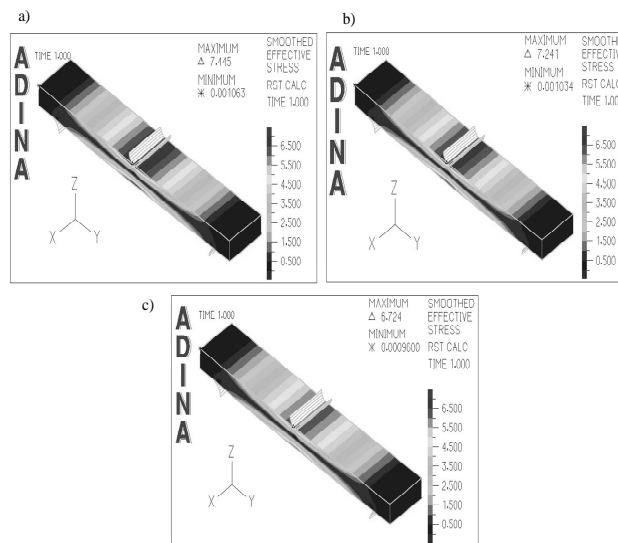
Wyniki badań zmian modułu zachowawczego oraz współczynnika stratności mechanicznej przedstawiono w sposób graficzny na rys. 1.

W obszarze temperatur niższych od temperatury zeszklenia lub w zakresie wysokich częstotliwości odkształceń, polistyren jest w stanie szklistym, jest twardy i kruchy. W obszarze szklistym, termiczna energia jest niewystarczająca aby pokonać potencjalną barierę dla przemieszczenia i rotacyjnych ruchów segmentów cząsteczki. Układ znajduje się w stanie nierównowagi termodynamicznej. Wraz z podwyższeniem temperatury lub wydłużeniem czasu odkształcenia następuje dosyć gwałtowne obniżenie modułu a krzywa tangensa strat przechodzi przez swoje maksimum. Materiał znajduje się w obszarze przemiany zeszklenia, w której tangens strat osiąga swoje maksimum, przy zadanej częstotliwości odkształcenia 10 Hz. W obszarze przemiany zeszklenia następuje zapoczątkowanie ruchów Browna w łańcuchu molekularnym. Termiczna energia staje się porównywalna z barierą energii potencjalnej dla rotacji łańcucha. W sąsiedztwie temperatury przemiany zeszklenia lepkospężyste właściwości zmieniają się bardzo szybko zarówno z upływem czasu, jak również ze zmieniającą się temperaturą. Obserwuje się wtedy wiele zmian właściwości mechanicznych i fizycznych. Moduł relaksacji obniża się znacznie, podatność na pęcznienie wzrasta, współczynnik rozszerzalności cieplnej, wewnętrzne tarcie zmieniają się bardzo znacznie. Temperatura zeszklenia jest zależna od chemicznych i molekularnych struktur. Po przejściu przez obszar przemiany zeszklenia zmiany modułu są najpierw względnie niezależne od czasu i temperatury a właściwości materiału są wysoko elastyczne w swoim charakterze. Przy dalszym wzroście temperatury lub czasu, moduł ponownie wykazuje temperaturową i czasową zależność i pojawia się składowa lepkiego płynięcia. Najwyższe wartości modułu zachowawczego w zakresie odkształceń sprężystych zarejestrowano przy temperaturze $32\text{ }^{\circ}\text{C} \div 43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimum modułu zachowawczego uzyskano przy temperaturze $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jego wartość wynosiła 3619 MPa. Maksymalną wartość współczynnika stratności mechanicznej zarejestrowano przy temperaturze $71\text{ }^{\circ}\text{C}$. Badanie zakończono w zakresie fazy odkształceń wysokoelastycznych, przy zmniejszeniu wartości modułu zachowawczego i współczynnika stratności mechanicznej.



Rys. 1. Kształtowanie się wartości dla polistyrenu: 1- modułu zachowawczego, 2- współczynnika stratności mechanicznej

Fig. 1. Courses of changes of polystyrene: 1- storage modulus, 2- mechanical loss tangent



Rys. 2. Rozkład naprężeń zredukowanych w próbce przy temperaturze: a) $T = 25\text{ °C}$, b) $T = 50\text{ °C}$, c) $T = 70\text{ °C}$

Fig. 2. The reduced stress distribution in sample for the temperature: a) $T = 25\text{ °C}$, b) $T = 50\text{ °C}$, c) $T = 70\text{ °C}$

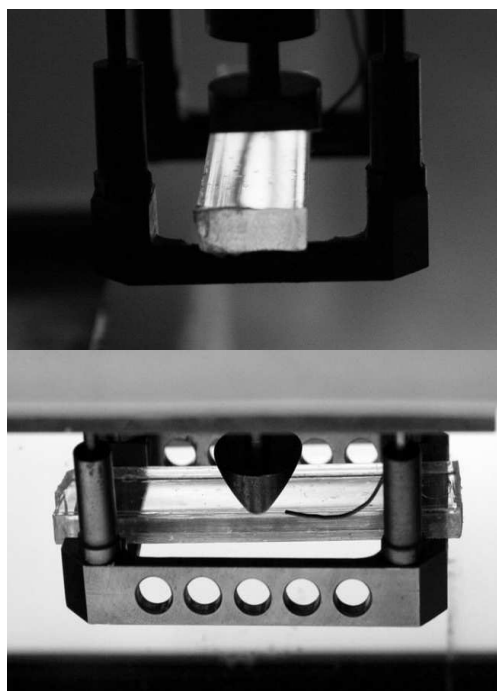
Celem zobrazowania rozkładów naprężeń zredukowanych wykonano symulację numeryczną przy użyciu oprogramowania ADINA System 8.3.

Zbudowano model matematyczny, w którym próbka miała kształt belki umieszczonej na dwóch podporach i poddanej w środkowej części drganiom poprzecznym z częstotliwością 10 Hz i stałą wartością amplitudy 0,24 mm.

Badania numeryczne naprężeń zredukowanych ograniczono do fazy odkształceń sprężystych w temperaturze: 25°C, 50°C, 70°C przy maksymalnych wartościach modułu zachowawczego 3499 MPa, 3403 MPa i 3160 MPa, dla stałej liczby Poisson $\nu = 0,4$. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych dla próbek z polistyrenu przedstawiono na rys. 2.

Wartości naprężeń zredukowanych malały wraz ze wzrostem temperatury. W temperaturze 25 °C maksymalna wartość naprężeń zredukowanych wynosiła 7,4 MPa, przy 50 °C wynosiła 7,2 MPa, a przy 70 °C 6,7 MPa.

Na rys. 3 przedstawiono wyniki badań naprężeń własnych uzyskanych za pomocą polaryskopu o liniowej polaryzacji światła. Nie zaobserwowano istotnych naprężeń wynikających z ruchu oscylacyjnego, a odnotowano naprężenia własne pochodzące od przeprowadzonej metody przetwórstwa. Naprężenia własne zobrazowane za pomocą badań elastooptycznych są skutkiem nierównomiernego zestalania się tworzywa a tym samym różnej temperatury wypraski podczas cyklu chłodzenia.



Rys. 3. Rozkład naprężeń w próbce podczas badania metodą DMTA. Fotografie otrzymane z użyciem polaryskopu o liniowej polaryzacji światła

Fig. 3. Residual stress in the sample during DMTA tests. The photographs obtained by means of linear light polarization polariscope

4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie właściwości mechanicznych polistyrenu. W pracy przedstawiono:

- zmiany modułu zachowawczego i współczynnika stratności mechanicznej,
- analizę numeryczną rozkładu naprężeń zredukowanych podczas trzypunktowego zginania próbek,
- wewnętrzne naprężenia w próbkach za pomocą metod elastooptyki.

Analizując wyniki obliczeń stwierdzono:

- w fazie odkształceń sprężystych dla trzech wartości temperatury: 25°C, 50°C i 70°C niewielkie zmiany w rozkładzie naprężeń zredukowanych
- stałe naprężenia w całym zakresie fazy elastycznej.

Literatura

- [1] Ferry J.D., *Lepkosprężystość polimerów*, WNT, Warszawa, 1965.
- [2] Żuchowska D., *Polimery konstrukcyjne*. WNT, Warszawa 1995.
- [3] Łączyński B., *Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje i własności*, WNT, Warszawa 1982.
- [4] Sikora R., *Tworzywa Wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura*. Politechnika Lubelska, Lublin 1991.
- [5] Bociąga E., Jaruga T., *Dynamic mechanical properties of parts from multicavity injection mould*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 23 83-86, 2007.
- [6] Wetton R.E., De Blok R., Corish P.J., *Badania mieszanin polimerów i oddziaływań między składnikami tych mieszanin metodą analizy termicznej dynamicznych właściwości mechanicznych (DMTA)*. Polimery 1990, 163–166.
- [7] Fazal A., Arif M., *Numerical prediction of plastic deformation and residual stresses induced by laser shock processing*, Journal of Materials Processing Technology 136, 120-138, 2003.