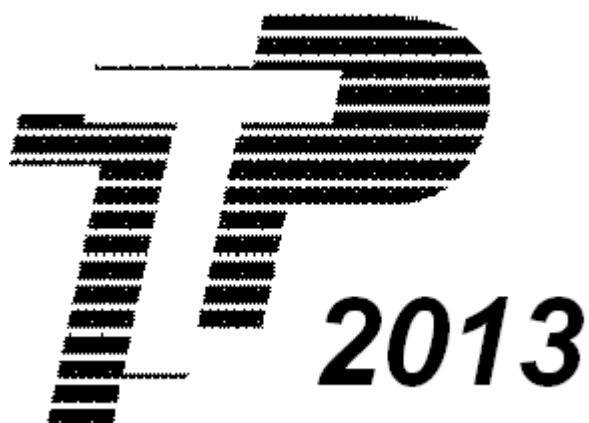
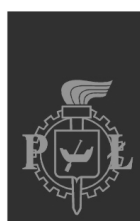


**X Konferencja
TERMOGRAFIA I TERMOMETRIA
W PODCZERWIENI**

**10th Conference on
THERMOGRAPHY AND THERMOMETRY
IN INFRARED**



**Politechnika Lwowska
24-26 września 2013 r.**



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



Patron medialny



Właściwości mechaniczne oraz zmiany temperatury polimeru z pamięcią kształtu w procesie rozciągania

M. Staszczak, E. A. Pieczyska, M. Maj, L. Urbański, H. Tobushi, S. Hayashi

*Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa, mstasz@ippt.gov.pl
Aichi Institute of Technology, Toyota-city, Japan;
SMP Technologies Inc., Tokyo, Japan*

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań efektów sprzężeń termomechanicznych poliuretanu z pamięcią kształtu podczas rozciągania z różnymi prędkościami. Zależności zmiany temperatury próbek od czasu wyznaczano za pomocą kamery termograficznej. Zaobserwowano dużą wrażliwość charakterystyk mechanicznych i zmian temperatury poliuretanu na prędkość deformacji. Wykorzystując efekt piezokaloryczny wyznaczano granice plastyczności dla różnych prędkości odkształcenia. Pokazano, że metoda bazująca na minimum temperatury próbki jest przydatna do wyznaczania granicy plastyczności materiałów polimerowych wykazujących nieliniową sprężystość.

1. Podstawowe właściwości i zastosowania polimerów z pamięcią kształtu

Polimery z pamięcią kształtu, podobnie jak niektóre stopy metali, wykazują efekt pamięci kształtu. Wykorzystuje się w nich różnicę właściwości termomechanicznych poniżej i powyżej temperatury zeszklenia T_g , w której polimer radykalnie zmienia swe własności, m.in. wartość modułu sprężystości. Materiały te posiadają możliwość szybkiej zmiany właściwości fizycznych w zależności od temperatury. Stają się miękkie po podgrzaniu powyżej T_g i pozwalają się łatwo formować, a podczas schłodzenia poniżej tej temperatury odzyskują poprzednią sztywność. Nadal pamiętają swój oryginalny kształt i wracają do niego podczas ponownego podgrzania powyżej T_g . Umożliwia to ich różnorodne praktyczne zastosowania, m.in. w przemyśle medycznym, tekstylnym, spożywczym, lotniczym, kosmicznym.

2. Podstawy teoretyczne sprzężeń termomechanicznych w ciałach stałych

Efekty sprzężeń termomechanicznych, tj. wzajemnych oddziaływań pól odkształceń i temperatury, często obserwowane w przyrodzie, były przedmiotem badań prac teoretycznych i eksperymentalnych m.in. Kelvina [1], W.K. Nowackiego, J.R. Klepaczki.

Dla odwracalnej deformacji ciała stałego związane są ze zmianą naprężenia lub objętości:

$$\pm \Delta p \rightarrow \pm \Delta T \quad \text{lub} \quad \pm \Delta V \rightarrow \pm \Delta T;$$

gdzie p oznacza ciśnienie, V - objętość, a T - temperaturę ciała.

W zależności od rodzaju odkształcania (rozciąganie, ściskanie, ścinanie, skręcanie), zmiany temperatury ciała stałego w zakresie sprężystym, zwane efektem piezokalorycznym lub termosprężystym, mogą być ujemne, dodatnie lub zerowe. Przyjmują niewielkie wartości [2]. Natomiast w zakresie plastycznym, na skutek zachodzących procesów dyssypacyjnych, wzrost temperatury jest zwykle znaczący. W przypadku rozciągania (ściskania) zmiany temperatury w początkowym zakresie odwracalnego odkształcania w warunkach adiabatycznych określa tzw. zależność Kelvina:

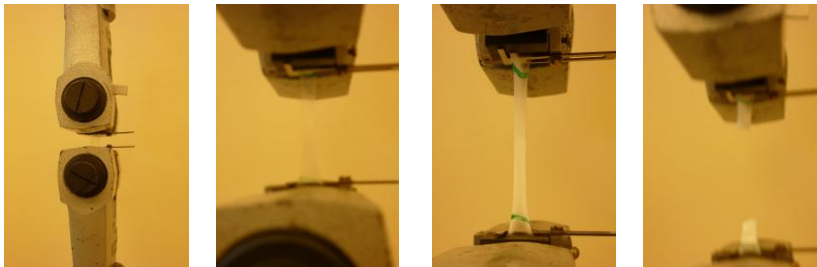
$$\Delta T_{el} = - \frac{\alpha T \Delta \sigma_s}{c_p \rho}$$

gdzie: α - współczynnik rozszerzalności termicznej, T - temperatura w skali bezwzględnej, $\Delta \sigma_s$ - zmiana naprężenia, c_p - ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, ρ - gęstość materiału.

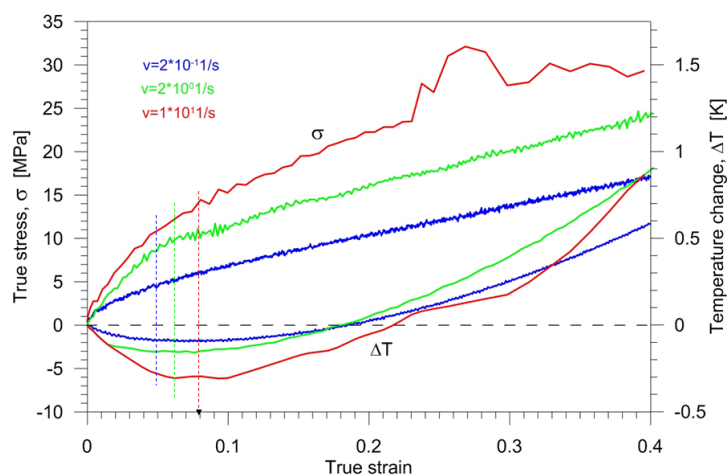
Zatem, maksimum spadku temperatury, może być wykorzystane do wyznaczania z dużą dokładnością granicy plastyczności badanego materiału, co jest szczególnie istotne w przypadku materiałów polimerowych wykazujących nieliniową sprężystość.

3. Wyznaczanie sprzężeń termomechanicznych poliuretanu z pamięcią kształtu

Badaniom poddano próbki poliuretanu z pamięcią kształtu (PU-SMP) o $T_g=19^\circ\text{C}$, prod. *SMP Technologies Inc.*; Rozciągano je na maszynie wytrzymałościowej z różnymi prędkościami $2\cdot 10^{-1}\text{s}^{-1}$, $2\cdot 10^0\text{s}^{-1}$, $1\cdot 10^1\text{s}^{-1}$. Kamerą termograficzną wyznaczano zmiany temperatury próbek.



Rys. 1. Fotografia próbki PU-SMP w uchwytach maszyny na różnych etapach rozciągania



Rys. 2. Zmiany temperatury ΔT od naprężenia σ w początkowym zakresie rozciągania PU-SMP

Poliuretan z pamięcią kształtu jest bardzo wrażliwy na prędkość odkształcania. Dla wyższych prędkości uzyskano wyższy poziom naprężenia oraz wyższe zmiany temperatury próbek (Rys. 2). W początkowym zakresie rozciągania zarejestrowano spadek, a następnie wzrost temperatury. Naprężenie odpowiadające minimum temperatury próbki przyjęto jako granicę plastyczności. Uzyskane wyniki pokazały, że wyznaczone tą metodą wartości granicy plastyczności odpowiadają wyznaczonym metodą wielokrotnego obciążania i odciążania.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania sprzężeń termomechanicznych poliuretanu z pamięcią kształtu potwierdziły jego dobre parametry mechaniczne, duży zakres odkształcania oraz wysoką wrażliwość zmian naprężenia i temperatury próbki na prędkość odkształcania. Pomiar temperatury próbki podczas obciążania pozwala na wyznaczenie granicy plastyczności, również materiałów wykazujących nieliniową sprężystość, np. polimerów.

Bibliografia

- [1] W. Thomson (Lord Kelvin). On the thermoelastic and thermomagnetic properties of matter. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. 1853; 20 (161): 57-77.
- [2] E.A. Pieczyńska: Thermoelastic effect in austenitic steel referred to its hardening. *J. Theor. Appl. Mech.*, 2, 37, 1999; (Ph. D thesis).

Acknowledgments: Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC- 2011/01/M/ST8/07754.