

Analiza energetyczna polimeru z pamięcią kształtu w procesie rozciągania

M. Staszczak¹, E. Pieczyska¹, M. Nabavian Kalat¹, R. Matsui², K. Takeda²

¹Institut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa, email: mstasz@ippt.pan.pl

²Aichi Institute of Technology, 1247 Yachigusa, Yakusa Cho, Toyota City, Aichi 470-0392, Japonia

Streszczenie

W ramach pracy przeprowadzono bilans energetyczny poliuretanu z pamięcią kształtu PU-SMP o temperaturze zeszklenia $T_g = 25$ °C w procesie rozciągania. Celem było oszacowanie ilości pracy mechanicznej niezbędnej do odkształcenia, ilości energii dyssypowanej oraz energii zmagazynowanej, tj. ukrytej w elementach zmienionej struktury tego polimeru. Dla wyższej prędkości odkształcania otrzymano wyższe wartości pracy zużytej na odkształcenie nieodwracalne oraz wyższe wartości ciepła dyssypowanego. Przeprowadzona analiza energetyczna procesu odkształcania wykazała, że praca zużyta na odkształcenie nieodwracalne nie magazynuje się w PU-SMP, tylko dysypuje. Może to mieć związek ze specyficzną budową polimeru z pamięcią kształtu, potwierdzoną przez badania strukturalne i odpowiadającą za jego właściwości.

1. Wprowadzenie

Podczas deformacji część dostarczanej energii mechanicznej zamienia się na ciepło, natomiast pozostała część pozostaje w strukturze materiału, jako energia zmagazynowana E_s . Można znaleźć liczne prace dotyczące zagadnienia wyznaczenia energii zmagazynowanej w procesie deformacji metali i stopów [1]. Natomiast w tematyce bilansu energii w polimerach literatura nadal jest uboga [2]. Jak wynika z przeprowadzonego rozeznania literaturowego, w żadnym ośrodku dotychczas nie prowadzono badań procesu magazynowania energii w polimerach z pamięcią kształtu, co zmotywowało autorów do podjęcia tego tematu.

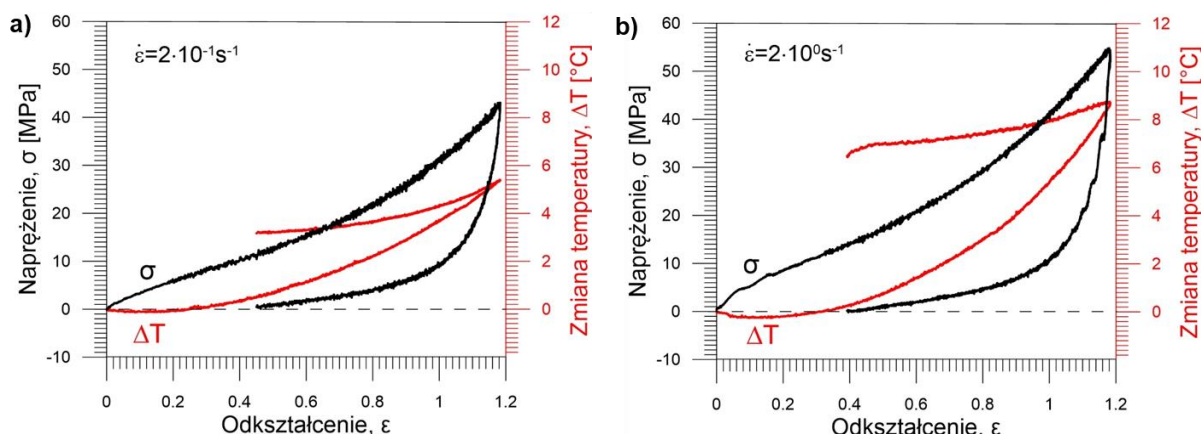
2. Materiał i procedura eksperymentalna

Badaniom poddano próbki poliuretanu z pamięcią kształtu PU-SMP o temperaturze zeszklenia $T_g = 25$ °C, produkcji *SMP Technologies Inc.* Rozciągano je na maszynie wytrzymałościowej MTS 858 z prędkościami odkształcania $2 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ i $2 \cdot 10^0 \text{ s}^{-1}$ [3]. W celu wyznaczenia w sposób bezstykowy zmiany temperatury towarzyszącej odkształceniu tego polimeru zastosowano szybą i czułą kamerę badań w podczerwieni ThermaCam™ Phoenix. Oszacowania energetyczne przeprowadzono na podstawie otrzymanych charakterystyk mechanicznych oraz parametrów materiałowych:

- dla procesu rozciągania w temperaturze pokojowej;
- dla dwóch odpowiednio wysokich prędkości odkształcania $2 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ i $2 \cdot 10^0 \text{ s}^{-1}$, dla których warunki procesu można uznać za zbliżone do adiabatycznych;
- dla dwóch zakresów odkształcania $\epsilon = 0.6$ oraz $\epsilon = 1.18$, gdzie odkształcenie można było uznać jeszcze za jednorodne.

3. Wyniki oszacowania energetycznego w procesie rozciągania PU-SMP

Otrzymane zależności naprężenia σ oraz związane z nimi zmiany temperatury ΔT od odkształcenia ϵ w zakresie odkształcenia do 1.18 z prędkościami $2 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ i $2 \cdot 10^0 \text{ s}^{-1}$ przedstawiono na rys. 1. Im wyższa prędkość, tym wyższe zmiany naprężenia i temperatury, co potwierdza, że podczas odkształcania tego materiału zachodzą w nim procesy dyssypacyjne oraz działają silne sprzężenia termomechaniczne [3].



Rys. 1. Naprężenie σ oraz zmiany temperatury ΔT w funkcji odkształcenia ϵ otrzymane podczas rozciągania PU-SMP w zakresie odkształcenia 1.18 z prędkościami: a) $2 \cdot 10^{-1} \text{s}^{-1}$ oraz b) $2 \cdot 10^0 \text{s}^{-1}$

Otrzymane wartości pracy całkowitej W_{ext} , pracy zużytej na odkształcenia odwracalne W_{rec} i nieodwracalne W_{in} , ciepła dyssypowanego Q , energii efektu termosprężystego E_{th} , energii zgmagazynowanej w materiale E_s dla dwóch zakresów odkształcenia przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Oszacowane wartości energii dla PU-SMP o $T_g = 25^\circ\text{C}$ w zakresie odkształcenia 0.6 i 1.18

Oszacowana wartość energii	Odkształcenie $\epsilon = 0.6$		Odkształcenie $\epsilon = 1.18$	
	$2 \cdot 10^{-1} \text{s}^{-1}$	$2 \cdot 10^0 \text{s}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1} \text{s}^{-1}$	$2 \cdot 10^0 \text{s}^{-1}$
W_{ext} [J/g]	3,7959	5,5867	16,8746	22,7347
W_{rec} [J/g]	1,573499	1,5927	4,4091	5,2763
W_{in} [J/g]	2,2224	3,9940	12,4654	17,4584
Q [J/g]	1,8919	2,9832	9,7130	15,6701
E_{th} [J/g]	-0,8109	-1,1860	-2,3746	-2,9058
E_s [J/g]	-0,48051	-0,1752	0,3779	-1,1174

4. Wnioski

Przeprowadzono ilościowe oszacowanie energetyczne poliuretanu z pamięcią kształtu o $T_g = 25^\circ\text{C}$ w procesie rozciągania z dwoma prędkościami w warunkach pokojowych.

Dla wyższej prędkości odkształcenia otrzymano wyższe wartości pracy zużytej na odkształcenie nieodwracalne oraz wyższe wartości ciepła dyssypowanego.

Natomiast ilość pracy zużytej na odkształcenia odwracalne nie zależy od prędkości odkształcenia, co jest pewną analogią do zachowania stopów z pamięcią kształtu.

Z przeprowadzonej analizy energetycznej procesu odkształcenia wynika, że praca zużyta na odkształcenie nieodwracalne nie magazynuje się w PU-SMP, tylko dysypuje.

Bibliografia

- [1] G.I. Taylor, M.A. Quinney, The latent energy remaining in a metal after cold working, Proceedings of the Royal Society A, vol. 143, no. 849, 1934, 307-326.
- [2] J.M. Muracciole, B. Wattrisse, A. Chrysochoos, Energy balance of a semicrystalline polymer during local plastic deformation, Strain, vol. 44, no.6, 2008, 468-474.
- [3] M. Staszczak, Doświadczalna analiza termomechanicznych i funkcjonalnych właściwości wybranych poliuretanów z pamięcią kształtu, Rozprawa doktorska, IPPT PAN, 2019.

Acknowledgments: Badania zostały przeprowadzone w ramach Grantu NCN Nr 2017/27/B/ST8/03074.