

MECHANIKA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-M/2009

ZESZYT 3

ROK 106

ISSUE 3

YEAR 106

ADRIAN BARYLSKI, JERZY CYBO, JOANNA MASZYBROCKA*

ODKSZTAŁCENIE NOWEJ GENERACJI POLIMERÓW NA IMPLANTY MEDYCZNE W ŚWIETLE PRÓBY ŚCISKANIA

DEFORMATION OF NEW-GENERATION POLYMERS INTENDED FOR MEDICAL IMPLANTS IN THE LIGHT OF A COMPRESSION TEST

Streszczenie

Porównano odkształcenie plastyczne, sprężyste i całkowite nowych gatunków polimerów GUR 1020 i 1050 na implanty medyczne. Stwierdzono większą odporność polietylenu 1050 na deformację trwałą i lepsze właściwości sprężyste. Wykazano, że modyfikacja radiacyjna podwyższa odporność obu gatunków UHMWPE na odkształcenie plastyczne.

Słowa kluczowe: UHMW polietylen, napromieniowanie elektronami, próba ściskania, odkształcenie plastyczne i sprężyste

Abstract

A comparison is made of plastic, elastic and total deformation of new grades of GUR 1020 and 1050 polymers used in medical implants. Polyethylene 1050 has been found to have higher resistance to permanent deformation and better elastic properties. It has been shown that radiation modification increases the resistance of the both grades of UHMWPE to plastic deformation.

Keywords: UHMW polyethylene, electron irradiation, compression test, plastic and elastic deformation

* Mgr Adrian Barylski, prof. dr hab. Jerzy Cybo, dr Joanna Maszybrocka, Katedra Materiałoznawstwa, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski w Katowicach.

1. Wstęp, materiał i cel badań

Trwałość eksploatacyjna polimerowo-metalowych układów kinematycznych, w tym endoprotez stawów ludzkich, jest w dużym stopniu uzależniona od odporności polietylenu na deformację trwałą. Ze względu na możliwość tłumienia drgań podczas ruchu i dynamicznych zachowań chorego po zabiegu alloplastyki ważną jest także podatność do odkształceń sprężystych [1-2]. Wprowadzenie dwu polimerów GUR 1020 i 1050 o bardzo dużym ciężarze cząsteczkowym (ISO 5834, ASTM F648), które przeznaczone są do wytwarzania implantów medycznych, czyni zasadnym sprawdzenie podatności nowych materiałów do odkształceń, co stanowi podstawowy cel pracy. Celem komplementarnym jest określenie wpływu modyfikacji radiacyjnej na możliwość zmian tej podatności. Z tego względu próbki polimerów wyjściowych (bazowych) napromieniowano elektronami stosując energię wiązki 10 MeV oraz krotność napromieniowania $i=1-4$ dawką 26 kGy.

2. Metodyka badań

W stosowanej metodyce badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową Instron 1195, na której prowadzono jednoosiowe ściskanie próbek polimerowych w płaskim stanie odkształceń. Stosowano odkształcenie całkowite $Z_c = 40 - 80$ % (po 3 próbki dla każdej wartości Z_c). Z_c jest wynikiem zmiany (Δh) początkowej wysokości próbek (h_0). Δh odpowiada wielkości przesuwu stempla maszyny wytrzymałościowej, dla którego rejestrowano siłę P_c (odciążając układ bez wytrzymywania pod obciążeniem) oraz obliczano naprężenie ($\sigma_c = P_c/A$) odpowiadające uzyskanemu odkształceniu Z_c :

$$Z_c = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Odkształcenie całkowite jest sumą odkształcenia sprężystego Z_{sp} i plastycznego Z_{ef} :

$$Z_c = Z_{sp} + Z_{ef} \quad [\%] \quad (2)$$

Odkształcenie plastyczne zależy od końcowej wysokości próbek h_k (po powrocie sprężystym), której pomiar wykonywano 10 dni po próbie ściskania:

$$Z_{ef} = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

W przypadku polimerów częściej korzysta się z pojęcia efektywnego odkształcenia plastycznego e_f :

$$e_f = \ln \frac{h_0}{h_k} \quad [-] \quad (4)$$

Pomiędzy zależnościami (3) i (4) zachodzi związek:

$$e_f = \ln \frac{100}{100 - Z_{ef}} \quad [-] \quad (5)$$

$$Z_{ef} = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{e_f}} \right) \quad [\%] \quad (6)$$

Odkształcenie sprężyste Z_{sp} określano z (2) jako różnicę Z_c i Z_{ef} .

3. Analiza wyników

Wyniki próby ściskania, określające współzależność między naprężeniem σ_c i odkształceniami: całkowitym, efektywnym plastycznym oraz sprężystym, opisano za pomocą funkcji (7) – (9), które zweryfikowane metodą regresji wykazują współczynniki korelacji $R \geq 0,99$.

$$\sigma_c = \pi \frac{R_e}{2} + w \left(e^{Z_c} \right)^{0,06} \quad [\text{MPa}] \quad (7)$$

$$\sigma_c = \pi \frac{R_e}{2} \left(e^{e_f} \right)^n \quad [\text{MPa}] \quad (8)$$

$$\sigma_c = 2,5R_e + w_s \left(e^{Z_{sp}} \right)^{0,7} \quad [\text{MPa}] \quad (9)$$

gdzie:

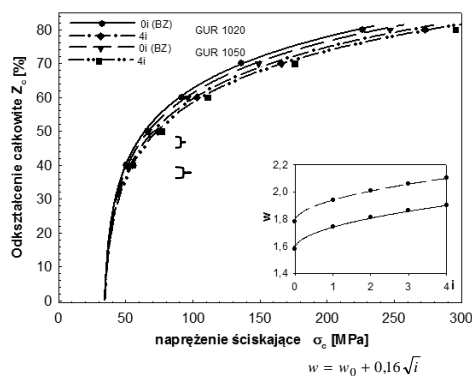
R_e (=21MPa) – granica plastyczności polietylenu GUR 1020 i 1050,
 w (=w₀+w_i) – intensywność wzrostu naprężenia przy jednostkowym odkształceniu całkowitym: materiału wyjściowego (w₀=1,58 i 1,78 MPa/% dla GUR 1020 i 1050) oraz napromieniowanego elektronami (w_i = 0,16√i),
 i (=1-4) – krotność dawki (d = 26kGy) napromieniowania strumieniem elektronów,
 n (= n₀ + n_i) – wskaźnik wzrostu oporu jaki stawia materiał przy zwiększeniu odkształcenia plastycznego: polimeru wyjściowego (n₀ = 3 i 3,36 dla GUR 1020 i 1050) oraz napromieniowanego elektronami (n_i = 0,13√i),
 w_s ; 10⁹ (=5 i 8 MPa/% dla polimeru wyjściowego GUR 1050 i napromieniowanego (średnia dla i = 1-4) oraz =17 i 34 dla GUR 1020) – intensywność wzrostu naprężenia przy jednostkowym odkształceniu sprężystym.

Przekształcenie wzorów (7) – (9) pozwala obliczyć wartość odkształceń, jakie wystąpią w przypadku obciążenia ściskającego wywołującego naprężenie σ_c powodujące całkowite odkształcenie Z_c materiału (rys. 1 – rys. 3):

$$Z_c = \frac{1}{0,06} \ln \left[\frac{1}{w} \left(\sigma_c - \frac{\pi R_e}{2} \right) \right] \quad [\%] \quad (10)$$

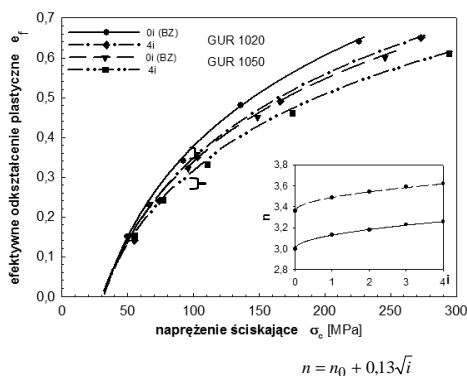
$$e_f = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{2}{\pi R_e} \sigma_c \right) \quad [-] \quad (11)$$

$$Z_{sp} = \frac{1}{0,7} \ln \left[\frac{1}{w_s} (\sigma_c - 2,5R_e) \right] \quad [\%] \quad (12)$$



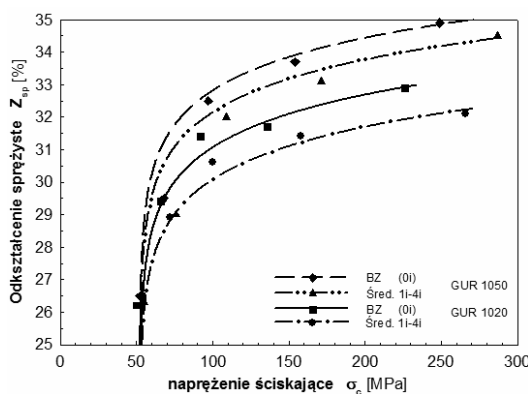
Rys. 1. Zmiany odkształcenia całkowitego

Fig. 1. Changes in total deformation



Rys. 2. Zmiany efektywnego odkształcenia plastycznego

Fig. 2. Changes in effective plastic deformation



Rys. 3. Zmiany odkształcenia sprężystego

Fig. 3. Changes in elastic deformation

W przypadku występowania niedużych odkształceń między wyjściowymi (bazowymi) polimerami, jak i między ich odmianami zmodyfikowanymi radiacyjnie, jest trudna do zaobserwowania. Wzrost naprężenia wykazuje jednak, że GUR 1020 jest polietylenem o większej podatności do trwałej deformacji; doznaje większych odkształceń Z_c , e_f , a mniejszych Z_{sp} (rys. 1-3). Można sądzić, że mniejsza odporność na odkształcenia UHMWPE 1020 wynika z prawie dwukrotnie mniejszej wartości ciężaru cząsteczkowego ($1020 \rightarrow 5 \cdot 10^6$ g/mol, $1050 \rightarrow 9,2 \cdot 10^6$ g/mol) niż 1050 (parametry morfologiczne polimerów pozostają w toku badań).

Porównując materiał wyjściowy i napromieniowany, uwidacznia się w przypadku obu polimerów, że modyfikacja radiacyjna spowodowała zmniejszenie podatności do deformacji. Oznacza to mniejszą wartość odkształcenia plastycznego przy takich samych

obciążeniach układu, bądź możliwość stosowania większych nacisków przy niezmiennych skutkach w postaci deformacji trwałej. Ubocznym i niepożądanym acz nieuniknionym efektem napromieniowania jest zmniejszenie odkształcenia sprężystego. Jest to jednak różnica niewielka; przy naprężeniach $\sigma_c \geq 100$ MPa wynosi ok. 1% dla GUR 1050 i ok. 1,5 % dla 1020.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że spośród nowo wprowadzonych gatunków polimerów GUR 1050 wykazuje większą odporność na odkształcenia plastyczne i większą podatność do odkształceń sprężystych niż GUR 1020. Modyfikacja radiacyjna obu polimerów powoduje nieznaczne zmniejszenie właściwości sprężystych, ale jest skuteczną metodą podwyższania odporności na deformację trwałą. Przedstawione wnioski należy potwierdzić badaniami mikromechanicznymi i testami tribologicznymi.

Literatura

- [1] Maszybrocka J., *Właściwości mikromechaniczne oraz skutki pracy w węzle tarcia polietylenu kształtowanego za pomocą wstępnego odkształcenia i napromieniowania elektronami*, praca doktorska, Uniwersytet Śląski, Katowice 2005.
- [2] Wright T. M., Goodman S. B.: *Implant Wear in Total Joint Replacement: Clinical and Biologic Issues, Material and Design Considerations*, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2001.