

Streszczenie pracy doktorskiej

mgr Adriana Barylskiego

pt.: „Opracowanie metody i analizy efektywności podwyższenia odporności na zużycie polimerów dla endoprotezoplastyki”

W pracy podjęto się opracowania oraz zweryfikowania efektywności metody podwyższenia odporności na zużycie i trwałą deformację polimerów stosowanych w endoprotezoplastyce, co powinno skutkować wzrostem trwałości eksploatacyjnej układów kinematycznych polimer-metal.

Metodę zastosowano względem polimerów GUR 1020 i GUR 1050, wykorzystywanych obecnie do wytwarzania elementów (w tym panewek) endoprotez. Oba gatunki PE w stanie wyjściowym stanowiły punkt odniesienia w zakresie budowy i właściwości funkcjonalnych. Zasadność analizy tych materiałów wynikała również z obserwowanych w przedmiotowej literaturze prób ich uszlachetnienia i z badań rozpoznawczych. Mimo dużych mas cząsteczkowych (5 i $9,2 \cdot 10^6$ g/mol) cechują się w stanie wyjściowym niskim wskaźnikiem odporności na zużycie ścierne oraz znaczną podatnością do odkształceń trwałych. Wykazano, że podatność można zmniejszyć nawet przez samo napromieniowanie polimerów elektronami. Taka modyfikacja jest bardziej skuteczna wobec polietylenu o prawie dwukrotnie większej masie cząsteczkowej. W warunkach obciążeń eksploatacyjnych (i odkształceń) GUR 1050 zachowuje wtedy również wyższy wskaźnik odporności na zużycie ścierne. Stwierdzono jednak, że niedostatkim napromieniowania jest zmniejszenie właściwości sprężystych o kilka punktów procentowych.

Oprócz punktu odniesienia w postaci polimerów wyjściowych, dla pełniejszej weryfikacji efektywności zaproponowanej w pracy metody (NO) przyjęto dodatkową bazę porównawczą w postaci dwu technik kształtowania UHMWPE, którym poddano równocześnie polimery bazowe. Wykorzystane sposoby, to: modyfikacja wyłącznie strumieniem elektronów (N) oraz modyfikacja radiacyjna poprzedzona odkształceniem $e_f \approx 0,2$ (ON).

Proponowaną w pracy metodę oparto na zastosowaniu dwu zewnętrznych oddziaływań (NO). Pierwsze, w postaci rosnącej dawki napromieniowania strumieniem elektronów, kształtowało morfologię polimerów zapewniając: dużą gęstość usieciowania,

małą zawartość centrów objętości swobodnej oraz wzrost udziału fazy krystalicznej. Czynnikiem drugim (stosowany w tej kolejności), to oddziaływanie na strukturę poprzez odkształcenie plastyczne o wartości $e_f = 0,2$ do max. 0,25, które nie powodując tekstury fazy krystalicznej zapewniało ukierunkowanie mikrostruktury lamelarnej, w wyniku czego w płaszczyźnie przewidzianej do współpracy tribologicznej dominowała krawędziowa orientacja lamel. Odkształcenie powodowało jednocześnie niedużą fragmentację tej fazy, zapewniając ustalenie semikrystalicznej postaci polietylenu.

Szczegółowe zestawienie zmian budowy i właściwości w wyniku stosowanych odmian technologii kształtowania polimerów, zamieszczono w zakończeniu rozdziałów poświęconych analizie ewolucji: morfologii i struktury, skutków przebudowy w postaci zmian właściwości mechanicznych i sklerometrycznych oraz rezultatom kształtowania odporności na zużycie tribologiczne.

Analiza zmian parametrów morfologii i struktury w przypadku proponowanej metody NO udokumentowała w stosunku do przyjętych w pracy technologii porównawczych (N, ON) i dwu badanych materiałów, że polimer GUR 1050 kształtowany przy zachowaniu krotności napromieniowania $i = (1-6) \times 26$ kGy oraz rzeczywistego odkształcenia $0,2 \leq e_f < 0,25$, wykazuje najkorzystniejsze cechy budowy:

- semikrystaliczną postać,
- największą gęstość usieciowania,
- najmniejszą objętość nanopustek,
- największy stopień orientacji struktury lamelarnej.

Badania mikromechaniczne, sklerometryczne oraz najbardziej miarodajne – długotrwałe testy tribologiczne – wykazały, że ukonstytuowana w wyniku stosowanych oddziaływań kształtujących przebudowa polimerów skutkuje zmianami ich właściwości funkcjonalnych. Kierunek i wielkość zmian determinuje użyta odmiana technologii modyfikacji oraz gatunek polietylenu. Jednoznacznie najkorzystniejsze właściwości zapewnia metoda NO w przypadku polimeru GUR 1050, zapewniając:

- dominację składowej bruzdowania w mikromechanizmie zużycia ściernego,
- wysoki wskaźnik odporności na zużycie ściernie,
- nieznaczne zmniejszenie właściwości sprężystych,
- ograniczenie podatności do trwałej deformacji,
- 6-krotne zmniejszenie zużycia tribologicznego (w postaci ubytku masy) oraz 13-krotne ograniczenie zmniejszenie wymiaru liniowego.

Przedstawiony w pracy, dla każdej z odmian kształtowania polimerów, ilościowy opis trendu zużycia tribologicznego pozwala na:

- wstępne określenie wymaganej dawki napromieniowania strumieniem elektronów dla osiągnięcia przewidywanej szacunkowo wartości zużycia,
- zastosowanie (wyznaczonych po procesie kształtowania polimerów) parametru gęstości usieciowania lub wskaźnika odporności na zużycie ścierne do prognozowania wartości zużycia tribologicznego, uściślonej na podstawie analizy całej populacji badanych przypadków.

Biorąc pod uwagę wyniki pracy sprecyzowano następujące **wnioski ogólne**:

- Opracowana metoda kształtowania budowy i właściwości poprzez sieciowanie polietylenu i orientację jego struktury lamelarniej pozwala na bardzo efektywne zmniejszenie zużycia tribologicznego, co stwarza możliwość skutecznego podwyższenia trwałości eksploatacyjnej układów kinematycznych w endoprotezoplastyce. Oznacza to, iż **udowodniono słuszność postawionej tezy i osiągnięto cel pracy**.
- Na podstawie zgodności oceny zmian właściwości polimerów według testów mikroindentacyjnych, sklerometrycznych i – szczególnie obiecujących – badań tribologicznych, można wnioskować o przeprowadzenie eksperymentów eksploatacyjnych na symulatorach stawów ludzkich.
- W przypadku pozytywnych wyników badań na symulatorach należy dążyć do zainteresowania wynikami wytwórców elementów dla endoprotezoplastyki w celu wdrożenia rozwiązania do zastosowań komercyjnych.