
Piotr KOWALEWSKI* , Robert JASIŃSKI**

**BADANIA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA
STATYCZNEGO POLIETYLENU
PE-UHMW PODDANEGO PROMIENIOWANIU
JONIZUJĄCEMU**

**INVESTIGATIONS OF THE STATIC FRICTION
COEFFICIENT OF PE-UHMW POLYETHYLENE
SUBJECTED TO THE IONIZING RADIATIONS**

Słowa kluczowe:

tarcie, współczynnik tarcia statycznego, PE-UHMW, promieniowanie jonizujące

Key words:

friction, static friction coefficient, PE-UHMW, ionizing radiation

* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii, ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław, Polska, e-mail: piotr.kowalewski@pwr.edu.pl.

** Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałoznawstwa, Wytrzymałości Materiałów i Spawalnictwa, ul. M. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, Polska, e-mail: robert.jasinski@pwr.edu.pl.

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania współczynnika tarcia statycznego polietylenu PE-UHMW poddanego różnym dawkom promieniowania jonizującego oraz starzeniu, imitującemu biologiczne oddziaływanie organizmu na materiał.

Badania tribologiczne prowadzono w ruchu posuwisto-zwrotnym podczas rozruchu, kojarząc badany materiał z typowymi metalami stosowanymi w chirurgii implantacyjnej: stalą austenityczną ANSI 316L oraz stopem tytanu Ti6Al4V.

Analizowano zmiany współczynnika tarcia statycznego μ_0 związanego z naciskiem p (w zakresie $0,5 \div 2,5$ MPa) w zależności od dawki napromienienia polietylenu PE-UHMW (w zakresie 25-250 kGy), dla obu rodzajów metalowych przeciwpróbek.

Ustalono, że wraz ze wzrostem nacisku jednostkowego (w badanym zakresie) wartości współczynnika tarcia statycznego, co typowe, maleją. Stwierdzono, że optymalna dawka promieniowania, ze względu na wartość siły tarcia, mieści się pomiędzy 100 a 250 kGy, dla wszystkich badanych nacisków oraz skojarzeń materiałowych.

Mechanizm zmniejszenia wartości oporów tarcia w tym przypadku nie został rozpoznany i wymaga prowadzenia dalszych badań, podobnie jak wyznaczenie oporów tarcia kinetycznego.

WPROWADZENIE

Rozwój inżynierii biomedycznej, a w tym biotribologii, w ostatnich latach staje się coraz bardziej intensywny. Ograniczona ilość materiałów ślizgowych stosowanych w inżynierii implantów powoduje konieczność prowadzenia prac nad modyfikacją znanych i dopuszczonych do zastosowania materiałów. Jednym z podstawowych materiałów ślizgowych stosowanych na węzły tarcia endoprotez jest polietylen o ultrawysokim ciężarze cząsteczkowym (PE-UHMW). Wieloletnie badania wskazują, iż komponenty endoprotez wykonane z PE-UHMW podlegają większej intensywności zużycia niż elementy wykonane z materiałów metalicznych [L. 1, 2]. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy może stanowić wrażliwość na działanie promieniowania wysokoenergetycznego [L. 3].

Z kolei obecnie wzrasta znaczenie sterylizacji radiacyjnej wykorzystującej promieniowanie γ lub elektronowe na etapie wytwarzania polietylenowych komponentów, zwykle w zakresie dawek 25–35 kGy [L. 4].

Wartość dawek stosowanych w podstawowej metodzie diagnostycznej pacjentów po endoprotezoplastyce, jaką pozostaje metoda zdjęć RTG, jest kilka rzędów wielkości niższa niż wartość dawek promieniowania, na jakie narażone są wcześniej komponenty wykonane z polietylenu na etapie sterylizacji. Jednak biorąc pod uwagę fakt, iż skutki oddziaływania promieniowania kumulują się

w polimerach, finalnie nawet niewielkie, lecz skumulowane dawki promieniowania na etapach wytwarzania i późniejszej eksploatacji, mogą wpływać na własności polietylenowych komponentów [L. 5].

Wiadomo jest również, iż w agresywnym środowisku biologicznym w wyniku starzenia zmianie ulegają zarówno własności wytrzymałościowe, jak i tribologiczne polietylenu PE-UHMW [L. 6].

Przedmiotem dociekań w ramach przeprowadzonych badań było zatem tarcie spoczynkowe występujące pomiędzy napromieniowanym różnymi dawkami promieniowania jonizującego polietylenem PE-UHMW a typowymi metalami stosowanymi w chirurgii implantacyjnej. W ramach przeprowadzonych badań próbki wykonane z polietylenu współpracowały z: nierdzewną stalą austenityczną AISI 316L oraz stopem tytanu Ti6Al4V, czyli materiałami powszechnie występującymi w endoprotezoplastyce stawów pod postaciami trzpieni, głów trzpieni i innych komponentów endoprotez. W wielu rozwiązaniach endoprotez materiały te współpracują w węzłach ślizgowych z panewkami oraz wkładkami wykonanymi z polietylenu PE-UHMW.

Należy zauważyć, iż znajomość oraz umiejętność wpływania na wartość współczynnika tarcia statycznego jest niezwykle istotna podczas projektowania węzłów ślizgowych endoprotez [L. 7, 8]. Posiadając podstawowe charakterystyki tribologiczne, można ograniczać straty wynikające z negatywnych przejawów występowania tarcia [L. 9].

MATERIAŁY I METODY POMIAROWE

Badaniom poddano polietylen o ultrawysokim ciężarze cząsteczkowym (PE-UHMW) o nazwie handlowej Chirulen® GUR 1020.

W celu analizy wpływu promieniowania jonizującego na własności tribologiczne badanego materiału poddano go oddziaływaniu promieniowania elektronowego w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Polietylen został podzielony na cztery grupy, a następnie trzy z grup zostały napromieniowane z wykorzystaniem liniowego akceleratora elektronów typu LAE 19/3 następującymi dawkami promieniowania:

- 25 kGy,
- 100 kGy,
- 250 kGy.

Próbki napromieniowano wielokrotnością dawki 25 kGy, aby zminimalizować nadmierny wzrost temperatury materiału. Napromieniowanie odbyło się w warunkach swobodnego dostępu powietrza i w temperaturze otoczenia. Warunki te odzwierciedlają warunki występujące podczas przeprowadzania sterylizacji radiacyjnej.

Polietylen dodatkowo poddano starzeniu w płynie Ringera, co miało odpowiadać starzeniu w środowisku biologicznym. Starzenie, czyli czas ekspozy-

cji materiału w płynie Ringera, w temperaturze otoczenia, wynosił 12 tygodni. Intensyfikacja starzenia polegała na przechowywaniu polietylenu PE-UHMW w płynie Ringera o zwiększonym (20-krotnie) stężeniu [L. 10, 11]. Skład płynu Ringera był następujący: chlorek sodu (170,2 g/l), chlorek potasu (6,0 g/l), chlorek wapnia (9,6 g/l). Po oszacowaniu dawek promieniowania elektronowego i starzeniu w płynie Ringera materiał usystematyzowano w czterech kategoriach – zależnie od stopnia napromieniowania oraz uwzględniając polietylen w stanie wyjściowym.

Tak przygotowany materiał badawczy został wykorzystywany również w toku badań opisanych we wcześniejszych pracach [L. 5, 10, 11].

Następnie z polietylenowych prostopadłościaków na wiertarce precyzyjnej wycięto próbki w postaci walców o średnicy 4 mm, korzystając z przygotowanego w tym celu wiertła rurowego i w warunkach smarowania roztworem chlorku sodu.

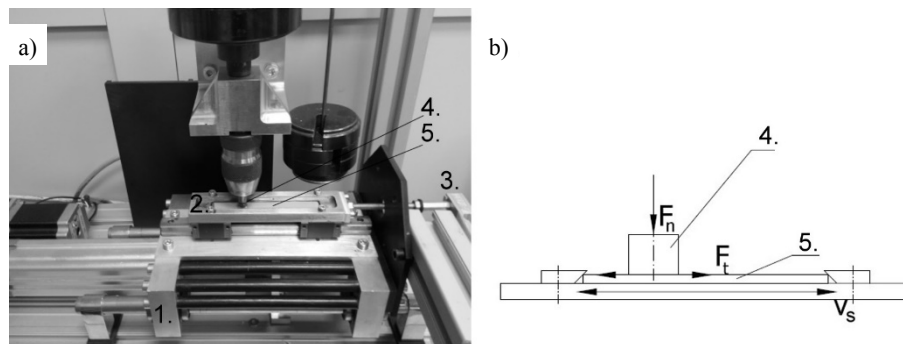
Badania współczynnika tarcia statycznego wykonano podczas współpracy polietylenu ze stałą austenityczną ANSI 316L oraz stopem tytanu Ti6Al4V. Wartości chropowatości uwzględnionych w badaniach materiałów metalicznych, które zestawiono w Tabeli 1, są zbliżone do wartości polerowanych części trzpieni endoprotez stawu biodrowego, w tym głów trzpieni współpracujących z panewkami wykonywanymi z polietylenu PE-UHMW. Przedstawione w Tabeli 1 wartości parametrów chropowatości (R_a , R_z i R_{max}) zostały uzyskane wyłącznie na podstawie badań profilometrycznych (2D). Wybór parametrów wynikał z dostępności aparatury badawczej oraz z faktu, iż chropowatość nie była jednym ze zmiennych parametrów eksperymentu. Natomiast zebrane parametry chropowatości mają na celu zobrazowanie geometrycznego stanu powierzchni metalowych komponentów wykorzystywanych w badaniach.

Tabela 1. Zestawienie wartości chropowatości badanych materiałów metalicznych
Table 1. A comparison of the surface roughness values of the tested metallic materials

	316L			Ti6Al4V		
	1	2	3	1	2	3
R_a	0,26	0,26	0,25	0,10	0,09	0,07
R_z	2,30	2,10	2,30	0,80	0,70	0,70
R_{max}	3,50	2,70	4,50	1,00	0,80	1,00
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]

Próby prowadzono w ruchu liniowym przemiennym dla węzła tarcia typu trzpień–płytką. Eksperyment uwzględniał stałą wartość chropowatości powierzchni elementu metalowego oraz czas spoczynku pomiędzy cyklami ruchowymi.

Badania tribologiczne prowadzono w ruchu posuwisto-zwrotnym podczas rozruchu. Do pomiarów wykorzystano skonstruowane w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej stanowisko badawcze (**Rys. 1**), którego zasada działania została opisana w pracy [**L. 12**]. Wspomniane urządzenie daje możliwość prowadzenia badań tarcia ślizgowego w ruchu przemiennym i zostało wykorzystane wielokrotnie w podobnych badaniach [**L. 13, 14**].



Rys. 1 a) Stanowisko badawcze zastosowane do wyznaczenia siły tarcia statycznego w ruchu posuwistym, **b)** schemat kinematyczny zastosowanego stanowiska. Elementy stanowiska: 1 – wózek dolny, 2 – wózek górny, 3 – czujnik siły tarcia, 4 – próbka (walec polimerowy), 5 – przeciwpróbka (płytko metalowa) [**L. 14**]

Fig. 1 a) A picture of a testing stand for the research of a static friction in case of a reciprocating movement, b) a kinematic scheme of the testing stand. Elements: 1 – lower platform, 2 – upper platform, 3 – friction force sensor, 4 – sample (polymer pin), 5 – counterspecimen (metal plate) [**L. 14**]

W trakcie przeprowadzonych badań próbka w postaci polimerowego walca dociskana była siłą F_n do metalowej przeciwpróbki (płytki ze stali AISI 316L lub stopu tytanu Ti6Al4V) poprzez układ obciążeniowy.

Stanowisko badawcze umożliwiało wywołanie ustalonego ruchu metalowej płytki (przeciwpróbki) względem próbki polimerowej z określoną prędkością v_s i przemieszczeniem s . Siła powodująca ruch F_t była rejestrowana z częstotliwością 100 Hz. Schemat pary trącej zastosowany podczas badań został przedstawiony na **Rysunku 1b**.

Cykl ruchowy składał się z powolnych przemieszczeń w dwóch przeciwnych kierunkach wymuszanych narastającą liniowo siłą. Pomiedzy ruchami występowała przerwa wynosząca 2 s. Przemieszczenia w przeciwnych kierunkach były różne i wynosiły odpowiednio: 2 mm i 2,5 mm, co powodowało zmianę punktu zerwania przyczepności dla każdego z cykli pomiarowych. Element podatny (ciągnio) zastosowany w układzie napędowym pomiędzy czujnikiem siły a siłownikiem napędowym powodował podczas ruchu siłownika z prędkością $v_s = 1$ mm/s liniowe narastanie siły, bez zerwania styku w badanym

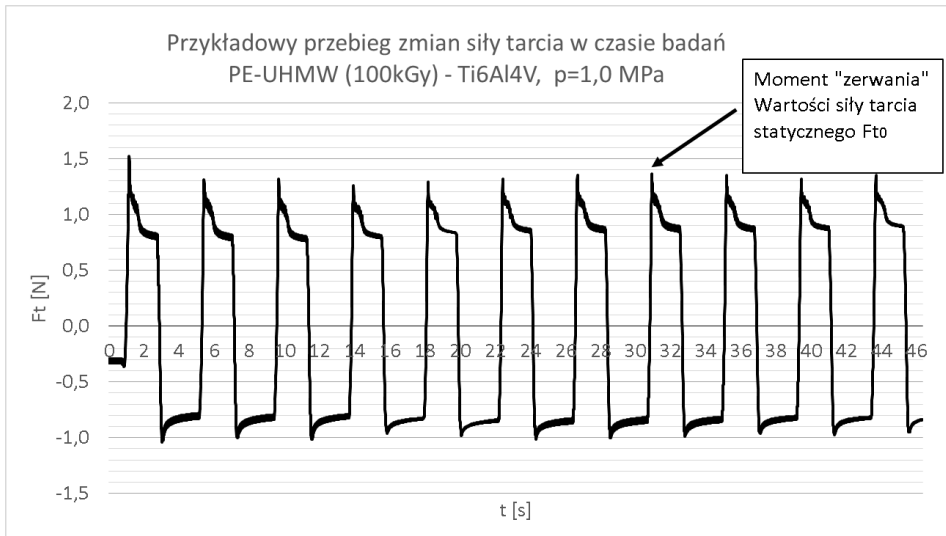
węźle tarcia. W chwili uzyskania przez siłę tarcia F_t wartości równej sile tarcia statycznego F_{t0} pomiędzy badanymi materiałami następował ruch względny. Przejście tarcia statycznego w kinetyczne powodowało natychmiastowe zmniejszenie wartości mierzonej siły.

WYNIKI I DYSKUSJA

Dla każdej serii pomiarowej rejestrowano w sposób ciągły wartość siły tarcia. Z uzyskanego przebiegu, na podstawie analizy sygnałów, wyznaczone zostały piki maksymalnej wartości siły tarcia dla każdego cyklu. Piki te były wartościami siły tarcia zmierzonej w momencie zerwania styku pomiędzy badanymi materiałami.

W celu ukazania sposobu uzyskania wartości sił tarcia statycznego na **Rysunku 2** przedstawiono przykładowy przebieg zmian siły tarcia dla badanej pary trącej PE-UHMW (100 kGy) – Ti6Al4V przy nacisku $p = 1,0$ MPa. Dla każdej pary trącej przy ustalonym nacisku jednostkowym przeprowadzono 3 serie pomiarów liczące po 10 cykli. Wartość siły tarcia statycznego dla pierwszego cyklu odrzucano ze względu na przypadkowy czas postoju przed zerwaniem. Wpływ czasu postoju na wartości siły tarcia statycznego został wykazany i opisany w pracy [L. 15].

Na podstawie 30 pomiarów wyznaczano średnie wartości siły tarcia statycznego oraz odchylenie standardowe jako wskaźnik błęd pomiaru.



Rys. 2. Przykładowy przebieg zmian siły tarcia F_t zarejestrowanej podczas badań. Piki na początku cyklu są wartościami siły tarcia statycznego

Fig. 2. An exemplary diagram of the friction force F_t recorded during the experiment. Peaks at the beginning of cycle are the values of a static friction force

Dla badanych par ślizgowych zostały wyznaczone charakterystyki zależności współczynnika tarcia statycznego μ_0 od nacisku jednostkowego p w zakresie $0,5 \div 2,5$ MPa. Uzyskane opisaną metodą wartości współczynnika tarcia statycznego dla obydwu badanych skojarzeń materiałowych wraz z odchyleniami standardowymi zostały zestawione w **Tabelach 2 i 3**. Zestawione wartości są wielkościami średnimi ze wszystkich pomiarów uzyskanych w 3 seriach. Jako miarę błędu pomiaru przyjęto odchylenie standardowe σ .

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują na istotny wpływ zarówno nacisku jednostkowego, jak i dawki promieniowania jonizującego na wartość współczynnika tarcia statycznego.

Tabela 2. Zestawienie średnich wartości współczynnika tarcia statycznego μ_0 w zależności od nacisku jednostkowego p i dawki promieniowania dla pary materiałów: polietylen PE-UHMW i stal AISI 316L, wraz z odchyleniami standardowymi

Table 2. A comparison of the average values of the static friction coefficient μ_0 depending on the contact pressures p and the ionizing dose for: the polyethylene in association with the ANSI 316L stainless steel (standard deviation included)

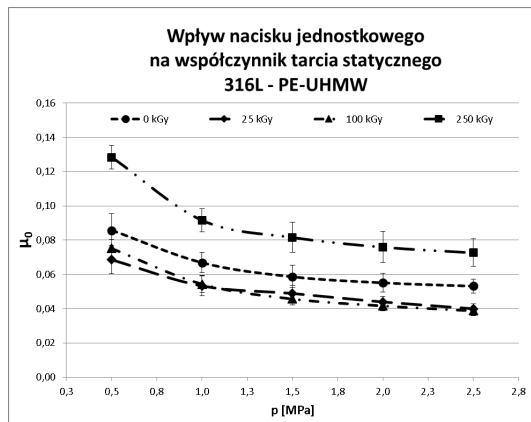
	316L							
	0 kGy		25 kGy		100 kGy		250 kGy	
p [MPa]	μ_0	σ	μ_0	σ	μ_0	σ	μ_0	σ
0,5	0,086	0,0192	0,069	0,0168	0,075	0,0105	0,128	0,0137
1,0	0,067	0,0120	0,053	0,0117	0,054	0,0100	0,092	0,0135
1,5	0,059	0,0132	0,049	0,0092	0,046	0,0071	0,082	0,0174
2,0	0,055	0,0111	0,044	0,0066	0,042	0,0058	0,076	0,0182
2,5	0,053	0,0082	0,040	0,0060	0,039	0,0056	0,073	0,0160

Tabela 3. Zestawienie średnich wartości współczynnika tarcia statycznego μ_0 w zależności od nacisku jednostkowego p i dawki promieniowania dla pary materiałów: polietylen PE-UHMW i stop tytanu Ti6Al4V, wraz z odchyleniami standardowymi

Table 3. A comparison of the average values of the static friction coefficient μ_0 depending on the contact pressures p and the ionizing dose for: the polyethylene in association with the Ti6Al4V titanium alloy (standard deviation included)

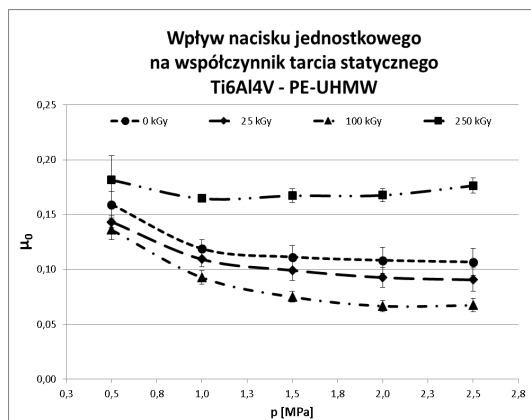
	Ti6Al4V							
	0 kGy		25 kGy		100 kGy		250 kGy	
p [MPa]	μ_0	σ	μ_0	σ	μ_0	σ	μ_0	σ
0,5	0,159	0,0242	0,143	0,0109	0,136	0,0185	0,182	0,0445
1,0	0,119	0,0167	0,109	0,0142	0,093	0,0121	0,165	0,0066
1,5	0,111	0,0210	0,099	0,0182	0,075	0,0098	0,167	0,0125
2,0	0,108	0,0237	0,093	0,0183	0,067	0,0104	0,168	0,0121
2,5	0,107	0,0249	0,091	0,0215	0,067	0,0127	0,176	0,0138

Wykresy sporządzono w celu graficznej reprezentacji uzyskanych wyników oraz przedstawienia wpływu nacisku jednostkowego na współczynnik tarcia statycznego dla poszczególnych dawek promieniowania. Wykres na **Rysunku 3** przedstawia wyniki uzyskane dla skojarzenia polietylen–stal 316L, a **Rysunek 4** ilustruje wyniki dla pary polietylen–stop tytanu Ti6Al4V. W celu wykazania wpływu dawki promieniowania na tarcie statyczne na wykresie słupkowym (**Rys. 5**) uśrednione zostały wartości współczynnika tarcia dla wszystkich badanych nacisków jednostkowych.



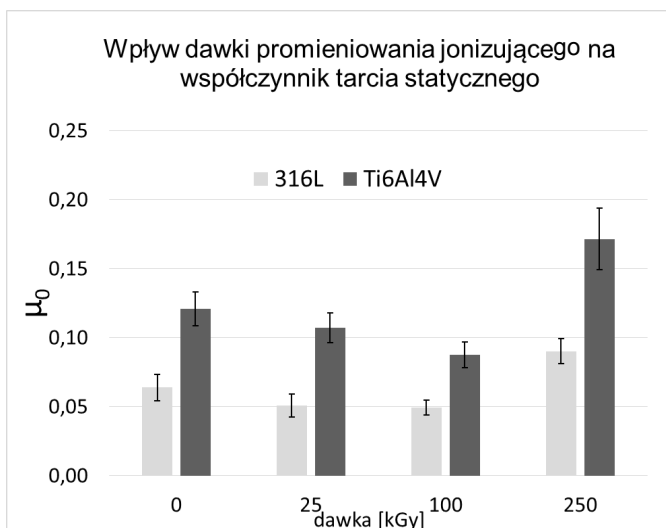
Rys. 3. Wyniki uzyskane dla skojarzenia materiałowego polietylen PE-UHMW–stal 316L (współczynnik tarcia statycznego μ_0 w funkcji nacisku p)

Fig. 3. The results obtained for a combination: PE-UHMW polyethylene–ANSI 316L stainless steel (the static friction coefficient μ_0 as a function of the contact pressure p)



Rys. 4. Wyniki uzyskane dla skojarzenia materiałowego polietylen PE-UHMW–stop tytanu Ti6Al4V (współczynnik tarcia statycznego μ_0 w funkcji nacisku p)

Fig. 4. The results obtained for a combination: PE-UHMW polyethylene–Ti6Al4V titanium alloy (the static friction coefficient μ_0 as a function of the contact pressure p)



Rys. 5. Zestawienie uśrednionych wartości współczynnika tarcia μ_0 dla wszystkich wyznaczonych nacisków jednostkowych p w zależności od dawki napromieniowania polietylenu w obu skojarzeniach: ze stałą AISI 316L oraz stopem tytanu Ti6Al4V

Fig. 5. A comparison of the average values of the static friction coefficient μ_0 for all obtained values of the contact pressures p depending on the ionizing dose for polyethylene in both associations with: the ANSI 316L stainless steel and the Ti6Al4V titanium alloy

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Uzyskane wartości współczynnika tarcia wyraźnie podlegają wpływowi zarówno nacisku jednostkowego, jak i dawki promieniowania.

Dla dwóch rodzajów badanych skojarzeń materiałowych przebieg zmian współczynnika tarcia statycznego od wspomnianych parametrów można podsumować następującymi wnioskami:

- Wraz ze wzrostem nacisku jednostkowego w badanym zakresie (0,5÷2,5 MPa) wartości współczynnika tarcia statycznego maleją. Zależność ta jest typową dla polimerowych węzłów tarcia i koresponduje z wynikami innych badań tribologicznych [L. 16] oraz jest zgodna z postulatami adhezyjnej i molekularno-adhezyjnej teorii tarcia.

Wpływ dawki promieniowania nie zmienia charakteru wpływu nacisku jednostkowego. Może to oznaczać, że modyfikacja radiacyjna polimeru, a przez to zmiana jego własności mechanicznych nie zmieniła charakteru styku w obszarze deformowania mikronierówności.

- Polimery poddane promieniowaniu jonizującemu o wartości 100 kGy wykazywały zmniejszanie się wartości współczynnika tarcia statycznego. Z kolei dla dawki 250 kGy występuje wyraźny wzrost oporów tarcia statycznego dla wszystkich badanych nacisków oraz skojarzeń materiałowych. Uzyskane

wartości współczynnika tarcia statycznego są wyższe niż dla materiału niemodyfikowanego. Najwyższa z badanych dawek promieniowania mogła zatem zmienić własności mechaniczne polimeru na tyle, że składowa mechaniczna związana z odkształcaniem mikronierówności zwiększyła znacznie wartość współczynnika tarcia statycznego.

W celu potwierdzenia tej hipotezy niezbędne jest jednak przeprowadzenie badań energii powierzchniowej i oszacowanie składowej adhezyjnej badanego skojarzenia. Należy zwrócić uwagę, iż na podstawie przeprowadzonych badań nie można wyznaczyć optymalnej dawki promieniowania, dla której wartość siły tarcia statycznego jest najmniejsza, co również powinno stanowić przedmiot kontynuacji podjętych prac. Można jedynie stwierdzić, że optymalna dawka promieniowania, ze względu na wartość siły tarcia, mieści się pomiędzy 100 a 250 kGy.

- Uzyskane wyniki potwierdzają pozytywny wpływ napromieniowania na własności tribologiczne polietylenu o ultrawysokim ciężarze cząsteczkowym. Proces sieciowania nie tylko powoduje utwardzenie materiału zwiększające odporność na ścieranie [L. 1], ale również do pewnej wartości dawki (100 kGy) obniża wartość współczynnika tarcia statycznego.

Wyniki badań tribologicznych wskazują jako optymalną dawkę promieniowania 100 kGy, natomiast znane z literatury badania własności mechanicznych wskazują na poprawę własności mechanicznych jedynie dla dawki promieniowania do 25 kGy [L. 10, 11]. W przypadku stosowania obróbki radiacyjnej polietylenu należy więc określić, czy proces sieciowania ma na celu poprawę własności mechanicznych czy tribologicznych.

- Mechanizm zmniejszenia wartości oporów tarcia nie został poznany i wymaga prowadzenia dalszych badań, podobnie jak wyznaczenie oporów tarcia kinetycznego. Można jedynie domniemywać, iż mechanizm ten może być związany ze zmianami własności mechanicznych polimeru, a co za tym idzie wpływem na składową mechaniczną oporów tarcia.

LITERATURA

1. Gierzyńska-Dolna M.: Odporność na zużycie materiałów stosowanych na endoprotezy. *Mechanika w medycynie*, Rzeszów, 1996, s. 131-142.
2. Otfinowski J., Pawelec A.: Wady i zalety polietylenu jako elementu endoprotezy stawu biodrowego. I Sympozjum Inżynierii Ortopedycznej i Protetycznej, Białystok, 1997, s. 161-169.
3. Kostrzewa B., Szewieczek D.: Wybrane zagadnienia wpływu oddziaływania promieniowania jonizującego na biopolimery. *Inżynieria Materiałowa*, nr 2, 1999, s. 82-85.
4. Costa L., Luda M.P., Trosarelli L. et al.: Oxidation in orthopaedic UHMWPE sterilized by gamma-radiation and ethylene oxide. *Biomaterials*, vol. 19, 1998, pp. 659-668.

5. Podrez-Radziszewska M.: Uwarunkowania materiałowe i biomechaniczne trwałości i stabilności implantów. Rozprawa doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 2005.
6. Jasiński R., Kowalewski P., Litwin A.: Wpływ zużycia zmęczeniowego PE-UHMW stosowanego na panewki endoprotez na jego własności tribologiczne. *Tribologia*, nr 2, 2013, s. 95–102.
7. Jeremic B., Vukelic D., Todorovic P.M. et al.: Static friction at high contact temperatures and low contact pressure. *Journal of Friction and Wear*, vol. 34–2, 2013, pp. 114–119.
8. Dunkin J.E., Kim D.E.: Measurement of static friction coefficient between flat surfaces. *Wear*, vol. 193, 1996, pp. 186–192.
9. Lawrowski Z.: *Tribologia. Tarcie, zużycie i smarowanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
10. Podrez-Radziszewska M., Bąkowski D., Lachowicz M. i wsp.: Charakterystyka twardości i właściwości wytrzymałościowych UHMWPE po napromieniowaniu wiązką elektronów. *Inżynieria Materiałowa*, vol. 27, nr 2, 2006, s. 75–78.
11. Podrez-Radziszewska M., Lachowicz M., Dudziński W. i wsp.: Zmiany właściwości mechanicznych i rozwoju pęknięć polietylenu UHMW po obróbce radiacyjnej. *Inżynieria Materiałowa*, vol. 27, nr 3, 2006, s. 651–654.
12. Kowalewski P., Wieleba W., Leśniewski T.: Stanowisko do badań tribologicznych w złożonym ruchu cyklicznym toczno-ślizgowym. *Tribologia*, nr 2, 2007, 303–311.
13. Pawelec Z., Kowalewski P.: Właściwości mechaniczne i współczynnik tarcia statycznego kompozytów metalopolimerowych przeznaczonych do regeneracji układów przewodniczących obrabiarek skrawających. *Tribologia*, nr 3, 2013, s. 97–108.
14. Dobrowolska A., Kowalewski P., Ptak A.: Wpływ nacisku jednostkowego na współczynnik tarcia statycznego wybranych par ślizgowych metal-polimer. *Tribologia*, nr 4, 2014, s. 21–32.
15. Capanidis D., Kowalewski P., Wieleba W.: Wpływ wartości nacisku oraz czasu jego działania w okresie spoczynku na współczynnik tarcia statycznego PA i POM po stali. *Uszczelnienia i technika uszczelniania maszyn i urządzeń: międzynarodowa XII konferencja naukowo-techniczna*, Wrocław – Kudowa Zdrój, 2010, s. 50–58.
16. Rymuza Z.: *Tribologia polimerów ślizgowych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.

Summary

The paper describes an investigation of a static friction coefficient of PE-UHMW polyethylene subjected to ionizing radiations and aging, which imitated a biological influence of the human body on the tested material. Tribological tests were conducted in a reciprocating motion at the beginning of movement against ANSI 316L austenitic stainless steel and Ti6Al4V titanium alloy, both common materials applied in implantation surgery. Changes in the static friction coefficient were analysed in association with a contact pressure (in the range 0.5–2.5 MPa) depending on the ionizing radiation dose of PE-UHMW (in the range 25–250 kGy), for both kinds of metal counter samples. The studies confirmed that the static friction coefficient decreases with an increase in contact pressure (in the tested range). It has been found that the optimal ionizing radiation dose, due to the friction value, falls between 100 and 250 kGy, for all tested contact pressures and material couples. The mechanism of the reduction in frictional resistance values has not been identified in this case and requires further research, and the kinetic friction resistance needs to be determined.