

Piotr DUDA*, Jerzy CYBO*

WPLYW PREPARATÓW KRWI NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE SKOJARZENIA UHMWPE/STOP CoCrMo

THE INFLUENCE OF BLOOD PREPARATIONS ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THE UHMWPE/STOP CoCrMo ALLOY COUPLE

Słowa kluczowe:

tarcie, zużycie, właściwości tribologiczne, osocze krwi, surowica krwi

Key-words:

friction, wear, tribological properties, blood plasma, blood serum

Streszczenie

Wprowadzenie nowego materiału na implanty długookresowe, a zwłaszcza endoprotezy, powinno być poprzedzone kompleksowymi badaniami – w tym tribologicznymi. Niemożliwe do pominięcia badania eksploatacyjne in vitro materiałów stosowanych na endoprotezy należy przeprowadzić z jak najdokładniejszym odwzorowaniem warunków panujących w zaimplantowanym stawie. Pozwala to na w miarę dokładne określenie

* Zakład Badań Warstwy Wierzchniej, Katedra Materiałoznawstwa, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski, ul. Śnieżna 2, 41-200 Sosnowiec, tel. (032) 36-89-582.

zachowania badanego biomateriału w aspekcie długotrwałej eksploatacji w żywym organizmie. Do tej pory nie ma znormalizowanego środka smarującego, jaki powinien być stosowany w tego typu badaniach. Powyższa tematyka jest sporadycznie poruszana w literaturze.

Autorzy dążą do przedstawienia wpływu środków smarujących, w tym osocza krwi zwierzęcej i ludzkiej oraz surowicy krwi ludzkiej, na charakterystyki tribologiczne polimerowo-metalowego węzła tarcia. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów ujawniły inny przebieg tych charakterystyk dla preparatów krwi w porównaniu z wodą destylowaną oraz zmiany wartości współczynnika tarcia i intensywności zużywania przy różnych wartościach obciążenia i prędkości ślizgania. Media bazujące na krwi pochodzenia ludzkiego cechowały się większym rozrzutem oraz mniejszą jednoznacznością wyników niż pozostałe środki smarujące. Jest to niekorzystne w przypadku zastosowania czystej postaci tych mediów do badań tribologicznych. Przeprowadzone analizy wskazują na niedoskonałości preparatów krwiopochodnych, ale zarazem ukierunkowują w zakresie poszukiwania cieczy do zastosowań w długotrwałych badaniach tribologicznych *in vitro*.

WPROWADZENIE

Z punktu widzenia mechaniki stawy organizmów żywych są połączeniem doskonałym. Z tego względu od dawna pozostają w sferze zainteresowania ośrodków naukowych dążących do zgłębienia zasad ich działania i przeniesienia na grunt mechaniki urządzeń. Nawet tak doskonały układ, jakim jest połączenie stawowe może ulec uszkodzeniu w skutek urazu lub choroby. Obecne zaawansowanie technik medycznych pozwala na przywrócenie funkcjonalności uszkodzonego stawu poprzez zastąpienie go endoprotezą.

Dążenie do zwiększenia trwałości eksploatacyjnej endoprotez jest związane z poszukiwaniem nowych, doskonalszych biomateriałów i optymalizacją konstrukcji sztucznych stawów [L. 1, 2]. Wprowadzenie nowego materiału na implanty długookresowe, a zwłaszcza endoprotezy, powinno być zatem poprzedzone kompleksowymi badaniami tribologicznymi, w tym również na symulatorach stawów.

W wielu opracowaniach autorzy wskazują, że nie mają dostępu do symulatorów stawów, co powoduje, że i warunki przeprowadzania badań mogą się znacznie różnić [L. 3]. Do najważniejszych parametrów badań

zaliczyć należy: rodzaj materiałów partnerów tribologicznych, prędkość i rodzaj ruchu, obciążenie, parametry powierzchni współpracujących, rodzaj medium smarującego i temperatura medium.

W większości przypadków za najważniejszy uznaje się rodzaj materiałów głowy i panewki. Dużo mniejszą uwagę zwraca się natomiast na rodzaj medium smarującego, mającego istotny wpływ na charakterystyki tribologiczne. Z tego względu autorzy przyjęli za cel pracy wykazanie różnic między charakterystykami tribologicznymi uzyskanymi przy zmiennym rodzaju medium smarującego dla identycznej pary materiałowej i pozostałych warunków tribologicznych. Wykorzystano wodę destylowaną jako odnośnik oraz osocze i surowicę krwi ludzkiej, a także osocze krwi zwierzęcej (bydłowej), których skład odzwierciedla w przybliżeniu środowisko, w jakim pracuje sztuczny staw.

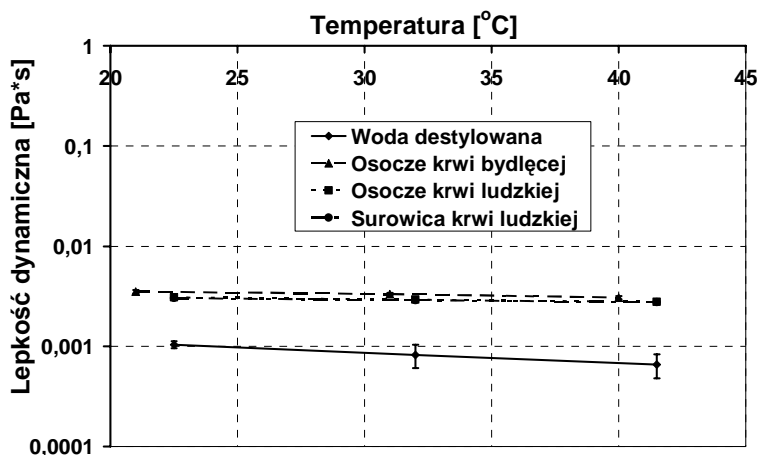
STANOWISKO I METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano stanowisko typu trzpień–tarcza T-01 (produkcji ITeE – PIB), ze względu na prostotę wykonania próbek oraz możliwość dokładnego określenia: siły i współczynnika tarcia, zmiany wymiaru liniowego próbki oraz temperatury medium. Do współpracy tribologicznej wybrano materiały: polietylen o wysokim ciężarze cząsteczkowym – stosowany na panewkę (o nazwie handlowej Chirulenu, GUR 1120) i stop Vitalium – stosowany na głowę. Powierzchnie przygotowano zgodnie z wytycznymi normy ISO 7206-2 [L. 4]. Badania przeprowadzono na drodze tarcia 1 km dla czterech prędkości poślizgu (0,1; 0,2; 0,3 i 0,4 m/s) i dwóch wariantów obciążenia węzła tarcia (0,5 i 1 MPa). Temperaturę otoczenia utrzymywano w zakresie $21 \pm 1^\circ\text{C}$, a wilgotność $50 \pm 5\%$. W każdym eksperymencie do węzła tarcia dozowano taką samą ilość cieczy smarującej w objętości $3,5 \text{ cm}^3$. Zużycie liniowe określano jako różnicę przemieszczeniem czujnika po teście (i etapie chłodzenia) i przed biegiem. Natomiast rozszerzalność cieplna została określona na podstawie zmian wymiaru liniowego w czasie chłodzenia węzła tarcia.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W celu wstępnego zobrazowania różnic pomiędzy wodą destylowaną i preparatami krwi przeprowadzono pomiary lepkości dynamicznej mediów smarujących za pomocą wiskozymetru Höpplera. Zakres badań dobrano, kierując się przewidywanymi wartościami, jakie osiągną środki

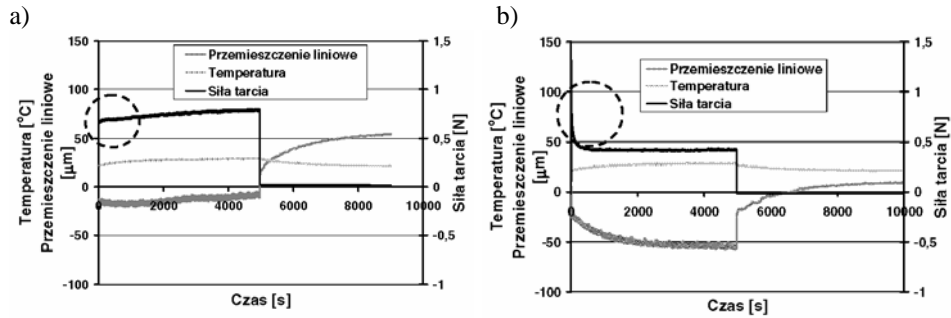
smarujące podczas badań. Wyniki (średnia z 10 pomiarów) przedstawiono na **Rys. 1**.



Rys. 1. Lepkość dynamiczna środków smarujących w funkcji temperatury
 Fig. 1. Dynamic viscosity of lubricating agents as a function of temperature

Analiza zmian lepkości wskazuje (**Rys. 1**), że największą wartość osiąga osocze krwi zwierzęcej, a nieznacznie niższą lepkością wykazują preparaty krwi pochodzenia ludzkiego. Mają one ponadtrzykrotnie większą lepkość dynamiczną niż woda destylowana. Dla wszystkich mediów smarujących, jak przewidywano, maleje lepkość wraz ze wzrostem temperatury.

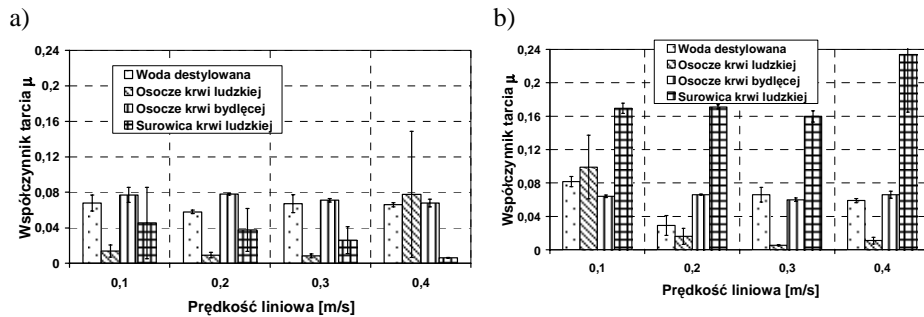
Początkowy etap współpracy tribologicznej także istotnie różnicuje preparaty krwi i wody destylowanej (**Rys. 2**), co potwierdzają również inne opracowania [**L. 5**]. Sposób przejścia od tarcia statycznego do kinetycznego jest odmienny dla omawianych mediów. W przypadku wody destylowanej obserwowany jest duży wzrost wartości siły tarcia już w pierwszych sekundach testu, która zaczyna szybko spadać do osiągnięcia ustabilizowanej wartości (**Rys. 2a**). Wszystkie preparaty krwi, podobnie jak w przypadku zaprezentowanego osocza krwi zwierzęcej (**Rys. 2b**), początkowo mają małą wartość siły tarcia, która logarytmicznie wzrasta do wartości ustabilizowanych. Prawdopodobnie główną przyczyną takiego zachowania się preparatów krwi jest zawartość protein, które tworzą warstwę graniczną, charakteryzującą się niższym współczynnikiem tarcia. Ma to istotne znaczenie, gdyż właśnie w przypadku krótkotrwałego ruchu stawu oraz w początkowym etapie jego przemieszczania się następuje największe zużycie elementów endoprotezy.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi dla: a) wody destylowanej, b) osocza krwi bydlęcej przy parametrach 0,2 m/s, 0,5 MPa

Fig. 2. Exemplary courses for: a) distilled water, b) bovine blood plasma with parameters: 0.2 m/s, 0.5 MPa

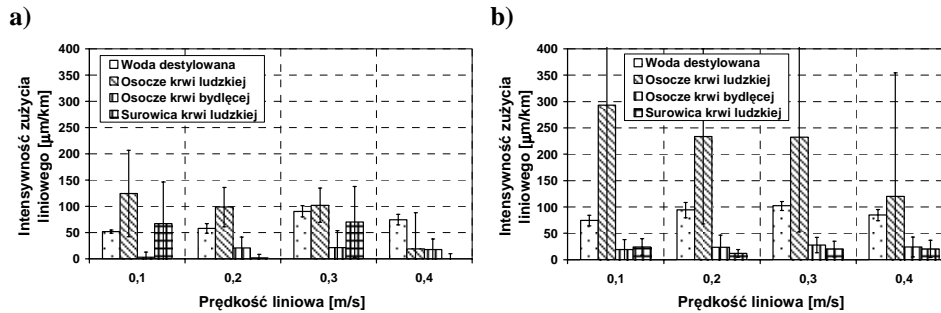
W artykule przedstawiono wyłącznie wyniki ustabilizowanego współczynnika tarcia (Rys. 3). Wśród preparatów krwi najbardziej reprezentatywne (stabilne) wyniki uzyskano dla osocze krwi zwierzęcej, gdzie nie występują znaczące różnice współczynnika tarcia dla różnych wartości nacisku i prędkości ślizgania. Osocze i surowica krwi ludzkiej przy mniejszym nacisku wykazywały niższe wartości współczynnika tarcia niż osocze zwierzęce. Zwiększenie nacisku do 1 MPa spowodowało jednak w przypadku surowicy znaczny, ponadczterokrotny wzrost współczynnika tarcia. Surowica i osocze krwi ludzkiej charakteryzowały się też największą wartością odchylenia standardowego wyników. Należy równocześnie zwrócić uwagę na zjawisko krzepnięcia, które dla osocza z obydwu źródeł pochodzenia uniemożliwiło przeprowadzanie dłuższych eksperymentów.



Rys. 3. Ustabilizowany współczynnik tarcia: a) przy nacisku 0,5 MPa; b) przy nacisku 1 MPa

Fig. 3. Stabilized friction coefficient: a) at load of 0.5 MPa; b) at load of 1 MPa

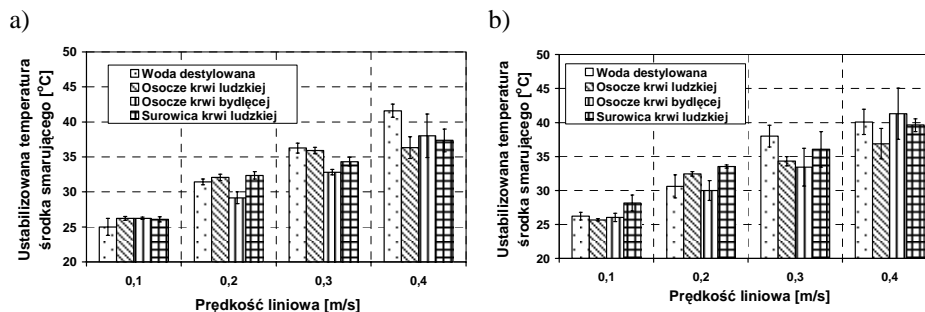
Stwierdzono ponadto, iż charakterystyki intensywności zużycia (**Rys. 4**) nie korelują z wynikami współczynnika tarcia (**Rys. 3**), zwłaszcza w przypadku zastosowania osocza krwi ludzkiej. Cechuje się ono największym zużyciem polimeru, szczególnie po zwiększeniu nacisku do 1 MPa (**Rys. 4b**).



Rys. 4. Intensywność zużycia liniowego: a) przy nacisku 0,5 MPa; b) przy nacisku 1 MPa

Fig. 4. Intensity of linear wear: a) at load of 0.5 MPa; b) at load of 1 MPa

Natomiast w przypadku użycia osocza krwi bydlęcej i surowicy krwi ludzkiej obserwuje się mniejszą intensywność zużycia materiału polimerowego niż przy zastosowaniu wody destylowanej. Większe różnice pomiędzy ludzką surowicą i osoczem bydlęcym zauważa się tylko dla mniejszego obciążenia węzła tarcia, gdzie wartości intensywności zużycia sięgają 70 μm/km (**Rys. 4a**).



Rys. 5. Ustabilizowana temperatura środka smarującego dla nacisku: a) 0,5 MPa; b) 1 MPa

Fig. 5. Stabilized temperature of a lubricating agent for load of: a) 0.5 MPa; b) 1 MPa

Analiza wyników ustabilizowanej temperatury medium smarującego potwierdza spodziewany wzrost temperatury wraz z rosnącą prędkością współpracy (**Rys. 5**). Otrzymane rezultaty nie wskazują natomiast na znacząco zwiększoną dyssypację energii pod wpływem większego obciążenia wężła.

PODSUMOWANIE

Z uwagi na różny sposób przejścia od tarcia statycznego do kinetycznego w przypadku użycia wody destylowanej i preparatów krwi oraz duże podobieństwo tych ostatnich do płynów ustrojowych występujących w sztucznych stawach, wskazanym jest stosowanie w badaniach układu biopolimer–metal mediów smarujących na bazie preparatów krwi. Ze względu na bardzo dużą intensywność zużycia oraz duży rozrzut ustabilizowanego współczynnika tarcia i intensywności zużycia liniowego, osocze krwi ludzkiej nie powinno być jednak stosowane do badań tribologicznych.

W przypadku badań par materiałowych przeznaczanych na implanty długookresowe należałoby zweryfikować charakterystyki tribologiczne uzyskane przy użyciu roztworów kwasu hialuronowego i Ringera oraz rozważyć możliwość stosowania ich mieszanin z preparatami krwi.

LITERATURA

1. Marciniak J.: Biomateriały. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Będziński R.: Biomechanika inżynierska. Oficyna Wyd. Pol. Wroc., Wrocław 1997.
3. Gierzyńska-Dolna M.: Biotribologia. Wyd. Pol. Częst., Częstochowa 2002.
4. ISO 7206-2 (1996): Implants for surgery – Partial and total hip joint prostheses.
5. Xiong D., Ge S.: Friction and wear properties of..., Wear 2001, 250, s. 242, 245.

Recenzent:
Marian W. SUŁEK

Summary

An introduction of a new material for long-term implants, especially for endoprostheses, should be preceded with comprehensive re-

search, including tribological tests. The *in vitro* operational tests of materials used for endoprostheses, which cannot be skipped, should be performed in conditions reflecting, as far as possible, those present in the implanted joint. This will allow a quite accurate description of the behaviour of the biomaterial tested in the aspect of its long-term life cycle in a living organism. So far, there has been no standard lubricating agent that should be used in this type of tests. The above problems are seldom discussed in the professional literature.

The authors of this paper intend to present the influence of lubricating agents, including the animal and human blood plasma and the human blood serum, on the tribological characteristics of the polymer-metal friction couple. The results of the experiments made have revealed a different course of tribological characteristics of blood preparations compared to those of distilled water as well as changes in the values of the friction coefficient and wear intensity at various loads and sliding speeds. Human blood-based products are characterised with a larger spread and lower explicitness of results than other lubricating agents. It is disadvantageous in the case of applying a pure form of these products for tribological tests. The analyses carried out show imperfections of blood derivative preparations but, at the same time, they dictate the direction of searching for a liquid to be used in long-term tribological *in-vitro* tests.