

Monika GIERZYŃSKA-DOLNA*, Tomasz RYBAK*,
Justyna WENDLAND**, Hanna WIŚNIEWSKA-WEINERT**

**METODYKA BADAŃ MATERIAŁÓW
I ELEMENTÓW ENDOPROTEZ
STAWU BIODROWEGO W INSTYTUCIE OBRÓBKI
PLASTYCZNEJ**

**METHODOLOGY OF MATERIALS AND HIP
ENDOPROTHESIS COMPONENTS INVESTIGATIONS
IN INOP**

Słowa kluczowe:

biomateriały, endoproteza stawu biodrowego, badania tarciowo-zużyciowe, obserwacja mikroskopowa powierzchni

Key-words:

biomaterials, hip endoprosthesis, friction-wear tests, microscope surface observation

Streszczenie

Prezentowano metodykę tribologicznych badań materiałów i elementów endoprotez stawu biodrowego. Badania prowadzone są na dwóch eta-

* Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, ul. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa.

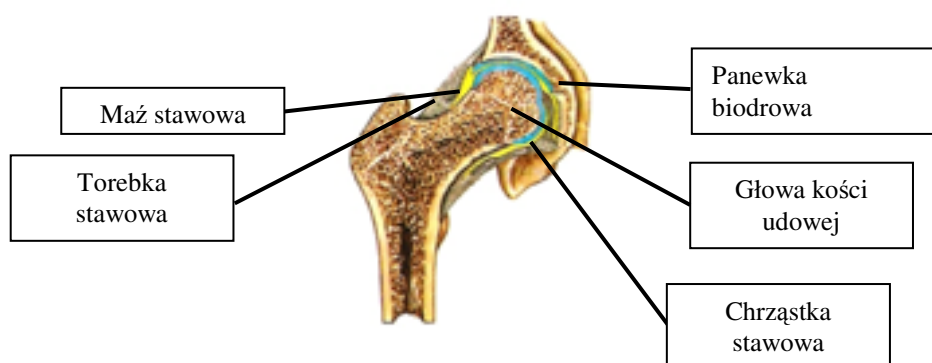
** Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań.

pach. Etap pierwszy dotyczy oceny różnych skojarzeń materiałowych pod względem oporów ruchu oraz badania odporności na zużycie za pomocą testera T-05 w styku rozłożonym. Etap drugi obejmuje badania tribologiczne par trących wytypowanych na pierwszym etapie pracy na symulatorze SBT-01 do badań elementów endoprotez stawu biodrowego. Symulator SBT-01 jest prototypowym urządzeniem badawczym zaprojektowanym i zbudowanym w Laboratorium Inżynierii Powierzchni i Tribologii Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu. Badania obejmują również analizę topografii i stanu powierzchni przed i po testach za pomocą profilometru, mikroskopu optycznego i SEM.

W artykule zaprezentowano wyniki badań panewki z UHMWPE w skojarzeniu z głową ze stopu CoCrMo. Wyznaczono krzywe momentu tarcia, obliczono pracę tarcia dla pojedynczych cykli oraz określono zużycie elementów endoprotezy. Wyznaczono także ciepło wydzielone w procesie tarcia.

WPROWADZENIE

Stawy biodrowe (**Rys. 1**) literatura medyczna określa jako stawy kuliste panewkowe. Pojedynczy staw składa się z panewki biodrowej mieszczącej się w kości miednicznej oraz główki stawowej wieńczącej kość udową. W zdrowym stawie biodrowym zarówno panewka, jak i główka pokryte są warstwą chrząstki stawowej. Staw otoczony jest torebką stawową. W jamie stawowej (tj. przestrzeni między główką stawową a panewką) znajduje się maź stawowa, umożliwiająca płynne ślizganie się główki stawowej w panewce podczas wykonywanego ruchu [**L. 1**].

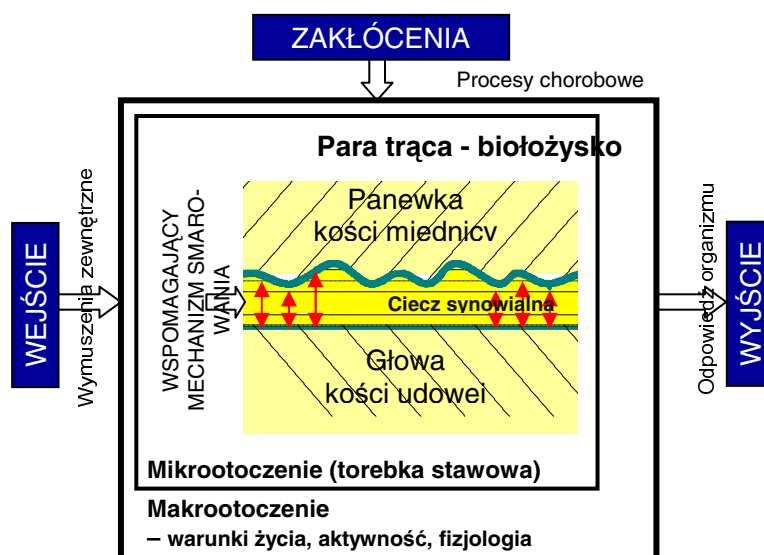


Rys. 1. Schemat budowy stawu biodrowego człowieka [L. 1]

Fig. 1. Human hip joint scheme [L. 1]

Staw biodrowy jako system tribologiczny stanowi węzeł tarcia gło-wa–panewka, zamknięty w torebce stawowej, smarowany mazią stawo-wą. Podczas poruszania się ciężar ciała przenoszony jest przez staw, przy czym wartość tego wymuszenia zależy od masy ciała oraz sposobu cho-du. Eksploatacja biologiczna, jakim jest staw biodrowy, zależy od aktywności, fizjologii i warunków życia danego osobnika. Schemat systemu tribologicznego, jakim jest staw biodrowy, przedstawiono na **Rys. 2**.

Pierwsza wymiana stawu biodrowego przeprowadzona w 1960 roku stanowi jeden z najważniejszych postępów ostatnich czasów w ortopedii i traumatologii. Od tego wydarzenia wprowadzono wiele ulepszeń w technice chirurgicznej, co znacznie zwiększyło skuteczność przeprowadzanych operacji. Jednym z głównych kierunków rozwoju endoprotez było zmniejszenie inwazyjności oraz wielkości nacięć przy operacji. Prowadzone są prace w kierunku polepszenia własności tribologicznych, a przez to zwiększenia trwałości stosowanych endoprotez [L. 2, 3, 4].



Rys. 2. Schemat stawu biodrowego jako systemu tribologicznego

Fig. 2. Hip joint as a tribological system

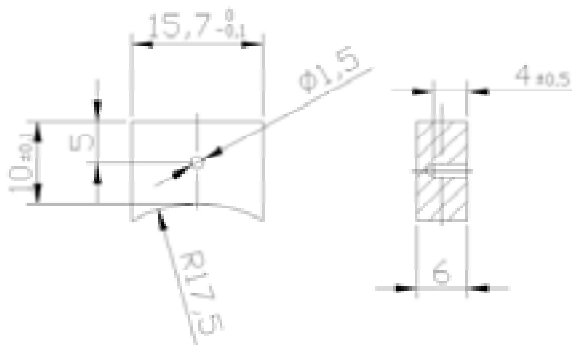
METODA I WARUNKI BADAŃ

Głównym celem badań realizowanych w pracy było wyznaczenie właściwości tribologicznych biomateriałów przeznaczonych na panewki endoprotez.

Badania prowadzono na dwu etapach:

- wstępne badania tribologiczne na testerze T-05,
- badania tarciovo-zużyciowe na symulatorze do badań elementów endoprotez SBT-01.

Badania na testerze T-05 wykonano w celu wyznaczenia charakterystyk tarciovo-zużyciowych wybranych skojarzeń materiałowych. Zastosowano próbkę typu blok z promieniem (**Rys. 3**) [**L. 5**].



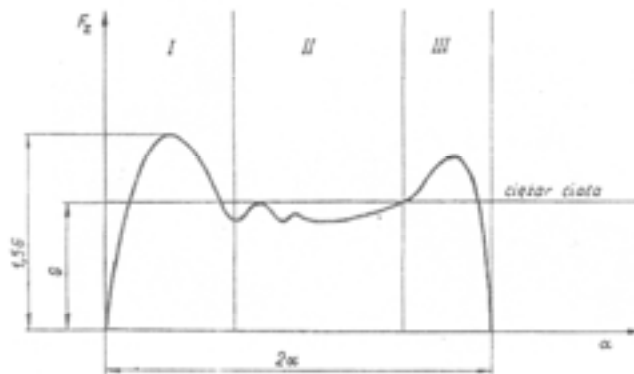
Rys. 3. Próbka typu blok z promieniem

Fig. 3. Sample - block with radius

Podczas badania na drodze tarcia 10 000 m przy obciążeniu 600 N zastosowano smarowanie ciągłe wodą destylowaną. Parę trącą stanowił blok z promieniem z UHMWPE (polietylen o ultrawysokiej masie cząsteczkowej) oraz pierścień ze stopu CoCrMo. Wyniki badań na testerze T-05 przedstawiono na **Rys. 5**. Przed i po badaniach tribologicznych próbki zostały poddane analizie topografii powierzchni z zastosowaniem profilometru Hommelwerke T8000 oraz za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego FEI Inspect S.

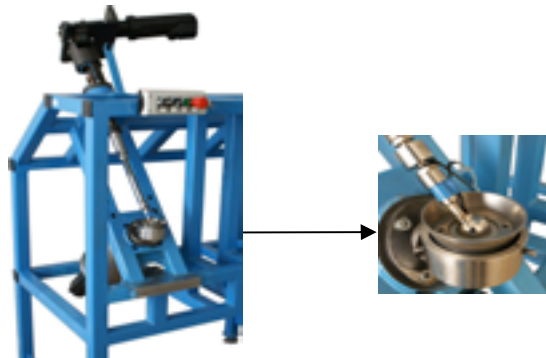
Na drugim etapie przeprowadzono testy na symulatorze do badań elementów endoprotez stawu biodrowego SBT-01 zbudowanego w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu. Symulator SBT-01 odwzorowuje rzeczywisty ruch i obciążenie, jakie ma miejsce w stawie biodrowym człowieka w czasie chodu. Model ruchu składa się ze złożenia ruchu przemieszczenia liniowego głowy oraz ruchu obrotowego panewki. Możliwy kąt obrotu panewki zawiera się w przedziale od -30° do $+30^\circ$. Próby prowadzono przy dwóch zakresach kąta obrotu panewki biodrowej: $(-20^\circ; +20^\circ)$ oraz $(-15^\circ; +25^\circ)$. Podczas badań na symulatorze przyjęto sinusoidalny model przebiegu obrotu panewki biodrowej. Jako środek smarujący zastosowano wodę destylowaną.

Idea stanowiska badawczego powstała na podstawie analizy przeprowadzonej przez Będzińskiego [L. 6] uwzględniającej reakcję podłoża podczas chodu dorosłego człowieka. Wyróżnia on trzy fazy zmienności reakcji podłoża w czasie kroku naprzemiennego człowieka. Przebieg zmiany składowej pionowej reakcji podłoża F w funkcji kąta obrotu 2α głowy względem panewki w stawie biodrowym podczas chodu człowieka pokazano na **Rys. 4**. Symulator (**Rys. 5**) pozwala na rejestrację momentu tarcia, siły docisku, temperatury węzła tarcia, pozycji elementu imitującego kość udową, a także ustawienia kąтового panewki biodrowej. Układ rejestracji danych przedstawiono na **Rys. 6**. Badaniom poddano głowę ze stopu CoCrMo oraz panewkę z UHMWPE.



Rys. 4. Przebieg zmiany składowej pionowej reakcji podłoża F_z w funkcji kąta obrotu 2α w stawie biodrowym podczas chodu człowieka [L. 7]

Fig. 4. Vertical component of ground reaction F_z vs rotation angle 2α during human walk [L. 7]



Rys. 5. Symulator do badań elementów endoprotez stawu biodrowego SBT-01

Fig. 5. Simulator SBT-01 for hip endoprosthesis investigations

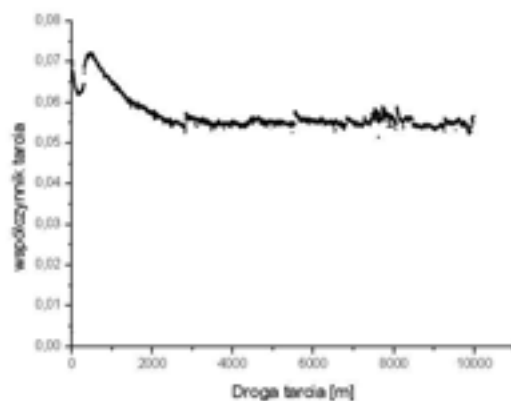


Rys. 6. Układ rejestracji danych

Fig. 6. Data recording system

WYNIKI BADAŃ

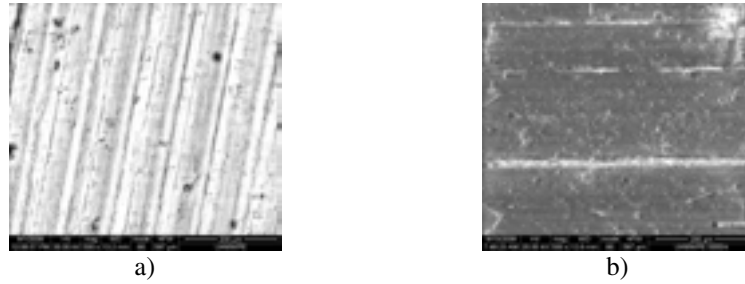
Na Rys. 7 przedstawiono zależność współczynnika tarcia od drogi tarcia.



Rys. 7. Współczynnik tarcia w funkcji drogi poślizgu dla pary trącej: blok UHMWPE, pierścień CoCrMo

Rys. 7. Friction coefficient vs slipping distance for friction couple: UHMWPE block, CoCrMo ring

Z przedstawionego na Rys. 7 przykładowego przebiegu współczynnika tarcia na drodze 10 000 m wynika, iż wartość współczynnika tarcia dla pary trącej UHMWPE/CoCrMo po dotarciu utrzymuje się poniżej 0,06. Na drugim etapie materiał UHMWPE poddano badaniu na symulatorze do badań elementów endoprotez stawu biodrowego SBT-01. Badane próbki z UHMWPE wykazały zużycie na poziomie 10^{-12} [$\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{N}$]. Podczas procesu tarcia chropowatość bloków zmniejszył się, natomiast pierścienie utrzymały wyjściowy poziom chropowatości (Tab. 1).



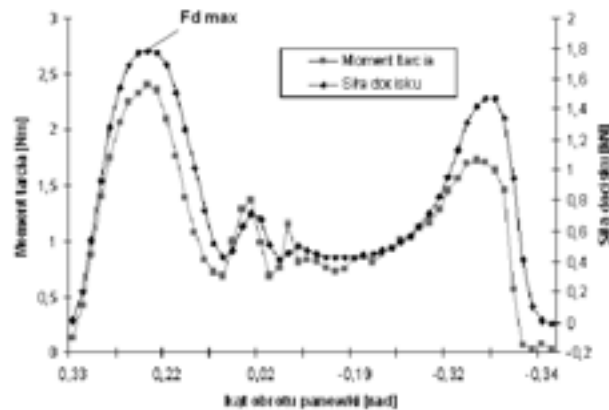
Rys. 8. Powierzchnia próbki UHMWPE: a) przed testem tribologicznym; b) po teście na testerze T-05

Fig. 8. UHMWPE sample surface: a) before tribological test, b) after test on T-05

Tabela 1. Zestawienie parametrów chropowatości R_a oraz parametrów zużycia dla badanych próbek

Table 1. Roughness and wear parameters

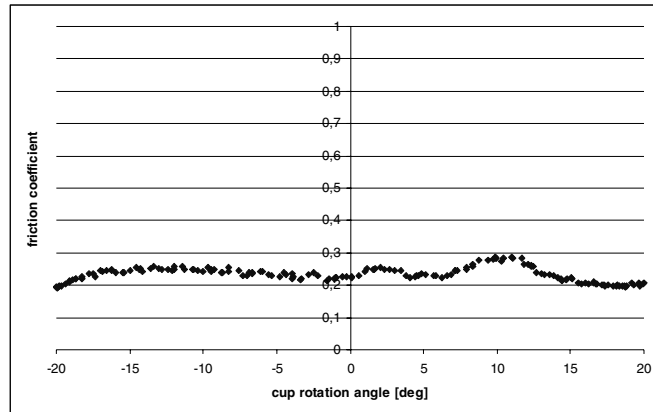
	1	2	3	średnia
zmiana masy próbki z UHMWPE przed i po teście [g]	0,0069	0,0203	0,0911	0,0394
zmiana masy przeciwpróbki przed i po teście [g]	0,0024	0,0039	0,0211	0,0091
blok – przed testem R_a [μm]	0,31	0,24	0,28	0,28
blok – po teście R_a [μm]	0,24	0,21	0,19	0,21
pierścień – przed testem R_a [μm]	0,16	0,14	0,16	0,15
pierścień – po teście R_a [μm]	0,13	0,11	0,14	0,13
wskaźnik zużycia bloku W_s [$\text{mm}^3/\text{mm}^*\text{N}$]	2,42E-12	2,4E-12	9,95E-12	4,92E-12



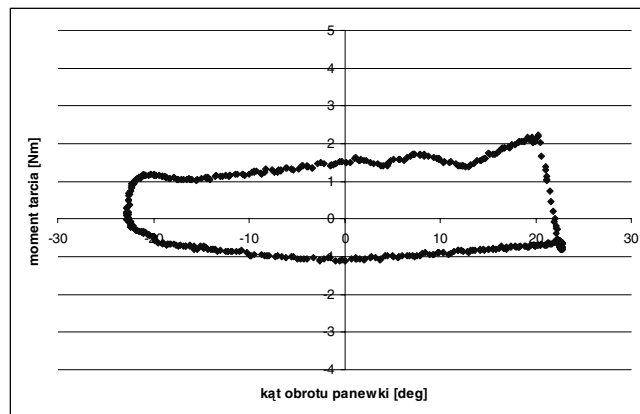
Rys. 9. Przebieg siły docisku i momentu tarcia w funkcji kąta obrotu panewki biodrowej dla pojedynczego cyklu

Fig. 9. Normal load and friction moment for a single cycle

Na **Rys. 9** przedstawiono zależności: siły docisku oraz momentu tarcia w funkcji kąta obrotu panewki biodrowej. Symulator SBT-01 jest układem odwróconym, dlatego element imitujący część udową wykonuje ruch posuwisto-zwrotny według założonego modelu obciążenia (**Rys. 3**), obrót natomiast wykonuje element imitujący część miednicową układu. Pomiary siły docisku i momentu tarcia wykazują dobrą korelację pomiędzy mierzonymi wielkościami. Potwierdza to wykres przedstawiający zależność wyznaczonego współczynnika tarcia od kąta obrotu panewki biodrowej (**Rys. 10**).



Rys. 10. Współczynnik tarcia w funkcji kąta obrotu panewki biodrowej (dane z 600 cykli)
Fig. 10. Friction coefficient vs cup rotation angle (data from 600 cycles)



Rys. 11. Przebiegi momentu tarcia w funkcji kąta obrotu panewki (dane z 600 cykli)
Fig. 11. Friction moment vs cup rotation angle (data from 600 cycles)

Rysunek 11 przedstawia zależność momentu tarcia głowy o panewkę endoprotezy stawu biodrowego od kąta jej obrotu. Pole ograniczone wykresem powyższej zależności (przyjmując kąt obrotu w radianach) jest miarą pracy tarcia W_f , która może stanowić wymierny parametr porównawczy dla badanych materiałów.

WNIOSKI

Opracowana metoda badawcza pozwala na wstępną klasyfikację materiałów na elementy endoprotez stawu biodrowego poprzez badania na testerze T-05. Wytypowane na tej podstawie materiały poddawane są testom na symulatorze do badań elementów endoprotez stawu biodrowego SBT-01. Zaprojektowany przez dr. hab. inż. A. Wieczorka z Politechniki Częstochowskiej we współpracy Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu symulator pozwala na dobrą ocenę zachowania tribologicznego w układzie głowa–panewka. Na podstawie wyznaczonych wartości pracy tarcia współpracujących elementów można porównywać materiały przewidziane do zastosowania jako elementy trące endoprotez stawu biodrowego.

LITERATURA

1. Aleksandrowicz R.: Mały atlas anatomiczny, PZWL, grudzień 2009.
2. Gierzyńska-Dolna, M.: Biotribologia, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
3. New Hip Replacement Technology Could Substantially Reduce Repeat Surgeries. Orthopedic Technology Review, New York Jan 28, 2000.
4. Shekhar Agarwal: Metal-on-metal large diameter head total hip replacement, Medicine Update: vol. 15, no. 9.
5. Wendland J., Gierzyńska-Dolna M., Rybak T., Wiśniewski T., Reichel B.: Badania nad opracowaniem nowego biomateriału przeznaczonego na elementy endoprotez stawu biodrowego – Obróbka Plastyczna Metali t. XX nr 2 (2009).
6. Będziński R.: Biomechanika inżynierska, Wybrane zagadnienia, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
7. Hebda M., Wachal A.: Trybologia, Edycja internetowa w ramach Biuletynu Polskiego Towarzystwa Tribologicznego ISSN 1732-422X, 1999.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

This study contains the methodology of materials and hip endoprosthesis component investigations. Studies are realised in two stages. The first stage concerns the evaluation of the behaviour of material connections due to friction forces and wear resistance using a T-05 tester in distributed contact. The second stage contains tribological investigations of material connections in the hip simulator SBT-01 chosen in the first stage. The simulator is a prototype-testing machine designed and built in the Laboratory of Surface Engineering and Tribology of Metal Forming Institute. Research was extended to the analysis of surface topography and condition using a profilograph, optical microscope, and SEM. An examination of UHMWPE cup and CoCrMo alloy head was done. The authors have performed friction moments curves and calculated the work of friction for single cycles. In addition, the study obtained data on the wear of components and heat evolved in the friction process.