

Monika MADEJ*, Joanna KOWALCZYK*, Dariusz OZIMINA*

ZUŻYCIE TRIBOLOGICZNE POLIETYLENU UHMWPE STOSOWANEGO W UKŁADACH BIOTRIBOLOGICZNYCH

TRIBOLOGICAL WEAR OF POLYTHENE UHMWPE APPLIED IN BIOTRIBOLOGICAL SYSTEMS

Słowa kluczowe:

biotribologia, polietylen wielkocząsteczkowy UHMWPE, tarcie, zużycie tribologiczne

Key words:

biotribology, ultra-high molecular weight polythene UHMWPE, friction, tribological wear

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań tribologicznych materiałów stosowanych na elementy endoprotez stawów: stopu CoCrMo oraz polietylenu ultra-wielkocząsteczkowego UHMWPE. Topografię i analizę powierzchni oceniano z użyciem mikroskopu skaningowego SEM oraz profilometru. Charakterystyki tribologiczne uzyskano na aparacie T-17, pracującym w skojarzeniu: trzpień z polietylenu UHMWPE – płytką ze stopu CoCrMo w warunkach tarcia ze

* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Zakład Tribologii i Materiałów Eksploatacyjnych, Al. 1000-Lecia PP 7, 25-314 Kielce, e-mail: mmadej@tu.kielce.pl.

smarowaniem roztworem Ringera. Rezultaty badań i ich analizy pokazały, że rodzaj testowanego materiału ma znaczący wpływ na zużywanie tribologiczne elementów węzła tarcia.

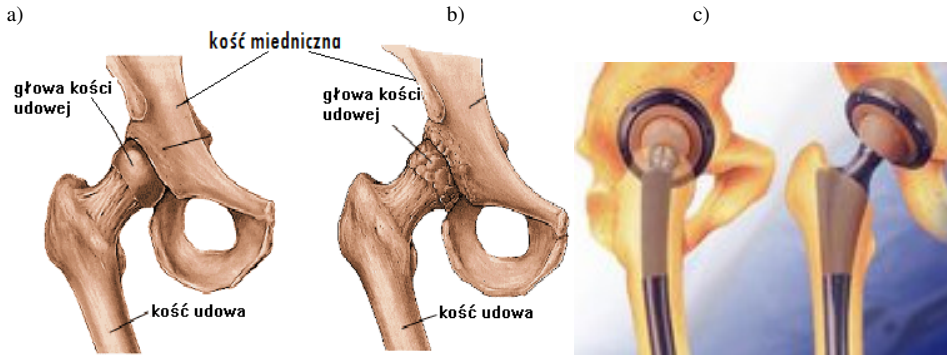
WPROWADZENIE

Zagadnienia doboru materiałów, konstrukcji oraz badań nad skutkami zużycia endoprotez stawów stanowią ważne cele badań naukowych w biotribologii [L. 1, 2].

Swobodną ruchomość szkieletu oraz poszczególnych odcinków ciała zapewniają maziowe połączenia kostne zwane stawami, które powinny prawidłowo funkcjonować około 70–90 lat. W narządzie ruchu człowieka do najbardziej eksploatowanych stawów nośnych należy staw biodrowy. Dzięki odpowiedniej budowie kostnych i chrzęstnych części stawu, silnym mięśniom i więzadłom jest on doskonale przystosowany do przenoszenia dużych obciążeń statycznych i dynamicznych. Specyficzny charakter zjawiska tarcia oraz procesów smarowania i zużycia tribologicznego, zachodzących w naturalnych biołożyskach podlega przede wszystkim prawom biologii i nie znajduje odzwierciedlenia w rozwiązaniach technicznych. Dodatkowo doskonale właściwości mazi stawowej jako substancji smarującej, będącej płynem lepkosprężystym o właściwościach cieczy nienewtonowskiej nie mają dotychczas swojego odpowiednika w technice. Charakteryzuje się ona dużą lepkością zmieniającą się liniowo wraz ze stężeniem kwasu hialuronowego. Dzięki niej współczynnik tarcia w zdrowym stawie jest najniższy z występujących w przyrodzie [L. 6].

Najskuteczniejszą metodą leczenia zawansowanych zmian zwyrodnieniowych stawów biodrowych jest zastąpienie zniszczonego biołożyska endoprotezą (Rys. 1). Implant zapewnia możliwość poruszania się oraz likwiduje ból. Odtworzony system biotribologiczny pozwala na przywrócenie podstawowych czynności mechanicznych, ale nie wymagań biologicznych stawów [L. 5]. Obecnie każdego roku na całym świecie wszczepia się około 800 000 sztucznych stawów biodrowych [L. 4].

Trwałość eksploatacyjna endoprotezy zależy przede wszystkim od zastosowanego układu współpracującego tarciowo [L. 9]. Układ ruchowy w protezach stanowi skojarzenie: polietylenowa panewka oraz metalowa lub ceramiczna głowa. Ze względu na biokompatybilność, odporność na korozję i zużycie przez tarcie metalowe głowy wykonuje się ze stopu CoCrMo. Dobrane tak materiały pary trącej CoCrMo–UHMWPE charakteryzują się stosunkowo niskimi oporami tarcia. Skojarzenie metalowej głowy z panewką polietylenową daje około 70% mniejszy moment tarcia w porównaniu z parą trącą metal–metal. Współczynnik tarcia pary trącej polietylen–metal wynosi $\mu = 0,1–0,5$, natomiast dla systemu biotribologicznego metal–metal jest znacznie większy – około 0,8 [L. 5].



Rys. 1. Staw biodrowy: a) zdrowy; b) uszkodzony; c) implantowany

Fig. 1. Hip-joint: and) healthy; b) defective; c) implanted

Głównymi rodzajami zużycia, jakie występują w węzłach tarcia endoprotez stawów biodrowych są: zużycie ścierne, odkształcenia plastyczne i pełzanie, zużycie zmęczeniowe – pitting, degradacja tworzywa. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na proces zużywania się trących elementów endoprotez jest rodzaj skojarzenia materiałowego, ponadto istotne znaczenie mają nacisk jednostkowy, chropowatość powierzchni elementów współpracujących, kinematyka węzła tarcia oraz aktywność ruchowa pacjenta [L. 2].



Rys. 2. Widoki różnych rodzajów endoprotez stawu biodrowego

Fig. 2. Views of different kinds endoprothesis of the hip-joint

Podstawowym materiałem ślizgowym używanym w produkcji endoprotez stawów jest polietylen o ultrawysokim ciężarze cząsteczkowym UHMWPE. Do najczęściej stosowanych w alloplastyce stawów materiałów współpracujących z nim należą:

- stopy tytanu, np. Ti6Al4V;
- stopy CoCrMo, np. Biodur CCM Plus, Endocast;
- stal nierdzewna 316L;
- ceramika, np. Al₂O₃, ZrO₂.

Wymienione materiały podlegają ciągłej transformacji i ulepszaniu poprzez zmianę parametrów produkcji oraz modyfikację warstwy wierzchniej różnymi dodatkami.

Wielu autorów [L. 3–9] przedstawia wyniki eksperymentów, w których starają się ustalić przyczyny zużycia elementów wykonanych z UHMWPE w skojarzeniu z materiałami wymienionymi wyżej. Ze względu na dużą różnicę parametrów oraz warunków prowadzenia testów w przedmiotowej literaturze można znaleźć dość rozbieżne wyniki. Ponadto należy pamiętać, że badania modelowe znacznie odbiegają od tych, jakie panują w organizmie ludzkim. Ze względu na bardzo istotny wpływ użytego w badaniach środka smarowego w wielu artykułach przedstawiono wyniki testów z użyciem różnych roztworów.

Stopy z grupy CoCrMo są przedmiotem wielu badań zużycia tribologicznego w skojarzeniu z polietylenem wielkocząsteczkowym UHMWPE. Ich wyniki są bardzo rozbieżne z powodu stosowania różnych metod badawczych, parametrów oraz środków smarowych. W **Tabeli 1** przedstawiono przegląd wyników wielkości zużycia implantowanej głowy kości udowej uzyskanych na symulatorach stawu biodrowego. Wyniki badań Gonzaleza-Mora i innych [L. 7] otrzymywane na symulatorach stawu biodrowego różnią się od siebie znacznie, a ponadto są o ok. 20% niższe od wyników badań klinicznych.

Tabela 1. Wielkość zużycia implantowanej głowy kości udowej wykonanej ze stopu CoCrMo [L. 7]

Table 1. The magnitude of the implanted hip bone head wear made of CoCrMo alloy [L. 7]

Autorzy	Zużycie w mm ³ /mln cykli
Smith, Unsworth	48.2, 51.4
Barbour i inni	41,6
Saiko i inni	24
Hamilton i inni	35
Bunkstone i inni	30
Scholes i inni	22,5
Callaghan i inni	43
Park, McKellop	38,1

Materiałom implantacyjnym stawiane są wysokie wymagania, stąd potrzeba przeprowadzenia szerokich badań fizykochemicznych, mechanicznych, biologicznych *in vitro* i *in vivo* oraz badań klinicznych [L. 1, 5, 7–9].

W planowaniu badań nad materiałem przeznaczonym do implantacji należy wziąć pod uwagę kliniczną przydatność do celowego zastosowania, jak również właściwości fizyczne, chemiczne, elektryczne, morfologiczne, mechaniczne i biokompatybilne.

Zastosowanie implantów niesie za sobą potencjalne ryzyko wystąpienia objawów krótkotrwałych, takich jak ostra toksyczność, działanie drażniące, uczulające, hemolityczne i trombogenne oraz objawy odległe – działanie toksyczne przewlekłe lub subchroniczne, uczulające, genotoksyczne, rakotwórcze, teratogenne. Zatem wdrożenie nowego materiału na wszczepy wymaga m.in. przeprowadzenia następujących badań biologicznych (*in vitro* oraz *in vivo*): degradacji, toksykokinetycznych, działania cytotoksycznego, działania drażniącego i alergicznego, implantacyjnych efektów systemowych, genowoksydacyjności i rakotwórczości oraz zgodności z krwią.

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW STOSOWANYCH W BADANIACH

W prowadzonych badaniach użyto stopu CoCrMo o nazwie handlowej Biodur CCM PLUS, którego skład chemiczny, zestawiony w **Tabeli 2**, charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną, odpornością korozyjną oraz odpornością na zużycie tribologiczne. Stop wytwarzany jest techniką metalurgii proszków z użyciem metody Indukcyjnego Topienia Próżniowego (*Vacuum Induction Melting*, VIM).

Tabela 2. Skład chemiczny stopu Biodur CCM PLUS

Table 2. Biodur CCM PLUS alloy chemical constitution

Pierwiastek	Co	Cr	Mo	N	C	Ni	Mn	Fe	Si
Udział %	baza	26-30	5-7	0,15-0,2	0,2-0,3	0,3	0,5	0,3	0,6

Badany stop charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- jednorodność chemiczna – jednorodność mikrostruktury;
- niewielkie, równomiernie rozproszone węglik o długości wzdłużnej nie większej niż 10 μm ;
- drobnoziarnista struktura austenityczna, najczęściej wielkość ziarna w klasie 12, możliwość uzyskania drobniejszych ziaren dzięki walcowaniu na gorąco lub wyżarzaniu w temp. 1120–1140°C;
- wysoka odporność korozyjna i chemiczna na działanie kwasu azotowego, octowego, siarkowego, soli, wilgoci. Mniejsza odporność na działanie wody morskiej, kwasu fosforowego oraz w szczególności wodorotlenku sodu.

Najważniejsze parametry mechaniczne zestawiono w **Tabeli 3**.

Tabela 3. Właściwości mechaniczne stopu Biodur CCM Plus

Table 3. Biodur CCM Plus alloy mechanical properties

Stan	Umowna granica plastyczności, [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie, [MPa]	Wydłużenie, [%]	Twardość HRC	Moduł Younga, [MPa]	Współczynnik Poissona
Wyżarzony	585	1035	25	30	240	0,3
Rozgrzany	930	1310	26	40		
Po obróbce na gorąco	760	1100	25	33		

Drugim testowanym materiałem był polietylen o bardzo wysokim ciężarze cząsteczkowym – UHMWPE. Jego masa molekularna mierzona metodą wiskozymetryczną waha się od 2 do 10 mln g/mol. Gatunki o bardzo wysokim ciężarze cząsteczkowym pozwalają na uzyskanie optymalnego spektrum właściwości. Poszczególne odmiany różnią się masą cząsteczkową, sposobem obróbki oraz zawartością dodatków redukujących utlenianie podczas sterylizacji radiologicznej [L. 1, 3, 5]. W niniejszej pracy do badań użyto próbek z UHMWPE o nazwie handlowej Chirulen, którego właściwości fizyczne zestawiono w **Tabeli 4**.

Tabela 4. Właściwości fizyczne ultrawielkocząsteczkowego polietylenu

Table 4. Physical properties of ultra-high-molecular polyethylene

WŁAŚCIWOŚĆ		GATUNEK TYP A	NORMA
Gęstość		930–944 kg/m ³	ISO 5834
Zawartość popiołu		< 150 mg/kg (ppm)	
Wytrzymałość na ściskanie	23°C	≥ 21 MPa	
	120°C	≥ 3 MPa	
Wytrzymałość na rozciąganie	23°C	≥ 21 MPa	
	120°C	≥ 18 MPa	
Wydłużenie	23°C	≥ 350%	
	120°C	≥ 600%	
Udarność a_k		≥ 140 MJ/mm ²	
Twardość		≥ 38 N/mm ²	
Zużycie ścierne		≤ 1%	DIN 58836

APARATURA I METODYKA BADAŃ

Testy tribologiczne

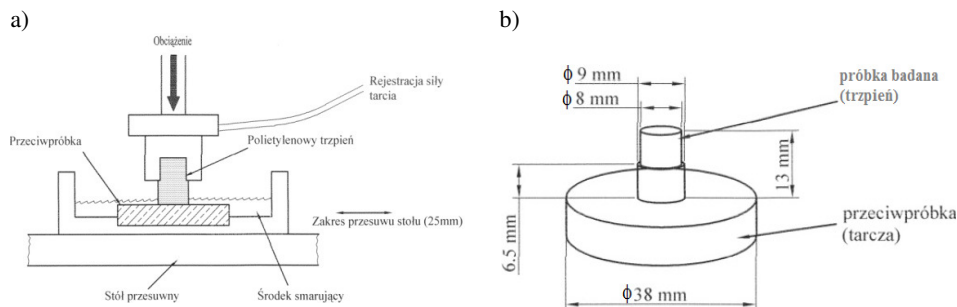
Badania zużycia materiałów zostały przeprowadzone na testerze T-17, zgodnie z normą ASTM F 732-82 [L. 12]. Umożliwiły one ocenę charakteru

współczynnika tarcia i zużycia w funkcji liczby cykli. Aparat T-17 przeznaczony jest do badania charakterystyk tribologicznych różnych skojarzeń materiałowych współpracujących ze sobą ślizgowo w ruchu posuwisto-zwrotnym, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów przeznaczonych na elementy protez stawów człowieka [L. 10]. Układ trący stanowił trzpień z UHMWPE, a płytka była wykonana ze stopu CoCrMo. W skład zestawu badawczego T-17 wchodzi:

- maszyna badawcza T-17 z czujnikami pomiarowymi;
- sterownik BT-24;
- cyfrowy wzmacniacz pomiarowy Spider 8;
- oprogramowanie sterujące, pomiarowe i rejestrujące;
- system cyrkulacji środka smarowego wraz z systemem filtracji oraz podgrzewania.

Przed biegiem badawczym zadawano częstotliwość i amplitudę wymuszeń tribologicznych. Przebiegi mierzonych wartości wyświetlano na bieżąco na ekranie monitora, a po zakończeniu biegu badawczego były archiwizowane. Podczas biegu badawczego mierzono następujące wielkości:

- siłę tarcia;
- sumaryczne zużycie liniowe elementów węzła tarcia;
- temperaturę otoczenia węzła tarcia i temperaturę środka smarowego;
- liczbę cykli – drogę tarcia.



Rys. 3. Schemat: a) maszyny badawczej T-17 oraz b) węzła tarcia

Fig. 3. View of: a) T-17 tribotester; and b) pin on plate

Na **Rys. 3** przedstawiono schematy funkcjonowania testera T-17 oraz pary trącej. Badania skojarzeń metalowo-polimerowych zrealizowano przy następujących parametrach:

- czas testu/liczba cykli – 1.000.000 s/1.000.000;
- amplituda – 12,5 mm;
- częstotliwość – 1 Hz;
- średnia prędkość poślizgu – 50 mm/s;

- obciążenie – 225 N;
- ciecz smarująca – płyn RINGERA,
- temperatura płynu podczas badań – $37\pm 1^\circ\text{C}$.

Mikroskopia skaningowa SEM

Do obserwacji obszarów zużycia próbek stopu CoCrMo i polietylenu UHMWPE użyto skaningowej mikroskopii elektronowej. W badaniach posłużono się mikroskopem FEI E-SEM XL30 wyposażonym w spektrometr dyspersji energii promieni X EDAX GEMINI 4000, z możliwością badań w niskiej próżni. Wyposażony jest on w detektor Si(Li) z okienkiem SUTW o zdolności rozdzielczej ≤ 133 . System EDAX kontroluje wiązkę elektronową w mikroskopie E-SEM XL30 celem akwizycji obrazów i map poprzez własny generator skanowania.

Struktura geometryczna warstwy wierzchniej próbek

Uzupełnieniem badań, odzwierciedlającym charakter ukształtowania elementów pokrytych powłokami, były pomiary struktury geometrycznej powierzchni [L. 10]. Analizę i ocenę struktury geometrycznej badanych powierzchni po testach tribologicznych wykonano z użyciem Form Talysurf PGI 1230 firmy Taylor Hobson, umożliwiających bardzo precyzyjne pomiary topografii powierzchni 3D. Wynika to z zainstalowanego przetwornika w osi „z” – Interferometru laserowego uzyskującego rozdzielczość wynoszącą 0,8 nm. Trójwymiarowe obrazy otrzymane podczas pomiarów precyzyjne oddają naturę procesów zachodzących podczas współpracy powierzchni trących. Podczas pomiarów mierzony obszar wynosił 4x4 mm. Badania przeprowadzono w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

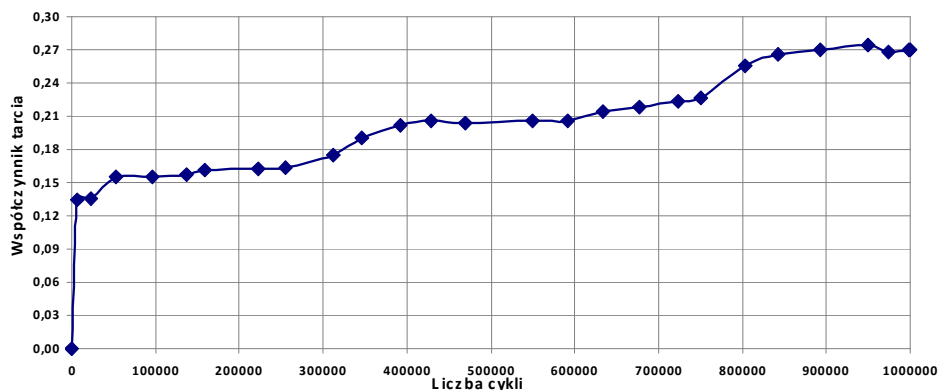
WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Testy tribologiczne

Na podstawie testów tribologicznych pary biomateriałów ultrawielkocząsteczkowego polietylenu i stopu kobaltowo-chromowo-molibdenowego (wg ASTM 732-82) uzyskano wykresy współczynnika tarcia (**Rys. 4**) oraz zużycia liniowego (**Rys. 5**) w funkcji liczby cykli.

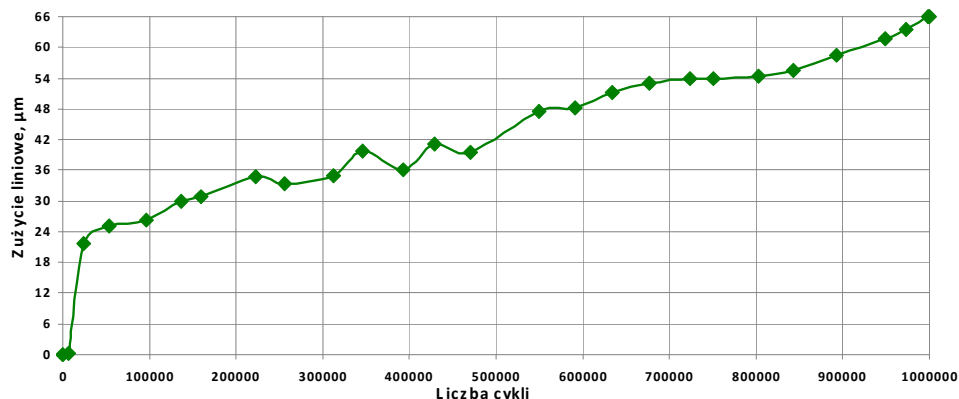
Z przedstawionego wykresu zmian współczynnika tarcia wynika, że po początkowym, szybkim wzroście do wartości 0,14 po ok. 25000 cykli współczynnik ten stabilizuje się i narasta systematycznie, osiągając wartość 0,27 po 850000 cykli i utrzymuje się na tym poziomie do końca testu. Natomiast zmiany zużycia liniowego wężła tarcia CoCrMo–UHMWPE wykazują tendencje

wzrostowe o zróżnicowanej intensywności w czasie całego biegu badawczego. W końcowej fazie pomiaru wielkość zużycia liniowego wyniosła 66 μm . Współczynnik intensywności zużywania został wyznaczony z użyciem trendu w przedziale od 500000 do 1000000 cykli i dla omawianego skojarzenia wyniósł 41,29 $\mu\text{m}/\text{mln}$ cykli.



Rys. 4. Współczynnik tarcia w funkcji liczby cykli dla skojarzenia CoCrMo-UHMWPE

Fig. 4. Friction coefficient in the friction joint versus the number of cycles: the CoCrMo alloy – UHMWPE



Rys. 5. Zużycie liniowe w funkcji liczby cykli dla skojarzenia materiałowego CoCrMo-UHMWPE

Fig. 5. Linear wear in the friction joint versus the number of cycles: the Co-Cr-Mo alloy-UHMWPE

Tabela 5. Ubytki masowe elementów węzła tarcia
 Table 5. Weight loss of the friction joint

Materiał	Masa próbki, g		Zużycie masowe, g
	przed badaniem	po badaniu	
Co-Cr-Mo			
Masa płytki, [g]	56,9395	56,9378	0,0017
Masa trzpienia, [g]	0,6994	0,6908	0,0086

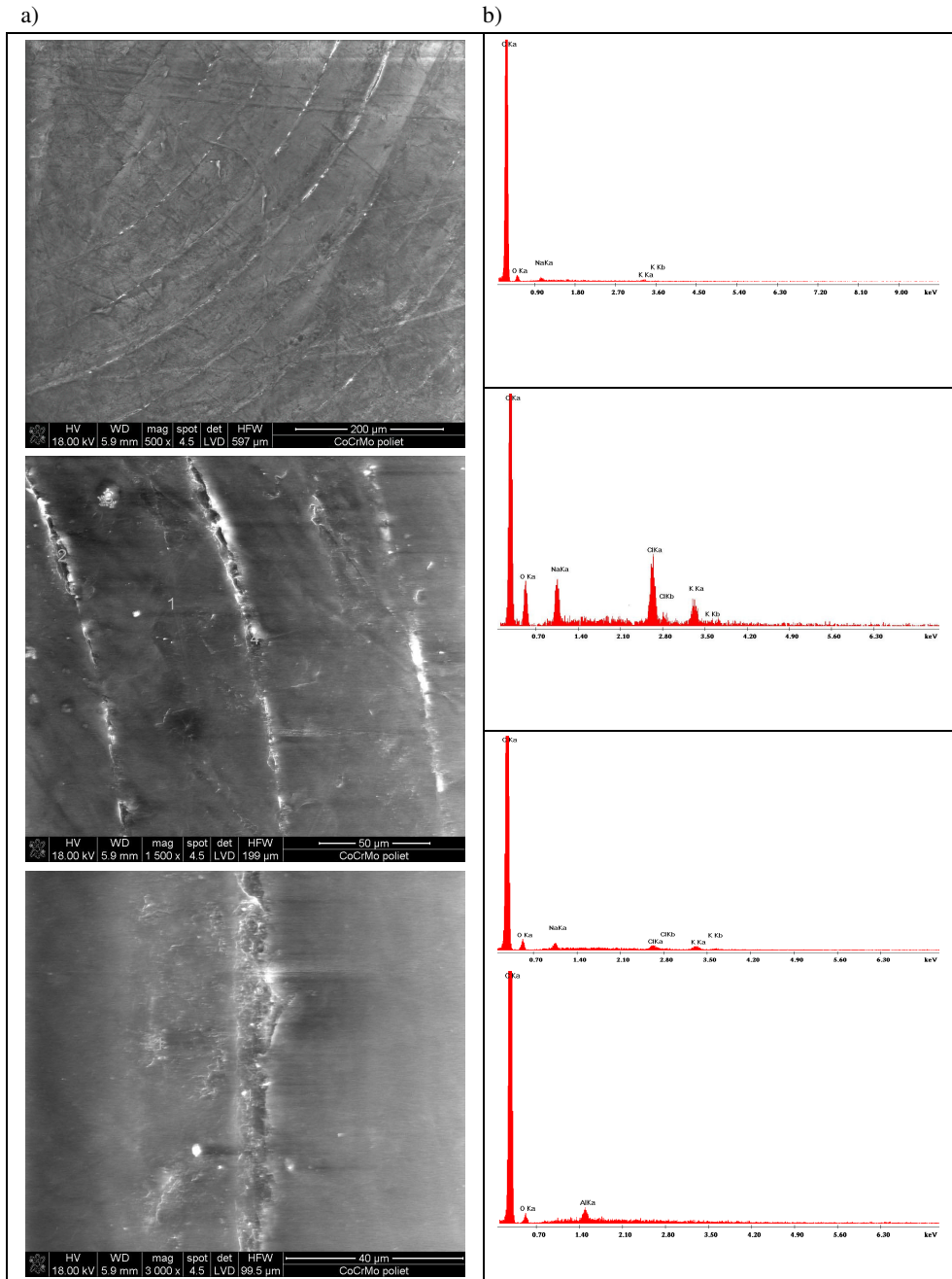
Przekształcanie warstw powierzchniowych zachodzące podczas tarcia, zużycia oraz smarowania badanych układów tribologicznych jest procesem naturalnym. Jednak charakter tych przemian i sposób przekształcania warstw decydujący o ich właściwościach tribologicznych są wynikiem indywidualnych oddziaływań.

Mikroskopia skaningowa SEM

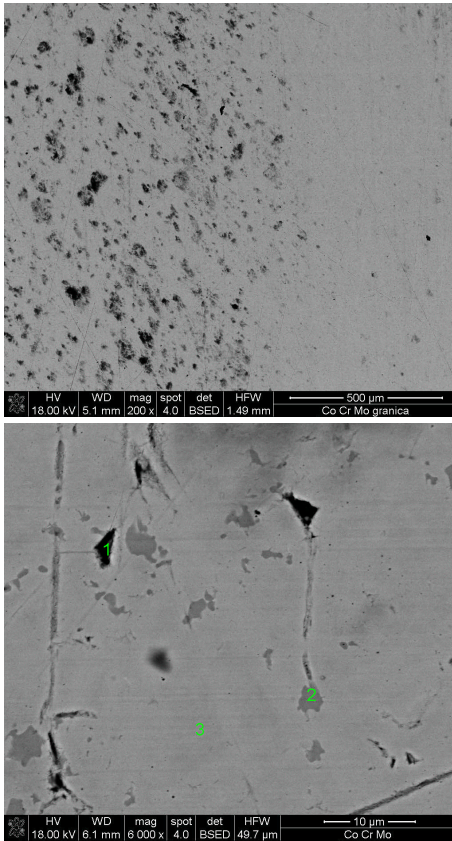
Po badaniach tribologicznych dokonano skaningowej analizy warstw wierzchnich współpracujących próbek i przeciwpróbek. Wybrane wyniki tych analiz przedstawiono na obrazach SEM oraz na wykresach identyfikacji pierwiastkowej w punktach dla polietylenu UHMWPE (**Rys. 6**) oraz stopu CoCrMo (**Rys. 7**).

Na **Rys. 6** przedstawiono widoki z obszaru tarciowej współpracy na elemencie z UHMWPE. Analizując jego powierzchnię w brzdach po obróbce technologicznej, stwierdzono koncentrację pierwiastków obecnych w modelowej substancji smarowej. Węzeł tarcia smarowany był wodnym, jonowym roztworem wodnym między innymi związków sodu, potasu i wapnia. Natomiast na gładkich powierzchniach występuje duża koncentracja atomów węgla i mała atomów tlenu. Świadczy to, że generalnie zużycie UHMWPE przebiega w sposób normalny, bez uszkodzeń mechanicznych, jakie mają miejsce często podczas testów w układzie stal-polimer. Jedynie obecność atomów tlenu wynika z typowych oddziaływań tribochemicznych z otaczającą atmosferą.

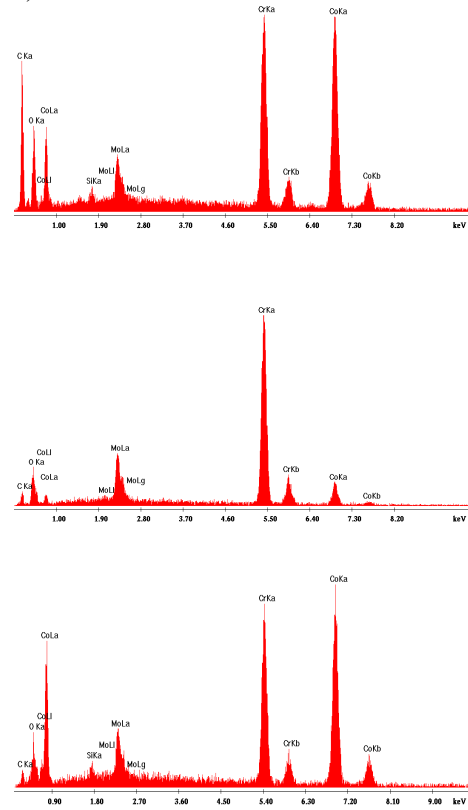
W wyniku przeprowadzonej analizy zmian w obszarze zużycia elementów ze stopu CoCrMo z polietylenem UHMWPE stwierdzono występowanie trzech charakterystycznych obszarów w warstwie wierzchniej, które poddano analizie w celu identyfikacji pierwiastków i ich koncentracji. Przedstawione na **Rys. 7** widoki śladu zużycia i analizy punktowe potwierdziły różnice składu chemicznego w warstwie wierzchniej. W obszarze o barwie ciemnej oznaczonej przez 1 stwierdzono obecność kobaltu, chromu i molibdenu pochodzących z materiału bazowego – stopu CoCrMo oraz stosunkowo dużą koncentrację węgla – prawdopodobnie z materiału polimerowego. W analizowanym obszarze szarym, oznaczonym numerem 2, zidentyfikowano niewielkie piki pochodzące od kobaltu, molibdenu i węgla. Jedynie chrom wykazywał silne widmo charakterystyczne. Z kolei w analizowanym reprezentatywnym obszarze barwy



a)



b)



Rys. 7. SEM: a) widok obszaru śladu zużycia stopu CoCrMo po współpracy tarciowej z polietylenem UHMWPE oraz b) analiza punktowa pierwiastków

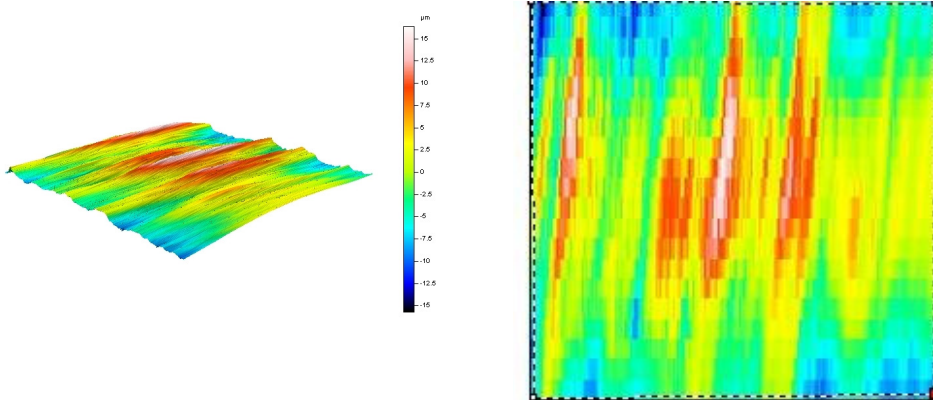
Fig. 7. SEM: a) views of the area wear track of the CoCrMo alloy after the tribological tests with the polythene UHMWPE and b) the EDS method analysis

najjaśniejszej oznaczonym jako 3 występował duży pik od kobaltu, chromu i nieco mniejszy dla molibdenu, a pik przypisany atomom węgla był również niewielki. Z powyższego można wnioskować, że tylko w obszarze ciemnym ma miejsce duża koncentracja węgla, pochodzącego z przeniesienia materiału z polietylenowego trzpienia. Na powierzchni roboczej przeciwpróbki ze stopu CoCrMo nie zidentyfikowano pierwiastków pochodzących z płynu Ringera, którym smarowany był węzeł.

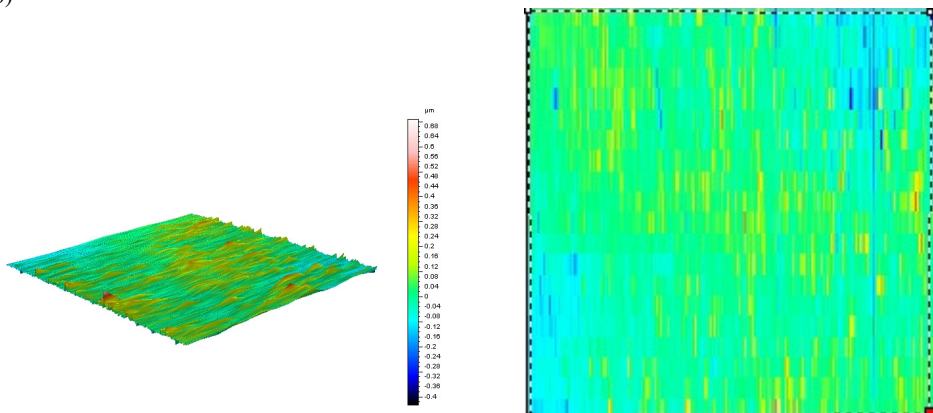
Struktura geometryczna powierzchni

Po testach tribologicznych wykonano identyfikację geometryczną warstw wierzchnich współpracującej pary. Na **Rys. 8 i 9** przedstawiono obrazy topografii powierzchni oraz profile chropowatości, a w **Tabeli 6** zestawiono najważniejsze parametry.

a)



b)

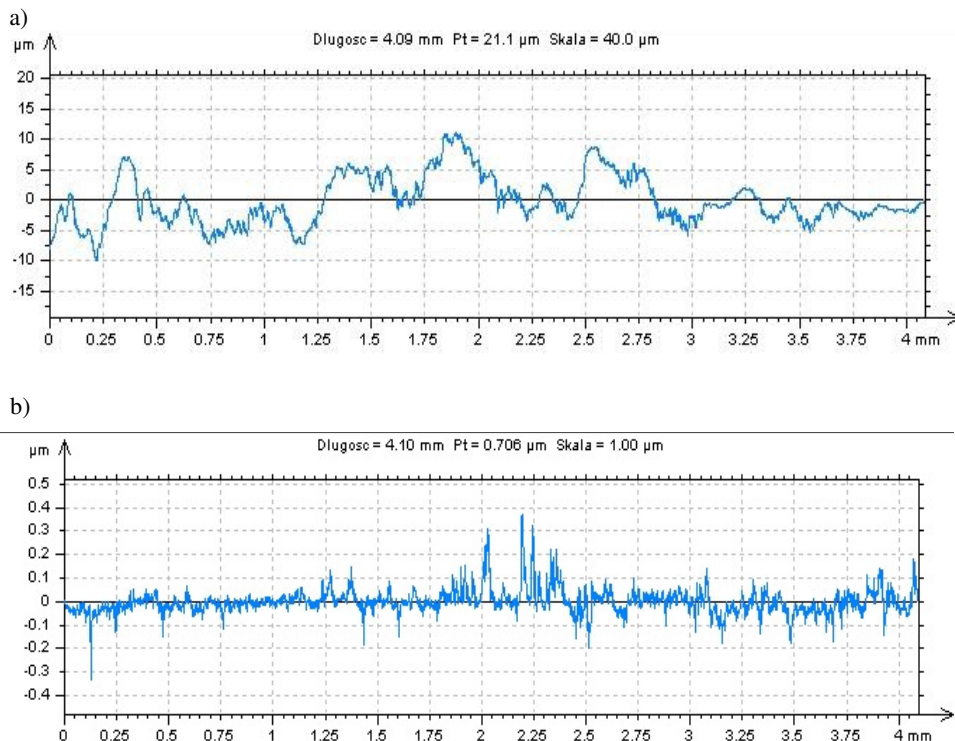


Rys. 8. Widoki 3D topografii powierzchni po testach tribologicznych: a) polietylenu UHMWPE oraz b) stopu CoCrMo

Fig. 8. 3D views of the area wear track of the: a) polythene UHMWPE and b) CoCrMo alloy after the tribological tests

Do opisu warstw wierzchnich stopu CoCrMo oraz polietylenu UHMWPE wykorzystano pomiary wgłębień i wzniesień, występujące na analizowanym obszarze powierzchni oraz zebrano profile tych powierzchni. Z przedstawionych w **Tabeli 6** wartości maksymalnych i średnich wgłębień oraz wzniesień

wynika, że są one znacznie mniejsze dla powierzchni stopu CoCrMo niż dla polietylenu UHMWPE. Również pola powierzchni i objętości są dużo mniejsze dla biomateriału metalowego. Można sądzić, że w badanych próbkach i przeciwpróbkach na geometryczne ukształtowanie warstw wierzchnich po testach tribologicznych wpływają następujące czynniki: techniki wytwarzania, obróbki wykańczające oraz zużywanie przez tarcie w obecności substancji smarującej.



Rys. 9. Profile chropowości warstw wierzchnich po wykonanych testach tribologicznych: a) polietylenu UHMWPE; b) stopu CoCrMo

Fig. 9. Roughness profiles: a) polythene UHMWPE and b) CoCrMo alloy after the tribological tests

Tabela 6. Charakterystyka powierzchni

Table 6. Surfaces profile

Parametr warstwy wierzchniej	Polietylen UHMWPE		Stop CoCrMo	
	wgłębienie	wzniesienie	wgłębienie	wzniesienie
Powierzchnia, mm ²	4,44	11,5	4,71	11,3
Objętość, µm ³	6710941	51273855	189409	632064
Maksymalne, µm	8,3	20,6	0,395	0,72
Średnie, µm	1,51	4,45	0,0402	0,058

Z danych analizowanych na podstawie profili chropowatości wynika, że podstawowe parametry dotyczące wysokości struktury geometrycznej powierzchni są zdecydowanie większe dla materiału polimerowego – UHMWPE niż dla metalowego – stopu CoCrMo.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych sformułowano następujące wnioski:

1. Badane biomateriały wykorzystywane jako para tribologiczna w endoprotezach stawów charakteryzowały się umiarkowanym zużyciem liniowym oraz niewielkim współczynnikiem tarcia.
2. Podczas badań tribologicznych skojarzenia ślizgowego w ruchu posuwisto-zwrotnym stopu CoCrMo oraz polietylenu UHMWPE stwierdzono, że po okresie docierania systemu tribologicznego proces zużywania elementów trących przebiegał w sposób ustabilizowany.
3. Ustalono, że ubytki masowe trzpieni z UHMWPE po pełnym cyklu badawczym są ok. 5-krotnie większe niż ubytki tarcz ze stopu CoCrMo. Stosunkowo małe ubytki masowe elementów ze stopu CoCrMo mogą wynikać z jego większej odporności na zużycie oraz procesów przenoszenia materiału polimerowego. Można wnosić, że polietylen UHMWPE namazuje się na stop CoCrMo, co obniża opory ruchu, ale równocześnie powoduje większe zużycie polietylenu.
4. W czasie obserwacji obszaru tarcia i zużycia polietylenu stwierdzono w warstwie wierzchniej dużą koncentrację węgla, a w bruzdach poobróbkowych dodatkowo pierwiastki pochodzące z substancji smarującej – płynu Ringera.
5. Analiza struktury geometrycznej powierzchni oraz właściwości tribologicznych badanego skojarzenia trącego: stopu CoCrMo i polietylenu UHMWPE uzasadniają podjęcie badań nad zastosowaniem materiałów powłokowych w celu udoskonalenia układów biotribologicznych.

LITERATURA

1. Kurtz S., UHMWPE Biomaterials Handbook, Elsevier© 2009.
2. Madej M., Ozimina D., Cwanek J., Styp-Rekowski M., Analiza zużycia polietylenu UHMW PE stosowanego w układach biotribologicznych, Tribologia 1, 2010, 61–76.
3. Shi B., Ajayi B.O., Fenske G., Erdemir A., Liang H., Tribological performance of some alternative bearing materials for artificial joints, Wear, Vol. 255, 2003, 1015–1021.
4. Li S., Ultra high molecular weight polyethylene: from charney to cross linked, Operative techniques in Orthopedics, Vol. 11, 2001, 288–295.

5. Cwanek J., Przydatność parametrów struktury geometrii powierzchni do oceny stopnia zużycia sztucznych stawów biodrowych, Wyd. UR, Rzeszów 2009.
6. Ryniewicz A., Analiza mechanizmów smarowania stawu biodrowego człowieka, Monografia nr 111, Wyd. AGH, Kraków 2002.
7. González-Mora V.A., Hoffmann M., Stroosnijder R., Gil F.J., Wear tests in a hip joint simulator of different CoCrMo counterfaces on UHMWPE, *Materials Science and Engineering C*, 29, 2009, 153–158.
8. Li Wu, Xinlei Gao, Meng Hua, Jian Li, Wanzhen Gao, Elementary investigation in modifying UHMWPE with schiff base cooper complex for the use as an artificial hip joint material, *Proc. of WTC Kyoto – Japan*, 2009, 508.
9. Ozimina D., Madej M., Ocena właściwości jedno- i wielowarstwowych powłok DLC, *Tribologia* 2, 2010, 119–135.
10. Michalczewski R., Piekoszewski W., Szczerek M., Metoda i urządzenie do badań tribologicznych materiałów na endoprotezy, *Tribologia* 5, 2002, 1491–1502.
11. Adamczak S., Pomiar geometryczny powierzchni, WNT, Warszawa 2008.
12. ASTM 732-82. Reciprocating pin-on-flat evaluation of friction and wear properties of polymeric materials for use in total joint prostheses.

Summary

The paper presents the results of the tribological tests for materials used in elements of hip and knee endoprostheses. The tests were conducted for a CoCrMo alloy and an ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). The topography and the texture analysis were determined by applying scanning electron microscopy and profilometer. The tribological characteristics were obtained with a T-17 tester operating in the pin-on-plate configuration under lubricated friction conditions. The friction pair consisted of a cobalt-based alloy plate and an ultra-high molecular weight polyethylene pin. The model lubricant used in the tests was Ringer's solution. The results indicated that the wear resistance of the endoprosthesis elements was mainly dependent on the material used for the working surfaces in the friction joint.