

Magdalena NIEMCZEWSKA-WÓJCIK*,
Anita MAŃKOWSKA-SNOPCZYŃSKA**,
Witold PIEKOSZEWSKI**

WPLYW UKSZTAŁTOWANIA STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI STOPU TYTANU NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE POLIMERU

THE INFLUENCE OF THE SURFACE GEOMETRIC STRUCTURE OF A TITANIUM ALLOY ON THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A POLYMERIC COMPONENT

Słowa kluczowe:

stop tytanu, polimer, struktura geometryczna powierzchni, współczynnik tarcia, intensywność zużycia

Key words:

titanium alloy, polymer, surface geometric structure, friction coefficient, intensity of wear

* Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Polska, tel. 012 628 32 59 lub 501 456 836, e-mail: niemczewska@mech.pk.edu.pl

** Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Tribologii, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, Polska, e-mail: anita.mankowska@itee.radom.pl, e-mail: witold.piekoszewski@itee.radom.pl.

Streszczenie:

W pracy przedstawiono i omówiono wyniki badań mechanizmu zużycia elementów wężła tarcia oraz czynników, które mają znaczący wpływ na ten rodzaj destrukcji. Przedmiotem badań oraz analiz było skojarzenie materiałowe: stop tytanu (Ti6Al4V) – polimer (Chirulen®) w węźle tarcia: płytko–trzcien. Powierzchnie trzcieni oraz płytek zostały ukształtowane i przygotowane zgodnie z wytycznymi norm. Badania tribologiczne przeprowadzono z użyciem tribostera T-17 w otoczeniu płynu Ringera. Wyznaczono charakterystyki tribologiczne, tj. współczynnik tarcia oraz intensywność zużywania. Wyznaczono korelację pomiędzy czynnikami technologicznymi (cechami geometrycznymi) ukonstruowanymi w procesie wytwarzania a charakterystykami tribologicznymi (współczynnik tarcia, intensywność zużywania) oraz ukonstruowaną w trakcie eksploatacji powierzchnią (produkty zużycia).

WPROWADZENIE

Ukształtowanie powierzchni wyrobu wynika z właściwego doboru procesu technologicznego wytwarzania z uwzględnieniem rodzaju materiału oraz jego właściwości. Końcowym etapem procesu technologicznego jest obróbka wykończeniowa, która decyduje o strukturze geometrycznej powierzchni obrobionej, a tym samym o jej funkcjonalności (walorach użytkowych).

Struktura geometryczna powierzchni to [L. 3] zbiór wszystkich nierówności powierzchni rzeczywistej (elementów), tj. odchyłki kształtu i położenia, wady/defekty powierzchni, falistość i chropowatość. Każdy z wymienionych elementów wpływa, w mniejszym lub większym stopniu, na walory (właściwości) użytkowe powierzchni, co przedstawiono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Wpływ elementów powierzchni na jej właściwości użytkowe [L. 5–7]

Table 1. The influence of surface elements for functional properties of this surface [L. 5–7]

Właściwości użytkowe	Elementy powierzchni				
	Kształt	Położenie	Defekty	Falistość	Chropowatość
Szczelność	x	x		x	x
Połączenia	x	x		x	x
Tarcie		x	x	x	x
Zużycie		x	x	x	x
Smarowanie	x	x	x	x	x
Przepływ cieczy		x		x	x
Odkształcenia				x	x
Refleksyjność			x		

Jak wynika z tabeli, największe znaczenie dla właściwości użytkowych powierzchni ma chropowatość i falistość.

Do oceny właściwości użytkowych współpracujących powierzchni niezbędna jest analiza struktury geometrycznej powierzchni obejmująca trzy etapy: wybór metody (techniki) pomiaru powierzchni, sposób przedstawienia powierzchni i ocenę parametryczną powierzchni.

Obecnie istnieje wiele metod i technik pomiaru powierzchni [L. 4, 5, 7], z których żadna użyta osobno nie obejmuje całego zakresu pomiarowego. Stąd istotną rolę odgrywa właściwy dobór urządzeń pomiarowych zapewniający pozyskanie uzupełniających się informacji, co ułatwia późniejszą interpretację wyników.

Przedstawienie powierzchni wywodzi się z metod kartograficznych i polega na połączeniu punktów w taki sposób, aby uzyskany obraz reprezentował mierzoną powierzchnię [L. 7]. Wyróżnia się dwa sposoby graficznego przedstawienia zmierzonej powierzchni: mapa konturowa oraz obraz aksonometryczny [L.7].

Ocena struktury geometrycznej powierzchni badanej może być zarówno ilościowa, jak też jakościowa.

Ocena ilościowa wymaga określenia parametrów opisujących zmierzoną powierzchnię. Umożliwiają to tzw. wyróżniki struktury geometrycznej powierzchni (3D), które podzielono na funkcje oraz parametry. Pozwalają one na dokładne określanie związków między charakterystykami SGP oraz walorami użytkowymi [L. 6].

Ocena jakościowa opiera się na analizie obrazów uzyskanych z pomiarów powierzchni, realizowanych za pomocą różnych urządzeń pomiarowych, m.in. *AFM, SEM, OM*.

Ogólnie wiadomo, że w trakcie współpracy pozostające we wzajemnym kontakcie technologicznie wytworzone powierzchnie elementów węzła tarcia poddawane są działaniu sił tarcia. W początkowej fazie następuje wzajemne docieranie się powierzchni, w wyniku czego dochodzi do ich stopniowego zużycia. Procesowi temu towarzyszy powstawanie produktów zużycia.

Mechanizm zużycia elementów węzła tarcia zależy nie tylko od czynników eksploatacyjnych (warunków współpracy), ale również od czynników technologicznych (cech materiałowych oraz cech geometrycznych) [L. 4].

Z tego względu, dokonując analizy mechanizmu zużycia elementów współpracujących, należy brać wszystkie wymienione czynniki pod uwagę.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań było skojarzenie materiałowe: stop tytanu (Ti6Al4V) – polimer (Chirulen®). Zarówno stop tytanu, jak i polimer posiadają certyfikaty

potwierdzające ich zastosowania w technice medycznej (spełniają wymagania stawiane biomateriałom).

Badania tribologiczne przeprowadzono za pomocą testera T-17 (**Rys. 1**), który posiada skojarzenie badawcze typu trzpień–płytkę. Badania prowadzono w ruchu posuwisto-zwrotnym w obecności płynu Ringera (odpowiednik cieczy fizjologicznej) przy stałych, wymaganych przez normę ASTM F732 [**L. 1**] parametrach pracy, które są następujące:

- amplituda ruchu [mm]: 12,5
- częstotliwość ruchu [Hz]: 1
- liczba cykli [-]: 1000000
- temperatura medium [°C]: 36,6±0,5



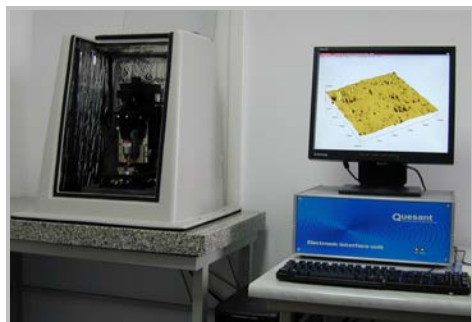
Rys. 1. Stanowisko badawcze: a) tribotester T-17, b) próbka i przeciwpróbka
 Fig. 1. Research stand: a) tribotester T-17, b) samples

Elementem badanym pod względem ukształtowania (trzy różne ukształtowania powierzchni oznaczone A, B i C) oraz wpływu tego ukształtowania na zużywanie polimerowego trzpienia była płytka wykonana ze stopu tytanu. Powierzchnie trzpieni oraz płytek zostały przygotowane zgodnie z wytycznymi norm ASTM F732-82 [**L. 1**] oraz ASTM F2033-12 [**L.2**]. Ich chropowatość wyrażona parametrem R_a zawarta była w zakresie $0,025 \pm 0,055 \mu\text{m}$, przy czym $R_a(A) < R_a(B) < R_a(C)$.

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono charakterystyki tarciove (współczynnik tarcia) i zużyciowe (intensywność zużywania) badanych skojarzeń materiałowych.

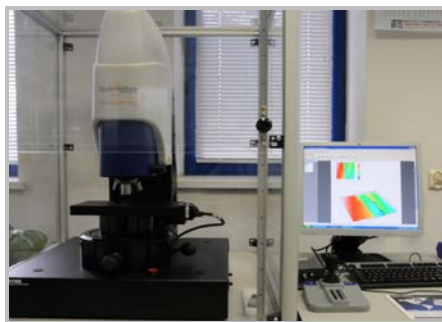
Analizy struktury geometrycznej powierzchni przed (TWW) i po testach tribologicznych (EWW) przeprowadzono w oparciu o wyniki pomiarów otrzymane na mikroskopie sił atomowych (Atomic Force Microscope *AFM*) oraz mikroskopie interferometrycznym (White Light Interferometry *WLI*) – **Rys. 2**.

a)

**Parametry skanowania AFM:**

- tryb: Wave
- pole skanowania [$\mu\text{m} \times \mu\text{m}$]: 80x80
- rozdzielczość skanowania [-]: 600

b)

**Parametry skanowania WLI:**

- czułość na osi z [nm]: 0.01
- pole skanowania [mmxmm]: 1.65x1.65
- obiektywy (powiększenie): Mirau (x10)

Rys. 2. Urządzenia pomiarowe: a) AFM, b) WLI

Fig. 2. Measurement devices: a) AFM, b) WLI

Pomiary przeprowadzone za pomocą mikroskopu *AFM* pozwoliły na wizualizację stanu powierzchni badanych w dużej rozdzielczości. Natomiast wykorzystanie mikroskopu interferometrycznego *WLI*, poza wizualizacją powierzchni, umożliwiło określenie parametrów charakteryzujących jej strukturę geometryczną.

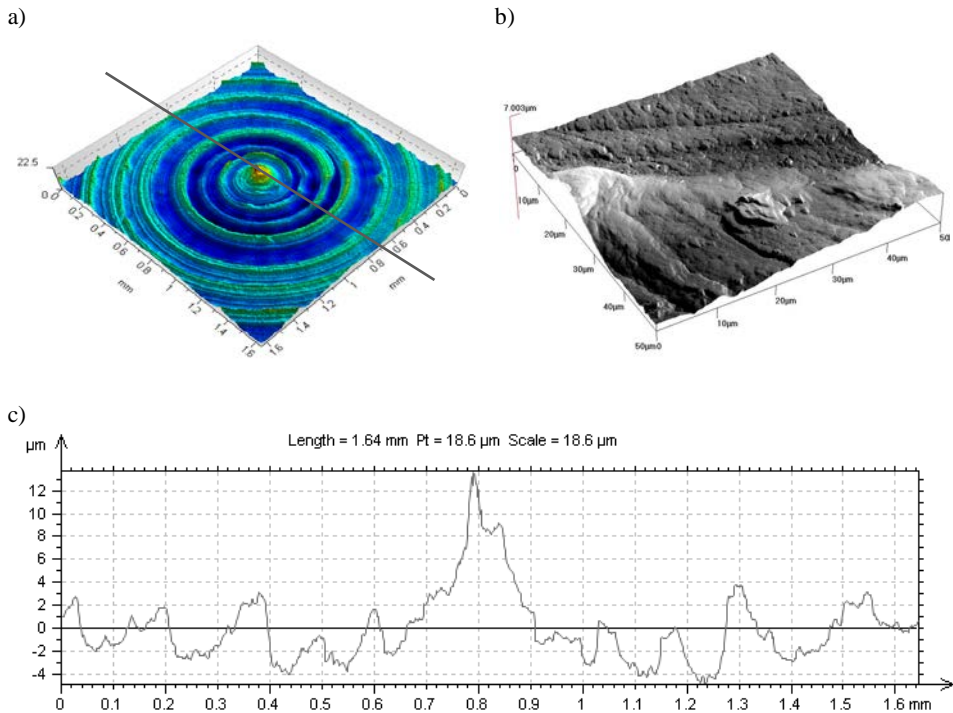
Stan powierzchni przed i po testach tribologicznych oceniono na podstawie wybranych funkcji oraz parametrów struktury geometrycznej powierzchni uzyskanych za pomocą specjalistycznego oprogramowania *Talymap Platinum v.6*.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Otrzymany w wyniku procesu wytwarzania stan powierzchni elementów wężła tarcia poddano analizie jakościowej oraz ilościowej.

Na **Rys. 3** przedstawiono topografię powierzchni czołowej oraz profil polimerowego trzpienia otrzymane za pomocą mikroskopu interferometrycznego *WLI* oraz fragment topografii jego powierzchni uzyskany za pomocą mikroskopu sił atomowych *AFM*.

Zarówno topografia powierzchni polimerowego trzpienia, jak też wybrany profil oddają charakter jego powierzchni roboczej (ślady obróbki po procesie toczenia). Średnia głębokość wgłębień wynosi 4 μm , natomiast średnia wysokość wzniesień (poza środkowym obszarem) wynosi 3 μm .



Rys. 3. Wyniki pomiaru polimerowego trzpienia: a) WLI – topografia, b) AFM – topografia, c) profil

Fig. 3. Measurement results of polymeric pin: a) WLI topography, b) AFM topography, c) profile

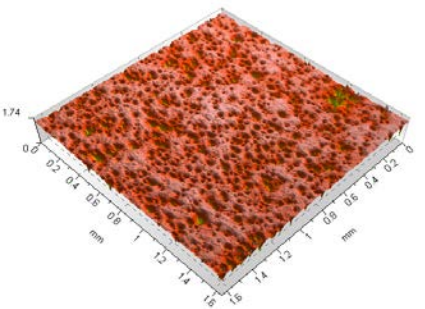
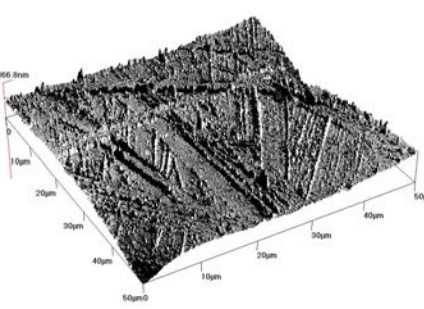
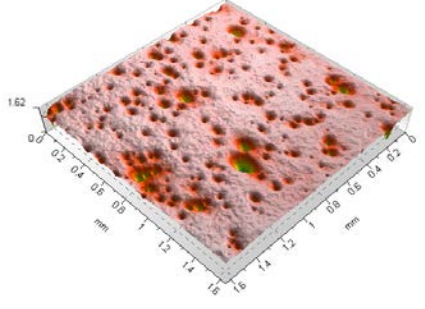
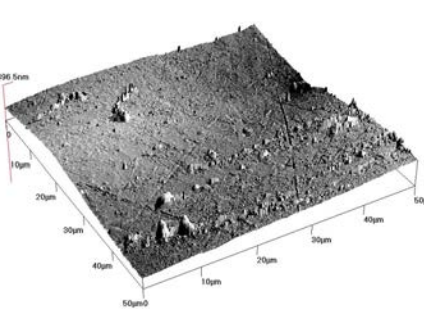
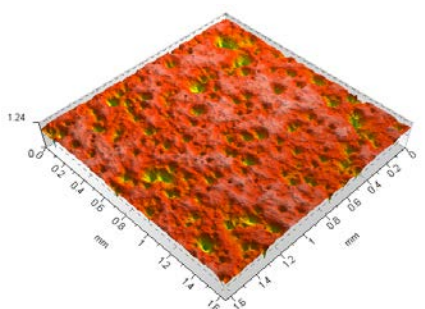
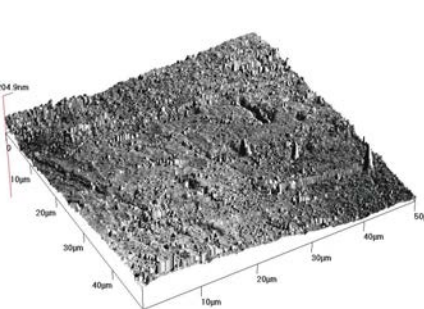
Na powierzchniach tytanowych płytek C wyraźnie widać liczne, regularnie rozmieszczone charakterystyczne wgłębienia o średniej głębokości $0,4 \mu\text{m}$ oraz wzniesienia o średniej wysokości $0,1 \mu\text{m}$.

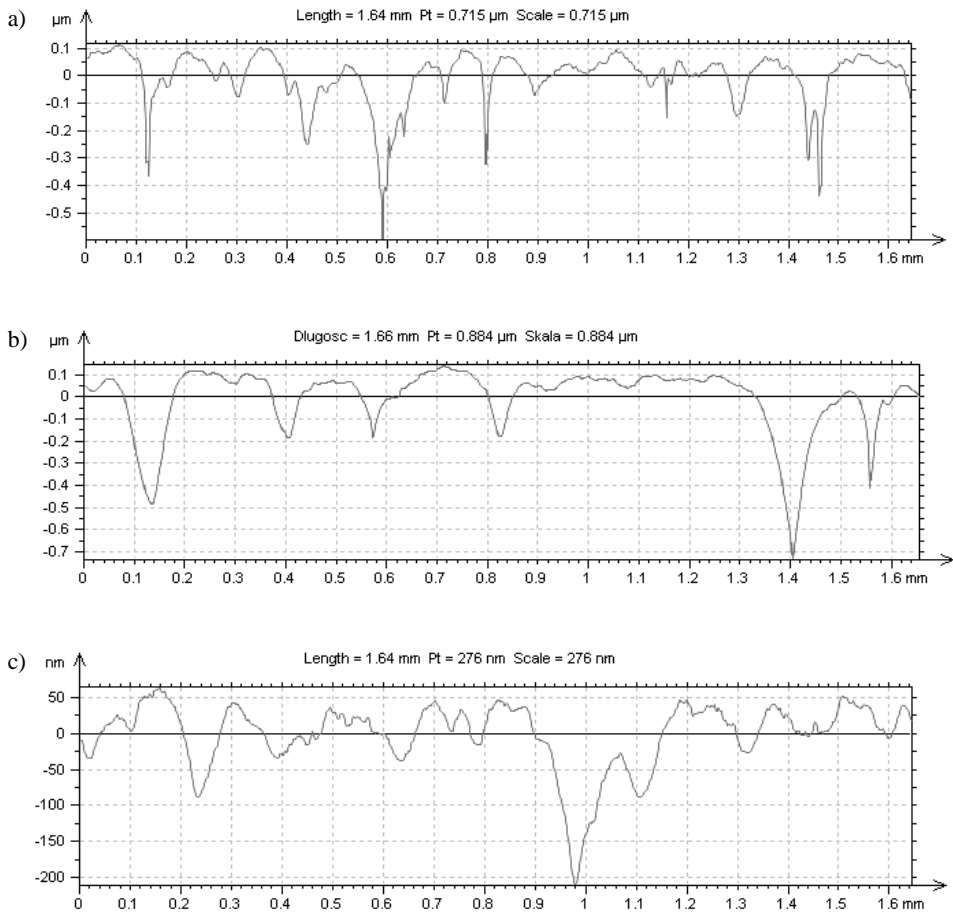
Na powierzchniach tytanowych płytek B większą część obszaru zmierzonego stanowią rozłożyste wzniesienia oraz nieregularnie rozmieszczone wgłębienia, z których część osiąga głębokość na poziomie $0,7 \mu\text{m}$.

Powierzchnie tytanowych płytek A charakteryzują niskie (do $0,05 \mu\text{m}$) wzniesienia oraz płytkie (do $0,2 \mu\text{m}$) wgłębienia w porównaniu z powierzchnią typu C i B.

Zestawienie wybranych wyników badań stanu powierzchni tytanowych elementów otrzymanych w wyniku procesu technologicznego (TWW) przedstawiono w **Tabeli 2** (topografia powierzchni) oraz na **Rys. 4** (profile). Analizując topografie oraz profile, stwierdzono różnice w ukształtowaniu powierzchni tytanowych płytek oznaczonych A, B i C.

Tabela 2. Topografia powierzchni (TWW) – wybrane wyniki WLI i AFM
Table 2. Surface topography (TWW) – chosen results obtained by use WLI and AFM

	<i>WLI</i>	<i>AFM</i>
<i>Powierzchnia typu C</i>		
<i>Powierzchnia typu B</i>		
<i>Powierzchnia typu A</i>		



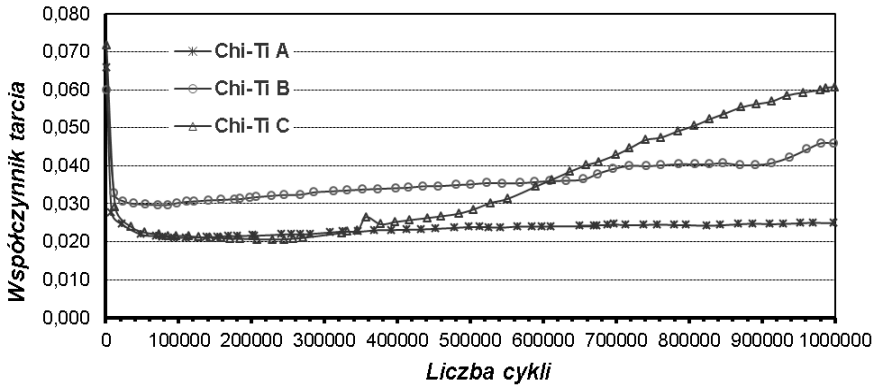
Rys. 4. Wybrany profil powierzchni TWW: a) typ C, b) typ B, c) typ A

Fig. 4. Surface profile: a) surface type C, b) surface type B, c) surface type A

Tak ukształtowane powierzchnie polimerowego trzpienia oraz tytanowych płytek poddano badaniom tribologicznym.

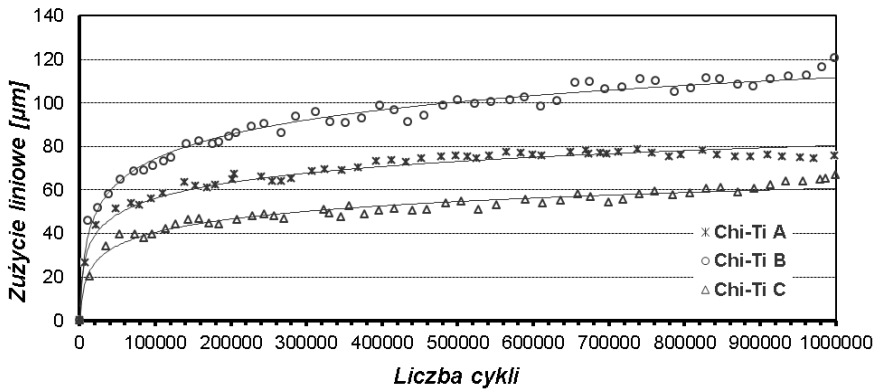
Zmiany współczynnika tarcia dla badanych skojarzeń materiałowych stop tytanu–polimer przedstawiono na **Rys. 5**.

Przyjmując, że zużycie tytanowych płytek było zerowe, przebieg zużycia liniowego polimerowego trzpienia wybranych skojarzeń przedstawiono na **Rys. 6**.



Rys. 5. Przebieg zmian współczynnika tarcia w badanych węzłach tarcia

Fig. 5. Friction coefficient in testing friction nodes

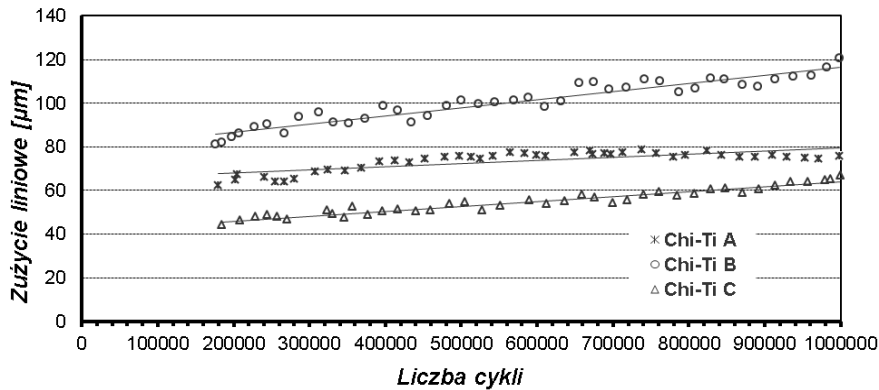


Rys. 6. Przebieg zużycia liniowego polimerowego trzpienia

Fig. 6. Linear wear of polymer pins

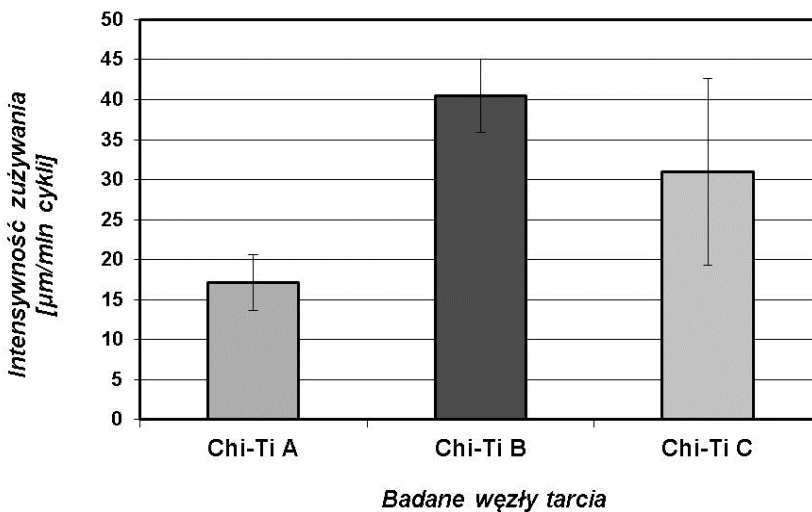
Analizując krzywe zużycia przedstawione na tym wykresie, można stwierdzić, że okres docierania poszczególnych badanych skojarzeń nie przekraczał 200 000 cykli. Dlatego też średnią intensywność zużywania polimerowych próbek określono w zakresie 200 000 do 1 000 000 cykli. Linie trendu w tym zakresie przedstawiono na **Rys. 7**, natomiast wyznaczone średnie wartości zużycia polimerowego trzpienia na **Rys. 8**.

Należy jednak zaznaczyć, że średnia intensywność zużywania charakteryzowana jest przez współczynnik kierunkowy linii trendu badanych skojarzeń (kąt nachylenia do osi odciętych – im mniejszy kąt, tym intensywność mniejsza). Różne położenie początku linii trendu na wykresie wynika jedynie z faktu większego lub mniejszego zużycia polimerowego trzpienia (skojarzenia) na etapie docierania i nie charakteryzuje średniej intensywności zużywania badanego skojarzenia.



Rys. 7. Linie trendu zużycia liniowego polimerowych trzpieni

Fig. 7. Linear wear of polymer pins



Rys. 8. Zestawienie średnich intensywności zużycia polimerowego trzpienia

Fig. 8. The wear intensity of polymer pins

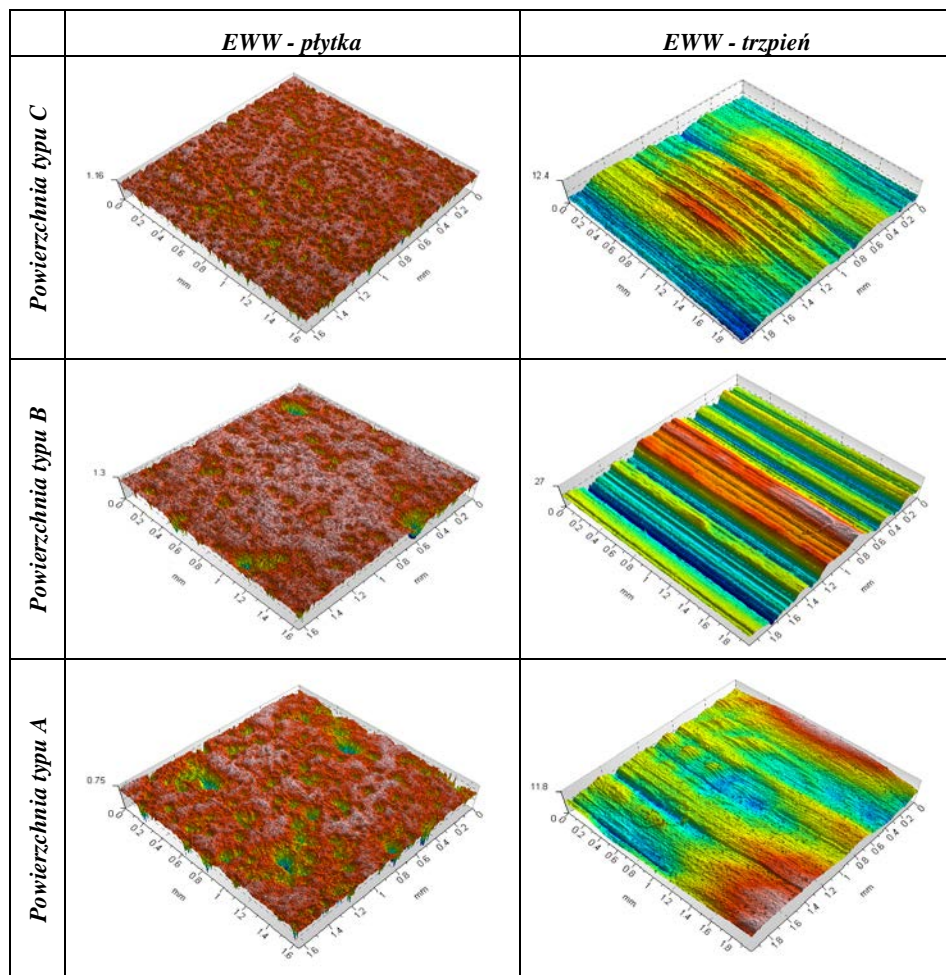
Wyniki otrzymane po badaniach tribologicznych przeprowadzonych dla każdego skojarzenia w niezmiennych warunkach (omówionych w punkcie *Przedmiot i metodyka badań*) wskazują, że najmniejsza wartość współczynnika tarcia oraz najmniejsza intensywność zużywania polimerowego trzpienia były dla powierzchni tytanowych płytek charakteryzowanych najmniejszą chropowatością powierzchni określoną parametrem R_a .

Zestawienie wybranych wyników pomiaru stanu powierzchni po badaniach tribologicznych (EWW) dla tytanowych płytek oraz polimerowego trzpienia zawarto w **Tabeli 3** (wyniki z *WLI*) i **4** (wyniki z *AFM*).

Obrazy otrzymane za pomocą mikroskopu interferometrycznego *WLI* pokazują przeszło 30-krotnie większy obszar zmierzonej powierzchni w porównaniu z obrazami otrzymanymi za pomocą mikroskopu sił atomowych *AFM*.

Tabela 3. Topografia powierzchni EWW – wybrane wyniki *WLI*

Table 3. Surface topography (EWW) – chosen results obtained by use *WLI*

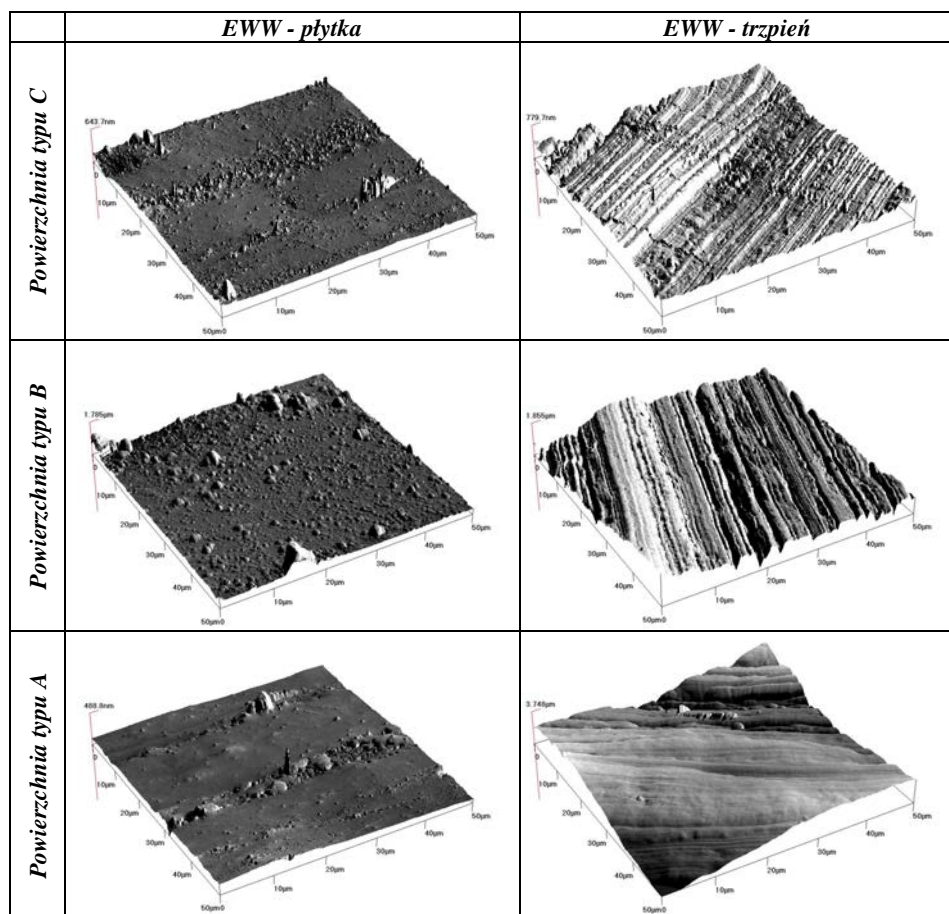


Przedstawione w **Tabeli 3** wyniki ujawniają wpływ ukształtowania powierzchni tytanowych płytek (TWW) na ukształtowanie powierzchni polimerowego trzpień (EWW – trzpień) oraz charakter rozłożenia nierówności na powierzchniach tytanowych płytek (EWW – płytka), w tym zdeponowanego materiału trzpień – jasne rozległe miejsca.

Rysy występujące na powierzchniach polimerowego trzpienia, widoczne zarówno na obrazach *WLI*, jak również *AFM* (EWW – trzpień) wskazują na charakter tarcia w ruchu względnym powierzchni badanych skojarzeń. Nierówności występujące na powierzchniach tytanowych płytek w kontakcie z powierzchnią polimerowego trzpienia rysowały je, zbierając w ten sposób materiał polimerowy deponujący się na powierzchni tytanu.

Tabela 4. Topografia powierzchni EWW – wybrane wyniki *AFM*

Table 4. Surface topography (EWW) – chosen results obtained by use *AFM*



Z uwagi na małe obszary pomiarowe (50x50 µm), a tym samym większą rozdzielczość obrazów otrzymanych za pomocą mikroskopu sił atomowych *AFM*, na powierzchniach tytanowych płytek (EWW – płytka) widać wyraźnie zdeponowane produkty zużycia (polimer).

W **Tabeli 5** zestawiono parametry opisujące stan powierzchni przed badaniami tribologicznymi oraz po, co umożliwia dokonanie oceny ilościowej badanych powierzchni.

Tabela 5. Parametry opisujące stan TWW oraz EWW dla powierzchni badanych płytek
Table 5. Parameters describing the state of TWW and EWW surfaces of testing plates

	Charakterystyka TWW		Charakterystyka EWW	
Powierzchnia typu C	$R_a = 0,051$ [μm] $S_q = 0,089$ [μm] $S_{sk} = -2,82$ [-] $S_{ku} = 16,9$ [-]	$S_t = 1,75$ [μm] $S_v = 1,42$ [μm] $S_p = 0,333$ [μm] $S_{ds} = 4172$ [$1/\text{mm}^2$]	$R_a = 0,065$ [μm] $S_q = 0,101$ [μm] $S_{sk} = -2,05$ [-] $S_{ku} = 9,47$ [-]	$S_t = 1,18$ [μm] $S_v = 0,915$ [μm] $S_p = 0,265$ [μm] $S_{ds} = 17025$ [$1/\text{mm}^2$]
Powierzchnia typu B	$R_a = 0,038$ [μm] $S_q = 0,087$ [μm] $S_{sk} = -3,25$ [-] $S_{ku} = 21$ [-]	$S_t = 1,62$ [μm] $S_v = 1,42$ [μm] $S_p = 0,206$ [μm] $S_{ds} = 3798$ [$1/\text{mm}^2$]	$R_a = 0,067$ [μm] $S_q = 0,132$ [μm] $S_{sk} = -3,00$ [-] $S_{ku} = 16,7$ [-]	$S_t = 1,31$ [μm] $S_v = 1,050$ [μm] $S_p = 0,264$ [μm] $S_{ds} = 21836$ [$1/\text{mm}^2$]
Powierzchnia typu A	$R_a = 0,027$ [μm] $S_q = 0,074$ [μm] $S_{sk} = -2,75$ [-] $S_{ku} = 16,5$ [-]	$S_t = 1,26$ [μm] $S_v = 0,98$ [μm] $S_p = 0,280$ [μm] $S_{ds} = 3139$ [$1/\text{mm}^2$]	$R_a = 0,053$ [μm] $S_q = 0,096$ [μm] $S_{sk} = -2,39$ [-] $S_{ku} = 10,4$ [-]	$S_t = 0,75$ [μm] $S_v = 0,561$ [μm] $S_p = 0,190$ [μm] $S_{ds} = 21294$ [$1/\text{mm}^2$]

Wartości parametrów R_a (średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości profilu), S_q (średnie kwadratowe odchylenie chropowatości powierzchni) oraz S_t (wysokość nierówności powierzchni) określają chropowatość technologiczną (TWW) powierzchni badanej. Największa chropowatość (określona parametrem R_a) charakteryzuje powierzchnie tytanowych płytek C, najmniejsza chropowatość – powierzchnie tytanowych płytek A, zgodnie z zależnością $0,025 \mu\text{m} < R_a(A) < R_a(B) < R_a(C) < 0,055 \mu\text{m}$.

Parametr S_{ku} (współczynnik skupienia) informuje o rozkładzie nierówności na analizowanych powierzchniach. Wartość parametru S_{ku} równa 3 wskazuje na równomierny (normalny) rozkład nierówności (w tym defektów) na powierzchni. Im większa wartość parametru S_{ku} , tym więcej defektów (głębokich wgłębień, wysokich wzniesień). Stąd wniosek, że wszystkie badane powierzchnie charakteryzuje duża liczba defektów (wgłębień), które widoczne są na obrazach zestawionych w **Tabeli 2**.

Parametr S_{sk} (współczynnik asymetrii) informuje o charakterze powierzchni oraz stopniu zaokrąglenia wierzchołków wzniesień. Ujemne wartości parametru S_{sk} świadczą o płaskowyżowym ukształtowaniu powierzchni. Powierzchnię tytanowej płytki B charakteryzuje najmniejsza, ujemna wartość parametru S_{sk} , co oznacza występowanie na badanej powierzchni obszarów płaskowyżo-

wych oraz wzniesień o łagodnych zboczach i zaokrąglonych wierzchołkach. Takie ukształtowanie potwierdza analiza jakościowa, której wyniki (obrazy) przedstawiono w **Tabeli 2**.

Największą wartość parametru S_p (maksymalna wysokość wzniesienia powierzchni) odnotowano dla powierzchni tytanowej płytki C, najmniejszą – dla powierzchni tytanowej płytki A. Wartość parametru S_v (maksymalna głębokość wgłębienia powierzchni) dla tytanowych płytek C i B była porównywalna i większa w porównaniu z powierzchnią A.

Parametr S_{ds} (gęstość wierzchołków nierówności powierzchni) określa zagęszczenie wzniesień nierówności na badanej powierzchni. Im większa wartość parametru S_{ds} , tym większa powierzchnia nośna. Uwzględniając dodatkowo wartość parametru S_{sk} (opisującego charakter wzniesień), stwierdzono, że powierzchnia tytanowej płytki B charakteryzuje największa powierzchnia nośna, a tym samym największa spośród badanych powierzchni powierzchnia styku z polimerowym trzpieniem podczas badań tribologicznych.

Takie ukształtowanie wpłynęło na charakterystyki tribologiczne, przede wszystkim na intensywność zużywania polimerowego trzpienia – największa intensywność zużywania odnotowana dla skojarzenia polimerowego trzpienia z płytką B, najmniejsza – dla skojarzenia polimerowego trzpienia z płytką A.

Parametry opisujące stan powierzchni tytanowych płytek po badaniach tribologicznych (EWW) uległy znaczącej zmianie. Dla wszystkich badanych powierzchni odnotowano wzrost wartości parametrów S_q , S_{sk} , S_{ds} . Spadek wartości odnotowano w przypadku parametrów S_t , S_v i S_{ku} . Wartość parametru S_p zwiększyła się w przypadku powierzchni tytanowej płytki B, natomiast dla powierzchni A i C wartość tego parametru uległa zmniejszeniu. Wartość parametru S_p w przypadku powierzchni B wzrosła na skutek zdeponowania większej ilości produktów zużycia (materiału polimerowego trzpienia – widoczne jasne miejsca na obrazie w **Tabeli 3**). Przyczyną spadku wartości parametru S_v dla wszystkich badanych powierzchni było prawdopodobnie zgromadzenie produktów zużycia w zagłębieniach występujących na powierzchni tytanowych płytek.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników określono zależność między czynnikami technologicznymi (cechami geometrycznymi) ukonstytuowanymi w procesie wytwarzania (TWW) a charakterystykami tribologicznymi (współczynnik tarcia, intensywność zużywania) i ukonstytuowaną w trakcie eksploatacji powierzchnią (EWW, produkty zużycia).

- Produktem zużycia we wszystkich badanych skojarzeniach był materiał polimerowego trzpienia (Chirulen®).

- Najmniejszą intensywność zużywania polimerowego trzpienia odnotowano dla skojarzenia polimerowy trzpień–tytanowa płytką A (powierzchnia charakteryzowana najmniejszą chropowatością).
- Najmniejszy współczynnik tarcia oraz stabilny przebieg zmian współczynnika tarcia odnotowano także dla skojarzenia polimerowy trzpień–tytanowa płytką A.
- Zużycie w skojarzeniach materiałowych polimerowy trzpień–tytanowa płytką stanowi efekt wielu zjawisk, w tym ścierania (mikroskrawania nierównościami występującymi na powierzchni tytanowych płytek), zmęczenia, adhezji, kohezji warstwy wierzchniej powstałej podczas badań tribologicznych.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2011–2014.

LITERATURA

1. ASTM F732-82: Standard Test Method for Wear Testing of Polymeric Materials Used in Total Joint Prostheses.
2. ASTM F2033-12: Standard Specification for Total Hip Prosthesis and Hip Endoprosthesis Bearing Surfaces Made of Metallic, Ceramic and Polymeric Materials.
3. ISO 4287: Surface Roughness – Terminology. Surface and its Parameters, 1984.
4. Niemczewska-Wójcik M., Mańkowska-Snopczyńska A., Piekoszewski W.: The investigation of wear tracks with the use of noncontact measurement methods, Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 13 (2), 158–167, 2013.
5. Pawlus P.: Topografia powierzchni – pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
6. Stout K.J., Blunt L.: Three Dimensional Surface Topography. Penton Press, London 2000.
7. Wieczorowski M.: Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.

Summary

The paper presents and discusses the results of the research on the wear mechanism of friction nodes and the main factors influencing, to a great extent, this type of destruction. The object of the research and analysis was a pair of materials: titanium alloy (Ti6Al4V) - polymer (Chirulen®) in the plate-on-pin friction node. The surfaces of the pins and the plates were shaped and prepared in accordance with the guidelines of the standards. Tribological tests were carried out using a T-17 tribotester and the Ringer

fluid. Tribological characteristics were determined, i.e. the friction coefficient, and the wear intensity of the polymeric component. The correlation between technology factors (geometric features) formed in the manufacturing process and tribological characteristics (friction coefficient, wear intensity) and the surface shaped during operation (wear products) were established.