

Piotr DUDA^{*}, Marek BARA^{*}

CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE APT-T5W W ASPEKCIE RÓŻNYCH WĘZŁÓW TARCIA I RODZAJÓW RUCHU

TRIBOLOGICAL PROPERTIES APT T5W DIFFERENT NODES RELATED TO FRICTION AND TYPES OF MOTION

Słowa kluczowe:

powłoki tlenkowe, tworzywo sztuczne, tarcie, zużycie, badania porównawcze

Key words:

oxide coatings, plastic, friction, wear, comparative studies

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie właściwości tribologicznych powłok tlenku aluminium, które zostały wytworzone na stopie aluminium EN-AW-5251 metodą anodowania twardego. Powłoka tlenkowa posiada włóknistą strukturę i porowatą morfologię powierzchni o rozmiarach porów uzależnionych od warunków utleniania. Wytwarzanie twardych, odpornych na zużywanie powłok tlenkowych jest powszechnie stosowa-

^{*} Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 39, 41-200 Sosnowiec, tel. (32) 36-89-745.

nym zabiegiem poprawy właściwości tribologicznych aluminium. Powłoki tlenkowe badano w skojarzeniu z tworzywem T5W, wykorzystywanym do produkcji uszczelnień urządzeń tłokowych. Testy tribologiczne przeprowadzono na testerach: T-01 (w ruchu obrotowym), T-05 (w ruchu obrotowym i oscylacyjnym) oraz T-17 (w ruchu posuwistozwrotnym) w warunkach tarcia technicznie suchego. Dla wszystkich rodzajów skojarzeń powłoki tlenkowe zostały wykonane w takich samych warunkach gęstości prądu, temperatury elektrolitu oraz powierzchni utleniania.

W pracy zostały przedstawione analizy charakterystyk tribologicznych dla poszczególnych rodzajów ruchu. Analiza wyników badań tribologicznych jest uzupełniona badaniami morfologii powierzchni.

WPROWADZENIE

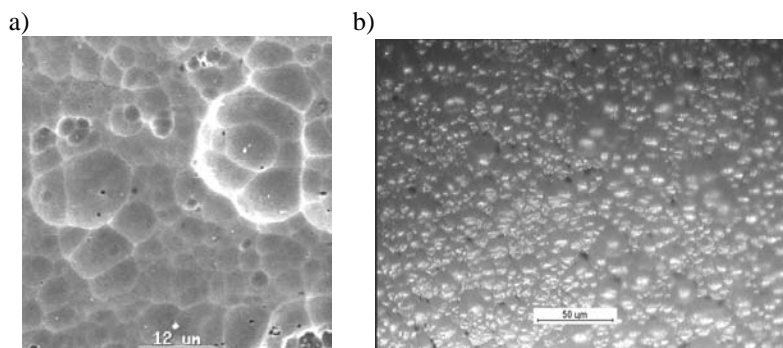
Odporność na zużycie oraz wartość współczynnika tarcia określane w zależności od prędkości poślizgu i nacisku powierzchniowego jest w wielu przypadkach utożsamiane z właściwościami tribologicznymi materiałów przeznaczonych do współpracy ślizgowej. Charakterystyki tribologiczne w rzeczywistości nie dotyczą tylko poszczególnych materiałów węzła ślizgowego, ale konkretnego skojarzenia materiałowego, przedstawiając zjawiska zachodzące na styku powierzchni materiałów z uwzględnieniem warunków współpracy [L. 1]. Bardzo często badania przydatności materiałów na skojarzenia ślizgowe przeprowadzane są na stanowiskach tribologicznych bez uwzględnienia warunków pracy, w jakich te materiały będą współpracowały. Nieuwzględnienie warunków współpracy bywa często przyczyną rozbieżności pomiędzy wynikami badań tribologicznych przeprowadzanych w różnych ośrodkach badawczych. Warunki badań skojarzenia powinny zatem jak najdokładniej odpowiadać warunkom pracy eksploatacyjnej, natomiast używane do badań stanowiska tribologiczne powinny naśladować pracę elementów węzłów kinematycznych [L. 2, 3]. Charakter zużycia materiałów skojarzonych ślizgowo jest w głównej mierze uzależniony od kinematyki ruchu, doboru materiałów, zastosowanych obciążeń, gładkości powierzchni, warunków smarowania części. W zależności od rodzaju ruchu zastosowanego w odpowiednich testerach tribologicznych możemy mieć do czynienia z różnym rodzajem zużycia materiału, co w konsekwencji doprowadza do tego, że zużycie materiału będzie różne.

Celem niniejszego artykułu było porównanie charakterystyk tribologicznych dla skojarzenia ślizgowego APT-T5W przeprowadzonego dla różnego rodzaju ruchu na dostępnych testerach tribologicznych.

MATERIAŁ BADAWCZY

Materiał do badania skojarzenia ślizgowego stanowiły próbki z tworzywa T5W. Tworzywo T5W to kompozyt wytworzony na osnowie PTFE z fazą dyspersyjną w postaci proszku węgla preparowanego. Tworzywo to, posiadające niski współczynnik tarcia w skojarzeniu z metalami, jest najczęściej stosowane w pneumatycznych i hydraulicznych układach tłok–cylinder oraz w układach uszczelnień amortyzatorów i zaworów kulowych.

Jako przeciwpróbki zastosowano powłoki tlenku aluminium wytworzone na stopie EN AW-5251 metodą anodowania twardego. Przeprowadzenie anodowania tą metodą pozwala na otrzymywanie twardych powłok Al_2O_3 dla zastosowań tribologicznych, a sterowanie parametrami procesu pozwala w określonych granicach na konstytuowanie wybranych właściwości użytkowych powłok. Powłoki tlenkowe zostały wytworzone na tarczach, pierścieniach i płytkach o wymiarach dostosowanych do odpowiednich testerów tribologicznych. Powierzchnie anodowania zostały dopasowane w taki sposób, by dla każdego rodzaju przeciwpróbek powierzchnia powłoki tlenkowej wynosiła $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Proces anodowania był prowadzony przy stałym ładunku elektrycznym 180 A·min, stosując gęstość prądową 3 A/dm². Temperatura trójskładnikowego elektrolitu podczas całego procesu była stała i wynosiła 303 K.



Rys. 1. Morfologia powłoki tlenkowej: a) mikroskop skaningowy, b) mikroskop optyczny

Fig. 1. Morphology of oxide coatings: a) scanning microscope, b) optical microscope

METODYKA BADAŃ

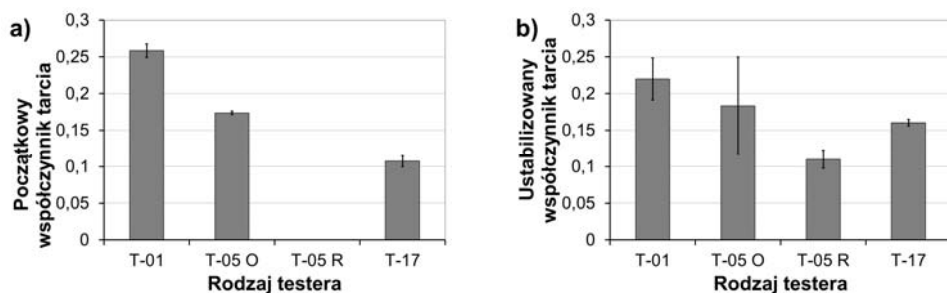
Badania tribologiczne przeprowadzono na trzech stanowiskach: typu trzpień–tarcza T-01; rolka–klocek T-05 i trzpień–płaszczyzna T-17 (produkcji ITeE – PIB). We wszystkich przypadkach materiałem próbki było tworzywo T5W, które współpracowało z anodową powłoką twardą APT. Współpraca elementów była przeprowadzana w warunkach tarcia technicznie suchego przy następujących parametrach styku: średnia prędkość poślizgu 0,2 m/s, nacisk 1 MPa i droga tarcia 15 000 m. Bez względu na rodzaj ruchu droga tarcia dla wszystkich testów była taka sama. Wilgotność powietrza w laboratorium utrzymywano na poziomie $40\pm 10\%$, a temperaturę otoczenia na poziomie $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Pomiary zużycia masowego określano z wykorzystaniem wagi analitycznej WGR60 firmy RADWAG. Obserwację i analizę mikroskopową powierzchni przeprowadzono za pomocą mikroskopu pomiarowego Nikon MM-40 wyposażonego w system cyfrowej analizy obrazu "Micro-Scan" oraz mikroskopu skaningowego Low Vacuum firmy HITACHI.

WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że współczynniki tarcia par trących na etapie docierania znacząco różniły się między sobą (**Rys. 2a**). Brak wyników z testera T-05 (rolka–klocek) dla ruchu rewersyjnego spowodowany był prawdopodobnie dużą losowością pomiaru i jego małą częstotliwością, co mogło spowodować, że wynik byłby mocno zaniżony w odniesieniu do wyników z pozostałych testerów. Efektem współpracy na wszystkich testerach powłoki tlenkowej z tworzywem T5W był polimerowy film ślizgowy naniesiony na powierzchnię przeciwpróbki.

Uzyskane wyniki wskazują na to, że najwyższą wartość początkowego współczynnika tarcia uzyskano dla ruchów obrotowych. Tak duża różnica może być spowodowana tym, że ścieżka tarcia w przypadku wężła testera T-01 była najdłuższa z realizowanych w badaniach i dodatkowo potrzebny był najdłuższy czas ukonstytuowania się początków filmu ślizgowego. Analizując wyniki uzyskane z testera trzpień–płaszczyzna, dla ruchu obrotowego, należy podkreślić, że brano pod uwagę maksymalne wartości siły tarcia w danej chwili. Ruch rewersyjny (posuwisto-zwrotny) oraz najkrótsza ścieżka tarcia mogły być przyczyną uzyskania tak małych wartości początkowego współczynnika tarcia.



Rys. 2. Początkowy (a) i ustabilizowany współczynnik tarcia (b)

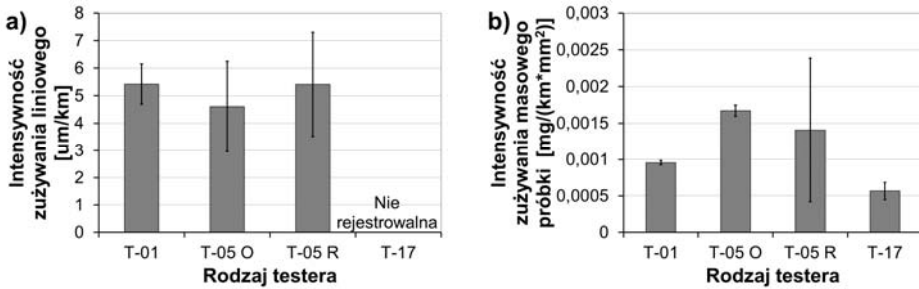
Fig. 2. Initial (a) and stabilized friction coefficient (b)

Ze względu na duże odchylenie standardowe wyniki współczynnika tarcia uzyskane dla testera T-05 są trudne w interpretacji (**Rys. 2b**). Jednak i w tym przypadku zaobserwować można, że ruch rewersyjny daje niższe wartości współczynnika. Podobnie jak w poprzednim przypadku analizowano obwiednię charakterystyki tarciowej dla ruchu rewersyjnego. Duża wartość współczynnika tarcia uzyskana dla węzła trzpień–tarcza może być spowodowana tym, że po ukonstytuowaniu się filmu ślizgowego zjawiska adhezyjne zaczęły zwiększać swoje znaczenie i zaczęła rosnąć wartość siły tarcia. Potwierdzeniem mogą być obrazy uzyskane z mikroskopu optycznego (**Rys. 4d**), gdzie widać film ślizgowy z dużymi brakami związanymi z odrywaniem warstwy filmu ślizgowego. Największe rejestrowane odchylenie standardowe współczynnika tarcia występuje dla ruchu obrotowego węzła rolka–klocek i może być spowodowane tym, że uzyskanie dokładnej wartości siły tarcia jest utrudnione z powodu konstrukcji węzła.

Intensywność zużywania liniowego pary tribologicznej dla wszystkich przypadków kształtowała się na tym samym poziomie i ze względu na duże odchylenia standardowe nie wykazują istotnych różnic (**Rys. 3a**). Brak wyników dla testera T-17 jest spowodowana tym, iż uzyskane wyniki są w granicy oznaczalności pomimo zastosowania 30 min etapu chłodzenia po teście tribologicznym.

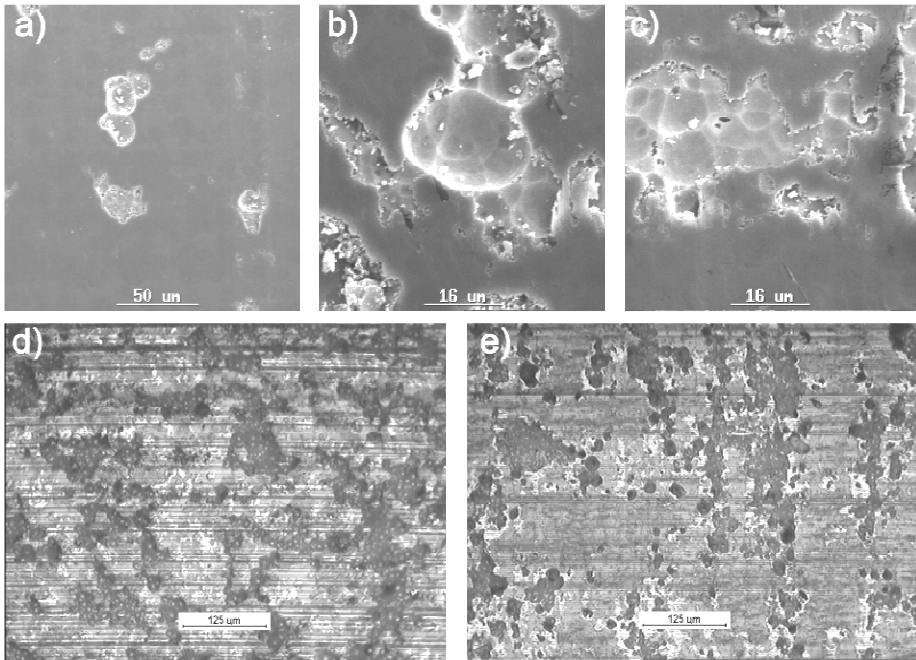
Stosowane w badaniach urządzenia posiadają różne wymiary próbek, a zatem i różne powierzchnie współpracy. Dlatego intensywność zużywania masowego próbek została odniesiona do powierzchni próbki. Analizując wyniki intensywności zużywania masowego stwierdzono bardzo duży rozrzut wyników dla skojarzenia rolka–klocek w ruchu rewersyjnym, pomimo iż dla tego właśnie skojarzenia przeprowadzono najwięk-

szą liczbę powtórzeń. Nie biorąc pod uwagę tego przypadku najniższe intensywności zużycia uzyskano dla ruchu rewersyjnego na testerze T-17. Testy przeprowadzone w ruchu obrotowym dały dużo większą intensywność zużycia. Różnicę tę można tłumaczyć tym, iż w przypadku ruchu obrotowego są dłuższe ścieżki tarcia.



Rys. 3. Intensywność zużycia liniowego (a) i masowego (b)

Fig. 3. Linear wear intensity (a) and mass wear intensity (b)



Rys. 4. Obserwacja mikroskopowa śladu tarcia

Fig. 4. Microscopic observation of the friction trace

Obserwacja mikroskopowa potwierdza, że uzyskany film ślizgowy jest ciągły, choć usiany kraterami spowodowanymi wyrywaniem jego części na skutek sił tarcia i adhezji (**Rys. 4**). Na zdjęciach z mikroskopu skaningowego (**Rys. 4b, c**) widoczne jest, że tylko mikropory tlenu biorą udział w konstytuowaniu się filmu ślizgowego. Dla różnych rodzajów ruchu na płaskich przeciwpróbkach zaobserwowano też różny rozkład filmu ślizgowego. Cała powierzchnia filmu w skojarzeniu trzpień–tarcza była równomiernie rozłożona i nie wykazywała charakteru kierunkowego. Silny charakter kierunkowy, poprzeczny do kierunku tarcia, zaobserwowano w przypadku końcowych części śladu tarcia na testerze T-17 (**Rys. 4d, e**). Ze względu na objętość artykułu nie zamieszczono wyników tych pomiarów.

WNIOSKI

Przedstawione wyniki i analizy badań wykazują, że nie jest możliwe bezpośrednie porównywanie rezultatów takiego samego skojarzenia materiałowego dla różnego kształtu węzłów tarcia. Różnice obserwowane są też w przypadku rodzaju ruchu, porównując charakter rewersyjny i obrotowy.

Analizując jakość oraz powtarzalność wyników, można stwierdzić, że testery korzystające z płaskich powierzchni współpracy, jakimi są tester typu trzpień–tarcza i trzpień–płaszczyzna, wykazują mniejsze niepewności pomiarowe intensywności zużywania oraz akceptowalne wartości ustabilizowanego współczynnika tarcia. Urządzenie rolka–klocek w przypadku zastosowania ruchu obrotowego wrzeczona umożliwia uzyskanie bardziej jednoznacznych wyników intensywności zużywania niż dla ruchu obrotowego.

LITERATURA

1. Janecki J.: Badanie wpływu obciążeń dynamicznych na zużycie przy ruchu posuwisto-zwrotnym. Biuletyn WAT, nr 8 (108), sierpień 1961.
2. Szczerek M.: Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Wydawnictwo Instyt.Techn.Eksploatacji, 1997.
3. Eds. K. Verkammen, J. Meneve: The friction behaviour of a-C:H and ta-C films in dry and humid conditions, Proceedings of COST516 Tribology Symposium, VITO, Belgium, 1999, p. 140–149.

Recenzent:
Witold PIEKOSZEWSKI

Summary

The aim of the paper is to show the tribological properties of aluminium oxide coatings deposited on EN-AW-5251 aluminium alloy by the hard anodising method. The oxide coating is characterised by fibrous structure and porous surface morphology, and pore size depends on oxidising conditions.

Production of hard and wear resistant oxide coatings is the universally used method for the improvement of the tribological properties of aluminium. The oxide coatings were tested in pairs with T5W plastic, which is used to production of seals for piston devices. Tribological tests were carried out using the following test equipment: T-01 (rotational motion), T-05 (rotational and oscillating motion) and T-17 (reciprocating motion) under dry friction conditions. For all types of friction pairs, the oxide coatings were produced in the same conditions of current density, electrolyte temperature and oxidation surface.

This study included analyses of the tribological characteristics for individual types of motion. The analysis of tribological test results has been complemented with the results of the surface morphology tests.