Marian SZCZEREK[*], Jacek PRZEPIÓRKA[*], Maria CZERSKA[*]

POPRAWA CHARAKTERYSTYK TRIBOLOGICZNYCH POLIMEROWO--METALOWYCH WĘZŁÓW TARCIA Z WYKORZYSTANIEM MODYFIKOWANYCH POROMERYCZNYCH POWŁOK POLIMEROWYCH

AN IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER-METAL FRICTION PAIR BASED ON MODIFIED POLYMER POROMER COATINGS

Słowa kluczowe:

polimer, kompozyt, modyfikacja, powłoki poromeryczne

Key-words:

polymer, composite, modification, poromer coatings

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową koncepcję optymalizacji polimerowo--metalowych węzłów tarcia bazującą na zmniejszeniu bezpośrednich od-

[*] Politechnika Radomska, Wydział Materiałoznawstwa i Technologii Obuwia, ul. Chrobrego, 26-600 Radom.

działywań pomiędzy współpracującymi powierzchniami elementów trących. Liczne badania wskazują na występowanie adhezyjnych szczepień powodujących zużywanie elementu polimerowego oraz wzrost temperatury w strefie styku. Wysoka temperatura może również inicjować reakcje destrukcji polimeru, którym towarzyszy wydzielanie się małocząsteczkowych produktów rozkładu niszczących współpracujący z polimerem element stalowy. Ograniczenie tych czynników, zdaniem autorów, powinno przyczynić się do znaczącego wydłużenia pracy węzła tarcia, jak również do zmniejszenia oporów ruchu.

Przeprowadzone badania tribologiczne potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji poprawy charakterystyk tribologicznych polimerowo-metalowych węzłów tarcia. Polega ona na pokryciu elementu stalowego powłokami PVD (np.: TiN, CrN) oraz zastąpieniu elementu polimerowego elementem stalowym pokrytym poromeryczną powłoką polimerową. Radykalnie ogranicza to występowanie głównych mechanizmów powodujących zużycie węzłów tarcia.

WPROWADZENIE

Tworzywa sztuczne obecnie wykorzystywane są do budowy węzłów tarcia pracujących przy małych obciążeniach i prędkościach poślizgu. Zwiększenie zakresu zastosowań polimerowo-metalowych węzłów w budowie maszyn uzależnione jest od zwiększenia ich trwałości, limitowanej zużyciem elementu polimerowego. Dominującym mechanizmem zużywania są oddziaływania adhezyjne, powodujące nie tylko przenoszenie polimeru na metal, lecz również przyczyniające się do zużycia zmęczeniowego – pękania polimeru, a w konsekwencji wykruszania jego cząstek, mogących powodować zużywanie ścierne. Naniesiony polimer na współpracujący element stalowy radykalnie zmniejsza ilość ciepła odprowadzanego ze strefy styku powodując wzrost temperatury. Proces ten jest powodem wielu niekorzystnych zjawisk: mięknięcia kompozytu (polimery używane do budowy węzłów tarcia najczęściej są termoplastami) inicjowania zjawisk elektrycznych w strefie styku (afiniczność) reakcje termicznego rozkładu polimeru z wydzieleniem się małocząsteczkowych substancji, agresywnych dla współpracującej powierzchni elementu metalowego. Z przytoczonych rozważań wynika, że wzrost temperatury w strefie styku powoduje nie tylko niszczenie polimeru, ale również przyczynia się do zużycia elementu stalowego przez powodowanie kruchości

wodorowej lub nawet powodowanie „wypalania” warstwy wierzchniej stali w wyniku mikroeksplozji mieszaniny tlenu i wodoru (który jest produktem rozkładu termicznego polimerów) **[L. 1÷5]**.

W procesie modyfikacji polimerów różnymi napełniaczami, ukierunkowanym na polepszanie właściwości mechanicznych, najczęściej nie jest uwzględniany energetyczny stan powierzchni tak otrzymywanego kompozytu ani tego, że musi on współpracować z elementem metalowym, najczęściej stalowym, którego tlenki tworzą wiązania wodorowe z polimerem, zwiększając adhezję. Stosowane obecnie napełniacze używane do poprawy właściwości tribologicznych kompozytu z reguły nie przyczyniają się do zwiększenia przenoszenia ciepła w kompozycie **[L. 6]**.

Jednym ze sposobów poprawy bilansu energetycznego w strefie styku polimerowo-metalowych węzłów tarcia jest wytworzenie cienkiej powłoki kompozytowej na elemencie metalowym, która z uwagi na swoją niewielką grubość będzie mogła, poprzez podłoże, na którym jest osadzona, lepiej odprowadzać ciepło wydzielone podczas tarcia **[L. 7]**.

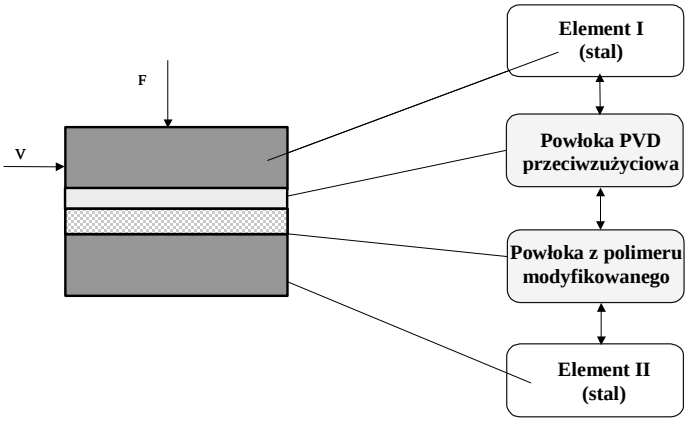
Autorzy są zdania, że współpraca cienkiej polimerowej powłoki z powierzchnią metalową pokrytą powłoką o odmiennych od metalu właściwościach fizykochemicznych może umożliwić wyeliminowanie wielu przedstawionych wyżej, niekorzystnych zjawisk i znacznie złagodzić negatywne skutki procesu tarcia.

ISTOTA METODY

W zaproponowanym modelu węzła tarcia znacząca poprawa charakterystyk tribologicznych skojarzenia polimer-metal możliwa jest na skutek zmniejszenia oddziaływań adhezyjnych między elementami trącymi poprzez odpowiedni dobór modyfikatora polimeru wprowadzonego do warstwy przypowierzchniowej cienkiej powłoki z tworzywa sztucznego nakładanej na jeden z elementów trących oraz skorelowany z nim dobór materiału powłoki PVD nakładanej na drugi element metalowy **(Rys. 1)**.

Układ taki charakteryzuje się mniejszymi (w porównaniu do tradycyjnych polimerowo-metalowych węzłów tarcia) oddziaływaniami adhezyjnymi w strefie styku, co pozwala na jego eksploatację przy większych obciążeniach i prędkościach poślizgu oraz dodatkowo większą dyfuzyjnością ciepła poza strefę styku poprzez cienką polimerową powłokę, którą dodatkowo można w łatwy sposób modyfikować. Zaproponowany model umożliwia w prosty sposób dobór zarówno modyfikatora powłoki polimerowej, jak również powłoki PVD nakładanej na elementy stalowe

do węzła tarcia pracującego w specjalnych warunkach. Zastosowanie drogiej modyfikacji elementów węzła tarcia tylko w cienkich warstwach współpracujących ze sobą, a nie w całej objętości elementu, czyni proponowany układ ekonomicznie uzasadnionym. Dodatkowo, wykorzystanie opracowanej wcześniej przez autorów metody selekcji materiałów na węzeł tarcia w oparciu o wielkość sumy składowych polarnych swobodnej energii powierzchniowej współpracujących elementów pozwala na istotne ograniczenie ilości przeprowadzanych biegów badawczych.



Rys. 1. Proponowany model polimerowo-metalowego węzła tarcia
Fig. 1. Suggested model polymer-metal friction pair

BADANIA WERYFIKACYJNE

Badania tribologiczne mające na celu eksperymentalne określenie oporów ruchu i zużycia badanych skojarzeń tarcia dotyczyły oznaczenia intensywności zużywania oraz siły tarcia. Badania polegały na przeprowadzeniu, w określonych warunkach (prędkość poślizgu, nacisk, droga tarcia), przynajmniej 3 biegów badawczych wybranego skojarzenia materiałowego oraz na określeniu intensywności zużywania i siły tarcia. Charakterystyki zużyciowe badanej pary ciernej oceniano w oparciu o pomiar zużycia liniowego elementów trących.

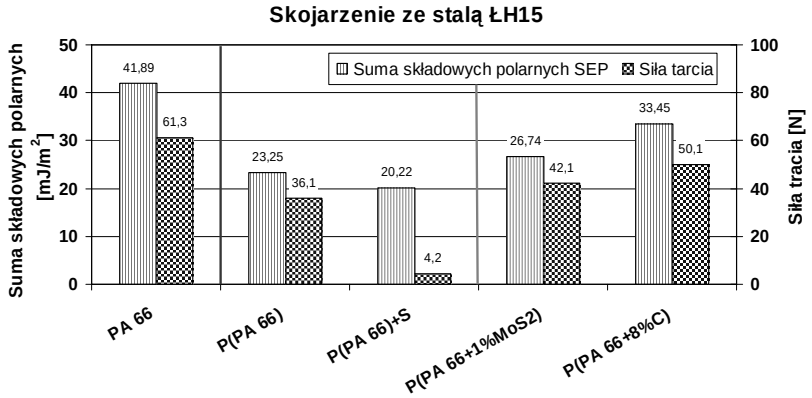
Obliczenie swobodnej energii powierzchniowej tworzyw o zmodyfikowanej warstwie wierzchniej, przeprowadzano na podstawie wyników pomiarów kąta zwilżania tego tworzywa, przez ciecze pomiarowe o znanych wartościach swobodnej energii powierzchniowej przy użyciu metody Fowkesa.

Próbki do badań wykonane były z poliamidu PA 66 naniesionego metodą fluidyzacji na stalowy klocek (oznaczano je symbolem P przed nazwą kompozytu), z którym współpracowały pierścienie wykonane ze stali ŁH 15 i ŁH15 pokrytej powłoką z TiN. Próbki wykonane z poliamidu modyfikowano grafitem (C), dwusiarczkiem molibdenu (MoS_2) i smarem łożyskowym (S). W celu odniesienia otrzymanych wyników do tradycyjnych węzłów tarcia wykonano dodatkowe badania tribologiczne na węźle tarcia, który tworzył lity klocek poliamidowy (bez dodatkowych oznaczeń na wykresach) i pierścienie stalowe użyte w badaniach zasadniczych.

Przyjęte parametry badań zasadniczych prowadzonych na testerze T-05, w oparciu o analizę wyników badań wstępnych były następujące:

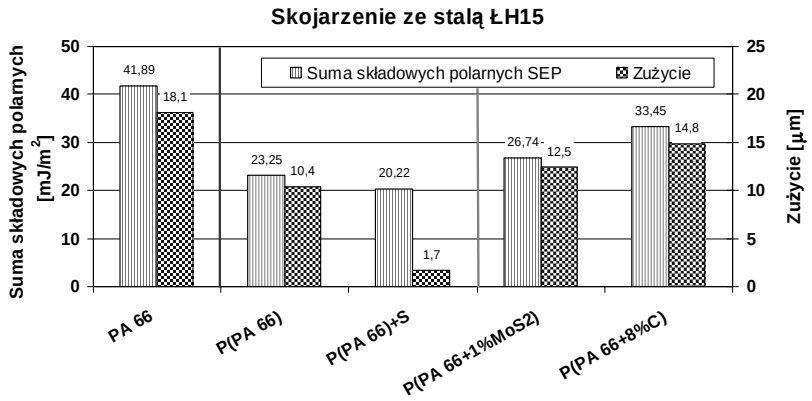
– nacisk 0,8 MPa,
– prędkość ślizgania 0,4 m/s,
– droga tarcia 5000 m,
– temperatura otoczenia węzła tarcia 23±1°C,
– wilgotność względna powietrza 50±7%

Zestawienie wyników badań tribologicznych oraz sum składowych polarnych swobodnej energii powierzchniowej przedstawiono na **Rys. 2–5**. Otrzymane zależności potwierdzają, że współpraca cienkiej powłoki poliamidowej, naniesionej na element stalowy, z powłoką PVD naniesioną na drugi element stalowy przyczynia się do poprawy warunków współpracy badanych skojarzeń.



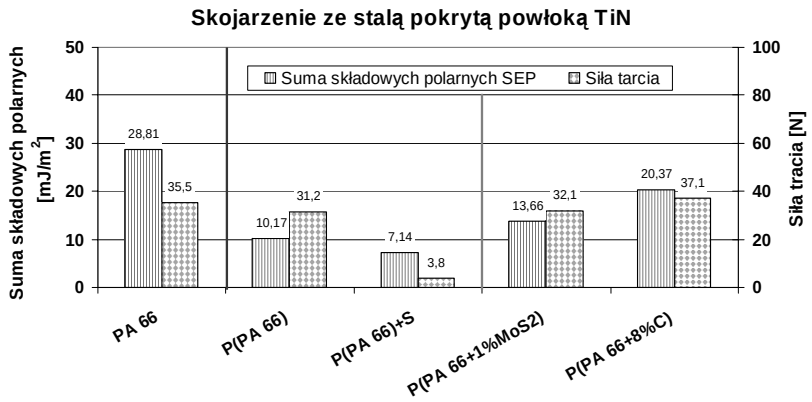
Rys. 2. Zestawienie sum składowych polarnych oraz sił tarcia badanych materiałów na bazie poliamidu PA 66 w skojarzeniu z próbką stalową

Fig. 2. Friction force and the sum of polar component of surface free energy of polymer PA 66 and steel



Rys. 3. Zestawienie sum składowych polarnych oraz zużycia badanych materiałów na bazie poliamidu PA 66 w skojarzeniu z próbką stalową

Fig. 3. Wear and the sum of polar component of surface free energy of polymer PA 66 and steel

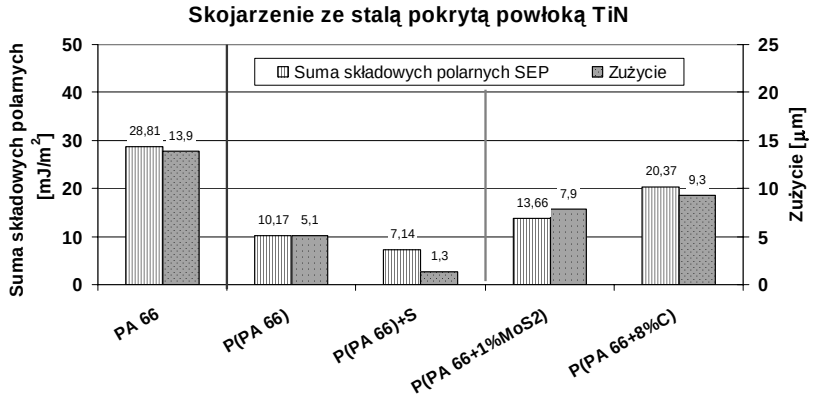


Rys. 4. Zestawienie sum składowych polarnych oraz sił tarcia badanych materiałów na bazie poliamidu PA 66 w skojarzeniu z próbką stalową pokrytą powłoką TiN

Fig. 4. Friction force and the sum of polar component of surface free energy of polymer PA 66 and steel

Dla wszystkich badanych skojarzeń materiałowych odnotowano spadek zarówno zużycia, jak i siły tarcia w odniesieniu do skojarzeń tradycyjnych. Samo naniesienie cienkiej powłoki poliamidowej na element stalowy spowodowało znaczący spadek zużycia i siły tarcia dla wszyst-

kich przebadanych skojarzeń materiałowych (**Rys. 2÷5**). Modyfikacja otrzymanych powłok grafitem i dwusiarczkiem molibdenu przyczyniła się do dalszej redukcji obu mierzonych parametrów. Najmniejsze wartości zużycia i siły tarcia odnotowano dla węzłów zbudowanych z warstwowych układów materiałowych, w których cienka poromeryczna powłoka poliamidowa modyfikowana była smarem.



Rys. 5. Zestawienie sum składowych polarnych oraz zużycia badanych materiałów na bazie poliamidu PA 66 w skojarzeniu z próbką stalową pokrytą powłoką TiN

Fig. 5. Wear and the sum of polar component of surface free energy of polymer PA 66 and steel

Wykorzystanie wykrytej wcześniej przez autorów reguły opisującej związek pomiędzy charakterystykami tribologicznymi oraz sumą składowych polarnych swobodnej energii powierzchniowej współpracujących materiałów pozwoliło na znalezienie relacji pomiędzy energetycznym stanem powierzchni współpracujących materiałów a wielkością zużycia i siły tarcia.

PODSUMOWANIE

Analiza wyników badań potwierdziła słuszność przyjętej koncepcji oraz wykazała, że znacząca poprawa charakterystyk tribologicznych skojarzenia metal–polimer, w którym element polimerowy zastąpiony jest elementem metalowym pokrytym powłoką polimerową, jest skutkiem zwiększenia ilości ciepła odprowadzanego ze strefy styku na skutek pod-

niesienia dyfuzyjności cieplnej układu powłoka polimerowa podłoże stalowe. Pozwoliło to na przeprowadzenie badań tribologicznych przy trzykrotnie większym iloczynie pv, niż było to możliwe w przypadku tradycyjnych polimerowo-metalowych węzłów tarcia. Dzięki takiemu rozwiązaniu zaproponowany węzeł tarcia można eksploatować w warunkach, w których klasyczne skojarzenia polimerowo-metalowe ulegały zniszczeniu. Dodatkowe nałożenie na powierzchnię drugiego elementu stalowego powłoki wykonanej metodą PVD, o innych właściwościach powierzchniowych, niż własności stali, przyczyniło się do dalszej poprawy właściwości tribologicznych węzła tarcia, prawdopodobnie na skutek ograniczenia możliwości powstawania tlenków metali będących centrami wiązań wodorowych (mostków wodorowych) – głównego mechanizmu szczepień adhezyjnych. Wyjaśnienie tych mechanizmów będzie przedmiotem dalszych badań.

LITERATURA

1. Polak A.: Przenoszenie materiału w łożysku ślizgowym stal–tworzywo sztuczne, Kraków 1998.
2.. Rymuza Z.: Trybologia polimerów ślizgowych, WNT, Warszawa 1986.
3. Przepiórka J., Szczerek M.: The modification of metal-polymer friction pair", Proc. *2nd World Tribology Congress*, Vienna, 2001.
4. Lugscheider E., Bobzin K., Bärwulf St., Horning Th.: Oxidation characteristics and surface energy of chromium-based hard coatings use in semisolid forming tools, Surface and Coating Technology 2000.
5. Szczerek M., Przepiórka J.: A new approach to optimization of the metal-polymer tribological characteristics. World Tribology Congress III**,** Washington, 2005.
6. Starczewski L.: Wodorowe zużywanie ciernych elementów maszyn. Radom 2002.
7. Opracowanie podstaw teoretycznych wykorzystania poromerycznych powłok kompozytowych w polimerowo-metalowych węzłach tarcia. Projekt badawczy Nr 4 T08E 057 25.

Recenzent:
Witold PIEKOSZEWSKI

Summary

A new method for increasing in service life of the metal-polymer friction pair, based on interaction between TiN coated steel and thin layer of PA 66 on steel has been presented. The authors predict that research of friction and wear mechanisms of modified in this way of friction joints should make it possible to generalize the principles of rational selection of manufacturing technology of metal-polymer couples.

Przedstawione wyniki badań uzyskano w ramach realizacji projektu badawczego Grantu Nr 4 T08E 057 25 finansowanego przez MNiI.