

Jacek PRZEPIÓRKA , Marian SZCZEREK*

**WPLYW SWOBODNEJ ENERGII
POWIERZCHNIOWEJ NA CHARAKTERYSTYKI
TRIBOLOGICZNE POLIMEROWO-METALOWYCH
WĘZŁÓW TARCIA**

**AN EFFECT OF THE FREE SURFACE ENERGY ON
TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS FOR POLYMER-
-METAL TRIBOSYSTEMS**

Słowa kluczowe:

tarcie, zużycie, swobodna energia powierzchniowa, składowa polarna swobodnej energii powierzchniowej, powłoki przeciwzużyciowe

Key words:

friction, wear, surface free energy, polar components of surface free energy, antiwear coating

Streszczenie

Dokonano analizy zużywania polimerowo-metalowych węzłów tarcia. Zrealizowano badania tribologiczne oraz analizy, w wyniku których potwierdzona została teza o dominującym charakterze zużywania poprzez

* Politechnika Radomska, ul. Chrobrego 27, 26-600 Radom.

adhezyjne przenoszenie materiału polimerowego na współpracujący element stalowy. Zaproponowana została reguła ujmująca wielkość zużycia i siły tarcia od sumy składowych polarnych swobodnej energii powierzchniowej współpracujących elementów.

WSTĘP

Duża liczba zjawisk fizycznych i chemicznych leżąca u podstawy procesu tarcia tworzyw sztucznych powoduje, że ogólne postulaty teorii tarcia, opracowanych głównie dla metali, mogą być przyjęte także dla polimerów, jednak analiza procesu tarcia w tym przypadku jest znacznie trudniejsza i przysparza wielu problemów [L. 1].

Większość opisywanych badań eksperymentalnych polimerowo-metalowego styku tarcowego prowadzona była dla skojarzeń czystego lub modyfikowanego polimeru współpracującego z metalowym (najczęściej stalowym) przeciwpartnerem. Zajmowało się nimi wielu badaczy w tym również w polskich ośrodkach naukowych [L. 2–4]. Otrzymane wyniki różnią się między sobą z uwagi na brak jednolitej metodyki badawczej oraz dużą różnorodność użytych do badań stanowisk pomiarowych. Natomiast wnioski wysuwane przez badaczy są na ogół zbieżne odnośnie do konieczności optymalizacji doboru materiału polimerowego na elementy ślizgowe. Należy zaznaczyć, że żaden z autorów nie uwzględnia właściwości współpracującego z polimerami elementu metalowego, najczęściej stalowego, poza (w niektórych przypadkach), twardością oraz chropowatością powierzchni [L. 5–6].

Poprawienie warunków współpracy polimerowo-stalowych skojarzeń tarcowych wymaga ograniczenia możliwości powstawania szczepień adhezyjnych pomiędzy stykającymi się powierzchniami. Ponieważ powierzchnia stali jest bardzo reaktywna, już sam kontakt z wilgotnym powietrzem powoduje jej utlenianie. Tlenki żelaza są centrami powstawania wiązań wodorowych – jednego z ważniejszych mechanizmów przeniesienia (i niszczenia) materiału polimerowego na element stalowy; ograniczenie adhezyjnego zużycia polimerów powinno ujmować zatem również ochronę warstwy wierzchniej elementu metalowego.

Dokonana analiza stanu wiedzy doprowadziła do stwierdzenia, że dobór tworzywa sztucznego powinien być skorelowany z doбором materiału warstwy wierzchniej metalowego przeciwpartnera, co umożliwiają obecnie dynamicznie się rozwijające technologie ich konstytuowania.

ODDZIAŁYWANIA ADHEZYJNE W TARCIOWYM STYKU POLIMER–METAL

Oddziaływania molekularne pomiędzy stykającymi się powierzchniami w metalowo-polimerowym węzle tarcia spowodowane są siłami adhezji. Z punktu widzenia możliwości sterowania tym zjawiskiem istotne są mechanizmy, które odpowiadają za procesy przeniesienia materiału polimerowego na element stalowy oraz zużycie adhezyjne.

Rozpatrując oddziaływania polimerów ze stalą, należy wziąć pod uwagę oddziaływania London'owskie, które są charakterystyczne dla tej grupy materiałów. Jednak największy udział prawdopodobnie mają wiązania wodorowe, tworzące się pomiędzy spolaryzowanym układem -N-H. Przeniesienie elektronu do wspólnej pary elektronowej z atomem azotu pozwala na utworzenie trwałego wiązania z atomem tlenu znajdującym się na powierzchni metalu. Energia takiego wiązania jest uzależniona od odległości między jądrami atomów i osiąga 25 kJ/mol. Jest ona znacznie mniejsza niż energia wiązań kowalencyjnych czy jonowych, ale jednocześnie większa od energii oddziaływań van der Waalsa. Wiązania tego typu można traktować jako wiązania chemiczne.

W omawianym układzie mogą wystąpić również oddziaływania elektrostatyczne pomiędzy atomem węgla a tlenem zawartym w warstwie wierzchniej metalu. Jest to wiązanie powstające bez przeniesienia ładunku elektrycznego, z utworzeniem podwójnej warstwy elektrycznej, znajdującej się w obszarze międzyfazowym.

Możliwe są również oddziaływania chemiczne zarówno pomiędzy wolnymi rodnikami (znajdującymi się w polimerze) i warstwami tlenków na powierzchni metalu, jak i odsłoniętymi w procesie tarcia atomami żelaza.

Dotychczas wysiłki konstruktorów i technologów skierowane były głównie na polepszanie właściwości polimeru przy założeniu, że przy współpracy z elementem metalowym, w związku z występowaniem na powierzchni tlenków występują wiązania wodorowe zwiększające adhezję.

Autorzy założyli, że poprawę warunków współpracy polimerowo-metalowych węzłów tarcia można w związku z tym uzyskać poprzez pokrycie powierzchni metalowej odpowiednią powłoką inżynierską, która nie będzie oddziaływała chemicznie i fizycznie z kompozytem [L. 7].

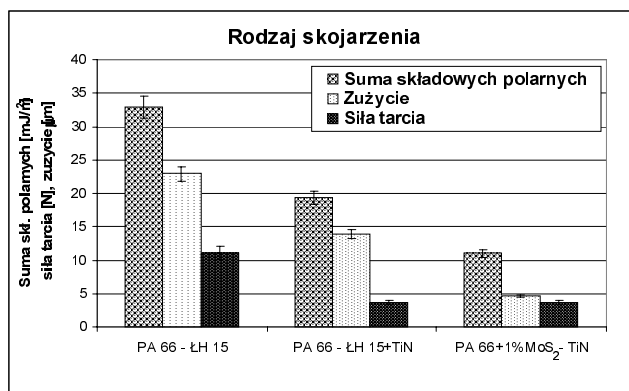
W celu zweryfikowania poprawności tego założenia zrealizowano szereg badań tribologicznych i fizyko-chemicznych. Badania tribologiczne były realizowane na urządzeniu badawczym T-15 w pomieszczeniu o stałej temperaturze i wilgotności, nie zmieniającej się więcej niż o 5%. Parametry procesu ustalone zostały na podstawie badań wstępnych. Do badań użyto

poliamidu 66 oraz kompozytów, złożonych z matrycy poliamidowej napełnianej dwusiarczkiem molibdenu (MoS_2). Z kompozytem współpracował pierścień wykonany ze stali ŁH 15 obrabianej cieplnie do twardości 42 HRC oraz tej stali pokrytej powłokami z TiN, TiCN oraz CrN. Dla każdej kombinacji materiałowej zostały wykonane po trzy biegi badawcze.

Obliczenia swobodnej energii powierzchniowej wykonano na podstawie zmierzonych kątów zwilżalności badanych materiałów na gonio-metrze Krüss. Zużycie wagowe określano przy użyciu wagi analitycznej firmy METTLER o dokładności 0,01 mg. Obserwacji śladów zużycia powstałych w trakcie tarcia na powierzchniach próbek i ewentualnego przenoszenia polimeru dokonano na mikroskopie NIKON NM 40.

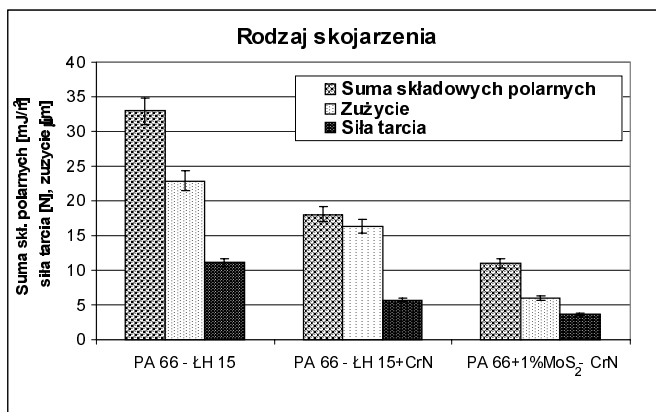
Badania przeprowadzono stosując prędkość liniową $v = 0,2$ m/s oraz nacisk jednostkowy $p = 0,4$ MPa w warunkach tarcia technicznie suchego na drodze 6000 m.

Zestawiając wyniki badań tribologicznych z wyliczeniami swobodnej energii powierzchniowej wykryta została korelacja pomiędzy wielkością zużycia i siłą tarcia oraz sumą składowych polarnych energii powierzchniowej obu współpracujących materiałów. Jednoznacznie ilustrują to wyniki przedstawione na **Rys. 1+3** dla układów: PA 66 oraz kompozyty napełniane grafitem i dwusiarczkiem molibdenu współpracujące ze stalą ŁH 15 i stalą modyfikowaną powłokami TiN, CrN, Ti(C,N). Otrzymane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że jednoczesna modyfikacja tworzywa sztucznego, skorelowana z doбором odpowiedniej powłoki nałożonej na element stalowy, może przyczynić się do znaczącej redukcji temperatury współpracy badanych elementów, siły tarcia i zużycia.



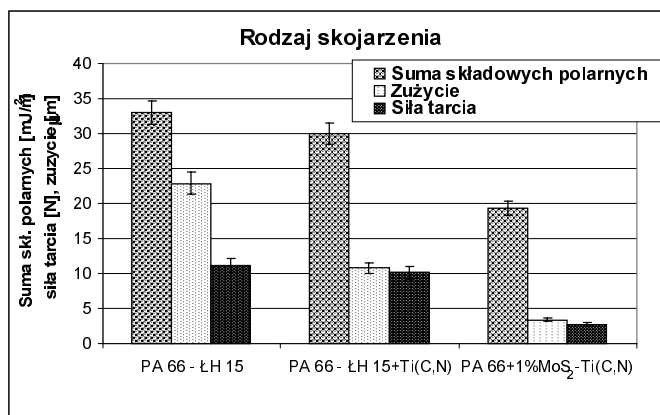
Rys. 1. Zestawienie wielkości zużycia i siły tarcia opisanych na rysunku skojarzeń materiałowych oraz sumy składowych polarnych współpracujących powierzchni

Fig. 1. Linear wear, friction force and sum of polar components for the specified materials



Rys. 2. Zestawienie wielkości zużycia i siły tarcia opisanych na rysunku skojarzeń materiałowych oraz sumy składowych polarnych współpracujących powierzchni

Fig. 2. Linear wear, friction force and sum of polar components for the specified materials

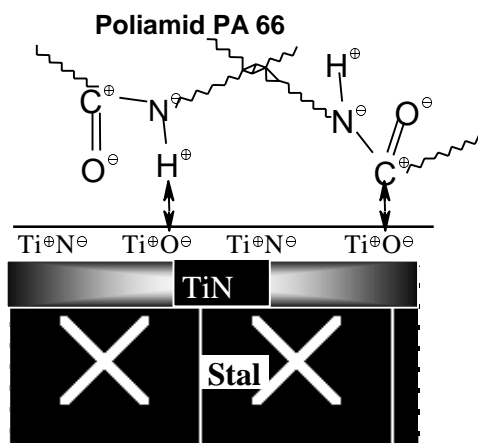


Rys. 3. Zestawienie wielkości zużycia i siły tarcia opisanych na rysunku skojarzeń materiałowych oraz sumy składowych polarnych współpracujących powierzchni

Fig. 3. Linear wear, friction force and sum of polar components for the specified materials

Na podstawie przeprowadzonych badań dokonana została adaptacja modelu oddziaływań powierzchni stali z poliamidem PA 66 (opracowanego przez A. Polaka [L. 2]) dla oddziaływań adhezyjnych pomiędzy po-

wierzchnią stalową pokrytą powłoką TiN a poliamidem PA 66 – **Rys. 4**. Zakłada on, że zmniejszenie oddziaływań adhezyjnych, powodujących przenoszenie poliamidu PA 66 na powierzchnię współpracującą, spowodowane jest wyeliminowaniem powstawania tlenków żelaza w warstwie stykającej się z poliamidem. Zmniejszenie oddziaływań występuje pomimo tego, że w miejsce tlenków żelaza na powierzchni stali pojawiają się azotki tytanu. Mogą też znajdować się na niej pojedyncze cząstki czystego tytanu, który nie przereagował z azotem w procesie tworzenia powłoki, ulegając utlenianiu do dwutlenku tytanu.



Rys. 4. Model oddziaływań powierzchni stalowej pokrytej TiN z poliamidem PA 66
Fig. 4. A model of interaction TiN-coated steel and PA 66 polyamide

W odniesieniu do powierzchni metalowej układ taki posiada większą liczbę potencjalnych możliwości oddziaływań z poliamidem. Możliwe jest powstawanie wiązań wodorowych zarówno z atomem tlenu jak i azotu. Jednak ilość powstałych wiązań jest nieporównywalnie mniejsza, niż w przypadku powierzchni stalowej, z uwagi na dużo mniejszą reaktywność tytanu w stosunku do żelaza. Poza tym czysty tytan, z którego mogą powstać tlenki, znajduje się w powłoce w śladowych ilościach. Biorąc pod uwagę bardzo małą reaktywność tytanu, jak również niewielkie prawdopodobieństwo jego występowania na powierzchni w postaci czystej, powłoki wykonane z azotku tytanu mają znacznie mniejsze powinowactwo do poliamidu PA 66 a co za tym idzie, oddziaływania adhezyjne pomiędzy tymi materiałami są znacznie mniejsze niż w przypadku stali i poliamidu.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań dowodzą, że możliwe jest znaczące poprawienie charakterystyk tribologicznych skojarzenia stal – polimer poprzez skorelowane ze sobą pod względem materiałowym procesy pokrycia stali powłoką przeciwzużyciową oraz modyfikacji polimeru.

Została przy tym odkryta reguła, że istnieje korelacja pomiędzy wartościami siły tarcia i wielkością zużycia oraz sumą składowych polarnych swobodnej energii powierzchniowej współpracujących elementów. Reguła ta stwarza podstawy optymalizacji doboru składu komponentów polimerowo-metalowych węzłów tarcia w aspekcie minimalizowania tarcia i zużycia.

LITERATURA

1. Rymuza Z.: Trybologia polimerów ślizgowych. WNT Warszawa 1986
2. Polak A.: Przenoszenie materiału w łożysku ślizgowym stal-tworzywo sztuczne. Monografia, Politechnika Krakowska 1998.
3. Kołodziej E.: „Metodyka badań i doboru tworzyw sztucznych na elementy ślizgowe” Rozprawa habilitacyjna, Politechnika Krakowska 1993.
4. Bosma R., Vroegop P., Ziemiński K.: Badanie właściwości tarcio-zużyciowych teflonu wypełnionego brązem. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1979.
5. Wieleba W.: Wpływ stanu powierzchni elementu stalowego na właściwości tribologiczne kompozytów PTFE. IX Seminarium Tworzywa sztuczne w budowie maszyn, Kraków 27-29 września 2000.
6. Gupta B.K., Bhushan B., Chevallier J.: Modification of tribological properties of silicon by boron ion implantation. STLE, Tribology Transactions, 1994, vol. 37.
7. Przepiórka J.: Metoda poprawy charakterystyk tribologicznych polimerowo-metalowych węzłów tarcia. Rozprawa doktorska, Łódź 2002.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The analysis of polymer- metal friction pears wear was performed. Tribologic researches and analyses were accomplished to confirm the argument of predominant capacity of wear by adhesive transfer of the polymer to co- operating steel component. The principle that wear and friction force depend on the sum of polar components of surface free energy of co- operating materials was proposed.