

Ewa PAWELEC*

**WPŁYW WYMUSZEŃ MECHANICZNYCH
NA KSZTAŁTOWANIE TRWAŁOŚCI WARSTW
WIERZCHNICH Z ZASTOSOWANIEM DODATKÓW
AW/EP**

**THE INFLUENCE OF MECHANICAL FORCE
ON THE CREATING STRENGTH OF SURFACE LAYER
WITH AW/EP ADDITIVES**

Słowa kluczowe:

warstwa wierzchnia, warstwa graniczna, właściwości przeciwzużyciowe, właściwości przeciwzatarciowe, dodatki AW/WP

Key-words:

surface layer, boundary layer, AW properties, EP properties, AW/EP additives.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badania wpływu dodatków AW/EP na charakterystyki tribologiczne smarów plastycznych. Zbadano wpływ zróżnicowanej koncentracji pierwiastków aktywnych w dodatkach na trwałość warstw wierzchnich utworzonych w warunkach stałych i zmien-

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, 26-600 Radom, ul. Pułaskiego 6/10.

nych obciążeń węzła tarcia. Oceniono również wpływ wymuszeń mechanicznych na dynamikę zmian właściwości tribologicznych zmodyfikowanych smarów plastycznych. Badania zrealizowano z użyciem modelowego, czterokulowego węzła tarcia.

Z zastosowaniem techniki skaningowej mikroskopii elektronowej sprzężonej z mikroanalizą rentgenowską (SEM/EDS) dokonano analizy składu warstwy wierzchniej śladu tarcia. Z przeprowadzonych badań wynika, że skuteczność tribologiczna smarów jest w głównej mierze uwarunkowana zawartością pierwiastków aktywnych w dodatku modyfikującym, a w mniejszym stopniu jego koncentracją.

Stwierdzono wzrost trwałości warstw smarowych utworzonych z udziałem smarów poddanych działaniu wymuszeń mechanicznych.

WPROWADZENIE

Nowoczesne, wysokojakościowe środki smarowe są kompozycjami zawierającymi w swoim składzie wiele składników zapewniających realizację minimalnego zużycia w układach o znacznej intensyfikacji wymuszeń [L. 1–3]. Dotychczas spełnienie oczekiwań zarówno konstruktorów, jak i użytkowników maszyn było realizowane poprzez stosowanie produktów smarowych na bazie olejów mineralnych, wzbogaconych pakietem dodatków zawierających szereg związków o nieznanym oddziaływaniu na środowisko.

Właściwości funkcjonalne smaru są w głównej mierze zdeterminowane rodzajem zastosowanego zagęszczacza, jak również charakterem fazy dyspersyjnej [L. 4]. W wielu aplikacjach podstawowe komponenty smaru nie są w stanie zapewnić minimalnego zużycia smarowanego węzła tarcia. Z tego też względu niezbędny staje się dobór dodatków redukujących tarcie i zużycie. Stosowanie dodatków AW/EP jest uzasadnione w przypadku, gdy węzeł tarcia pracuje w zakresie wysokich obciążeń i prędkości obrotowych. Mechanizm smarowania przebiega wówczas z wykorzystaniem warstw protektorowych zapobiegających zacieraniu [L. 5, 6]. Istnieje również grupa dodatków określanych jako niekonwencjonalne dodatki smarowe (NDS) [L. 7] lub tak zwane dodatki pasywne, działające na zasadzie tworzenia skutecznych antyzużyciowych i antyzartarciowych powłok [L. 8]. Efektywne komponowanie smarów plastycznych jest więc nierozdzielnie związane ze stosowaniem modyfikatorów,

których jakościowy udział i koncentracja w kompozycji smarowej powinny być podyktowane wymuszeniami, jakim będzie podlegał środek smarowy w eksploatacji.

Celem pracy była ocena wpływu składu środka smarowego na skuteczność smarowania w warunkach stałego i narastającego obciążenia. Przeanalizowano również wpływ wymuszeń mechanicznych na zmianę właściwości smarnych badanych kompozycji.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Do badań przygotowano kompozycje smarowe na bazie oleju białego, w którym zdyspergowano zagęszczacz mydlany. Ilościowy udział zagęszczacza został ustalony eksperymentalnie na poziomie zapewniającym otrzymanie kompozycji smarowych o właściwościach fizyczno-chemicznych wymaganych dla smarów łożyskowych [L. 9].

Modelowe kompozycje zmodyfikowano dodatkami o właściwościach przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych. Zastosowano dwa rodzaje dodatków z grupy siarkowanych estrów wyższych kwasów tłuszczowych; kompozycje z ich udziałem oznaczono RC i A. Kolejny z zastosowanych dodatków jest mineralnym związkem krzemu, glinu i węgla, zmodyfikowane nim kompozycje oznaczono T. Obok symbolu podano zawartość dodatku modyfikującego.

Kompozycje poddano działaniu wymuszeń mechanicznych generowanych w urządzeniu do przedłużonego ugniatania. Po wykonaniu 10 000 cykli smary poddawano badaniom tribologicznym z zachowaniem procedury badawczej przyjętej dla smarów niepoddanych działaniu wymuszeń mechanicznych.

Sposób działania sił ścinających w zastosowanym urządzeniu stanowi w przybliżeniu symulację rzeczywistych wymuszeń, jakim jest poddawany smar w węźle tarcia w warunkach eksploatacji. Dokonano zatem, w sposób pośredni, oceny wpływu wymuszeń mechanicznych na skuteczność przeciwzużyciową i przeciwzatarciową.

Badania właściwości smarnych otrzymywanych kompozycji wykonano z zastosowaniem aparatu czterokulowego (tester T-02) produkcji ITeE – Radom.

Odporność na przeciwzużyciowe oddziaływania oceniono na podstawie wartości granicznego obciążenia zużycia (Goz). Oznaczenie prowadzono zgodnie z metodyką zawartą w PN-76/C-04147, z modyfi-

kacją opisaną w WTWT - 94/MPS-025 z zachowaniem następujących warunków: obciążenie – 392 N, czas – 3600 s, prędkość obrotowa – 500 obr./min.

Właściwości przeciwzatarciowe badano również w ślizgowym skojarzeniu trącym. Scharakteryzowano je za pomocą następujących parametrów: obciążenie zacierające P_t , graniczne obciążenie zatarcia (P_{oz}) i graniczny nacisk zatarcia (p_{oz}). Obciążenie zacierające wyznaczono zgodnie z metodyką badania środków smarowych w warunkach liniowego wzrostu obciążenia węzła tarcia [L. 10].

W celu wyjaśnienia wpływu działania sił ścinających i składu kompozycji smarowej na skuteczność tribologiczną przeprowadzono badania z zastosowaniem techniki SEM/EDS.

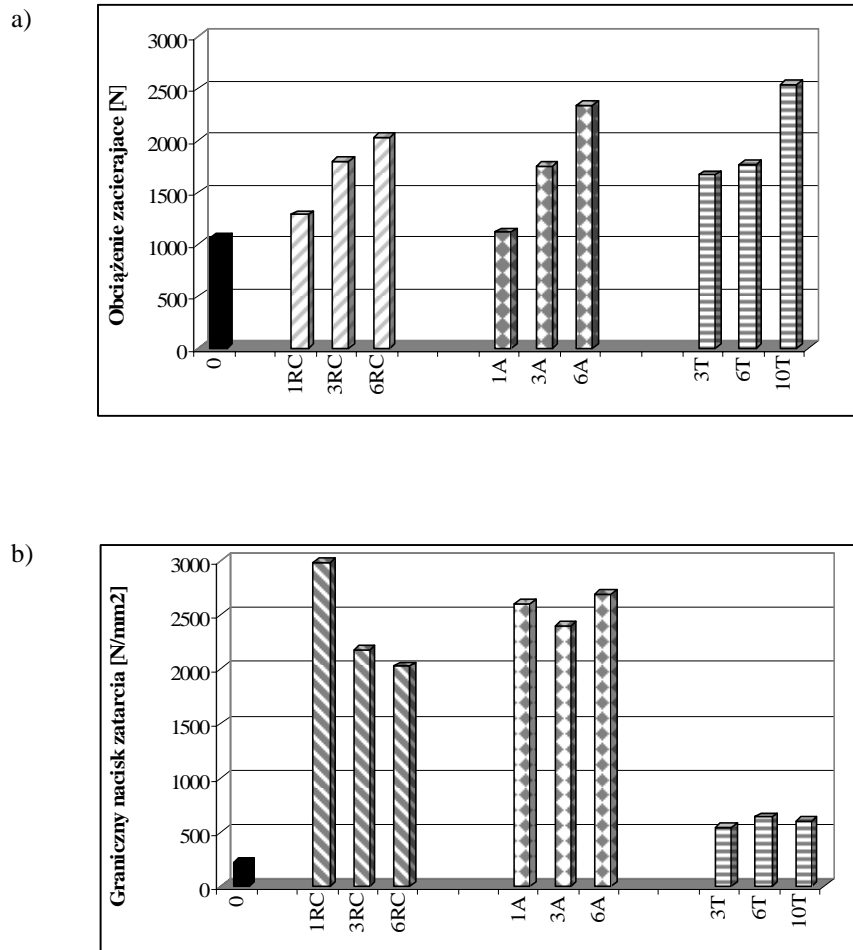
WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przebiegu krzywych zmian momentu tarcia w funkcji liniowo narastającego obciążenia oceniono skuteczność tribologiczną otrzymanych kompozycji smarowych. Poprzez wyznaczenie wartości obciążenia zacierającego stwierdzono, że zastosowane dodatki podwyższają trwałość filmu smarowego (**Rys. 1a**).

Istnieje zatem możliwość doboru takiej ilości dodatku, który pozwoli na otrzymanie kompozycji zapewniającej najwyższą skuteczność przeniesienia obciążeń. Trwałość wytworzonych warstw smarowych jest pochodną zarówno rodzaju dodatku, jak również jego koncentracji w kompozycji. Dodatek nieorganiczny zastosowany w stężeniu 10% zapewnia wytworzenie warstw smarowych o najwyższej skuteczności (**Rys. 1a**).

Realizowane badania w warunkach liniowo narastającego obciążenia pozwoliły również na ocenę odporności wytworzonych warstw wierzchnich na zacieranie i zużycie. Jako miarę skuteczności działania zastosowanych dodatków przyjęto wartość granicznego nacisku zatarcia.

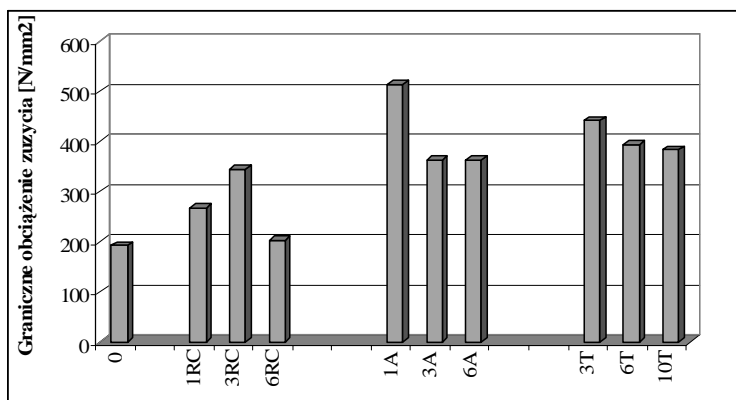
Uzyskane wyniki (**Rys. 1b**) wskazują jednoznacznie na korzystne współdziałanie zastosowanych dodatków i podstawowych komponentów smaru. Osiągnięta wartość badanego parametru dla kompozycji zawierającej siarkowane estry wskazuje na ponad 10-krotny wzrost trwałości zmodyfikowanych warstw wierzchnich.



Rys. 1. Wpływ rodzaju i stężenia dodatku w mineralnej kompozycji smarowej na wartość a) P_t , b) p_{0z}

Fig. 1. Influence of kind and concentration additive on the mineral composition on the value of: a) P_t , b) p_{0z}

Oceniono również skuteczność oddziaływania badanych kompozycji smarowych w warunkach stałego obciążenia węzła tarcia. Wyznaczoną wartość granicznego obciążenia zużycia przyjęto jako miarę skuteczności przeciwwzyciowej kompozycji w warunkach tarcia mieszane-go (**Rys. 2**).



Rys. 2. Wpływ rodzaju i stężenia dodatku w mineralnej kompozycji smarowej na wartość granicznego obciążenia zużycia

Fig. 2. Influence of kind and concentration additive on the mineral composition on the value of limiting load of wear

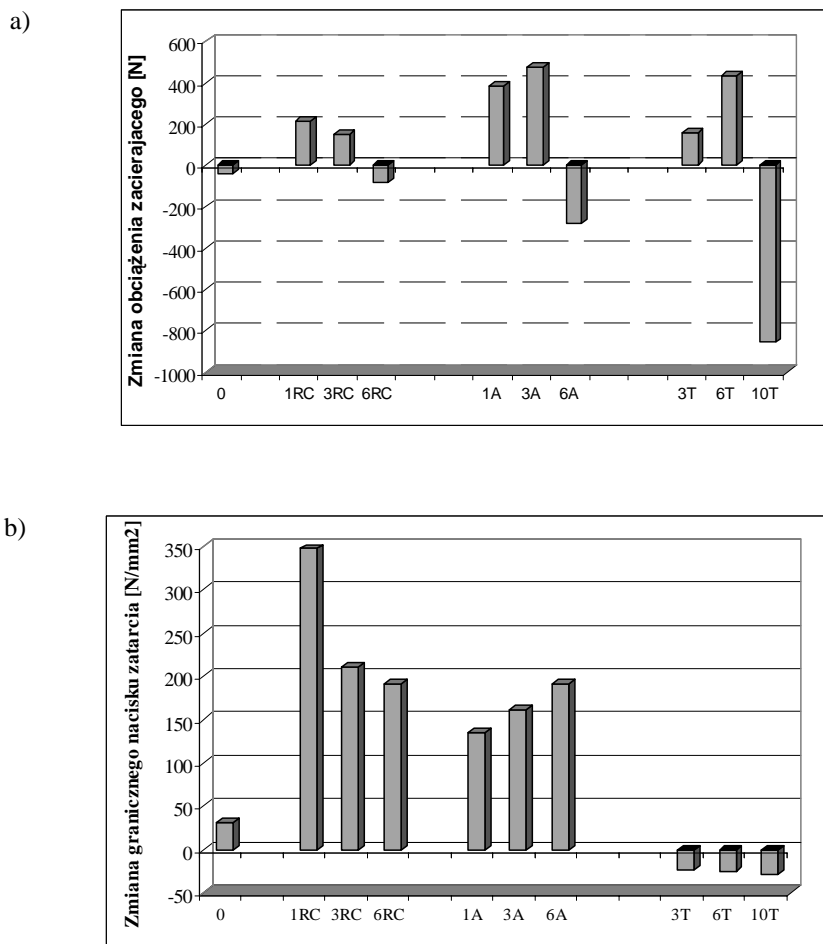
Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono synergistyczne oddziaływanie pomiędzy zastosowanymi dodatkami smarnymi a składnikami modelowej kompozycji smarowej. Najwyższą skuteczność przeciwzużyciową zapewnia kompozycja zawierająca 1% dodatku A. W przypadku zarówno modyfikatora A, jak i nieorganicznego dodatku T, stwierdzono najwyższą skuteczność przeciwzużyciowego oddziaływania dodatków z modelową kompozycją smarową. Maksymalną trwałość warstwy smarowej wykazuje kompozycja zawierająca 1% dodatku A, wzrost jego koncentracji skutkuje obniżeniem wartości granicznego obciążenia zużycia. Podobną sytuację obserwujemy w przypadku dodatku T. Wzrost jego koncentracji powyżej 3% obniża skuteczność przeciwzużyciową kompozycji.

Według analogicznej procedury badawczej oceniono właściwości tribologiczne smarów po działaniu wymuszeń mechanicznych.

Na poniższych histogramach przedstawiono wartości parametrów, jako różnicę pomiędzy wartością badanego parametru wyznaczoną po działaniu wymuszeń mechanicznych i przed.

Stwierdzono zróżnicowany wpływ wymuszeń mechanicznych na skuteczność tribologiczną kompozycji smarowych. Uwidacznia się zależność pomiędzy rodzajem i koncentracją dodatku a trwałością warstw smarowych. Wzrost stężenia dodatków zmienia konsystencję kompozycji smarowych i niekorzystnie wpływa na wartość badanego parametru. Zaobserwowano natomiast wzrost odporności na zacieranie dla wszystkich

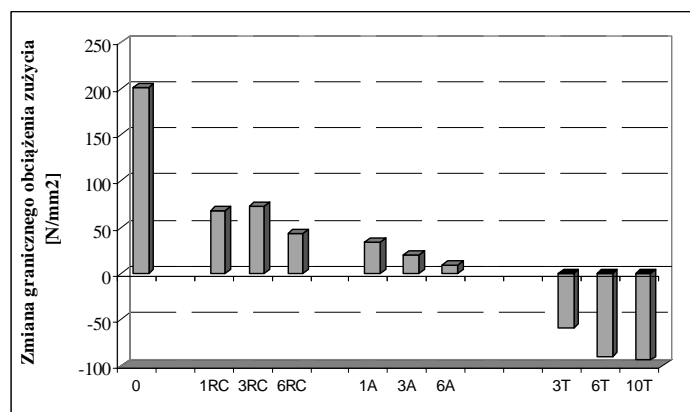
zmodyfikowanych kompozycji smarowych. Nie nastąpiło zatarcie smarowanego węzła tarcia i wartość granicznego obciążenia zużycia przyjęto jako równą 7200 N. Jednak zawartość estrowych dodatków skuteczniej zabezpiecza smarowane skojarzenie przed zużyciem niż kompozycja zmodyfikowana dodatkiem mineralnym. Nastąpił wzrost wartości granicznego nacisku zatarcia (**Rys. 3b**).



Rys. 3. Wpływ rodzaju i stężenia dodatku w mineralnej kompozycji smarowej na zmianę wartości a) Pt, b) poz

Fig. 3. Influence of kind and concentration additive on the mineral composition on the change value of: a) Pt, b) poz

Oceniono również wpływ wymuszeń mechanicznych na zmianę odporności na zużycie węzła tarcia w warunkach stałego obciążenia. Uzyskane wyniki (**Rys. 4**) wykazały pozytywny wpływ zastosowanych dodatków estrowych na skuteczność przeciwzużyciową badanych smarów. Jednak w warunkach działania sił ścinających najskuteczniej węzeł tarcia przed zużyciem zabezpieczała kompozycja bez dodatków smarnych. Natomiast mineralny dodatek w warunkach wymuszeń mechanicznych traci skuteczność ochrony przeciwzużyciowej skojarzenia trącego.



Rys. 4. Wpływ rodzaju i stężenia dodatku w mineralnej kompozycji smarowej na zmianę wartość granicznego obciążenia zużycia

Fig. 4. Influence of kind and concentration additive on the mineral composition on the change value of limiting load of wear

Podjęto próbę wyjaśnienia wpływu wymuszeń mechanicznych na zmianę skuteczności tribologicznej badanych kompozycji smarowych. Z zastosowaniem SEM/EDS zbadano powierzchnię węzła tarcia po testach w obecności kompozycji poddanych działaniu wymuszeń mechanicznych i porównano je z widmami uzyskanymi ze śladów tarcia w obecności kompozycji smarowych niepoddanych działaniu wymuszeń.

W przypadku kompozycji zmodyfikowanych dodatkiem estrowym powierzchnia tarcia uległa wygładzeniu, nie zaobserwowano śladów szczepień adhezyjnych występujących po testach w obecności kompozycji niemodyfikowanej.

Wykonano również widma z powierzchni śladu tarcia W przypadku modelowej kompozycji i zmodyfikowanej dodatkiem mineralnym stwierdzono jedynie wzrost zawartości węgla i tlenu. Na powierzchni tarcia po

testach w obecności kompozycji zawierającej dodatek estrowy występowały pasma charakterystyczne dla pierwiastków aktywnych wchodzących w skład dodatku smarnego, a także zwiększoną obecność węgla i tlenu.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że nieorganiczne związki krzemu umożliwiają tworzenie kompozycji o trwałych warstwach smarowych porównywalnych z kompozycjami zawierającymi siarkowane estry, jako dodatki AW/EP. Zarówno w warunkach działania stałych obciążeń węzła tarcia, jak i przy liniowym wzroście obciążenia skuteczność tribologiczna jest uwarunkowana w głównej mierze rodzajem dodatku, a nie jego koncentracją w kompozycji smarowej.

Pod wpływem działania sił ścinających kompozycje smarowe zawierające siarkowane estry podwyższają swoją skuteczność tribologiczną w zakresie właściwości przeciwzuzyciowych i przeciwzatarciowych. Natomiast uwidoczniło się destrukcyjne działanie wymuszeń mechanicznych na oddziaływania pomiędzy składnikami kompozycji smarowej i nieorganicznym dodatkiem. Wykonane badania EDS z powierzchni śladu tarcia pozwalają przypuszczać, że obecność aktywnych pierwiastków sprzyja tworzeniu trwałych warstw smarowych w warunkach zacierania. Zwiększona zawartość węgla i tlenu pozwala przypuszczać, że w warunkach działania wymuszeń mechanicznych i temperatury generowanej w węźle tarcia, zachodzą przemiany sprzyjające tworzeniu się związków budujących trwałe warstwy wierzchnie.

LITERATURA

1. Płaza S., Celichowski G., Margielewski L., Korczak E.: Środki smarowe a środowisko. Mat. konf. „Problemy ochrony środowiska związane z użytkowaniem produktów naftowych”, Kraków 1999.
2. Bartz W.J.: Ecotribology: Environmentally acceptable tribological practices. *Tribology International*, 2006, 39 728–733.
3. Waara P., Hannu J., Norrby T., Byheden A.: Additive influence on wear and friction performance of environmentally adapted lubricants. *Tribology International*, 2001, 34, 547–556.
4. Czarny R.: Smary plastyczne. WNT, Warszawa 2004.
5. Stachowiak G.W., Batchelor A.W.: *Engineering tribology*. Elsevier, London, New York, Tokyo, Amsterdam 1993.

6. Płaza S., Margielewski L., Celichowski G.: Wstęp do tribologii i tribochemii. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2005.
7. Laber A., Laber S.: Modyfikowanie warunków pracy węzłów tarcia niekonwencjonalnymi dodatkami niskotarciowymi – mechanizm działania. Prace Wydziału Mechanicznego w zakresie Eksploatacji Maszyn. Zielona Góra 1998.
8. Junxiu Dong et al.: A new concept – formation of permeating layers from nonactive antiwear additives. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers nr 1/1999.
9. PN-72/C-96134. Smary plastyczne ŁT ogólnego stosowania do łożysk tocznych.
10. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. ITeE, Radom, 2000.

Recenzent:
Dariusz OZIMINA

Summary

The paper presents the results of investigation of AW/EP additive influence on the tribological characteristics greases.

The influences of different quantities of active element on the durability surface layer were tested.

The tribological tests were performed in the stable and increasing load of a four-ball tribosystem.

The influences of the mechanical force on the change of tribological properties of modified greases were investigated.

The analysis of wear scar surface was performed using SEM and EDS techniques.

It was stated that the tribological properties of greases depend more on the quantity and kind of active elements in the additive than on the additive concentration. The increase persists of surface layers under the mechanical force.