

Ewa PAWELEC*, Elżbieta SIWIEC*

KSZTAŁTOWANIE TRIBOLOGICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI EKOLOGICZNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH

THE DEVELOPMENT OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ECOLOGICAL GREASES

Słowa kluczowe:

ekologia, smary plastyczne, tribologia, właściwości przeciwozryciowe, przeciwwzatarciowe

Key words:

ecology, greases, tribology, anti-wear properties, anti-seizure properties

Streszczenie

Opracowano smary plastyczne na bazie nietoksycznych olejów i zagęszczaczy przeznaczone do stosowania w łożyskach maszyn, w których wskazane jest stosowanie nietoksycznych środków smarowych. Poprzez eksperyment tribologiczny prowadzony w warunkach stałego obciążenia węzła tarcia i w warunkach zacierania dokonano doboru ilości nieorganicznego dodatku modyfikującego właściwości smarne.

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

Z zastosowaniem techniki EDS zbadano skład warstwy wierzchniej śladu tarcia. Stwierdzono jedynie zwiększoną obecność węgla i tlenu w odniesieniu do materiału węgła tarcia. Możemy przypuszczać, że tworzące się węgliki i tlenki modyfikują warstwę wierzchnią czyniąc ją bardziej odporną na procesy zacierania i zużycia.

Na podstawie uzyskanych wyników wytypowano skład bezpiecznego ekologicznie smaru plastycznego, który można stosować jako skuteczny zamiennik komercyjnego smaru łożyskowego.

WPROWADZENIE

Rozwój przemysłu i innowacji technicznych w zasadniczym stopniu wpływa na zanieczyszczenie i degradację środowiska. Od czasu członkostwa Polski w Unii Europejskiej zostały upowszechnione rygorystyczne dyrektywy dotyczące wytwarzania i stosowania bezpiecznych środków smarowych. Konieczność dostosowania prawa polskiego do regulacji UE sprawia, że niezbędnym staje się zmniejszenie emisji do otoczenia szkodliwych produktów ropopochodnych, a także stosowanie biodegradowalnych środków smarowych. Normy i nakazy prawne, obowiązujące powszechnie w krajach Europy Zachodniej, stają się również obowiązujące na obszarze Polski i zalecają stosowanie biorozkładalnych środków smarowych nawet tam, gdzie w sposób przypadkowy możliwa jest ich emisja do gleby czy wód gruntowych. Wzrost zainteresowania stosowaniem produktów przyjaznych dla środowiska wymusza zmianę metod ich wytwarzania. Opracowywanie nowych receptur opiera się na składnikach nietoksycznych, których dobór w odpowiednich ilościach i właściwe połączenie zapewni zrealizowanie technologii zgodnie z zasadami „czystszej produkcji” przy zachowaniu poziomu parametrów funkcjonalnych zgodnie ze znormalizowanymi wymaganiami dla danej grupy smarów. Koniecznym staje się więc realizacja prac badawczych nad nowymi technologiami otrzymywania ekologicznych środków smarowych. Przewiduje się rozszerzenie obszaru ich stosowania poza gospodarkę leśną, transport wodny i rolnictwo na inne gałęzie przemysłu, gdzie istnieje prawdopodobieństwo skażenia środowiska naturalnego.

Upowszechnienie stosowania bezpiecznych środków smarowych na wiele obszarów techniki sprawia, że uzasadnione staje się opracowywanie wysoce specjalistycznych produktów o właściwościach zależnych od obszaru przewidywanych zastosowań [L. 1–4].

Celem realizowanych prac było opracowanie ekologicznie bezpiecznego smaru plastycznego o właściwościach smarnych porównywalnych z właściwościami komercyjnego smaru łożyskowego.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były modelowe smary plastyczne otrzymane na bazie głębokorafinowanego oleju parafinowego, oleju roślinnego i syntetycznego oleju estrowego. Jako zagęszczacz zastosowano 12-hydroksystearynian litu, który zdyspergowano w oleju parafinowym i w oleju roślinnym, natomiast w syntetycznym oleju estrowym zdyspergowano hydrofilową krzemionkę. Otrzymałą grupę smarów oznaczono odpowiednio P-0, R-0 i S-0.

Ustalony na drodze eksperymentu ilościowo-jakościowy udział fazy zagęszczającej pozwolił na osiągnięcie niezbędnego poziomu właściwości fizyczno-chemicznych otrzymanego smaru, natomiast odporność na przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe oddziaływania wymagała zastosowania dodatków smarnych. Do modyfikacji właściwości tribologicznych modelowych smarów zastosowano nieorganiczny związek z grupy hydroksykrzemianów magnezu – talk [L. 5]. Obok symbolu oznaczającego rodzaj smaru podano jego % zawartość. Smary na bazie oleju parafinowego i roślinnego zawierają w składzie 5, 10 i 15% dodatku, natomiast smar syntetyczny został zmodyfikowany 3, 6 i 10% zawartością dodatku.

Właściwości smarne zbadano z zastosowaniem czterokulowego skojarzenia trącego przyjmując następujące warunki prowadzenia testów:

Badanie właściwości przeciwzużyciowych:

- obciążenie węzła tarcia – 392 N (40kG)
- czas testu – 3600 sekund
- prędkość obrotowa kulki – 500 obr./min
- skojarzenie – stal–stal.

Badanie właściwości przeciwzatarciowych:

- styk skoncentrowany punktowy
- smarowanie przez jednokrotne nałożenie smaru przed rozpoczęciem testu
- prędkość obrotowa wrzeciona – 500 obr./min
- szybkość narastania obciążenia – 409 N/ s
- temperatura – $20\pm 5^{\circ}\text{C}$
- obciążenie początkowe – 0 N
- obciążenie maksymalne – 7200 N

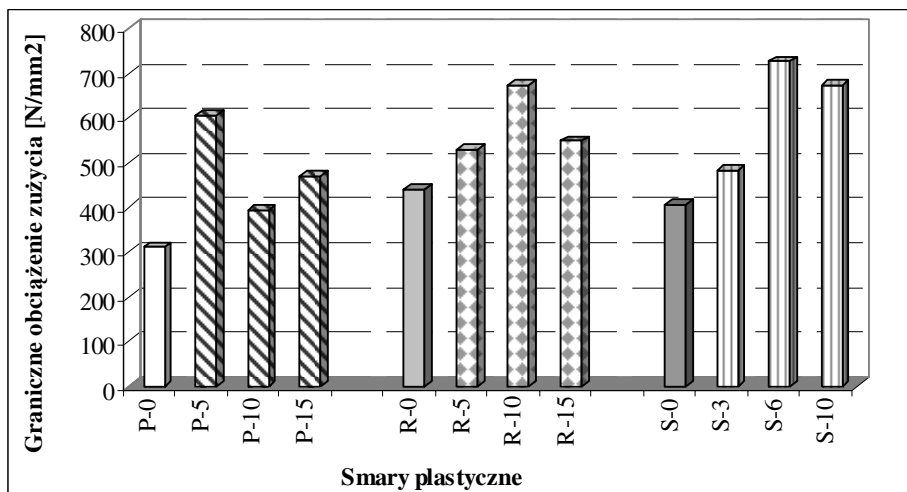
Jako parametr charakteryzujący właściwości przeciwzużyciowe przyjęto wartość granicznego obciążenia zużycia (G_{oz40}) wyznaczonego zgodnie z wymaganiami normy PN-76/C-04147 i warunkami dopuszczonymi przez WTWT – 94/MPS-025.

Właściwości przeciwzatarciowe scharakteryzowano za pomocą obciążenia zacierającego (P_t) i granicznego nacisku zatarcia (p_{oz}). Wartości tych parametrów wyznaczono w warunkach liniowo narastającego obciążenia wykonując badania zgodnie z metodyką opracowaną w ITeE – PIB Radom [L. 6–8], obciążenie zespawania wyznaczono zgodnie z normą PN-76/C-04147.

Za wynik oznaczenia wartości badanych parametrów przyjmowano średnią z co najmniej 3 biegów wolnych od błędów grubych.

WYNIKI BADAŃ

Do oceny właściwości przeciwzużyciowych otrzymanej grupy smarów wykorzystano pomiar średnicy śladu zużycia, na podstawie której wyliczono wartość granicznego obciążenia zużycia. Otrzymane wartości G_{oz} przedstawiono w formie graficznej na **Rys. 1**.



Rys. 1. Graniczne obciążenie zużycia opracowanych smarów plastycznych

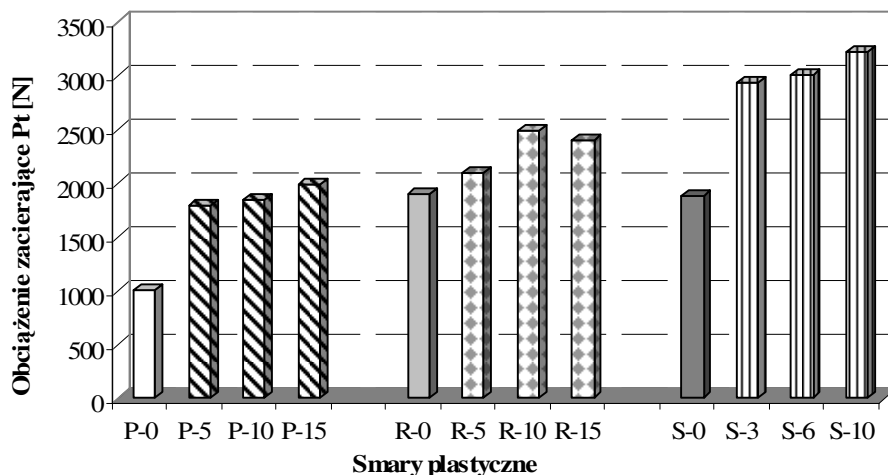
Fig. 1. Limiting load of wear of elaborated greases

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że zastosowany dodatek podwyższa skuteczność przeciwzużyciową zmodyfikowanych smarów

i nastąpił wzrost wartości granicznego obciążenia zużycia w całym zakresie przebadanych stężeń. W parafinowej kompozycji najwyższą skuteczność przeciwzużyciową zapewnia zastosowanie dodatku smarnego w ilości 5% (P-5). Wzrost jego koncentracji obniża wartość G_{oz} . Uzyskane wyniki dla zmodyfikowanych kompozycji smarowych na bazie oleju roślinnego i syntetycznego również potwierdzają skuteczność przeciwzużyciową zastosowanego dodatku. Najskuteczniej węzeł tarcia przed zużyciem chroni stosowanie smaru na bazie oleju roślinnego zawierającego 10% dodatku i na bazie oleju syntetycznego z 6% udziałem dodatku. Zwiększanie koncentracji powoduje wzrost zużycia węzła tarcia i obniżenie wartości granicznego obciążenia zużycia.

W celu dokonania kompleksowej oceny skuteczności działania dodatku smary podstawowe i zmodyfikowane kompozycje poddano testowi tribologicznemu w warunkach zacierania zgodnie z opisaną metodyką.

Jak wynika z danych przedstawionych na **Rys. 2** zastosowany dodatek jest również skuteczny w warunkach zacierania. Zmodyfikowane kompozycje smarowe charakteryzują się większą trwałością filmu smarowego, określonego wartością P_t , niż smary wyjściowe. Przebieg zmian momentu i współczynnika tarcia jest łagodny.



Rys. 2. Obciążenie zacierające opracowanych smarów plastycznych

Fig. 2. Scuffing load of of elaborated greases

W przypadku smarów na bazie oleju parafinowego i oleju syntetycznego ze wzrostem stężenia dodatku wzrasta wartość obciążenia zaciera-

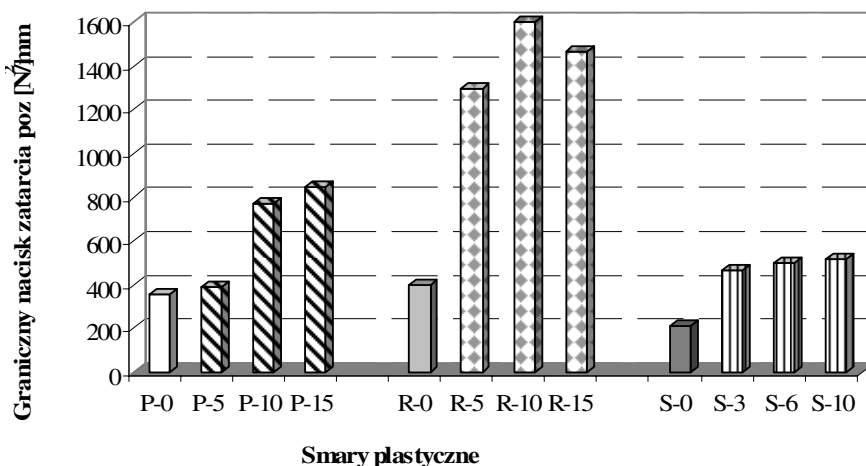
jącego. Najwyższą skuteczność działania zastosowanego dodatku stwierdzono w syntetycznej kompozycji smarowej. Najniższe stężenie (3%) powoduje ponad 50% wzrost trwałości filmu smarowego wytworzonego w warunkach zacierania.

Uwzględniając wartość średnicy śladu tarcia i granicznego obciążenia zatarcia, wyliczono graniczny nacisk zatarcia (p_{oz}). Im wyższa wartość tego parametru, tym lepsze właściwości przeciwzatarciowe smarów. Na podstawie uzyskanych wyników możemy stwierdzić, że skuteczność przeciwzatarciowa zmodyfikowanych smarów w większym stopniu zależy od rodzaju modelowej kompozycji niż od stężenia dodatku smarnego (**Rys. 3**).

Wybrany dodatek najskuteczniej poprawia właściwości przeciwzatarciowe, określone wartością granicznego nacisku zatarcia, w kompozycjach smarowych na bazie oleju roślinnego. 10% zawartość dodatku zapewnia 4-krotny wzrost wartości badanego parametru.

Najwyższa redukcja zużycia węzła tarcia, w warunkach stałego obciążenia, jest również udziałem smaru o takiej koncentracji dodatku (**Rys. 1**).

W przypadku smarów na bazie oleju parafinowego i oleju syntetycznego skuteczność przeciwzatarciowa wzrasta ze wzrostem koncentracji dodatku w kompozycji (**Rys. 3**).



Rys. 3. Graniczny nacisk zatarcia opracowanych smarów plastycznych

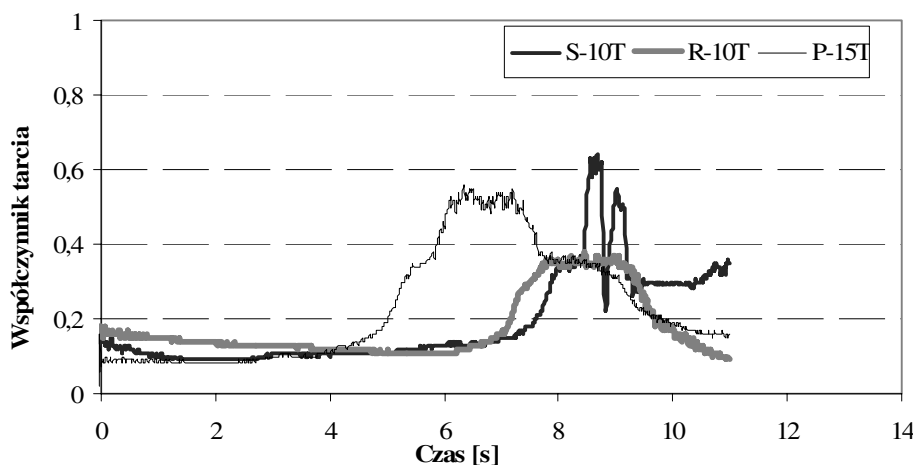
Fig. 3. Limiting pressure of seizure of elaborated greases

W syntetycznej kompozycji 3% zawartość dodatku zapewnia ponad 2-krotny wzrost wartości granicznego nacisku zatarcia. Wzrost stężenia dodatku nie poprawia w sposób znaczący badanych właściwości.

W przypadku kompozycji na bazie oleju parafinowego najskuteczniejsze właściwości przeciwzatarciowe są zapewniane przez 15% udział dodatku, następuje ponad 2-krotny wzrost wartości granicznego nacisku zatarcia.

Otrzymane kompozycje smarowe zawierające w składzie nieorganiczny dodatek tworzą warstwy wierzchnie skutecznie zabezpieczające węzeł tarcia przed zużyciem i zatarciem. Dla wszystkich zmodyfikowanych smarów na bazie oleju roślinnego i dla parafinowych kompozycji zawierających 10 i 15% dodatku węzeł tarcia nie ulega zatarciu i zostaje przyjęta maksymalna wartość granicznego obciążenia zatarcia (7200 N).

Na **Rys. 4** przedstawiono przykładowe krzywe zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu testu dla kompozycji o najkorzystniejszych właściwościach przeciwzatarciowych.



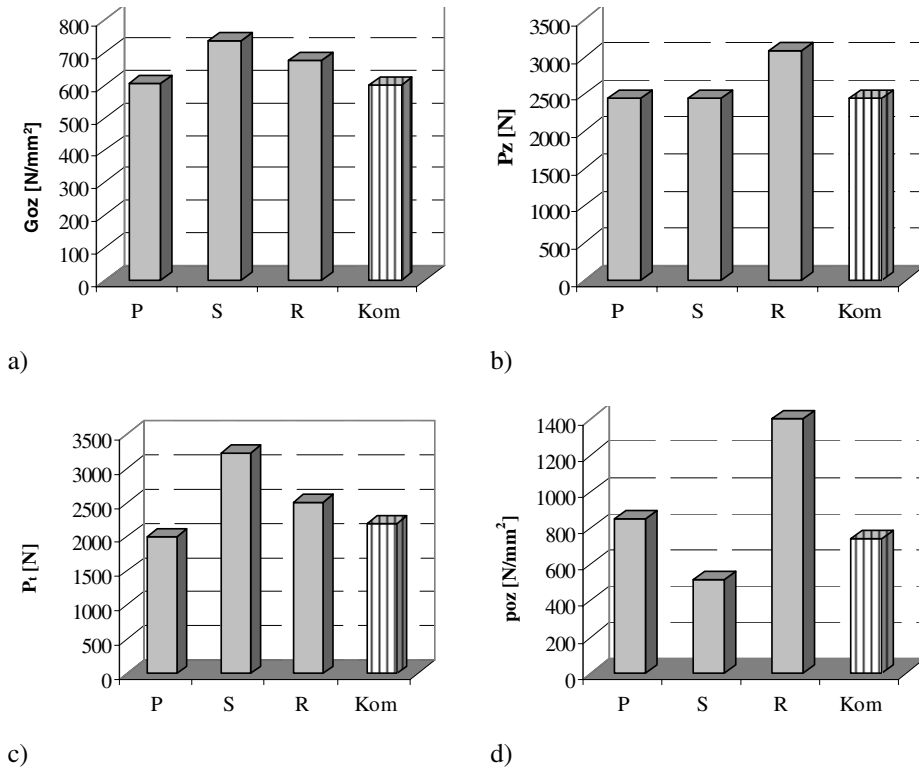
Rys. 4. Przebieg zmian współczynnika tarcia dla opracowanych smarów

Fig. 4. The course of changes of the friction coefficient for the elaborated greases

Zaobserwowano zróżnicowany przebieg zmiany współczynnika tarcia. Dla smarów na bazie oleju parafinowego i oleju roślinnego przebieg ten jest łagodny, daje się zaobserwować wzrost trwałości warstwy smarowej i łagodny przebieg etapu zużycia. Dodatek sprawia, że zmodyfi-

kowano smary roślinne i parafinowy tworzą wtórne warstwy smarowe w warunkach zacierania, chroniące węzeł przed zatarciem.

Dla celów porównawczych w analogicznych warunkach przeprowadzono badania dla komercyjnego smaru łożyskowego, powszechnie stosowanego w technice smarowniczej i nierekomendowanego jako produkt ekologicznie bezpieczny. Na **Rys. 5** przedstawiono w formie graficznej wartość parametrów przyjętych jako kryterialne, przy ocenie właściwości tribologicznych smarów plastycznych. Przedmiotem porównania były opracowane smary plastyczne o najkorzystniejszych właściwościach smarnych i 2 klasie konsystencji takiej, jak komercyjny smar łożyskowy.

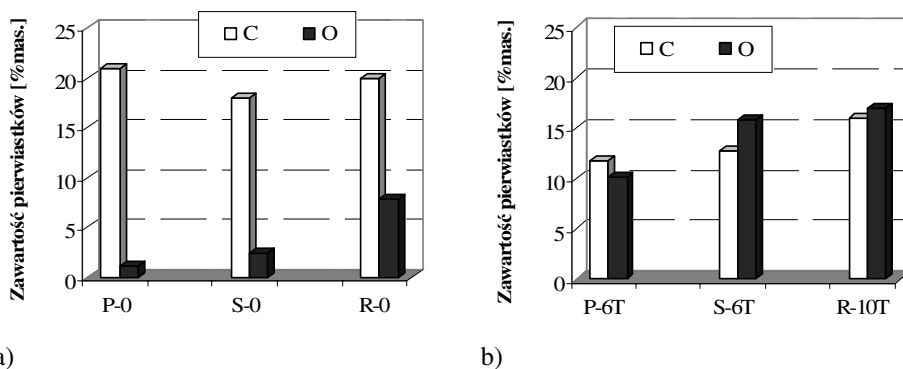


Rys. 5. Właściwości smarne opracowanych smarów plastycznych i smaru komercyjnego: a) graniczne obciążenie zużycia b) obciążenie zespawania, c) obciążenie zacierające, d) graniczny nacisk zatarcia

Fig. 5. Tribological properties of elaborated greases and commercial grease: a) limiting load of wear, b) welding load, c) Scuffing load, d) Limiting pressure of seizure

Na podstawie uzyskanych wyników możemy stwierdzić, że opracowana grupa nietoksycznych i biodegradowalnych smarów plastycznych zapewnia skuteczną ochronę przeciwwzyciową i przeciwwzatarciową smarowanego skojarzenia tribologicznego (**Rys. 5a, 5b**). Również uzyskany poziom właściwości przeciwwzatarciowych, wyznaczonych w warunkach liniowo narastającego obciążenia, pozwala na skuteczne stosowanie tych smarów jako zamienników komercyjnego smaru łożyskowego (**Rys. 5c, 5d**).

W celu wyjaśnienia zróżnicowanej skuteczności działania zastosowanego dodatku smarnego przeprowadzono badania warstwy wierzchniej śladów tarcia po testach w warunkach zacierania. W tym celu wykonano ilościową mikroanalizę rentgenowską techniką EDS. Zawartość pierwiastków w śladach tarcia w obecności smarów niemodyfikowanych i zmodyfikowanych o najlepszych właściwościach przeciwwzatarciowych przedstawiono na **Rys. 6**.



Rys. 6 Zawartość pierwiastków w śladzie tarcia z udziałem a) smarów niemodyfikowanych, b) smarów modyfikowanych

Fig. 6 The content of elements in the wear- scar with the a) non- modified greases, b) modified greases

Z danych **Rys. 6a** wynika, że w śladach tarcia stwierdza się znacznie większą zawartość węgla niż tlenu. Zwiększoną zawartość węgla można tłumaczyć przemianami węglowodorów podczas procesu tarcia, prowadzącymi do powstawania węglików [L. 9]. Stwierdzona najwyższa zawartość tlenu w śladzie tarcia powstałym z udziałem smarów na bazie oleju roślinnego, może wskazywać na powstawanie korzystnych dla procesów tarcia związków tlenowych. Znajduje to potwierdzenie w uzyska-

nych wynikach badań tribologicznych, na podstawie których stwierdzono najkorzystniejszy wpływ kompozycji R-0 na procesy zacierania.

W przypadku śladów tarcia po testach z udziałem smarów zmodyfikowanych nie obserwuje się tak znacznych różnic między zawartością węgla i tlenu, jak to miało miejsce w śladach tarcia w obecności smarów niemodyfikowanych.

Duża ilość tlenu i nieznacznie niższa węgla, w śladzie tarcia powstałym z udziałem smarów na bazie oleju roślinnego, sprzyjała takiej modyfikacji warstwy wierzchniej która zapewniła wzrost odporności na zacieranie smarowanego skojarzenia tribologicznego. Najkorzystniejsze właściwości przeciwzatarciowe, określone wartością granicznego nacisku zatarcia wykazał smar plastyczny na bazie oleju roślinnego zawierający 10% dodatku talku.

Powyższe spostrzeżenia pozwalają na postawienie hipotezy, że na powierzchni węzła tarcia w warunkach intensywnych wymuszeń powstające węgliki i związki tlenowe tworzą eksploatacyjną warstwę wierzchnią obniżającą tarcie i zużycie [L. 9–10].

Opracowane smary plastyczne posiadają Świadectwo Jakości Zdrowotnej wydane przez Państwowy Zakład Higieny, potwierdzające brak zagrożenia dla życia człowieka.

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zastosowany hydroksykrzemian magnezu możemy zaliczyć do grupy dodatków AW/EP o zróżnicowanej skuteczności działania zależnej od rodzaju wiodących składników smaru, jak również od warunków prowadzonych testów tribologicznych.

Wybrany dodatek pozwala na kształtowanie w sposób zamierzony właściwości tribologicznych bez utraty ekologicznego charakteru smarów.

Zmodyfikowane smary w warunkach zacierania charakteryzują się zdolnością do tworzenia trwałego filmu smarowego i warstw granicznych zdolnych do regeneracji.

Osiągnięty poziom właściwości przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych sprawia, że opracowane ekologiczne smary są równie skutecznym środkiem smarnym, jak konwencjonalny smar łożyskowy.

LITERATURA

1. Podniało A.: Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. WNT, Warszawa 2002.
2. Płaza S., Celichowski G., Margielewski L., Korczak E.: Środki smarowe a środowisko. Mat. konf. „Problemy ochrony środowiska związane z użytkowaniem produktów naftowych”, Kraków, 1999.
3. Neyman A.: Ekologiczne aspekty smarowania. Tribologia nr 2/2002.
4. Bartz W.J.: Ecotribology: environmentally acceptable tribological practices. Tribology International. 2006, 39.
5. Pawelec E.: Zwiększenie przeciwzużyciowych właściwości biodegradowalnego smaru plastycznego nietoksycznymi dodatkami. Praca kwalifikacyjna 1999.
6. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. ITeE Radom 2000.
7. Szczerek M., Tuszyński W.: A Method for Testing Lubricants under Conditions of Scuffing. Part I. Presentation of the Method. Tribotest journal 2002, 8–4, June, 273–284.
8. Piekoszewski W., Szczerek M., Tuszyński W.: A Method for Testing Lubricants under Conditions of Scuffing. Part II. The Anti-Seizure Action of Lubricating Oils. Tribotest journal 2002, 9–1, September, 35–48.
9. Płaza S., Margielewski L., Celichowski G.: Wstęp do tribologii i tribochemia. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
10. Johansson E. and others: Surface Analysis of Lubricated Sliding Metal Contacts. Part I - Comparison Between Conventional and Unconventional Surface Analytical Techniques. Finnish Journal of Tribology 1997, 16, 3–25.
11. Konchits V.V., Myshkin N.K.: Organic Deposits on Friction Surface and Their Role in Boundary Lubrication. Materiały konferencyjne: 13th International Colloquium Tribology, Esslingen 2002, 1259–1268.

Recenzent:
Stanisław KRAWIEC

Summary

Greases based on non-toxic oils and additives were developed for use in machinery bearings in which the use of non-toxic lubricants is desirable. Tribological experiments conducted under conditions of

constant load of the friction couple as well as scuffing conditions determined the amount of inorganic lubricant additive used.

Energy dispersive spectrometry (EDS) was used to examine the composition of the surface layer of wear scars. An increased amount of carbon and oxygen was observed as compared to the friction couple material. We can assume that formed carbides and oxides modify the surface layer making it more resistant against wear and scuffing.

Based on the obtained results, a composition of ecologically safe grease was selected. It can be used as an efficient substitute for commercial bearing grease.