

Ewa PAWELEC, Jolanta DRABIK*

**WPLYW TEMPERATURY WĘZŁA TARCIA
NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE
SMARU PLASTYCZNEGO**

**THE INFLUENCE OF TRIBOSYSTEM TEMPERATURE ON
THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC OF GREASE**

Słowa kluczowe:

smar wysokotemperaturowy, właściwości tribologiczne, dodatki adhezyjne, skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), mikroanaliza rentgenowska z dyspersją energii (EDS)

Key-words:

high-temperature grease, tribological proprieties, adhesion additives, Scanning Elektron Mikroskopy, Energy Dispersion Spectroscopy

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badania wpływu temperatury węzła tarcia na właściwości tribologiczne opracowanych smarów plastycznych.

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel. (048) 364-42-41.

Oceniono przeciwzużyciową i przeciwzatarciową skuteczność działania zastosowanych dodatków adhezyjnych w ślizgowych węzłach tarcia w warunkach podwyższonej temperatury. Stwierdzono, że wprowadzenie dodatków estrowych poprawia właściwości przeciwzatarciowe, natomiast kopolimery etylenu i propylenu zabezpieczają węzeł tarcia przed zużyciem.

Z zastosowaniem techniki skaningowej mikroskopii elektronowej sprzężonej z mikroanalizą rentgenowską (SEM/EDS) dokonano analizy składu warstwy wierzchniej ze śladu tarcia. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że związki węgla i tlenu biorą udział w formowaniu warstw ochronnych skutecznie rozdzielających powierzchnie trące, przez co zwiększają skuteczność tribologiczną opracowanych smarów.

WPROWADZENIE

Zapotrzebowanie na wysokospecjalistyczne środki smarowe stawia nowe wymagania, zarówno w obszarze ich wytwarzania, jak i racjonalnej eksploatacji. Szczególnych zmian surowcowych i technologicznych wymaga wytwarzanie środków smarowych na potrzeby przemysłu produkującego żywność [L. 1–3]. Wymagania te precyzują szczegółowo dyrektywy Unii Europejskiej. Środek smarowy przeznaczony do tego rodzaju zastosowań musi zapewniać wysoki poziom właściwości eksploatacyjnych, a także spełniać wymagania w zakresie bezpieczeństwa ekologicznego i zdrowotnego [L. 4]. Sprostanie wzrastającym wymaganiom w zakresie bezpiecznego wytwarzania żywności jest jednym z największych wyzwań stojących przed branżą spożywczą, tym bardziej, że od 1 stycznia 2006 roku obowiązuje w Polsce rozporządzenie dotyczące stosowania przy produkcji żywności tylko i wyłącznie środków smarowych atestowanych, które mogą mieć kontakt sporadyczny lub bezpośredni z produkowaną żywnością. Tak więc opracowanie technologii wytwarzania specjalistycznego smaru plastycznego o zwiększonej trwałości i jakości smarowania, w warunkach oddziaływania zmiennych wymuszeń cieplnych, wymagało precyzyjnego doboru komponentów zapewniających wysoką skuteczność tribologiczną produktu finalnego, a także gwarantującego jego nietoksyczność i wysoki poziom biodegradacji [L. 5].

Sprawdzenie skuteczności tribologicznej opracowanych kompozycji smarowych wiązało się z koniecznością doboru metod badawczych po-

zwalających na ocenę skuteczności ich działania w warunkach zbliżonych do warunków eksploatacji.

Celem pracy była ocena wpływu temperatury węzła tarcia na właściwości przeciwzużyciowe i przeciwwzatarciowe opracowanych kompozycji smarowych.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań jest grupa smarów plastycznych otrzymana z zastosowaniem syntetycznego oleju estrowego, nieorganicznego zagęszczacza i dodatków adhezyjnych o zróżnicowanej koncentracji.

Ze względu na przeznaczenie smaru do zastosowania w warunkach wysokich i zmiennych temperatur jako zagęszczacz zastosowano amorficzny związek krzemu. Zapewnienie wysokiej skuteczności smarowania węzłów kinematycznych wymagało wzbogacenia modelowej kompozycji smarowej o nietoksyczne dodatki adhezyjne. Wybrano dwa rodzaje dodatków – jeden z grupy syntetycznych estrów (kompozycje z jego udziałem oznaczono Bio), drugi jest kopolimerem etylenu i propylenu (kompozycje z jego udziałem oznaczono Van) [L. 6].

Wpływ zastosowanych dodatków na właściwości smarne był oceniany za pomocą zmodyfikowanego aparatu czterokulowego o konstrukcji umożliwiającej wykonywanie badania zarówno w warunkach liniowo narastającego obciążenia, jak i przy stałym obciążeniu węzła tarcia [L. 7, 8]. W celu dokonania kompleksowej oceny aplikacyjnej przydatności opracowanych smarów zbadano wpływ temperatury węzła tarcia na zmianę właściwości przeciwzużyciowych i przeciwwzatarciowych. Jako parametry kryterialne oceny przyjęto: graniczne obciążenie zużycia – G_{oz} , obciążenie zacierającego – P_t , graniczny nacisk zatarcia – p_{oz} .

Oznaczenie granicznego obciążenia zużycia (G_{oz}) prowadzono zgodnie z metodyką zawartą w PN-76/C-04147, z modyfikacją opisaną w WTWT-94/MPS-025, przy zachowaniu następujących warunków: obciążenie 392 N, czas – 3600 s, prędkość obrotowa – 500 obr./min, temperatura węzła tarcia: 25°C i 75°C.

Właściwości przeciwwzatarciowe wyznaczono zgodnie z metodyką badania środków smarowych w warunkach liniowego wzrostu obciążenia węzła tarcia zachowując następujące warunki: prędkość obrotowa wrzeciona 500±20 obr./min, szybkość narastania obciążenia 409 N/s, obciążenie maksymalne 7200±100 N, temperatura węzła tarcia: 25°C i 75°C.

Po zakończeniu biegu badawczego demontowano węzeł tarcia, myto kulki w n-heskanie i za pomocą mikroskopu optycznego Nikon MM-40 mierzono średnicę śladu zużycia. Otrzymane wyniki badań były poddane obróbce statystycznej. Do odrzucenia wartości skrajnych zastosowano test Q-Dixona. Za wynik oznaczenia przyjęto średnią arytmetyczną wyników z co najmniej 3 niezależnych biegów badawczych nie różniących się więcej niż o 10%.

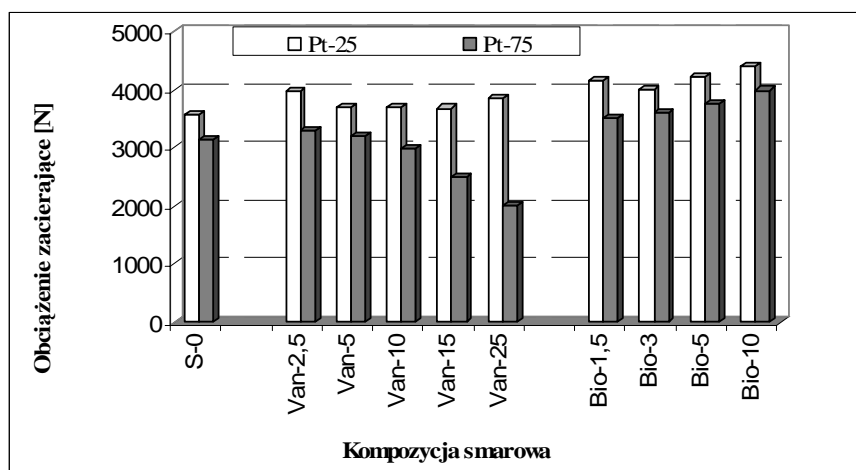
Pomiar wybranych parametrów pozwolił na ocenę wpływu temperatury węzła tarcia na zmianę charakterystyk tribologicznych smarów.

W celu wyjaśnienia zróżnicowanej skuteczności działania zastosowanych dodatków adhezyjnych wykonano badania warstwy wierzchniej ze śladów tarcia. Z zastosowaniem skaningowej mikroskopii elektronicznej sprzężonej z mikroanalizą rentgenowską zarejestrowano widma EDS z powierzchni śladu tarcia i zobrazowano topografię powierzchni.

Kompozycje smarową bez dodatku oznaczono S-0, natomiast smary z dodatkami adhezyjnymi oznaczono Bio i Van. Liczby przy symbolu dodatku oznaczają jego koncentrację w kompozycji smarowej podaną w %.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych w warunkach zacierania biegów badawczych wyznaczono wartość obciążenia zacierającego kompozycji smarowych.

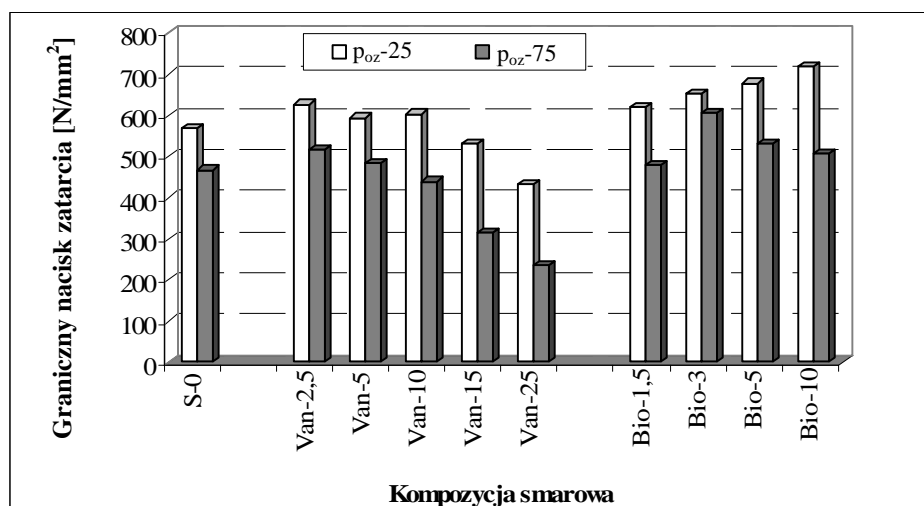


Rys. 1. Obciążenie zacierające smarów w temperaturze 25°C i 75°C

Fig. 1. Scuffing load of greases at temperature of 25°C and 75°C

Zamieszczone na **Rys. 1** wartości badanego parametru wyznaczono w teście przy temperaturze węzła tarcia wynoszącej 25°C i 75°C. Stwierdzono, że kompozycje zmodyfikowane dodatkiem Bio tworzą warstwy smarowe o większej odporności na zacieranie niż kompozycje z dodatkiem Van. Wyniki badania w temperaturze 75°C wykazały spadek odporności warstw smarowych na zacieranie dla wszystkich kompozycji smarowych. Niemniej jednak stwierdzono, że obciążenie zacierające zmienia się w mniejszym stopniu ze zmianą temperatury dla kompozycji zawierającej dodatek Bio niż dla kompozycji zmodyfikowanej dodatkiem Van.

Przeprowadzone badania w warunkach zacierania pozwoliły ocenić wpływ temperatury węzła tarcia na trwałość warstwy wierzchniej. Jako parametr kryterialny przyjęto wartość granicznego nacisku zatarcia p_{oz} (**Rys. 2**).



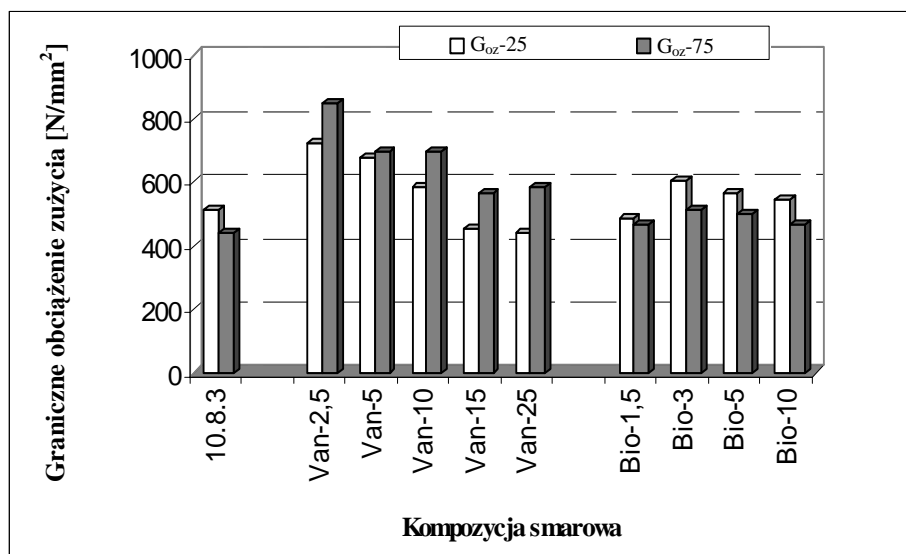
Rys. 2. Graniczny nacisk zatarcia kompozycji smarowych w temperaturze 25°C i 75°C

Fig. 2. Limiting pressure of seizure of greases at temperature of 25°C and 75°C

Wykonane badania pozwalają na stwierdzenie, że w temperaturze 25°C ze wzrostem stężenia dodatku Bio następuje widoczny wzrost trwałości warstwy wierzchniej. W przypadku kompozycji z dodatkiem Van wzrost koncentracji dodatku powyżej 10% obniża wartość granicznego nacisku zatarcia p_{oz} . Wzrost temperatury węzła tarcia zmniejsza skutecz-

ność przeciwwzarciovą badanych kompozycji. Większą trwałość warstw wierzchnich, również w podwyższonej temperaturze, zapewniają kompozycje zawierające dodatek Bio (**Rys. 2**). Stwierdzono, że zawartość 3% tego dodatku zapewnia najwyższą trwałość filmu smarowego i najwyższą odporność warstwy wierzchniej na zacieranie w warunkach podwyższonej temperatury.

Oceniono wpływ temperatury węzła tarcia na skuteczność przeciwwzarciovą opracowanych kompozycji smarowych.



Rys. 3. Graniczne obciążenie zużycia kompozycji smarowych w temperaturze 25°C i 75°C

Fig. 3. Limiting load of wear of greases at temperature of 25°C and 75°C

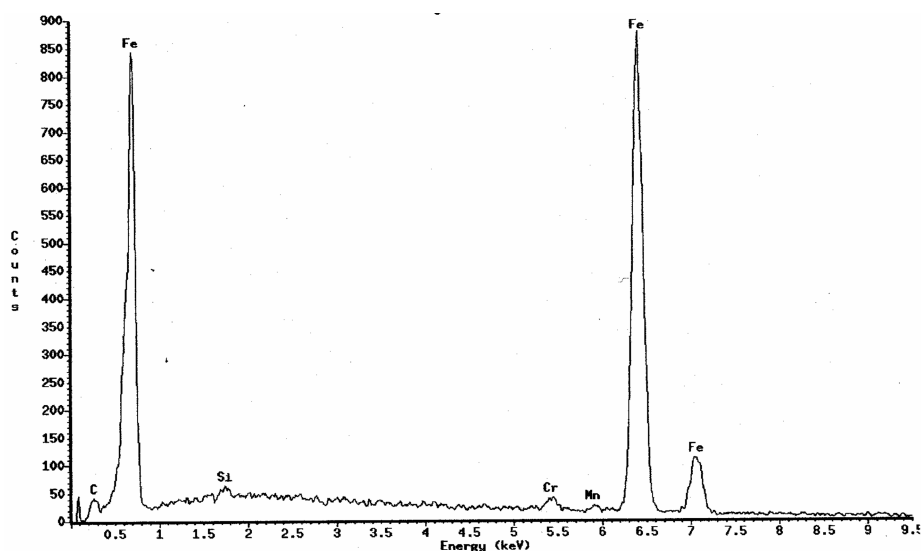
Po testach wykonanych w temperaturze 25°C i 75°C uwidocznili się decydujący wpływ rodzaju i koncentracji dodatku na skuteczność przeciwwzarciovą kompozycji smarowych (**Rys. 3**).

Przeprowadzone badania przy temperaturze węzła tarcia wynoszącej 75°C wykazały wzrost wartości granicznego obciążenia zużycia dla wszystkich kompozycji zawierających dodatek Van. Należy przypuszczać, że podwyższona temperatura węzła tarcia i stałe obciążenie 392 N powoduje korzystne zmiany w warstwie wierzchniej, dające wzrost odporności na zużycie.

W przypadku kompozycji zawierającej dodatek Bio, w podwyższonej temperaturze węzła tarcia, następuje obniżenie zdolności do ochrony przeciwzużyciowej smarowanego skojarzenia trącego.

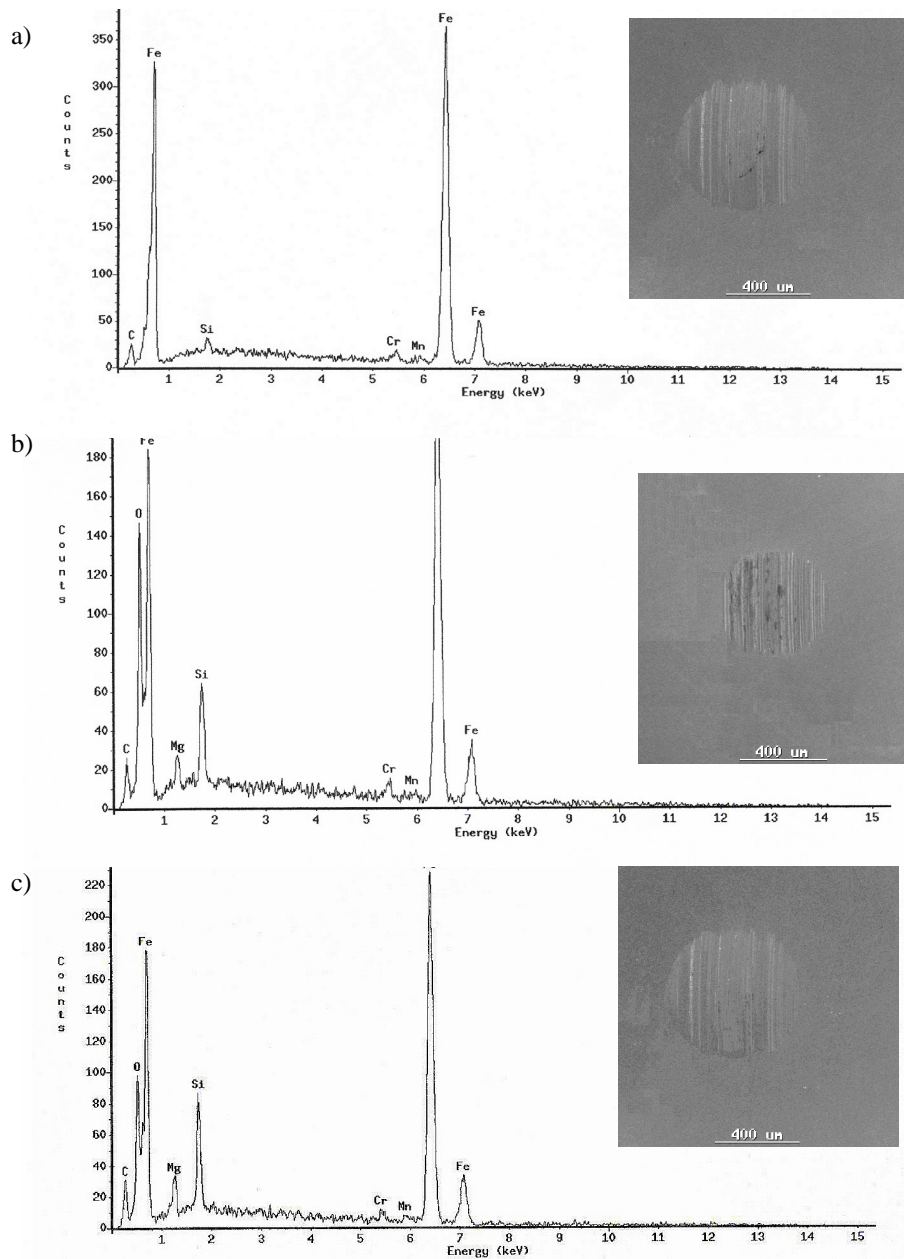
Podjęto próbę wyjaśnienia zmiany skuteczności tribologicznej zastosowanych dodatków adhezyjnych. Po zakończeniu testów zdemontowano węzeł tarcia, kulki umyto w n-heksanie i osuszono. Z wykorzystaniem techniki SEM/EDS wykonano badania z powierzchni śladu tarcia. Do badań wybrano kulki po testach prowadzonych w obecności kompozycji smarowych charakteryzujących się najwyższą skutecznością przeciwtarciową i przeciwzużyciową. Przykładowe widma SEM/EDS z powierzchni śladu tarcia dla smaru niemodyfikowanego i z dodatkami adhezyjnymi, o najkorzystniejszej charakterystyce przeciwzużyciowej, zamieszczono na **Rys. 5 i 6**.

Skład jakościowy w widmach odnoszono do widma czystej stali ŁH15, które przedstawiono na **Rys. 4**.

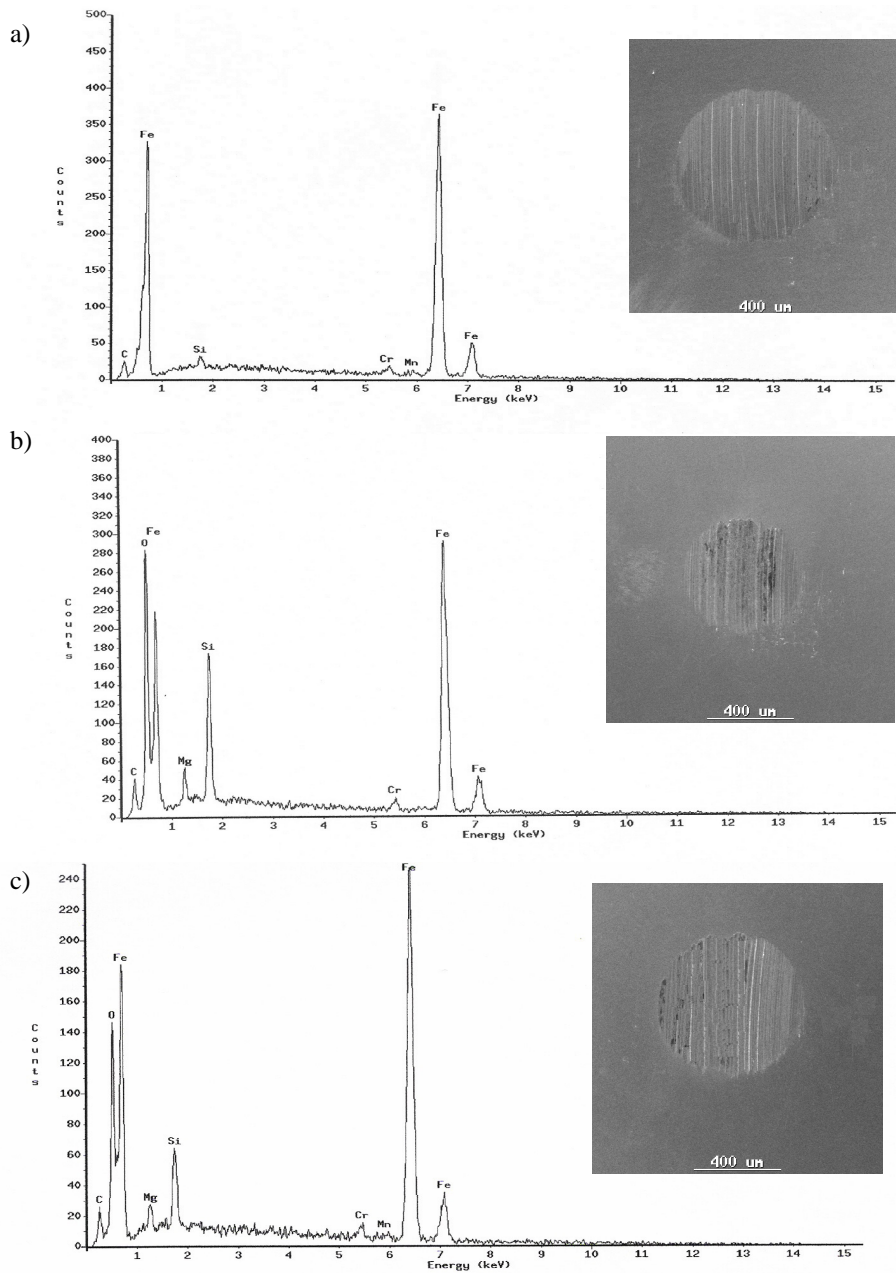


Rys. 4. Widmo EDS z powierzchni kulki wykonanej ze stali łożyskowej ŁH 15

Fig. 4. EDS spectrum the surface recorded on ŁH 15 ball steel



Rys. 5. Widmo SEM/EDS zarejestrowane ze śladu tarcia na kulkach po teście zużyciowym w temp. 25 °C w obecności smaru: a) S-0, b) Van-2,5, c) Bio-3
 Fig. 5. SEM/EDS spectrum recorded on the wear scar surface of balls after the rubbing test at temperature of 25 °C with the participation of grease: a) S-0, b) Van-2,5, c) Bio-3



Rys. 6. Widmo SEM/EDS zarejestrowane ze śladu tarcia na kulkach po teście zużyciowym w temp. 75°C w obecności smaru: a) S-0, b) Van-2,5, c) Bio-3

Fig. 6. SEM/EDS spectrum recorded on the wear scar surface of balls after the rubbing test at temperature of 75 °C with the participation of grease: a) S-0, b) Van-2,5, c) Bio-3

W widmach ze śladów z powierzchni tarcia po testach z kompozycjami smarowymi bez dodatków nie stwierdzono obecności innych pierwiastków niż te występujące w składzie stali (**Rys. 5a i 6a**).

W śladach zużycia węzła smarowanego zmodyfikowanymi kompozycjami widoczny jest wpływ zastosowanych dodatków na zmianę rodzaju zużycia. Zastosowane dodatki nadają śladom tarcia łagodny charakter z mniejszą koncentracją bruzd i ubytków materiału węzła tarcia. Widocznej zmianie uległa również geometria śladu na korzyść kompozycji zawierających dodatki adhezyjne.

Na widmach z powierzchni tarcia po testach z kompozycjami zawierającymi dodatki adhezyjne wyraźnie wzrosła intensywność sygnałów pochodzące od tlenu, węgla i krzemu w odniesieniu do widm zarejestrowanych ze śladów powstałych z udziałem kompozycji bez dodatku.

Szczególnie intensywny wzrost sygnału tlenu jest widoczny w śladzie tarcia na kulkach po godzinnym teście w temperaturze węzła tarcia wynoszącej 75°C. Obecność tlenu można tłumaczyć powstawaniem związków tlenoorganicznych w wyniku przemian węglowodorów, wchodzących w skład oleju bazowego i dodatków adhezyjnych i ich reakcjami z powierzchnią węzła tarcia.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że możliwe jest stosowanie ekologicznych dodatków adhezyjnych jako komponenty poprawiające charakterystyki tribologiczne wysokotemperaturowego smaru plastycznego.

Utworzona z udziałem dodatków adhezyjnych warstwa graniczna i zmodyfikowana warstwa wierzchnia charakteryzują się znacząco podwyższoną odpornością na oddziaływania tribologiczne w odniesieniu do warstw uformowanych przy udziale kompozycji bez dodatków. Dodatki estrowe poprawiają właściwości przeciwwzatarciowe zmodyfikowanych kompozycji smarowych, natomiast kopolimery etylenu i propylenu zabezpieczają węzeł tarcia przed zużyciem. Na podstawie badań EDS stwierdzono, że w warunkach podwyższonych temperatur z udziałem tych dodatków tworzy się zmodyfikowana warstwa wierzchnia zapewniająca większą skuteczność przeciwzużyciową.

LITERATURA

1. PN-EN 1672-2; 1999 Maszyny dla przemysłu spożywczego – Pojęcia podstawowe – wymagania z zakresu higieny.
2. Bartz W.J.: Lubricants and the environment. *Tribology International*, 1998, 31, 35–47.
3. Willing A.: Lubricants based on renewable resources – an environmentally compatible alternative to mineral oil products. *Chemosphere*, 2001, 43, 89–98.
4. Dyrektywa 93/43/EWG w sprawie higieny środków spożywczych.
5. Pawelec E., Drabik J.: Wpływ niekonwencjonalnych modyfikatorów na stabilność strukturalną i odporność termiczną wysokotemperaturowego smaru plastycznego. *Tribologia* 3/2008 s. 235–246.
6. Materiały ofertowe firmy C.H. Erbslöh.
7. 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.
8. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. ITeE, Radom 2000.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The paper presents the results of investigation of tribosystem temperature influence on the tribological characteristics greases.

Antiwear and antiseizure properties of the used adhesion additives were investigated in sliding tribosystem under increased temperature conditions.

The ester additives improve on antiseizure properties, the ethylene and propylene copolymers protect tribosystem from wear.

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

It has been ascertained that the carbon and oxygen containing compounds participate in formation of protective layers and improve tribological effectiveness of greases.