

Stanisław LABER^{*}, Mariusz JENEK^{*}

**BADANIA WPŁYWU PREPARATÓW
EKSPLOATACYJNYCH NA ZMIANĘ WŁASNOŚCI
SMARNYCH OLEJÓW ORAZ WŁAŚCIWOŚCI
TRIBOLOGICZNE ŻELIWA**

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF OPERATING
PREPARATIONS ON THE CHANGE OF THE LUBRICATING
PROPERTIES OF OILS AND THE TRIBOLOGICAL
PROPERTIES OF CAST IRON**

Słowa kluczowe:

preparaty eksploatacyjne, właściwości tribologiczne, własności smarne

Key words:

exploitation preparations (PE), tribological properties, lubricating properties

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu preparatów eksploatacyjnych na zmiany własności smarnych olejów oraz właściwości tribolo-

^{*} Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, ul. Prof. Szafrana 4, 65-001 Zielona Góra.

gicznych żeliwa. Przeanalizowano synergizm dodatku technologicznego z preparatami eksploatacyjnymi, oraz ich oddziaływanie na powierzchnię tarcia w oparciu o pomiary stereometrii i analizę na mikroskopie skaningowym.

WPROWADZENIE

Oleje handlowe pomimo swych zalet i ciągłego ich doskonalenia nie są w stanie, zwłaszcza w ekstremalnych warunkach pracy systemów tribologicznych, sprostać problemom niedosmarowania strefy tarcia współpracujących elementów czy likwidacji skutków tzw. „zimnego startu”, występującego podczas rozruchu maszyn. W sytuacjach tych skutecznym według wielu badaczy [L. 1, 2, 4, 7] jest wtórne uszlachetnianie olejów handlowych, poprzez wprowadzenie do węzłów tarcia preparatów eksploatacyjnych (PE). Preparaty te, osadzając się na współpracujących elementach, tworzą w wyniku sorpcji fizycznej lub chemicznej nową warstwę graniczną. Warstwa ta, w trwały sposób związana z powierzchnią, zapewnia występowanie w strefie tarcia warunków odpowiadających tarcia płynnemu lub granicznemu.

W zagranicznej i krajowej literaturze naukowo-technicznej znaleźć można skrajne opinie dotyczące skuteczności działania PE – od wykazania skuteczności ich działania [L. 3, 6, 7, 8] o dużym znaczeniu techniczno-ekonomicznym, poprzez znikomą skuteczność i zalecaną ostrożność w stosowaniu [L. 9, 13], do stwierdzeń o ich szkodliwości [L. 11].

Praktyce wprowadzania do oleju handlowego dodatków uzupełniających, jakimi są PE sprzeciwiają się producenci olejów, wyrażając się o nich krytycznie. W olejach tych znajdują się bowiem zestawy dodatków uszlachetniających o różnym przeznaczeniu, skomponowane w sposób stabilny z bazą olejową i między sobą. Wprowadzenie w trakcie eksploatacji nowej substancji może tę stabilność zakłócić, przez co może pogorszyć jakość smarowania układu tribologicznego. Stąd wielu autorów [L. 5, 10, 12] bada interakcje pomiędzy poszczególnymi dodatkami w celu wykluczenia zjawiska antagonizmu w ich działaniu.

Problem dotyczący stosowania PE pozostaje nadal otwarty. Mając powyższe na uwadze, w niniejszej pracy podjęto próbę oceny skuteczności działania wybranych, dostępnych na rynku PE i ich współdziałania z technologicznym dodatkiem przeciwzużyciowym Acorox 880 w żeliwnych węzłach maszyn.

Elementy ww. problematyki objęte zostały przedmiotem badań, których celem było ustalenie efektywności stosowania (PE) w żeliwnych węzłach tarcia.

METODYKA BADAŃ

Charakterystyka materiałów użytych do badań

W badaniach wykorzystano żeliwo sferoidalne GJS 600-3. O wyborze materiału zadecydowało powszechne wykorzystywanie żeliwa w budowie maszyn (wały korbowe, i wały rozrządu, prowadnice). Dla zapewnienia powtarzalności wyników dokonano selekcji odlewów ze względu na twardość HB. Do wykonania próbek użyto wałków o twardościach odpowiadających certyfikatowi wystawionemu przez odlewnię. Jako przeciwpróbki do badań tribologicznych użyto zgodnie z instrukcją testera stal X210Cr12. Po wykonaniu serii próbek dokonano powtórnej selekcji, uwzględniając chropowatość i twardość próbek, które wynosiły odpowiednio:

chropowatość:

- dla próbek z żeliwa GJS 600-3 $Ra_{sr} = 0,34 \pm 0,04$ [μm];
- dla przeciwpróbek ze stali X210Cr12 $Ra_{sr} = 0,14 \pm 0,02$ [μm];

twardość:

- dla próbek z żeliwa II (GJS 600-3) $HB_{sr} = 226 \pm 13$.
- dla przeciwpróbek ze stali X210Cr12 ulepszonych cieplnie $HRC_{sr} = 59 \pm 1,5$.

Do badań użyto próbek w kolejności o wartościach najbardziej zbliżonych do wartości średniej.

W badaniach wykorzystano roztwory technologicznego dodatku smarnościowego Acorox 880 (dialkiloditiofosforan cynku) będącego typowym dodatkiem typu AW, a zarazem dodatkiem antyutleniającym oraz PE Motor Life i R-2000 będące przedstawicielami preparatów odpowiednio o działaniu chemicznym i na bazie metali miękkich, w oleju bazowym SN150.

Badanie własności smarnych z użyciem testera T-02

Do przeprowadzenia badań tribologicznych wykorzystano aparat 4-kulowy, wyposażony we wspomagane komputerowo systemy sterowania i pomia-

rów. Badania wykonano zgodnie z PN-76/C-04147, określając wskaźniki: obciążenie zespawania P_z [kG], wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_h [kG], największe obciążenie niezacierające P_n [kG], obciążenie zacierające P_t [kG].

Ocena udziału struktur AW i EP w filmie smarowym w zależności od zawartości dodatków w oleju bazowym

Do oceny udziału struktur AW i EP w filmie smarowym w zależności od zawartości dodatków w olejach posłużono się metodą α_i , opracowaną przez A. Kulczyckiego [L. 14] w Centralnym Laboratorium Naftowym w Warszawie. Pozwala ona na ocenę udziału struktur przeciwzużyciowych (α_{AW}) i przeciwzatarciowych (α_{EP}) w filmie smarowym. Wskaźniki α_{AW} i α_{EP} są odwrotnie proporcjonalne, co oznacza, że im mniejsza wartość wskaźnika, tym większy udział struktury w filmie smarowym.

Badanie właściwości tribologicznych na testerze T-05

Do określenia właściwości tribologicznych użyto testera typu „rolka–kłosek” T-05 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Założono przeprowadzenie badania dla biegu badawczego pary trącej przy ciągłym pomiarze i rejestracji oporów ruchu, pomiarze śladu tarcia, określeniu średniej szerokości śladu tarcia, zużycia objętościowego i masowego klocka. Przyjęto następujące parametry biegu badawczego:

- prędkość obrotowa przeciwpróbki 180 obr./min,
- obciążenie węzła tarcia 900 N,
- czas biegu badawczego 1 godzina.

Wielkość zużycia określano za pomocą pomiaru szerokości śladu wytarcia na klocku.

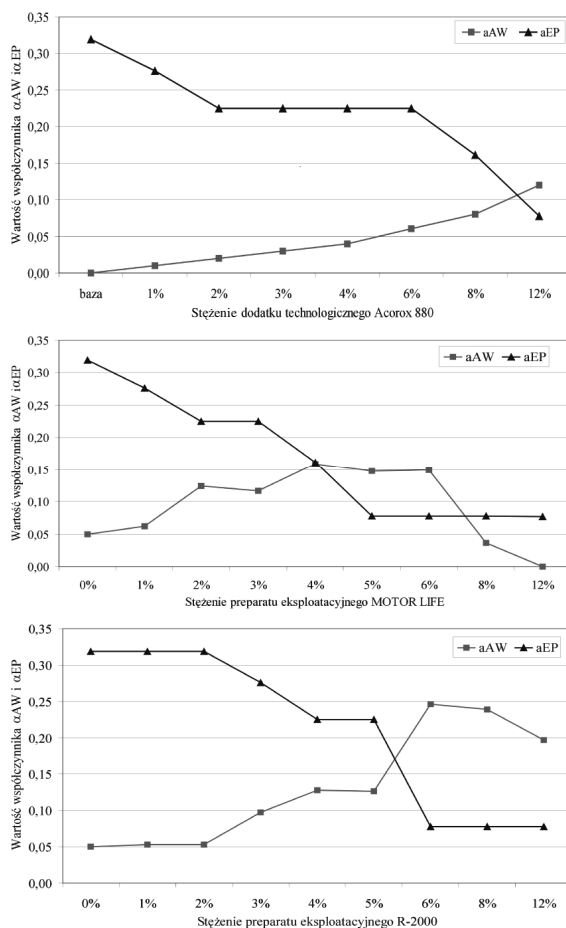
Analiza zmian stanu powierzchni próbek

W celu określenia zmian stanu powierzchni próbek po badaniach tribologicznych dokonano pomiaru chropowatości 2D oraz 3D na powierzchniach roboczych próbek za pomocą profilografometru produkcji Instytutu Obróbki Skrawaniem PGM-1C. Przeprowadzono również analizę powierzchni próbek na mikroskopie skaningowym z mikroanalizatorem rentgenowskim EDS 2000.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań środków smarnych

W celu ustalenia optymalnych zawartości dodatków w oleju bazowym sporządzono kompozycje smarowe o stężeniach: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, i 12%. Kompozycje te poddano badaniom na aparacie czterokulowym. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono udziały struktur przeciwzużywcowych i przeciwzatarciowych w filmie smarowym, które zostały przedstawione na **Rys. 1**.



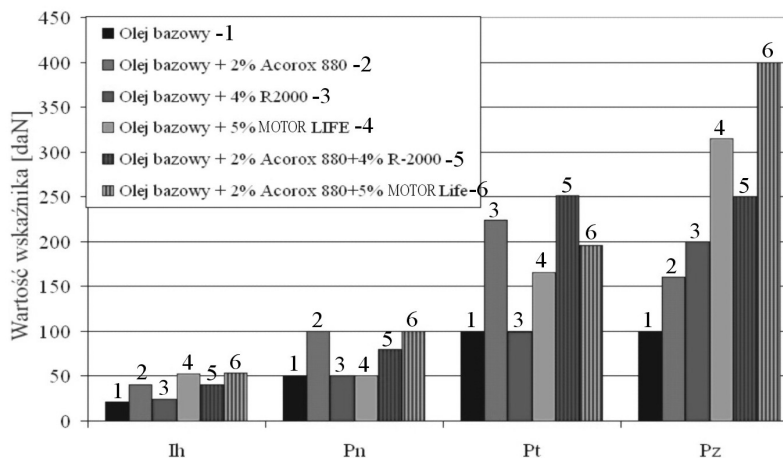
Rys. 1. Wartości współczynników α_{AW} i α_{EP} dla poszczególnych preparatów w zależności od ich stężenia w oleju bazowym SN 150

Fig. 1. Value coefficients α_{AW} and α_{EP} for the different preparations, depending on their concentration in the base oil SN 150

Ponieważ PE Motor Life jest dodatkiem typu EP, szukano na wykresie (**Rys. 1**) takiego stężenia, przy którym wartość współczynnika α_{EP} osiągnie wartość minimalną. Najkorzystniejsze okazało się stężenie 5%, powyżej którego wartość wskaźnika α_{EP} nie ulegała zmniejszeniu. Dla preparatu R-2000 przyjęto stężenie 4%, przy którym film smarowy utworzony przez kompozycję charakteryzuje się optymalnymi właściwościami zarówno przeciwzużyciowymi, jak i przeciwzatarciowymi. Dla dodatku Acorox 880 przyjęto stężenie 2%, przy którym kompozycja posiada dobre właściwości przeciwzużyciowe z jednoczesną poprawą w stosunku do stężenia 1% właściwości przeciwzatarciowych.

Jednym z celów badań było określenie współdziałania PE z dodatkiem technologicznym. Po ustaleniu optymalnych stężeń dodatków w oleju bazowym sporządzono kompozycje smarne oleju bazowego SN 150 z dodatkiem technologicznym Acorox 880, dodając preparaty eksploatacyjne R-2000 i MOTOR LIFE. Wyniki badań na aparacie czterokulowym przedstawiono na **Rys. 2**.

Analiza otrzymanych wyników badań nie wykazała antagonistycznego współdziałania dodatku technologicznego Acorox 880 z PE R-2000 oraz Motor Life. Wszystkie wskaźniki opisujące właściwości smarne uległy poprawie w stosunku do kompozycji smarowych utworzonych tylko z jednym dodatkiem, co świadczy o synergistycznym oddziaływaniu PE z dodatkiem technologicznym Acorox 880.



Rys. 2. Właściwości smarne kompozycji smarowych utworzonych w wyniku wprowadzenia do oleju bazowego dwóch preparatów

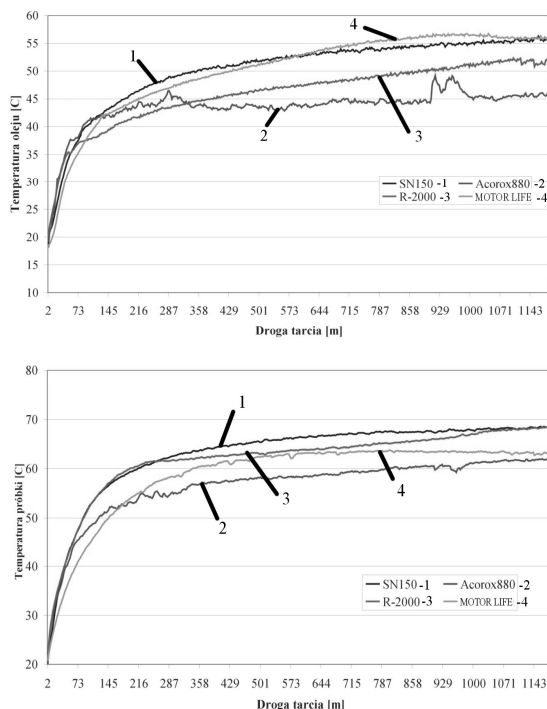
Fig. 2 The lubricating properties of compounds created by the infusion of base oil with two preparations

Badanie właściwości tribologicznych

Badanie przeprowadzono przy stałym obciążeniu $P = 90$ [daN] i przy stałej prędkości obrotowej $n = 180$ [obr./min]. Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykresy siły tarcia, zużycia, temperatury oleju i temperatury próbki.

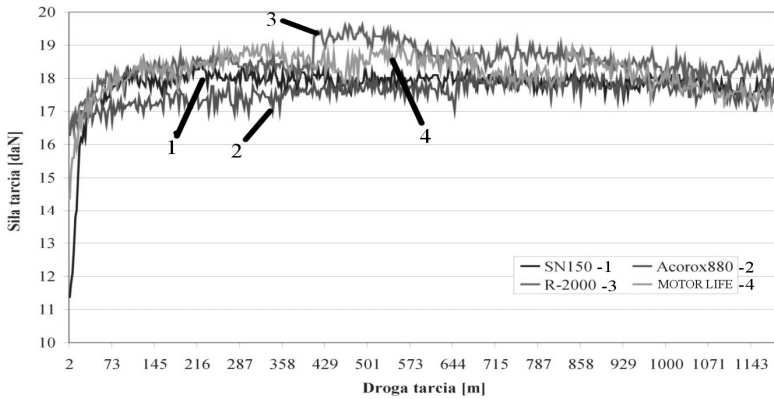
Analizując wykresy sporządzone z badań tribologicznych (**Rys. 3, 4**), zauważyć można, że najlepsze właściwości tribologiczne uzyskano dla oleju bazowego z dodatkiem 2% Acorox 880. Zarówno siła tarcia, jak i temperatura, jakie odnotowano dla wszystkich kompozycji, były niższe niż przy oleju bazowym.

Analizując wykres zużycia próbek (**Rys. 5**), można zauważyć, że zastosowanie PE spowodowało znaczne zmniejszenie zużycia. Dla kompozycji SN 150 + 2% Acorox i SN 150 + 4%R-2000 zużycie spadło prawie o 40%, natomiast najmniejsze zużycie (około 50% mniejsze w porównaniu z olejem bazowym) odnotowano dla oleju bazowego z PE 5% Motor Life.



Rys. 3. Zmiany temperatury oleju i próbki ($P = 90$ [daN] $n = 180$ [obr./min])

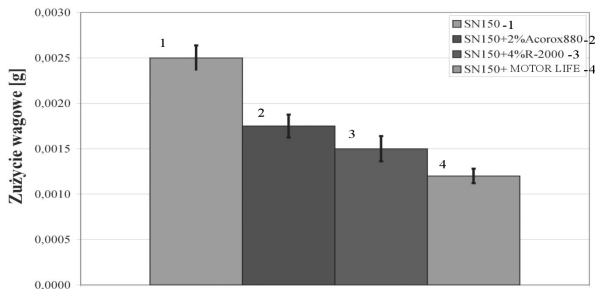
Fig. 3. Changes in the temperature of oil and cast iron sample ($P = 90$ [daN] $n = 180$ [rpm])



Rys. 4. Zmiany siły tarcia ($P = 90$ [daN] $n = 180$ [obr./min])

Fig. 4. Changes in friction force ($P = 90$ [daN] $n = 180$ [rpm])

Na **Rys. 5** przedstawiono wyniki zużycia wagowego próbek po badaniach tribologicznych. PE doprowadzone do powierzchni trących spowodowały powstanie trwalszej, bardziej odpornej na przerwanie warstwy granicznej, w odniesieniu do dodatku technologicznego Acorox 880 czy oleju bazowego SN 150.



Rys. 5. Zestawienie pomiarów zużycia wagowego

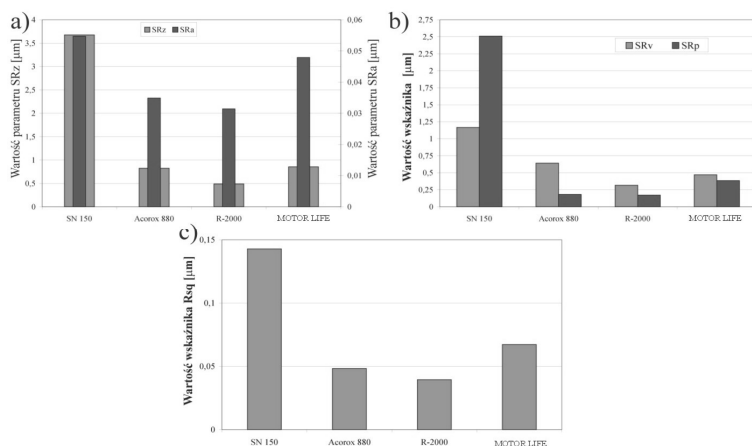
Fig. 5. Overview of the measurements of the wear weight

Nowo powstała warstwa graniczna była w stanie przenieść większe obciążenia dynamiczne i temperaturowe, co spowodowało zmniejszenie zużycia.

Wyniki badań stereometrii powierzchni w układzie 3D i 2D

Po badaniu właściwości tribologicznych ponownie dokonano pomiaru chropowatości w celu określenia zmian, jakie zaszły na powierzchni pró-

tek po zastosowaniu badanych kompozycji smarowych. Wyniki badań chropowatości powierzchni w układzie 3D przedstawiono na **Rys. 6** (dla układu 2D wykresy wyglądały analogicznie).



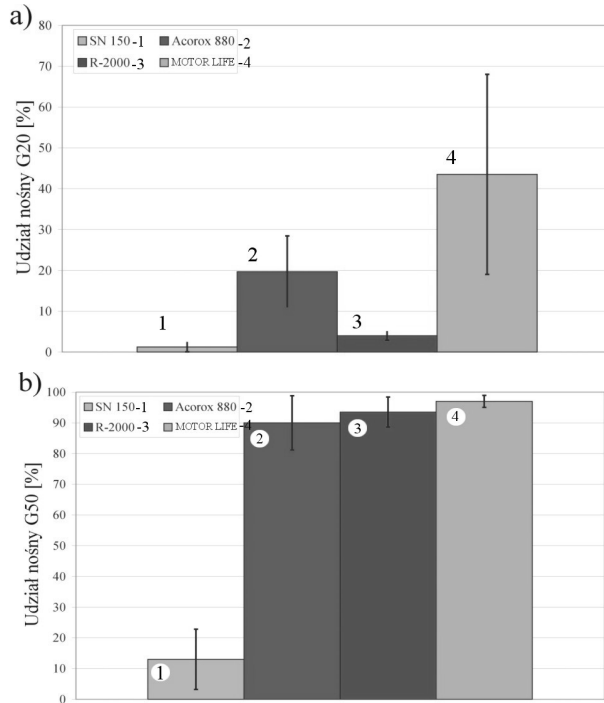
Rys. 6. Chropowatość powierzchni zużycia w układzie 3D: a) parametr SRz i SRa, b) parametr SRv i SRp, c) parametr SRq

Fig. 6. The roughness of the surface wear in 3D: a) parameter SRz and SRa, b) parameter SRv and SRp, c) parameter SRq

Z **Rys. 6** wynika, że modyfikacja oleju PE wpłynęła na znaczne obniżenie chropowatości, przejawiające się spadkiem wszystkich mierzonych parametrów. Z wykresów wynika, że nastąpiło znaczne obniżenie parametru chropowatości Ra dla każdej z zastosowanych kompozycji smarowych w porównaniu z Ra dla oleju bazowego. Analizując pomiar prostopadły, stwierdzono, że wpływ preparatów eksploatacyjnych na poprawę jakości powierzchni jest znaczący. Poprzez modyfikowanie oleju wartość parametru Ra obniżyła się prawie o 50% w każdym z rozpatrywanych przypadków, a najniższą wartość odnotowano dla środka smarowego SN 150 + 4% R 2000. Mogło to być spowodowane „namazywaniem” mikrocząstek miedzi i ołowiu zawartych w preparacie R-2000 na powierzchniach współpracujących elementów. Zauważyć można również, że największy przedział ufności dla wszystkich mierzonych parametrów obserwuje się dla oleju bazowego SN150, co świadczy o najmniej stabilnej współpracy powierzchni. Zmniejszeniu uległy również wielkości parametrów Rv i Rp, świadczące o zmniejszeniu maksymalnej wysokości

wzniesienia profilu chropowatości oraz o zmniejszeniu maksymalnej głębokości wgłębienia profilu chropowatości.

Udział nośny profilu zwiększa się w miarę ścierania wierzchołków nierówności. Wielkość udziału nośnego decyduje o zdolności współpracy dwu powierzchni. Im większy jest udział nośny, tym stabilniej pracują ze sobą dwa elementy trące.



Rys. 7. Porównanie udziału nośnego procentowego dla pomiaru prostopadłego za pomocą parametrów: a) G_{20} , b) G_{50}

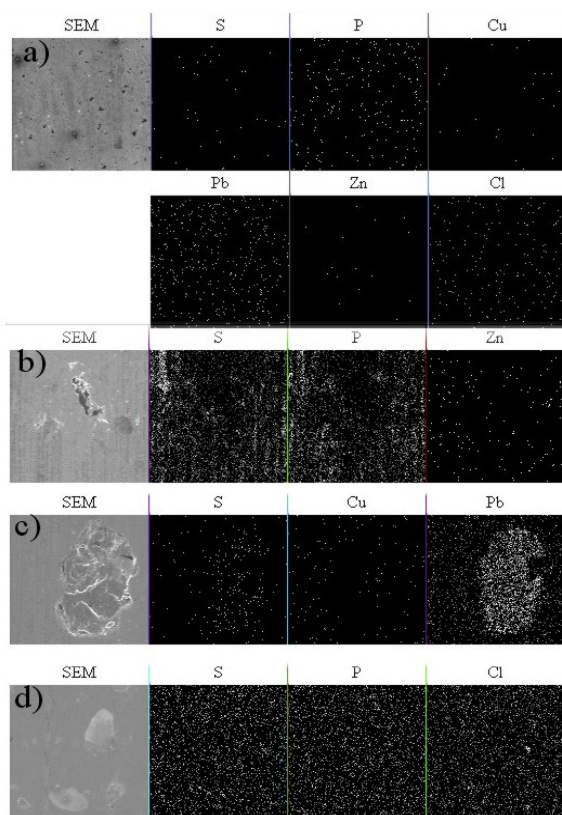
Fig. 7. The comparison of the load-bearing participation percentage to the measured perpendicular using parameters: a) G_{20} , b) G_{50}

Na podstawie otrzymanych wykresów udziału nośnego ustalono wg PN-86/M-04250 ocenę rozkładu udziału nośnego za pomocą przyrostu jego wartości dla zbliżeń $c = 0,2 Rt$ i $c = 0,5 Rt$. Wartości parametrów G_{20} i G_{50} zestawiono na **Rys. 7**.

Jak wynika z wykresów (**Rys. 7**), dodanie do oleju bazowego PE spowodowało wzrost wskaźników G_{20} i G_{50} , przy czym największy udział nośny odnotowano dla oleju z PE Motor Life.

Analiza zmian powierzchni śladów zużycia próbek za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej

Wyniki badań powierzchni zużycia za pomocą mikroskopu elektronowego przedstawiono na **Rys. 8**.



Rys. 8. Obrazy skaningowe śladu zużycia powierzchni badanych oraz rozkład powierzchniowy pierwiastków dla: a) oleju bazowego SN 150, b) Acorox 880, c) R-2000, d) Motor Life

Fig. 8. Scanning microscope images of the wear signature on the tested surface, and of the surface distribution of elements for: a) base oil SN150, b) Acorox 880, c) R-2000, d) Motor Life

Obrazy powierzchni po badaniach zużycia potwierdzają wyniki badań stanu WW otrzymane na profilografometrze. Dla oleju bazowego SN150 oraz Acorox 880 widoczne są wyraźne ślady zużycia oraz „namazania” powierzchni, które powodują zmniejszenie właściwości przeciw-

ciernych żeliwa i zwiększenie zużycia poprzez niemożność dostania się do strefy tarcia grafitu. Występowanie „namazywania” świadczyć może o miejscowej inicjacji procesu zacierania. Powierzchnie po badaniach w obecności preparatów eksploatacyjnych R-2000 oraz Motor Life różnią się w znacznym stopniu od poprzednich. Nie obserwuje się widocznych śladów zużycia ściernego, nie występują „namazania” powierzchni, a grafit tworzy otwarte wgłębienia, w których gromadzi się środek smarny, poprawiając tym samym warunki smarowania i minimalizując skutki tarcia.

Różnice właściwości poszczególnych dodatków w warunkach tarcia tłumaczyć można rozkładem siarki i fosforu na powierzchniach śladu zużycia. Siarka i fosfor występujące na powierzchniach śladów zużycia zostały z nią związane w wyniku adsorpcji chemicznej wskutek aktywacji powierzchni w procesie eksploatacji. Olej z dodatkiem Acorox 880 pozostawił na badanych powierzchniach największą ilość siarki. Świadczyć to może o występowaniu zjawiska zacierania przy kompozycji smarnej z udziałem dodatku Acorox 880. Dla PE Motor Life widoczne są skupiska wydzieleń fosforu, które tłumaczyć mogą znaczne obniżenie współczynnika tarcia w stosunku do innych kompozycji. Przy badaniu powierzchni pracującej z preparatem R-2000 oprócz wydzieleń siarki i fosforu widoczne są wydzielania ołowiu i miedzi zawarte w preparacie. Wydzielania te tworzą skupienia w nieckach wytworzonych na skutek wykruszenia grafitu. Można to zinterpretować jako łożysko ślizgowe o twardej (perlytycznej) osnowie i miękkich wydzieleniach (ołów i miedź). Dla Motor Life zaobserwowano ponadto wydzielania chloru, co potwierdza, że decydujący wpływ na działanie tego środka w warunkach tarcia mają reakcje chemiczne.

WNIOSKI

Przeprowadzone z użyciem aparatu czterokulowego badania wykazały wyraźny wpływ zarówno rodzaju, jak i stężenia dodatku na udział struktur przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych w filmie smarowym.

Modyfikowanie oleju PE powoduje poprawę własności smarnych oleju przejawiające się znaczną (co najmniej dwukrotną w stosunku do oleju bazowego) poprawą własności smarnych. PE R-2000 i Motor Life oddziałują synergicznie z dodatkiem technologicznym Acorox 880, powodując wzrost wskaźników opisujących własności smarne olejów.

Przeprowadzone na testerze T-05 (typu rolka klocek) badania wykazały skuteczność stosowania w żeliwnych węzłach kinematycznych PE wprowadzonych do oleju bazowego. Spowodowały one obniżenie temperatury węzła tarcia, jak również siły tarcia i wielkości zużycia (o 50% w stosunku do oleju bazowego).

Analiza stanu stereometrycznego WW powierzchni próbek po badaniach tribologicznych wykazała pozytywny wpływ modyfikacji oleju bazowego PE. Modyfikacja ta spowodowała obniżenie wskaźników chropowatości R_a , R_z , R_{z10p} (o 50% w stosunku do oleju bazowego), a także wskaźników określających maksymalną wysokość wzniesienia i głębokość wgłębienia profilu chropowatości, przy jednoczesnym zwiększeniu (do 60%) wskaźników udziału nośnego G_{20} i G_{50} .

Badania powierzchni z wykorzystaniem SEM i EDS pozwoliły wykazać obecność w WW śladu zużycia siarki, fosforu oraz miedzi i ołowiu pochodzących z dodatków smarowościowych. Wskazuje to na ukonstytuowanie się w warunkach tarcia EWW w wyniku adsorpcji chemicznej i fizycznej.

LITERATURA

1. Białka Z., Zwierzycki W., Wpływ dodatków eksploatacyjnych na własności smarne olejów przekładniowych, *Tribologia* 1/2001.
2. Białka Z., Badania dodatków eksploatacyjnych, *Paliwa Oleje i Smary w Eksploatacji* nr 69/2000.
3. Jenek M., Laber S., Wpływ preparatów eksploatacyjnych na wybrane właściwości tribologiczne żeliwa, *Tribologia* 4/2002
4. Jenek M., Laber A., Badanie własności smarnych oleju bazowego modyfikowanego dodatkami smarnymi oraz preparatami eksploatacyjnym. *Polska Tribologia 2000, Teoria i Praktyka, Prace Naukowe* nr 1(17), Radom 2000.
5. Jenek M., Badanie współdziałania technologicznych dodatków smarowościowych z preparatami eksploatacyjnymi, IX Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Radom – Krynica 2001.
6. Kałdoński T., Król A., Niekonwencjonalne dodatki do olejów smarowych, *Tribologia* 6/1999.
7. Laber A., Laber S., Efekty eksploatacyjne silnika spalinowego smarowanego preparatem eksploatacyjnym na bazie metali miękkich, *Problemy Eksploatacji* 3/2000.
8. Marczak R., Niskotarciowe dodatki do oleju a eksploatacyjna warstwa wierzchnia, *Tribologia* 2/1998.

9. Mc Fall D., Dwugłos na temat dodatków wspomagających do olejów, Paliwa Oleje i Smary w Eksploatacji nr 69/2000.
10. Palacios J. M., The performance of some antiwear additives and the interference with other additives, Proceedings of the 5 th International Congress on Tribology, Volume 1, June 12 1989, Espoo, Finland.
11. Reznikov W., Współczesne oleje silnikowe a dodatki uzupełniające, Paliwa Oleje i Smary w Eksploatacji, wrzesień – listopad 1994.
12. Vipper A., Zadko I., Karaulov A., Ermolaev M., Antifriction action of engine oil additive. 2-nd World Tribology Congress, 3–7 september 2001, Vienna, Austria.
13. Wiślicki B., Niekonwencjonalne dodatki do olejów smarowych, Paliwa Oleje i Smary w Eksploatacji, styczeń – luty 1995.
14. Kulczycki A., Ocena działania dodatków smarnościowych w olejach przekładniowych, Politechnika Poznańska, Poznań 1997.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

This paper presents the results of the influence of operating preparations on the changes of the lubricating properties of oils and the tribological properties of cast iron. A synergy of the technological addition of operating preparations was analysed, as well as their influence on the surface friction, based on stereometry and the scanning microscopy image analysis.