

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 15-16 maja 1997 r.

Zbigniew Zalisz
Politechnika Opolska w Opolu

ZRÓŻNICOWANA EFEKTYWNOŚĆ EKSPLOATACYJNYCH DODATKÓW PRZECIWCIERNYCH DO OLEJÓW SMARNYCH

SŁOWA KLUCZOWE

dotatki przeciwcierne, ochrona powierzchni przed zatarciem, zwiększenie trwałości, konflikt chemiczny

STRESZCZENIE

Opisano środki techniczne, metodykę i przebieg badań własności przeciwciernych pięci handlowych dodatków eksploatacyjnych zastosowanych do oleju przekładniowego Hipol 15F. Wykazano, iż środki typu „uszlachetniacz powierzchni” tj.; Metabond-M, Militec-Duralube zapewniają bardzo skuteczną ochronę powierzchni trących przed zużyciem w temperaturze 20⁰C. W temperaturze około 100⁰C skuteczność preparatów Metabond-M Militec-1 drastycznie maleje. Preparat Motodoktor, a szczególnie Moton, mało skuteczne w niskich temperaturach, w temperaturze około 100 °C znacznie wspomagają efektywność substancji EP będących składnikiem fabrycznym oleju Hipol 15F.

WPROWADZENIE

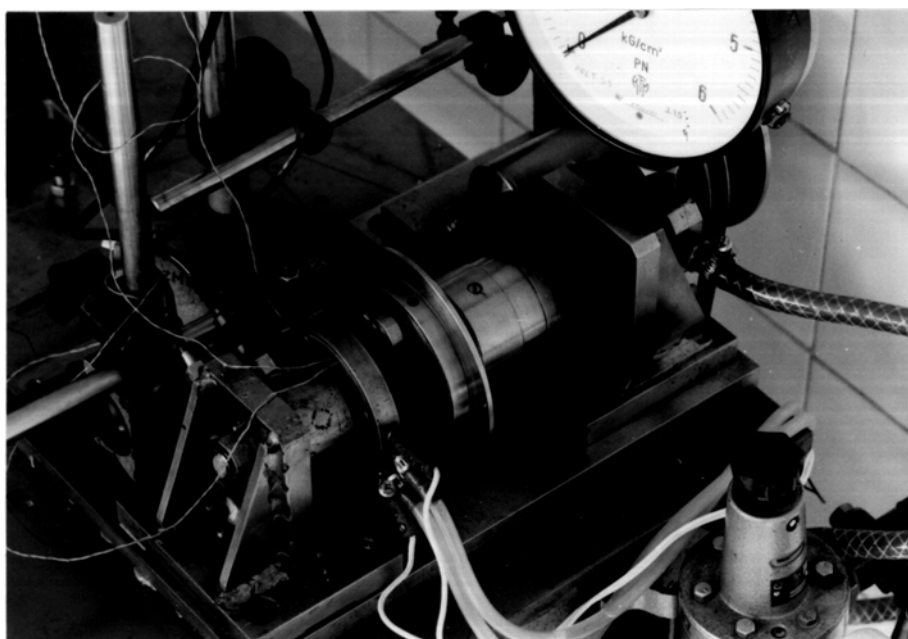
Od jakiegoś czasu na rynku polskim obecna jest coraz szersza oferta różnorodnych środków eksploatacyjnych przeznaczonych głównie dla użytkowników pojazdów samochodowych. Jest wśród nich szeroka gama środków przeciwciernych, które zgodnie z informacjami na etykietach służą podniesieniu efektywności działania olejów smarnych. Niektóre z nich, zwane NDS, mają gwarantować możliwość pracy mechanizmu przy okresowej nieobecności oleju chroniąc współpracujące powierzchnie przed zatarciem [1,2]. Dostępne są także w coraz liczniejszej ofercie oleje smarne mineralne, półsyntetyczne i syntetyczne wyposażane przez producentów w specyficzne kompozycje dodatków uszlachetniających spełniających różne funkcje, w tym poprawienie smarności. Działanie wybranych eksploatacyjnych środków przeciwciernych, co potwierdzają wyniki badań [1,2,3,5], także doświadczenie praktyczne autora, jest w określonych warunkach skuteczne wielostronne. Jednak specjaliści z dzie-

dziny smarowania zgłaszają szereg wątpliwości, czy stosowanie dodatków eksploatacyjnych nie wywołuje ujemnych skutków dla właściwej pracy przekładni czy silnika [6]. W literaturze naukowo-technicznej oraz informacjach producentów NDS prezentowane są skrajne opinie dotyczące ich skuteczności; od szkodliwości po efektywność o dużym znaczeniu techniczno-ekonomicznym i proekologicznym.

Prawdopodobnie, biorąc pod uwagę dużą liczbę możliwych kombinacji układu olej smarujący - dodatek eksploatacyjny możliwe są efekty w całej przytoczonej skali. Celem wyrobienia własnej oceny rozpoczęto w roku 1996 laboratoryjne badania porównawcze skuteczności przeciwciernej pięciu najpopularniejszych środków modyfikujących [5]. Ostatnio uzyskane wyniki prezentuje niniejszy referat.

APARATURA BADAWCZA

Badania przeprowadzono na skomputeryzowanym tribometrze typu „pin-on-disc” w laboratorium tribologicznym Zakładu Technologii Maszyn Politechniki Opolskiej, którego część mechaniczną przedstawia fotografia na rysunku 1.



Rys.1. Część mechaniczna tribometru z głowicą roboczą

Tribometr zapewnia bezstopniową nastawę i stabilizację wartości wymuszeń tribologicznych:

1. siły normalnej F_n generowanej silownikiem pneumatycznym zasilanym przez precyzyjny stabilizator ciśnienia Typ 2.902.35 VEB Reglerwerk Dresden,
2. prędkości obrotowej n_w wrzeciona napędzanego silnikiem prądu stałego PCBk/80-50, mocy 180W, z tyrystorowym układem regulacji i stabilizacji obrotów ZP-2-101 OZAS Opole,
3. temperatury bazowej T_b uchwytu dysku stabilizowanej termostatycznie urządzeniem LUMEL.

System pomiarowy oparty na 16-kanalowej karcie pomiarowej PC-26AT Amplicon Liveline Ltd. i programie komputerowym QBTRIB3 zainstalowanych w komputerze osobistym standardu IBM, mierzy podczas pracy urządzenia wartości rzeczywiste tych wielkości. I tak:

- siła normalna F_n jest ustalana pośrednio przez pomiar ciśnienia powietrza w cylindrze silownika tensometrycznym zintegrowanym czujnikiem ciśnienia CL71U fi-my ZEPWN (Marki),

- prędkość obrotowa n_w wrzeciona przeliczana na prędkość względną v_s pary trącej jest mierzona impulsowym czujnikiem optoelektrycznym RS Data Library 306-061 sprzężonym bezpośrednio z kartą pomiarową komputera,
- temperatury T_1 i T_2 są mierzone w żądanych miejscach w próbce lub w przeciwpróbce termoparami typu K, z których każda współpracuje ze wzmacniaczem LTKAOx i kompensatorem LT1025 Linear Technology.

W przypadku wyjścia wartości tych wielkości poza granice przyjętych tolerancji program komputerowy QBTRIB3 zarządzający pracą tribometru wymusza dokonanie korekty nastawy.

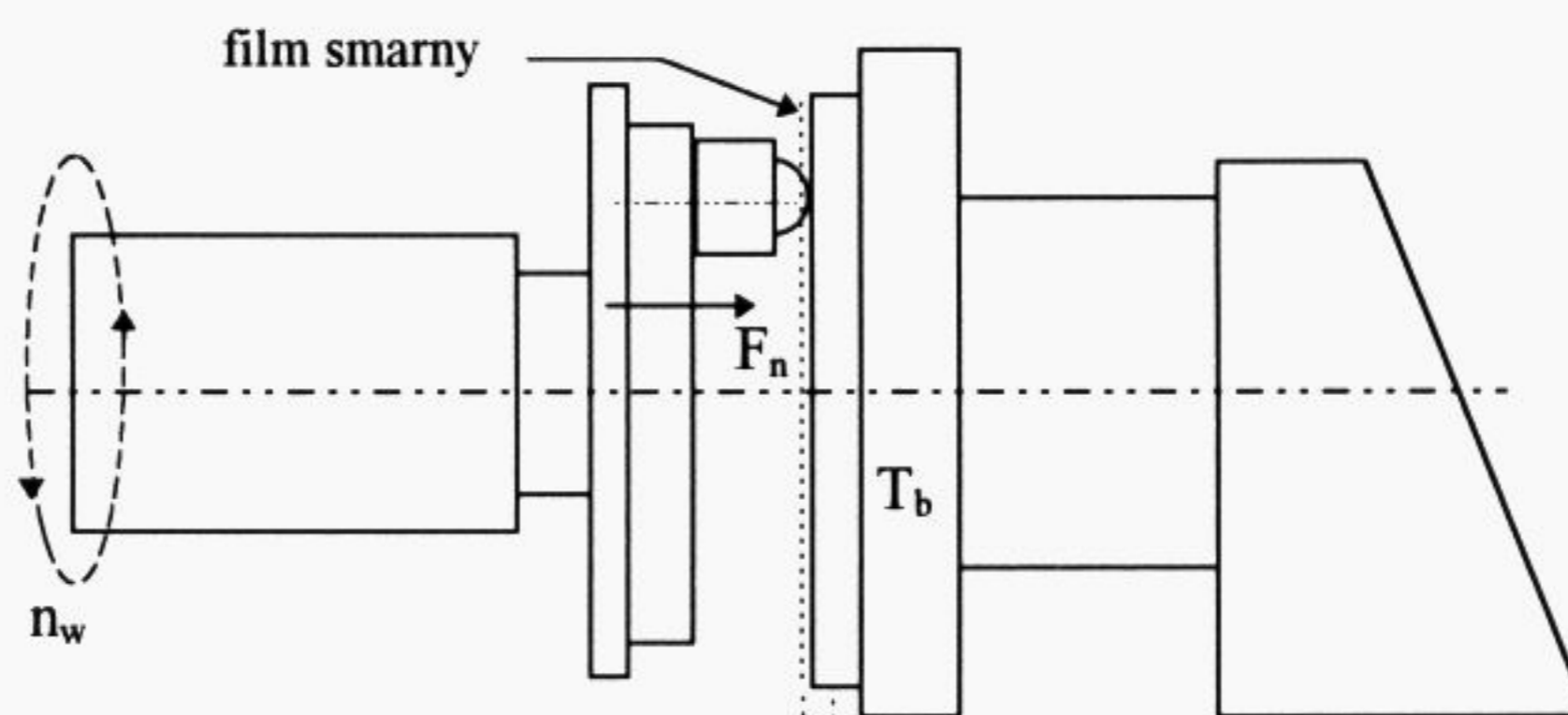
Wielkości wyjściowe z systemu to :

1. siła tarcia F_t mierzona pełnomostkowym przetwornikiem wykonanym z tensometrów firmy Measurement Group VISHAY-USA naklejonych na skręcanym wałku tensometrycznym współpracującym z niskoszumowym, wysokostabilnym, liniowym wzmacniaczem 308-815 na płycie 435-692 produkcji RS Components Ltd, przeliczana na współczynnik tarcia μ będącym ilorazem chwilowych wartości zaobserwowanych F_t i F_n ,
2. zużycie liniowe systemu Δ_l mierzone jako sumaryczny ubytek materiału trzpienia kulistego Δ_t oraz dysku Δ_d w kierunku osiowym tribometru za pomocą czujnika indukcyjnego o rozdzielczości $1 \mu\text{m}$ VISTRONIC-CE4 produkcji OBRN VIS Warszawa,
3. droga tarcia s wyliczana jako suma odcinków drogi o długości zależnej od bieżącego odcinka czasu mierzonego zegarem komputera i chwilowej rzeczywistej prędkości względnej v_s .

Nadzór nad pracą tribometru sprawuje specjalnie opracowany i rozbudowywany autorski program komputerowy QBTRIB3, który oprócz wielokanałowego próbkowania wartości wielkości wejściowych i wartości wielkości wyjściowych, generuje dyspozycje obsługowe oparte o analizę stanu systemu. Celem ograniczenia liczby danych doświadczalnych zachowywanych w pamięci masowej komputera program dokonuje odpowiednich przeliczeń i analiz w czasie rzeczywistym umożliwiając jednocześnie obserwację na ekranie monitora przebiegów badanych zależności według życzenia eksperymentatora.

METODYKA, WARUNKI I SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

Ruchomy, obrotowy trzpień o powierzchni sferycznej średnicy 1/4 cala (kulka łożyskowa ze stali ŁH15) osadzony na określonym promieniu z zakresu $R = 28 \div 37 \text{ mm}$ względem osi obrotu wrzeciona, dociskany jest siłą F_n do czoła płaskiego dysku o średnicy 78 mm wykonanego ze stali 45 obrobionej cieplnie do twardości $45 \div 50 \text{ HRc}$, zamocowanego w uchwycie termostatycznym na wolnym końcu trzpienia momentomierza, co przedstawiono schematycznie na rysunku 2.



Rys. 2. Konfiguracja robocza głowicy tribometru

Chropowość powierzchni roboczej dysku jest doprowadzana do wartości $R_a < 0.1\mu\text{m}$. Wartości podstawowych wymuszeń tribologicznych przyjęto w sposób następujący: prędkość względna $v_s = 0.5\text{ m/s}$, siła normalna $F_n = 35\text{ N}$ i temperatura bazowa $T_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$ oraz $T_b = 105\text{ }^\circ\text{C}$. Testy badawcze rozpoczynano od usunięcia z powierzchni roboczych pary trącej przypadkowych zanieczyszczeń przez mycie ultradźwiękowe w czterochlorku węgla i suszenie w strumieniu ciepłego powietrza.

Modelowano warunki ubożego smarowania styku punktowego rozpoczynając próby badawcze z powierzchnią czołową dysku zwilżoną jednorazowo środkiem smarującym na bazie oleju przekładniowego Hipol15F, obecnie oznaczanego - Hipol EP-5F 80W/90, zawierającego dodatki smarne EP (Extreme Pressure), które pod wpływem ciepła generowanego w procesie tarcia tworzą na powierzchniach trących związki chloru, siarki i fosforu zapobiegające zatarciu, z wybranym eksploatacyjnym dodatkiem przeciwciernym w ilości zalecanej przez dystrybutora. Film smarny nie był odnawiany w ciągu całego, trwającego pięć dni eksperymentu. Do badań przygotowano środki smarujące przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1.
Zestawienie użytych środków smarujących

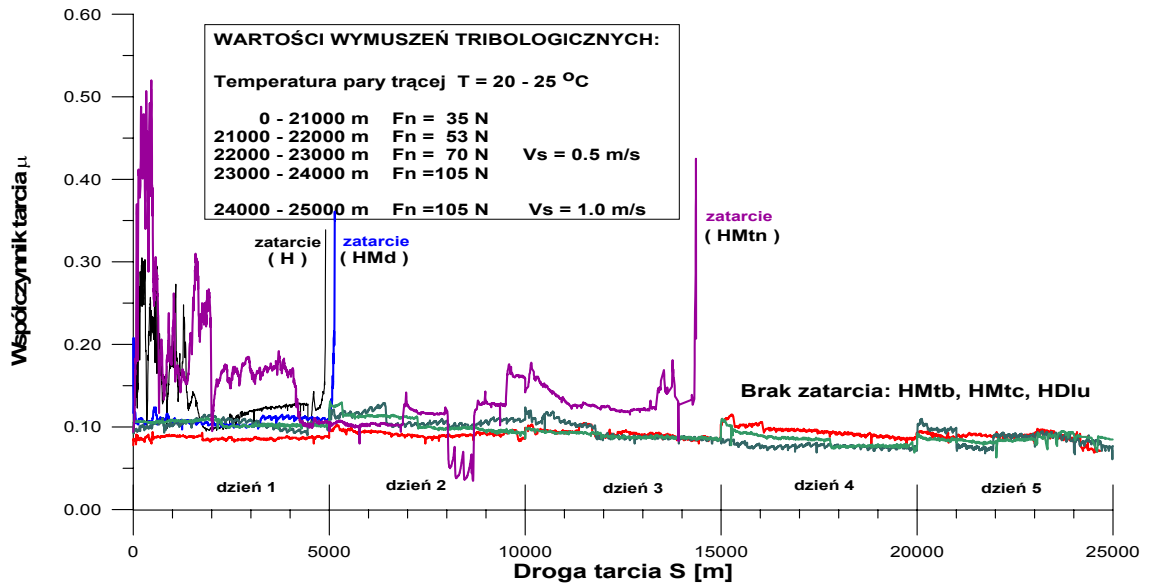
Lp	Symbol	Składniki	Charakterystyka dodatku wg producenta
1.	H	Hipol 15 F (Hipol EP-5F 80W/90)	
2.	HMd	Hipol 15 F + 5% Moto-doktor	uszlachetniacz oleju (oil treatment)
3.	HMtn	Hipol 15 F + 5% Moton	zawiesina cząstek PTFE
4.	HMtb	Hipol 15 F + 5% Metabond-M	uszlachetniacz powierzchni (metal treatment)
5.	HMtc	Hipol 15 F + 5% Militec-1	uszlachetniacz metali (metal conditioner)
6.	HDlu	Hipol 15 F + 5% Dura-Lube	uszlachetniacz powierzchni (metal treatment)

Badano, kontynuując przyjęty plan [5], zdolność tworzenia warstwy ochronnej i jej trwałość w warunkach zaaplikowania pełnego obciążenia systemu po 10 sekundowym wstępnym obciążeniu siłą normalną $F_n = 3\text{ N}$ przy nominalnej prędkości poślizgu. Kolejne pięć odcinków procesu tarcia o długości 5000 m realizowano z przerwami jednodniowymi oczekując objawów zacierania. Ostatni odcinek zawierał sekwencję zwiększania obciążenia. W czasie testów rejestrowano w funkcji drogi tarcia s współczynnik tarcia μ oraz zużycie liniowe systemu Δl_s . Eksperyment przerywano ostatecznie po wystąpieniu oznak zatarcia lub po osiągnięciu drogi tarcia s równej 25000 m.

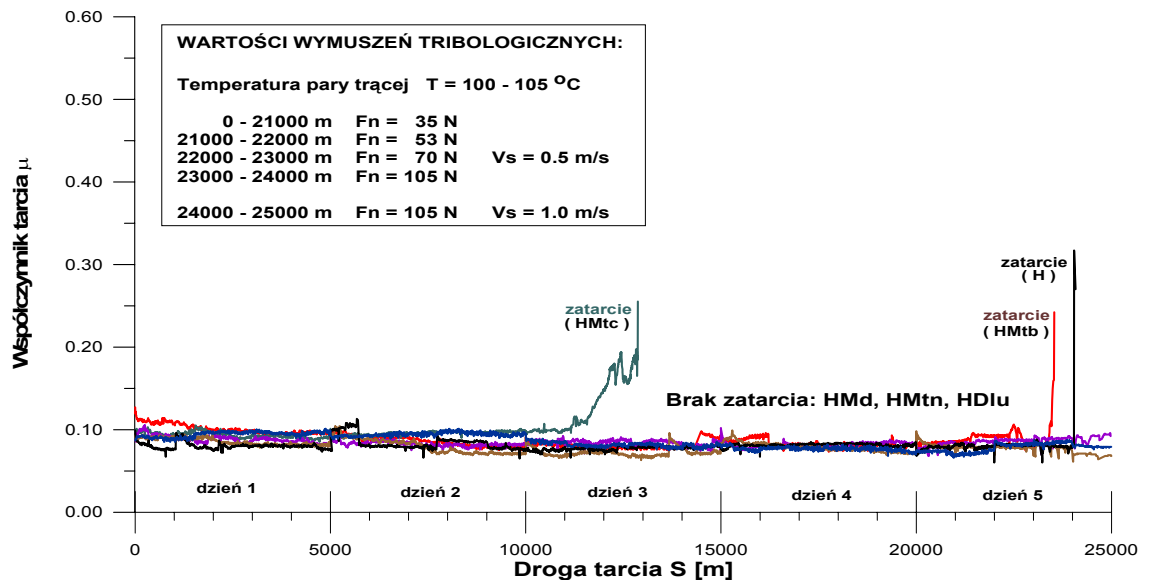
Przebieg testów przedstawiono graficznie prezentując zbiorczo wykresy zmienności współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia i czasu kalendarzowego dla wszystkich środków smarujących pracujących w temperaturze $20\text{ }^\circ\text{C}$ - na rysunku 3 i w temperaturze $105\text{ }^\circ\text{C}$ - na rysunku 3 i 4.

Od pierwszych sekund trwania procesu tarcia w temperaturze $20\text{ }^\circ\text{C}$ przy użyciu preparatów HMtb, HMtc, HDlu a także HMd przy pełnym obciążeniu, opory ruchu są niewielkie i stabilne. Wartości współczynnika tarcia dla tych preparatów są niskie, wynosząc średnio około $\mu=0.1$ i nieco mniej dla HMtb, dla którego $\bar{\mu}_{HMtb} = 0.086$. Kolejne 167 minutowe testy wykonywane w odstępach 24 godzinnych mają podobny przebieg w przypadkach stosowania dodatków tworzących ochronne warstwy molekularne NFS, pomimo iż powierzchnie dysków są pozbawione dopływu środka smarującego. Zauważalny jest tu nawet ciągły spadek oporów ruchu. Towarzyszące zużycie liniowe powierzchni trących, pierwszego dnia o intensywności $k_s = 5.5 \cdot 10^{-4}\text{ }\mu\text{m/m}$ dla tych preparatów maleje dnia następnego do wartości niższych od $k_s = 1 \cdot 10^{-5}\text{ }\mu\text{m/m}$ - poniżej progu nieczułości systemu pomiarowego tribometru, i tak utrzy-

muje się aż do zakończenia serii testów. W ostatnim cyklu testów, przeprowadzonych piątego dnia od rozpoczęcia serii realizowano sekwencje skokowego zwiększania obciążenia systemu. Jego odpowiedzią na zwielokrotnienie wartości wymuszeń tribologicznych jest malejąca wartość współczynnika tarcia, do $\mu < 0.080$, prawie identyczna dla trzech preparatów. Z kolei, proces tarcia w obecności Hipolu 15F bez dodatków oraz z udziałem Motonu wykazuje typowy początkowy okres intensywnego zużycia i duże opory ruchu [5] prowadząc ostatecznie do zatarcia, podobnie jak w przypadku użycia preparatu Motodoktor.



Rys. 3. Zależność współczynnika tarcia μ od drogi tarcia s (i czasu kalendarzowego) dla sześciu środków smarnych, w temperaturze $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia μ od drogi tarcia s (i czasu kalendarzowego) dla sześciu środków smarnych, w temperaturze $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dominującym zjawiskiem zarejestrowanym w testach prowadzonych w temperaturze $100 \div 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ jest uaktywnienie się środków przeciwzatarciowych EP oleju Hipol 15F skutku-

jących brakiem występowania okresu początkowego intensywnego zużycia powierzchni trących we wszystkich testach. Spektakularne, uzasadniające krytycyzm wobec przypadkowego wyboru i stosowania dodatków eksploatacyjnych, jest wystąpienie zatarcia współpracujących powierzchni wobec użytych środków Militec-1 i Metabond-M, wcześniejsze nawet niż w przypadku oleju Hipol 15F bez dodatków eksploatacyjnych. Pozostałe, nie tworzące molekularnych warstw ochronnych, dodatki przeciwcierne skutecznie wspomagają funkcje ochronne substancji EP oleju Hipol 15F chroniąc powierzchnie przed zatarciem. Opory tarcia są prawie identyczne we wszystkich przypadkach

WYNIKI BADAŃ TRWAŁOŚCIOWYCH

Oceny skuteczności przeciwciernej badanych dodatków eksploatacyjnych do olejów smarnych dokonano na podstawie porównania wyliczonych wartości współczynnika intensywności zużycia kulki łożyskowej uzyskanych w różnych warunkach. Wyniki pomiarów i obliczeń zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań trwałościowych.

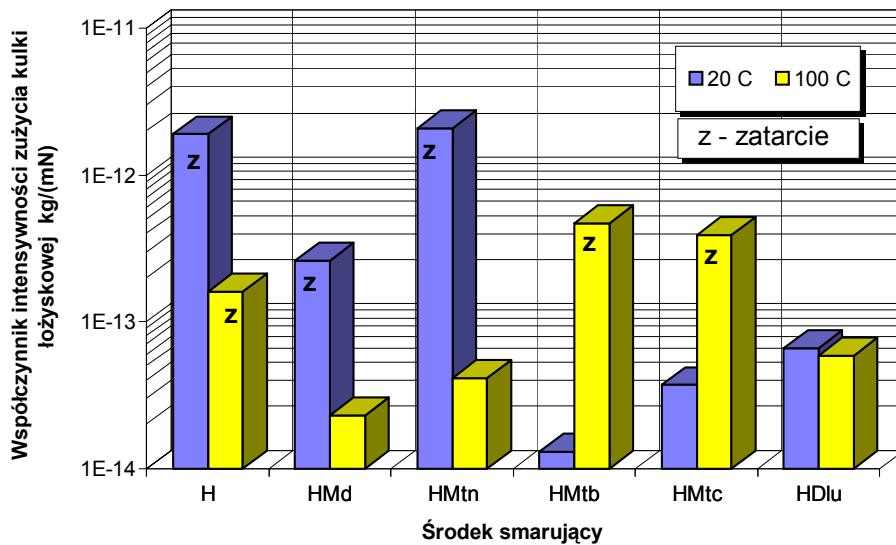
Temperatura °C	Symbol preparatu	Średnica starcia kulki mm	ubytek masy $\times 10^{-6}$ kg	Droga tarcia m	Współczynnik intensywności zużycia kulki łożyskowej kg / (m N)	Uwagi
20	H	1.28	0.346	4957	$1.9 \cdot 10^{-12}$	zatarcie
	HMd	0.77	0.045	5150	$2.6 \cdot 10^{-13}$	zatarcie
	HMtn	1.70	1.081	14300	$2.1 \cdot 10^{-12}$	zatarcie
	HMtb	0.55	0.012	25000	$1.3 \cdot 10^{-14}$	
	HMtc	0.71	0.033	25000	$3.7 \cdot 10^{-14}$	
	HDlu	0.82	0.057	25000	$6.6 \cdot 10^{-14}$	
100	H	1.02	0.138	24500	$1.6 \cdot 10^{-13}$	zatarcie
	HMd	0.63	0.020	25000	$2.3 \cdot 10^{-14}$	
	HMtn	0.73	0.036	25000	$4.1 \cdot 10^{-14}$	
	HMtb	1.33	0.401	24300	$4.7 \cdot 10^{-13}$	zatarcie
	HMtc	1.08	0.173	12880	$3.9 \cdot 10^{-13}$	zatarcie
	HDlu	0.80	0.052	25000	$5.9 \cdot 10^{-14}$	

Dla ułatwienia analizy i oceny uzyskanych wyników przedstawiono je graficznie na rysunku 5 w postaci wykresu kolumnowego.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ I WNIOSKI

1. Wstępne, łagodne, nawet krótkotrwałe zetknięcie robocze technologicznie świeżych powierzchni współpracujących ciernie w obecności dodatków typu „metal conditioner” blokuje występowanie fazy intensywnego zużycia podczas ich docierania.
2. Dodatki przeciwcierne typu „uszlachetniacz powierzchni” („metal conditioner”) bardzo znacznie zwiększają obciążalność eksploatacyjną warstwy wierzchniej powierzchni trą-

cych i jej odporność na zużycie w temperaturze pokojowej, także przy braku ciągłości smarowania, szczególnie preparat Metabond-M.



Rys.5. Porównanie współczynników intensywności zużycia kulki łożyskowej uzyskanych przy zastosowaniu różnych środków smarnych, w dwóch temperaturach pracy.

3. Dodatki eksploatacyjne Moto-doktor i Moton nie posiadają własności modyfikujących warstwę wierzchnią i nie chronią w temperaturze pokojowej powierzchni przed zatarciem przy niedostatecznym smarowaniu.
4. W temperaturze około 100 °C aktywne są środki przeciwcierne EP zawarte w oleju Hipol 15F.
5. Dodatki eksploatacyjne Militec-1 i Metabond-M wykazujące bardzo dobre własności przeciwzużyciowe w temperaturze około 20 °C wchodzi w konflikt chemiczny ze środkami przeciwciernymi EP zawartymi w oleju Hipol 15F, a uaktywniającymi się w wysokiej temperaturze i ich skuteczność w temperaturze pracy około 105 °C drastycznie maleje.
6. Nieskuteczne w temperaturze 20 °C dodatki eksploatacyjne Moto-doktor i Moton wykazują w temperaturze 105 °C synergizm ze środkami EP oleju Hipol 15F, i chroniąc powierzchnie przed zatarciem obniżają intensywność zużycia powierzchni o jeden, a nawet dwa rzędy wielkości.
7. Preparat Dura-Lube zmieszany z olejem Hipol 15F jest skutecznym środkiem przeciwciernym zapobiegającym zacieraniu powierzchni trących zarówno w niskich jak i wysokich temperaturach.

LITERATURA

1. Burcan J., Jabłoński W.: Własności tribologiczne smarów z dodatkiem metalonu. Materiały II Konferencji nt.: Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych, Łódź - maj 1995 r.
2. Laber A., Laber S.: Własności smarne olejów przekładniowych modyfikowanych dodatkami miedziowymi, Materiały II Konferencji nt.: Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych, Łódź - maj 1995 r.

3. Guzik J., Marczak R.: Istota, model i możliwości wykorzystania zjawiska Garkunowa w Technice. Materiały II Konferencji nt.: Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych, Łódź - maj 1995 r.
4. Hebda M., Wachal A.: Trybologia, WNT - Warszawa, 1980 r.
5. Zalisz Z.: Własności przeciwcierne wybranych dodatków eksploatacyjnych do olejów smarnych, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej nr 85, Łódź 1996 r.
6. Kulczycki A.: Problemy stosowania dodatków eksploatacyjnych, Materiały II Konferencji nt.: Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych, Łódź - maj 1995 r.

DIFFERENTIATED EFFECTIVENESS OF THE EXPLOITATIVE ADDITIVES FOR LUBRICANTS

Summary

The paper presents means and methodology of investigations on antifrictional properties of five selected oil additives applied to Hiplol 15F gear oil. Three of them, which are able to form a monomolecular operational surface layer drastically increase durability of friction pair at low temperature. At the temperature of 100 °C two of them; Metabond-M and Militec-1 lose their effectiveness. Although, Moto-doktor and especially Moton inefficient at low temperature highly improve at 100 °C the effectiveness of EP means of Hipol 15F gear oil.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Burcan