

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź 09-10 maja 1995 roku

Alicja Laber, Stanisław Laber
(*Wyższa Szkoła Inżynierska Zielona Góra*)

WŁASNOŚCI SMARNE OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH MODYFIKOWANYCH DODATKAMI MIEDZIOWYMI

SŁOWA KLUCZOWE

grafit, dwusiarczek wolframu, dwusiarczek molibdenu, teflon, dodatki metaliczne, metale miękkie

STRESZCZENIE

Omówiono badania własności olejów z dodatkami miedziowymi, dla twardego smarowania i smarowania ciekłym metalem. Badania własności smarnych, zgodne z PN-76/C-04147, przeprowadzono na skomputeryzowanym stanowisku badawczym. Stwierdzono, że dodatki miedziowe wpływają na zwiększenie trwałości i wytrzymałości warstwy granicznej oraz posiadają dużą zdolność jej regeneracji, co ma istotne znaczenia w przypadku czasowego przeciążenia węzłów tarcia. Badania porównawcze oddziaływania dodatków wykazały, że bardziej korzystne efekty uzyskuje się w przypadku smarowania ciekłym metalem, a więc przy wykorzystaniu zjawiska selektywnego przenoszenia.

WPROWADZENIE

Zmienność warunków pracy przekładni zębatych w warunkach tarcia mieszane go i granicznego, niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego, rodzaju materiału i technologii ich wykonania, powoduje ich szybkie zużycie (nadmierne luzy - głośna praca), a w ekstremalnych warunkach nawet zniszczenie - zatarcie powierzchni, wyłamanie zębów, itp.

Wzrost temperatury przekładni przyspiesza procesy zmęczeniowe materiałów, z których wykonane są przekładnie.

Zmienność warunków pracy decyduje o rodzaju tarcia. Najczęściej, podczas rozruchu lub zatrzymywania, jest to tarcie mieszane lub graniczne, płynne przy normalnej pracy. Przejście jednego przypadku w drugi może być spowodowane:

- 1- geometrią powierzchni roboczych;
- 2- zmiennością warunków pracy, zmianą prędkości, itp.);
- 3- chropowatością powierzchni po docieraniu;
- 4- zmianą lepkością oleju w zależności od jego temperatury;

Złożoność procesów zachodzących w węzłach tarcia kół zębatych stawia zatem bardzo duże wymagania środkom smarnym, zwłaszcza w zakresie smarności, która decyduje

O obniżeniu współczynnika tarcia, zużyciu powierzchni ciernych oraz zabezpieczeniu przed zatarciem. Oleje powinny zatem charakteryzować się bardzo dobrymi wskaźnikami smarności, do których należy między innymi zaliczyć:

- obciążenie zespawania P_z ;
- wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_z ;
- największe obciążenie niezacierające P_n ;
- obciążenie zacierające P_t .

Pomimo stosowania najlepszych olejów klasy GL-4, GL-5, występują przypadki niedosmarowania powierzchni trących.

ZASADA DZIAŁANIA NDS

Byłoby ideałem, aby podczas eksploatacji maszyn i urządzeń, węzły tarcia pracowały w warunkach smarowania płynnego lub tarcia granicznego. Oleje, pomimo odprowadzania ciepła i produktów zużycia ze strefy tarcia, tłumienia drgań, ochrony przed korozją itp., nie rozwiązują problemów: niedosmarowania w warunkach ekstremalnych obciążeń i temperatur oraz likwidacji tzw. zimnego startu. Wprowadzenia do węzła tarcia wraz z olejem dodatku uzupełniającego, może łagodzić niekorzystne warunki pracy. Dodatki te nazwano NDS, bądź dodatkami niskotarciowymi.

W zagranicznej i krajowej literaturze naukowo - technicznej oraz informacjach producentów NDS prezentowane są skrajne opinie dotyczące ich skuteczności działania: od szkodliwości, poprzez znikomą skuteczność, do efektywności o dużym znaczeniu techniczno - ekonomicznym oraz proekologicznym (tłokowe silniki spalinowe). Pozytywne opinie wykazują, że stosowanie NDS w silnikach i urządzeniach mechanicznych powoduje:

- obniżenie współczynnika tarcia ;
- zmniejszenie zużycia elementów węzłów tarcia;
- * obniżenie temperatury w strefie tarcia;
- ułatwienie zimnego rozruchu;
- umożliwienie krótkotrwałej pracy bez dopływu oleju;
- * zwiększenie mocy i sprawności;
- uszczelnienie układów, zmniejszenie przedmuchiów oraz przecieków;
- * zmniejszenie poboru energii, paliwa i oleju;
- zmniejszenie głośności i drgań;
- * obniżenie toksyczności spalin;
- zmniejszenie kosztów eksploatacji;
- zwiększenie trwałości i niezawodności działania maszyn i urządzeń a w szczególności ich podzespołowi (silniki, przekładnie zębate, układy hydrauliczne i inne).

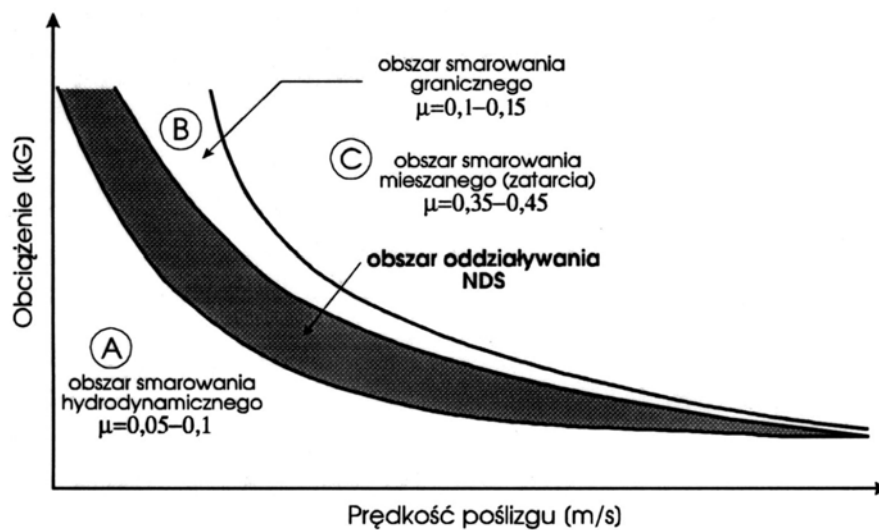
Spośród licznej grupy oferowanych w kraju i za granicą NDS najogólniej można wyróżnić ;

1- substancje o oddziaływaniu chemicznym;

2- substancje zawierające środki smarne stałe takie jak: grafit, dwusiarczek wolframu lub molibdenu, teflon, oraz dodatki metaliczne lub metale miękkie takie jak: miedź, cynk, cyna, ołów i inne.

Mechanizm działania dodatków NDS najogólniej można przedstawić następująco. Cząsteczki NDS transportowane są przez ciecz smarującą do węzłów tarcia, gdzie w wyniku procesu adsorpcji - fizycznej lub chemisorpcji - w sposób trwały wiążą się powierzchniami metalicznymi ze sobą współpracującymi. Na powierzchniach węzła tarcia powstaje w ten sposób NFS [1] lub zastępcza warstwa graniczna - ZWG [2]. W przypadku niedosmarowania w miejscach lokalnych styków powierzchni metalicznych, gdy normalny olej nie zapewnia prawidłowego smarowania (spiętrzenie naprężeń, gwałtowny wzrost

współczynnika tarcia oraz temperatury - zatarcie) do akcji włączają się cząsteczki ZWG, które przejmują na siebie rolę filmu olejowego. Współczynnik tarcia ulega gwałtownemu obniżeniu do wartości charakterystycznej dla tarcia płynnego - w przybliżeniu współczynnika lepkości oleju - rys. . ZWG chroni równocześnie powierzchnie metaliczne węzła tarcia przed korozją. Efektywność oddziaływania ZWG w mikroobszarach styku współpracujących ze sobą powierzchni zależy od intensywności procesów adsorpcji w mikroobszarach styku. Jak wykazują badania [3] intensywność oddziaływania NDS jest na ogół największa w przypadku pogarszającego się stanu (zużycia) węzłów tarcia maszyn i urządzeń. Tym należy tłumaczyć różnice w skuteczności polepszenia parametrów funkcjonalnych silników, przekładni zębatych, układów hydraulicznych itp. oraz efektywność działania różnego typu NDS.



Rys.1. Warunki pracy węzła tarcia modyfikowanego NDS

METODYKA I SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

Jedną z grup NDS są dodatki metaliczne. Przedstawiają sobą stabilną zawiesinę np. mikrocząstek miedzi, ołowiu, srebra w cieczy węglowodorowej - tzw. *twarde smarowanie*, albo związki metali w kwasach tłuszczowych bądź alkoholach - *smarowanie ciekłym metalem*. Do badań przyjęto dwa NDS reprezentujące w/w sposoby smarowania miedzią, które oznaczono jako A (*twarde smarowanie*) oraz B (*smarowanie ciekłym metalem*).

Badania własności smarnych, zgodnie z PN-76/C-04147, przeprowadzono na skomputeryzowanym stanowisku badawczym - aparacie 4-ro kulowym T-02 produkcji MCNEMT w Radomiu.

Obciążenie zespawania, wskaźnik zużycia pod obciążeniem oraz największe obciążenie niezacierające sprawdzano w serii 10-sekundowych biegów zespołu czterech kulek, zalanych badanym olejem pod coraz większym obciążeniem, narastającym stopniowo wg określonego programu, przy stałej prędkości obrotowej $n=1450$ obr/min. Po każdym 10sekundowym biegu zmieniano kulki dolne i kulkę górną na nowe a olej na świeży. Po każdym biegu na kulkach dolnych mierzono średnice skaz, wartości wprowadzano do komputera. Pomiary prowadzono aż do zatarcia kulek. Specjalnie opracowany program komputerowy pozwala na obliczenie wskaźników smarności tj. wartości P_z, I_h i P_n .

Obciążenie zacierające, czyli obciążenie, przy którym, w ustalonych warunkach, nastąpi wyraźny wzrost oporów w węźle tarcia, w obecności badanego środka smarnego, zadawano w sposób ciągły od obciążenia O do wartości, przy której uzyskano zatarcie

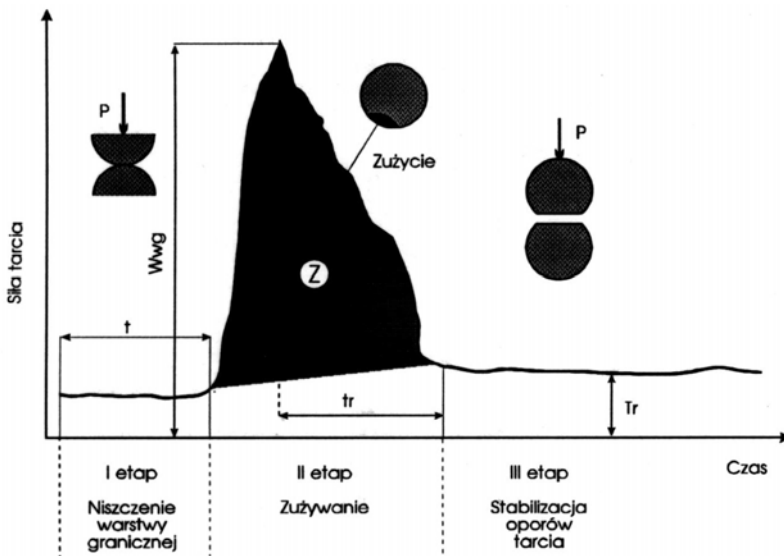
kulek, przy stałej wartości prędkości obrotowej $n=500$ obr/min.

Do badań wytypowano dwa rodzaje olejów przekładniowych powszechnie stosowanych między innymi w przemyśle górniczym i energetycznym tj. HIPOL 15 (stosowany do smarowania przekładni pojazdów mechanicznych w ciężkich warunkach, przy średnich i dużych obciążeniach, a szczególnie do przekładni z zazębieniem hipoidalnym) oraz PARUS GL-4 85W/140 (przeznaczony do stosowania w przekładniach średnioobciążonych - w tym również hipoidalnych - zainstalowanych w samochodach osobowych, ciężarowych, autobusach i innych pojazdach).

WYNIKI BADAŃ

Dla oceny własności smarnych badanych olejów modyfikowanych NDS celowym jest wyjaśnienie co dzieje się w węzle tarcia od momentu rozruchu do chwili przzerwania warstwy smarnej oraz określenie intensywności zużycia od momentu przzerwania warstwy smarnej do momentu stabilizacji oporów tarcia. Istotne jest także określenie zdolności warstwy smarnej do regeneracji.

Analiza ta, zaproponowana przez A.Wachala [3], może być dokonana w oparciu o wykres - rys.2, uzyskany z badań na aparacie 4-ro kulowym. Wykres siły tarcia w funkcji czasu można podzielić na trzy etapy:



Rys. 2. Wykres siły tarcia w funkcji czasu pracy węzła tarcia na aparacie cztero kulowym.

I. etap - niszczenie warstwy granicznej. Kryteriami oceny tego etapu są:

- trwałość warstwy granicznej - czas t - od momentu rozruchu do początku gwałtownego wzrostu siły tarcia, co świadczy o przzerwaniu warstwy granicznej;
- wytrzymałość warstwy granicznej W_{wg} (wartość rzędnej siły tarcia w chwili przerywania). Przerywanie warstwy granicznej odbywa się na mikropowierzchniach, siła tarcia jest tym większa im na większej liczbie mikronierówności warstwa graniczna jest zniszczona. Im wytrzymalsza jest warstwa graniczna tym mniejsza siła tarcia w chwili początku przerywania.

II. etap - zużywanie warstwy granicznej. Za kryteria oceny tego etapu przyjmuje się:

- pracę włożoną na zużycie Z odpowiadającą polu pod krzywą obrysowującą pik siły;
- zdolność regeneracji warstwy granicznej, którą charakteryzuje czas powrotu do tarcia w warunkach ustalonych t_r i średnia siła tarcia w czasie etapu zużywania.

III. etap - stabilizacja oporów tarcia na poziomie T_r . W etapie tym, w wyniku zwiększenia powierzchni tarcia, a tym samym zmniejszenia nacisków jednostkowych, powstają warunki do pracy w zakresie tarcia granicznego, a nawet hydrodynamicznego.

Wyniki badań własności smarnych przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys.3, 4, 5, 6. Ich analiza wykazuje, że modyfikowanie badanych olejów zarówno dodatkiem A jak i B w sposób istotny wpływa na polepszenie własności smarnych, w zasadzie wszystkich badanych wskaźników smerności, a zwłaszcza na wzrost odporności na zespawanie P_z oraz obciążenie zacierające P_t . Bardziej korzystne efekty uzyskano dla dodatku B.

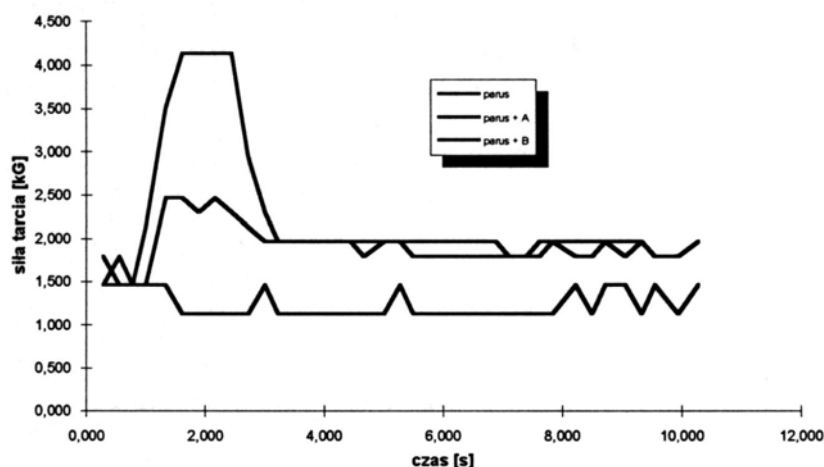
Tabela 1.
Wyniki badań własności smarnych olejów przekładniowych modyfikowanych NDS

Środek	WŁASNOŚCI SMARNE OLEJÓW [kG]			
	P_z	I_h	P_n	P_t
PARUS	400	84,3	80	265,7
PARUS + A	500	84,9	80	278,8
PARUS + B	500	160	86	429,9
HH'OL15	315	44,6	80	256,1
HIPOL15 + A	620	63,1	80	297,5
HIPOL15 + B	620	91,7	160	347,1

Potwierdzeniem zamieszczonych wyników badań w tabeli 1 są obrazujące przebiegi zmienności siły tarcia w czasie, wykonane dla stałego obciążenia zadanego (rysunki 3, 5) oraz obciążenia zmiennego (rysunki 4 i 6). Wynika stąd, że w przypadku oleju PARUS modyfikowanego dodatkiem B, przy sile $P = 250$ kG, nie następuje gwałtowny wzrost siły tarcia. Świadczy to, że przy tym obciążeniu nie została przerwana warstwa graniczna. W przypadku zastosowania dodatku A, a także oleju bazowego następuje gwałtowny wzrost siły tarcia - wcześniej dla oleju bazowego. Olej z dodatkiem A posiada również większą wytrzymałość warstwy granicznej. W okresie ustabilizowanych oporów tarcia wartość siły tarcia jest najmniejsza dla oleju modyfikowanego dodatkiem B. Należy sądzić, że w tym przypadku węzeł tarcia pracował przez cały cykl badawczy w zakresie smarowania hydrodynamicznego.

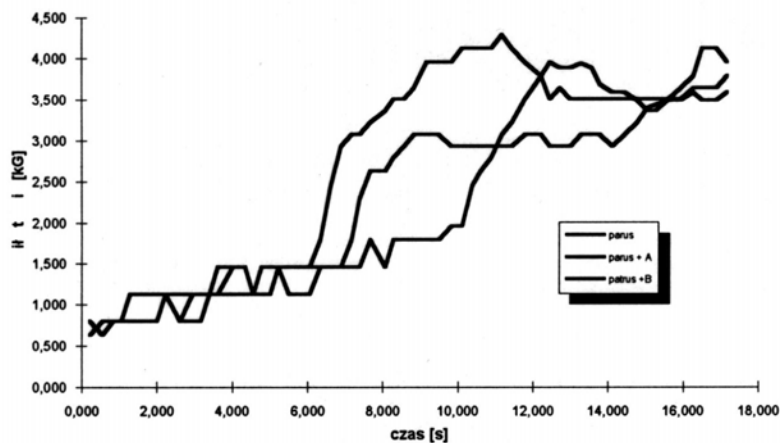
Podobne wyniki badań uzyskano w przypadku oleju HIPOL 15 z tą różnicą, że w przypadku oleju modyfikowanego dodatkiem B wystąpił wzrost siły tarcia lecz na najniższym poziomie i w czasie prawie dwukrotnie dłuższym, co świadczy o bardzo dobrej wytrzymałości warstwy granicznej.

Rys.3. Wpływ NDS miedziowych na siłę tarcia oleju przekładniowego PARUS GL-4 85W/140 przy obciążeniu $P=250$ kG.



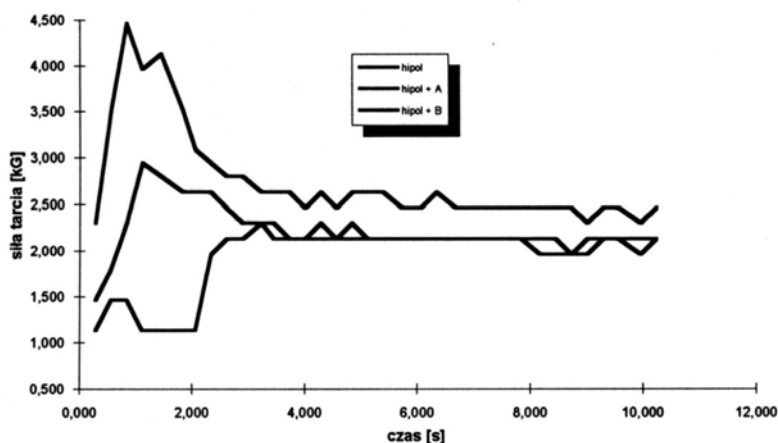
Szczególnym wskaźnikiem własności smarnych olejów jest obciążenie zacierające, którego wielkość jest miernikiem trwałości warstwy granicznej. Z rysunków 4, 6 wynika, że zarówno dla oleju PARUS jak i HIPOLIS, najwyższą trwałością warstwy granicznej

charakteryzuje się kompozycja olejowa z dodatkiem B. W przypadku oleju HIPOL 15 z tym dodatkiem w całym zakresie badanego obciążenia nie zaobserwowano wyraźnego wzrostu siły tarcia. Wzrost siły tarcia następuje bardzo wolno, a jej wartość utrzymuje się na bardzo niskim poziomie.



Rys.4. Wpływ NDS miedziowych na siłę tarcia oleju przekładniowego PARUS GL-4 85W/140 przy zmiennym obciążeniu zadnym.

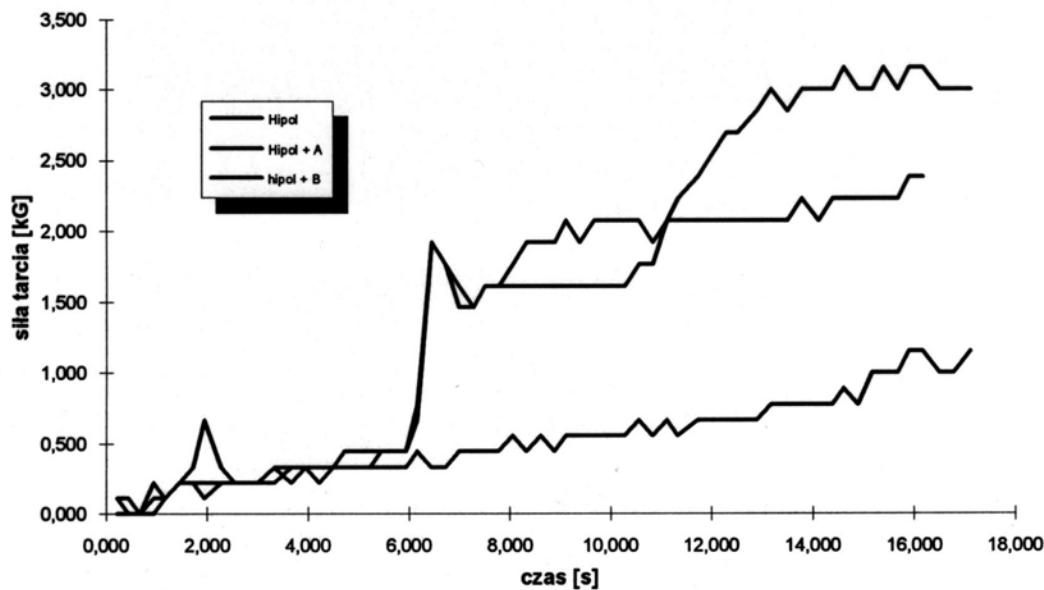
Rys.5. Wpływ NDS miedziowych na siłę tarcia oleju przekładniowego HIPOL 15 przy zadnym obciążeniu $P=2,50$ kN



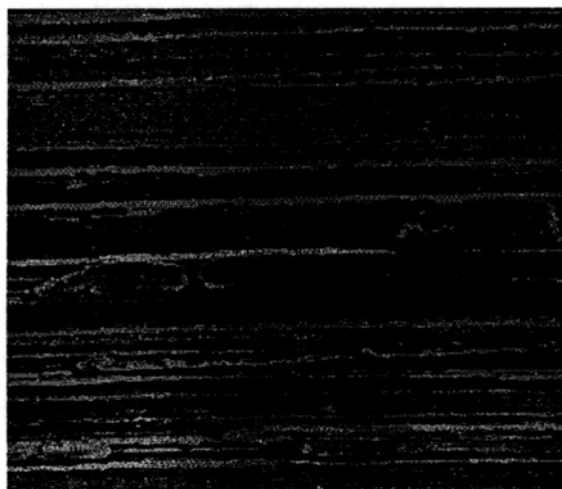
Polepszenie własności smarnych węzłów tarcia smarowanych badanymi olejami przekładniowymi modyfikowanymi dodatkami A i B spowodowane zostało wytworzeniem w węźle tarcia NFS, utworzonego przez cząsteczki miedzi.

Dla dodatku A mikroskopijne cząsteczki miedzi w trakcie pracy węzła tarcia, w wyniku adhezyjnego oddziaływania, wypełniają wgłębienia mikronierówności (rys.7), pokrywają i wygładzają powierzchnie, nie dopuszczając do ich bezpośredniego styku - realizacja tzw. *twardego smarowania*.

W przypadku dodatku B mechanizm tworzenia NFS jest całkowicie odmienny od opisanego wyżej. Zachodzi tutaj tzw. zjawisko selektywnego przenoszenia. Nie wnikając w szczegóły, selektywne przenoszenie ma miejsce wówczas, gdy w wyniku procesów fizykochemicznych (elektroforezy), następuje modyfikowanie powierzchni tarcia poprzez wzbogacanie ich w dipolowe cząsteczki miedzi. Jeżeli modyfikacja występuje w sposób ciągły (w warunkach równowagi termodynamicznej), można przyjąć, że każde zużycie powierzchni będzie odtwarzane. Upraszczając, ubytki powierzchni będą uzupełniane przez materiał nakładany na powierzchnię, w wyniku selektywnego przenoszenia. Jeśli przyjąć ten mechanizm zjawiska, to oczywistym jest, że najwyraźniej wystąpi ono w warunkach tarcia granicznego lub mieszanego, co wykazały badania - np. rysunek 6.



Rys. 6. Wpływ NDS miedziowych na siłę tarcia oleju przekładniowego H1POL 15 przy zmiennym obciążeniu zadany.



Rys. 7. Mikrofotografia powierzchni tarcia smarowanej olejem SELECTOL Spezial SD SAE 20W/40 modyfikowanym NDS typu A.

WNIOSKI

W świetle przeprowadzonych badań własności smarnych olejów przekładniowych modyfikowanych NDS miedziowymi można sformułować następujące wnioski:

- 1) Dodatki miedziowe w sposób zasadniczy wpływają na polepszenie własności smarnych badanych olejów, a w szczególności polepszają takie jej wskaźniki jak obciążenie zespawania oraz obciążenie zacierające. Ma to bardzo istotne znaczenie, gdyż modyfikowanie warunków pracy tymi dodatkami powinno spowodować zwiększenie ich odporności na zatarcie, zmniejszenie współczynnika tarcia jak również zużycia, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia ich trwałości i niezawodności działania.
- 2) Dodatki miedziowe wpływają na zwiększenie trwałości i wytrzymałości warstwy granicznej oraz posiadają dużą zdolność jej regeneracji, co ma istotne znaczenia w przypadku czasowego przeciążenia węzłów tarcia.

- 3) Badania porównawcze oddziaływania dodatków A i B wykazały, że bardziej korzystne efekty uzyskuje się w przypadku smarowania „ciekłym metalem” (dodatek B), a więc przy wykorzystaniu zjawiska selektywnego przenoszenia.
- 4) Biorąc pod uwagę, pozytywne laboratoryjne efekty modyfikowania warunków pracy węzłów tarcia NDS miedziowymi należy prowadzić dalsze badania w tym kierunku, w tym również w warunkach przemysłowych, celem potwierdzenia badań laboratoryjnych i kompleksowego wdrożenia do przemysłu.

LITERATURA

:

1. Bogdan Wiślicki: *Niekonwencjonalne dodatki do olejów smarowych. Oleje Paliwa i Smary w Eksploatacji*, nr 17/95.
2. Laber Stanisław, Laber Alicja: *Badanie właściwości eksploatacyjnych i użytkowych dodatku niskotarciowego MILITEC-1. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej POLTRIB~ 95*, Jachranka- maj 1995 r.
3. Hebda M., Wachal A.: *Trybologia, WNT - Warszawa*, 1980 r.
4. Shepenkow George: *Selektywne przenoszenie w praktyce. Oleje Paliwa i Smary w Eksploatacji*, czerwiec/lipiec 1994.
5. PN-76/C-04147: *Badanie własności smarnych olejów i smarów. T-02 APARAT 4 RO KULOWY*- instrukcja obsługi.

THE LUBRICATING PROPERTIES OF GEAR OIL MODIFIED WITH COPPER ADDITIVES

SUMMARY

The authors classify bearings on the basis of the kind of lubrication applied to them. Special attention is paid to bearings that do not require lubricating working at low and very low velocities. What they do require, as far as their construction is concerned, is using special materials in the production of bush bearings. The values of capacity of such bearings are, predominantly, low. They are limited by: the margin of lubricating agent, low thermal resistance and extensive wear.

Recenzja: prof. dr hab. inż. Jan Burcan