

Jadwiga BAJER*

**WPLYW PRZEDŁUŻONEGO UGNIATANIA
W OBECNOŚCI WODY NA WŁAŚCIWOŚCI
TRIBOLOGICZNE SMARÓW PLASTYCZNYCH
Z ORGANICZNYM I MINERALNYM DODATKIEM
SMAROWYM**

**THE INFLUENCE OF PROLONGED KNEADING IN THE
PRESENCE OF WATER ON THE TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF GREASES CONTAINING ORGANIC
AND MINERAL ADDITIVES**

Słowa kluczowe:

charakterystyka tribologiczna, właściwości przeciwzużyciowe, właściwości przeciwzatarciowe, smar plastyczny, dodatki smarne, przedłużone ugniatanie, struktura smaru plastycznego

Key-words:

tribological characteristic, antiwear properties, antiseizure properties, grease, additives prolonged kneading, grease structure

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, ul. Pułaskiego 6/10, tel. (048) 36-442-41, fax (48) 36-447-65.

Streszczenie

W publikacji przedstawiono charakterystyki tribologiczne syntetycznych smarów plastycznych, zawierających mineralne i organiczne dodatki smarowe, po przedłużonym ugniataniu w obecności wody. Badane smary skomponowano na bazie oleju parafinowego, zagęszczonego stearynią z teflonem oraz talkiem jako dodatki smarowe.

Określono właściwości przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe opracowanych smarów plastycznych przed i po ugniataniu w obecności wody, wyznaczając na aparacie czterokulowym graniczne obciążenie zużycia G_{oz} , obciążenie zespawania P_z , obciążenie zacierające P_t , graniczne obciążenie zatarcia P_{oz} oraz graniczny nacisk zatarcia p_{oz} .

Smary poddane przedłużonemu ugniataniu w obecności wody, niezależnie od rodzaju dodatku smarowego, w warunkach zacierania wpływały na obniżenie trwałości węzła tarcia. Natomiast smar nieugniatany, bez dodatku wody, z mineralnym dodatkiem smarowym charakteryzował się większą skutecznością przeciwzatarciową niż smar z syntetycznym dodatkiem organicznym, co potwierdziła wyższa wartość granicznego nacisku zatarcia i obciążenia zacierającego. Stwierdzono także, że wzrostowi penetracji smarów po przedłużonym ugniataniu, w stosunku do penetracji smarów nieugniatanych, bez wody, odpowiada pogorszenie parametrów tribologicznych.

Badania te przeprowadzono dla określenia właściwości smarów w warunkach działania obciążeń mechanicznych i wody, często występujących w przemyśle spożywczym podczas eksploatacji maszyn w procesach produkcji żywności.

WPROWADZENIE

Smar plastyczny jest kompozycją kilku substancji chemicznych, oddziałujących na siebie siłami międzycząsteczkowymi, decydującymi przede wszystkim o jego właściwościach fizykochemicznych oraz eksploatacyjnych. [L. 1–3].

Ekstremalne warunki zewnętrzne, takie jak obecność wody, temperatura powyżej 100°C, czy wysokie obciążenia mechaniczne, często oddziałujące na urządzenia do produkcji środków spożywczych, w znacznym stopniu mogą obniżać skuteczność przeciwzużyciową i przeciwzatarciową smaru plastycznego [L. 4, 5]. Dlatego jednym z najważniejszych etapów procesu wytwarzania środka smarowego, przeznaczonego do stoso-

wania w węzłach tarcia maszyn i urządzeń przemysłu spożywczego, jest dobór jakościowy surowców, uwzględniający, zgodnie z obowiązującymi przepisami, również wymagania ochrony środowiska. Odpowiedni dobór rodzaju i stężenia składników fazy dyspergującej, rozproszonego w niej zagęszczacza oraz modyfikatora właściwości użytkowych, pozwala otrzymać środki smarowe o parametrach zgodnych z wymaganiami dla określonej zastosowaniem grupy smarów [L. 6–8].

Konieczne jest jednak zidentyfikowanie wpływu specyficznych czynników zewnętrznych, występujących w zakładach przemysłu spożywczego, na stabilność smaru oraz jego efektywność smarową, jako istotne kryterium doboru surowców do otrzymywania smaru plastycznego stosowanego w urządzeniach wytwarzających produkty żywnościowe.

Celem badań była ocena skuteczności smarowej modelowych kompozycji smarów plastycznych, poddanych przedłużonemu ugniataniu w obecności wody w porównaniu z analogicznymi parametrami smarów bezpośrednio po sporządzeniu i określenie wpływu tych wymuszeń eksploatacyjnych na charakterystyki tribologiczne opracowanych środków smarowych.

METODYKA BADAŃ

Do testów przygotowano kompozycje smarowe na bazie głęboko rafinowanego oleju parafinowy (F) oraz zagęszczacza organicznego – stearynianu litu (Li). Jako dodatek smarny zastosowano czysty krzemian magnezu – talk (T) i fluorową pochodną polietylenu – teflon (Tf). Stosunek ilościowy składników był wielkością stałą, ustaloną eksperymentalnie. Smary wykonano zgodnie z procedurą otrzymywania [L. 9], stosując składniki (olej bazowy : zagęszczacz : dodatek smarowy) w proporcjach odpowiednio 9 : 1 : 1,76 cz. wag. Otrzymano smary plastyczne o klasie konsystencji 2, która zapewnia odpowiednie właściwości reologiczne smaru [L. 10].

Smar na bazie oleju parafinowego, zagęszczony stearynianem litu, zawierający talk oznaczono symbolem sFLiT, a smar na bazie oleju parafinowego zagęszczony stearynianem litu, z dodatkiem teflonu oznaczono symbolem sFLiTf.

Przygotowane kompozycje smarów podzielono na dwie partie. Jedną poddano przedłużonemu ugniataniu przez 10000 cykli w obecności wody. Dla tej próbki zbadano wpływ wody i przedłużonego ugniatania na

właściwości fizykochemiczne, określając zmianę penetracji smarów po 10000 cykli ugniatania w obecności wody w odniesieniu do penetracji smaru bezpośrednio po wytworzeniu, bez wody. Parametry i sposób wykonania testu przyjęto w oparciu o wytyczne normy NF T 60132.

Penetrację wyznaczono stosując penetrometr elektroniczny, zgodnie z wymaganiami normy PN-88/C-04133.

Właściwości smarne oceniono na podstawie wyników badań tribologicznych, wykonanych zgodnie z normą PN-78/C-04147, dla smarów po 10000 cykli ugniatania w obecności wody i porównano uzyskane wartości z analogicznymi, wyznaczonymi dla smarów bezpośrednio po wytworzeniu. Partie smaru niepoddane ugniataniu stanowią więc materiał odniesienia, pozwalający na zidentyfikowanie wpływu zastosowanych wymuszeń na właściwości tribologiczne przygotowanych kompozycji smarowych, zawierających różnego typu dodatki smarne.

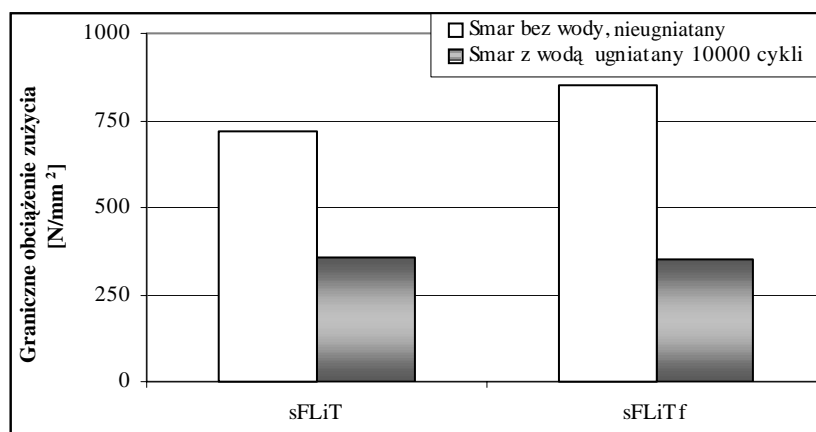
Wyznaczono graniczne obciążenie zużycia G_{oz} w teście godzinnym, pod obciążeniem 392,4 N, określając skuteczność przeciwzużyciową smarów plastycznych. Zbadano także właściwości przeciwzatarciowe, wyznaczając obciążenie zespawania P_z oraz skuteczność przeciwzatarciową w warunkach zacierania pod działaniem liniowo wzrastającego obciążeniem węzła tarcia, wykonując test na zmodyfikowanym aparacie czterokulowym T-02. Wyznaczono:

- obciążenie zacierające P_t – obciążenie inicjujące proces zacierania,
- graniczne obciążenie zatarcia P_{oz} – obciążenie powodujące zatarcie węzła tarcia przy granicznej wartości momentu tarcia 10 Nm oraz
- graniczny nacisk zatarcia p_{oz} – wartość obciążenia w momencie przekroczenia granicznego momentu tarcia 10 Nm, przypadającego na powierzchnię wytarcia w strefie styku węzła tarcia, opisaną średnicą śladu wytarcia zgodnie z wzorem $p_{oz} = 0,52 \times P_{oz} / d^2$ [L. 11, 12].

CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE SMARÓW PLASTYCZNYCH

Na **Rys. 1–4** przedstawiono rezultaty badań tribologicznych, pozwalających ocenić, w jakim stopniu siły działające w procesie przedłużonego ugniatania w naczyniu penetracyjnym oraz dodatek wody wpłynęły na właściwości smarne smarów plastycznych z mineralnym i polimerowym dodatkiem smarowym.

Na **Rys. 1** przedstawiono graniczne obciążenie zużycia dla opracowanych smarów plastycznych bezpośrednio po wytworzeniu oraz smarów po przedłużonym ugniataniu w obecności wody.



Rys. 1. Porównanie granicznego obciążenia zużycia G_{oz} kulek łożyska smarowanego ocenianymi smarami plastycznymi

Fig. 1. Comparison of limiting loads of wear G_{oz} of the greases

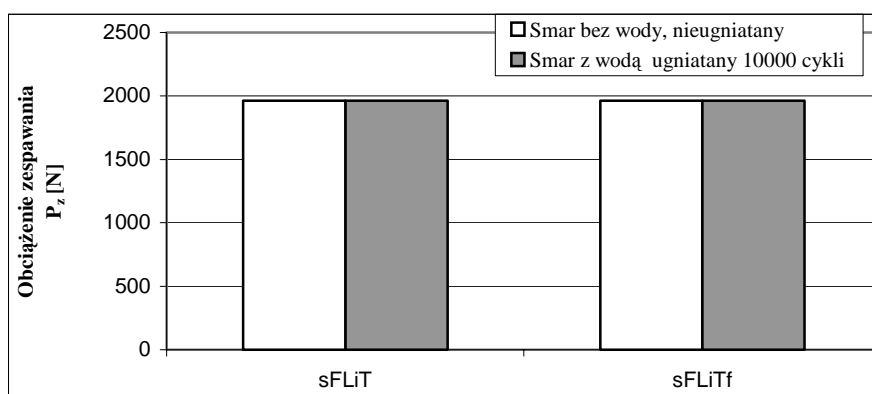
Porównując właściwości smaru bezpośrednio po wytworzeniu, zawierającego teflon oraz talk, jako dodatki smarne, można jednoznacznie stwierdzić, że smar z teflonem wykazuje lepsze właściwości przeciwzużyciowe od smaru z talkiem, co przejawia się wyższą o ok. 18% wartością G_{oz} . Jednak skuteczność przeciwzużyciowa smaru z teflonem zdecydowanie spadła na skutek przedłużonego ugniatania w obecności wody o prawie 60%. Przyczyną mniejszej efektywności smaru z teflonem po ugniataniu w obecności wody mogła być skłonność teflonu do aglomeracji, w wyniku czego zwiększyła się powierzchnia niechroniona dodatkiem smarowym przed skutkami tarcia.

Właściwości przeciwzużyciowe smaru z dodatkiem talku, po przedłużonym ugniataniu z wodą, również obniżyły się w stosunku do wartości parametru przeciwzużyciowego smaru bezpośrednio po wytworzeniu (ok. 50%). Choć talk nie wykazuje tendencji do łączenia się w większe skupiska, to w warunkach ugniatania w obecności wody może ulegać większemu rozproszeniu w zwiększającej się objętości smaru i jego sku-

teczość również maleje, choć w mniejszym stopniu. Nie bez znaczenia jest obecność wody, która stykając się z powierzchnią łożyska może ułatwiać proces zużycia w wyniku działania korodującego.

Można zatem wnioskować, że największy wpływ na pogorszenie odporności przeciwzużyciowej badanych smarów plastycznych miały siły ścinające, występujące podczas przedłużonego ugniatania w obecności polarnych cząsteczek wody, powodujące osłabienie oddziaływań międzycząsteczkowych składników smaru, prowadzące do rozrzedzenia smaru.

Ponieważ istotą działania środka smarowego jest również jego skuteczność przeciwzatarciowa, wyznaczono także obciążenie zespawania elementów testowego węzła tarcia (**Rys. 2**).



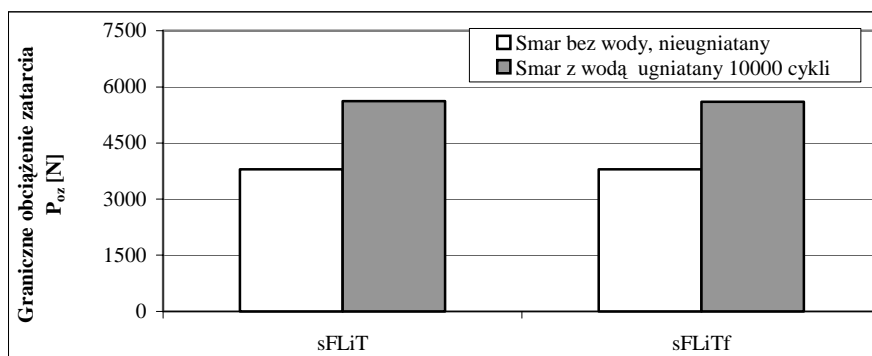
Rys. 2. Obciążenie zespawania kulek łożyska smarowanego ocenianymi smarami plastycznymi

Fig. 2. Weld points P_z of the bearings lubricated with the greases

Stwierdzono, że ekstremalne warunki testu tribologicznego nie wpłynęły na zmianę właściwości przeciwzatarciowych, wyrażonych obciążeniem zespawania, które pozostało bez zmian bez względu na zastosowany środek smarowy oraz oddziaływanie sił ścinających i wody. Okazało się, że w warunkach testu wyznaczającego obciążenie zespawania smarów plastycznych dodatek kilku procent wody nie wpłynął na zmianę właściwości przeciwzatarciowych.

Zbadano również wpływ liniowo wzrastającego obciążenia na właściwości przeciwzatarciowe ocenianych smarów plastycznych, wyznaczając obciążenia powodujące zatarcie węzła tarcia w warunkach zacierania

przy granicznej wartości momentu tarcia 10 Nm [L. 11]. Oceniono wpływ przedłużonego ugniatania w obecności wody na właściwości przeciwzatarciowe smarów w warunkach zacierania przez porównanie wartości uzyskanych parametrów z analogicznymi wartościami uzyskanymi dla smarów bezpośrednio po wytworzeniu, nieugniatanych, bez wody. Rezultaty badań przedstawiono na **Rys. 3**.

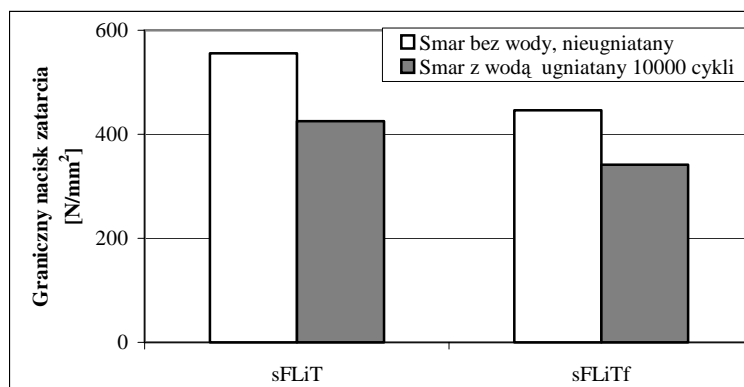


Rys. 3. Graniczne obciążenie zatarcia kulek łożyska smarowanego ocenianymi smarami plastycznymi

Fig. 3. Scuffing loads P_t of the bearings lubricated with the greases

Stwierdzono, że w przypadku obydwu badanych smarów przedłużone ugniatanie oraz zawartość wody wpłynęły na poprawę właściwości przeciwzatarciowych smaru, co obserwuje się jako wzrost obciążenia, powodującego zatarcie węzła tarcia. Efekt ten może się wiązać z większą jednorodnością smaru w wyniku zmiany orientacji cząsteczek oraz lepszej dyspersji zarówno zagęszczacza w oleju bazowym, jak i dodatku smarowego.

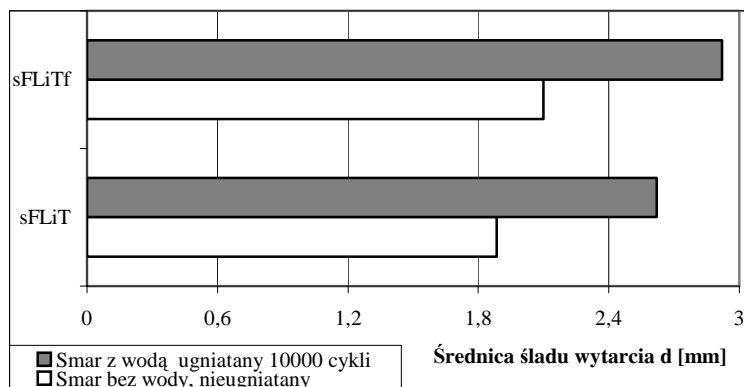
O właściwościach przeciwzatarciowych w warunkach zacierania świadczy również graniczny nacisk zatarcia, zależny od wymiaru średnicy śladu wytarcia i wartości granicznego obciążenia zatarcia. Porównanie badań tego typu właściwości dla smarów bezpośrednio po wytworzeniu i tych samych smarów ugniatanych 10000 cykli, w obecności wody, przedstawiono na **Rys. 4**.



Rys. 4. Graniczny nacisk zatarcia kulek łożyska smarowanego ocenianymi smarami plastycznymi

Fig. 4. Limiting pressures of seizure p_{oz} of the bearings lubricated with the greases

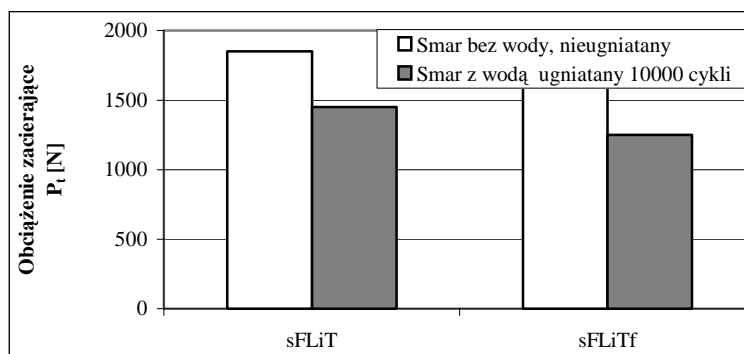
Na podstawie analizy rezultatów badań, określających skuteczność przeciwzatarciową w warunkach zacierania, stwierdzono, że była ona mniejsza dla smaru zawierającego teflon od smaru z talkiem zarówno bezpośrednio po wytworzeniu, jak i po przedłużonym ugniataniu, w obecności wody, o ponad 20%. Wzrosła wprowadzić wartość obciążenia P_{oz} , powodującego zatarcie węzła tarcia, ale zdecydowany wzrost wartości średnicy śladu wytarcia (**Rys. 5**) wpłynął na pogorszenie właściwości przeciwzatarciowych smarów w warunkach zacierania.



Rys. 5. Średnica śladu wytarcia na kulkach testowego łożyska smarowanego smarami plastycznymi w warunkach zacierania

Fig. 5. Wear scar diameters on the test balls lubricated with the greases under scuffing conditions

Zanotowano również spadek wartości obciążenia inicjującego proces zacierania, tzw. obciążenia zacierającego dla smarów ugniatanych z wodą (**Rys. 6**), co obniżyło trwałość warstwy smarowej, a tym samym pogorszyło właściwości smarne w warunkach zacierania.



Rys. 6. Obciążenie zacierające kulek łożyska smarowanego ocenianymi smarami plastycznymi

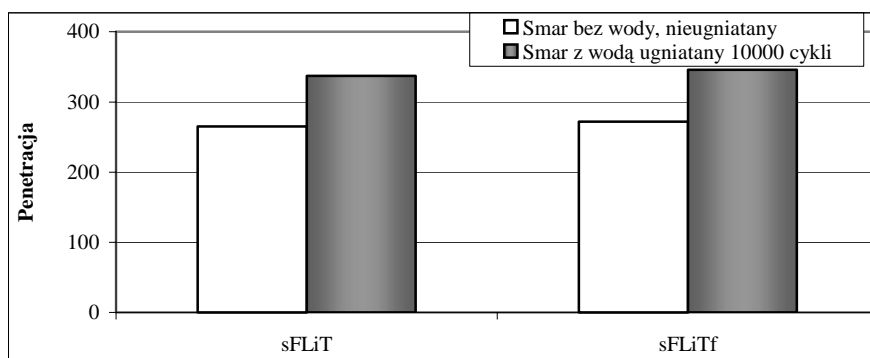
Fig. 6. Scuffing load P_t of the bearings lubricated with the greases

Analizując właściwości smarne w warunkach zacierania, można przyjąć, że pogorszenie właściwości tribologicznych smarów ugniatanych z wodą było uzależnione w głównej mierze od działania sił ścinających podczas przedłużonego ugniatania, które mogły zwiększyć odległości między cząsteczkami polarnego zagęszczacza, jakim jest stearynian litu, ułatwić dostęp cząsteczek wody emulgującej olej bazowy, powodując rozrzedzenie smaru [L. 6]. Ponadto, siły ścinające w procesie zacierania dodatkowo mogły wpłynąć na zmniejszenie koncentracji dodatku smarowego w objętości smaru, a tym samym na powierzchni trącej, wpływając na wzrost siły tarcia i w konsekwencji przyspieszając zatarcie skojarzenia trącego.

Analizując wyniki badań smarów bezpośrednio po wytworzeniu i tych samych smarów po przedłużonym ugniataniu w obecności wody, można przyjąć, że na spadek skuteczności przeciwzatarciowej smaru plastycznego po przedłużonym ugniataniu, w obecności wody miały wpływ przede wszystkim właściwości fizykochemiczne oleju bazowego oraz polarność cząsteczek zagęszczacza i wody. Natomiast właściwości fizykochemiczne dodatków smarowych głównie decydowały o różnicach

wartości parametrów smarnych smarów plastycznych bezpośrednio po wytworzeniu. Działanie modyfikatorów smarowych okazało się mało skuteczne w warunkach przedłużonego ugniatania smarów w obecności wody. Przedłużone ugniatanie mogło wpłynąć na ujednorodnienie smaru, rozluźniając strukturę i powodując wzrost gładkości. Jednak obecność wody, wypełniającej przestrzeń między cząsteczkami, wpłynęła na dalsze rozluźnienie struktury, co mogło zmienić układ oddziaływań międzycząsteczkowych, zmieniając właściwości fizykochemiczne i smarne środka smarowego.

Potwierdzeniem zmian właściwości fizycznych smarów, w wyniku przedłużonego ugniatania w obecności wody w naczyniu penetracyjnym, rozluźnienia struktury było wyznaczenie penetracji, która wzrosła zarówno w przypadku smaru z dodatkiem teflonu, jak i z dodatkiem talku (**Rys. 7**).



Rys. 7. Penetracja ocenianych smarów plastycznych

Fig. 7. Penetration of the greases

Wzrost penetracji smaru ugniatanego w obecności wody, któremu towarzyszyło obniżenie właściwości smarnych, wskazuje na powiązanie tych zmian ze zmianami struktury smaru z zagęszczaczem mydlanym w wyniku przedłużonego ugniatania. Jednocześnie na podstawie analizy wyników badań stwierdzić można, że niezależnie od zastosowanego dodatku smarowego, badane smary, ugniatane 10000 cykli w obecności wody, uległy zmianom w stopniu ze sobą porównywalnym – zwiększyły penetrację o ok. 20% w stosunku do smarów bez dodatku wody, nieugniatanych, czego skutkiem było pogorszenie właściwości smarnych o ponad 20% w stosunku do smarów bezpośrednio po wytworzeniu.

Analizując wpływ przedłużonego ugniatania w obecności wody na właściwości smarne smarów plastycznych z mineralnym i syntetycznym dodatkiem smarowym, można stwierdzić, że żaden z zastosowanych dodatków smarowych w tak ekstremalnych warunkach nie wpłynął na poprawę charakterystyk tribologicznych badanych smarów plastycznych. Wnioskować zatem można, że nie fizykochemiczny charakter dodatków smarowych różnicuje te właściwości, ale struktura przestrzenna smaru litowego zmieniona w wyniku działania sił ścinających w warunkach przedłużonego ugniatania w obecności wody.

PODSUMOWANIE

Badania właściwości tribologicznych smaru plastycznego na bazie głęboko rafinowanego oleju parafinowego, zagęszczonego stearynianem litu z modyfikatorami właściwości smarnych, poddanego przedłużonemu ugniataniu w obecności wody, wykazały spadek skuteczności przeciwwzyciowej oraz przeciwwzatarciowej w warunkach zacierania. W przypadku testowanych w tych samych warunkach smarów litowych – smaru sFLiT ze smarowym dodatkiem mineralnym oraz smaru sFLiTf ze związkami organicznymi – stwierdzono, że smary te po przedłużonym ugniataniu z wodą uległy rozrzedzeniu, co wykazał wzrost penetracji, a ich skuteczność przeciwwzatarciowa w warunkach zacierania obniżyła się. Można zatem przyjąć, że obecność wody oraz działanie sił ścinających w wyniku przedłużonego ugniatania zmieniły intensywność oddziaływań międzycząsteczkowych niezależnie od właściwości fizykochemicznych zastosowanego dodatku smarowego. To wskazuje na zależność właściwości smarnych od struktury smaru na bazie mydła litowego, w wyniku działania sił ścinających w warunkach przedłużonego ugniatania w obecności wody.

Stwierdzono natomiast większą skuteczność przeciwwzyciową i przeciwwzatarciową smaru plastycznego bezpośrednio po wytworzeniu, do którego dodano jako modyfikator właściwości smarnych substancję mineralną, co wiązało się przede wszystkim z właściwościami fizykochemicznymi dodatków, ponieważ udział jakościowy i ilościowy pozostałych składników smaru plastycznego był taki sam.

Ze względu na pogorszenie właściwości przeciwwzyciowych i przeciwwzatarciowych, pod działaniem liniowo wzrastającego obciążenia, smarów plastycznych zawierających dodatki smarowe, poddanych przedłużo-

nemu ugniataniu w obecności wody, wydaje się celowe wykonanie analitycznych badań tego samego smaru bez dodatków smarowych, aby przekonać się, czy celowe jest stosowanie tego rodzaju modyfikatorów smarowych, jeśli smar przeznaczony jest głównie do stosowania w warunkach działania obciążeń mechanicznych i wody.

LITERATURA

1. Flynn F.B.: Screening for the Potential of Lubricant to Biodegrade. *Spokesman* 2000, 12, 8–13.
2. Neyman A.: Ekologiczne aspekty smarowania. *Tribologia* 2002, 2, 489–504.
3. Reddy J.E., De Vera A.L., Hopkins E.M., Ford J.I.: Overbased Calcium Carboxylates as Grease Precursors. *Spokesman* 2006, 8, 8–17.
4. Bajer J.: Charakterystyki tribologiczne niektórych smarów plastycznych poddanych ugniataniu w obecności wody. *Tribologia* 2008, 6.
5. Bajer J.: Wpływ wymuszeń mechanicznych i wody na charakterystyki tribologiczne smaru plastycznego. *Tribologia* 2007, 63–74.
6. Czarny R.: Smary plastyczne. WNT, Warszawa, 2004.
7. Faci H., Cislér B.: Biobased Lubricants for Tunnel Boring Machines. *Spokesman* 2008, 5.
8. Rohr O., Hissa R.: Preformed Soap Thickener and EP-Additive for Grease Production. *Spokesman* 2007, 1, 15–20.
9. Bajer J.: Charakterystyczne właściwości smaru plastycznego odpornego na działanie niskich temperatur. *Tribologia* 2006, 5, 97–109.
10. Warda B.: Prognozowanie trwałości zmęczeniowej węzłów tocznych o złożonym kształcie współpracujących powierzchni. *Tribologia* 2007, 5, 145–156.
11. Szczerek M., Tuszyński W.: Nowe metody i techniki pomiarowe w tribologii. *Tribologia* 2007, 6, 189–222.
12. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2000.

Recenzent:
Stanisław PYTKO

Summary

This paper presents the tribological characteristics of synthetic greases containing mineral and organic additives after prolonged kneading in the presence of water. The investigated greases were composed on a base of paraffin oil, thickened with lithium stearate with Teflon and talc.

The antiwear and antiseizure properties of the greases before and after kneading in the presence of water have been determined. The study was conducted by means of a four ball machine limiting the load of wear G_{oz} , weld point P_z , scuffing load P_t , seizure load P_{oz} , and limiting pressure of seizure p_{oz} . Greases, subjected previously to prolonged kneading in the presence of water, were influenced on reduction of friction pair durability, irrespective of the additive type under scuffing conditions. However, the antiseizure effectiveness of non-knocked grease, without the addition of water and containing mineral additive, was better than grease containing synthetic or organic additives. It has been confirmed by the higher value of limiting pressure of seizure and scuffing load. It was also concluded that the better grease penetration after prolonged kneading the worse tribological parameters. The investigations have been aimed at determination of grease properties under mechanical load conditions and in the presence of water. Such conditions often occur during the operation of machines in the food industry.