

Rafał KOZDRACH^{*}, Jadwiga BAJER^{*}, Jolanta DRABIK^{*}

WPLYW RODZAJU ZAGĘSZCZACZA NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE SMARÓW PLASTYCZNYCH

THE INFLUENCE OF THE TYPE OF THICKENER ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LUBRICATING GREASES

Słowa kluczowe:

smar plastyczny, właściwości smarne, właściwości przeciwzużyciowe, właściwości przeciwtarciowe, zagęszczacze, faza rozpraszana, faza rozpraszająca

Key words:

lubricating greases, lubricating properties, antiwear properties, anticuffing properties, thickeners, dispersed phase, dispersion phase

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu fazy rozpraszanej na właściwości smarne wybranych kompozycji smarowych. Do wytworzenia

^{*} Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 260-600 Radom, tel. (048) 364-42-41.

smarów plastycznych użyto mineralnej bazy olejowej, którą następnie zagęszczono stearynianem litu, stearynianem wapnia, kompleksowym mydłem litowym, modyfikowaną krzemionką oraz mieszaniną PTFE i krzemionki modyfikowanej.

Wykonano badania właściwości smarnych objęte normą dla badanej grupy środków smarowych, a uzyskane wyniki porównano ze sobą i oceniono wpływ rodzaju zagęszczacza na wartość badanych parametrów. Do oceny właściwości tribologicznych wykorzystano wyniki badań granicznego obciążenia zużycia, obciążenia zespawania, obciążenia zacierającego, granicznego obciążenia zatarcia oraz granicznego nacisku zatarcia.

Na podstawie wyników badań tribologicznych wybranych kompozycji smarowych stwierdzono, że najkorzystniej na właściwości przeciwzużyciowe badanych smarów plastycznych wpływa stearynian wapnia, natomiast najskuteczniejszą ochronę przeciwzatarciową pełnią zagęszczacze krzemionkowe i krzemionkowo-polimerowe.

WPROWADZENIE

Jednym ze składników smaru plastycznego jest zagęszczacz. Jest to substancja, która zapewnia przestrzenny układ strukturalny oraz odpowiednie właściwości reologiczne i tribologiczne wytworzonego smaru. Zawartość zagęszczacza w smarze wynosi od 2% do 30% i zależy od rodzaju zagęszczacza oraz konsystencji smaru [L. 1–3].

Od rodzaju zagęszczacza zależy szereg właściwości eksploatacyjnych smarów plastycznych takich jak: tekstura, stabilność mechaniczna, odporność na działanie temperatury, właściwości reologiczne czy odporność na działanie wody i kwasów [L. 4].

Jedną z powszechnie stosowanych klasyfikacji smarów plastycznych jest klasyfikacja oparta na rodzaju zastosowanego zagęszczacza. Na tej podstawie wyróżnia się smary: mydlane (np.: na stearynianie litu), mieszane (np.: na mydłach litowo-wapniowych), nieorganiczne (np.: na krzemionce lub bentonicie) oraz polimerowe (np.: na poliuretanach lub tereftalanach) [L. 2, 5–8]. Obecnie coraz większe znaczenie przy wytwarzaniu smarów plastycznych mają zagęszczacze kompleksowe oraz organiczne.

Związki kompleksowe, które są stosowane jako zagęszczacze smarów plastycznych zwiększają temperaturę kroplenia wytworzonej kompozycji smarowej, dzięki czemu podnosi się maksymalna temperatura stosowalności takiego produktu. Wbudowanie tego typu zagęszczaczy w strukturę środka smarowego zwiększa odporność smaru na działanie

wody, poprawia jego stabilność mechaniczną i strukturalną oraz właściwości smarne (szczególnie przeciwzatarciowe). Dlatego coraz częściej zagęszczacze kompleksowe wypierają z rynku zagęszczacze konwencjonalne takie jak np. mydła proste [L. 9].

Natomiast zagęszczacze pochodzenia organicznego takie jak sole metali I i II grupy układu okresowego i wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych są silnymi utleniaczami i posiadają wysoką stabilność termiczną, a smary zagęszczone tymi substancjami wykazują wysoką trwałość eksploatacyjną [L. 10]. Duże znaczenie mają także zagęszczacze nieorganiczne, do których można zaliczyć krzemionkę koloidalną. Poprawiają one stabilność chemiczną oraz właściwości smarne wytworzonych kompozycji smarowych, dzięki czemu na rynkach światowych następuje wzrost zainteresowania tym typem zagęszczaczy.

Celem pracy było zbadanie wpływu różnych zagęszczaczy, stosowanych w tym samym oleju bazowym, na zmianę podstawowych parametrów tribologicznych kompozycji smarowych mających zastosowanie w przemyśle spożywczym.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Do badań użyto smarów plastycznych sporządzonych na bazie oleju parafinowego o czystości farmaceutycznej. Jako środki zagęszczające smarów plastycznych użyto kompleksowego 12-hydroksystearyniano-adypinianu (1:0,25) litu (smar A) [L. 11], stearynianu wapnia (smar B) [L. 12], stearynianu litu (smar C) [L. 13–16], modyfikowanej krzemionki w postaci Aerosilu[®] (smar D) oraz mieszaniny PTFE oraz krzemionki modyfikowanej (smar E).

Tabela 1. Skład chemiczny badanych smarów plastycznych

Table 1. The chemical composition of lubricating greases

Oznakowanie badanego smaru	Baza olejowa	zagęszczacz
A	olej parafinowy	12-hydroksystearyniano-adypinian (1:0,25) litu
B	olej parafinowy	stearynian wapnia
C	olej parafinowy	stearynian litu
D	olej parafinowy	Aerosil 300
E	olej parafinowy	PTFE+R972

Każdy z wymienionych wyżej zagęszczaczy wprowadzono do struktury smaru w ilości 20% m/m. Tak wytworzone kompozycje smarowe oznaczono następnie symbolami A, B, C, D i E. We wczesnej fazie eksperymentu podjęto badania nad ilością zagęszczacza, jaką należy wprowadzić do kompozycji smarowej. Przeprowadzono testy z kompozycjami zawierającymi od 5% do 30% zagęszczacza.

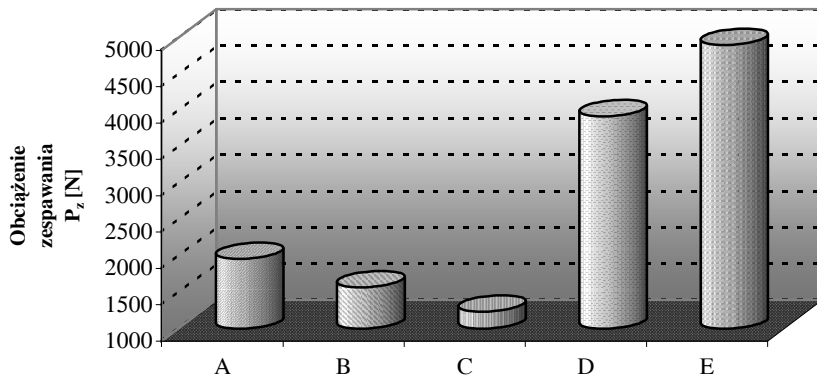
Do wyznaczenia właściwości przeciwzatarciowych i przeciwzuzyciowych badanych kompozycji smarowych wykorzystano aparat czterokulowy T-02. Właściwości smarne badanych kompozycji zostały określone poprzez pomiar granicznego obciążenia zużycia ($G_{oz/40}$), obciążenia zespawania (P_z), obciążenia zacierającego (P_t), granicznego obciążenia zatarcia (P_{oz}) oraz granicznego nacisku zatarcia (p_{oz}) na aparacie czterokulowym. Pomiar granicznego obciążenia zużycia ($G_{oz/40}$) wykonano przy obciążeniu węzła tarcia siłą 392,4 N przez cały czas trwania testu – 3600 s oraz przy prędkości obrotowej kulki wynoszącej 500 obr./min. Pomiar obciążenia zespawania przeprowadzono zgodnie z normą PN-76/C-04147. Oznaczenie to polegało na przeprowadzeniu 10-sekundowych biegów zespołu czterech kulek w obecności środka smarowego pod coraz większym obciążeniem aż do zespawania kulek. Natomiast pomiar właściwości smarnych w warunkach zacierania prowadzono zgodnie z metodyką opracowaną w ITeE – PIB. Badanie wykonano przy liniowo wzrastającym obciążeniu od 0 do 7200 N w czasie 18 s przy prędkości wrzeciona 500 obr./min i prędkości narastania obciążenia 409 N/s. Gdy następuje nagły wzrost momentu tarcia, to poziom obciążenia węzła określany jest jako obciążenie zacierające P_t . Pomiar prowadzono do momentu osiągnięcia granicznego momentu tarcia 10 Nm lub maksymalnego obciążenia aparatu 7200 N. Ten punkt określono jako graniczne obciążenie zatarcia P_{oz} . Za wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną, z co najmniej trzech oznaczeń nieróżniących się od siebie więcej niż 10%.

Graniczny nacisk zatarcia jest miarą właściwości przeciwzatarciowych środków smarowych w warunkach zacierania. Oznaczenie tego parametru polegało na wyliczeniu jego wartości zgodnie ze wzorem: $p_{oz} = 0,52 * P_{oz} / d_{oz}^2$, gdzie P_{oz} – graniczne obciążenie zatarcia, a d_{oz} – średnica skazy powstałej na kulkach stalowych użytych do badania.

Dla wyznaczenia wielkości śladu zużycia powierzchni kulek testowych zastosowano mikroskop optyczny. Uzyskane wyniki posłużyły do określenia wielkości $G_{oz/40}$ oraz p_{oz} , czyli oceny właściwości przeciwzuzyciowych i przeciwzatarciowych smarów plastycznych poddanych badaniom tribologicznym [L. 17–20].

WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH

Dla sporządzonych kompozycji smarowych wyznaczono obciążenie zespawania P_z . Uzyskane wyniki przedstawiono na **Rys. 1**.

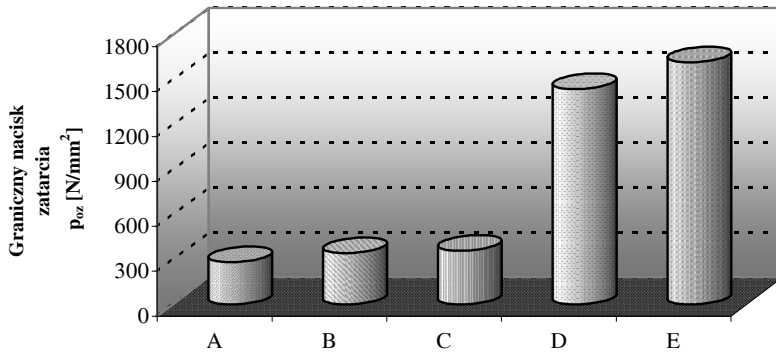


Rys. 1. Obciążenie zespawania węzła tarcia smarowanego kompozycjami z różnymi zagęszczaczami

Fig. 1. Welding load of tribosystem lubricated compositions with different thickeners

Właściwości przeciwzatarciowe przy skokowo narastającym obciążeniu węzła tarcia dla smarów plastycznych poddanych badaniom zależą od rodzaju zagęszczacza, który wpływa w znaczący sposób na właściwości smarne wytworzonego produktu. Najlepszymi właściwościami przeciwzatarciowymi charakteryzuje się smar E, zagęszczony mieszaniną polimerowo-krzemionkową, natomiast najłabsze właściwości posiada smar C, w którym jako zagęszczacz zastosowano stearynian litu. Różnica w obciążeniu zespawania między oboma smarami dochodzi do 300% na korzyść kompozycji zagęszczonej mieszaniną PTFE i modyfikowanej krzemionki. Także bardzo dobre właściwości przeciwzatarciowe posiada smar D, zagęszczony modyfikowaną krzemionką (Aerosil®) w porównaniu z kompozycją C, w której jako środek zagęszczający zastosowano stearynian litu.

Miarą właściwości przeciwzatarciowych badanych kompozycji smarowych w warunkach zacierania jest graniczny nacisk zatarcia p_{oz} . Uzyskane wyniki badań tego parametru przedstawiono na **Rys. 2**.



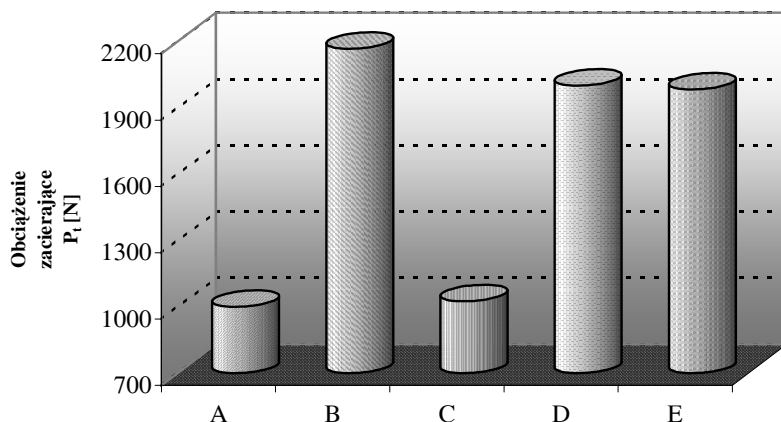
Rys. 2. Graniczny nacisk zatarcia węzła tarcia smarowanego kompozycjami z różnymi zagęszczaczami

Fig. 2. Limiting pressure of seizure of tribosystem lubricated compositions with different thickeners

Wyznaczone wartości granicznego nacisku zatarcia wykazały, że zastosowanie krzemionki modyfikowanej w postaci Aerosilu[®] oraz mieszaniny krzemionki i PTFE najlepiej wpływają na poprawę właściwości przeciwwzrostowych smaru. Najwyższą wartością p_{oz} charakteryzuje się kompozycja E, gdzie jako zagęszczacz zastosowano proszek polimero-krzemionkowy. Natomiast najniższą wartość tego parametru posiada smar A, który został zagęszczony kompleksowym 12-hydroksystearynianio-adypinianem (1:0,25) litu. Różnica właściwości przeciwwzrostowych między smarami A, B i C, które zagęszczono mydłami, jest niewielka rzędu 27% między próbką A i C, natomiast między kompozycją A a kompozycją E dochodzi do 500% na korzyść tej drugiej. Zastosowanie zagęszczaczy krzemionkowych oraz krzemionkowo-polimerowych w smarach plastycznych wykazało pozytywny wpływ tych substancji na odporność warstwy wierzchniej na zacieranie.

Dla wszystkich sporządzonych kompozycji smarowych wyznaczono właściwości przeciwwzrostowe w warunkach liniowo wzrastającego obciążenia, charakteryzowane obciążeniem zacierającym P_t . Uzyskane wyniki przedstawia **Rys. 3**.

W zależności od rodzaju środka zagęszczającego wartość obciążenia zacierającego ulegała zmianom. Najniższe wartości P_t zaobserwowano dla smaru A i smaru C, natomiast najwyższe dla smaru B. Różnica między najwyższą a najniższą wartością omawianego parametru wynosiła



Rys. 3. Obciążenie zacierające węzeł tarcia smarowany kompozycjami z różnymi zagęszczaczami

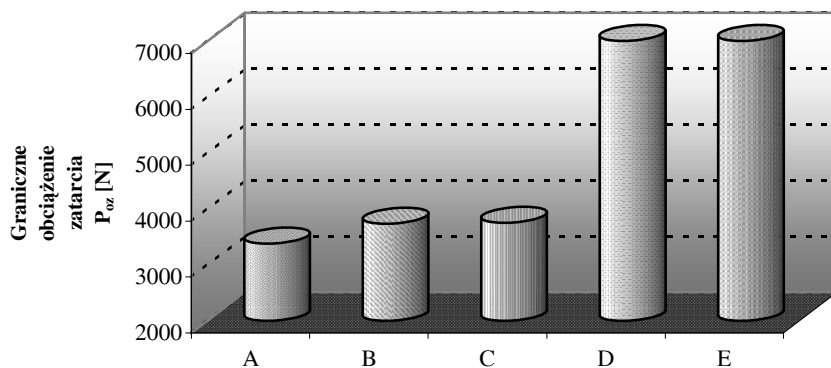
Fig. 3. Scuffing load of tribosystem lubricated compositions with different thickeners

117%. Najlepsze właściwości przeciwzatarciowe posiada smar wytworzony na mydle wapniowym. Nieznacznie gorszymi właściwościami charakteryzującymi zdolność filmu smarowego do przenoszenia obciążeń posiadają kompozycje zagęszczone krzemionką modyfikowaną (smar D) oraz mieszaniną polimerowo-krzemionkową (smar E). Natomiast najgorsze właściwości charakteryzujące trwałość filmu smarowego posiadają kompozycje smarowe, w których jako zagęszczacze zastosowano proste i kompleksowe mydła litowe. Rodzaj użytego środka zagęszczającego ma wpływ na zmianę właściwości przeciwzatarciowych badanych kompozycji smarowych. Najwyższą trwałość filmu smarowego zapewnia zastosowanie mydła wapniowego jako zagęszczacza, który umożliwia uzyskanie smaru o największej wartości P_1 .

Wyznaczono także graniczne obciążenie zatarcia węzła tarcia smarowanego badanymi kompozycjami smarowymi. Uzyskane wyniki przedstawia **Rys. 4**.

Graniczne obciążenie zatarcia pozwala określić poziom właściwości przeciwzatarciowych badanych smarów plastycznych. Najwyższą wartość tego parametru zaobserwowano dla kompozycji D i E, natomiast najniższą dla smaru A. Różnica w wartości wyżej wymienionego parametru między smarem A a smarami D i E wynosi 107% na korzyść tych drugich. Zagęszczenie oleju mineralnego krzemionką modyfikowaną lub mieszaniną polimerowo-krzemionkową spowodowało istotną poprawę właściwości przeciwzatarciowych badanych kompozycji smarowych

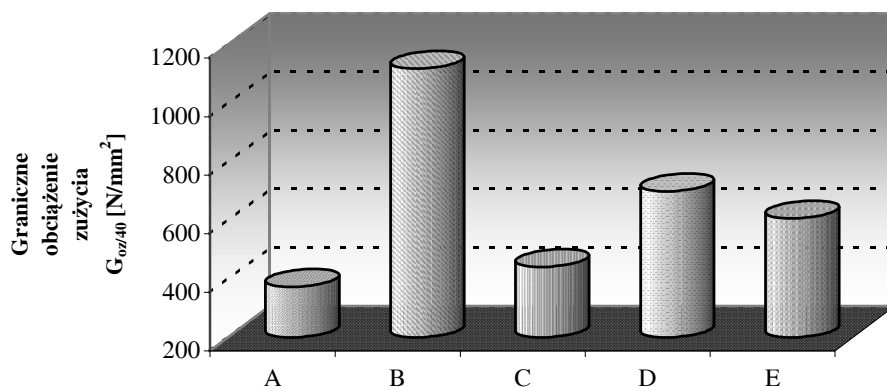
w stosunku do smarów plastycznych, w których jako zagęszczacz zastosowano proste mydła litowe czy wapniowe lub kompleksowe mydło litowe.



Rys. 4. Graniczne obciążenie zatarcia węzła tarcia smarowanego kompozycjami z różnymi zagęszczaczami

Fig. 4. Limiting load of scuffing of tribosystem lubricated compositions with different thickeners

Właściwości przeciwzużyciowe badanych smarów plastycznych zwerifikowano poprzez wyznaczenie granicznego obciążenia zużycia $G_{oz/40}$ węzła tarcia smarowanego ocenianymi kompozycjami. Uzyskane wyniki przedstawia **Rys. 5**.



Rys. 5. Graniczne obciążenie zużycia węzła tarcia smarowanego kompozycjami z różnymi zagęszczaczami

Fig. 5. Limiting load of wear of tribosystem lubricated compositions with different thickeners

Najwyższą wartość granicznego obciążenia zużycia posiada kompozycja B, która została wytworzona poprzez wprowadzenie zagęszczacza wapniowego do mineralnej bazy olejowej. Natomiast najniższą wartość parametru $G_{oz/40}$ posiada kompozycja A, w której jako substancję zagęszczającą zastosowano kompleksowe mydło litowe. Przy zastosowaniu zagęszczacza wapniowego zaobserwowano wzrost ochrony przeciwzużyciowej o 200% w porównaniu z zagęszczaczem litowym. Stwierdzono, że najkorzystniejszy wpływ na właściwości przeciwzużyciowe badanych kompozycji smarowych mają zagęszczacze wapniowe oraz krzemionkowe i krzemionkowo-polimerowe. Natomiast stosowanie litowych mydeł prostych i kompleksowych nie warunkuje skutecznej ochrony przeciwzużyciowej.

Kryteria jakości środków smarowych szczególnie dla przemysłu spożywczego są ustalane indywidualnie przez producentów maszyn. W wyniku przeprowadzonej analizy rynku można stwierdzić, że kompozycje smarowe, które posiadają $G_{oz/40} \geq 600 \text{ N/mm}^2$, mają bardzo dobre właściwości przeciwzużyciowe. Te, których graniczne obciążenie zużycia mieści się w przedziale $400\text{--}600 \text{ N/mm}^2$, zapewniają skuteczną ochronę przeciwzużyciową, natomiast jeśli $G_{oz/40} < 400 \text{ N/mm}^2$, to mówimy o niedostatecznych właściwościach przeciwzużyciowych.

Uzyskany poziom właściwości przeciwzużyciowych czyni większość (z wyjątkiem kompozycji A) badanych kompozycji smarowych skutecznymi produktami smarnymi w warunkach stałego obciążenia węzła tarcia.

PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że właściwości smarne badanych kompozycji ulegają istotnej zmianie w zależności od zastosowanego zagęszczacza. Niektóre z substancji zagęszczających są bardzo skuteczne przeciwzużyciowo (stearynian wapnia), inne powodują, iż zastosowanie ich w smarach znacząco poprawia właściwości przeciwzatarciowe (zagęszczacze krzemionkowe).

Zastosowanie krzemionki koloidalnej w postaci Aerosilu[®] lub mieszaniny krzemionka-PTFE jako zagęszczacza smarów plastycznych poprawia znacznie właściwości przeciwzatarciowe badanych kompozycji smarowych w porównaniu z zagęszczaczami mydlanymi zarówno prostymi, jak i kompleksowymi.

Najskuteczniej węzeł tarcia przed zużyciem zabezpiecza kompozycja sporządzona na bazie oleju mineralnego, zagęszczona stearynianem wapnia. Natomiast najlepsze właściwości przeciwzatarciowe posiada smar, w którym jako zagęszczacz zastosowano mieszaninę modyfikowanej krzemionki oraz PTFE.

Stosowanie mydła wapniowego jako zagęszczacza pozwala na poprawę właściwości przeciwzużyciowych, a nieorganicznych zagęszczaczy krzemionkowych na wzrost właściwości przeciwzatarciowych smarów plastycznych mających zastosowanie w przemyśle rolno-spożywczym.

LITERATURA

1. Mucha J., Stańkowski L.: Smary plastyczne – cz.2 – Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 5/1993, s. 22–23.
2. Ishchuk Y.L.: Lubricating Grease Manufacturing Technology - New Age International, 2008, s. 25–70.
3. Stachowiak G.W., A. W. Batchelor: Engineering tribology- Butterworth-Heinemann, 2000, s. 68.
4. Czarny R.: Smary plastyczne – WNT – Warszawa 2004, s. 40–41.
5. Smary plastyczne: Wiadomości ogólne (cz. I) – Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 30/1996, s.10–14.
6. Mortier R.M., Fox M.F., Orszulik S.T.: Chemistry and Technology of Lubricants – Springer, 2009, s. 420–426.
7. Bloch H.P.: Practical Lubrication for Industrial Facilities - Fairmont Press, 2000, s. 208–210.
8. Cubberly W.H., Bakerjian R.: Tool and Manufacturing Engineers Handbook – Society of Manufacturing Engineers, 1992, s. 44.
9. Trzaska E.: Kompleksowe smary litowe – Nafta – Gaz 11/2003, s. 528–535.
10. Zajezińska A., Kowalski P.: Organiczne zagęszczacze smarów plastycznych – Nafta – Gaz 12/1999, s. 785–791.
11. Program Wieloletni PW-004 pn. Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008.
12. Bajer J.: Wpływ wymuszeń mechanicznych i wody na charakterystyki tribologiczne smaru plastycznego – Tribologia 6/2007, s. 63–73.
13. Pawelec E., Drabik J.: Wpływ komponentów na charakterystyki tribologiczne ekologicznego smaru plastycznego – Tribologia 5/2007, s.109–117.
14. Drabik J., Pawelec E., Janecki J.: Modelowanie właściwości oraz technologii ekologicznych smarów plastycznych – Problemy Eksploatacji 2/2001, s. 67–79.

15. Pawelec E., Bajer J., Drabik J., Janecki J.: Biały smar plastyczny PB do łożysk tocznych i ślizgowych. VIII Krajowy Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Krynica 1997.
16. Pawelec E., Drabik J., Bajer J., Janecki J.: Nietoksyczny środek smarowy — SMAR PB. IV Międzynarodowe Sympozjum Forum Chemiczne'98. Warszawa 1998.
17. Górská K.: Właściwości smarne. Część 2 – Maszyna czterokulowa – Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 19/1995, s. 19–24.
18. Górská K.: Właściwości smarne i przeciwzużyciowe. Część 3 – Maszyny do badania zjawisk w strefie tarcia – Paliwa, leje i Smary w Eksploatacji 27/1996, s. 22–26.
19. Zheleznyi L.V., Bogaichuk A.V., Kobyljanskii E.V., Mishchuk O.A.: Antiwear properties of high-temperature greases, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol. 43, 6/2007, s. 488–494.
20. Leśniewski T. Krawiec, S.: The effect of ball hardness on four ball wear test results, Wear 264, 2008, s. 662–670.

Recenzent:
Stanisław LABER

Summary

In this article, the authors present the results of investigations on the influence dispersed phase on the lubricating properties of selected lubricated compositions. For production plastic greases used to mineral oil basis, which then thickens lithium stearate, calcium stearate, complex lithium soap, modified silica and mixtures of teflon and methylated silica.

The investigation of lubricating properties were carried out for research groups of lubricated compositions and the obtained results were compared to account for the influence of the thickener on the value of research parameters. The results of investigations on the limiting load of wear, weld point, scuffing load, the limiting load of scuffing, and the limiting pressure of seizure were used for the estimation of tribological properties.

Using the results of the tribological investigations selected for lubricated compositions, we were able to ascertain the most advantageous compositions for the antiwear properties of plastic greases that influence calcium stearate; however, the best protection against antiscuffings are silica and polymer-silica thickeners.

