

Stanisław KRAWIEC*, **Michał KRAWIEC***, **Tadeusz LEŚNIEWSKI***

WPLYW DODATKÓW USZLACHETNIAJĄCYCH W SMARZE PLASTYCZNYM NA EFEKTYWNOŚĆ SMAROWANIA JEGO KOMPOZYCJAMI Z PTFE, Cu

THE INFLUENCE OF THE ADDITIVES OF PTFE OR Cu IN GREASE ON ITS LUBRICATION EFFICIENCY

Słowa kluczowe:

smary plastyczne, napełniacze, efektywność smarowania

Key words:

grease, fillers, lubrication efficiency

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad wpływem dodatków uszlachetniających w smarze plastycznym na efektywność smarowania (stalowych węzłów ślizgowych) jego kompozycjami z napełniaczem – proszkiem PTFE (policzterofluoroetyleny) lub miedzi. Analizie poddano kompozycje smarowe utworzone na bazie smaru plastycznego litowego 1S z dodatkami uszlachetniającymi – adhezyjnym, antykorozyjnym i antyutleniającym (smar

* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn,
ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław, Polska.

handlowy) oraz kompozycje z tym samym smarem tylko bez dodatków uszlachetniających. Badano kompozycje zawierające 1 i 6% wagowo jednego z przyjętych napełniaczy. Właściwości smarne utworzonych kompozycji oceniano na podstawie eksperymentu tribologicznego przeprowadzonego na aparacie czterokulowym zgodnie z wytycznymi normy PN-76/C-04147. Efektywność analizowanych smarów oceniano według trzech wielkości kryterialnych, tj. zużycia kulek d , obciążenia zespawania F_z oraz granicznego obciążenia zużycia G_{oz} . Wyniki eksperymentu zostały opracowane statystycznie przy poziomie ufności 95%, stosując test t-Studenta. Uzyskane wyniki badań przedstawiono graficznie. Pozwalają one dokonać oceny jakościowej wpływu składu smaru plastycznego 1S na poprawę efektywności smarowania kompozycji smaru plastyczny – napełniacz w zastosowaniu do stalowych węzłów ślizgowych działających przy tarcu mieszanym.

WPROWADZENIE

Zgodnie z postulatem Kragielskiego [L. 6, 7] zmniejszenie negatywnych skutków tarcia w węzłach ślizgowych pracujących w obszarze tarcia mieszanego jest osiągnięte przez zapewnienie warstwom wierzchnim współpracujących powierzchni dodatniego gradientu wytrzymałości na ścinanie. Działania optymalizacyjne wartości tego gradientu są prowadzone zarówno dzięki poprawie właściwości tribologicznych współpracujących materiałów, jak i środka smarującego. Z literatury dotyczącej tej problematyki wynika, że działania zmierzające do zwiększenia dodatniego gradientu drogą smarowania są bardzo efektywne. Na przykład Garkunow [L. 5] wykazał, że wprowadzenie do strefy styku współpracujących powierzchni nieznacznej ilości smaru wystarczającej do utworzenia warstewki smarnej grubości 100 nm powoduje 10-krotne zmniejszenie siły tarcia i około 100-krotne obniżenie zużycia. Z grupy różnych substancji smarujących najskuteczniejszymi smarami do smarowania węzłów pracujących przy tarcu mieszanym są smary plastyczne. Tę wysoką efektywność zapewniają one dzięki zdolności do tworzenia w strefie tarcia grubych warstw granicznych. Badania [L. 1, 15] wykazały, że warstewka, jaką tworzy na skojarzonych powierzchniach smar plastyczny, ma grubość od 1,2 do 3,5 razy większą od grubości, jaką może tworzyć olej bazowy. Ale składniki smarów nie zapewniają im dobrych właściwości smarnych w zakresie dużych obciążeń. Powodem tego jest stosunkowo mała wytrzymałość termiczna warstwy granicznej utworzonej na smarowanych powierzchniach współpracujących elementów. Polepszenie tych właściwości można osiągnąć różnymi sposobami. Najprostszą i wystarczająco efektywną metodą jest wprowadzanie w skład smarów plastycznych tzw. napełniaczy, tj. substancji różnej natury i stężenia, nierozpuszczalnych w plastycznej osnowie i niezaburzających struktury koloidalnej smaru [L. 4, 16]. Napełniacz oprócz pełnienia głównej funkcji, jaką jest

polepszenie właściwości przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych, powinien dodatkowo polepszać właściwości ślizgowe kompozycji smarnej, powodując zmniejszenie strat tarcia. Wymienione funkcje bardzo dobrze spełniają smary stałe, stąd też są one powszechnie używane jako efektywne napełniacze smarów plastycznych. W literaturze tribologicznej jest opisany obszerny materiał doświadczalny dotyczący analizy wpływu rodzaju, stanu i stężenia napełniacza (smaru stałego) na efektywność smarowania stalowych skojarzeń ślizgowych, np. [L. 2, 8–11, 17]. W publikacjach tych celowość przyjęcia określonego smaru plastycznego jako bazy do modyfikacji uzasadnia się najczęściej małą jego odpornością na zatarcie [L. 3]. Brak w dostępnej literaturze informacji na temat wpływu składu chemicznego (dodatków uszlachetniających) w smarze plastycznym na efektywność smarowania utworzonych na jego bazie kompozycji ze smarem stałym był inspiracją do zajęcia się tym zagadnieniem. Do pełnienia funkcji napełniacza przyjęto dwa smary stałe, tj. proszek PTFE (policzterofluoroetylen) i proszek miedzi. Przyjęcie tych smarów wynikało z dwóch powodów. Są one często stosowane w badaniach nad zwiększeniem efektywności smarowania smarów plastycznych przez ich napełnienie smarami stałymi oraz to, że wywołują one podczas pracy stalowego wężła ślizgowego efekt synergistyczny [L. 12, 13]. Stąd też zbadanie wpływu składu smaru plastycznego bazowego na efekt synergistyczny z tymi napełniaczami był dodatkowym argumentem przy ich wyborze.

METODA I WARUNKI BADAŃ

Eksperyment realizowano na standardowym aparacie czterokulowym produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu według PN-76/C-04147 „Badanie własności smarnych olejów i smarów”. Zgodnie z tą normą do oceny efektywności badanych kompozycji przyjęto trzy wskaźniki: obciążenie zespawania F_z , graniczne obciążenie zużycia G_{oz} oraz zużycie kulek d . Na wykresie przedstawiającym zależność zużycia kulek od obciążenia nadanego $d = f(F)$ wartość F_z ilustruje punkt będący początkiem wektora rysowanego linią kreskową. Jako napełniaczy użyto proszku miedzi i proszku PTFE. Analizowano kompozycje zawierające 1% i 6% wagowych jednego z przyjętych napełniaczy oraz kompozycję zawierającą oba napełniacze w ilości po 6% wagowo. Kompozycje smarowe przygotowywano za pomocą miksera. Odważoną porcję smaru plastycznego i smaru stałego (napełniacza) mieszano przez 30 minut przy prędkości mieszadła $n = 800$ obr./min. Czas mieszania $t = 30$ minut został ustalony doświadczalnie według kryterium równomiernego rozkładu cząstek napełniaczy w nośniku plastycznym. Równomierność tę oceniano wzrokowo, porównując tworzoną kompozycję pod mikroskopem biologicznym po 10, 20 i 30 minutach mieszania. Czas mieszania 30 minut spełniał wymóg przyjętego kryterium. Wartość zużycia oraz obciążenie zespawania F_z ustalano na podstawie

10-sekundowych biegów zespołu czterech kulek stalowych (trzy nieruchome, dociśnięte czwartą, obracającą się z $n = 1450$ obr./min) zanurzonych w badanym smarze. Wartość granicznego obciążenia zużycia G_{oz} wyliczano z wielkości średniej średnicy skaz powstałych na nieruchomych kulkach pracujących przez 60 sekund przy obciążeniu nadanym $F = 150$ daN. Pomiaru zużycia kulek dokonywano w kierunku równoległym i prostopadłym do śladu zużycia. Ślady mniejsze od 1 mm mierzono pod mikroskopem z dokładnością do 0,01 mm, a pozostałe – za pomocą lupki z dokładnością do 0,1 mm. Wszystkie próby powtarzano zawsze pięciokrotnie. Wyniki opracowano statystycznie przy poziomie ufności 95%, stosując test t-Studenta

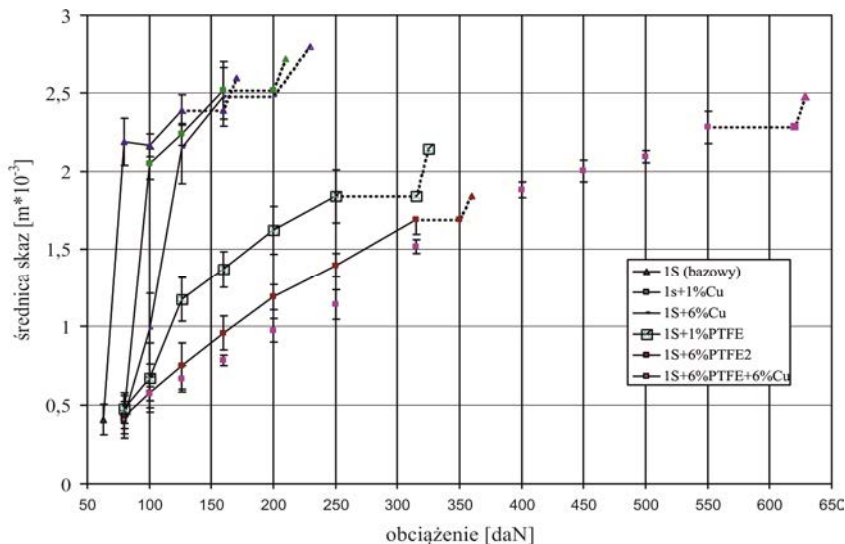
WYKAZ MATERIAŁÓW I ICH KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA

Do badań zastosowano następujące materiały:

1. Kulki łożyskowe ze stali ŁH15 (100Cr6) i średnicy 12,7 mm wykonane w 16 klasie dokładności i grupie wymiarowej $S = 0$ μm . Pozostałe cechy kulek były zgodne z normą PN-83/M-86452.
2. Proszek miedzi o granulacji do 40 μm . Został on wyprodukowany w Zakładach Metalurgicznych w Trzebini. Jest to elektrolityczny proszek otrzymany w wyniku katodowego osadzania w procesie elektrolizy wodnych roztworów siarczanu miedzi.
3. Policzterofluoroetylen (PTFE) – suspensyjny tarflen, produkcji Zakładów Azotowych w Tarnowie. Ma on gęstość 2,185 g/cm^3 i granulację od 20 do 40 μm . Polimer ten dodany wspólnie z proszkiem miedzi do smaru litowego wywołuje w procesie tarcia efekt synergistyczny [L. 13].
4. Smar samochodowy 1S (produkt rynkowy) jako nośnik (smar bazowy) dla tworzonych kompozycji z PTFE lub miedzią. Smar ten zawierał potrójny dodatek uszlachetniający, tj. antykorozyjny (1,5%), antyutleniający (0,5%) oraz adhezyjny (0,2%). Według [L. 9] charakteryzuje się on najgorszymi właściwościami smarnymi spośród trzech smarów przeznaczonych do smarowania łożysk ślizgowych, tj. smaru STP, smaru samochodowego 1S i Maszynowego 2.
5. Smar samochodowy 1S bez dodatków uszlachetniających. Zawierał on tylko zagęszczacz litowy (12-hydroksystearynian litu) w ilości tej samej co produkt handlowy, tj. 5,5%. Pozostałe cechy były niezmienione, tj. bazą był olej rafinowany selektywnie, odparowany rozpuszczalnikiem i hydorafinowany olej z parafinowo-siarkowej ropy naftowej w ilości 94,5%. Jego charakterystyka: wskaźnik lepkości 89, lepkość kinematyczna w temp. 100°C – 8,6 mm^2/s , temperatura krzepnięcia -20°C, pozostałość po koksovaniu – 0,04%. Został on wyprodukowany w Przedsiębiorstwie Doświadczalno-Produkcyjnym „NAFTOCHEM” w Krakowie. Smarowi temu nadano nazwę SB.

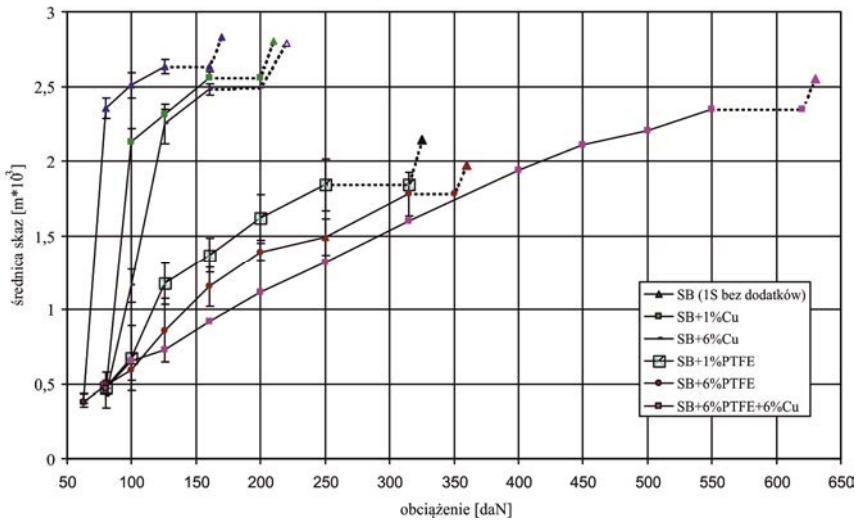
WYNIKI BADAŃ I PODSUMOWANIE

Zestawienie wyników badań w postaci zależności zużycia kulek od obciążenia dla analizowanych smarów przedstawiono na **Rys. 1** i **2**. Na **Rys. 1** zilustrowano wyniki uzyskane z badania kompozycji sporządzonych na bazie smaru 1S, a na **Rys. 2** z smaru SB, tj. 1S bez dodatków uszlachetniających. Wartości granicznego obciążenia zużycia G_{oz} pokazano na **Rys. 3**. Wartość wskaźnika granicznego obciążenia zużycia G_{oz} dla obydwu smarów (1S, SB) jest równa zero, ponieważ podczas badań nastąpiło zespawanie kulek w czterech próbach na sześć wykonanych. Porównując wartości wielkości kryterialnych, tj. zużycia kulek d , obciążenia zespawania F_z i wskaźnika granicznego obciążenia zużycia G_{oz} widać, że dodatki uszlachetniające (antykorozyjny, antyutleniający i adhezyjny) w smarze litowym 1S nie mają istotnego wpływu na efektywność smarowania utworzonych na jego bazie kompozycji z proszkiem PTFE lub miedzi. Brak tego wpływu występuje zarówno przy małej (1%) jak i dużej (6%) zawartości napełniacza. Przykładowo obciążenie zespawania przy smarowaniu kompozycją zawierającą 1S z 1% miedzi wynosiło 160 daN i było takie samo jak przy smarowaniu kompozycją sporządzoną na bazie smaru bez przedmiotowych dodatków uszlachetniających (SB).



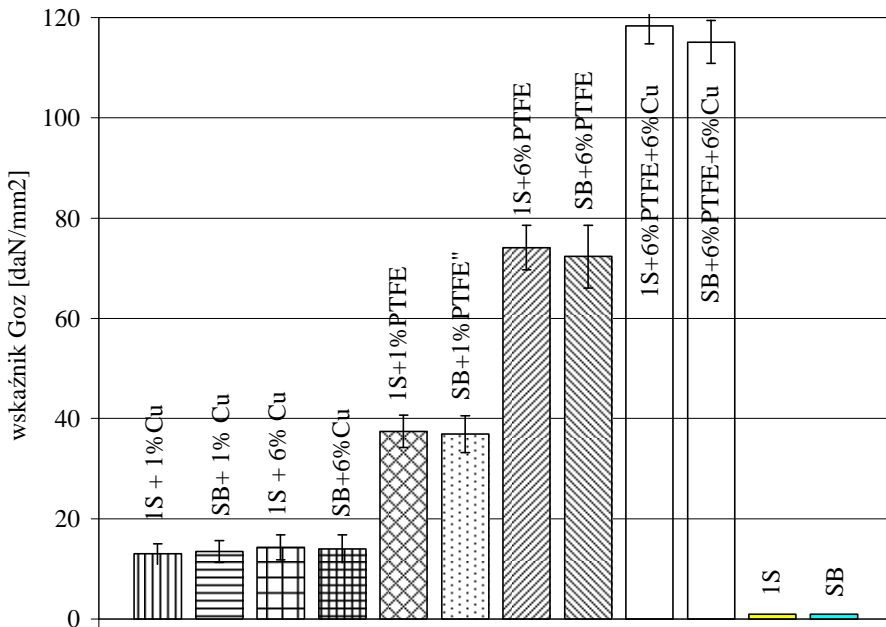
Rys. 1. Zależność zużycia kulek (średnicy skaz) od obciążenia nadanego dla kompozycji sporządzonych na smarze 1S

Fig. 1. Wear rate (scar diameter) as function of load for composition prepared on 1S grease



Rys. 2. Zależność zużycia kulek (średnicy skaz) od obciążenia nadanego dla kompozycji sporządzonych na smarze SB

Fig. 2. Wear rate (scar diameter) as function of load for composition prepared on SB greas



Rys. 3. Wskaźnik granicznego obciążenia zużycia G_{oz} dla badanych smarów

Fig. 3. Limit wear load index G_{oz} for tested greases

Również przy zawartości 6% proszku miedzi obciążenie zespawania nie uległo podwyższeniu i było identyczne dla obu baz – 160 daN. W przypadku modyfikacji proszkiem PTFE wystąpiło takie samo wyraźne zwiększenie obciążenia zespawania w stosunku do kompozycji z 1% Cu (do 250 daN), jak również taki sam wpływ stężenia PTFE, tj. wzrost obciążenia zespawania do 315 daN przy 6% zawartości napełniacza. Ten brak wpływów analizowanych dodatków uszlachetniających w smarze samochodowym 1S na efektywność smarowania utworzonych z jego udziałem kompozycji z PTFE i Cu potwierdza ją również otrzymane wartości wskaźnika granicznego obciążenia zużycia G_{oz} . Występujące różnice w wartościach G_{oz} są małe i nie przekraczają 5%. Przykładowo przy smarowaniu kompozycją z 1% PTFE, wskaźnik G_{oz} miał wartość odpowiednio 37,4 i 36,9 daN/mm², a dla kompozycji z 6% PTFE wartość 74,1 i 72,3 daN/mm². Należy zaznaczyć, że brak dodatków uszlachetniających w smarze SB nie miał również wpływu na wystąpienie synergizmu proszku PTFE i Cu. Przy smarowaniu obydwooma kompozycjami zawierającymi 6% PTFE i 6% miedzi, niezależnie od składu smaru bazowego 1S, efekt współdziałania tych dwóch napełniaczy był większy od sumy ich pojedynczych działań, co nazywa się synergizmem [L. 13]. Na przykład przy smarowaniu kompozycją 1S+6%Cu wskaźnik $G_{oz} = 14$ daN/mm² i przy smarowaniu 1S+6%PTFE – $G_{oz} = 74,1$ daN/mm². Ich suma 88,1 daN/mm² jest dużo mniejsza od wartości G_{oz} otrzymanej przy smarowaniu kompozycją 1S+6%PTFE + 6%Cu – 118,3 daN/mm². Podobny efekt wystąpił przy smarowaniu identycznymi kompozycjami wykonanymi na bazie smaru 1S bez dodatków uszlachetniających. I tak dla kompozycji SB+6% Cu wskaźnik $G_{oz} = 14$ daN/mm², dla SB+6%PTFE- $G_{oz} = 72,3$ daN/mm². Zatem ich suma 86,3 daN/mm² jest też dużo mniejsza od uzyskanej przy smarowaniu kompozycją SB + 6%PTFE + 6%Cu, dla której $G_{oz} = 115,1$ daN/mm². Analogicznie na przykładzie trzeciej wielkości kryterialnej, tj. zużycia kulek d (mierzonego średnicą śladu wytarcia kulki) potwierdza się brak istotnego wpływu dodatków uszlachetniających w smarze samochodowym 1S na efektywność smarowania kompozycjami utworzonymi na jego bazie z PTFE i miedzią jako napełniaczami.

Podsumowując uzyskane wyniki eksperymentu z analizy wpływu trzech dodatków uszlachetniających (antykorozyjnego (1,5%), antyutleniającego (0,5%), adhezyjnego (0,2%) w smarze litowym 1S na efektywność smarowania stalowych węzłów ślizgowych kompozycjami tego smaru z PTFE lub miedzią, można stwierdzić, że:

- potrójny dodatek uszlachetniający (antykorozyjny, antyutleniający i adhezyjny) w handlowym smarze litowym 1S nie wywiera negatywnego wpływu na efektywność smarowania smarem 1S napełnionym proszkiem PTFE lub miedzi w ilości do 6% wagowych,

- uogólnienie tego wniosku na wszystkie smary litowe wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań wyjaśniających wpływ większych stężeń przedmiotowych dodatków, jak również wpływ innych dodatków, np. AW czy EP.

LITERATURA

1. Bakašvili D.L., Imerli Vili T.V.: Prognozirovanie toščiny plenki płašticnyh smazok v uprugogidrodinamičeskich kontaktach, *Trenie i iznos* 1987, T.8, No 2, s. 236–243.
2. Braitwaite E.R.: *Lubrication and Lubricants*, Elsevier Publishing Comp., Amsterdam, London, New York, 1967.
3. Evdokimov I.N., Eliseev N.Ju., Pičugin V.F., Sjunjaev R.Z.: Issledovanie prirody protivoznosnogo dejstvija metallosoderžaščich prisadok k smazočnym materialom, *Trenie i iznos*, 1989, T. 10, No 4, s. 699–705.
4. Fuks I.G.: *Dobavki k płašticnym smazkam*, Moskva, Chimja, 1982. Moskva, 1977.
5. Garkunov D.N.: *Tribotechnika*, Moskva, Mašinostroenie, 1985.
6. Kragelskij I.V.: Frikcionnoje vzaimodejstvie tverdyh teł, *Trenie i iznos*, 1980, T. 1, No 1, s. 12–29.
7. Kragelskij I.V., Dobycin M.N., Kombalov V.S.: *Osnovy rasčetov na trenje i iznos*, Mašinostroenie, Moskva, 1977.
8. Krawiec S.: Analiza wpływu stężenia proszku miedzi w litowym smarze plastycznym na efektywność smarowania skojarzeń stalowych. *Tribologia* nr 3/2008 (219), s. 47–56.
9. Krawiec S.: Wpływ ilości MoS₂ w smarze plastycznym na efektywność smarowania łożysk ślizgowych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, PAN, 1991, vol. 26, z. 1, s. 47–58.
10. Krawiec S.: Wpływ rodzaju napełniacza w smarze plastycznym na efektywność smarowania w stalowych skojarzeniach ślizgowych. *Tribologia* nr 2/2009 (224), s. 53–61.
11. Krawiec S., Lawrowski Z.: Wpływ zawartości grafitu w smarze plastycznym na skuteczność smarowania, XX Jesienna Szkoła Tribologiczna, *Tribologia*, nr 5/95 (143), s. 536–544.
12. Krawiec S.: On the mechanism of the synergistic effect of PTFE and copper In lithium grease lubricant, *Industrial Lubrication and Tribology*, Vol. 63, No 3, 2011, pp. 171–177.
13. Krawiec S.: The synergistic effect of copper powder with PTFE in a grease lubricant under mixed friction conditions. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2011, vol. 11, nr 2, s. 379–390.
14. Lawrowski Z., Krawiec S., Czarny R.: *Smarowanie węzłów ślizgowych w warunkach tarcia mieszanego*. Raport serii SPRAWOZDANIA nr s-026/94. Wrocław 1994.
15. Švarcman V.Š., Šojchet V.H., Imerlišvili T.V., Čhaidze G.R.: Toščina plenki płašticnyh smazok prirazličnych režimach raboty tjaželonagružennych uprugogidrodinamičeskich kontaktov, *Trenie i iznos*, 1988, T. 9, No 1, s. 129–136.

16. Wachal A., Kulczycki A.: Trybologiczne własności smarów plastycznych zawierających polimery niskotarciowe, Trybologia, 1986, Nr 4–5, s. 21–23.
17. Vielikovskij D.S., Poddubnyj V.N.: Konsistentne smazki, Moskva, Izd. Chimia, 1996.

Summary

The article presents the results of experimental studies on the effects of additives in grease on the lubrication efficiency (steel sliding nodes) of its compositions using one filler – powder PTFE (polytetrafluoroethylene) or copper. Analysis covered lubricating compositions created based on lithium grease 1S with additives – adhesive and antioxidant (commercial grease) and the compositions of the same lubricant without additives. Tested compositions contained 1 and 6% by weight of one adopted filler. Investigations were carried out using a standard four-ball extreme pressure tester in accordance with PN-76/C-04147 "Tests of Oils and Lubricants." The effectiveness of the lubrication of the following oils based on three criteria were examined, i.e. balls wear "d," welding load "F_z" and limit wear load index "G_{oz}." The results were statistically handled at a confidence level of 95% using Student's t-test. The obtained results were presented graphically. They allow a qualitative assessment of the impact of the composition of the grease 1S to improve the lubrication efficiency of composition grease-additive applied to the steel sliding nodes working in a mixed friction area.

