

Stanisław KRAWIEC*

**WPLYW RODZAJU NAPEŁNIACZA W SMARZE
PLASTYCZNYM NA EFEKTYWNOŚĆ
SMAROWANIA W STALOWYCH SKOJARZENIACH
ŚLIZGOWYCH**

**THE INFLUENCE OF THE TYPE OF FILLER IN GREASE
ON THE LUBRICATION EFFICIENCY SLIDING STEEL
NODES**

Słowa kluczowe:

smary plastyczne, napełniacze, efektywność smarowania

Key-words:

grease, fillers, lubrication efficiency

Streszczenie

Przedstawiono badania wpływu rodzaju napełniacza w smarze plastycznym na efektywność smarowania stalowych węzłów ślizgowych pracujących w obszarze tarcia mieszanego. Analizie poddano kompozycje smarowe otrzymane przez napełnienie smaru litowego 1S proszkiem (w ilo-

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

ści 6% wagowo) wybranego przedstawiciela z każdego rodzaju smarów stałych. W szczególności napełniaczem był: dwusiarczek molibdenu i grafit – z grupy związków o strukturze warstwowej, trójtlenek antymonu – z grupy związków metali o niskiej twardości, miedź i ołów – z grupy miękkich metali oraz PTFE i POM reprezentujący organiczne ciała stałe. Własności smarne przyjętych kompozycji oceniano na podstawie eksperymentu tribologicznego przeprowadzonego na aparacie czterokulowym zgodnie z wytycznymi normy PN-76/M04147. Efektywność smarowania oceniano według czterech wielkości kryterialnych, tj. zużycia kulek d , obciążenia zespawania F_z , granicznego obciążenia zużycia G_{oz} oraz wskaźnika zużycia I_h . Wyniki eksperymentu zostały opracowane statystycznie przy poziomie ufności 95%, stosując test t-Studenta. Opracowane wartości wskaźnika zużycia I_h , granicznego obciążenia zużycia G_{oz} oraz charakterystyki zużycia od obciążenia nadanego i obciążenia zespawania F_z przedstawiono graficznie na **Rys. 1, 2 i 3**. Stwierdzono, że dokonanie uogólnienia odnośnie do wpływu napełniaczy z tej samej grupy smarów stałych na poprawę efektywności smarowania kompozycji z ich udziałem nie jest możliwe, gdyż nie występuje jednoznaczna korelacja pomiędzy przynależnością napełniacza do określonej grupy smarów stałych, a wywołaną poprawą efektywności.

WPROWADZENIE

Najprostszym a równocześnie bardzo skutecznym sposobem poprawienia efektywności smarów plastycznych jest wprowadzenie w skład tych smarów tzw. napełniaczy, tj. substancji o zróżnicowanym stężeniu, nierozpuszczalnych w plastycznej osnowie i niezaburzających struktury koloidalnej smaru [L. 1, 2]. Mechanizm zwiększenia efektywności smaru plastycznego przez napełnienie go napełniaczem jest poznany i opisany w literaturze np. [L. 3–7]. Ujmując zagadnienie najogólniej polega on na wytworzeniu w procesie tarcia na współpracujących powierzchniach cieniutkiej warstewki silnie związanej fizycznie lub chemicznie z podłożem, charakteryzującej się dużą plastycznością i wytrzymałością cieplną. Najważniejszą funkcją napełniacza w smarze jest polepszenie jego właściwości przeciwzatarciowych i przeciwzużyciowych mających szczególne znaczenie dla węzłów działających w ekstremalnych warunkach, tj. przy dużych naciskach i małych prędkościach poślizgu. Napełniacz ma również polepszać właściwości ślizgowe kompozycji smarnej, powodu-

jąc zmniejszenie strat tarcia. Wymienione funkcje bardzo dobrze spełniają smary stałe, stąd też są one bardzo często używane jako efektywne napełniacze smarów plastycznych. W literaturze tribologicznej można znaleźć wiele opracowań poświęconych efektywności smarów plastycznych napełnionych proszkami różnych smarów stałych, ale dokładne przeprowadzenie na ich podstawie ilościowej oceny efektywności smarowania kompozycji z różnymi napełniaczami jest praktycznie niemożliwe. Główną przyczyną tego jest brak zachowania tych samych warunków realizacji eksperymentu. Najczęściej różnice występują w wartościach parametrów wymuszeń (nacisku i prędkości poślizgu), geometrii węzła ślizgowego, zawartości procentowej napełniacza w smarze plastycznym, rodzaju smaru plastycznego będącego bazą w tworzonych kompozycjach, jak również stosowanych kryteriów oceny efektywności smarowania i metod badawczych. W Zakładzie Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii Politechniki Wrocławskiej przeprowadzono badania kompozycji, w których napełniaczem byli wybrani przedstawiciele z każdej grupy smarów stałych według podziału w [L. 8], tj. z grupy: związków o strukturze warstwowej, związków metali o niskiej twardości bez struktury warstwowej, miękkich metali plastycznych i nieorganicznych materiałów plastycznych oraz organicznych ciał stałych.

METODA I WARUNKI BADAŃ

Badania były prowadzone na standardowym aparacie czterokulowym, produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, z zastosowaniem wytycznych normy PN-76/C-04147 „Badanie własności smarnych olejów i smarów”. Do oceny skuteczności działania badanych kompozycji przyjęto cztery wielkości: obciążenie zespawania F_z , graniczne obciążenie zużycia G_{oz} , wskaźnik zużycia pod obciążeniem I_h oraz zużycie kulek d . Na wykresie przedstawiających zależność zużycia kulek od obciążenia nadanego $d = f(F)$, wartość F_z ilustruje punkt będący początkiem wektora rysowanego linią kreskową. Analizowano kompozycje zawierające 6% wagowych przyjętych napełniaczy. Wartość zużycia, wskaźnika zużycia pod obciążeniem I_h 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 nierucho-

mych 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. Smar samochodowy 1S jako nośnik (smar bazowy) dla tworzonej kompozycji z wytypowanymi smarami stałymi. Smar ten, jak wykazały badania [L. 9], charakteryzuje się najgorszymi właściwościami smarnymi spośród trzech analizowanych smarów przeznaczonych do smarowania łożysk ślizgowych, tj. smaru STP, 1S i maszynowego.
2. Kulki łożyskowe ze stali ŁH15 o średnicy 12,7 mm wykonane w 16 klasie dokładności i grupie wymiarowej $S = 0$ μm .

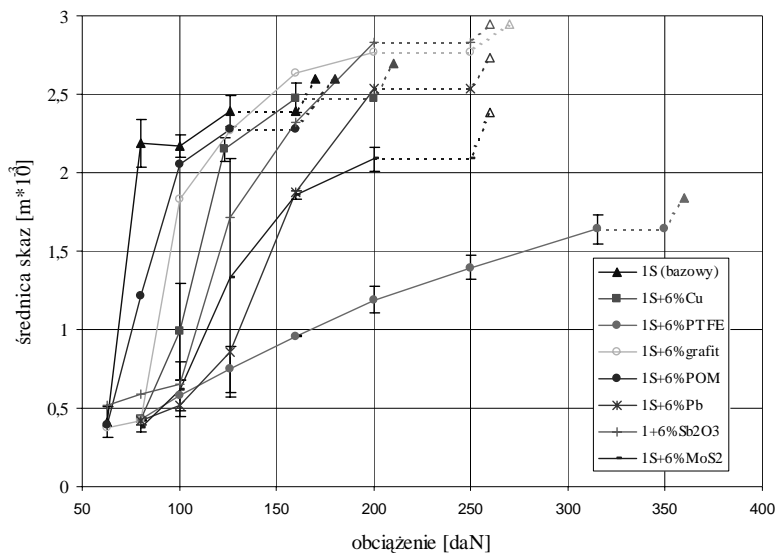
Do pełnienia funkcji napełniacza wybrano po jednym lub dwóch reprezentantach z każdej grupy smarów stałych, tj.:

1. Dwusiarczek molibdenu i grafit (związki o strukturze warstwowej) jako najwcześniej i powszechnie stosowane w technice smarowniczej. Są one pochodzenia naturalnego, dwusiarczek molibdenu (MoS_2) ma ziarna o wielkości do 10 μm , a grafit do 8 μm . Oba smary są używane przez krajowych wytwórców do produkcji smarów plastycznych.
2. Trójtlenek antymonu (Sb_2O_3) (związki metalu o niskiej twardości bez struktury warstwowej) o granulacji do 50 μm . Według Golego [L. 10] antymon należy do grupy metali i stopów, które nie wykazują skłonności do szepiania.
3. Proszek miedzi i ołowiu (miękkie metale i nieorganiczne materiały plastyczne). Miedź wykazuje zdolność do wyrównywania (szpachlowania) stalowego podłoża oraz charakteryzuje się małą wartością naprężeń ścinających. Proszek miedzi o granulacji do 40 μm jest otrzymywany w wyniku katodowego osadzania w procesie elektrolizy wodnych roztworów siarczanu miedziowego. Układ ziaren proszku jest dendrytyczny. Proszek ołowiu ma cząstki o kształcie kulistym i średnicy do 63 μm . Ołów jest składnikiem stopów łożyskowych oraz kompozytów łożyskowych firmy Glacier (kompozyty typu DX).

4. Policzterofluoroetylen (PTFE) i polioksymetylen (POM) (organiczne ciała stałe). PTFE został wybrany z uwagi na jego osobliwe własności fizykochemiczne i charakterystyki tribologiczne [L. 9]. Proszek PTFE to suspensyjny tarflen, produkcji Zakładów Azotowych w Tarnowie. Ma on gęstość $2,185 \text{ g/cm}^3$ i granulację od 20 do $40 \mu\text{m}$. POM – tarform, o granulacji do $50 \mu\text{m}$ należy do grupy poliacetali, związków zawierających powtarzający się mer CHRO i żywice poliacetalowe. Polimer ten używany jest przede wszystkim jako tworzywo konstrukcyjne. Został on wybrany z uwagi na jego korzystne charakterystyki przy tarcii suchym [L. 11].

WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

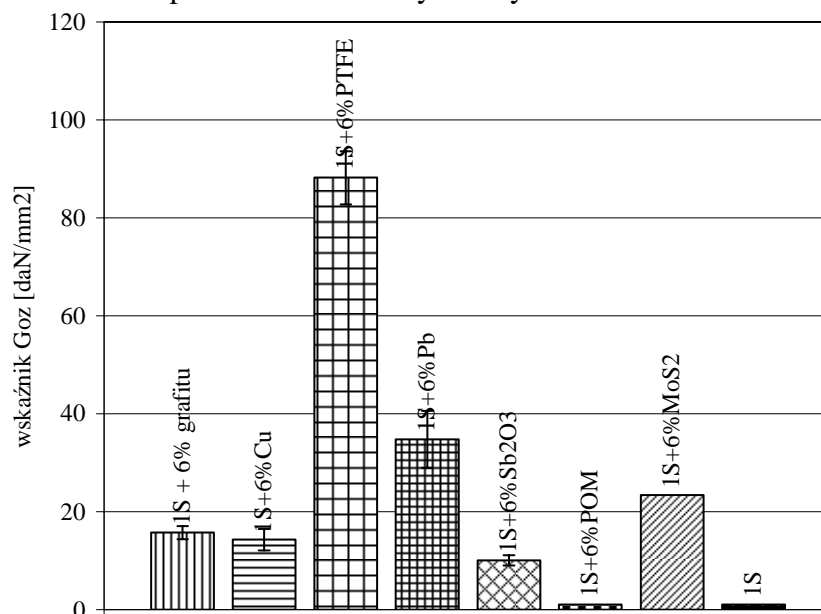
Zestawienie wyników badań w postaci zależności zużycia kulek od obciążenia dla analizowanych kompozycji przedstawiono na **Rysunku 1**. Obliczone wartości granicznego obciążenia zużycia G_{oz} oraz wskaźnika zużycia I_h zilustrowano na **Rys. 2** i **3**. Dodatkowo na wszystkich rysunkach w celach porównawczych zamieszczono charakterystykę dla smaru 1S, który był bazą dla przygotowywanych kompozycji smarnych.



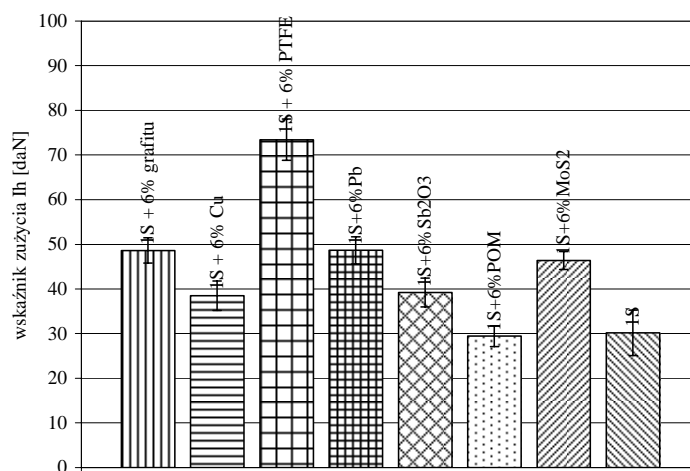
Rys. 1. Zależność zużycia kulek (średnicy skaz) od obciążenia nadanego dla badanych smarów

Fig. 1. Wear rate (scar diameter) as function of load for tested greases

Wartość wskaźnika G_{oz} dla smaru bazowego 1S oraz dla kompozycji z POM jest równa zero, ponieważ podczas badań nastąpiło zespawanie kulek w czterech próbach na sześć wykonanych.



Rys. 2. Wskaźnik granicznego obciążenia zużycia G_{oz} dla badanych smarów
Fig. 2. Limit wear load indices G_{oz} for tested greases



Rys. 3. Wskaźnik zużycia I_h dla badanych smarów
Fig. 3. Wear rate indices I_h for tested greases

Porównując wartości wielkości kryterialnych, tj. zużycia, obciążenia zespawania, wskaźnika zużycia oraz granicznego obciążenia zużycia, widać, że wpływ proszków smarów stałych jako napełniaczy smaru litowego 1S, na polepszenie charakterystyk tribologicznych utworzonych kompozycji, przy smarowaniu powierzchni stalowych jest różny i nie zależy jednoznacznie od przynależności napełniacza do danej grupy smarów stałych [L. 8]. Przykładem mogą być proszki POM i PTFE, które należą do organicznych ciał stałych. Kompozycje z POM nie zwiększają efektywności smarowania badanych stalowych skojarzeń ślizgowych, a z PTFE bardzo znacząco ją powiększają. Dla kompozycji z POM wszystkie cztery przyjęte wielkości kryterialne nie różnią się od uzyskanych przy smarowaniu smarem bazowym 1S. Przy smarowaniu kompozycją z PTFE wzrost przedmiotowych wielkości jest bardzo duży i największy ze wszystkich analizowanych napełniaczy. Przykładowo, obciążenie zespawania dla tej kompozycji ma wartość 350 daN, co stanowi wzrost o 218% w stosunku do uzyskanej przy smarowaniu 1S niezmodyfikowanym (160 daN). Również zużycie kulek przy obciążeniu 315 daN i smarowanych tą kompozycją ma wartość 1,64 mm i jest mniejsze o ok. 40% od występującego podczas testów kulek smarowanych 1S nienapełnionym (2,39 mm), a pracujących przy 2,5-krotnie mniejszym obciążeniu – 126 daN. Pozostałe wielkości kryterialne, tj. wskaźnik I_h i G_{oz} zostały polepszone w podobnym stopniu. Oceniając ilościowo wpływ badanych napełniaczy na efektywność smarowania widać, iż jest on różny i w stosunku do smaru bazowego 1S można go ująć w cztery grupy: brak wpływu – przy wypełnieniu proszkiem POM, nieznaczny – przy miedzi, średni – przy trójtlenku antymonu, graficie, ołowiu i dwusiarczku molibdenu oraz bardzo duży przy użyciu PTFE.

Wyniki badań nad wpływem rodzaju smaru stałego, jako napełniacza w smarze plastycznym litowym 1S, na charakterystyki tribologiczne węzłów ślizgowych pracujących przy tarciu mieszanym można podsumować następująco:

1. Dokonanie uogólnienia odnośnie do wpływu napełniaczy z tej samej grupy smarów stałych na poprawę efektywności smarowania kompozycji z ich udziałem nie jest możliwe, gdyż nie występuje jednoznaczna korelacja pomiędzy przynależnością napełniacza do określonej grupy smarów stałych [L. 8] a wywołaną poprawą wielkości kryterialnych.
2. Przedstawione charakterystyki tribologiczne mogą służyć do oceny jakościowej wpływu analizowanych napełniaczy na efektywność smarowania stalowych skojarzeń ślizgowych, gdyż zostały opracowane na

podstawie wyników eksperymentu przeprowadzonego w tych samych warunkach. Analizowane napełniacze według rosnącej efektywności smarowania tworzą następujący szereg: miedź, trójtlenek antymonu, grafit, ołów, dwusiarczek molibdenu i policzterofluoroetylen.

3. Materiał polimerowy, które wykazuje dobre charakterystyki tribologiczne, gdy jest stosowany jako materiał konstrukcyjny w budowie węzłów ślizgowych (np. panewki), nie musi być równocześnie efektywnym napełniaczem smarów plastycznych. Polioksymetylen (POM) użyty w postaci proszku jako napełniacz smaru 1S nie zwiększa efektywności smarowania utworzonej kompozycji.

LITERATURA

1. Fuks I.G.: Dobavki k plastičnym smaskam, Moskva, Chimja 1982.
2. Wachal A., Kulczycki A.: Trybologiczne własności smarów plastycznych zawierających polimery niskotarciowe, Tribologia, 1986, Nr 4–5, s. 21–23.
3. Buckley H.: Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication, Elsevier, New York, 1981.
4. Rajbov D.V., Fuks I.G., Bujanovski I.A.: Vlijanie medsoederžaščich do-bavok na antifrik cionnye svojstva plastičnych smazok, Trenie i iznos, 1989, T. 10, No 6, s. 1100–1104.
5. Kar M.K., Bahadur S.: Micromechanism of Wear at Polymer – Metal Sliding Interface, Wear, 1978, Vol. 46, No. 1, pp. 189–202.
6. Senatrev A.N., Smurugov V.A., Savkin V.G.: K mechanizmu frikcionnogo perenosa i samosmazivanija PTFE, Trenie i iznos, 1991, T. 12, No 6, s. 1023–1027.
7. Stolarski T., Olszewski O.: An experimental study of the frictional mechanism in a journal bearing lubricated with grease containing powdered PTFE, Wear, 39(1976)2.
8. Płaza S., Margielewski L., Celichowski G.: Wstęp do tribologii i tribochemia, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
9. Krawiec S.: Wpływ synergizmu wybranych napełniaczy w smarze na zwiększenie trwałości ślizgowych węzłów maszyn, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 1998.
10. Golego N.L.: Schvatyvanije v mašinach i metody jego ustranienija, Kijev, Izdatelstvo Technika, 1965.
11. Capanidis D.: Badania tribologiczne kompozytów ślizgowych na bazie polioksymetylenu (POM) – Tarnoformu, Tribologia, 2004 nr 3, s. 25–33.

Recenzent:
Jolanta DRABIK

Summary

In the paper, investigations of the influence of the type of filler in grease on lubrication efficiency in steel sliding nodes working in mixed lubrication conditions are presented. The analysed fillers (presenting each solid oil) contents 6 weight percent of 1S automobile grease. In particular disulfide of molybdenum, graphite, trioxide of antimony, cooper, lead, PTFE and POM as the filler were used. The tribological testing was carried out in agreement with the prescriptions of the Polish standard PN-76/C-04147 using a four-ball apparatus. The efficiency of the tested compositions was evaluated using four criteria: ball wear d , limiting wear load G , and seizure load F_z , wear index I_h . The results were statistically handled at a confidence level of 95% using Student's t-test. Obtained values of wear index I_h , limiting wear load G and characteristics ball wear in function of applied load and seizure load F_z on graph 1, 2 and 3 are presented. It was found that generalisation in relation to the influence of fillers (this same sort of solid oils) on improvement of lubrication efficiency of the tested compositions is impossible. Unequivocal correlation between the connection of the filler with defined sort of solid oils and produced improvement of efficiency does not occur.

