

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

## **WPLYW RODZAJU ZAGĘSZCZACZA W KOMPOZYCJI SMAR PLASTYCZNY- -NAPEŁNIACZ NA EFEKTYWNOŚĆ SMAROWANIA**

### **INFLUENCE OF THE TYPE OF FILLER IN GREASE- -THICKENER COMPOSITION ON LUBRICATION EFFICIENCY**

#### **Słowa kluczowe:**

smary plastyczne, napelniacze, efektywność smarowania

#### **Key words:**

grease, fillers, lubrication efficiency

#### **Streszczenie**

Przedstawiono badania wpływu rodzaju zagęszczacza w smarze plastycznym, który zmodyfikowano (napelniono) smarem stałym, na efektywność smarowania stalowych węzłów ślizgowych pracujących w ob-

---

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław.

\*\* Uniwersytet Ekonomiczny, Instytut Chemii i Technologii Żywności, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław.

szarze tarcia mieszanego. W wyniku badań wstępnych do analizy przyjęto dwa smary handlowe, tj. smar samochodowy 1S z zagęszczaczem litowym oraz Maszynowy 2 z zagęszczaczem wapniowym. Kompozycje do badań otrzymywano przez napełnienie przyjętych smarów proszkiem smaru stałego w ilości 4% wagowo. Napełniaczami były powszechnie stosowane smary stałe, tj. dwusiarczek molibdenu, grafit, PTFE i miedź. Własności smarne przyjętych kompozycji oceniano na podstawie eksperymentu tribologicznego przeprowadzonego na aparacie czterokulowym zgodnie z wytycznymi normy PN-76/M04147. 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. Opracowane wyniki badań przedstawiono graficznie. Pozwalają one dokonać oceny jakościowej wpływu zagęszczacza litowego i wapniowego na poprawę efektywności smarowania kompozycji smar plastyczny–napełniacz w zastosowaniu do stalowych węzłów ślizgowych działających przy tarcu mieszanym. Podano stosowne wnioski.

## WPROWADZENIE

Wiele ślizgowych węzłów tarcia, z powodu ruchu wahadłowego lub posuwisto-zwrotnego, pracuje ciągle przy tarcu mieszanym. Zgodnie z postulatem Kragielskiego [L. 1, 2] warunkiem koniecznym do normalnego przebiegu tarcia i zużycia w węzłach ślizgowych działających w tym obszarze tarcia jest zapewnienie warstwie wierzchniej współpracujących elementów dodatniego gradientu wytrzymałości na ścinanie. Optymalizację wartości tego gradientu według kryterium minimum tarcia i zużycia prowadzi się, poprawiając własności tribologiczne zarówno współpracujących materiałów, jak i środka smarnego. Działania zmierzające do zwiększenia dodatniego gradientu przez smarowanie są bardzo efektywne [L. 3]. Teoria i praktyka dowodzą, że skutecznymi substancjami do smarowania węzłów ślizgowych pracujących przy tarcu mieszanym są smary plastyczne. Ich duża efektywność jest spowodowana zdolnością do tworzenia grubych warstw granicznych. Badania [L. 4, 5] 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 komponenty smarów plastycznych nie zapewniają

im dobrych własności smarnych w zakresie dużych obciążeń. Powodem tego jest stosunkowo niska temperatura desorpcji warstwy granicznej utworzonej na smarowanych powierzchniach współpracujących elementów. Polepszenie tych własności można osiągnąć różnymi metodami.

Najprostszym i efektywnym sposobem jest wprowadzenie w skład smarów plastycznych, tzw. napełniaczy, tj. substancji o zróżnicowanym stężeniu, nierozpuszczalnych w plastycznej osnowie i niezaburzających struktury koloidalnej smaru [L. 6, 7].

W literaturze tribologicznej można znaleźć wiele opracowań poświęconych efektywności smarów plastycznych napełnionych proszkami różnych smarów stałych. Brakuje jednak informacji na temat wpływu rodzaju zagęszczacza w smarze plastycznym, który został zmodyfikowany (napełniany) proszkiem smaru stałego na efektywność smarowania stalowych węzłów ślizgowych. W Zakładzie Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii Politechniki Wrocławskiej przeprowadzono badania tribologiczne kompozycji, które zawierały smar plastyczny z zagęszczaczem litowym lub z zagęszczaczem wapniowym oraz 4% proszku jednego z czterech smarów stałych, tj. dwusiarczku molibdenu, grafitu, PTFE lub miedzi. Wstępnie, do badań przyjęto cztery smary handlowe, dwa z zagęszczaczem litowym, tj. smar samochodowy 1S i smar wielofunkcyjny ŁT-4S2 oraz dwa z zagęszczaczem wapniowym – Maszynowy 2 i STP. Dla smarów tych oznaczono zawartość mydeł (według PN/C-04976) oraz oceniono efektywność smarowania w testach na aparacie czterokulowym. Z uwagi na brak istotnych różnic w uzyskanych charakterystykach tribologicznych smarów z tym samym zagęszczaczem, do dalszych analiz przyjęto smar 1S i Maszynowy 2.

## 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 trzy wielkości: 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 rysowanej linią kreskową. Analizowano kompozycje smaru 1S lub smaru Maszynowego 2, które

zawierały 4% wagowych przyjętych napełniaczy. Wartość tego stężenia przyjęto z uwagi na to, że zarówno badania własne autorów, jak i literaturowe pokazują, że stężenie 4% mieści się w obszarze wartości zalecanych. Również jeden z najlepszych smarów produkcji NAFTOCHEMu – Litomos EP25 ma taką zawartość dwusiarczku molibdenu. Napełniaczami były proszki powszechnie stosowanych smarów stałych, tj. dwusiarczek molibdenu, grafit, PTFE oraz miedź. 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. Smar plastyczny Maszynowy 2. Jest to smar produkowany na bazie rafinowanych olejów o lepkości 6,2–7 cST w 100°C i mydeł wapniowych wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych. Przeznaczony jest on do smarowania łożysk ślizgowych oraz innych powierzchni trących z wyjątkiem łożysk tocznych, w zakresie temperatur od –10°C do 60°C. Może być stosowany w centralnych układach smarowania.
2. Smar plastyczny STP. Zawiera on wysokorafinowany olej mineralny i mydła wapniowe wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych. Zalecany jest do okresowego smarowania podwozi pojazdów mechanicznych, sworzni, przegubów i innych węzłów tarcia. Nie nadaje się do smarowania łożysk tocznych.
3. Smar plastyczny wielofunkcyjny ŁT4S3. Produkowany jest on na bazie oleju mineralnego zagęszczonego mydłami litowymi. Zawiera dodatki polepszające własności smarne oraz o działaniu przeciwkorozyj-

nym i przeciwutleniającym. Jest on przeznaczony do smarowania łożysk tocznych pracujących w warunkach, w których wymagana jest wysoka stabilność mechaniczna, odporność na starzenie oraz własności przeciwkorozyjne smaru.

4. Smar samochodowy 1S – wysokiej jakości smar litowy na bazie hydroksystearynianu litu oraz oleju mineralnego o lepkości rzędu 60–79 mm<sup>2</sup>/s przy 40°C. Zawiera on w swoim składzie hydroksystearynian litu jako zagęszczacz oraz trzy dodatki uszlachetniające – inhibitory utleniania i korozji oraz dodatek adhezyjny. Przeznaczony jest do smarowania przegubów głównego wału napędowego oraz innych samochodowych węzłów ślizgowych.
5. Kulki łożyskowe ze stali ŁH15 o 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.

Do pełnienia funkcji napełniacza wybrano następujące smary stałe:

- dwusiarczek molibdenu (MoS<sub>2</sub>). Jest on związkiem pochodzenia naturalnego o ziarnach wielkości do 10 μm. Dwusiarczek ten stosowany jest aktualnie w NAFTOCHEMie do produkcji molibdenowych smarów plastycznych;
- grafit CR2 o granulacji do 8 μm. Podobnie jak MoS<sub>2</sub> jest on używany przez krajowych wytwórców do produkcji grafityzowanych smarów plastycznych;
- policzterofluoroetylen (PTFE) – suspensyjny tarflen, produkcji Zakładów Azotowych w Tarnowie. Ma on gęstość 2,185 g/cm<sup>3</sup> i granulację od 20 do 40 μm;
- 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. Jakkolwiek miedź zaliczana jest do metali, które wykazują skłonność do szepiania I i II rodzaju [L. 8] (podobnie jak żelazo i jego stopy), to o jej wyborze do pełnienia funkcji napełniacza zadecydowały dwie inne cechy, tj. zdolność miedzi do platerowania stalowej powierzchni podczas tarcia [L. 9] oraz 29-krotnie mniejsze w stosunku do stali naprężanie styczne konieczne do wywołania odkształcenia plastycznego [L. 10].

## ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO SMARÓW PLASTYCZNYCH

Analiza chemiczna przyjętych smarów plastycznych obejmowała oznaczenie zawartości w nich mydła. Oznaczenie to przeprowadzono zgodnie z PN/C-04976. Polegało ono na rozkładzie smaru plastycznego za pomocą kwasu solnego w roztworze benzenowym, a następnie na wyekstrahowaniu mydeł odpowiednimi rozpuszczalnikami. Zawartość mydeł obliczono stechiometrycznie po oznaczeniu zawartości związanych kwasów tłuszczowych i ich liczby kwasowej. Wyniki tych analiz podano w **Tabeli 1**.

**Tabela 1. Zawartość mydła w smarach plastycznych**

Table 1. Contents of soap in greases

Nazwa smaru	Zawartość mydła w %
Maszynowy 2	14,8
STP	13,5
1S	5,5
ŁT 4S3	6,2

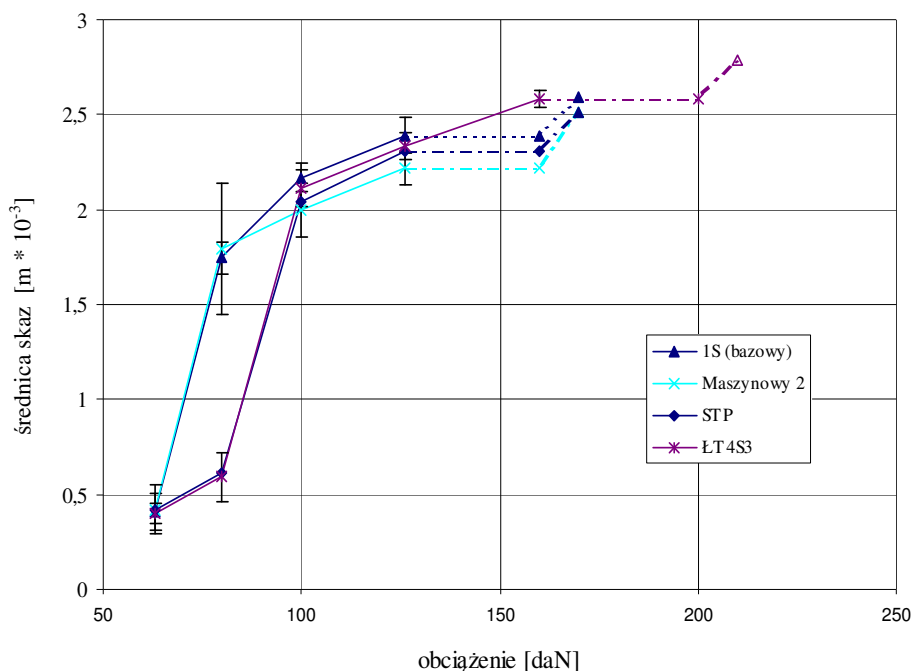
Z porównania widać, że smary wapniowe, STP i Maszynowy zawierają ponaddwukrotnie więcej zagęszczacza niż analizowane smary litowe.

## WYNIKI BADAŃ

Zestawienie wyników badań w postaci zależności zużycia kulek od obciążenia dla analizowanych smarów plastycznych przedstawiono na **Rys. 1**. Porównując charakterystyki zużycia od obciążenia, widać, że są one dla smaru 1S i Maszynowego oraz smaru STP i ŁT4S3 bardzo podobne. Tylko, według kryterium wytrzymałości warstwy granicznej na zniszczenie, smar ŁT4S3 tworzy na współpracujących powierzchniach warstwy trwalsze od pozostałych. Ulegają one zniszczeniu przy obciążeniu 200 daN, podczas gdy dla smaru Maszynowego, 1S i STP stan ten występuje już przy nacisku 160 daN. Wartości wskaźnika  $G_{oz}$  dla testowanych smarów nie podano, gdyż podczas badań następowało zespawanie kulek w trzech lub czterech próbach na sześć wykonanych.

Z uwagi na porównawczy charakter badań, do sporządzania kompozycji z analizowanymi napełniaczami przyjęto smar 1S i Maszynowy ze

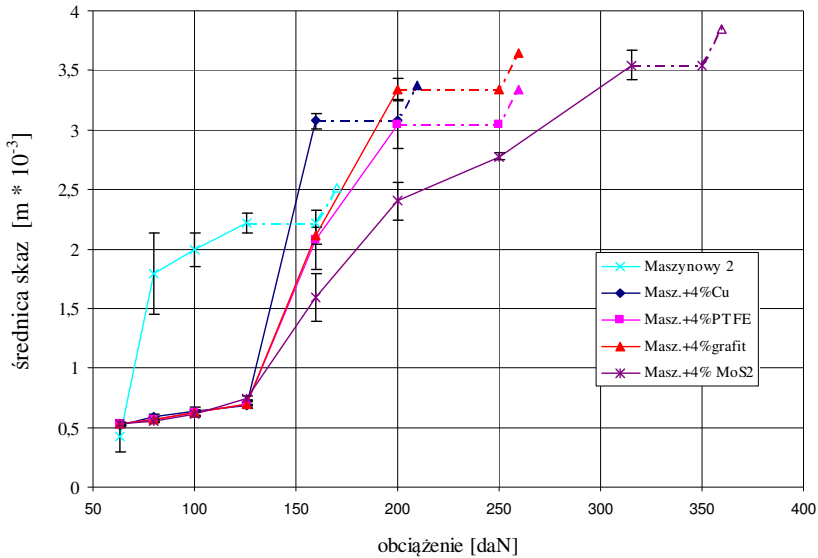
względu na bardzo zbliżone charakterystyki tribologiczne. Obciążenie zespawania dla obu smarów  $F_z = 160$  daN, wskaźnik zużycia  $G_{oz} = 0$ , a zużycie kulek przy obciążeniu 100 daN wynosi 2,15 mm dla smaru 1S oraz 2,2 dla smaru Maszynowego 2. Zapewniono w ten sposób zbliżony wpływ smaru bazowego (z zagęszczaczem wapniowym lub litowym) na charakterystyki tribologiczne tworzonych z ich udziałem kompozycji z przyjętymi napełniaczami.



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

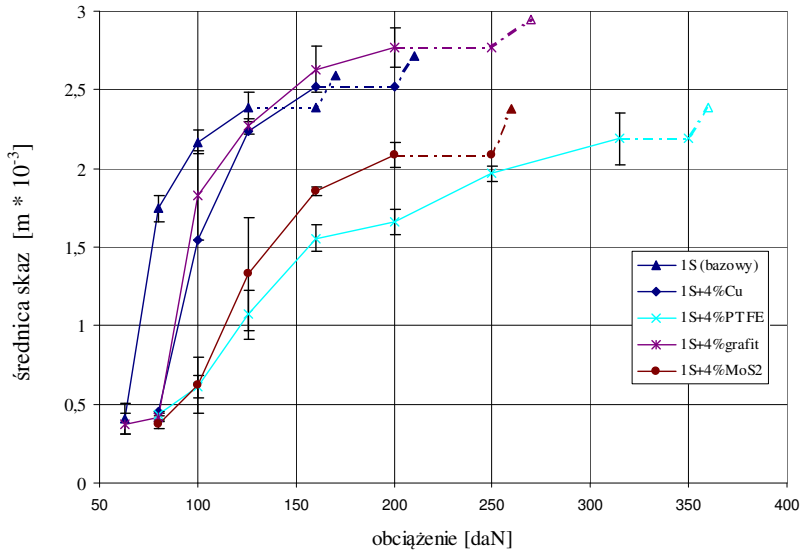
Fig. 1. Wear rate (scar diameter) as function of load for tested greases

Na **Rys. 2** zamieszczono zależności zużycia od obciążenia dla kompozycji sporządzonych na bazie smaru Maszynowego 2, a na **Rys. 3** – na bazie 1S. Na rysunkach tych, dla celów porównawczych zilustrowano charakterystyki smarów (1S lub Maszynowego 2) będących bazą dla tworzonych kompozycji. **Rysunki 4 i 5** przedstawiają obliczone wartości wskaźnika granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  dla badanych kompozycji.



**Rys. 2. Zależność zużycia kulek (średnicy skaz) od obciążenia nadanego dla kompozycji na bazie smaru Maszynowego 2**

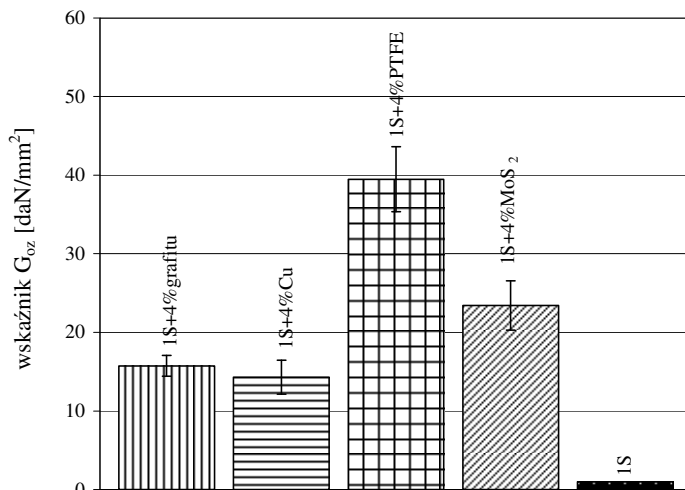
Fig. 2. Wear (scar diameter) vs. load for composition on the basis of Maszynowy grease



**Rys. 3. Zależność zużycia kulek (średnicy skaz) od obciążenia nadanego dla kompozycji na bazie smaru 1S**

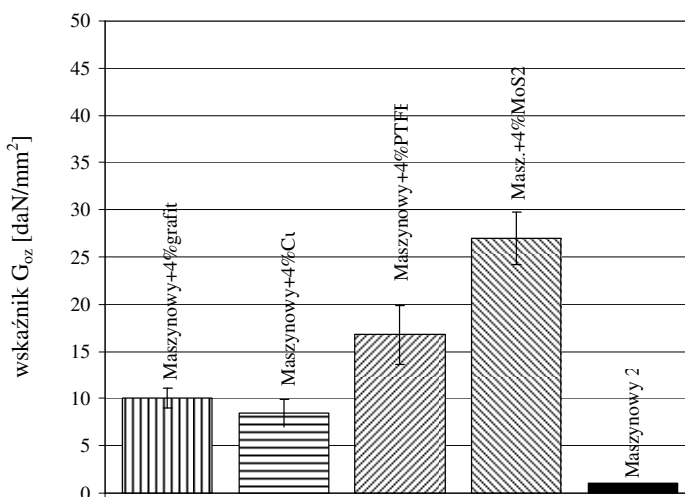
Fig. 3. Wear (scar diameter) vs. load for composition on the basis of 1S grease





**Rys. 4. Wskaźnik granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  dla kompozycji na bazie smaru 1S**

Fig. 4. Limit wear load index  $G_{oz}$  for composition on the basis of 1S grease



**Rys. 5. Wskaźnik granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  dla kompozycji na bazie smaru Maszynowego 2**

Fig. 5. Limit wear load index  $G_{oz}$  for composition on the basis of Maszynowy grease

Analizując uzyskane charakterystyki tribologiczne, widać, że rodzaj zagęszczacza (wapniowy lub litowy) w smarze, na bazie którego utwo-

rzono kompozycję, ma zauważalny wpływ na efektywność smarowania stalowych skojarzeń ślizgowych, ocenianą trzema kryteriami, tj. zużyciem, obciążeniem zespawania i wskaźnikiem granicznego obciążenia zużycia. Porównanie wartości wielkości kryterialnych uzyskanych przy smarowaniu czterema kompozycjami utworzonymi na bazie smaru z zagęszczaczem litowym (smaru 1S) pozwala uszeregować je według rosnącej efektywności smarowania następująco: napełnione proszkiem miedzi, proszkiem grafitu, proszkiem MoS<sub>2</sub> i proszkiem PTFE. Zmierzone wartości wielkości kryterialnych, odpowiadające przedstawionej kolejności rosnącego wzrostu efektywności smarowania analizowanych napełniaczy wynoszą:

- zużycie przy obciążeniu 160 daN – 2,52; 2,63; 1,85; 1,55 mm,
- obciążenie zespawania – 200; 250; 250; 350 daN,
- wskaźnik granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  – 14,3; 15,75; 23,41; 39,49 daN/mm<sup>2</sup>.

Podobne porównanie tylko kompozycji zrobionych na bazie smaru z zagęszczaczem wapniowym (smar Maszynowy 2) daje kolejność inną od uzyskanej przy smarze z napełniaczem litowym, tj. napełnione proszkiem miedzi, proszkiem grafitu, proszkiem PTFE i proszkiem MoS<sub>2</sub>. Odpowiadające temu wzrostowi efektywności smarowania, wartości wielkości kryterialnych wynoszą:

- zużycie przy obciążeniu 160 daN – 3,07; 2,11; 2,01; 1,59 mm,
- obciążenie zespawania – 200; 250; 250; 350 daN,
- wskaźnik granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  – 8,47; 10,08; 16,76; 27,0 daN/mm<sup>2</sup>.

Przedstawione wyniki pokazują, że wpływ rodzaju zagęszczacza w bazowym smarze plastycznym na efektywność smarowania w kompozycjach z miedzią i grafitem nie jest tak wyraźny, jak w przypadku kompozycji z dwusiarczkiem molibdenu lub policzterofluoroetylenem. Można zatem sądzić, że stopień uwidocznienia się tego wpływu zależy od indywidualnych cech smaru stałego użytego jako napełniacza.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

1. Wpływ zagęszczaczy wapniowego i litowego w kompozycji smar plastyczny–napełniacz na efektywność smarowania stalowych węzłów ślizgowych jest nie jednoznaczny i zależy od rodzaju (własności) uży-

tego napełniacza. Z czterech napełniaczy modyfikujących smar z zagęszczaczem litowym (smar 1S), tj. miedzi, grafitu, MoS<sub>2</sub> i PTFE jednoznacznie największą efektywność wykazała kompozycja zawierająca PTFE. Natomiast wśród tych samych kompozycji, lecz sporządzonych na bazie smaru z zagęszczaczem wapniowym (smar Maszynowy 2), zdecydowanie największą efektywnością charakteryzowała się kompozycja z dwusiarczkiem molibdenu.

2. Dokonując ilościowej lub jakościowej oceny efektywności smarowania smarów plastycznych napełnionych smarami stałymi należy zawsze podawać rodzaj zagęszczacza smaru plastycznego, przy którym ta ocena została przeprowadzona.
3. Napełnienie smaru plastycznego 4% procentami jednego z czterech powszechnie znanych smarów stałych, tj. miedzią, grafitem, dwusiarczkiem molibdenu lub PTFE powoduje zawsze wzrost efektywności smarowania stalowych skojarzeń ślizgowych niezależnie od tego czy zagęszczaczem smaru bazowego jest sól wapnia czy litu.
4. W celu wyjaśnienia przyczyn, że ten sam napełniacz w zależności od zagęszczacza smaru tworzy na współpracujących powierzchniach warstwy graniczne charakteryzujące się różną efektywnością smarowania, należy przeprowadzić szczegółowe badania składu chemicznego tworzonych warstw.

## LITERATURA

1. Kragelskij I.V.: Frikcionnoje vzaimodejstvie tverdyh tel. Trenie i iznos, 1980, T1, No 1, s. 12–29.
2. Kragelskij I.V., Dobyčın M.N., Kombalov V.S.: Osnovy rasčetov na trenie i iznos, Mašin. Mašinstroenie, Moskva 1977.
3. Staroselskij A., Garkunov D.I.: Dołgovečnost truščichsja detalej mašin. Mašinstroenie. Moskva 1967.
4. Buckley H.: Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication, Elsevier, New York 1981.
5. Švarcman V.Š., Šojchet V.H., Imerlišvili T., Čhaidze G.R.: Tołščina plenki plastičnyh smazok pri različnyh režimach raboty tjaželonagružennyh uprugogidrodinamičeskich kontaktom. Trenie i iznos, 1988, T9, No 1, s. 129–136.
6. Fuks I. G.: Dobavki k plastičnym smazkam. Moskva, Chimja 1982.
7. Sinicyn V.V.: Plastičnyje smazki w SSSR. Moskva 1984.
8. Golego N.L.: Schvatyvanije v mašinach i metody jego ustranienija. Kijev, Izdatelstvo Technika, 1965.

9. Il'inn N., Sedova V.L., Jurcenkoo JU. N.: Vlijanie metoda i uslovij nanese-nija mednova pokrytija na prirabatyvaemost par trenija skolženija. *Trenie i iznos*, 1986, T.VII, No1, s. 164–167.
10. Gronostajski J.: *Mechanika procesów obróbki plastycznej*. Skrypt PWR, Wrocław 1983.

**Recenzent:**  
**Janusz JANECKI**

### Summary

**These investigations concern the influence of the type of filler in grease modified with solid oils on lubrication efficiency in steel sliding nodes working in mixed lubrication. Based on preliminary works, two commercial greases were used for analysis: car-grease 1S with lithium thickener and grease Maszynowy with calcium thickener. Investigated compositions were obtained by the addition 4% by weight of analysed filler (solid oil, i.e. disulfide of molybdenum, PTFE, graphite and cuprum) to grease. The tests were carried out in agreement with the prescriptions of the Polish standard PN-76/C-04147 "The tests of properties of oils and greases." To assessment of lubrication efficiency of the tested compositions three criteria were used (wear characteristic as the function of load  $d = f(F)$ , seizure load  $F_z$ , limit wear load index  $G_{oz}$ ). Investigations were carried out using a four-ball extreme pressure tester. The results were statistically handled at a confidence level of 95% using Student's t-test. Results are presented on graphs. Proper conclusions are given.**