

Stanisław KRAWIEC\*, Michał KRAWIEC\*\*

## **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH LITOWEGO SMARU PLASTYCZNEGO ZMODYFIKOWANEGO PROSZKIEM OŁOWIU I PTFE**

### **RESEARCH ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF A LITHIUM GREASE MODIFIED WITH LEAD AND PTFE**

#### **Słowa kluczowe:**

smary plastyczne, wypełniacze, efektywność smarowania

#### **Key-words:**

greases, fillers, lubrication efficiency

#### **Streszczenie**

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad wpływem proszku PTFE i ołowiu na efektywność smarowania kompozycji utworzonych z litowym smarem plastycznym. Badania tribologiczne prowadzono na aparacie czterokulowym z zastosowaniem wytycznych normy PN-76/C-04147. Analizie poddano kompozycje smarowe mające 6% wagowo jednego

---

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii, 50-370 Wrocław, ul. Łukaszewicza 7/9, tel. 71 320 40 56, e-mail: stanislaw.krawiec@pwr.wroc.pl.

\*\* Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Katedra Aparatury i Inżynierii Procesowej, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław, tel. 71 3680 290, e-mail: michal.krawiec@ue.wroc.pl

z przyjętych napełniaczy oraz smar napełniony obydwoma napełniaczami w ilości po 6% wagowych każdego. Dla celów porównawczych wyznaczono również charakterystyki tribologiczne dla dwóch smarów handlowych, tj. Nulonu i Litomосу EP-25. Nulon jest smarem importowanym i zawiera dodatek PTFE. Efektywność analizowanych smarów oceniano według czterech wielkości kryterialnych, tj.: zużycia kulek  $d$ , granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$ , wskaźnika zużycia  $I_h$  oraz obciążenia zespawania  $F_z$ . Wyniki opracowano statystycznie przy poziomie ufności 95% stosując test t-Studenta. Wyniki eksperymentu przedstawiono graficznie. Stwierdzono bardzo znaczne polepszenie efektywności smarowania kompozycji zawierającej mieszaninę proszku PTFE i ołowiu.

## WPROWADZENIE

Metodą, która najskuteczniej obniża do minimum negatywne skutki tarcia, tj. zużycie współpracujących powierzchni i opory ruchu, jest taki dobór cech geometrycznych i materiałowych dla projektowanych węzłów ślizgowych, aby pracowały one przy tarcii płynnym. Jednak nie zawsze można doprowadzić do wystąpienia tego rodzaju tarcia, a często jest to wręcz niemożliwe. Przykładem są węzły ślizgowe pracujące w ruchu wahadłowym lub posuwisto-zwrotnym. Węzły te, z uwagi na zmianę kierunku prędkości poślizgu i z reguły małą jej wartość, pracują ciągle przy tarcii mieszanym z dużym udziałem tarcia granicznego i suchego. Bardzo skutecznymi substancjami do smarowania takich węzłów są smary plastyczne. Duża efektywność tych smarów jest spowodowana ich zdolnością do tworzenia grubych warstw granicznych. Badania [L. 9, 10] wykazały, że warstewka, jaką tworzy na współpracujących powierzchniach smar plastyczny, ma grubość od 1,2 do 3,5 razy większą od grubości, jaką może tworzyć smar bazowy. Ale komponenty smarów plastycznych nie zapewniają im dobrych własności smarnych w zakresie dużych obciążeń. Powodem tego jest stosunkowo mała wytrzymałość termiczna warstwy granicznej utworzonej na smarowanych powierzchniach współpracujących elementów. Polepszenie tych własności może być osiągnięte różnymi drogami. Prostem i wystarczająco efektywnym sposobem jest wprowadzenie w skład smarów plastycznych tzw. Napełniaczy – substancji różnej natury i stężenia, nierozpuszczalnych w plastycznej osnowie i niezburzających struktury koloidalnej smaru [L. 2, 10]. We współczesnej technice smarowniczej bardzo często jako napełniaczy używa się smarów stałych, tj. ciał stałych posiadających budowę anizodesmiczną. Najwcześniej pozna-

nymi i popularnymi napełniaczami są grafit, dwusiarczek molibdenu i dwusiarczek wolframu.

Napełniaczami smarów plastycznych nowszej generacji są proszki miękkich metali jak np. cyny, cynku, ołowiu, miedzi, tlenku miedzi. Smar z takim napełniaczem tworzy na powierzchniach ślizgowych cienką metaliczną warstewkę, która chroni je przed szepianiem i obniża temperaturowe obciążenie węzła ciernego. Również jednym z bardziej perspektywicznych kierunków polepszania przeciwciernych i przeciwzużyciowych własności smarów plastycznych jest ich modyfikowanie napełniaczami polimerowymi. Wśród wielu materiałów polimerowych bardzo efektywnym napełniaczem smaru plastycznego jest sproszkowany policzterofluoroetylen (PTFE) [L. 3].

Analiza literatury dotyczącej materiałów kompozytowych stosowanych do konstruowania bezobsługowych łożysk ślizgowych pokazuje, że kompozyty wyróżniające się bardzo dobrymi charakterystykami tribologicznymi mają w swoim składzie PTFE i ołów. Przykładem mogą być panwie z kompozytów wielowarstwowych Glacier typu DU, które wykazują bardzo dużą obciążalność oraz małe zużycie i tarcie [L. 8]. W łożyskach tych warstwą nośną jest porowaty spiek brązowy nasycony PTFE i proszkiem ołowiu, a warstwą ślizgową (grubości 0,025 mm) – PTFE i proszek ołowiu [L. 7]. Innym przykładem może być kompozyt firmy DEVA – Metal (typu metal – niemetal), o składzie: brąz Sn 13% Pb 1–3% + 6–8% grafit, który charakteryzuje się bardzo wysoką wartością iloczynu  $p_v = 1,5$  MPa (m/s) [L. 6]. Występujący w nich proszek ołowiu został dodany w celu zarówno zwiększenia przewodności cieplnej, jak i polepszenia właściwości ślizgowych kompozytu [L. 7]. Te bardzo dobre charakterystyki tribologiczne kompozytów zawierających PTFE i ołów były przesłanką do twierdzenia, że mogą one być również efektywnymi napełniaczami smaru plastycznego. Celem weryfikacji tego poglądu zostały przeprowadzone stosowne badania tribologiczne z kompozycjami zawierającymi przedmiotowe napełniacze.

## METODA I WARUNKI BADAŃ

Eksperyment przeprowadzono na standardowym aparacie czterokulowym, z zastosowaniem wytycznych normy PN-76/C-04147 – „Badania własności smarnych olejów i smarów”. Zgodnie z tą normą do oceny skuteczności działania badanych smarów przyjęto cztery wskaźniki: zużycie kulek  $d$ , graniczne obciążenie zużycia  $G_{oz}$ , wskaźnik zużycia  $I_h$  oraz obciążenie zespawania  $F_z$ . Analizowano kompozycje zawierające 6% wagowych jed-

nego z przyjętych do badań napełniaczy oraz smar napełniony obydwoma napełniaczami po 6% wagowo każdego. Kompozycje smarne przygotowywano za pomocą miksera. Odważoną porcję smaru plastycznego i napełniacza mieszano przez 30 minut przy prędkości mieszadła  $n = 800$  obr/min. Czas mieszania  $t = 30$  min został ustalony doświadczalnie według kryterium równomiernego rozkładu cząstek napełniacza w nośniku plastycznym. Równomierność tę oceniono wzrokowo, porównując tworzoną kompozycję pod mikroskopem biologicznym po 10, 20 i 30 minutach mieszania.

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. Próby powtarzano zawsze sześciokrotnie. Wyniki opracowano statystycznie przy poziomie ufności 95% stosując test t-Studenta.

### WYKAZ MATERIAŁÓW I ICH KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA

Do badań zastosowano następujące materiały:

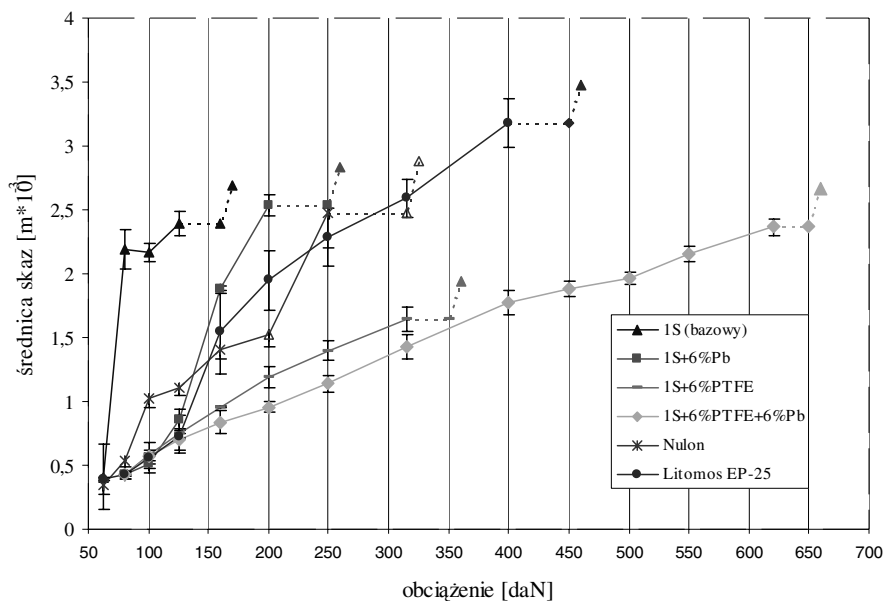
1. Kulki łożyskowe ze stali ŁH15 i średnicy 12,7 mm wykonane w 16 klasie dokładności i grupie wymiarowej  $S = 0$   $\mu\text{m}$ . Pozostałe cechy kulek były zgodne z normą PN-83/M-86452.
2. Smar samochodowy 1S jako nośnik (smar bazowy) dla przyjętych napełniaczy. Smar ten, jak wykazały badania [L. 3], charakteryzuje się najgorszymi właściwościami smarnymi spośród trzech analizowanych smarów przeznaczonych do smarowania łożysk ślizgowych, tj. smaru STP, 1S i Maszynowego 2. Wytypowanie nośnika według powyższego kryterium pozwoliło ograniczyć do minimum zakłócający wpływ własności smarnych smaru plastycznego na efektywność smarowania kompozycją sporządzoną na jego bazie.
3. Dwa rodzaje napełniaczy, tj.:
  - policzterofluoroetylen (PTFE) – suspensyjny tarflen, produkcji Zakładów Azotowych w Tarnowie. Ma on gęstość  $2,185$   $\text{g}/\text{cm}^3$  i granulację od 20 do 40  $\mu\text{m}$ . Polimer ten dodany wspólnie z cyną do smaru litowego wywołuje w procesie tarcia efekt synergistyczny [L. 4];
  - proszek ołowiu o granulacji do 63  $\mu\text{m}$ . Został wyprodukowany w Zakładach Metalurgicznych w Trzebini, jego cząstki mają kształt kulisty. Ołów jest składnikiem stopów i kompozytów łożyskowych znajdujących zastosowanie głównie w łożyskach bezobsługowych.

Zbadano też dla celów porównawczych dwa smary rynkowe: Nulon L80 oraz Litomos EP-25. Litomos EP-25 jest produkcji krajowej, zawie-

ra dodatek EP, inhibitor korozji oraz 4–5% dwusiarczku molibdenu. Przeznaczony jest do smarowania przegubów homokinetycznych i kulowych, cięgieł, sworzni, złącz, łożysk ślizgowych i tocznych. Nulon L80 jest kompozycją smaru plastycznego i proszku tarflenu w postaci mikrocząsteczek, jest to produkt importowany. Kompozycje typu „Nulon” (oleje, smary plastyczne, pasty montażowe) są szeroko reklamowane jako środki smarne zmniejszające tarcie i zużycie wysokoobciążonych zespołów maszynowych, szczególnie silników spalinowych i przekładni zębatych.

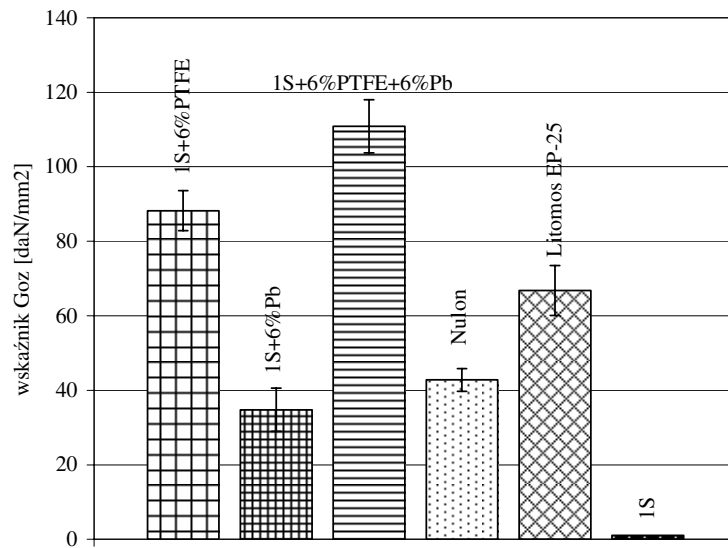
## WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań w postaci zależności zużycia kulek od obciążenia dla analizowanych smarów przedstawiono na **Rys. 1**. Obliczone wartości granicznego obciążenia zużycia  $G_{0z}$  oraz wskaźnika zużycia  $I_h$  pokazano na **Rys. 2** i **3**. Dodatkowo na wszystkich rysunkach zamieszczono w celach porównawczych charakterystykę dla Litomosu, Nulonu oraz smaru 1S, który był bazą dla przygotowywanych kompozycji smarnych. Wartość wskaźnika  $G_{0z}$  dla smaru bazowego 1S jest zero, ponieważ podczas testów następowało zespawanie kulek.

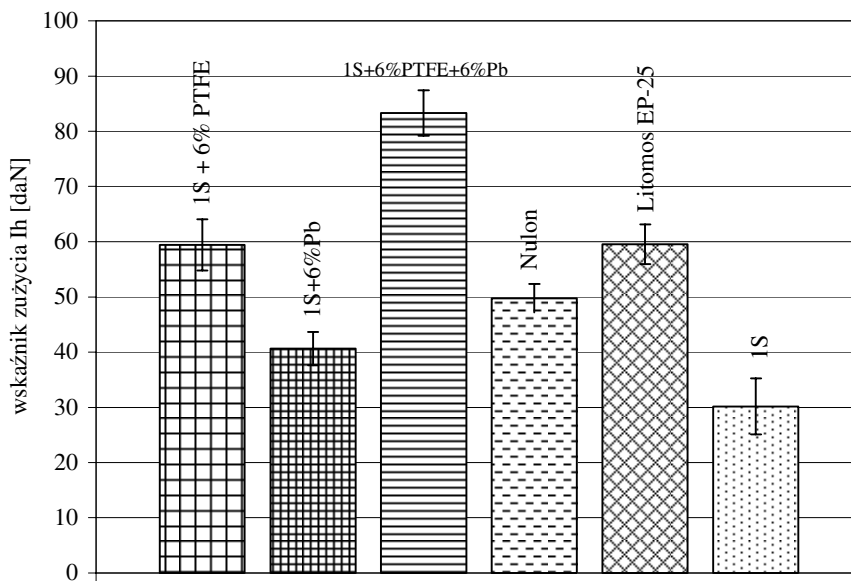


**Rys. 1. Zależność zużycia (średnicy skaz) od obciążenia dla badanych smarów**

Fig. 1. Wear rate as function of load for the tested grease



**Rys. 2. Wskaźnik granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  dla badanych smarów**  
 Fig. 2. Limit wear load index  $G_{oz}$  for the tested grease



**Rys. 3. Wskaźnik zużycia  $I_h$  dla badanych smarów**  
 Fig. 3. Wear rate index  $I_h$  for the tested grease

Porównując wartości wielkości kryterialnych, tj. zużycia, obciążenia zespawania, wskaźnika zużycia  $I_h$  oraz granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  widać, że zmodyfikowanie smaru 1S przez dodanie 6% wagowo proszku PTFE lub proszku ołowiu powoduje wyraźne polepszenie efektywności smarowania dla utworzonej kompozycji – wszystkie cztery wskaźniki kryterialne mają korzystniejsze wartości. Porównując te kompozycje ze sobą, okazuje się, że efektywniejszy jest smar zmodyfikowany proszkiem PTFE od napełnionego proszkiem ołowiu. Przykładowo dla smaru z ołowiem: obciążenie zespawania  $F_z = 200$  daN, wskaźnik  $G_{oz} = 38$  daN/mm<sup>2</sup>, wskaźnik zużycia  $I_h = 40,6$  daN, zużycie  $d = 2,4$  mm (przy obciążeniu 200 daN), a dla modyfikacji z PTFE odpowiednio:  $F_z = 315$  daN,  $G_{oz} = 88,2$  daN/mm<sup>2</sup>,  $I_h = 59,4$  daN, zużycie  $d = 1,2$  mm. Również widać, że dodanie do smaru bazowego mieszaniny analizowanych napełniaczy powoduje bardzo duży wzrost przyjętych wskaźników efektywności w stosunku do otrzymanych dla kompozycji z pojedynczym napełniaczem. W tym wypadku: obciążenie zespawania  $F_z = 620$  daN,  $G_{oz} = 110,8$  daN/mm<sup>2</sup>,  $I_h = 83,3$  daN, zużycie  $d = 0,96$  mm (przy obciążeniu 200 daN).

## WNIOSKI

1. Napełnienie smaru 1S tylko jednym z analizowanych proszków (PTFE lub Pb) powoduje zauważalne polepszenie wskaźników efektywności w stosunku do smaru bazowego 1S, przy czym kompozycje zawierające proszek PTFE (6% wagowo) są średnio o 50% efektywniejsze od identycznych kompozycji z ołowiem.
2. Modyfikowanie smarów plastycznych mieszaniną proszków PTFE i ołowiu w ilości po 6% wagowo jest bardzo skuteczną metodą polepszenia ich smarności. Kompozycje te są średnio o 50% efektywniejsze od handlowego smaru Litomos EP-25, który należy do bardzo efektywnych smarów plastycznych [L. 5].
3. Kompozycje z krajowym PTFE mają wszystkie kryterialne wskaźniki efektywności smarowania lepsze od smaru zagranicznego Nulon wypełnionego też tym polimerem.
4. Celowym jest prowadzenie badań nad wyjaśnieniem mechanizmu tak skutecznego łącznego działania PTFE i ołowiu w litowym smarze plastycznym 1 S.

## LITERATURA

1. Bakašvili D.L., Imerlišvili T.V.: Prognozovanie toščiny plenki płaścičnych smazok v uprugohidrodinamičeskich kontaktach. *Trenie i iznos* 1987, T. 8, No 2, s. 236–243.
2. Fuks I.G.: Dobavki k płaścičnym smazkam. Moskva, Chimja 1982.
3. Krawiec S.: Wpływ synergizmu wybranych napełniaczy w smarze na zwiększenie trwałości ślizgowych węzłów maszyn, Oficyna wydawnicza PWR, Wrocław 1998.
4. Krawiec S.: Synergizm proszku PTFE i cyny w smarze litowym podczas tarcia mieszanego. *Tribologia* Nr 2/2007(212), 2007, s. 367–380.
5. Krawiec S.: Skuteczność działania smarów plastycznych przy zmiennych wartościach obciążenia i prędkości poślizgu. *Tribologia* Nr 4/2005 (202), 2005, s. 135–146.
6. Katalog firmy GlacierIndustrial Bearings, Wielka Brytania.
7. Lawrowski Z.: Bezobsługowe łożyska ślizgowe. Wrocław Oficyna wyd. Politechniki Wrocławskiej, 2006.
8. Neale M.J.: *Tribologyhandbook*. Butterworths, Londyn 1973.
9. Švarcman V.Š., Šojchet V.H., Imerlišvili T.V., Čchaidze G.R.: Toščina plenki płaścičnych smazok prirazličnych režimach raboty tjaželonagružen-nych uprugohidrodinamičeskich kontaktov, *Trenie i iznos*, 1988, T9, No 1, s. 129–136.
10. Wachal A., Kulczycki A.: Tribologiczne własności smarów plastycznych zawierających polimery niskotarciowe. *Trybologia* Nr 4–5, 1986, s. 21–23.

**Recenzent:**  
**Stanisław LABER**

## Summary

**In the paper, investigations of the influence of powder PTFE and lead on the lubrication efficiency of a composition made with lithium grease are presented. 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 analysed compositions contain 6% by weight of each filler, using two types of fillers. In comparison, tribological characteristics of two commercial greases (Litomos EP-25 and Nulon) were investigated. Nulon (imported grease) contains the addition of PTFE. To assess the lubrication efficiency of the tested compositions, four criteria were used (scar diameter of balls  $d$ ,**



---

**seizure load  $F_z$ , limit wear load index  $G_{oz}$ , wear index  $I_h$ ). The results were statistically handled at a confidence level of 95% using Student's t-test. Obtained values of the investigation are presented in the form of a graph. It was found that influence of fillers (PTFE and lead) on improvement of lubrication efficiency of the tested compositions is meaningful.**