

**Władysław CZUPRYK\***

## **PRÓBA ZWIĘKSZENIA WŁASNOŚCI PRZECIWZATARCIOWYCH SMARU MASZYNOWEGO 2**

### **ATTEMPT AT ENHANCING ANTI-SEIZING PROPERTIES OF MACHINE GREASE 2**

#### **Słowa kluczowe:**

Smar Maszynowy 2, tlenki miedzi, redukcja tlenku, Auger Electron Spectroscopy (AES)

#### **Key words:**

Machine Grease 2, copper oxide, oxide reduction, Auger Electron Spectroscopy (AES)

#### **Streszczenie**

Smar Maszynowy 2 charakteryzuje się zbyt niskimi własnościami przeciwzatarciowymi w zastosowaniu do smarowania łożysk tocznych. Cechę tę potwierdzają dane literaturowe i wyniki badań własnych wykonanych na aparacie czterosłupowym.

---

\* Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Katedra Aparatury i Inżynierii Procesowej, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław, tel. (71)3680291, e-mail: władysław.czupryk@ue.wroc.pl.

W celu zwiększenia własności przeciwzatarciowych Smaru Maszynowego 2 wprowadzono do jego objętości mieszkankę tlenku miedzi i gliceryny z alkoholem etylowym. Badania miały na celu dać odpowiedź na pytanie, czy w warunkach dużych nacisków, zmiennych naprężeń i wysokich krótkotrwałych temperatur w obszarze kontaktu tlenek miedzi będzie redukowany do miedzi metalicznej, która będzie spełniała rolę smaru stałego.

Badania wykonano na aparacie czterokulowym w trzech następujących po sobie seriach. Każda z nich trwała 60 sekund. Nacisk był stały i wynosił 1472 N. Po wykonaniu badań obliczono graniczne obciążenie zatarcia  $G_{0Z}$ . Stwierdzono znaczny wzrost wskaźnika  $G_{0Z}$  dla smarów z wymienionymi wcześniej dodatkami:  $G_{0Z}$  dla Smaru Maszynowego 2 wynosił  $529 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$ , a dla innych składów dodatków wprowadzonych do smaru zawierał się w przedziale 900–1736  $\left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$ . W celu potwierdzenia zjawiska redukcji tlenku miedzi do miedzi metalicznej wykonano badania powierzchniowe i wgłębne z użyciem spektrometrii AES. Wyniki analiz potwierdziły występowanie w warstwie powierzchniowej i warstwach głębiej zlokalizowanych miedzi metalicznej. Obecność warstewki metalicznej miedzi na ścieżce kontaktu spełniającej rolę smaru stałego skutkowałą zwiększeniem odporności na zatarcie  $F_t$  trzy-, a nawet czterokrotnie w stosunku do tego samego wskaźnika dla Smaru Maszynowego 2.

## WPROWADZENIE

Smar Maszynowy 2 z grupy smarów wapniowych produkowany jest w oparciu o rafinowane bazy olejowe o lepkości 6,2–7 cSt w 100°C i mydła wapniowe wysokocząsteczkowych kwasów tłuszczowych [L. 1]. Smar ten odporny jest na działanie wody i znalazł zastosowanie do smarowania łożysk ślizgowych. Używa się go też w układach centralnego smarowania. Inne zastosowanie ogranicza jego trwałość w zakresie temperatur -10°C do +60°C. W wyższych temperaturach czynnik stabilizujący smaru (woda) odparowuje, a smar rozkłada się nieodwracalnie na mydło i olej.

Smaru Maszynowego 2 nie stosuje się do smarowania łożysk tocznych. Istotną różnicą pomiędzy łożyskami tocznymi a łożyskami ślizgowymi jest wielkość nacisków w obszarze kontaktu tarcowego. W przypadku łożysk ślizgowych pracujących w warunkach tarcia mieszanego przy styku rozłożonym naciski jednostkowe występujące w obszarze kontaktu tarcowego w porównaniu z naciskiem punktowym lub liniowym występującym w łożyskach tocznych są niewielkie.

Wysokie naciski punktowe lub liniowe występujące w łożyskach tocznych oraz kontakt jednoimiennych elementów tocznych (stal–stal) sprzyjających ich adhezji wymagają stosowania smarów o wysokich cechach przeciwzatarcio-

wych. Takich cech Smar Maszynowy 2 nie posiada. Jednym ze sposobów poprawienia tej jego własności może być wprowadzenie do objętości smaru odpowiedniego napełniacza. Napełniaczami smarów plastycznych nowej generacji są proszki miękkich metali lub ich związków, jak np. cyny, miedzi, tlenku miedzi, ołowiu [L. 2–5]. Smar z takim napełniaczem tworzy na powierzchniach ślizgowych cienką metaliczną warstewkę (metalopolerowanie), która chroni je przed szczepieniem i obniża cieplne obciążenia węzła ślizgowego. Wśród napełniaczy metalicznych najczęściej uwagi zwraca się na miedź i jej związki. To duże zainteresowanie jest spowodowane głównie jej zdolnością do wyrównywania (szpachlowania) stalowego podłoża podczas tarcia [L. 6, 7] oraz możliwością realizacji zjawiska selektywnego przenoszenia [L. 8]. Odkryte w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku przez Garkunova i Kragielskiego [L. 9] zjawisko selektywnego przenoszenia (SP) charakteryzuje się:

- minimalną ilością energii traconej na pokonywanie oporów tarcia,
- minimalnym zużywaniem się trących elementów.

Najpowszechniej badano dotychczas SP w parach tarciovych stal–stopy miedzi smarowanych gliceryną i jej roztworami. Według autorów opracowań [L. 10, 11] wystąpienie SP w tego rodzaju układach tribologicznych powoduje znaczne, nawet 10-krotne zmniejszenie oporów tarcia, a także praktyczny zanik zużycia, gdyż intensywność zużycia może zmniejszyć się nawet do 1000 razy. Zjawisko SP może także wystąpić w parach stal–stal, jeżeli do strefy tarcia zostanie wprowadzona miedź i odpowiedni smar [L. 12].

W okresie największego nasilenia badań tego zjawiska sformułowano szereg hipotez w sposób mniej lub bardziej przekonujący wyjaśniające zjawisko SP. Żadna z nich nie mówi o możliwości zjawisk utleniania i redukcji w strefie tarcia. Dlatego też przyjęto hipotezę, według której takie zjawiska występują w strefie kontaktu tarciovego. Przyjęto, że wprowadzenie do objętości Smaru Maszynowego 2 mieszaniny tlenku miedzi z gliceryną i alkoholem etylowym spowoduje w efekcie jego redukcję do miedzi metalicznej w obszarze kontaktu tarciovego spotęgowaną obecnością gliceryny i alkoholu etylowego. Cienka warstewka miedzi metalicznej na bieżni łożyska tocznego będzie spełniać rolę warstwy antyadhezyjnej, co zwiększy cechy przeciwzatarciowe Smaru Maszynowego 2 i pozwoli rozszerzyć zakres jego zastosowania do smarowania łożysk tocznych.

## PRZEDMIOT I PROGRAM BADAŃ

Przedmiotem badań wykonanych na aparacie czterokulowym był Smar Maszynowy 2, do objętości którego wprowadzono mieszaninę tlenku miedzi i gliceryny z alkoholem etylowym w różnych proporcjach (**Tabela 1**).

Przyjęty program badań zakładał zbadanie dwóch wielkości:

- 1) granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$ ,
- 2) obciążenia zacierającego  $F_t$ .

**Tabela 1. Rodzaje kompozycji smarowych użytych do badań**

Table 1. Tested lubricating compositions

Lp.	Skład kompozycji smarowych					
	Smar Maszynowy 2 [% wag.]	Tlenek miedzi CuO [% wag.]	Alkohol etylowy [% wag.]	Gliceryna [% wag.]	Oznaczenie próbek	Uwagi
1	100	–	–	–	M2	
2	95	5	–	–	M2T5	
3	–	–	30	70	G7A3	
4	85	5	3	7	M2T5[G7A3]10%	
5	75	15	3	7	M2T15[G7A3]10%	

Oznaczenie graniczne obciążenia zużycia  $G_{oz}$  przeprowadzono w następujących warunkach:

- prędkość obrotowa wrzeciona 500 obr/min,
- czas biegu badawczego 3 x 60 sek,
- obciążenia węzła tarcia 1471,5 N.

Po próbie obliczono naciski jednostkowe w węźle tarcia na podstawie wartości średniej średnicy skaz  $d$  powstałych na kulkach nieruchomych według wzoru [L. 13]:

$$G_{oz} = 0,52 \frac{F}{d^2} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

gdzie:

- $F$  – obciążenie węzła tarcia [N],
- $d$  – średnica skaz na powierzchni kulek [mm],
- 0,52 – współczynnik uwzględniający rozkład sił w węźle tarcia.

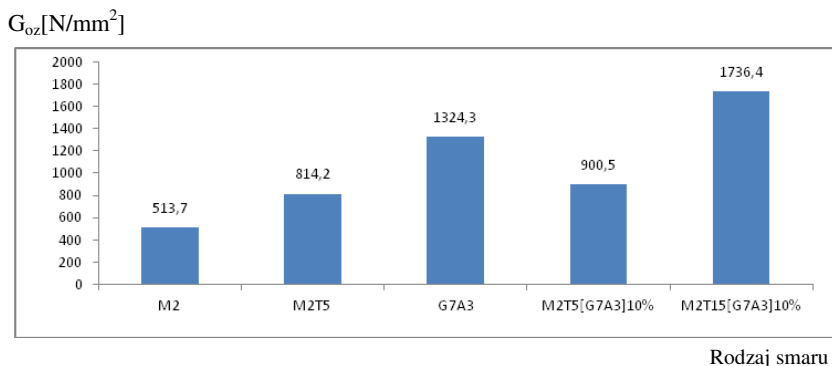
Obciążenie zacierające  $F_t$  prowadzono w następujących warunkach:

- prędkość obrotowa wrzeciona 500 [obr/min],
- szybkość narastania obciążenia 408,8 [N/s],
- początkowe obciążenie węzła tarcia 0 [N].

Próba polegała na przeprowadzeniu biegu zespołu czterech kulek stalowych w wyżej opisanych warunkach pod wzrastającym w sposób ciągły obciążeniem aż do uzyskania gwałtownego wzrostu oporów ruchu definiowane jako początek zacierania.

## WYNIKI BADAŃ

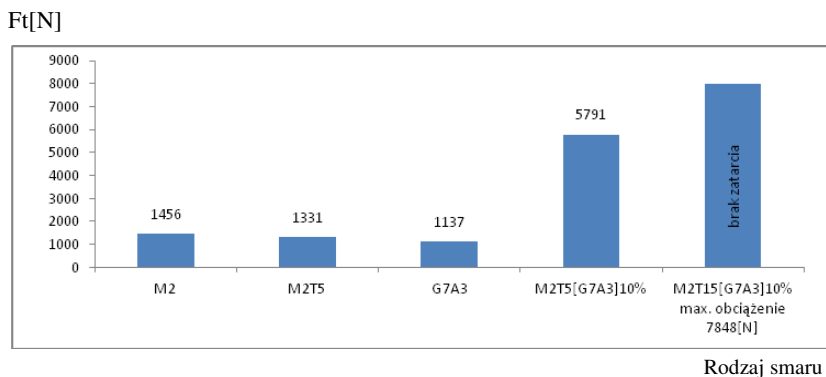
Wartość granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  przedstawiono graficznie (**Rys. 1**).



**Rys. 1.** Wartość granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$

Fig. 1. Values of limit load  $G_{oz}$

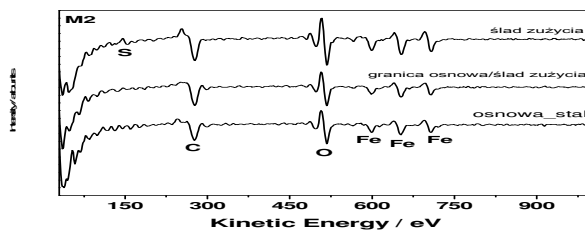
Na **Rys. 2** przedstawiono graficznie wyniki badań obciążenia zacierającego  $F_t$ .



**Rys. 2.** Wartości obciążenia zacierającego  $F_t$

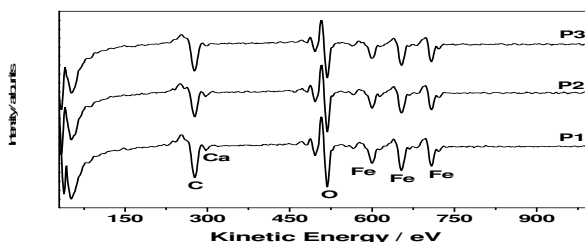
Fig. 2. Values of load including  $F_t$

W celu potwierdzenia przyjętej tezy o możliwości redukcji tlenku miedzi w warunkach tarcia w obecności substancji smarnej i dodatku alkoholu etylowego i gliceryny wykonano Auger spektra warstw wierzchnich uformowanych w procesie tarcia. Badania wykazały, że warstwa powierzchniowa warstwy wierzchniej próbek M2 i G7A3 zbudowana jest z tlenków żelaza Fe-O (Fe+2), Fe-O(Fe3+) oraz dominującej ilości węgla i tlenu (**Rys. 3 i 4**). Podobny rezultat otrzymano w pracach [L. 14, 15].



Rys. 3. Widma AES próbki M2

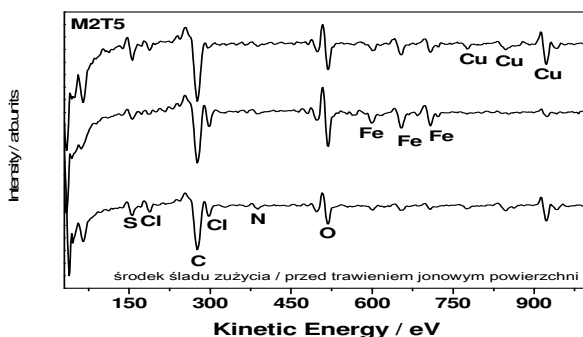
Fig. 3. AES spectra of sample M2



Rys. 4. Widma AES próbki G7A3

Fig. 4. AES spectra of sample G7A3

Wprowadzenie do Smaru Maszynowego 2 tlenku miedzi CuO w ilości 5% wagowo skutkuje pojawieniem się na powierzchni kontaktu miedzi metalicznej (Rys. 5). Oznacza to, że w obecności smaru tlenek miedzi ulega redukcji do miedzi metalicznej, z tym że proces ten przebiega z niewielką intensywnością.

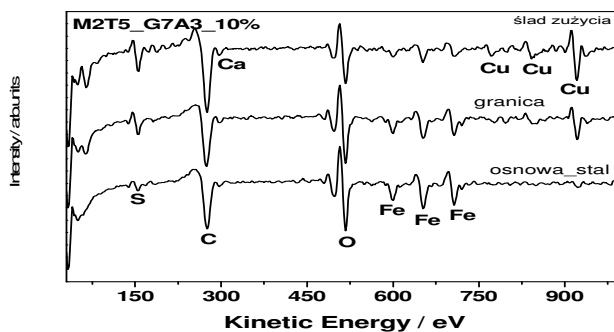


Rys. 5. Widma AES próbki M2T5

Fig. 5. AES spectra of sample M2T5

W celu intensyfikacji procesu redukcji tlenku miedzi wprowadzono do objętości Smaru Maszynowego 2 z 5% zawartością CuO roztwór gliceryny i alkoholu etylowego w ilości 10% wagowo. Udział gliceryny w roztworze z alkoholem

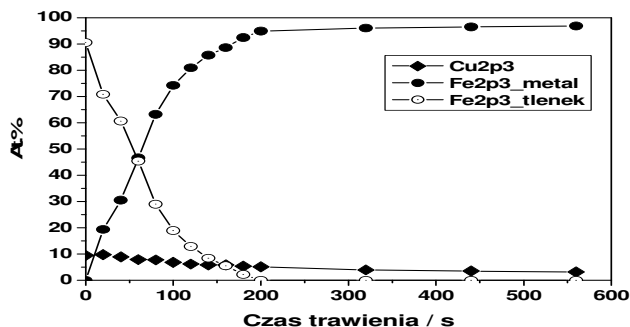
wynosił 70% wagowo. Badania AES potwierdziły dużą ilość miedzi metalicznej w obszarze kontaktu jak i na granicy z materiałem rodzimym (**Rys. 6**).



**Rys. 6.** Widma AES próbki M2T5(G7A3)10%

Fig. 6. AES spectra of sample M2T5 (G7A3)10%

W celu zobrazowania grubości warstewki miedzianej na ścieżce zużycia i udziału w tej strefie żelaza i jego związków wykonano dla próbki M2T15(G7A3)10%, przy której układ nie zacierał się w całym zakresie wymuszeń (obciążenie do 800 daN), profile wgłębne (**Rys. 7**).



**Rys. 7.** Profil wgłębny dla pierwiastków metalicznych bez udziału tlenu i węgla próbki M2T15(G7A3)10%

Fig. 7. Depth profile for metallic elements without oxygen and carbon of sample M2T15 (G7A3)10%

Wykonany profil wgłębny próbki M2T15(G7A3)10% ujawnił występowanie miedzi metalicznej w postaci warstwy o grubości kilkudziesięciu nanometrów. Interesujący jest też udział żelaza metalicznego i jego związku z tlenem w analizowanej warstwie.

## PODSUMOWANIE

Wprowadzenie do objętości Smaru Maszynowego 2 tlenku miedzi skutkowało pojawieniem się na ścieżce kontaktu miedzi metalicznej, co świadczyło o występowaniu zjawiska redukcji tlenku miedzi do miedzi metalicznej. Proces ten charakteryzował się niewielką intensywnością. W celu zwiększenia intensywności tego zjawiska do mieszaniny Smaru Maszynowego 2 z tlenkiem miedzi CuO wprowadzono roztwór gliceryny i alkoholu etylowego w ilości 10% wagowo. Udział gliceryny w roztworze wynosił 70% wagowo. Wyniki badań AES warstwy powierzchniowej warstw wierzchnich i wybrane profile wgłębne potwierdziły występowanie zwiększonej ilości i grubości warstewki miedzi metalicznej dla składów smaru zawierających łącznie tlenek miedzi i roztwór gliceryny z alkoholem etylowym. Obecność na ścieżce kontaktu warstewki miedzi skutkowała wzrostem wartości granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$  z 531,7  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$  dla Smaru Maszynowego 2 do wartości 1736,4  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$  dla smaru zawierającego dodatek tlenku miedzi w ilości 15% wagowo i 10% mieszaniny gliceryny z alkoholem etylowym. Szczególnie wyraźny wpływ wymienionych wcześniej domieszek do Smaru Maszynowego 2 wystąpił w przypadku obciążenia zacierającego  $F_t$ . Wskaźnik ten dla Smaru Maszynowego 2, mieszaniny tego smaru z tlenkiem miedzi w ilości 5% wagowo i mieszaniny gliceryny z alkoholem (70% + 30% wag.) kształtował się na podobnym poziomie i wynosił 1308[N]. Po wprowadzeniu do mieszaniny Smaru Maszynowego 2 zawierającego 5% i 15% tlenku miedzi 10% mieszaniny gliceryny i alkoholu etylowego (70% + 30% wag.) zaobserwowano gwałtowny wzrost wskaźnika  $F_t$ . Dla smaru zawierającego 5% tlenku miedzi i 10% gliceryny z alkoholem etylowym obciążenie zacierające osiągnęło wartość 5791 [N]. Dla smaru zawierającego 15% tlenku miedzi i taką samą ilość gliceryny z alkoholem etylowym układ nie zacierał się przy maksymalnym obciążeniu stanowiska badawczego wynoszącym 7848 [N]. Oznacza to, że powstająca w wyniku redukcji tlenku miedzi do miedzi metalicznej warstewka spełnia rolę smaru stałego, zapobiega adhezji materiałów jednoimiennych kontaktujących się kulek stalowych, co powoduje, że cechy przeciwzatarciowe takich kompozycji smarowych są wysokie.

## LITERATURA

1. Norma ISO 6743-9.
2. Grudev A.P., Zilberg Ju.V., Tilik V.T.: Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem, Moskva, Metallurgija, 1982.
3. Kalinin A.A., Melnikov V.G., Judina T.F., Lazjkk J.N.: Sravnitel'naja effektivnost nekotorych napolnitelej seryjnych plastycznych smazok. Trenie i iznos, 1988, T. 9, No. 1, s. 173–177.



4. Kužarov A.S., Fisenko O.V.: Issledovanie tribotechniceskich svojstv metalloplakirujščich smazok na osnovie ciatim 201, legirovanych medno – niklerymi kompozycjami, *Trenie i iznos*, 1992, T. 13, No. 6, s. 1057–1064.
5. Rajbov D.V., Matveeskij R.M., Bujanovski I.A.: Vlijanie medosderžavčich dobavok na antifrikcionnyje svojstva plastičnych smazok. *Trenie i iznos* 1999, T. 10, No. 6, s. 1100–1104.
6. Ilinn N., Sedova V.L., Jurcenko Ju.N.: Vlijanie metoda i uslovij nanesenija mednovo pokrytija na prirabatyvaemost par trenija skolženia. *Trenie i iznos*, 1986, T. VII, No. 1, s. 164–167.
7. Pytko S., Marzec S.: Ocena tribologicznych właściwości cieczy opartych na kompleksach miedzi i niklu stosowanych podczas skrawania. *Tribologia*, 4, 1995, s. 373–381.
8. Garkunov D.N.: *Trybotechnika*, Moskva, Mašinostroenie, 1985.
9. Garkunov D.N., Kragielskij I.V., Poljakov A.A.: *Izbitatelnyj perenos v uzlach trenia*, Transport, Moskva 1969.
10. Garkunov D.N.: *Tribotechnika*, Mašinostroenie, Moskva 1985.
11. Polzer G., Meissner F.: *Osnovy trenia i znašivania Mašinostroenie*, Moskva 1984.
12. Król M.: *Możliwości, warunki i efekty realizacji selektywnego przenoszenia miedzi w skojarzeniach ślizgowych*, XV Szkoła tribologiczna, Rzeszów 1987, s. 241–243.
13. *Instrukcja obsługi aparatu czterokulowego T-02*, Instytut Technologii Eksploatacji Radom, s. 42.
14. Bizjak M., Zalar A., Panjan P., Zorko B., Pracek B.: *Appl. Surf. Sci*, 2007, 253, s. 3977–3981.
15. Czupryk W., Kobryn J., Bęben J.: *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu Nr 92, Nauki Inżynierskie i Technologie 2*, 2010, s. 189–196.

## Summary

**The anti-seizing properties of Machine Grease 2 are too poor to ensure the proper lubrication of rolling bearings. This is confirmed by research publications and the results of the author's tests carried out using the four-ball EP tester.**

In order to enhance the anti-seizing properties of Machine Grease 2, a mixture of copper oxide, glycerine, and ethyl alcohol was introduced into its volume. The aim of the tests was to find out if, under high pressures, variable stresses and short-duration temperatures in the contact region cause the copper oxide to be reduced to metallic copper functioning as grease.

The tests in the four-ball EP tester were carried out in three consecutive series, each lasting 60 seconds. The pressure remained

constant and amounted to 1472 N. After the tests, the limit of the seizure load  $G_{0Z}$  was calculated.

Index  $G_{0Z}$  was found to be considerably higher for lubricants containing the above additives, amounting to  $529 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$  and  $900\text{--}1736 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$  for Machine Grease 2 and lubricating compositions containing the mixture of copper oxide, glycerine and ethyl alcohol, respectively. Due to the presence a metallic copper film on the contact path, seizure resistance  $P_t$  increased three to even four times in comparison with this index for Machine Grease 2.