

**Jadwiga BAJER\***

**WPŁYW DODATKU SMARNEGO  
NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE  
NISKOTEMPERATUROWEGO SMARU  
PLASTYCZNEGO**

**THE INFLUENCE OF LUBRICATING ADDITIVE  
ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS  
OF LOW-TEMPERATURE GREASE**

**Słowa kluczowe:**

moment rozruchowy, smarność, powierzchniowe zużycie zmęczeniowe, modyfikator właściwości smarnych, aparat 4-kulowy, mikroskopia skaningowa, spektrofotometria IR

**Key-words:**

starting torque, lubricity, pitting, modifier of lubricating properties, four-ball machine, scanning microscopy, IR spectrometry

**Streszczenie**

W publikacji podano wyniki badań właściwości tribologicznych smaru plastycznego odpornego na działanie niskich temperatur w zależności od

---

\* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, ul. Pułaskiego 6/10, tel. (048) 36-442-41, fax (48) 36-447-65.

rodzaju i stężenia modyfikatora właściwości smarnych. Wykorzystano technikę mikroskopii skaningowej do zbadania zmian powierzchni śladu zużycia węzła tarcia smarowanego smarem zawierającym różne dodatki marne.

Wykonano badania określone normą oraz test zmodyfikowany w warunkach zacierania wyznaczając właściwości przeciwzatarciowe i przeciuzużyciowe. Przedstawiono wartość momentu rozruchowego po godzinie pracy, od których zależy rozruch maszyny w warunkach niskich temperatur. Przedstawiono zdjęcia powierzchni śladów zużycia oraz zmiany ilościowe pierwiastków na tych powierzchniach.

Wyniki charakteryzujące właściwości smarne przedstawionych niskotemperaturowych smarów plastycznych porównano z parametrami smaru bazowego, tzn. smaru nie zawierającego modyfikatora właściwości smarnych.

## WPROWADZENIE

Smary plastyczne stosowane w warunkach otoczenia niskich temperatur muszą spełniać wymagania przewidziane dla danej grupy smarów, w tym przede wszystkim muszą minimalizować skutki tarcia i obniżać współczynnik tarcia. Właściwości smarne smaru plastycznego mają wpływ na trwałość węzłów tarcia, wydłużenie bezawaryjnego czasu pracy urządzenia, ograniczają tym zużycie środka smarowego. Wymagania te dotyczą każdego środka smarowego, niezależnie od warunków, w jakich smar jest eksploatowany. Eksploatacja maszyn w temperaturach poniżej  $-35^{\circ}\text{C}$  wymaga zastosowania takiego środka smarowego, który zapewni rozruch i bezawaryjną eksploatację.

Większość dotychczas stosowanych zmienia właściwości reologiczne i twardnieje pod działaniem niskich temperatur, co może uniemożliwić rozruch urządzenia. Dlatego smar plastyczny przeznaczony do pracy w niskich temperaturach musi składać się z substancji chemicznych odpornych na działanie tych temperatur.

Obszarem zastosowania smarów mogących pracować w niskich temperaturach jest przede wszystkim przemysł spożywczy i dlatego składniki smaru oraz produkt smarowy z nich utworzony muszą być przyjazne dla środowiska [L. 1–3]. Regulują ten problem dyrektywy Unii Europejskiej (UE), rozporządzenia krajowe dotyczące produkcji i stosowania związków i produktów chemicznych. Istotnym warunkiem, jaki musi spełnić

smar plastyczny, są właściwości smarne zależne od obszaru stosowania oraz wymuszeń eksploatacyjnych.

W Instytucie Technologii Eksploatacji opracowuje się smary plastyczne do różnych zastosowań [L. 4–6]. Uwzględniając wymagania unijne dobiera się nowe, dotychczas nie stosowane surowce, dodatki smarne, prowadzi się modyfikację opracowanych wcześniej środków smarowych i opracowuje nowe o wymaganych parametrach. Do takich smarów należą smary do stosowania w niskich temperaturach.

W pracy przedstawiono właściwości smarne opracowanych smarów plastycznych odpornych na działanie temperatury poniżej  $-35^{\circ}\text{C}$  w zależności od rodzaju oraz stężenia dodatku smarnego.

## METODYKA BADAŃ

Do badań użyto smary odporne na działanie niskich temperatur na bazie mieszaniny syntetycznych polialfaolefin i sebacynianu dioktylu (PO/SO), zagęszczonych modyfikowaną krzemionką (A).

Jako dodatek smarny zastosowano krzemian magnezu-talk czysty (T) w ilości 5%, 10%, 15% oraz azotek boru (AB) w ilości 2%, 4%, 8% (Tab. 1). Stężenie talku przyjęto na podstawie wyników wcześniej realizowanych prac badawczych [L. 7], azotek boru zastosowano na podstawie informacji literaturowych [L. 8].

**Tabela 1. Skład i oznaczenia smarów**

Table 1. The chemical compositions and designations of greases

| Smar        | Oznaczenie próbki | Dodatek smarny |                 |
|-------------|-------------------|----------------|-----------------|
|             |                   | Talk [%]       | Azotek boru [%] |
| PO/SO_A_0   | A0                | –              | –               |
| PO/SO_A_T5  | A1                | 5              | –               |
| PO/SO_A_T10 | A2                | 10             | –               |
| PO/SO_A_T15 | A3                | 15             | –               |
| PO/SO_A_AB2 | B1                | –              | 2               |
| PO/SO_A_AB4 | B2                | –              | 4               |
| PO/SO_A_AB8 | B3                | –              | 8               |

Smary plastyczne przygotowano w temperaturze otoczenia wykorzystując odpowiedni wymiar cząsteczek krzemionki oraz bardzo dobrą zwilżalność prowadzącą do utworzenia żelu. Następnie dodano modyfikator właściwości smarnych.

Właściwości smarne opracowanych smarów plastycznych określono prowadząc badania znormalizowane wg normy PN-78/04147 oraz test zmodyfikowany w warunkach zacierania na aparacie 4-kulowym [L. 9]. Określono właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe wyznaczając graniczne obciążenie zużycia  $G_{oz}$ , graniczny nacisk zatarcia  $p_{oz}$  i średnicę powierzchni śladu zużycia.

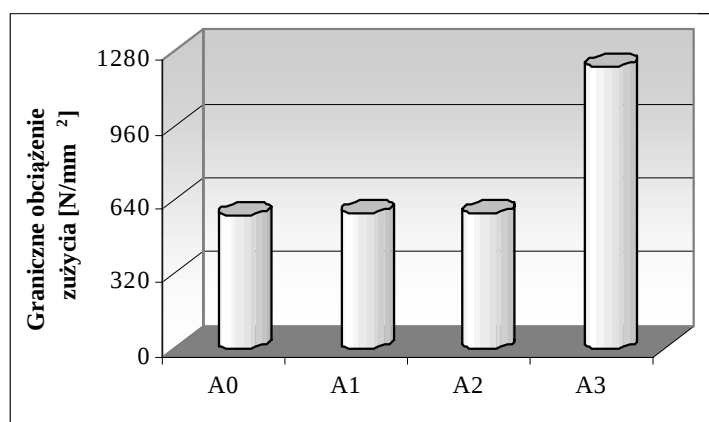
Do badań porównawczych śladu zużycia powierzchni smarowanej smarem bazowym i smarem zawierającym dodatek smarny wykorzystano skaningową mikroskopię elektronową (SEM) oraz komputerową mikroanalizę widm i obrazu (EDS), a także odbiciową mikrospektrofotometrię w podczerwieni FTIRM stosując mikrospektrofotometr FTIR i-Series<sup>TM</sup> wyposażony w komputer i odpowiednie oprogramowanie do rejestracji i obróbki widm.

Badanie określające moment obrotowy łożyska w temperaturze  $-54^{\circ}\text{C}$  wykonano zgodnie z normą ASTM D 1478 wyznaczając wartość momentu obrotowego w chwili rozruchu oraz po 1 h pracy.

## WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH

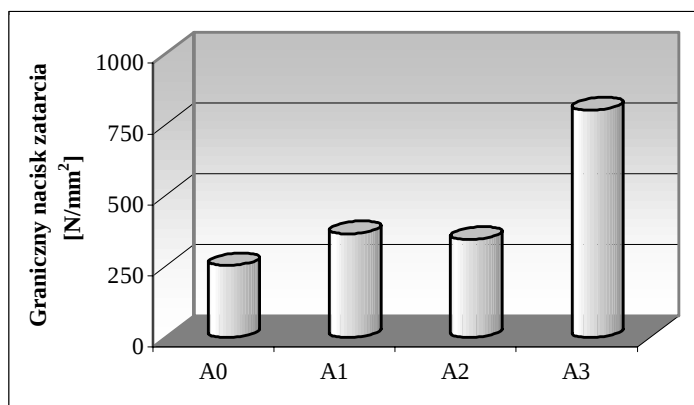
Poniżej przedstawiono wyniki badań przeciwzatarciowych i przeciwzużyciowych określonych przez wartość granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$ , granicznego nacisku zatarcia  $p_{oz}$  oraz średnicę śladu wytarcia na kulkach.

Na **Rysunkach 1–3** przedstawiono właściwości smarne smarów w zależności od ilości dodatku krzemianowego – talku.



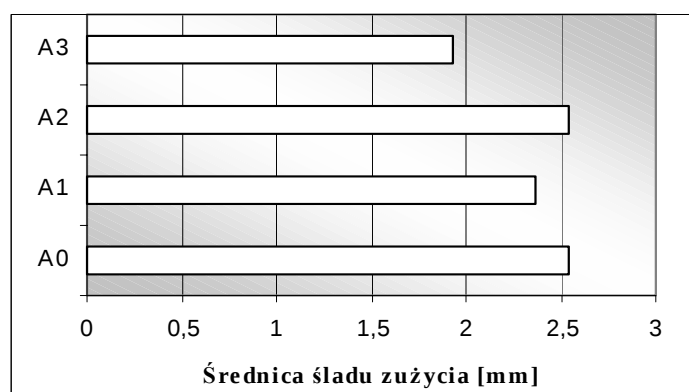
**Rys. 1. Graniczne obciążenie zużycia węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością talku**

Fig. 1. The values of limiting load of wear for plastic greases with lubricating additive (talc)



**Rys. 2. Graniczny nacisk zatarcia węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością talku**

Fig. 2. The values of limiting pressure of seizure for plastic greases with lubricating additive (talc)



**Rys. 3. Średnica śladu wytarcia na kulkach w warunkach zacierania węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością talku**

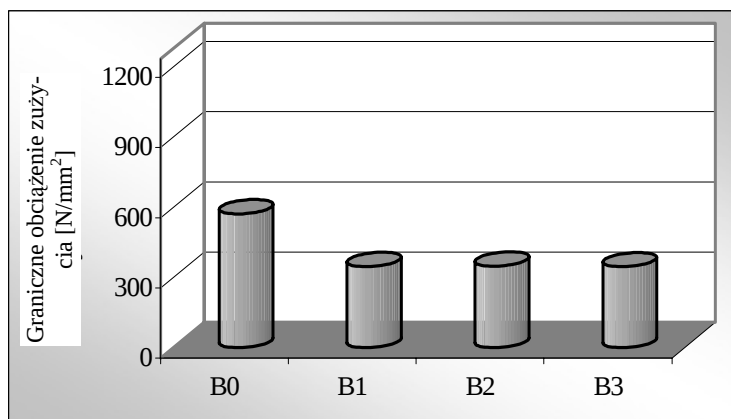
Fig. 3. Wear-scar diameter on the steel balls lubricated with plastic greases with lubricating additive (talc)

Na podstawie analizy wyników właściwości smarnych stwierdza się zdecydowaną poprawę wszystkich badanych parametrów w przypadku działania krzemianu magnezu w ilości 15%. Właściwości przeciwzużyciowe smaru wzrosły ponaddwukrotnie w stosunku do smaru bazowego i prawie tyle samo w stosunku do smarów zawierających 5% i 10% dodatku krzemianowego. Dodatek 15% talku poprawił odporność na zacieranie trzykrotnie w porównaniu do smaru bez dodatku smarnego, a prawie dwukrotnie wzrosły właściwości przeciwzatarciowe smaru A3 w sto-

sunku do smarów A2 i A1. Stwierdzono również, iż 5% dodatku smarnego efektywniej wpływa na poprawę parametrów tribologicznych niż jego 10% stężenie.

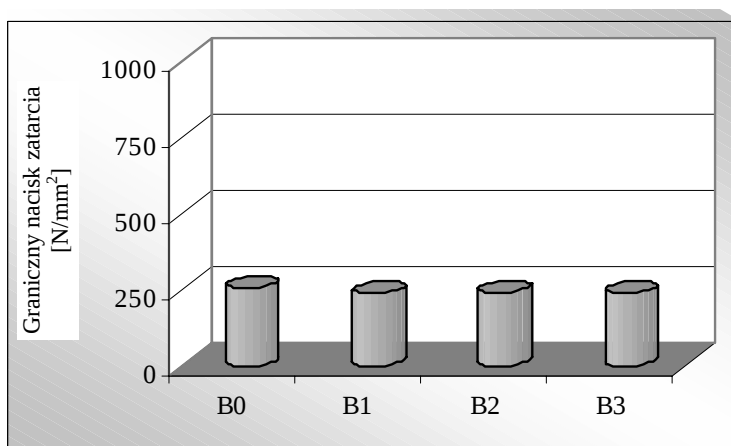
Drugim zastosowanym w różnych stężeniach modyfikatorem właściwości smarnych był azotek boru.

Na **Rysunkach 4–6** przedstawiono właściwości smarne smarów w zależności od stężenia azotku boru.



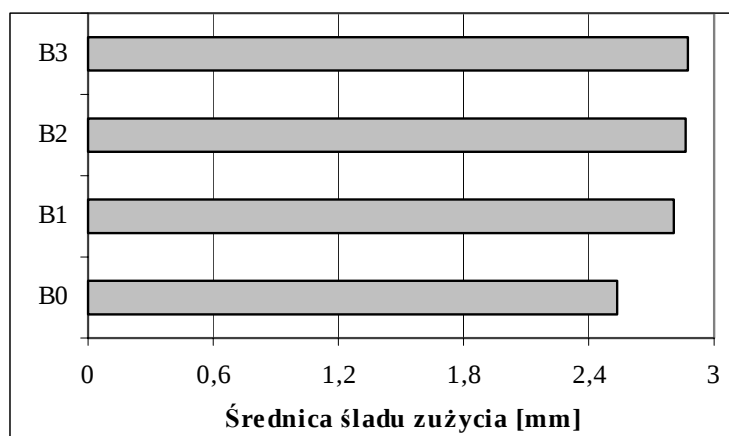
**Rys. 4. Graniczne obciążenie zużycia węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością azotku boru**

Fig. 4. The values of limiting load of wear for plastic greases with lubricating additive (boron nitride)



**Rys. 5. Graniczny nacisk zatarcia węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością azotku boru**

Fig. 5. The values of limiting pressure of seizure for plastic greases with lubricating additive (boron nitride)



**Rys. 6. Średnica śladu wytarcia na kulkach w warunkach zacierania węzłów tarcia smarowanych smarem plastycznym z różną ilością azotku boru**

**Fig. 6. Wear-scar diameter on the steel balls lubricated with plastic greases with lubricating additive (boron nitride)**

Wyniki badań wykazują brak pozytywnego wpływu azotku boru na właściwości smarne opracowanych smarów plastycznych przeznaczonych do stosowania w niskich temperaturach. Dodatek azotku boru obniżył zdecydowanie odporność przeciwzużyciową smaru, nie wpłynął też na poprawę właściwości przeciwwzartarciowych.

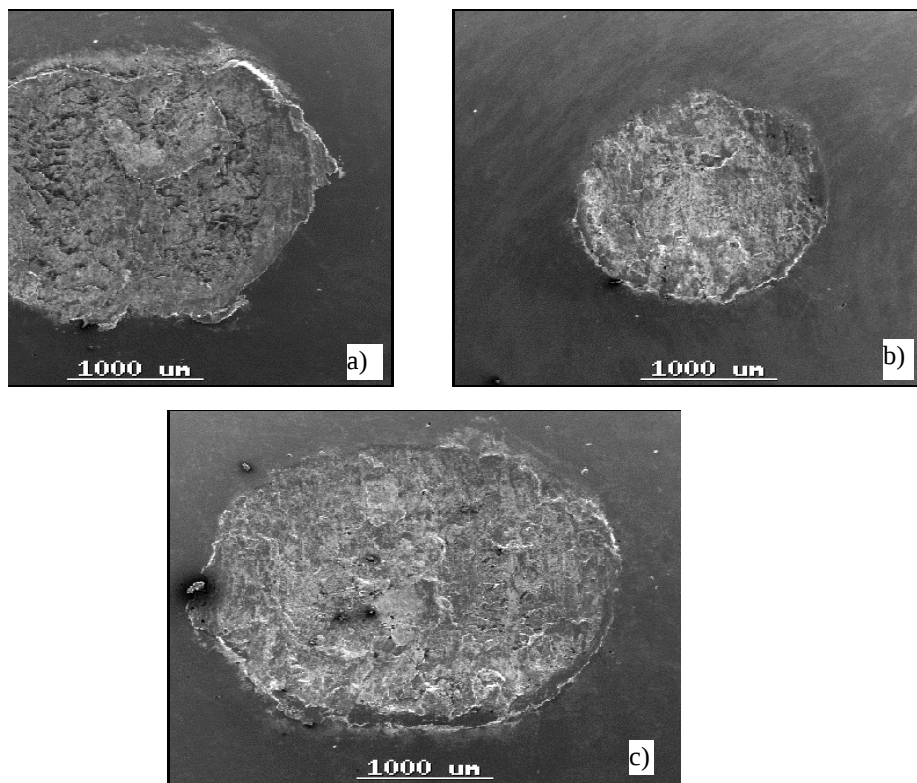
#### **WYNIKI BADAŃ POWIERZCHNI ŚŁADU ZUŻYCIA**

Wyniki badań tribologicznych na aparacie 4-kulowym potwierdzają przedstawione poniżej zdjęcia powierzchni śladów wytarcia na kulkach testowych smarowanych opracowanymi smarami plastycznymi. Przedstawiono zdjęcia smaru bazowego A0 oraz smarów z najefektywniej działającą ilością dodatku smarnego – 15% talku – smaru A3 i 2% azotku boru – smaru B1.

Na podstawie przedstawionych zdjęć stwierdza się wyraźne zmniejszenie śladu zużycia w przypadku stosowania smarów zawierających dodatek smarny, jakim jest krzemian magnezu. Zaobserwowano też zmiany w składzie pierwiastkowym na powierzchni śladu wytarcia w przypadku zastosowania smarów po dodaniu talku oraz azotku boru (**Rys. 8**).

Różnice w składzie pierwiastków na powierzchni śladu wytarcia węzła tarcia smarowanego smarem podstawowym i smarem z dodatkiem

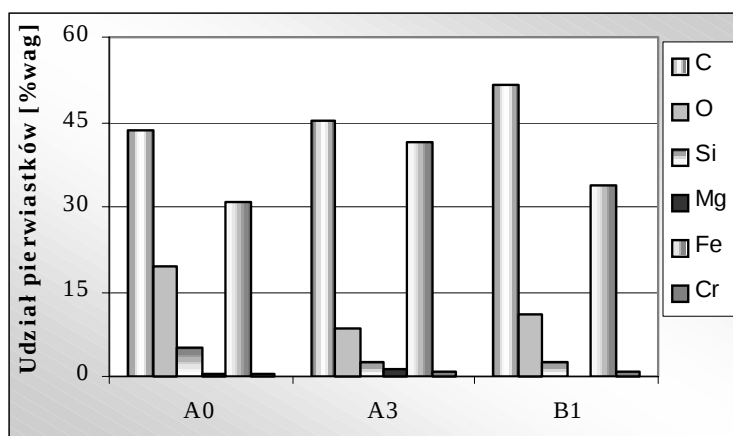
smarnym mogą świadczyć o przyłączeniu niektórych pierwiastków, np. magnezu i krzemu dla próbki A3, pochodzących z dodatku smarnego (krzemian magnezu). Proces ten mógł mieć charakter chemiczny (temperatura w styku w warunkach zacierania dochodzi do 1000°C) [L. 10, 11] lub fizyczny.



Rys. 7. Ślady wytarcia na powierzchni smarowanej smarem bazowym A0 (a), smarem z dodatkiem talku A3 (b) i smarem z azotkiem boru B1 (c)

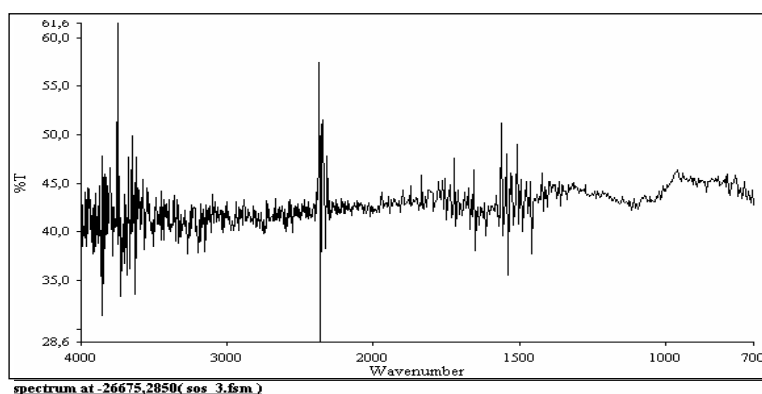
Fig. 7. Images of wear-scar surfaces lubricated with: a) A0 base grease, b) A3 grease with talc, c) B1 grease with boron nitride

Ze względu na właściwości chemiczne dodatków smarnych zmiany, jakie zaszły na powierzchni śladu wytarcia nie mogły doprowadzić do utworzenia organicznej warstwy granicznej, o czym świadczy widmo w podczerwieni dla smaru A3 (Rys. 9).



Rys. 8. Udział wagowy pierwiastków w warstwie wierzchniej śladu wytarcia dla smaru podstawowego A0 oraz smaru z dodatkiem smarnym A3 i B1

Fig. 8. Percentage by weight of elements in wear-scar surface layer lubricated with A0 base



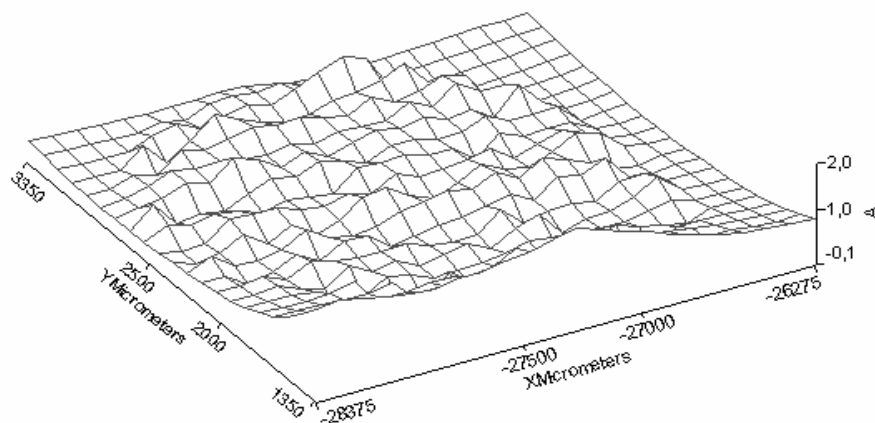
Rys. 9. Widmo IR zebrane z powierzchni śladu wytarcia dla smaru A3

Fig. 9. IR spectrum recorded from wear-scar surface layer lubricated with A3 grease

Obserwowane w widmie sygnały stanowią tzw. „szumy” w wyniku absorpcji atmosferycznej pary wodnej oraz dwutlenku węgla [L. 12], których wielkość stanowi jedyną różnicę w widmach z powierzchni śladu zużycia węzłów tarcia smarowanych badanymi smarami plastycznymi.

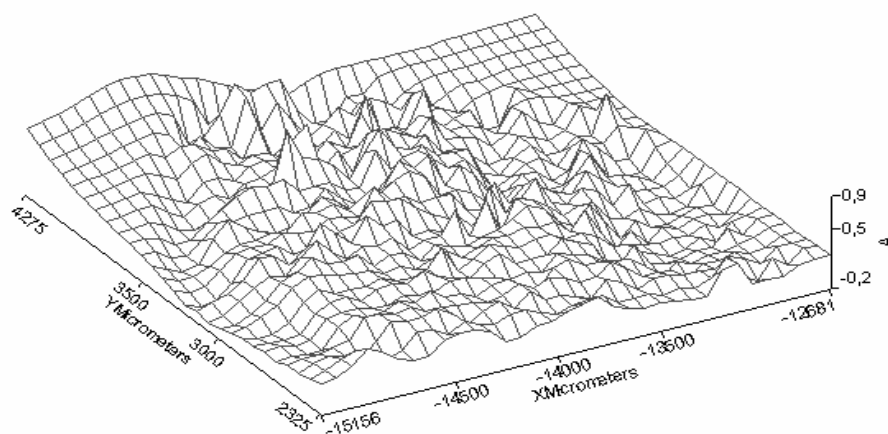
Można stwierdzić, że w wyniku oddziaływania środka smarowego, zawierającego dodatek smarny, z powierzchnią stalowych kulek wzrasta koncentracja pierwiastków – magnezu Mg oraz żelaza Fe i tlenu O<sub>2</sub>, co może świadczyć o utworzeniu związków nieorganicznych pierwiastków pochodzących z dodatków smarnych ze stałą próbek.

Po wykluczeniu możliwości utworzenia organicznej warstwy granicznej na podstawie widma IR zebranego z powierzchni śladu zużycia i rozkładu powierzchniowego całkowitej absorbancji promieniowania IR, przedstawionego w formie przestrzennej, można wnioskować jedynie o kształcie powierzchni, jaka powstała na kulce w teście tribologicznym w warunkach zacierania (**Rys. 10, 11**).



**Rys. 10. Topografia rozkładu powierzchniowego całkowitej absorbancji promieniowania IR dla smaru A3**

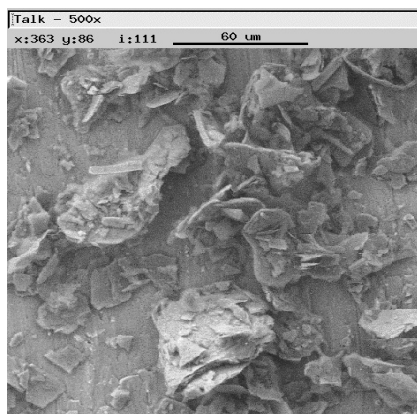
Fig. 10. The IR total absorbance map of surface layer lubricated with A3 grease



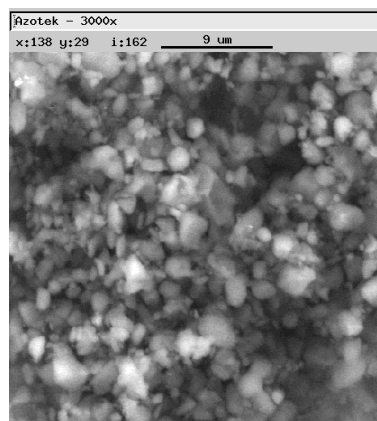
**Rys. 11. Topografia rozkładu powierzchniowego całkowitej absorbancji promieniowania IR dla smaru B1**

Fig. 11. The IR total absorbance map of surface layer lubricated with B1 grease

Zdecydowaną poprawę parametrów tribologicznych w przypadku zastosowania smaru z dodatkiem talku można wytłumaczyć niewytworzeniem warstwy granicznej na powierzchni śladu wytarcia, ale głównie zmniejszającym współczynnik tarcia „poślizgowym” działaniem dodatku o blaszkowatej budowie, jaką posiada substancja pochodzenia mineralnego – krzemian magnezu, tzw. talk. Na przedstawionych poniżej rysunkach można zauważyć różnice w budowie cząsteczek talku i azotku boru, które mogą wyjaśniać uzyskane wyniki badań.



**Rys. 12. Obraz czystego talku**  
Fig. 12. The image of pure talc



**Rys. 13. Obraz czystego azotku boru**  
Fig. 13. The image of pure boron nitride

Różny kształt cząsteczek dodatków oraz przyjęte w metodyce eksperymentu stężenia mogły wpłynąć na różny stopień efektywności działania zastosowanych modyfikatorów smarnościowych.

## WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI ROZRUCHOWYCH

Istotnym parametrem opisującym skuteczność działania smaru plastycznego w warunkach temperatur ujemnych jest moment obrotowy w chwili rozruchu i po 1 godzinie pracy warunkujący rozruch maszyny i jej eksploatację w niskich temperaturach.

Wartość momentu obrotowego w warunkach opisanych w normie ASTM D 1478 w temperaturze  $-54^{\circ}\text{C}$  dla smaru z dodatkiem krzemianu magnezu oraz smaru bazowego przedstawia **Tabela 2**.

**Tabela 2. Moment obrotowy niskotemperaturowych smarów plastycznych w temperaturze -54°C**

Table 2. Low-temperature torque of ball bearing greases at T = -54°C

| Smar plastyczny | Moment obrotowy [Nm] |              |
|-----------------|----------------------|--------------|
|                 | W chwili rozruchu    | Po 1 h pracy |
| A0              | 0,057                | 0            |
| A2              | 0,057                | 0            |

Dodatek smarny (talk) nie ma wpływu na właściwości rozruchowe urządzenia w temperaturze -54°C w przypadku przedstawionych smarów plastycznych. Opracowane smary plastyczne mogą być zalecane do stosowania w temperaturze do -54°C.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników badań właściwości smarnych opracowanych niskotemperaturowych smarów plastycznych wzbogaconych modyfikatorem smarnościovym pochodzenia mineralnego stwierdzono, że:

- krzemian magnezu, tzw. talk posiada właściwości poprawiające smarność opracowanego smaru plastycznego do stosowania w temperaturach ujemnych,
- najskuteczniej przeciwzatarciowo i przeciwzużyciowo działa stężenie 15% dodatku krzemianowego,
- azotek boru zastosowany w stężeniu 2%, 4%, 8% pogorszył właściwości przeciwzużyciowe opracowanego smaru i nie wpłynął na poprawę właściwości przeciwzatarciowych smaru,
- zastosowany dodatek smarny nie wpływa na wzrost momentu obrotowego w temperaturach ujemnych.

Potwierdzona została skuteczność działania 15% dodatku talku czystego jako dodatku smarnego, którego pozytywny wpływ stwierdzono w wyniku wcześniej realizowanych prac [L. 13, 14]. Nie stwierdzono skuteczności działania azotku boru jako dodatku smarnego. Ocena ta dotyczy wyników uzyskanych w realizowanym zadaniu.

*Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.*

## LITERATURA

1. Dyrektywa UE 91/155/EEC – Karty Bezpieczeństwa Produktu.
2. Dyrektywa UE 67/584/EEC, Dyrektywa 1999/45/EC – Klasyfikacja i etykietowanie produktów niebezpiecznych dla środowiska naturalnego.
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 22 grudnia 2004 (Dz. U. Nr 2, poz. 9) w sprawie Karty charakterystyki substancji niebezpiecznej i preparatu niebezpiecznego.
4. Bajer J., Drabik J., Pawelec E., Janecki J.: Fizykochemiczne podstawy technologii otrzymywania smarów plastycznych odpornych na działanie niskich temperatur. Praca badawcza ITeE, Radom 2004.
5. Drabik J., Pawelec E.: Wpływ komponentów na właściwości wysokotemperaturowe smaru plastycznego. Problemy Eksploatacji nr2/2004.
6. Bajer J.: Wpływ składników smaru plastycznego do pracy w temperaturach ujemnych na charakterystyki tribologiczne. Tribologia 5/2005.
7. Bajer J., Janecki J.: Wpływ dodatków przeciwzatarciowych na właściwości tribologiczne niskotemperaturowych syntetycznych smarów plastycznych. Tribologia 4/2001.
8. Pawelec E.: Zwiększenie przeciwzużyciowych właściwości biodegradowalnego smaru plastycznego nietoksycznymi dodatkami. Grant 2000-2002
9. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2000.
10. Barewill F. T.: Łożyskowanie. WNT, Warszawa 1984.
11. Hebda M., Janecki J.: Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn. WNT. Warszawa 1972.
12. Smith A.L.: Applied infrared spectroscopy. Fundamentals, techniques and analytical problem-solving. John Wiley&Sons. New York-Chichester-Brisbane-Toronto 1979.
13. Janecki J.: Nietoksyczne smary plastyczne na bazie związków syntetycznych. Grant 2001–2003. ITeE.
14. Bajer J., Janecki J.: Syntetyczne smary plastyczne do różnych zastosowań. Problemy Eksploatacji 2/2002.

**Recenzent:**  
**Stanisław PYTKO**

## Summary

**In the following article the author presents investigation results of tribological properties dependence of low-temperature grease on concentration of lubricating modifier. The friction pair were lubricated**

with the greases containing different lubricating additives. The changes taking place on the wear-scar surface layer were examined with the use of scanning microscope.

The antiwear and extreme pressure properties were examined with the standard and modified methods. The value of starting torque and the value after 1 hour of operating were presented. The values of these parameters determine starting an machine at low temperature. The images of wear-scar and quantitative changes of elements on the surface layer are presented.

The lubricating properties of investigated greases were compared properties of greases without lubricity modifier.