

**Jadwiga BAJER\***

## **WPLYW RODZAJU CIECZY BAZOWEJ SMARÓW PLASTYCZNYCH NA ZUŻYCIE ZMĘCZENIOWE MODELOWEGO WĘZŁA TARCIA**

### **THE INFLUENCE OF THE TYPE OF BASE LIQUID OF GREASES ON FATIGUE WEAR OF MODEL FRICTION COUPLES**

#### **Słowa kluczowe:**

zużycie, pitting, tribologia, efekt Rebindera, smar plastyczny

#### **Key words:**

wear, pitting, tribology, Rebinder effect, grease

#### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono charakterystyki zużycia zmęczeniowego powierzchni w łożysku tocznym modelowego wężła tarcia, smarowanego plastycznymi środkami smarowymi na bazie oleju mineralnego i cieczy syntetycznych.

---

\* Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel. (48) 364-42-41, fax (48) 36-447-65.

Zbadano, wg normy IP 300/82, wpływ badanych środków smarowych na pitting elementów pracujących w wysoko obciążonym styku smarowanym.

Oceniono skuteczność przeciwpittingową środków smarowych, porównując  $L_{10}$  i  $L_{50}$ , tj. czas, po upływie którego 10% i 50% węzłów tarcia, smarowanych badanymi środkami smarowymi, ulegnie uszkodzeniu.

Stwierdzono, że wyższą trwałość węzłów tarcia zapewnia smar plastyczny, w którym jako ciecz bazową zastosowano głęboko rafinowany olej parafinowy lub jego mieszaninę z diestrem kwasu sebacynowego. Natomiast olej syntetyczny, stosowany jako baza smaru plastycznego, powodował znaczne pogorszenie właściwości przeciwpittingowych w porównaniu z pozostałymi zbadanymi kompozycjami smarów plastycznych.

## WPROWADZENIE

Procesowi tarcia najczęściej towarzyszy zużywanie warstwy wierzchniej. Mechanizm zużycia uzależniony jest od rodzaju występującego tarcia, na który wpływa rodzaj styku, prędkość przesuwu powierzchni trących, występujące naciski i temperatura. Jednym z głównych mechanizmów zużycia, występującego m.in. w łożyskach tocznych, jest pitting. [L. 1, 2]. W wyniku cyklicznego oddziaływania naprężeń kontaktowych w przypadku toczenia z poślizgiem powstają mikropęknięcia materiału, których ilość wzrasta podczas dalszej pracy, co prowadzi do odpadania podłoża w formie gruzełków. Negatywnym skutkiem tej formy zużycia jest obniżenie trwałości powierzchni trących, prowadzące do granicznego pogorszenia właściwości eksploatacyjnych elementów trących.

Według niektórych hipotez na wzrost zjawiska pittingu, zachodzącego również przy tarcii suchym, może mieć wpływ środek smarowy [L. 3, 4]. Według Rebindera warstwa wierzchnia ulega niszczeniu w wyniku wnikania w mikropory i mikropęknięcia cząstek aktywnych, jakimi są np. dodatki uszlachetniające. Jednak wpływ tzw. efektu Rebindera na zużywanie powierzchni trących, w stosunku do zużycia powierzchni w przypadku tarcia suchego, jest minimalny.

Ponieważ stosowanie środków smarowych wydłuża czas życia węzła tarcia w stopniu zdecydowanie przewyższającym ich przypuszczalnie

negatywne skutki oddziaływania, więc problemem pozostaje zminimalizowanie niekorzystnego wpływu niektórych składników smaru na zużycie zmęczeniowe powierzchni przez dobór odpowiednich surowców. Wiadomym jest, że właściwości tribologiczne środka smarowego zależne są od właściwości fizykochemicznych substancji chemicznych stosowanych do wytworzenia smaru plastycznego, zarówno fazy dyspergującej i rozproszonego w niej środka zagęszczającego, jak i modyfikatorów właściwości użytkowych [L. 5–7].

Celem pracy było zbadanie wpływu rodzaju cieczy bazowej na skuteczność przeciwpittingową smarów plastycznych, które testowano w modelowym węźle tarcia.

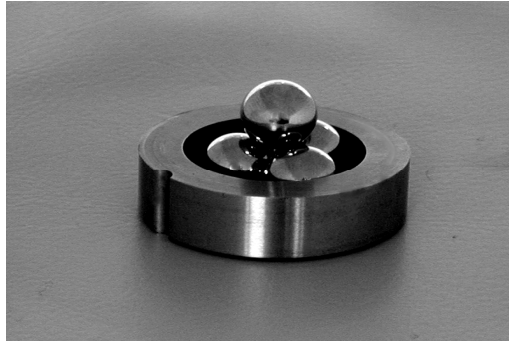
## METODYKA BADAŃ

Do badań przygotowano smary plastyczne na bazie głęboko rafinowanego oleju parafinowego (F), syntetycznego diestru kwasu sebacynowego (S), mieszaniny oleju parafinowego i diestru kwasu sebacynowego (F/S) w stosunku wagowym 3:2. Dobór jakościowy cieczy bazowej podyktowany był koniecznością uzyskania właściwości niskotemperaturowych smaru bez szkody dla jego skuteczności smarowej [L. 8, 9].

Jako zagęszczacz organiczny zastosowano stearynian litu. Ponadto wprowadzono dodatek smarny w postaci czystego krzemianu magnezu – talku. Stosunek ilościowy składników był wartością stałą, ustaloną eksperymentalnie, co pozwoliło otrzymać smary plastyczne o klasie konsystencji 2, charakteryzującej najczęściej stosowane środki smarowe.

Smary wykonano zgodnie z opracowaną wcześniej procedurą otrzymywania [L. 8], stosując składniki (olej bazowy : zagęszczacz : dodatek smarowy) w proporcjach 9 : 1 : 1,76 cz.wag. i oznaczono symbolami: sF, sS, sF/S, uwzględniającymi zróżnicowane bazy olejowe.

Ze względu na przeznaczenie smaru do stosowania w łożyskach tocznych, wykonano badanie zużycia zmęczeniowego na aparacie czterokulowym, według normy IP 300/82. Zbadano trwałość tocznego węzła tarcia (**Rys. 1**) na podstawie czasu trwania określonej ilości biegów badawczych zakończonych pittingiem.



**Rys. 1. Czterokulowy węzeł tarcia do badania pittingu**

Fig. 1. Four-ball friction couple to research of pitting

Wynikiem pojedynczego biegu badawczego był czas testu, wyrażony w minutach. Każdemu wynikowi przyporządkowano wartość, będącą procentowym prawdopodobieństwem wystąpienia uszkodzenia kulek, zgodnie z wzorem:

$$\% \text{ uszkodzeń} = i/(n+1) * 100 [\%],$$

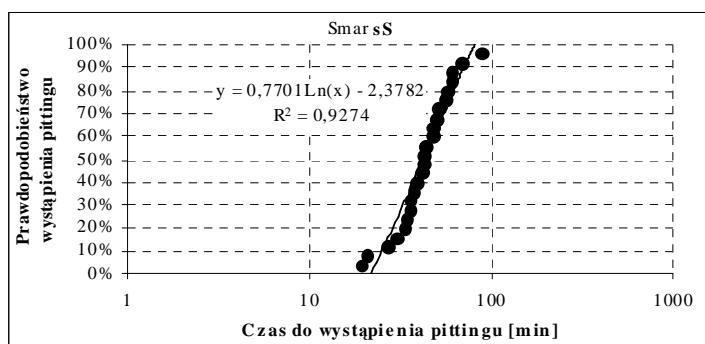
gdzie:  $i$  – numer biegu,  
 $n$  – liczba biegów ważnych.

W układzie współrzędnych Weibulla wykreślono zależność czasu trwania biegu badawczego od prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia. Z wykresu odczytano wartości  $L_{10}$  i  $L_{50}$ , określające trwałość węzła tarcia w minutach odpowiednio przy 10% i 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia węzła tarcia.

Wyznaczono również parametry fizykochemiczne baz olejowych, wykonując badanie temperatury płynięcia na podstawie normy PN-ISO 3016:2005 oraz wyznaczając lepkość kinematycznych w temperaturze 40°C i 100°C zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3104: 2004.

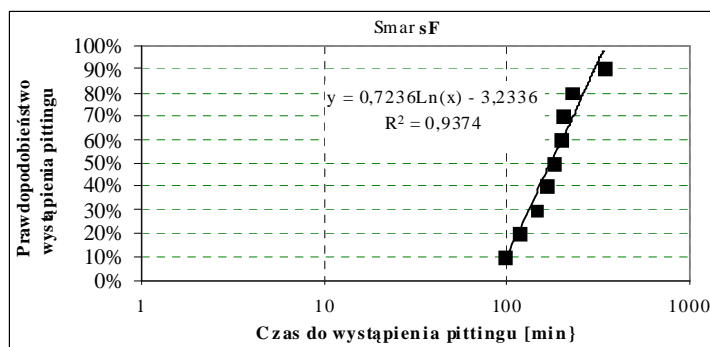
## CHARAKTERYSTYKA TRIBOLOGICZNA SMARÓW

Na **Rys. 2–4** przedstawiono rozkłady Weibulla uzyskane dla smarów przy 24 ważnych biegach.



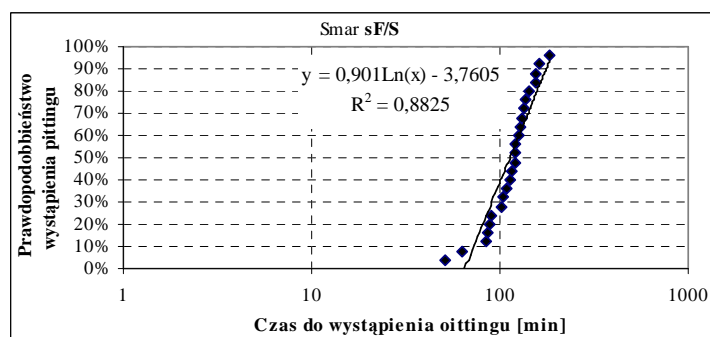
Rys. 2. Prawdopodobieństwo wystąpienia pittingu na kulkach łożysk smarowanych smarem sS

Fig. 2. Probability of pitting occurrence on balls bearings lubricated with sS grease



Rys. 3. Prawdopodobieństwo wystąpienia pittingu na kulkach łożysk smarowanych smarem sF

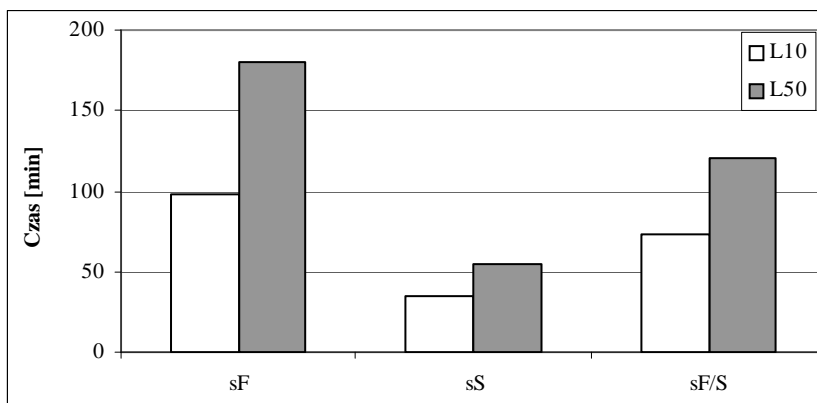
Fig. 3. Probability of pitting occurrence on balls bearings lubricated with sF grease



Rys. 4. Prawdopodobieństwo wystąpienia pittingu na kulkach łożysk smarowanych smarem sF/S

Fig. 4. Probability of pitting occurrence on balls bearings lubricated with sF/S grease

Na podstawie uzyskanych zależności obliczono czas –  $L_{10}$  i  $L_{50}$ , po upływie którego 10% i 50% badanych węzłów tarcia, smarowanych wytypowanymi do eksperymentu smarami, ulegnie uszkodzeniu (**Rys. 5**).



**Rys. 5.** Trwałość węzła tarcia przy 10% i 50% prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzenia dla badanych smarów

Fig. 5. Lifetime of friction couple at 10% and 50% probability of damages occurrence for researched lubricants.

Czas, po upływie którego 10% węzłów tarcia ulegnie uszkodzeniu, w przypadku zastosowania smaru na bazie cieczy syntetycznej, skrócił się o ponad 80% w porównaniu z czasem, w jakim ulegnie uszkodzeniu ta sama ilość węzłów tarcia smarowanych mineralnym smarem parafinowym. Natomiast po zastosowaniu bazy olejowej złożonej z mieszaniny oleju parafinowego i diestru sebacynowego trwałość węzła tarcia wzrosła dwukrotnie w stosunku do smaru na bazie oleju sebacynowego.

Podobne proporcje zmian skuteczności działania smarów stwierdzono w przypadku 50% prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia powierzchni skojarzenia trącego w wyniku zużycia zmęczeniowego. Czas, po upływie którego połowa węzłów tarcia smarowanych smarem diestrowym ulegnie uszkodzeniu był ponad 70% krótszy od czasu, po upływie którego 50% węzłów tarcia smarowanych smarem parafinowym ulegnie pittingowi, natomiast dodatek oleju parafinowego do diestru sebacynowego wpłynął na dwukrotny wzrost trwałości węzła tarcia.

Uzyskane wyniki badań wskazują jednoznacznie na wyższą efektywność przeciwdziałania pittingowi smarów, zawierających jako bazę olejową olej mineralny. Również smary plastyczne, w których olej mineral-

ny stanowi 60% masy cieczy bazowej wpływają na większą trwałość węzłów tarcia niż smary na bazie badanych substancji syntetycznych.

Można założyć, że różnice w trwałości tocznego skojarzenia trącego zależą od właściwości fizykochemicznych zastosowanej w smarze plastycznym bazy olejowej, ponieważ badane smary różniły się jedynie rodzajem cieczy bazowej, a stężenie i rodzaj zagęszczacza oraz dodatku smarnego były jednakowe dla wszystkich smarów plastycznych. W **Tabeli 1** zamieszczono wartości parametrów fizykochemicznych cieczy bazowych badanych smarów, zależnych od oddziaływań międzycząsteczkowych.

**Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne olejów bazowych**

Table 1. Physical and chemical properties of base lubricants

Parametry fizykochemiczne	Oleje bazowe		
	S	F	F/S
Temperatura płynięcia [°C]	-67,9	-15,5	-47,0
Lepkość kinematyczna w 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	11,34	68,7	38,56
Lepkość kinematyczna w 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	3,09	8,9	4.26

Na podstawie porównania wartości parametrów fizykochemicznych badanych olejów bazowych można stwierdzić zdecydowane ich zróżnicowanie dla oleju mineralnego i syntetycznego, co potwierdza założenie, że w przypadku badanych smarów plastycznych skuteczność przeciwdziałania pittingowi jest pochodną właściwości fizykochemicznych cieczy bazowych. Ponadto wartości badanych parametrów fizykochemicznych wskazują na zależność zmian lepkości kinematycznej od temperatury płynięcia. Można stwierdzić, że niskiej temperaturze płynięcia oleju syntetycznego odpowiada mała różnica lepkości w temperaturach 40°C i 100°C i krótszy czas do wystąpienia zużycia zmęczeniowego powierzchni smarowanej smarem na bazie tego oleju. Zastosowanie oleju mineralnego, o dodatniej temperaturze płynięcia i dużej różnicy lepkości w temperaturach 40°C i 100°C, jako bazy olejowej smaru plastycznego, zapewniło wyższą trwałość węzła tarcia niż użycie oleju syntetycznego.

Zróżnicowane właściwości fizykochemiczne wynikają z odmiennej budowy chemicznej i są skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych,

głównie sił van der Waalsa. Na podstawie tego założenia można przyjąć istnienie zależności pomiędzy działaniem sił międzycząsteczkowych, od których zależą właściwości fizykochemiczne związków chemicznych a skutecznością tribologiczną środka smarowego, w tym ochroną przeciw pittingowemu zużyciu warstwy powierzchniowej. Zatem zróżnicowane wartości parametrów fizykochemicznych baz olejowych potwierdzają założenie, że w przypadku badanych smarów plastycznych skuteczność przeciwdziałania pittingowi jest pochodną właściwości fizykochemicznych, wynikających z odmiennej budowy chemicznej cieczy bazowych.

## WNIOSKI

Analizując uzyskane wyniki testu zmęczeniowego, można stwierdzić, że najwyższą trwałość zachowuje skojarzenie trące, w którym zastosowano smar na bazie oleju parafinowego, przewyższającą dwukrotnie trwałość węzła tarcia smarowanego smarem diestrowym. Również smar plastyczny, w którym olej parafinowy występuje w mieszaninie z syntetycznym diestrem jako baza olejowa zapewnia większą trwałość węzła tarcia niż smar na syntetycznej bazie diestrowej. Zarówno L10, jak i L50, tj. czas, po upływie którego 10% oraz 50% węzłów tarcia ulegnie uszkodzeniu, dla tych smarów był dłuższy niż dla ocenianego smaru syntetycznego.

Stopień skuteczności przeciwdziałania zmęczeniowemu zużyciu powierzchni smarów plastycznych zależny był przede wszystkim od właściwości fizykochemicznych, kształtowanych przez siły międzycząsteczkowe, głęboko rafinowanego oleju parafinowego i jego mieszanin, a także zagęszczacza, który w przypadku ocenianych smarów był taki sam.

Biorąc pod uwagę, jako kryterium, przeciwdziałanie zmęczeniowemu zużyciu powierzchni, stwierdzono, że smary plastyczne na bazie oleju parafinowego i mieszanin bazowych z jego udziałem najskuteczniej, spośród zbadanych kompozycji, przeciwdziałały zmęczeniowemu zużyciu w skojarzeniu tribologicznym.

## LITERATURA

1. Pytko S., Pytko P.: Napięcie powierzchniowe a efekt Rebintera. *Tribologia* 2007, 3, 143–154.
2. Pytko S., Szczerek M.: Pitting – forma niszczenia elementów tocznych. *Tribologia* 1993, 4, 317–334.



3. Bajer J.: Zużycie zmęczeniowe w węzłach tarcia smarownych smarami plastycznymi. *Tribologia* 2005, 4, 11–18.
4. Michalczewski R., Piekoszewski W., Szczerek M.: Wpływ dodatków typu AW/EP na powierzchniową trwałość zmęczeniową elementów z powłoką TiN. *Tribologia* 2003, 5, 99–109.
5. Tamashauský A.: The Effect of Graphite Type, Purity and Concentration on the Performance of a Clay Filled Polyalphaolefin Grease, Based on Four Ball Wear (ASTM D2266) with Coefficient of Friction and Load Wear Index (ASTM D2596). *Spokesman* 2002, 12, 10–25.
6. Bajer J.: Wpływ dodatku smarnego na charakterystyki tribologiczne nisko-temperaturowego smaru plastycznego. *Tribologia* 2006, 6, 67–80.
7. Piekoszewski W., Tuszyński W.: Właściwości przeciwwzyciowe, przeciwzatarciowe i trwałość zmęczeniowa węzła tarcia jako efekt rodzaju i stężenia dodatków smarnościovych w oleju. *Tribologia* 2003, 5, 203–220.
8. Bajer J.: Wpływ składników smaru plastycznego do pracy w temperaturach ujemnych na charakterystyki tribologiczne. *Tribologia* 2005, 5, 151–159.
9. Czarny R: Smary plastyczne. WNT, Warszawa 2004.

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

## Summary

**This work presents the characteristics of fatigue wear of the surface in anti-seizure bearing of model friction couple, lubricated with greases on the base of mineral oil and synthetic liquids. The influence of the lubricants on pitting of elements working in high loaded contact has been investigated, according to standard IP 300/82. The evaluation of anti-pitting efficiency of lubricants has been also done, comparing  $L_{10}$  i  $L_{50}$ , the time after which 10% and 50% of the friction couples lubricated with investigated greases are damaged. It was concluded that the highest wear resistance of friction couples is assured by the plastic grease based on deep-refined paraffin oil or its mixture with sebacic acid diester. However acid diester synthetic oil shows a significant deterioration of anti-pitting properties in the comparison with other investigated greases.**

