

**Jarosław SEP\***

## **ZUŻYCIE ŁOŻYSKOWAŃ ŚLIZGOWYCH ZE ZMODYFIKOWANĄ KONSTRUKCJĄ CZOPA W PRZYPADKU ZANIECZYSZCZENIA OLEJU CZĄSTKAMI ŚCIERNYMI**

### **WEAR OF SLIDING BEARINGS HAVING A MODIFIED LUBRICATED JOURNAL**

#### **Słowa kluczowe:**

łożysko ślizgowe, olej, zanieczyszczenie, zużycie

#### **Key words:**

journal bearing, oil, contaminant, wear

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia łożyskowań ślizgowych smarowanych olejem zanieczyszczonym tlenkiem glinu. Przebadano sześć skojarzeń różniących się twardością współpracujących elementów oraz konstrukcją czopa. Wykazano możliwość zmniejszenia zużycia wywołanego zawartymi w oleju twardymi zanieczyszczeniami poprzez

---

\* Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów.

zmianę konstrukcji czopa. Przeprowadzono ponadto analizę porównawczą intensywności zużycia dla testowanych skojarzeń ślizgowych.

## WPROWADZENIE

Jednym z najistotniejszych zagrożeń powodujących przedwczesne uszkodzenie łożysk ślizgowych są pojawiające się w oleju twarde cząstki zanieczyszczeń [L. 1]. Ich rozmiary mogą osiągnąć nawet 200  $\mu\text{m}$  [L. 2] i są znacznie większe od minimalnej wysokości szczeliny smarowej. Badania wpływu zawartych w oleju zanieczyszczeń na procesy zużycia w łożyskach ślizgowych rozpoczęto już blisko 90 lat temu, a prace tego typu kontynuowane są również współcześnie [L. 3, 4]. Wyniki prowadzonych badań jednoznacznie wskazują, że występujące w oleju twarde zanieczyszczenia znacząco intensyfikują zużycie tribologiczne. Węzeł cierny, tworzony przez łożysko ślizgowe i współpracujący z nim twardy czop są narażone w takiej sytuacji na przyspieszoną utratę właściwości użytkowych.

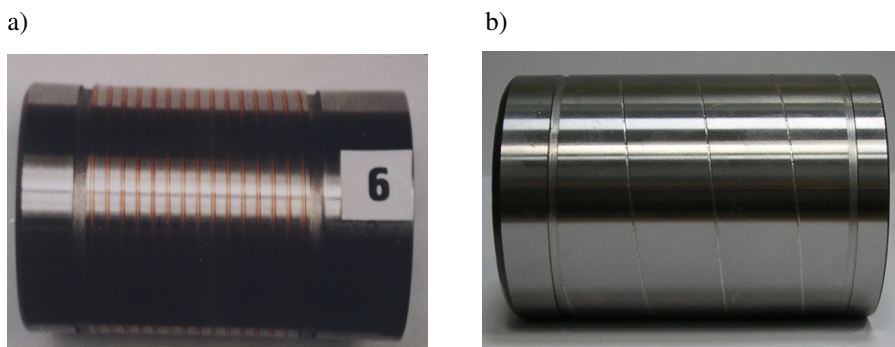
Wyniki przeprowadzonych badań [L. 5] wskazują również, że zwiększanie twardości czopa może powodować zwiększanie jego zużycia i jednocześnie zmniejszanie zużycia panewki. Dzieje się tak, ponieważ zanieczyszczenia wbijane są w panewkę, ale nie zagłębiają się całkowicie i wskutek tego działają niszcząco na czop [L. 5, 6, 7]. Całkowite wbijanie zanieczyszczeń następuje tylko w przypadku bardzo miękkich materiałów, takich jak np. teflon czy pleksiglas [L. 8].

Badania prowadzone przez Autora [L. 9, 10] wskazują, że zmniejszenie zużycia węzła ślizgowego w przypadku zanieczyszczenia oleju twardymi cząstkami można osiągnąć poprzez zmianę konstrukcji czopa umożliwiającą usuwanie zanieczyszczeń ze strefy styku tarcowego. Zaprezentowane w artykule wyniki są zestawieniem wcześniejszych prac z aktualnymi i mają na celu ich porównanie i wskazanie możliwości zmniejszania wrażliwości układu łożyskowego na niszczące działanie zawartych w oleju zanieczyszczeń poprzez modyfikację konstrukcji czopa.

## METODYKA BADAŃ

Badania zużycia tribologicznego w warunkach obecności w oleju twardych zanieczyszczeń przeprowadzono na stanowisku ZAN na Politechnice Gdańskiej. Stanowisko opisane jest szczegółowo w pracach [L. 9, 10].

Czopy łożyskowe modyfikowano na dwa sposoby. W pierwszym z nich na powierzchni czopa ukonstytuowano powierzchniową warstwę dwuskładnikową stal–miedź. Powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa składa się z materiału podstawowego i pasmowo ułożonego w nim w rowku śrubowym materiału modyfikującego. W strefie styku materiałów występuje rowek dodatkowo modyfikujący właściwości tribologiczne. Szersze informacje o technologii kształtowania omawianych warstw i ich właściwościach znajdują się w pracach [L. 9, 10]. Drugi ze sposobów modyfikacji czopa polegał na ukształtowaniu na nim śrubowego rowka. Na **Rys. 1** przedstawiono fotografię czopa z powierzchniową warstwą dwuskładnikową oraz fotografię czopa ze śrubowym rowkiem. Dla obu badanych sposobów zaprezentowano najkorzystniejsze z uzyskanych wyników.



**Rys. 1. Fotografie czopa: a) z powierzchniową warstwą dwuskładnikową stal–miedź; b) ze śrubowym rowkiem**

Fig. 1. Photographs of bearing journal: a) with two-component surface layer steel-copper; b) with helical groove

Testy przeprowadzono dla sześciu następujących skojarzeń:

- wariant 1 – czop z normalizowanej stali C45 (twardość 86 HB) współpracujący z panewką ze stopu MB 50 (79% Al., 20% Sn, 1% Cu, twardość  $\mu\text{HV}_{0,1} = 600 \text{ MPa}$ ),
- wariant 2 – czop z ulepszonej cieplnie stali 34CrNiMo6 (twardość 34 HRC) współpracujący z panewką ze stopu MB 50,
- wariant 3 – czop z ulepszonej cieplnie stali 34CrNiMo6 (twardość 34 HRC) z powierzchniową warstwą dwuskładnikową współpracujący z panewką ze stopu MB50,

- wariant 4 – czop z ulepszonej cieplnie stali 34CrNiMo6 (twardość 34 HRC) z powierzchniową warstwą dwuskładnikową współpracujący z panewką z ulepszonej stali C45 (twardość 30 HRC),
- wariant 5 – czop ze stali 42 CrMo4 zahartowany do twardości 52 HRC współpracujący z panewką ze stopu MB 50,
- wariant 6 – czop ze stali 42 CrMo4 ze śrubowym rowkiem zahartowany do twardości 52 HRC współpracujący z panewką ze stopu MB50.

Przyjęto następujące warunki testu badawczego:

- prędkość obrotowa czopa  $n = 600$  obr./min (prędkość tarcia  $v = 1,65$  m/s),
- nacisk nominalny  $p = 1,57$  MPa,
- całkowity czas trwania testu  $t = 20$  h (droga tarcia  $s = 120000$  m),
- czynnik smarujący: olej silnikowy o lepkości SAE 40,
- zanieczyszczenia: proszek  $Al_2O_3$  o średniej średnicy ziaren  $21 \mu m$ ,
- stężenie zanieczyszczeń w oleju  $0,5$  g/l.

Podstawą wyznaczenia zużycia czopa oraz panwi stalowych były profilogramy powierzchni ślizgowej w przekroju osiowym. Na ich podstawie wyznaczano zużycie objętościowe. Miarą zużycia panwi bimetalowych był pomiar masy przed i po próbie. Na podstawie ubytku masy obliczano zużycie objętościowe panwi. Podstawą porównania właściwości badanych wariantów była objętościowa intensywność zużycia  $I_v$  [ $mm^3/km$ ] będąca ilorazem zużycia objętościowego  $Z_v$  oraz drogi tarcia  $s$ :

$$I_v = \frac{Z_v}{s} \quad (1)$$

Na podstawie badań wyznaczano: intensywność zużycia czopa  $I_{vc}$ , intensywność zużycia panewki  $I_{vp}$  oraz sumaryczną intensywność zużycia pary ślizgowej  $I_v$ . Dla każdego wariantu testy powtarzano trzykrotnie.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

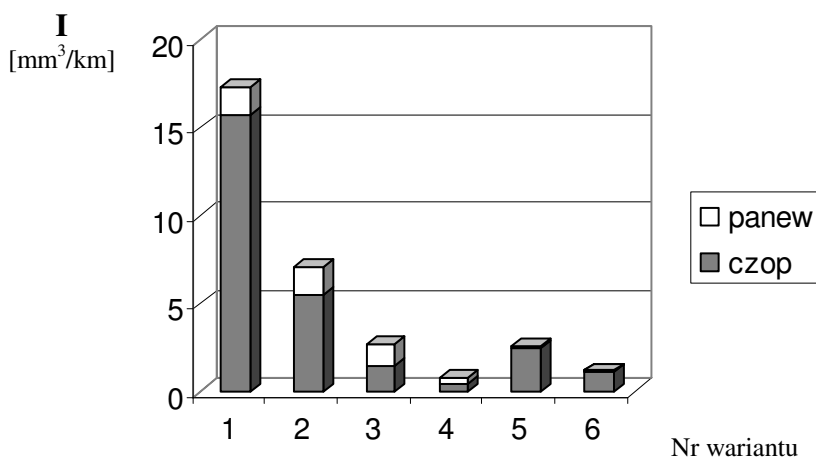
Przedstawione w **Tab. 1** oraz na **Rys. 2** wyniki badań wskazują na znaczące różnicowanie intensywności zużycia tribologicznego badanych wariantów łożyskowań. Jak należało oczekiwać, największą intensywnością zużycia charakteryzował się wariant 1, gdzie panewkę łożyskową skojarzono z miękkim czopem. Zwiększenie twardości czopa (porównanie wariantów 1, 2 i 5) powoduje zmniejszanie zużycia. Zastosowanie najtwardszego z badanych czopów (wariant 5) skutkuje sześciokrotnym

zmniejszeniem intensywności zużywania pary ślizgowej w porównaniu z parą z czopem miękkim (wariant 1). Ten sposób zwiększania odporności na zużycie ścierne jest znany i opisywany w literaturze [L. 5–8]. Zastosowanie czopa z powierzchniową warstwą dwuskładnikową w skojarzeniu z panewką z materiału MB50 (wariant 3) dało efekt w postaci blisko trzykrotnego zmniejszenia współczynnika  $I_v$  w porównaniu z czopem klasycznym (wariant 2). Występująca wówczas intensywność zużycia jest zbliżona do intensywności zużycia pary z gładkim czopem twardym (wariant 5). Zwraca również uwagę w tej sytuacji zbliżone zużycie czopa i panewki. Zmniejszony ubytek materiału w tej sytuacji to najprawdopodobniej efekt skutecznego usuwania zanieczyszczeń ze strefy styku tarciowego dzięki pasmom miękkiego materiału oraz wgłębieniom na powierzchni czopa.

**Tabela 1. Objętościowa intensywność zużycia badanych łożysk**

Table 1. Wear volumetric intensity for investigated bearings

Nr wariantu	$I_{vc}$ [mm <sup>3</sup> /km]	$I_{vp}$ [mm <sup>3</sup> /km]	$I_v$ [mm <sup>3</sup> /km]
1	15,74	1,51	17,25
2	5,54	1,59	7,13
3	1,48	1,25	2,73
4	0,50	0,35	0,85
5	2,45	0,12	2,57
6	1,12	0,09	1,21



**Rys. 2. Wykres objętościowej intensywności zużycia badanych łożysk**

Fig. 2. Diagram of wear volumetric intensity for investigated bearings

Zdecydowanie najmniejszym zużyciem spośród badanych wariantów charakteryzuje się skojarzenie w postaci czopa o średniej twardości modyfikowanego miedzią i panewki o zbliżonej twardości (wariant 4). Jest ono w takim przypadku trzykrotnie mniejsze, niż ma to miejsce w przypadku twardego czopa i miękkiej panewki (wariant 5). Modyfikacja twardego czopa poprzez wykonanie śrubowego rowka (wariant 6) daje efekt w postaci ponaddwukrotnie mniejszej intensywności zużycia, niż ma to miejsce w wariantcie klasycznym (wariant 5). Ale nawet wówczas zużycie jest większe od zużycia, jakie występuje w przypadku czopa modyfikowanego miedzią i panewki o zbliżonej do niego twardości (wariant 4).

Uzyskane wyniki i znacząco zróżnicowane intensywności zużycia tribologicznego dla badanych wariantów jest efektem zarówno zjawisk w zanieczyszczonym filmie olejowym, jak i oddziaływania zanieczyszczeń na współpracujące elementy. Wraz ze zwiększaniem twardości czopa zwiększa się jego odporność na zużycie. Ale jednocześnie wzrasta zagrożenie wbijania twardych cząstek w panewkę. Wbite cząstki nie zagłębiają się całkowicie i oddziałują niszcząco na czop. Stwierdzone podczas badań zmniejszenie intensywności zużycia panewki wydaje się potwierdzać to zjawisko.

Znaczne zmniejszenie zużycia uzyskane poprzez obie badane modyfikacje czopa to najprawdopodobniej efekt częściowego usuwania zanieczyszczeń i produktów zużycia ze strefy styku tarcowego. Uzyskano to dzięki śrubowemu rowkowi na czopie. Umożliwia on lokowanie i transport zanieczyszczeń i jednocześnie intensyfikuje osiowy przepływ oleju [L. 11], co dodatkowo sprzyja usuwaniu zanieczyszczeń poza łożysko. Skojarzenie materiałów o zbliżonej twardości (wariant 4) ogranicza dodatkowo najprawdopodobniej wbijanie zanieczyszczeń we współpracujące elementy. Również pasma miękkiej miedzi mogą mieć znaczenie w ograniczeniu wbijania zanieczyszczeń. To najprawdopodobniej najważniejsze przyczyny najmniejszej intensywności zużycia dla wariantu 4. Potwierdzenie postawionych hipotez będzie tematem dalszych badań.

Przedstawione w artykule modyfikacje węzłów ślizgowych prowadzące do zwiększania odporności na zużycie w przypadku obecności w oleju twardych zanieczyszczeń mogą stanowić alternatywę dla rozwiązań klasycznych.

## WNIOSKI

1. Modyfikacje czopa w postaci powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej albo śrubowego rowka mogą być efektywną metodą zmniejszenia intensywności zużycia łożyskowań ślizgowych w przypadku obecności w oleju twardych zanieczyszczeń.
2. W prowadzonych badaniach przy smarowaniu olejem zanieczyszczonym cząstkami  $Al_2O_3$  modyfikacja czopa o twardości 34 HRC miedzią poprzez ukonstytuowanie powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej dała efekt w postaci trzykrotnego zmniejszenia intensywności zużycia łożyskowania w porównaniu z wariantem klasycznym.
3. Prowadzone w tych samych warunkach badania wykazały również, że wykonanie na powierzchni czopa o twardości 52 HRC śrubowego rowka o odpowiednio dobranym kształcie i skoku, skutkowało dwukrotnym zmniejszeniem zużycia w odniesieniu do wężła z czopem gładkim.
4. Najmniejszą intensywnością zużycia ze wszystkich sześciu badanych wariantów charakteryzowała się para ślizgowa w postaci modyfikowanego miedzią czopa o średniej twardości (34 HRC) oraz panewki o zbliżonej do niego twardości (30 HRC).
5. Przyczyn stwierdzonych zmian należy upatrywać najprawdopodobniej w skutecznym usuwaniu zanieczyszczeń ze strefy styku tarcowego oraz ograniczeniu ich wbijania we współpracujące elementy dzięki zastosowanym modyfikacjom czopa.

*Do badań zaprezentowanych w artykule wykorzystano aparaturę naukowo-badawczą zakupioną w projekcie nr POPW.01.03.00-18-012 z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.*

## LITERATURA

1. Sikora J.: Studia nad metodyką badania wytrzymałości zmęczeniowej łożysk ślizgowych poprzecznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, nr 534, Mechanika, z. 74, Gdańsk 1996.
2. Szczerek M., Wiśniewski M.: Tribologia i Tribotechnika. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2000.

3. Yuan C.Q., Peng Z., Zhou X.C., Pan X.P.: Effects of temperature on sliding wear process under contaminated lubricant test conditions. *Wear*, vol. 257, p. 812–822, 2004.
4. Prasad B.K., Rathod S., Modi O.P., Yadav M.S.: Influence of talc concentration on the wear response of a bronze journal bearing. *Wear*, vol. 269, p. 498–505, 2010.
5. Ronen A., Malkin S.: Wear mechanism of statically loaded hydrodynamic bearings by contaminant abrasive particles. *Wear*, vol. 68, p. 371–389, 1981.
6. Dwyer-Joyce R.S., Sayles R.S., Ionides E.: An investigations into the mechanism of three-body abrasive wear. *Wear*, vol. 175, p. 133–142, 1994.
7. Williams J.A., Hyncica A.M.: Mechanisms of abrasive wear in lubricated contacts. *Wear*, vol. 152, p. 57–74, 1992.
8. Broeder J.J., Heijnekamp J.W.: abrasive wear of journal bearings by particles in the oil. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 180(3K), p. 21–31, 1965/1966.
9. Sęp J.: Charakterystyki zużyciowe łożysk ślizgowych z powierzchniową warstwą dwuskładnikową. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, nr 49(116), p. 571–582, 1998.
10. Sęp J., Kucaba-Piętal A.: Experimental testing of journal bearings with two-component surface layer in the presence of an oil abrasive contaminant. *Wear*, vol. 249, p. 1090–1095, 2001.
11. Sęp J.: Właściwości filmu olejowego w poprzecznych łożyskach ślizgowych z nietypową geometrią czopa. *Monografia habilitacyjna*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.

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

## Summary

**Results of tribological wear investigations concerning sliding bearings with six different journals in the presence of an oil abrasive contaminant are presented in the paper. The investigated variants are as follows:**

- **Variant 1 – journal made from C45 steel (hardness 86 HB) mating with sleeve made from MB 50 alloy (79% Al, 20% Sn, 1% Cu, hardness  $\mu\text{HV}_{0,1} = 600$  MPa),**
- **Variant 2 – journal made from heat-treated 34CrNiMo6 steel (hardness 34 HRC) mating with a sleeve made from MB 50 alloy,**



- Variant 3 – journal made from heat-treated 34CrNiMo6 steel (hardness 34 HRC) with a two- component surface layer (steel-copper) mating with a sleeve made from MB 50 alloy,
- Variant 4 – journal made from heat-treated 34CrNiMo6 steel (hardness 34 HRC) with two- component surface layer (steel-copper) mating with a sleeve made from heat-treated C45 steel (hardness 30 HRC),
- Variant 5 – journal made from heat-treated 42CrMo4 steel (hardness 52 HRC) mating with a sleeve made from MB 50 alloy, and
- Variant 6 – journal made from heat-treated 42CrMo4 steel (hardness 52 HRC) with a helical groove mating with a sleeve made from MB 50 alloy.

The lubricating agent was SAE 40 oil contaminated with  $Al_2O_3$  particles.

Wear volumetric intensity ( $I_v$ ) for all investigated bearings, as a quotient of volumetric wear and friction path, was calculated. The least tribological wear ( $I_v = 0.85 \text{ mm}^3/\text{km}$ ) was stated for Variant 4. The research indicates that both of the investigated journal modifications resulted in a wear intensity decrease (for variant 3  $I_v = 2.73 \text{ mm}^3/\text{km}$ , for variant 6  $I_v = 1.21 \text{ mm}^3/\text{km}$ ) in the case of an abrasive contaminant in the oil.