

## GĘSTOŚĆ PRACY TARCIA ORAZ INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA MATERIAŁU PANEWEK ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

Edward MURDZIA\*, Ryszard WÓJCICKI\*

\*Instytut Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź

[edward.murdzia@p.lodz.pl](mailto:edward.murdzia@p.lodz.pl), [ryszard.wojcicki@p.lodz.pl](mailto:ryszard.wojcicki@p.lodz.pl)

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań liniowej intensywności zużycia  $I_h$  oraz gęstości pracy (energii) tarcia  $e^*_R$  [J/m<sup>3</sup>] wyznaczonych metodą analityczno-doświadczalną. Badania przeprowadzono dla różnych materiałów panewek. Pomiar zużycia dokonywany był poprzez pomiar okrągłości w czterech przekrojach panewki oraz przez pomiar masy przed i po pracy w warunkach tarcia mieszanego. Wyniki przedstawiono w postaci tabel i wykresów.

### 1. WSTĘP

Istnieje wiele modeli opisujących proces zużycia (Fleischer i inni, 1980; Kragielski i inni, 1982; Szkurlat i inni, 2006). Wynika z nich, iż podstawowymi wielkościami opisującymi zużycie w skali makroskopowej są liniowa intensywność zużycia  $I_h$  oraz szybkość zużycia  $V_z$ . Duża złożoność zależności determinujących liniową intensywność zużycia w tych modelach oraz brak danych dla materiałów warstwy wierzchniej elementów łożysk ślizgowych są przyczyną małej przydatności tych wzorów w obliczaniu ich zużycia podczas pracy w warunkach tarcia mieszanego. Najwięcej na uwadze, w przeprowadzonych badaniach, liniową intensywność zużycia oraz gęstość pracy (energii) tarcia  $e^*_R$  [J/m<sup>3</sup>] (występującą w modelu Fleischer'a) wyznaczano metodą analityczno-doświadczalną.

### 2. PRZEDMIOT I WARUNKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Badania przeprowadzono na łożyskach ślizgowych gdzie pary cierne stanowiły skojarzenia:

- stalowy czop – panewka wylana stopem łożyskowym Ł16 (PbSb15Sn10 wg PN-ISO 4381:1997);
- stalowy czop – panewka wylana stopem łożyskowym Ł83 (SnSb12Cu6Pb wg PN-ISO 4381:1997);
- stalowy czop – panewka wylana brązem CuPb24Sn2;
- stalowy czop – panewka również wykonana ze stali oraz azotonasiarczana.

Materiał bazowy panewek wylewanych stopem łożyskowym stanowiła stal stopowa o podwyższonej wytrzymałości 18G2A wg PN-86/H-84018. Średnica wewnętrzna panewki wynosiła  $\varnothing$  40 mm, w tym grubość warstwy wylania stopem wynosiła 1.0 mm. Stosunek długości panewki do średnicy wynosił  $l/d=0,25$ . Badano zestawy łożyskowe panewek z luzem względnym 1‰ do 3‰.

Na panewki azotonasiarczane zastosowano stal konstrukcyjną stopową do azotowania 38HMJ wg PN-89/H-

84030/03. Panewki przed procesem azotonasiarczenia poddawane były hartowaniu w temperaturze 950 °C a następnie odpuszczaniu w temperaturze 600 °C. Czop wykonano ze stali konstrukcyjnej stopowej do ulepszania cieplnego i hartowania powierzchniowego- 40H wg PN-89/H-84030/04 i zahartowano do twardości około 55 HRC (rysunek 1). Powierzchnię roboczą czopa szlifowano, uzyskując parametr chropowatości  $Ra=0,2\pm 0,3\mu m$  (chropowatość powierzchni pracującej panewki  $Ra=0,4\pm 0,7\mu m$ ).

Jako czynnik smarujący w badaniach zastosowano olej maszynowy VELOL 9 wg ZN-RNJe 4/98.

Dla badań zestawów czop panewka przyjęto następujący zakres wielkości zadawanych:

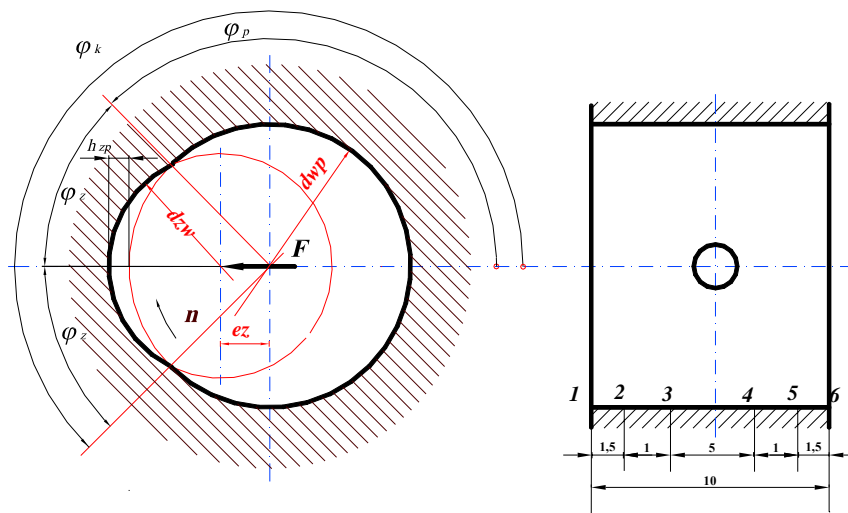
- prędkość obrotowa czopa zmieniała się w czasie jednego cyklu trwającego 60 sekund w zakresie od 0÷350 obr./min według przebiegu – 20 sekund trwał okres rozruchu, 20 sekund utrzymywano stałą prędkość obrotową oraz 20 sekund proces zatrzymywania,
- wartość obciążenia zapewniała naciski średnie w łożysku 3 MPa÷5MPa,
- temperatura oleju zasilającego wahała się w granicach 20÷21°C,
- ciśnienie oleju zasilającego ustalono około 0,05MPa.

### 3. POMIAR PARAMETRÓW ZUŻYCIA PANEWEK

W celu opracowania eksperymentalnych wyników pomiarów zużycia badanych panewek został wykonany program komputerowy RYS, którego zasadnicze elementy opisano poniżej.

Pomiar zużycia (okrągłości) dokonywany był w czterech przekrojach panewki (2, 3, 4, 5) w odległościach przedstawionych na rysunku 1.

Wartości odchyłek okrągłości na brzegach panewki były przyjmowane w oparciu o jeden z wariantów interpolacji z wartości zmierzonych.



Rys. 1. Szkic zarysu panewki zużytej

Do obliczeń z pomocą programu przyjmowane były następujące parametry:

- numer danych;
- oznaczenie danych;
- obciążenie łożyska –  $F$  [N];
- zmierzona średnica powierzchni ślizgowej panewki –  $d_{wp}$  [mm];
- zmierzona średnica powierzchni ślizgowej czopa –  $d_{zw}$  [mm];
- długość panewki łożyska –  $L$  [mm];
- nazwa materiału warstwy ślizgowej panewki;
- gęstość materiału warstwy ślizgowej panewki –  $\rho_p$  [g/mm<sup>3</sup>];
- sumaryczna liczba wykonanych obrotów przy tarcu mieszany –  $\Sigma n$  [-];
- zużyta masa warstwy ślizgowej panewki (z pomiaru masy) –  $\Delta m$  [g];
- numer metody interpolacji zużycia na brzegach panewki (1,2,3,4);
- wielkość zużycia pominięta na brzegach  $\Delta h$  [%].

Z kolei obliczane były następujące parametry z wykorzystaniem przedstawionych zależności:

- zużyta masa panewki obliczona  $m_{zp}$  [g]

$$m_{zp} = V_{pz} * \rho_p, \quad (1)$$

- średnia cięciwa łuku zużycia  $L_z$  [mm]

$$L_z = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 * r_2 * \cos(\varphi_k - \varphi_p)}, \quad (2)$$

- średni kąt zużycia panewki  $\varphi_{zp}$  [0]

$$\varphi_{zp} = \varphi_k - \varphi_p, \quad (3)$$

- średni półkąąt zużycia panewki  $\varphi_z$  [rad]

$$\varphi_z = \frac{\varphi_{zp} * \pi}{360}, \quad (4)$$

- liniowa intensywność zużycia materiału panewki  $I_{hz}$  [-]

$$I_{hz} = \frac{V_{pz}}{\pi * d_{wp} * d_{zw} * \Sigma n * L * \varphi_z}, \quad (5)$$

#### 4. GĘSTOŚĆ PRACY TARCIA

Gęstość pracy tarcia  $e_R^*$  [J/m<sup>3</sup>] określano z zależności:

$$e_R^* = \frac{2 * M_t * \Delta_S}{d_{zw} * V_z}, \quad (6)$$

gdzie:  $M_t$  [Nm] – zmierzony na stanowisku badawczym moment tarcia na styku czopa z panewką podczas pracy przy tarcu mieszany,  $d_{zw}$  [m] – zmierzona średnica walca wierzchołków czopa badanego łożyska,  $\Delta_S$  [m] – zmierzona i zarejestrowana podczas badań droga tarcia,  $V_z$  [m<sup>3</sup>] – obliczona objętość zużycia = zmierzona masa zużycia / zmierzona gęstość materiału warstwy ślizgowej panewki.

Wielkości zmierzone występujące we wzorach (5) i (6) wykorzystane do ustalenia  $I_h$  oraz  $e_R^*$  ograniczają stosowność tak obliczonych wartości tylko do łożysk badanych na stanowisku w Zakładzie PKM PŁ (Wójcicki i Strzelecki, 1999). Przeniesienie otrzymanych w taki sposób wyników na inne łożyska byłoby możliwe wtedy, gdyby zostały odwzorowane warunki panujące w obiekcie rzeczywistym.

W wyniku generowanego zużycia warstwy ślizgowej panewki łożyska, podczas jego pracy w stacjonarnych warunkach tarcia mieszane, zmienia się geometria (kształt i wymiary) jej powierzchni roboczej. Zmieniają się także wymiary i kształt nominalnej powierzchni styku oraz rozkład ciśnień stykowych, a to wpływa na intensywność zużycia.

Badania te potwierdziły także postawioną hipotezę, iż zarys makroobszaru zużycia panewki podczas pracy łożyska w warunkach tarcia mieszane wynika z krzywizny powierzchni ślizgowej czopa, a jego największa głębokość znajduje się na prostej łączącej środek zarysu panewki ze środkiem zarysu czopa.

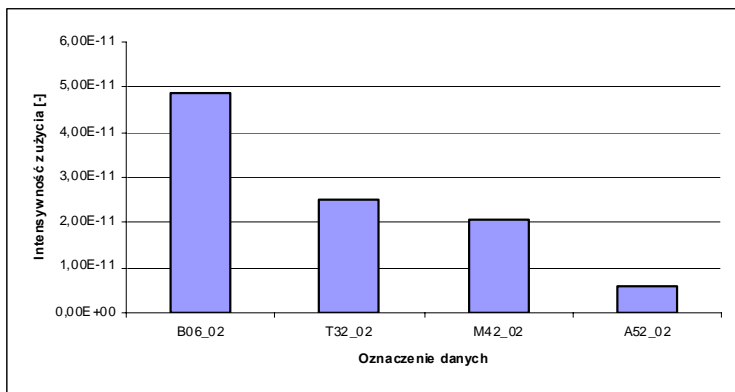
## 5. WYNIKI POMIARÓW

**Tab. 1.** Dane i wyniki obliczeń do rysunków 2 i 3

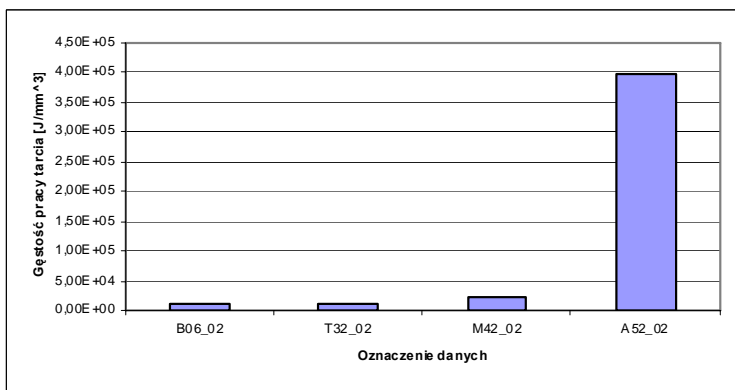
		B06_02	T32_02	M42_02	A52_02
$m_{zp}$	[g]	5,09E-02	2,78E-02	1,65E-02	2,66E-03
$I_{hz}$	[-]	4,85E-11	2,49E-11	2,08E-11	6,01E-12
$M_t$	[Nm]	0,280	0,117	0,210	0,574
$e_R^*$	[J/mm <sup>3</sup> ]	1,20E+04	9,52E+03	2,20E+04	3,97E+05

**Tab. 2.** Dane i wyniki obliczeń do rysunków 4 i 5

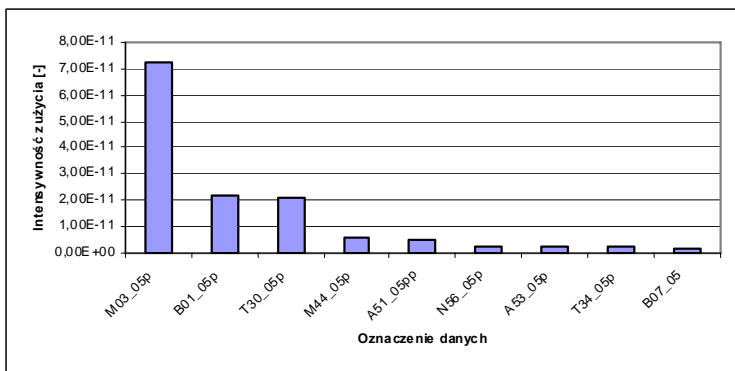
	M03_05p	B01_05p	T30_05p	M44_05p	A51_05pp	N56_05p	A53_05p	T34_05p
$m_{zp}$	3,16E-01	4,46E-02	7,58E-02	2,15E-02	1,44E-02	7,44E-03	7,40E-03	1,18E-02
$I_{hz}$	7,25E-11	2,17E-11	2,10E-11	6,14E-12	4,87E-12	2,97E-12	2,95E-12	2,56E-12
$M_t$	0,123	0,098	0,084	0,086	0,684	0,532	0,465	0,064
$e_R^*$	1,87E+03	7,92E+03	6,99E+03	1,90E+04	2,43E+05	3,63E+05	3,39E+05	3,62E+04



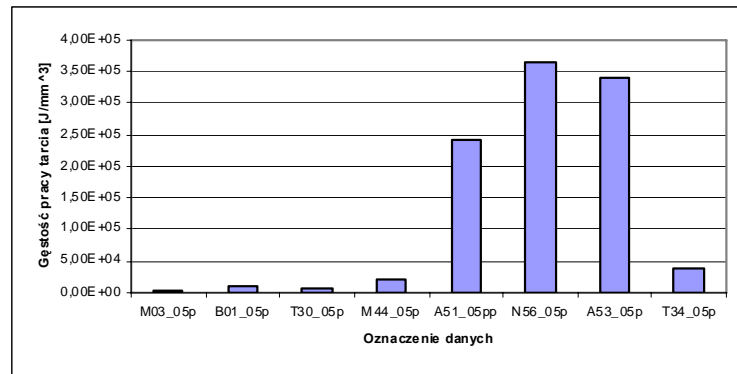
**Rys. 2.** Liniowa intensywność zużycia panewek obciążonych siłą 400[N] po 2 godzinach pracy



**Rys. 4.** Gęstość pracy tarcia panewek obciążonych siłą 400[N] po 2 godzinach pracy



**Rys. 5.** Liniowa intensywność zużycia panewek obciążonych siłą 800[N] po 5 godzinach pracy



Rys. 6. Gęstość pracy tarcia panewek obciążonych siłą 800[N] po 5 godzinach pracy

## 5. WNIOSKI

1. Z rysunku 2 widać, że obliczoną intensywność zużycia (malejąco) dla tych warunków można uszeregować następująco: brąz (B06), stop Ł16 (T32), stop Ł83 (M42), stal azotonasiarczana (A52).
2. Na rysunku 3 można zauważyć, że gęstość pracy tarcia jest porównywalna dla panewek wykonanych z brązu oraz stopów łożyskowych Ł16 i Ł83, natomiast zdecydowanie większa dla panewki stalowej azotonasiarczanej (A52) – co wynika głównie ze znacznie większego momentu tarcia.
3. Na rysunku 4 zestawiono obliczoną intensywność zużycia panewek badanych pod obciążeniem 800N po 5 godzinach pracy. Panewki uszeregowano zgodnie z malejącą wartością obliczonej intensywności zużycia. Można zauważyć, że największa intensywność zużycia (również masa zużytego materiału) była dla zestawu z panewką oznaczoną M03 wykonaną ze stopu Ł83. Nieco mniejsza dla panewki z brązu (B01) oraz w kolejności ze stopu Ł16 (T30). Pozostałe badane zestawy charakteryzowały się znacznie mniejszą intensywnością zużycia.
4. Na rysunku 5 widać, że gęstość pracy tarcia jest także porównywalna dla panewek wykonanych z brązu (B01) oraz stopów łożyskowych Ł16 (T30, T34) i Ł83 (M44), natomiast największa dla panewki stalowej ulepszonej cieplnie (N56) i tylko nieco mniejsza dla stalowych azotonasiarczanych (A51 i A53) – co wynika głównie ze znacznie większego momentu tarcia.

## LITERATURA

1. **Fleischer G. i inni** (1980), *Verschleiß und Zuverlässigkeit*, VEB Verlag Technik, Berlin.
2. **Kragielski I. W. i inni** (1982), *Grundlagen der Berechnung von Reibung und Verschleiß*, VEB Verlag Technik, Berlin.
3. **Szkurlat J., Wójcicki R., Murdzia E.** (2006), Teoretyczne i eksperymentalne badania hydrodynamicznych łożysk ślizgowych w stacjonarnych warunkach tarcia mieszanego, *Proceedings of the International Conference „Friction 2006”*, Warsaw University of Technology, Warsaw.
4. **Wójcicki R., Strzelecki S.** (1999), Measurements of Tribological Characteristics in the Research of Journal Bearing Materials, *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, No. 6, Vol. 55.

### THE WORK DENSITY OF THE FRICTION AND THE WEAR OF JOURNAL BEARING SLEEVE MATERIAL

**Abstract:** This paper presents the results of investigation into the wear linear intensity  $I_h$  and the density (energy) of friction  $e_R^*$  [J/m<sup>3</sup>] that were determined by means of experimental-analytical method. The investigations were carried out for different materials of sleeves. Two methods were applied to the wear measurement, i.e. by measuring the roundness in four cross-sections of sleeve as well as by the measurement of the mass before and after the operation in the conditions of mixed friction. The results are given in the form of tables and diagrams.