

**Stanisław NOSA\*L, Jan GRZEŚKOWIAK\*\***

## **WYKORZYSTANIE WSPÓLCZYNNIKA TARCIA DO OCENY ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE ŹELIWNEGO SKOJARZENIA ŚLIZGOWEGO**

### **USING THE COEFFICIENT OF FRICTION TO ASSESS THE EAR RESISTANCE OF CAST IRON SLIDING CONNECTIONS**

#### **Słowa kluczowe:**

żeliwo, współczynnik tarcia, zużycie

#### **Key words:**

cast iron, coefficient of friction, wear

#### **Streszczenie**

W referacie przedstawiono metodę i wyniki badania odporności na zużycie żeliwa ZlCu1,4PVB, stosowanego na tuleje cylindrowe silników okrętowych. Próbkę żeliwa różniły się wielkością wydzieleni eutektyki fosforo-

---

\* Politechnika Poznańska,

\*\* H. Cegielski – CBR Sp. z o.o. Laboratorium Centralne Poznań.

wej i dodatkiem Ni. Próba zużycia prowadzona była tak, aby na całej drodze tarcia ( $s = 5000$  m) współczynnik tarcia  $\mu$  nie był większy niż przyjęta wartość  $\mu_i < \mu_{kr}$ . Wartości  $\mu_i$  wynosiły:  $\mu_1 = 0,115$ ,  $\mu_2 = 0,160$ ,  $\mu_3 = 0,220$ ,  $\mu_{kr} = 0,310$ . Jeśli w czasie próby zużycia zachodziło, że  $\mu = \mu_i$ , wówczas skojarzenie było impulsowo smarowane.

Stwierdzono, że metoda umożliwia porównanie odporności na zużycie żeliw nieznacznie różniących się składem chemicznym i strukturą.

## WSTĘP

Żeliwo jest podstawowym materiałem stosowanym do produkcji tulei cylindrowych silników spalinowych, w tym również silników okrętowych napędu głównego. Można przypuszczać, że dzięki dobrym właściwościom technologicznym i tribologicznym tym materiałem jeszcze długo pozostanie. Autorzy tego artykułu przeprowadzili wiele badań dotyczących trwałości skojarzenia tuleja cylindrowa silnika okrętowego – pierścień tłokowy. Badania te dotyczyły głównie wpływu na właściwości tribologiczne (odporność na zacieranie i zużycie, przebieg i niezawodność docierania) takich m.in. czynników jak: dodatek boru do żeliwa ZICu1,4PV, wielkość i stopień uszkodzenia wydzieleń fazy twardej (eutektyki fosforowej z cementytem) i chropowatości technologicznej. Wyniki tych badań zostały opublikowane m.in. w pracach [L. 1–5].

Pewien problem badawczy dotyczył oceny odporności na zużycie żeliw stosowanych na tuleje cylindrowe, które niezznacznie różniły się strukturą lub składem chemicznym. W próbach prowadzonych w tradycyjny sposób (stałe obciążenie, prędkość i czas, tarcie suche lub ustalone warunki smarowania) nie występowały istotne różnice zużycia [L. 2, 3]. Dlatego opracowano własną metodę oceny odporności na zużycie.

Celem artykułu jest przedstawienie opracowanej metody oceny odporności na zużycie żeliwnych skojarzeń ślizgowych oraz wyników uzyskanych za jej pomocą.

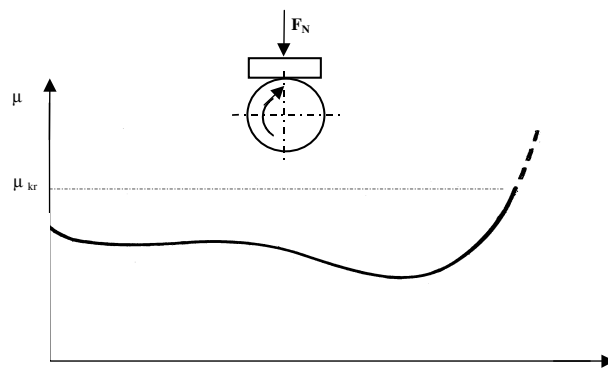
## METODA

Po jednokrotnym nasmarowaniu żeliwnego skojarzenia ślizgowego lub smarowaniu go za pomocą poduszki nasączonej niewielką ilością oleju, wartość współczynnika tarcia po okresie docierania niezznacznie maleje i stabilizuje się na pewnym stałym poziomie – **Rys. 1**. Po okresie stabilizacji następuje widoczny spadek wartości współczynnika tarcia a następnie

jego wzrost aż do wartości krytycznej, której przekroczenie zapoczątkowuje nieodwracalne zmiany w warstwie wierzchniej trących się elementów. Impulsowe smarowanie skojarzenia po przekroczeniu krytycznej wartości współczynnika tarcia nie doprowadza już do stabilizacji współczynnika tarcia – **Rys. 2**. Następuje intensywne zużywanie trących się elementów skojarzenia, któremu towarzyszy znaczne uszkodzenie ich powierzchni. Jest to równoznaczne z zapoczątkowaniem zacierania.

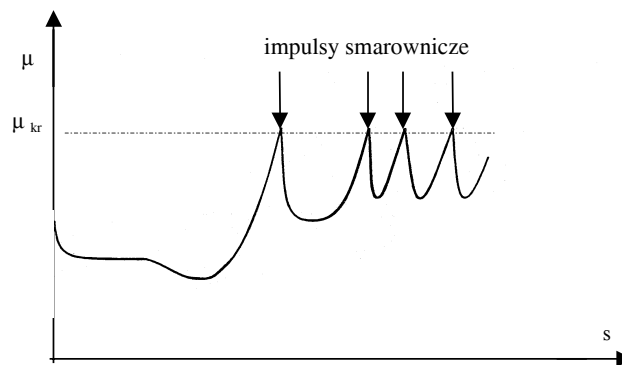
Doświadczalnie ustalono, że dla próbek wykonanych z żeliwa stosowanego na tuleje cylindrowe silników okrętowych współpracujących ślizgowo z przeciwpórkami z żeliwnego pierścienia tłokowego, krytyczna wartość współczynnika tarcia wynosi  $\mu_{kr} = 0,310$ .

Proponowana metoda oceny odporności na zużycie żeliw o niewielkich różnicach składu chemicznego i struktury polega na przyjęciu trzech wartości współczynnika tarcia  $\mu_i < \mu_{kr}$ .



**Rys. 1. Przebieg współczynnika tarcia w funkcji drogi (słabe smarowanie)**

Fig. 1. Coefficient of friction as a function of road (weak lubrication)

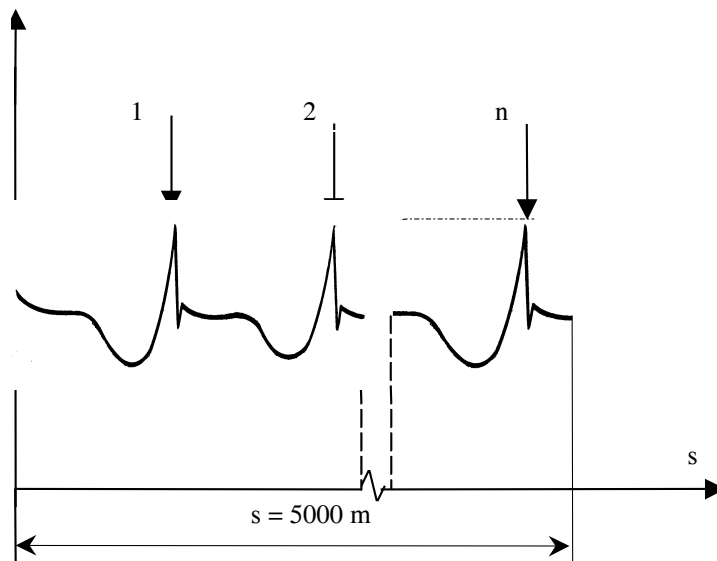


**Rys. 2. Przebieg współczynnika tarcia po przekroczeniu wartości krytycznej**

Fig. 2 Coefficient of friction after exceeding critical point

Próba zużycia prowadzona jest tak, żeby na całej drodze tarcia współczynnik tarcia  $\mu \leq \mu_i$ . Wówczas, gdy chwilowy współczynnik tarcia osiągnie wartość  $\mu = \mu_i$  skojarzenie jest impulsowo smarowane, co schematycznie przedstawiono na **Rys. 3**.

Przyjęto następujące wartości współczynnika tarcia  $\mu_i$ :  $\mu_1 = 0,115$ ,  $\mu_2 = 0,160$ ,  $\mu_3 = 0,220$ . Technicznie próbę zużycia prowadzono w następujący sposób. Najpierw skojarzenie docierano przy wzrastającym obciążeniu wynoszącym 200 N przez 5 minut i 500 N (5 minut). Następnie obciążenie zwiększono do 1000 N i próbę prowadzono tak długo, aby całkowita droga tarcia wyniosła  $s = 5000$  m. W sposób ciągły rejestrowano moment tarcia i temperaturę przeciwpróbki. Jeśli moment tarcia osiągał przyjętą w danej próbie wartość  $\mu_i$ , wtedy próbkę smarowano za pomocą poduszki filcowej nasyconej olejem parafinowym. Do każdej próby używano nowej poduszki nasyconej taką samą ilością oleju. Siła i czas docisku poduszki w czasie smarowania były jednakowe. Po zakończonej próbie określano zużycie wagowe próbki (krążka) i liniowe przeciwpróbki (szerokość śladu wytarcia) oraz liczbę impulsów smarowniczych na drodze tarcia  $s = 5000$  m.



**Rys. 3. Schematyczny przebieg próby zużycia; 1, 2,.. n – impulsy smarownicze**

Fig. 3. Chart of wear test process; 1, 2,.. n – lubrication

## WARUNKI I WYNIKI BADAŃ

### Informacja o próbkach

Próbki oznaczone symbolami A, N, Z1, wykonano w postaci krążków o średnicy 49–56 mm i szerokości – 12 mm. Próbki A i N pobrane zostały z tulei cylindrowej silnika okrętowego z rodziny RTA odlanej z żeliwa Z1Cu1,4PVB. Próbki Z1 zostały wykonane z żeliwa szarego o symbolu Z1 200 i służyły do celów porównawczych.

Przeciwpróbkę wykonano z pierścienia tłokowego odlanego z żeliwa firmy Daros, stosowanego w tym samym silniku. Miała ona kształt płytki prostokątnej o wymiarach 16×10×5. Próbki A i N (**Tablica 1**) różniły się zawartością i wielkością wydzieleni fazy twardej, natomiast posiadały taką samą zawartość w niej steadytu. Próbka N zawierała dodatek niklu wynoszący 0,178%. Próbki Z1 różniły się znacząco od pozostałych składem chemicznym, wielkością wydzieleni fazy twardej i zawartością w niej steadytu.

**Tablica 1. Charakterystyka żeliw stosowanych na próbki (krążki) i przeciwpróbki (płytki)**

Tab. 1. Characteristics of cast irons used as samples (disks) and counter-samples (plates)

| L. p. | Materiał     | Element pary trącej | Symbol próbek | Rodzaj odlewu | Klasa wydzieleni FT | Zawartość FT [%] | Udział F2 w FT [%] | Uwagi      |
|-------|--------------|---------------------|---------------|---------------|---------------------|------------------|--------------------|------------|
| 1     | Z1Cu1,4PVB   | Próbka              | A             | p             | 6                   | 5                | 30                 |            |
| 2     | Z1Cu1,4PVB   | Próbka              | N             | k             | 4–5                 | 7,1              | 30                 | dodatek Ni |
| 3     | Z1 200       | Próbka              | Z1            | p             | 1–2                 | 2                | 100                |            |
| 1     | Żeliwo Daros | Przeciwpróbka       | K             | k             | bardzo drobne       | 2                | 50                 |            |

FT – faza twarda, F2 – eutektyka fosforowa, p – odlew piaskowy, k – odlew kokilowy

Oprócz badań metalograficznych próbek i przeciwpróbek zmierzono także ich twardość metodą Brinella wg PN-91/H-04350 i mikrotwardość metodą Vickersa. Wyniki tych pomiarów zamieszczono w **Tablicach 2 i 3**.

**Tablica 2. Twardość HB-10/3000/15 próbek i przeciwpróbki**

Tab. 2. Hardness of samples and counter-samples

| Oznacz. próbki | A   | N   | Zl  | K   |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| Twardość HB    | 210 | 229 | 205 | 201 |

**Tablica 3. Mikrotwardość HV0,2 fazy twardej w próbkach**

Tab. 3. Microhardness of hardness phase in samples

| Oznaczenie próbki | Składnik fazy twardej |         |
|-------------------|-----------------------|---------|
|                   | Cementyt              | Steadyt |
| A                 | 1087                  |         |
| N                 | 1193                  |         |
| Zl                | brak                  | 666     |

Pomiar mikrotwardości steadytu w próbkach A i N nie został wykonany ze względu na zbyt małe wydzielenia tej fazy.

## WARUNKI I WYNIKI BADAŃ

Warunki te zostały już w dużym stopniu omówione w poprzednim punkcie artykułu. Tytułem uzupełnienia należy dodać, że badania prowadzono na maszynie tarciowej typu Amsler. Prędkość ślizgania wynosiła  $V = 0,56$  m/s. Próbki i przeciwpróbki miały chropowatość ok.  $R_a = 0,50$   $\mu\text{m}$ .

Uzyskane wyniki przedstawiono w **Tablicach 4–6**. Podano w nich wartości średnie wraz z odchyleniem standardowym.

**Tablica 4. Zużycie wagowe  $Z_w$  próbek żeliwnych (A, N, Zl) w zależności od przyjętych wartości współczynnika tarcia  $\mu$** Tab. 4. Weight wear  $Z_w$  for different cast irons (A, N, Zl) and values of coefficient of friction  $\mu$ 

| Wartość $\mu$            | $Z_w \cdot 10^{-4}$ [g] |                   |                   |
|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
|                          | A                       | N                 | Zl                |
| $\mu \leq \mu_1 = 0,115$ | $9,2 \pm 4,5$           | $27,8 \pm 13,1$   | $376,9 \pm 374,0$ |
| $\mu \leq \mu_2 = 0,160$ | $51,0 \pm 14,0$         | $253,4 \pm 101,1$ | –                 |
| $\mu \leq \mu_3 = 0,220$ | $92,3 \pm 25,3$         | $362,4 \pm 238,9$ | –                 |

**Tablica 5. Szerokość śladu zużycia  $Z_1$  na przeciwpróbce w zależności od rodzaju żeliwa (A, N, ZI) i przyjętych wartości współczynnika tarcia  $\mu$**

Tab. 5. Linear wear  $Z_1$  of counter-sample according to type of cast iron (A, N, ZI) and coefficient of friction  $\mu$

| Wartość $\mu$            | $Z_1$ [mm]      |                 |                 |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                          | A               | N               | ZI              |
| $\mu \leq \mu_1 = 0,115$ | $2,46 \pm 0,49$ | $2,27 \pm 0,41$ | $2,32 \pm 0,77$ |
| $\mu \leq \mu_2 = 0,160$ | $3,00 \pm 0,59$ | $3,64 \pm 0,44$ | –               |
| $\mu \leq \mu_3 = 0,220$ | $3,50 \pm 0,43$ | $3,83 \pm 0,63$ | –               |

**Tablica 6. Liczba impulsów smarowniczych w zależności od rodzaju żeliwa (A, N, ZI) i przyjętych wartości współczynnika tarcia  $\mu$**

Tab. 6. Number of lubrication impulses according to type of cast iron (A, N, ZI) and coefficient of friction  $\mu$

| Wartość $\mu$            | A           | N           | ZI          |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $\mu \leq \mu_1 = 0,115$ | $34 \pm 19$ | $55 \pm 24$ | $34 \pm 19$ |
| $\mu \leq \mu_2 = 0,160$ | $38 \pm 21$ | $43 \pm 8$  | –           |
| $\mu \leq \mu_3 = 0,220$ | $42 \pm 18$ | $45 \pm 11$ | –           |

Dane zamieszczone w **Tablicach 4–6** dotyczą tylko tych skojarzeń, które przetrwały drogę tarcia wynoszącą 5000 m. Duże wartości odchylenia standardowego zużycia próbek N dla  $\mu \leq \mu_2 = 0,160$  i  $\mu \leq \mu_3 = 0,220$  oraz próbek ZI dla  $\mu \leq \mu_1 = 0,115$  (**Tablica 4**) zostały spowodowane pojawieniem się na powierzchni niektórych próbek pojedynczych **Rys**. W przypadku ich wystąpienia odnotowywano znacznie większe wartości zużycia, nie traktowano jednak tego zjawiska jako początku zacierania. Brak wyników pomiaru zużycia próbek ZI dla  $\mu \leq \mu_2 = 0,160$  i  $\mu \leq \mu_3 = 0,220$  został spowodowany tym, że wszystkie skojarzenia się zatarły w czasie trwania próby.

Bardzo duży rozrzut liczby impulsów smarowniczych (**Tablica 6**) nie pozwala na ustalenie związku między odpornością na zużycie a zapotrzebowaniem na smarowanie.

Metoda pozwoliła wykazać istotne różnice odporności na zużycie badanych żeliw, w przybliżeniu jak 1:3:40 (dla  $\mu \leq \mu_1 = 0,115$ ). Jest to szczególnie ważne w przypadku żeliw A i N, które niewiele różnią się składem chemicznym i strukturą.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych i wyżej opisanych badań można stwierdzić, że:

1. Zaproponowana metoda prowadzenia prób zużycia oparta na ciągłym pomiarze współczynnika tarcia i smarowaniu w chwili, gdy osiąga on założoną wartość, umożliwia określenie odporności na zużycia żeliw nieznacznie różniących się składem chemicznym i strukturą; (próbki N zawierały dodatek 0,18% Ni i trochę więcej eutektyki fosforowej z cementytem niż próbki A).
2. Dodatek niklu do żeliwa ZlCu1,4PVB, wbrew informacjom zawartym w literaturze np. [6], nie zwiększył jego odporności na zużycie.

## LITERATURA

1. Nosal S., Grześkowiak J.: Badania porównawcze żeliw ZlCu1,4PV i ZlCu1,4PVB stosowanych na tuleje cylindrowe silników okrętowych, Silniki Spalinowe, 1990, nr 3–4, s. 1–5.
2. Grześkowiak J., Kotkowski K., Wołyńska-Mrowicka E., Nosal S.: Wpływ zmian konstrukcyjnych na właściwości żeliwnych tulei cylindrowych silników okrętowych napędu głównego, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 1999, vol. 19, nr 2, s. 221–231.
3. Grześkowiak J., Nosal S.: Wpływ eutektyki fosforowej na właściwości tribologiczne żeliw, w: XXIII Jesienna Szkoła Tribologiczna, Zielona Góra – Lubiatów, 21–24.09.1999, s. 63–67.
4. Nosal S., Grześkowiak J., Kotkowski K., Wołyńska-Mrowicka E., Heppel K.: Wpływ wybranych czynników na przebieg docierania węzła modelującego skojarzenie tuleja cylindrowa – pierścień tłokowy silnika okrętowego, w: IX Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Krynica, 25–28.09.2001, t. 2, s. 143–152.
5. Nosal S., Grześkowiak J.: Wpływ wybranych czynników na przebieg docierania żeliwnych skojarzeń ślizgowych, Tribologia, 2002, nr 2, s. 505–513.
6. Astaškevič B.M., Pročnost' i iznosostojkost' čuguna dlja vtulok cilindrov dizelej, Metalloved. i term. obrab. met., 1987, nr 7.

**Recenzent:**

**Marian SZCZEREK**



### Summary

**This paper presents method and results of the research on wear resistance of cast iron Z1Cu1,4PVB used in the marine engine cylinder liner. Cast iron samples had different grain size of phosphide eutectic and accompaniment Ni. Coefficient of friction  $\mu$  had to be lower than assumed value ( $\mu_i < \mu_{kr}$ ) during the whole road of friction ( $s = 5000$  m).  $\mu_i$  values amounted to:  $\mu_1 = 0,115$ ;  $\mu_2 = 0,160$ ;  $\mu_3 = 0,220$ . If during the wear test there occurred that  $\mu = \mu_p$ , the sliding connection was pulse-lubricated.**

**It was stated that the method enables comparison of wear resistance of cast irons with slight differences in chemical composition and structure.**