

**J. Burcan\*, K. Siczek\***

## **TRWAŁOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ ŁOŻYSK ROZRUSZNIKA**

### **THE DURABILITY AND RELIABILITY OF BEARING OF CAR STARTER**

**Słowa kluczowe:**

rozzrusznik, łożyska porowate, trwałość i niezawodność łożysk

**Key words:**

car starter, sintered bearing, durability and reliability of bearing

**Streszczenie:**

W referacie zaprezentowano wyniki badań trwałości łożysk rozrusznika. Geometria łożysk rozrusznika decyduje o ich trwałości i niezawodności. Wzrost początkowej wartości luzu powoduje spadek trwałości łożysk. Dla mniejszych wartości prędkości obrotowej spadek trwałości jest mniejszy. Trwałość i niezawodność łożysk nowych i naprawianych mogą być zbliżone. Nawet po trzeciej naprawie nie zaobserwowano wzrostu wartości momentu tarcia, temperatury i amplitudy drgań w łożyskach. Po trzeciej wymianie panewek rozrusznik powinien być wymieniony na nowy.

---

\* Politechnika Łódzka

## WPROWADZENIE

Trwałość rozrusznika zależy od trwałości łożysk - słabego ogniwa w jego strukturze niezawodnościowej. Jednym ze sposobów wydłużenia czasu eksploatacji rozrusznika jest wykonanie w odpowiednim czasie naprawy łożysk, poprzez wymianę panewek na nowe.

Obiektem badań jest układ łożyskowy rozrusznika, w silniku samochodu FIAT 126p.

Bezobsługowe łożyska rozrusznika składają się ze stalowych, ulepszanych cieplnie i szlifowanych czopów oraz porowatych panewek, wykonanych ze spieków brązu z grafitem. Panewki podlegają kalibrowaniu i są fabrycznie nasącane olejem Antykol TS-120.

Łożyska rozrusznika pracują w systemie pracy start – stop, w warunkach tarcia mieszanego, w którym udział tarcia płynnego zmniejsza się w miarę upływu czasu eksploatacji. Zużycie i opory ruchu w łożyskach zależą od prędkości poślizgu, obciążenia, temperatury pracy i warunków smarowania, pomiędzy którymi zachodzą sprzężenia zwrotne.

Łożyska rozrusznika przenoszą zmienne obciążenia, w obecności drgań. Obciążenie łożysk wynika z ciężaru wirnika, siły szczotkotrzymaczy i siły oddziaływań zębniaka.

Podczas naprawy łożysk rozrusznika czopy pozostawia się. Po kilku kolejnych wymianach panewek wymienia się także wirnik na nowy. Naprawa czopów, przez nałożenie warstw regeneracyjnych, jest nieopłacalna, ponieważ wymaga demontażu elementów wirnika.

Materiały czopów i panewek, rodzaj oleju naprawianych i nowych łożysk rozrusznika są takie same. Jedne i drugie pracują w podobnych warunkach obciążenia, prędkości poślizgu, temperatury oraz parametrów otoczenia. Geometria łożysk naprawianych, na ogół zdecydowanie różni się od geometrii łożysk nowych. Właściwy dobór geometrii łożysk, umożliwia uzyskiwanie trwałości naprawianych łożysk zbliżonej do trwałości łożysk nowych.

Podczas badań określano wpływ geometrii łożysk na ich trwałość i niezawodność. Wyznaczono parametry krzywej zużycia i ustalono kryteria stanu granicznego modelowych łożysk rozrusznika. Wyznaczone parametry stanu granicznego i krzywej zużycia łożysk wykorzystano do szacowania trwałości i niezawodności łożysk.

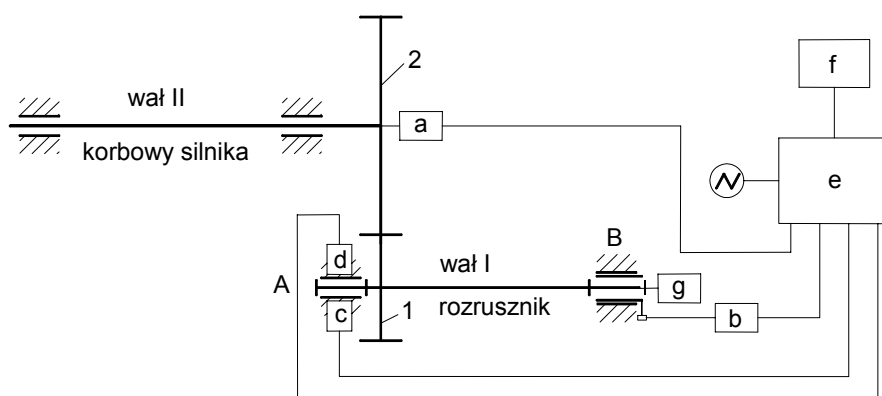
## BADANIA WŁASNE

### Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na specjalnie przygotowanym stanowisku (rys. 1).

W celu zapewnienia warunków pracy łożysk zbliżonych do rzeczywistości, stanowisko badawcze wykonano na bazie silnika samochodu FIAT 126p. Wprowadzone zmiany konstrukcyjne były podyktowane koniecznością zabudowy aparatury pomiarowej.

Podczas badań mierzono moment tarcia w tylnym łożysku, amplitudę drgań i temperaturę - w przednim i w obu łożyskach zużycie objętościowe. Mierzono także prędkość obrotową wału korbowego, prąd rozruchu, napięcie zasilania, liczbę obrotów i uruchomień.



**Rys.1. Schemat stanowiska do pomiaru momentu tarcia, temperatury i amplitudy drgań układu łożyskowego [1]. a – czujnik prędkości obrotowej, b – czujnik siły, c-termopara, d-czujnik drgań, e – kasetta sterownicza, f – dysk komputera, g - licznik obrotów wirnika rozrusznika.**

Fig. 1. The scheme of stand for measurement of friction moment, temperature and vibration in bearing system. a –sensor of rotational speed, b- sensor of force, c – sensor of temperature, d – sensor of vibration, e – control cassette, f – computer disc, g sensor of number of rotates of car starter

### Założenia przyjęte podczas szacowania trwałości i niezawodności łożysk

Dla oszacowania trwałości i niezawodności przyjęto założenia upraszczające.

- 1) Dla przykładowego wariacyjnego rozkładu Bernsteina czasu poprawnej pracy łożyska, opisano funkcję niezawodności łożysk zależnością (1)

$$R(t) = \Phi \left[ \frac{Z_{gr} - E(Z_d) - E(w_z) \cdot t}{\sqrt{D^2(Z_d) + D^2(w_z) \cdot t^2}} \right] \quad (1),$$

gdzie:  $Z_{gr}$  – zużycie łożyska pod koniec okresu quasiliniowego zużycia,  $E(Z_d)$ ,  $D^2(Z_d)$  – wartość oczekiwana i wariancja zużycia łożyska po czasie docierania,  $E(w_z)$ ,  $D^2(w_z)$  – wartość oczekiwana i wariancja prędkości zużycia łożyska w czasie quasiliniowego zużycia.

- 2) Miarą trwałości łożysk może być wartość ресурсu 50%, oszacowana ze wzoru (2)

$$t_{50} = \frac{Z_{gr} - E(Z_d)}{E(w_z)} \quad (2).$$

- 3) Miarą trwałości może być również średni czas poprawnej pracy łożyska - zależność (3)

$$t_{sr} = \frac{Z_{gr} - E(Z_d)}{E(w_z)} \cdot \left[ 1 + \frac{D^2(w_z)}{E^2(w_z)} \right] \quad (3).$$

- 4) Miarą trwałości może być też czas  $t_{gr}$  do zakończenia okresu umiarkowanego zużycia - (4)

$$l_{gr} - l_0 = \int_0^{t_{gr}} E[w_z(t)] dt \quad (4),$$

gdzie:  $l_{gr}$  – dopuszczalna wartość luzu w łożysku,  $l_0$  – początkowa wartość luzu w łożysku.

- 5) Powiększenie luzu w łożysku wynika tylko ze zużycia panewki. Zużycie czopa pominięto.

### Model zużycia układu łożyskowego rozrusznika

Najczęściej, w znanych opracowaniach, zużycie dla danej prędkości zużywania się  $w_z$ , zależy wyłącznie od czasu trwania eksploatacji (5)

$$Z(t) = \int_0^t w_z(t) \cdot dt, \quad (5)$$

Prędkość zużycia  $w_z$  wyznacza się z eksperymentu, na przykład z zależności (6).

$$w_z = \begin{cases} A(t-t_d)^B + w_0, 0 < t < t_d \\ w_0, t_d \leq t \leq t_{gr} \\ C \cdot (t-t_{gr})^D + w_0, t \geq t_{gr} \end{cases}, \quad (6),$$

Stałe współczynniki  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  zależą od stanu powierzchni, rodzaju materiałów, itp. Wartości współczynników  $B$  i  $D$  założono, ponieważ jednoczesne wyznaczenie współczynników  $A$  i  $B$  oraz  $C$  i  $D$  było niemożliwe, na drodze rozwiązania układu równań.

W celu umożliwienia obliczenia wartości współczynnika  $A$ , przyjęto, że dla wszystkich przypadków badanych łożysk, wartość współczynnika  $B$  była taka sama.

Wartość współczynnika  $A$  wyznaczono z równania (7)

$$Z_{gr} = \int_0^{t_d} [A \cdot (t-t_d)^B + w_0] \cdot dt + \int_{t_d}^{t_{gr}} w_0 \cdot dt \quad (7),$$

Wartość współczynnika  $C$  wyznaczono ze wzoru (8)

$$Z_{awaria} = \int_0^{t_d} [A \cdot (t-t_d)^B + w_0] \cdot dt + \int_{t_d}^{t_{gr}} w_0 \cdot dt + \int_{t_{gr}}^{t_{awaria}} [C \cdot (t-t_{gr})^D + w_0] \cdot dt \quad (8),$$

Wartości prędkości zużycia  $w_0$  oraz czasy  $t_d$ ,  $t_{gr}$  - do uzyskania stanu zakończenia, odpowiednio docierania i okresu quasiliniowego zużycia wyznaczono na podstawie wyników pomiaru. W przeprowadzonych badaniach wartości stałych parametrów wynosiły:  $t_d = 100$  uruchomień,  $t_{gr} = 700$  uruchomień. Wartość zużycia granicznego  $Z_{gr}$  wyznaczono eksperymentalnie, dla łożysk pracujących do osiągnięcia początku okresu przyspieszonego zużycia. Wartość  $t_{awaria} = 3675$  uruchomień oraz wartość zużycia w momencie awarii  $Z_{awaria}$ , wyznaczono eksperymentalnie w serii pomiarów łożysk pracujących do wystąpienia awarii.

Wartości prędkości zużycia materiału panewki obliczano ze wzoru (9), wobec przyjęcia liniowej intensywności zużycia  $I_n = 1.45 \cdot 10^{-8} \cdot p^2$ ,

średniego nacisku powierzchniowego między czopem i panewką  $p$ , prędkości liniowej czopa względem panewki  $v$ , promienia otworu panewki  $r_p$ , długości panewki  $l$ , kąta styku czopa z panewką  $\varphi$ .

$$w_0 = 2 \cdot I_h \cdot v \cdot r_p \cdot \varphi \cdot l, \quad (9)$$

Naciski powierzchniowe w łożysku obliczono przyjmując, że powierzchnie robocze czopów i panewek są idealnie gładkie.

Założono, że reakcje w łożyskach są przyłożone w miejscu styku krawędzi otworów panewek ze współpracującymi powierzchniami czopów, co zachodzi w warunkach przekoszenia wirnika w łożyskowaniu.

### Wyniki badań

Zamieszczone w pracy [2] przebiegi mierzonych wartości momentu tarcia, temperatury, amplitudy drgań i prędkości obrotowej, w funkcji liczby cykli, pozwalają opisać i porównać zmiany tych wielkości, występujące w nowych i naprawianych łożyskach.

W przeciągu 600 początkowych uruchomień nowego rozrusznika, występował spadek i duże wahania wartości temperatury. Podobnie, w przeciągu 100 początkowych uruchomień wystąpił spadek i duże wahania wartości momentu tarcia. Poziom amplitud drgań, w przeciągu pierwszych 300 uruchomień łagodnie wzrastał, a w dalszej części okresu pracy ustabilizował się. Mierzone wartości prędkości obrotowej wykazywały duże wahania, ale średni poziom wartości prędkości nie ulegał zmianie w całym okresie pracy. Należy sądzić, że podczas początkowego okresu pracy nastąpiło dotarcie powierzchni roboczych. W okresie dalszych 600 uruchomień występowały zmniejszone wartości i wahania momentu tarcia. Zmniejszone wartości i wahania temperatury trwały do około 1200 uruchomienia. W okresie przyspieszonego zużycia obserwowano wzrost wahań momentu tarcia i temperatury. Okres przyspieszonego zużycia zakończył się awarią, po wykonaniu 3675 uruchomień.

W łożyskach pracujących po pierwszej i po drugiej wymianie panewek poziom wartości temperatury łagodnie wzrastał od początku pracy. Dla łożysk pracujących po trzeciej wymianie panewek praktycznie były stałe. Wahania temperatury w naprawianych łożyskach były znacznie niższe niż w przypadku łożysk nowych.

Poziom amplitud drgań w naprawianych łożyskach praktycznie był stały i niższy niż w łożyskach nowych.

Wartości momentu tarcia w naprawianych łożyskach wykazywały spadek od początku pracy. Po każdej naprawie poziom wartości momentu tarcia był większy. Wartości momentu tarcia w łożyskach naprawianych były na ogół dwa razy większe, niż w nowych.

Prędkość obrotowa w przypadku łożysk naprawianych praktycznie nie zmieniała się i była na ogół dwukrotnie wyższa, niż w przypadku łożysk nowych.

Umownie przyjęto, że okres docierania łożysk nowych i naprawianych był taki sam.

Dla zachowania porównywalnych warunków oceny badanych łożysk przyjęto dla wszystkich wymian, jako kryterium osiągnięcie umownego stanu granicznego po 700 uruchomieniach.

Nawet po trzeciej naprawie nie obserwowano dużego przyrostu wartości momentu tarcia, temperatury lub drgań, co pozwoliło przywrócić stan zdatności łożysk.

Wartości współczynników (A, B, C, D) i charakterystyczne punkty ( $t_d$ ,  $Z_d$ ), ( $t_{gr}$ ,  $Z_{gr}$ ), ( $t_{awaria}$ ,  $Z_{awaria}$ ) krzywej zużycia praktycznie są takie same lub zbliżone dla wszystkich przypadków badanych łożysk, to znaczy łożysk nowych i naprawianych. Zmieniają się A,  $Z_d$ , i  $Z_{gr}$ , pozostałe nie (tabela I).

**Tabela I. Parametry krzywej zużycia łożyska rozrusznika [1].**

Table I. The parameters of wear curve for bearing in car starter [1].

Okres pracy łożysk	$t_d$ [s]	$t_{gr}$ [s]	$t_{awaria}$ [s]	$E(v_z)$ [ $mm^3/s$ ]	$Z_d$ [ $mm^3$ ]	$Z_{gr}$ [ $mm^3$ ]	$Z_{awaria}$ [ $mm^3$ ]	A	B	C	D
Do I wymiany panewek	100	700	3675	$8.8 \cdot 10^{-6}$	2.0	2.07	2.54	$3.9 \cdot 10^{-21}$	6	$1.8 \cdot 10^{-23}$	4
Po I wymianie panewek	100	700	-	$2.82 \cdot 10^{-5}$	1.95	2.15	-	$3.8 \cdot 10^{-21}$	6	-	-
Po II wymianie panewek	100	700	-	$3.11 \cdot 10^{-5}$	2.16	2.38	-	$4.1 \cdot 10^{-21}$	6	-	-
Po III wymianie panewek	100	700	-	$2.7 \cdot 10^{-5}$	2.2	2.39	-	$4.2 \cdot 10^{-21}$	6	-	-

Zabezpieczenie przed wystąpieniem awarii rozrusznika wymaga przyjęcia dopuszczalnej wartości luzu promieniowego. Łożyska muszą zostać poddane naprawie, po osiągnięciu wartości luzu promieniowego uniemożliwiającej ocieranie wirnika o stojan.

Wartości zużycia łożysk dotartych i wartości zużycia granicznego na ogół są dla łożysk po naprawie większe o około 20% od analogicznych wartości dla łożysk nowych. W przypadku łożysk naprawianych występują większe wartości prędkości obrotowej, niż w przypadku łożysk nowych. Zapewne dlatego intensywność zużycia łożysk naprawianych jest większa niż łożysk nowych (tabela I).

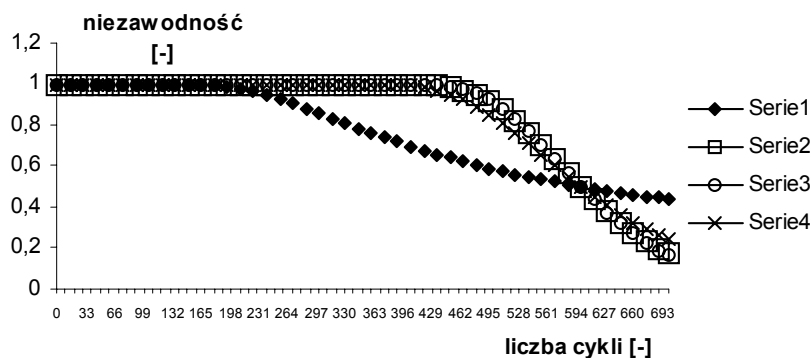
Zaobserwowano, że spadek obliczanych wartości niezawodności łożysk naprawianych występuje później i jest większy, niż w przypadku łożysk nowych (rysunek 2)

Obliczane wartości resursu 50% dla łożysk nowych i naprawianych są zbliżone. Obliczane wartości średniego czasu poprawnej pracy łożysk naprawianych są prawie 2 razy mniejsze niż w przypadku łożysk nowych (tabela II). Wynika to z większego rozrzutu prędkości zużywania się łożysk nowych.

**Tabela II Wartości resursu 50% i średniego czasu poprawnej pracy łożyska**

Table II. The value of resource 50% and of mean time of correct bearing work

Okres pracy łożyska	$t_{50}$ [ilość uruchomień]	$t_{sr}$ [ilość uruchomień]
Do I wymiany panewek	601	1131
Po I wymianie panewek	600	614
Po II wymianie panewek	600	614
po III wymianie panewek	600	624

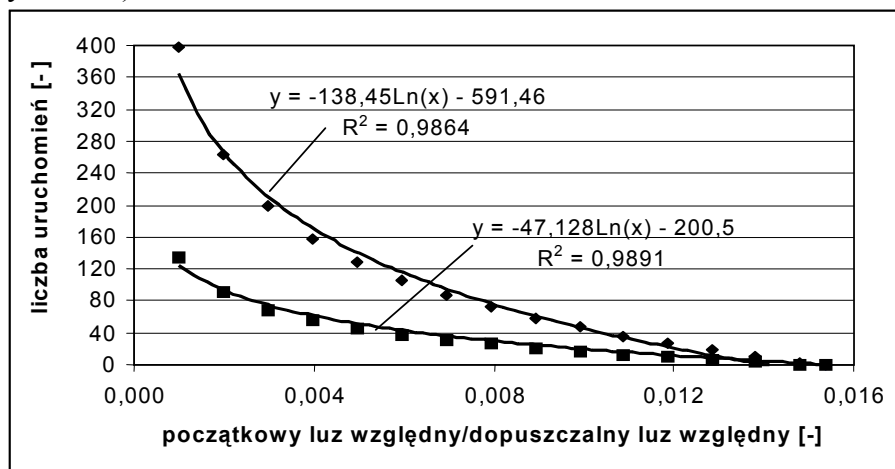


**Rys.2. Niezawodność badanych nowych i naprawionych łożysk rozrusznika**

Fig.2. The reliability of new and of repaired bearing in car starter



Ze wzrostem początkowej wartości luzu maleje trwałość łożyska (rysunek 3).



Rys. 3. Trwałość łożysk w funkcji początkowej wartości luzu w łożysku [1]. Dolny wykres – dla prędkości obrotowej wału korbowego  $n=2$  obr/s, Górny wykres – dla prędkości obrotowej wału korbowego  $n=4.3$  obr/s.

Fig. 3. The durability of bearing vs begin value of clearance in bearing. The lower curve – for rotational speed  $n=2$  rotate/s, upper curve – for rotational speed  $n=4.3$  rotate/s.

Ze wzrostem średniej wartości prędkości obrotowej poprawiają się warunki tarcia, co objawia się wzrostem trwałości. Dwukrotny wzrost prędkości obrotowej powoduje trzykrotny wzrost trwałości łożyska. Dla mniejszych wartości prędkości obrotowej spadek trwałości łożyska jest mniejszy.

## WNIOSKI

- 1) Wartość luzu promieniowego w łożyskach decyduje o bezawaryjnej pracy układu łożyskowego. W przypadku badanego rozrusznika przekroczenie wartości luzu 5‰ w wyniku zużycia łożysk doprowadziło do awarii, polegającej na uderzeniu wirnika o stojan.
- 2) Wymiana panewek podczas naprawy nie powoduje występowania wzrostu oporów ruchu, temperatury i drgań podczas pracy łożysk. Podczas czwartej wymiany panewek także wirnik powinien być wymieniony na nowy.

- 3) Prędkość zużycia łożysk naprawianych i nowych są porównywalne.
- 4) Zachowanie podczas naprawy porównywalnych warunków geometrii łożysk pozwala na uzyskiwanie trwałości i niezawodności łożysk naprawianych takich samych, jak dla łożysk nowych.
- 5) Ze wzrostem początkowej wartości luzu maleje trwałość łożyska. Dla mniejszych wartości prędkości obrotowej spadek trwałości łożyska jest mniejszy.
- 6) Modelowy charakter badań pozwala wykorzystywać uzyskane do opisu i interpretacji rzeczywistych procesów eksploatacyjnych, a także do oceny trwałości innych urządzeń pracujących z bezobsługowymi łożyskami o porowatych panewkach.

## LITERATURA

1. K. Siczek: Badania trwałości ponaprawczej ślizgowych łożysk rozrusznika, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska. Poznań 2003.
2. J. Burcan, K. Siczek: Badania trwałości łożysk rozrusznika, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika, nr 270/2001, z.68, s. 135 – 143.

**Recenzent:**  
**Marek Wiśniewski**

## Summary

**The obtained results from researches of durability of bearing in car starter have been presented in the paper. The geometry of sintered bearing influences the durability and reliability of bearing system in car starter. The increasing of the begin value of bearing clearance results in decreasing of durability of bearing in car starter. For lower value of rotational speed the decreasing of durability of bearing is lower. The durability and reliability of repaired bearing can be close to the durability and reliability of new bearing. Even after the third repairing the bearing can work without increasing of resistance of motion, of value of temperature and of vibration. After the third repairing of bearing the car starter should be changed for new one.**