

## **PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH**

**Łódź 09-10 maja 1995 roku**

Jan Burcan, Jerzy Lewandowski, (*Politechnika Łódzka*),  
Krzysztof Siczek (*Zespół Szkół Samochodowych nr 1 w Łodzi*)

### **WYKORZYSTANIE ANALIZY LUZÓW ŁOŻYSKOWYCH W PROFILAKTYCE STANÓW AWARYJNYCH MASZYN**

#### **SŁOWA KLUCZOWE**

dynamika układu łożysk, zmiana luzów łożyskowych, wahania wartości oporów ruchu, ocena stanu technicznego, bezawaryjne okresy pracy łożysk

#### **STRESZCZENIE**

Dokonano próby powiązania oceny stanu technicznego maszyny z oceną stanu technicznego jej łożysk. Przeanalizowano zmiany wartości momentu tarcia w łożyskach ślizgowych podczas powiększania się zużycia ich powierzchni roboczych. Zaproponowano metodykę weryfikacji stanu technicznego łożysk i zapobiegania ich awariom. Przedstawiono wyniki wstępnych badań dotyczących napraw łożysk rozruszników samochodowych.

#### **WPROWDZENIE**

Tendencja do zwiększania stopnia zaawansowania technicznego produkcji, wprowadzanie automatyzacji i robotyzacji wymusza konieczność zapewnienia wysokiej niezawodności w procesie utrzymywania ruchu. W analizie rentowności przedsiębiorstwa ten proces jest ważnym elementem.

Rentowność utrzymania ruchu zależy od kosztów napraw, dyspozycyjności i stopnia wykorzystania maszyn. Zamrożenie kapitału w częściach wymiennych i materiałach używanych do naprawy, stała tendencja do wzrostu kosztów robocizny i całkowitych kosztów naprawy, wymuszają konieczność skracania czasu przestojów maszyn do minimum. Nadto, należy pamiętać o sprzężeniu wymienionych czynników z kosztami wynikłymi ze strat produkcji podczas przestoju.[1]

#### **OCENA STANU TECHNICZNEGO MASZYN**

Z obserwacji eksploatacji maszyn wynika, że conajmniej 25 procent ich awarii jest związana z niewłaściwym funkcjonowaniem łożysk. W tej sytuacji celowym jest przewidywanie okresów bezawaryjnej pracy i awarii łożysk. Pozwoli to w porę zapobiegać uszkodzeniom. Skrócenie czasu przestojów maszyn istotnie zależy od trafności diagnozy aktualnego stanu technicznego maszyn. Identyfikacja najbardziej uciążliwych uszkodzeń

maszyny pozwala na optymalne planowanie procesu naprawy, także ze względu na czas jej trwania (możliwość użycia sieci PERT).

Istotny jest problem ignorowania niektórych, pozornie nieistotnych, anomalii powstających podczas pracy maszyny. Mogą one wywołać uszkodzenia wtórne, doprowadzające zwykle do kolejnej awarii maszyny tak, że w krótkim czasie po dokonaniu naprawy nastąpi kolejny przestój. Najczęściej występującymi anomaliami są pewne postacie drgań korpusu maszyny, cykliczne zmiany prędkości obrotowej, świadczące o niewłaściwej współpracy części. Na ogół efekty te są dość trudno mierzalne. W tej sytuacji bardzo ważne jest właściwe zhierarchizowanie występujących niedomagań, a zwłaszcza dopuszczenie możliwości zaniedbania tych, które nie wywołują uszkodzeń wtórnych podczas pracy maszyny. Prezentowane podejście umożliwia zmniejszenie ilości koniecznych operacji naprawczych.

Jednymi z najczęściej występujących, odpowiedzialnych a jednocześnie najbardziej zawodnych układów w maszynie są układy łożysk ślizgowych. Są one niezbędne dla zachowania określonych stopni swobody obracających się elementów. Odpowiedzialność układów łożyskowych wynika stąd, że uszkodzenie, bądź nadmierne zużycie jednego z nich, może poważnie zakłócić, a nawet uniemożliwić pracę całego układu przenoszenia napędu w maszynie.

Stosunkowo duża zawodność łożysk wynika z konieczności kompromisowego doboru materiałów i konstrukcji łożysk. Muszą one dobrze wytrzymać zmienne obciążenia, w szerokim zakresie zmian prędkości poślizgu współpracujących powierzchni, w zmiennych warunkach smarowania, wykazując jednocześnie dobrą odporność na ścieranie, zatarcie, korozję itp., często przeciwstawne i zmieniające się podczas eksploatacji warunki pracy. Można zatem twierdzić, że ocena stanu technicznego maszyny może w znacznym stopniu wynikać z oceny stanu technicznego jej łożysk.

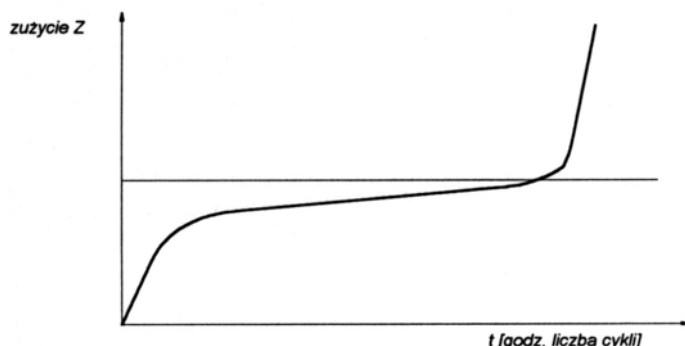
Jedną z metod diagnozowania stanu technicznego maszyny może być metoda pomiaru zużycia łożyska, wyrażonego zmianą wartości momentu tarcia w funkcji czasu pracy łożyska. [ 1 ] Zasada, na której opiera się proponowana metoda, wiąże się z wykorzystaniem znajomości przebiegu zużycia węzła łożyskowego w czasie.

## ZJAWISKA TOWARZYSZĄCE PRACY ŁOŻYSKOWANIA

Po zamontowaniu węzła łożyskowego, po wstępnym dotarciu następuje okres umiarkowanego zużycia, podczas którego zmienia się ono wprost proporcjonalnie do czasu pracy. Po pewnym okresie współpracy, przy dostatecznie dużym luzie, zaczyna narastać intensywność zużycia. Zmiany dynamiki łożyskowanego elementu zaczynają być obserwowalne. Zwiększa się wówczas, lokalnie, obciążenie współpracujących powierzchni. Zmieniają się wzajemne oddziaływanie łożysk. Zużycie narasta coraz gwałtowniej, ze względu na coraz większe nadwyżki dynamiczne. Objawy te są mierzalne. Głównie towarzyszy tym zjawiskom występowanie bardzo dużych wahań wartości momentu tarcia od wartości  $M_{\min}$  do wartości  $M_{\max}$ . W przeprowadzonych dotąd badaniach eksperymentalnych stwierdzono, że podczas okresu umiarkowanego zużycia łożyska występują stosunkowo niewielkie wahania wartości momentu tarcia. Stosunek  $M_{\max}/M_{\min}$  zawiera się w przedziale od 1 do 2. Przekroczenie wartości 2 związane jest zwykle z początkiem gwałtownego narastania gradientu zmiany momentu tarcia, a więc i z rozpoczęciem gwałtownego zużycia prowadzącego w krótkim czasie do awarii. Bardzo szybko stosunek  $M_{\max}/M_{\min}$  w łożysku może osiągnąć wartość 5, a nawet większą [2].

Zmiana oporów ruchu może być powodem wystąpienia drgań w zużytych łożyskach. Taki stan najczęściej występuje przed awarią. Przykładowy przebieg wykresu zużycia w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 1.

Rys.1: Wykres zużycia łożyska w funkcji czasu pracy



Rejestrując przebiegi momentu tarcia można, na podstawie przyrostu wahań jego wartości przewidywać, okres poprawnej pracy łożyska, bez doprowadzenia do awarii.

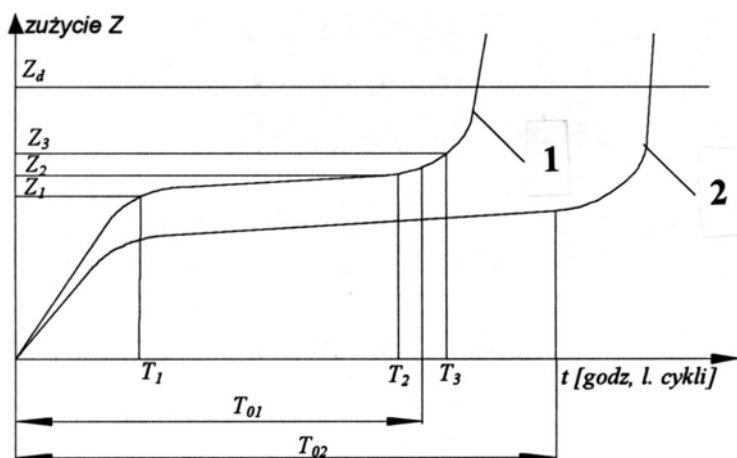
#### MODEL I METODYKA ZAPOBIEGANIA AWARIOM ŁOŻYSK.

Trudności w stosowaniu wspomnianej wyżej metody są związane z tym, że znany jest jakościowy przebieg wykresu zużycia w funkcji czasu pracy łożyska. Istnieje potrzeba ustalenia ilościowych zmian parametrów. Można w tym celu wykorzystać analizę porównawczą przebiegu pracy łożysk zbliżonych pod względem gabarytów, warunków obciążenia, prędkości względnej, rodzaju materiałów i warunków smarowania. Najłatwiej uzyskuje się takie dane śledząc przebieg pracy łożysk ślizgowych w maszynie podobnej do tej w której pracują interesujące nas łożyska. Można też odwzorować w przybliżeniu warunki pracy łożyska na modelowym stanowisku badawczym i śledzić przebieg zużycia w funkcji czasu. Porównania przebiegów zużycia dwóch podobnych konstrukcyjnie układów łożyskowych, ale różnych pod względem obciążenia, gabarytów, materiałów czy warunków smarowania niesie ze sobą ryzyko błędnych ustaleń z powodu różnych wykresów zużycia w funkcji czasu.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi zużycia dwóch podobnych konstrukcyjnie łożysk. Założono, że ilościowe zmiany parametrów obu przebiegów są znane. Łożysku eksploatowanemu w mniej intensywny sposób odpowiada krzywa 1. Przez  $T_{01}$  oznaczono łączny czas trwania jego docierania i umiarkowanego zużycia. Analogiczny czas dla drugiego łożyska oznaczono przez  $T_{02}$ . Jest on dłuższy od czasu  $T_{01}$ . W obu przypadkach okres umiarkowanego zużycia kończy się z chwilą pojawienia się gwałtownego wzrostu gradientu zużycia. Ze względu na możliwość wystąpienia zmiennych warunków eksploatacyjnych rzeczywisty wzrost wartości zużycia może być inny od przewidywanego na podstawie wykresu. W okresie  $T_{01}$  prowadzi się okresową kontrolę stanu technicznego łożyska, poprzez pomiar momentu tarcia lub przemieszczeń czopa w panewce, co pozwala na wyznaczenie wartości luzu w łożysku. Wskazane jest przeprowadzenie przynajmniej dwóch kontroli:

- pierwszej poprzez zmierzenie wartości zużycia (oznaczanego dalej  $Z_1'$ ) w chwili  $T_1$  tuż po zakończeniu przewidywanego okresu docierania. Umożliwi to sprawdzenie czy łożysko już zostało dotarte i może być w pełni obciążane,
- drugiej poprzez zmierzenie wartości zużycia (oznaczanego dalej  $Z_2'$ ) w chwili  $T_2$ , w miarę możliwości tuż przed spodziewanym wzrostem gradientu zużycia. Umożliwi to

sprawdzenie czy łożysko nie uległo wcześniej zbyt dużemu zużyciu np., na skutek pogorszenia się warunków smarowania itp. niekorzystnych zmian warunków pracy.



Rys.2: Wykresy zużycia w funkcji czasu dla dwóch podobnych konstrukcyjnie łożysk eksploatowanych w

Zmierzone wartości zużycia  $Z_1'$  i  $Z_2'$  nie powinny się różnić od wartości zużycia  $Z_1$  i  $Z_2$  obliczonych na podstawie wykresu w chwili odpowiednio  $T_1$  i  $T_2$  więcej niż o 1% w przypadku tak zwanych ustalonych warunkach eksploatacyjnych. Warunki eksploatacyjne mogą ulegać znacznym zmianom w przewidywanym okresie umiarkowanego zużycia. Wówczas częstotliwość kontroli powinna być większa, ze względu na większe prawdopodobieństwo szybszego zużywania się. Ponieważ okres pracy łożyska z umiarkowanym zużyciem może trwać dłużej niż jest on przewidywany, kontrola stanu technicznego powinna być prowadzona również po tym okresie.

Dla obu analizowanych na rysunku 2 przebiegów zużycia przyjęto, że wartość zużycia dopuszczalnego wynosi  $Z_d$ . Przekroczenie tej wartości grozi wystąpieniem awarii. Wartość  $Z_d$  może być ustalona na drodze statystycznej poprzez analizę wartości pomierzonych luzów łożysk, które uległy awarii lub eksperymentalnie na stanowisku badawczym. Jednym z objawów osiągnięcia stanu zbliżonego do awarii może być np. wystąpienie drgań poprzedzających awarię, zmiany struktury powierzchni współpracujących materiałów. Osiągnięcie zużycia o wartości  $Z_d$  następuje w krótkim czasie po pojawieniu się gwałtownego wzrostu gradientu zużycia. Czas pracy łożyska od momentu wystąpienia tego ostatniego zjawiska powinien być jak najkrótszy. Aby to uzyskać należy zmierzyć wartość zużycia  $Z_3$  w chwili  $T_3$ , wkrótce po przekroczeniu okresu  $T_{01}$ . Jeśli zmierzona wartość wskazuje na duży wzrost gradientu zużycia, to maszyna powinna być niezwłocznie zatrzymana a łożysko - wymienione lub poddane regeneracji.

Porównując przebiegi zużycia obu łożysk można stwierdzić, że w odniesieniu do łożyska 2, eksploatowanego mniej intensywnie, w chwili  $T_3$  nie wystąpi jeszcze gwałtowny wzrost gradientu zużycia i może ono jeszcze pracować przez pewien czas w zakresie umiarkowanego zużycia.

Jak wykazano, do analizy nie można przyjmować takiego samego okresu umiarkowanego zużycia w przypadku różnych warunków pracy. Do określania zakresu umiarkowanego zużycia danego łożyska przebiegów zużycia, uzyskanych z analizy porównawczej przebiegów pracy łożysk o zbliżonej konstrukcji i podobnych warunkach eksploatacyjnych, należy dobrać odpowiednią częstotliwość kontroli stanu technicznego. W niektórych odpowiedzialnych maszynach, takich jak np. koparki, zachodzi konieczność ciągłego monitorowania, między innymi, wartości luzów łożyskowych, co pozwala uchwycić początek gwałtownego narastania gradientu zużycia i zapobiec awarii. Monitorowanie wartości luzu można prowadzić kontrolując ciśnienie oleju.

Istnieje pewna grupa maszyn np. w lotnictwie, gdzie przedstawiony sposób zapobiegania awariom nie ma zastosowania. W tym przypadku, po przekroczeniu pewnego normatywnego czasu, który zwykle odpowiada osiągnięciu zużycia dopuszczalnego przez najsłabsze ogniwo maszyny, wszystkie elementy podlegają złomowaniu lub są odsyłane do autoryzowanej stacji diagnostycznej, np. u producenta w celu sprawdzenia ich dalszej przydatności.

Możliwość przewidywania czasu pracy łożysk między końcem czasu normatywnego, a chwilą w której rozpoczyna się gwałtowny przyrost jego zużycia jest bardzo korzystna. Może to mieć istotne znaczenie w przypadku konieczności przeciążenia łożysk, np. przy awaryjnym lądowaniu.

## WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ

Istotny jest zatem problem wynikający z pytania, w jakim stopniu występowanie uszkodzeń w łożyskach ślizgowych zależy od typu maszyn i sposobu ich eksploatacji. Aby odpowiedzieć na to pytanie przeprowadzono w FMG "PIOMA" SA w Piotrkowie Trybunalskim wstępne badania ankietowe dotyczące przyczyn przestojów maszyn. Wynika z nich, że około 25 % przestojów było spowodowane koniecznością naprawy z tytułu zużycia, bądź zatarcia łożysk ślizgowych. Przeprowadzono także obserwację 13 pojazdów w warsztatach naprawczych ZSS nr 1 w Łodzi. Uzyskano dane dotyczące rozruszników samochodowych, w których dokonano między innymi, wymiany tulejek łożyskowych (tabela 1).

Tabela 1: Wyniki wstępnych badań przeprowadzonych dla grupy 13 pojazdów

Marka o'azdu	Przebieg	Kategoria	Rodzaj rozrusznika	Oznaczenie	Uwagi
FIAT 126	22000	1	MECH	FM	
FIAT 126	38000	2	MECH	FM	
FIAT 126	23500	1	ELMAG	FE	
FIAT 126	45000	1	ELMAG	FE	
FIAT 126	30000	1	ELMAG	FE	
FSO1500	60000	1	ELMAG	SE	
FSO1500	65000	2	ELMAG	SE	b.brudn
FSO1500	52000	3	ELMAG	SE	taxi
POLONEZ	23000	2	ELMAG	PE	
POLONEZ	30000	1	ELMAG	PE	
ŻUK	23500	1	ELMAG	ZE	
ŻUK	45000	1	ELMAG	ZE	
ŻUK	20000	2	ELMAG	ZE	b.brudn
ŻUK	35000	2	ELMAG	ZE	
ŻUK	22000	1	ELMAG	ZE	

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania wskazują na potrzebę diagnozowania łożysk, w celu uzyskania informacji o okresach bezawaryjnej pracy maszyn i urządzeń. Szczególnie, badania rozruszników samochodowych pozwalają na opracowanie ustaleń szeregujących główne przyczyny powstawania awarii. W oparciu o wstępne wyniki można pokusić się na przedstawienie następujących wniosków końcowych.

1. Sposób uruchomienia rozrusznika wpływa w widoczny sposób na trwałość jego tulejek łożyskowych. Trwałość łożysk rozrusznika z włącznikiem mechanicznym może być mniejsza nawet o 30% w stosunku do trwałości łożysk rozrusznika z włącznikiem elektromagnetycznym.
2. Trudne warunki eksploatacji i zanieczyszczenie rozrusznika powodują zmniejszenie trwałości tulejek łożyskowych rozrusznika do 30%.
3. Kolejna wymiana tulejek łożyskowych w rozruszniku powoduje zmniejszenie ich trwałości o kilka procent.
4. Uzyskane wyniki należy traktować jako orientacyjne. Ze względu na niejednoznaczność oddziaływania czynników eksploatacyjnych na trwałość łożysk oraz niewielką ilość przebadanych pojazdów konieczne są dalsze, bardziej szczegółowe badania.

#### LITERATURA

1. Burcan J., Lewandowski J.: Wykorzystanie analizy wartości luzów ślizgowych dla oceny przebiegów międzynaprawczych maszyn, VII KRAJOWE SYMPOZJUM EKSPLOATACJI URZ~DZEŃ TECHNICZNYCH, Radom - Kozubnik 1993, Tribologia nr 4/5' 93, s. 97 - 101.
2. Burcan J.: The analisys of point contact with reference to condition of working surfaces EUROTRIB' 93, Budapest, Vol. 2, p. 405 - 410.

#### THE UTILIZING OF ANALYSIS OF BEARING SLACKNESS WITH THE PREVENTION OF EMERGENCY CONDITIONS OF MACHINES

#### SUMMARY

The results of preliminary investigations concerning repairs of bearing of car starters were presented. The methodology of verification of technical condition of bearing and of prevention of their failures was proposed.

*Recenzent: prof. dr inż. Zbigniew Lawrowski*