

Jan SIKORA\*

## WPLYW OLEJÓW SMAROWYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWĄ STOPÓW ŁOŻYSKOWYCH

### LUBRICATING OIL INFLUENCE ON FATIGUE STRENGTH OF BEARING ALLOYS

#### Słowa kluczowe:

łożyska ślizgowe poprzeczne, wytrzymałość zmęczeniowa, materiały łożyskowe, oleje smarowe, badania doświadczalne

#### Key-words:

plain journal bearings, fatigue strength, bearing alloys, lubricating oils, experimental research

#### Streszczenie

Badano wpływ olejów smarowych na wytrzymałość zmęczeniową stopów łożyskowych. Obiektem badań były cienkościenne bimetalowe panwie łożyskowe poddawane zginaniu w różnych ośrodkach podczas testów zmęczeniowych na stanowisku badawczym SKMR-2. Zaobserwowano wyraźny wpływ rodzaju oleju i czynników związanych z wymuszeniami

---

\* Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, tel.: (58) 347 19 37; e-mail: jsikora@pg.gda.pl

mechanicznymi i cieplnymi na wytrzymałość zmęczeniową warstwy ślizgowej. Przedstawiono wnioski z badań oraz program dalszych testów zmęczeniowych w warunkach pełnego filmu smarowego.

## WPROWADZENIE

Zmęczeniowe pęknięcia panwi łożysk ślizgowych stanowią wciąż jedną z głównych przyczyn zawodności wielu urządzeń, w których występują obciążenia dynamiczne. Wobec coraz większych obciążeń w węzłach łożyskowych współczesnych maszyn, zwłaszcza silników spalinowych, rośnie rola i znaczenie substancji smarowej jako jednego z czynników istotnych dla kształtowania wynikowej wytrzymałości zmęczeniowej warstw wierzchnich.

Jakość oleju smarowego jest oceniana głównie przez określenie jego zdolności do ograniczenia zużycia par ciernych oraz strat tarcia. Cechy współczesnych olejów są starannie kształtowane ze względu na pożądane, standaryzowane wymagania, pozwalające na pełnienie określonych funkcji przez olej w maszynie. Dokonuje się tego przez odpowiednie ustalenie składu oleju, polegające na dodawaniu do oleju podstawowego mineralnego lub syntetycznego od 10% do 30% (objętościowo) dodatków modyfikujących, w istotny sposób wpływających na jego wynikowe właściwości. Dodatki te to organiczne i nieorganiczne substancje, rozpuszczane lub zawieszane jako stałe cząstki w oleju. Można wyróżnić: dodatki VM poprawiające wskaźniki lepkości (Viscosity Modifiers), dodatki EP (Extreme Pressure) oraz antyzużyciowe (AW), antyutleniacze, inhibitory korozji, detergenty, despergatory, dodatki redukujące siły tarcia i inne. Wzmacniają one istniejące, korzystne właściwości oleju bazowego oraz wprowadzają nowe pożądane (ale jak się okazało również i niepożądane) cechy, których brakuje olejom bazowym. W charakterystyce olejów smarowych i dodatków modyfikujących brak odniesienia do ich wpływu na zdolność warstwy powierzchniowej łożyska do długotrwałego tolerowania obciążeń dynamicznych, co jest jednym z czynników określających trwałość łożyska. Wpływ ten może być rozważany jako oddziaływanie cech smaru na rozkład naprężeń, odkształceń i temperatury w materiale ślizgowym panewki oraz jako fizykochemiczna modyfikacja powierzchniowych właściwości wytrzymałościowych materiału łożyskowego.

Zagadnienie oddziaływania oleju smarowego w aspekcie zmęczeniowym nie jest w pełni rozpoznane. Problem ten, jak dotąd, był co naj-



wyżej sygnalizowany na konferencjach tribologicznych [L. 1], jednak nie prezentowano go w literaturze jako wyniku systematycznych badań doświadczalnych. Mogła tu odegrać rolę negatywna, w aspekcie zmęczeniowym, ocena wpływu współczesnych dodatków modyfikujących oleje smarowe i wynikające stąd blokowanie informacji przez firmy sponsorujące odpowiednie badania. Dążenie do pełnego wyjaśnienia oddziaływania poszczególnych dodatków modyfikujących jest jednak uzasadnione ze względu na stały trend zwiększania wymuszeń w dynamicznie obciążonych węzłach kinematycznych. Przyczynkiem do rozwiązania tego problemu są badania przeprowadzone na Politechnice Gdańskiej.

### PROGRAM I METODYKA BADAŃ

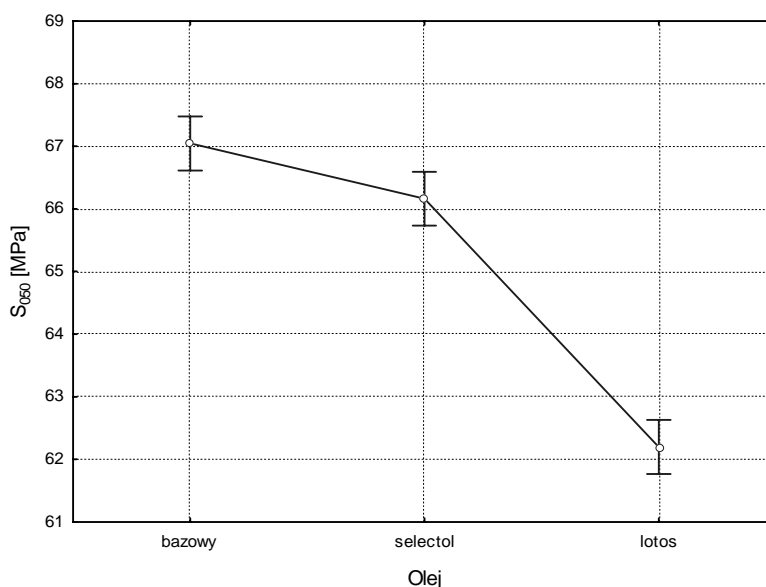
Program badań szczegółowo opisano w [L. 2, 3]. Obejmował testy zmęczeniowe półpanwi z warstwą ślizgową z łożyskowego stopu aluminiowego AlSn11Cu1,2 w środowisku olejów: podstawowego, mineralnego (Selektol Special) i syntetycznego (Lotos Dynamic) produkcji Rafinerii Gdańskiej, przy obciążeniach zginających charakteryzowanych liczbą stałości obciążenia  $\kappa = \sigma_m/\sigma_a$  równą -1, +1 i 0 przy trzech poziomach temperatury: 25, 80 i 120°C. Badania przeprowadzono w testerze zmęczeniowym SKMR-2 [L. 4].

Stosowano test o bazie równej  $3,6 \times 10^6$  cykli obciążenia. Kryterium stanu granicznego badanej warstwy ślizgowej stanowiło pojawienie się na powierzchni próbki uszkodzeń zmęczeniowych w postaci widocznych rys lub siatki pęknięć po osiągnięciu bazowej liczby cykli wymuszeń. Celem badań było wyznaczenie obciążalności dynamicznej warstwy ślizgowej wyrażonej w terminach granicznej amplitudy naprężeń dla wyróżnionej liczby cykli obciążenia przy zmienności naprężeń odpowiadających podanym wartościom  $\kappa$  w określonej temperaturze. Ten sposób prezentacji wyników badań można traktować jako wartość znamionowego wskaźnika wytrzymałości zmęczeniowej. Sekwencja testów zmęczeniowych oparta była na dwupunktowej strategii planowania doświadczeń [L. 5].

### WYNIKI BADAŃ

Wyniki testów zmęczeniowych opracowano zgodnie ze sformalizowaną procedurą statystyczną obejmującą oszacowanie wszystkich efektów głównych i interakcyjnych. Nadspodziewanie wysoce istotnym okazał się wpływ rodzaju oleju smarowego, w którym zanurzone były próbki podczas

badania. Na **Rys. 1** przedstawiono wpływ rodzaju ośrodka na amplitudę graniczną  $S_{050}$ , uśredniony dla wszystkich warunków wymuszeń mechanicznych i cieplnych. W przypadku olejów smarowych z dodatkami obserwuje się wyraźne zmniejszenie wskaźnika wytrzymałości zmęczeniowej  $S_{050}$  (w przypadku oleju syntetycznego Lotos Dynamic w odniesieniu do oleju bazowego wynosi ono średnio 7%). Wpływ oleju jest powiązany z pozostałymi czynnikami, o czym świadczą istotne interakcje dwuczynnikowe  $\kappa$ -Olej i Temperatura-Olej oraz interakcja trójczynnikowa  $\kappa$ -T-Olej.



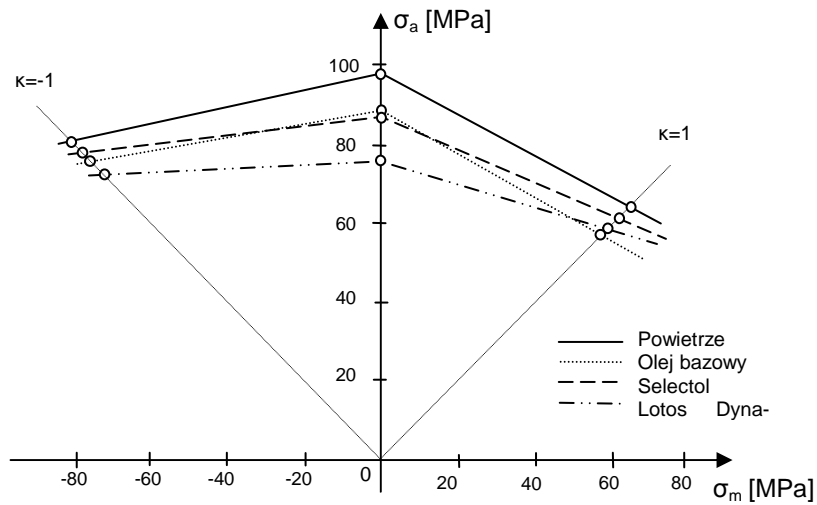
**Rys. 1. Wpływ rodzaju oleju na wytrzymałość zmęczeniową stopu AlSn11,2Cu1**

Fig. 1. Oil influence on fatigue strength of AlSn11,2Cu1 alloy

Wpływ ośrodka na wytrzymałość zmęczeniową stopu przekłada się na odpowiednie położenie linii granicznych na wykresach zmęczeniowych badanego stopu. Na **Rys. 2÷4** pokazano to na przykładzie uproszczonych wykresów Haigha odpowiadających testom przeprowadzonym w temperaturze 25, 80 i 120°C. W przypadku badań w temperaturze 25°C na wykresie podano również przebieg linii granicznych dla próbek badanych w powietrzu.

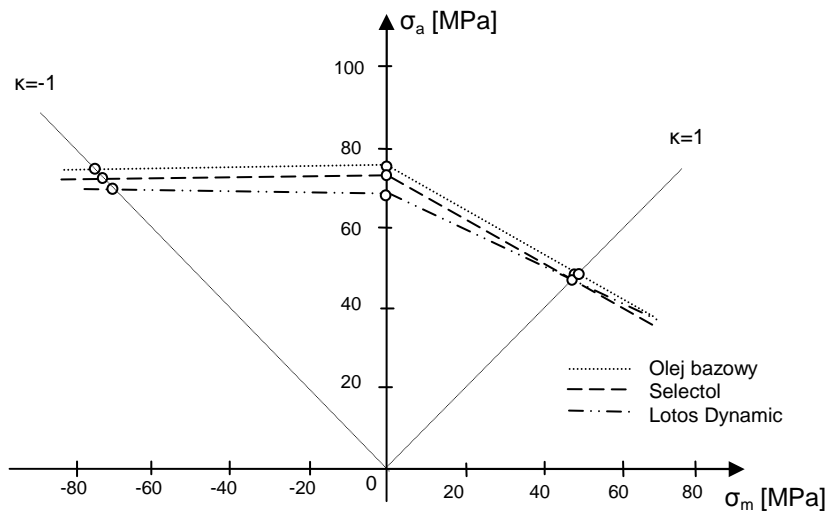
Podobne jakościowo wyniki otrzymano w przypadku zmęczeniowych testów panwi z warstwą ślizgową wykonaną z brązu CuPb22Sn4 oraz brązu z powłoką SnCu6 [**L. 6, 7**]. Dla materiałów tych nie można było jednak zrealizować pełnego programu badań ze względu na pękanie stalowych łusek przed osiągnięciem bazowej liczby cykli wymuszeń dla większości

kombinacji poziomów czynników ( $\kappa$ , T). Wpływ rodzaju oleju na odporność warstwy ślizgowej na obciążenia dynamiczne był jednak zauważalny.



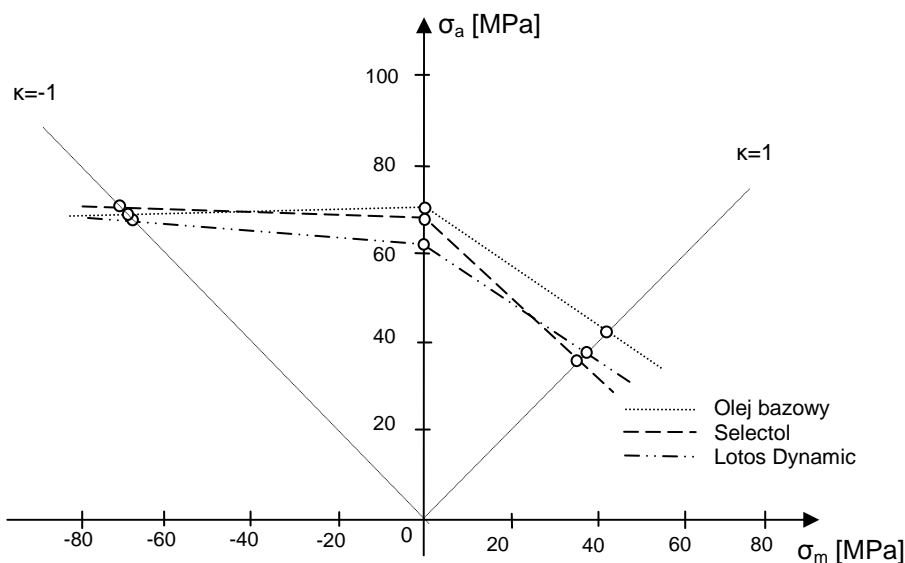
**Rys. 2. Wykres Haigha dla stopu AlSn11Cu1,2 w temperaturze 25°C w różnych ośrodkach**

Fig. 2. Haigh's diagram for AlSn11Cu1,2 alloy in various environment at 25°C temperature



**Rys. 3. Wykres Haigha dla stopu AlSn11Cu1,2 w temperaturze 80°C w różnych ośrodkach**

Fig. 3. Haigh's diagram for AlSn11Cu1,2 alloy in various environment at 80°C temperature



**Rys. 4. Wykres Haigha dla stopu AlSn11Cu1,2 w temperaturze 120°C w różnych ośrodkach**

Fig. 4. Haigh's diagram for AlSn11Cu1,2 alloy in various environment at 120°C temperature

## WNIOSKI

Oryginalnym wynikiem poznawczym dotychczasowych badań jest stwierdzenie znaczącego wpływu rodzaju oleju smarowego na własności zmęczeniowe stopów łożyskowych. Na podstawie badań stopów na bazie aluminium i miedzi stwierdzono, że wytrzymałość zmęczeniowa warstwy ślizgowej panwi istotnie zależy od rodzaju ośrodka – zanurzenie powierzchni panwi w oleju powoduje zmniejszenie odporności stopu na zmęczeniowe pękanie. Efekt zmniejszenia granicznej amplitudy naprężeń zależy od rodzaju oleju – najsilniej zaznaczył się dla oleju syntetycznego. Prawdopodobnie jest to skutek działania dodatków modyfikujących oleje smarowe, co wymaga jednak potwierdzenia przez odpowiednie selektywne badania.

Ponieważ dotąd rozpoznane efekty oddziaływania oleju smarowego dotyczą badań w testerze SKMR-2, w którym obciążenie warstwy ślizgowej panwi wymuszane jest mechanicznie, co nie zapewnia zadowalającej korelacji z przebiegiem zjawisk zmęczeniowych w łożysku hydrodynamicznym, konieczne jest zbadanie wpływu rodzaju oleju na wytrzy-

małość zmęczeniową materiałów łożyskowych w warunkach pełnego smarowania hydrodynamicznego w węźle łożyskowym, gdy obciążenie na warstwę powierzchniową panwi wywierane jest przez ciśnienie w filmie olejowym. Badania takie będą przeprowadzone w Politechnice Gdańskiej w najbliższym czasie. Stosowne testy wykonane zostaną na stanowisku badawczym MWO z wirującym obciążeniem [L. 8], przy którym najszybciej osiąga się pęknięcia warstwy ślizgowej łożyska. Badania porównawcze identyfikujące oddziaływania dodatków modyfikujących handlowe oleje smarowe przeprowadzone zostaną w testerze SKMR-2, ze względu na możliwość selektywnej oceny poszczególnych efektów oraz koszt testów zmęczeniowych. Interesujące będzie również zbadanie, jak na wytrzymałość zmęczeniową warstw ślizgowych wpływa proces starzenia oleju.

Testy wytrzymałości powierzchniowej łożysk zrealizowane zostaną według strategii sekwencyjnej opartej na procedurze *dwupunktowe*. Do analizy porównawczej wyników badań przewiduje się wykorzystanie analizy wariancji i symulacji komputerowej opartej na metodzie Monte Carlo.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 jako projekt badawczy N N504 340136*

## LITERATURA

1. Peeken H.: Fatigue strength of unsteady loaded plain journal bearings. Paper on ISO/TC 123 meeting at Anney, 12.05.1987.
2. Sikora J., Kurzych K.: Badanie wpływu olejów smarowych na wytrzymałość zmęczeniową stopu łożyskowego. W: Zmęczenie i mechanika pękania. Bydgoszcz: ATR\*\*2004, s. 369–378, Materiały XX Sympozjum Zmęczenie i Mechanika Pękania.
3. Sikora J.: Badania nad wpływem olejów smarowych i temperatury na wytrzymałość zmęczeniową warstwy ślizgowej łożyska. Tribologia\*\*2004 R. 35 nr 5(197), s. 239–247.
4. Sikora J., Kłopotcki J., Majewski W.: Urządzenie do badania wytrzymałości zmęczeniowej, zwłaszcza półpanwi łożysk ślizgowych. Politechnika Gdańska. Patent polski nr 327208, 24.11.2003.
5. Sikora J.: Studia nad metodyką badania wytrzymałości zmęczeniowej łożysk ślizgowych poprzecznych. Zesz. Nauk. P.G. 1996 nr 534, Mechanika nr 74.

6. Kurzych K.: Badania wytrzymałości zmęczeniowej łożyskowych warstw ślizgowych za pomocą specjalistycznego testera. Praca doktorska. Politechnika Gdańska, 2007.
7. Sikora J., Kurzych K.: Wpływ smaru i wymuszeń mechanicznych i cieplnych na wytrzymałość zmęczeniową stopu łożyskowego. W: XXIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Rzeszów – Przemysł, 2007. T. 3, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn: Rzeszów – Przemysł, 2007, s. 217–226.
8. Sikora J.: Bearing testing machine with rotating load vector. Journal of KONES\*\*2002, Vol. 9, No 1–2, s. 246–252.

**Recenzent:**  
**Witold PIEKOSZEWSKI**

### Summary

**An influence of three kinds of lubricating oils on the fatigue strength of a slide layer made of AlSn11Cu1,2 bearing alloy has been investigated under conditions of various values of temperature and loading ratio  $\kappa$ . Objects of the investigation were ready-made bimetallic thin-walled bearing bushes. Fatigue tests including bending of the specimens under conditions of the stress ratio  $\kappa = -1, 0, 1$  and temperature of 25, 80 and 120°C were performed in the SKMR-2 fatigue tester. Variation in the fatigue strength limit of the alloy in the presence of different oils was observed. The influence of temperature level and interaction of oil-temperature- $\kappa$  effects proved to be significant as well. A programme of future fatigue tests under conditions of full fluid lubrication are presented.**