



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Radosław MICHALAK, Ryszard WÓJCICKI

BADANIA TRIBOLOGICZNE POPRZECZNYCH ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

Streszczenie

W poprzecznych łożyskach ślizgowych wykorzystywanych w węzłach maszyn i urządzeń bardzo ważną rolę odgrywają parametry makro i mikrogeometrii współpracujących ze sobą par ciernych (czop - panewka). Parametry te mają znaczący wpływ na charakterystyki tribologiczne pracy łożyska, ich dynamikę i intensywność zużycia. Jednym z charakterystycznych parametrów bardzo ważnych dla pracy łożyska jest luz względny mający bezpośredni wpływ na pracę łożyska podczas docierania wstępnego oraz normalnej eksploatacji. W procesie projektowania ważną rolę odgrywa również właściwy dobór materiału czopa i panewki, zapewniający prawidłową współpracę tj. możliwie niski współczynnik tarcia, małe opory ruchu i minimalne zużycie.

W pracy przedstawione zostały wyniki badań tribologicznych, a mianowicie wpływ luzu względnego na charakterystyki tribologiczne oraz wpływ zastosowanej powłoki na intensywność zużycia łożyska.

Badania te przeprowadzone zostały dla różnych luzów względnych w łożysku z wykorzystaniem środka smarnego dla typowych stopów łożyskowych oraz pary ciernej w której czop został pokryty warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H (składającej się z nanokrystalicznych węglików w amorficznej osnowie uwodornionego węgla).

1. WSTĘP

Podczas pracy łożysk ślizgowych istotną rolę odgrywa właściwy dobór makro i mikrogeometrii węzła ślizgowego: średnica powierzchni roboczej panewki, jej długość, luz łożyskowy, odchyłki kształtu oraz chropowatość powierzchni.

Badania stanowiskowe przeprowadzono dla zestawów łożyskowych czop – panewka charakteryzujących się różnymi luzami względnymi:

- panewki wylanej stopem łożyskowym Ł16 - (PbSb15Sn10 wg PN-ISO 4381:1997) współpracującej z czopem stalowym hartowanym,
- panewki wylanej stopem łożyskowym Ł16 - (PbSb15Sn10 wg PN-ISO 4381:1997) współpracującej z czopem stalowym hartowanym pokrytym nanokompozytową powłoką nc-WC/a-C:H [1, 2].

Powłoka którą został pokryty czop ma na celu polepszenie warunków współpracy powierzchni pary trącej (panewka - czop). Warstwa ta została opracowana w Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Wytworzona nanokompozytowa powłoka ma dobre właściwości ślizgowe oraz dużą odporność na zużycie w warunkach tarcia suchego co zostało przebadane na testerach w Instytucie Inżynierii Materiałowej.

W pracy badano wpływ względnego luzu i zastosowanej powłoki w łożyskach ślizgowych ze smarowaniem na charakterystyki tribologiczne. W celu określenia zużycia panewki oraz czopa posłużono się metodą wagową.

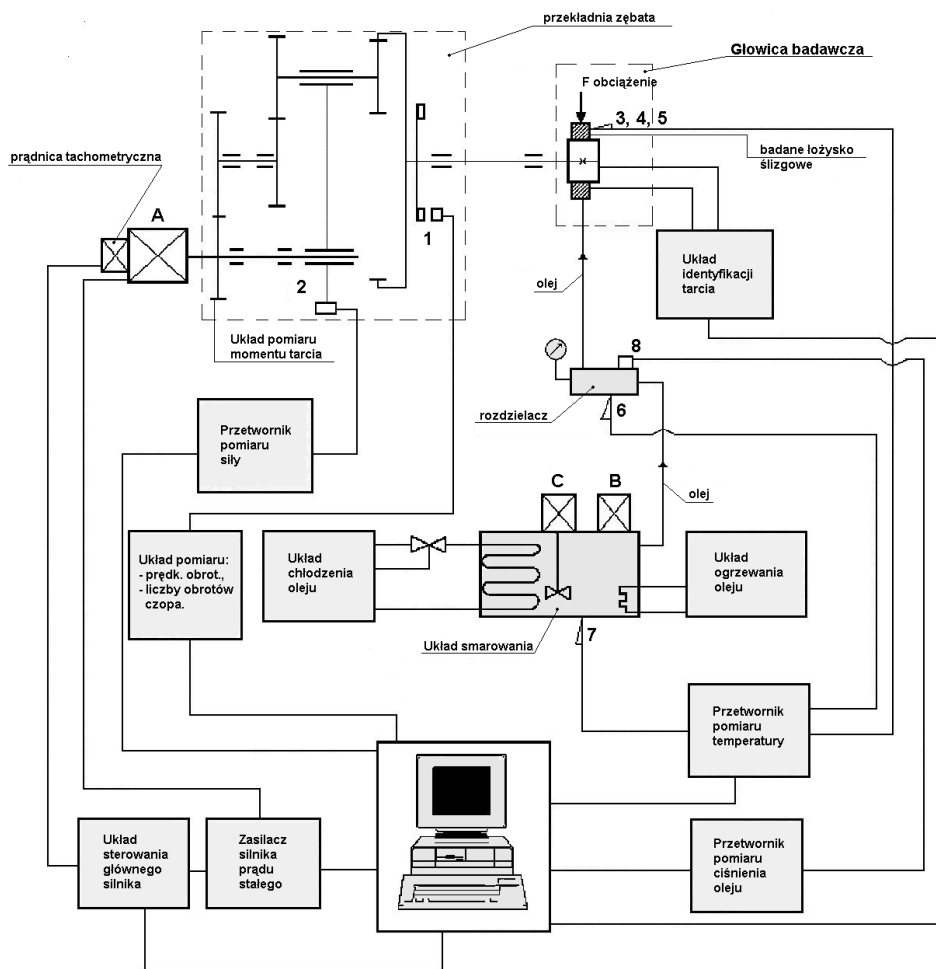
2. STANOWISKO BADAWCZE

Charakterystyki tribologiczne zostały wykonane na stanowisku badawczym (rys. 1) w Zakładzie Podstaw Budowy Maszyn PŁ [3].

Stanowisko badawcze wyposażone jest w następujące układy kontrolno – pomiarowe i sterujące:

- układ sterowania prędkością obrotową czopa,
- układ sterująco – pomiarowy agregatu smarowniczego,
- układ pomiarowy momentu tarcia w łożysku,
- układ oceny warunków tarcia w styku czop – panewka,
- układ pomiaru temperatury panewki oraz oleju zasilającego.

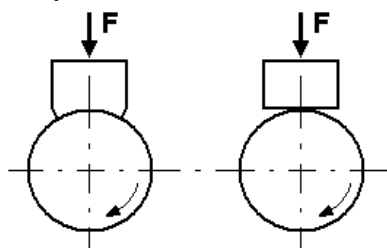
Elementy składowe układu sterowania prędkością obrotową czopa to między innymi silnik prądu stałego. Jego prędkość obrotowa jest sterowana (w zakresie od 0 ÷ 350 obr/min) za pomocą specjalistycznego oprogramowania komputerowego. Układ sterująco – pomiarowy agregatu smarowniczego zapewnia utrzymanie żądanej temperatury (od około 16°C do 120°C) dzięki elektronicznemu układowi stabilizacyjnemu oraz ciśnienia (0 ÷ 0,4MPa) czynnika smarującego. Dzięki zastosowaniu układu pomiarowego momentu tarcia w łożysku możliwe jest obserwowanie zmian tego parametru. Moment tarcia w łożysku rejestrowany jest jako różnica między momentem tarcia w badanym (pod obciążeniem) łożysku a momentem tarcia występującym na biegu jałowym (moment odniesienia) stanowiska badawczego. Układ oceny warunków tarcia w styku czop – panewka umożliwia identyfikację warunków współpracy pary ciernej poprzez ciągły pomiar spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej filmu olejowego. Powyższe układy wchodzą w skład systemu kontrolno - pomiarowego, który umożliwia badanie charakterystyk tribologicznych łożyska.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego, gdzie: A, B, C odpowiednio silnik napędu głównego, pompy olejowej, mieszałda układu termostatującego temperaturę oleju smarującego łożysko oraz czujniki: 1 - prędkości obrotowej i liczby obrotów czopa, 2 – pomiaru siły (do pomiaru momentu tarcia w łożysku), 3, 4, 5, 6, 7 – temperatury, 8 – ciśnienia oleju zasilającego łożysko

Źródło: Opracowanie własne

W procesie badawczym na przedstawionym stanowisku oprócz badań typowych łożysk ślizgowych (czop - panewka) możliwe jest przeprowadzenie badań na zespołach ślizgowych typu klocek – rolka, trzpień – rolka (rys. 2).



Rys. 2. Zestawy par ciernych do badań modelowych

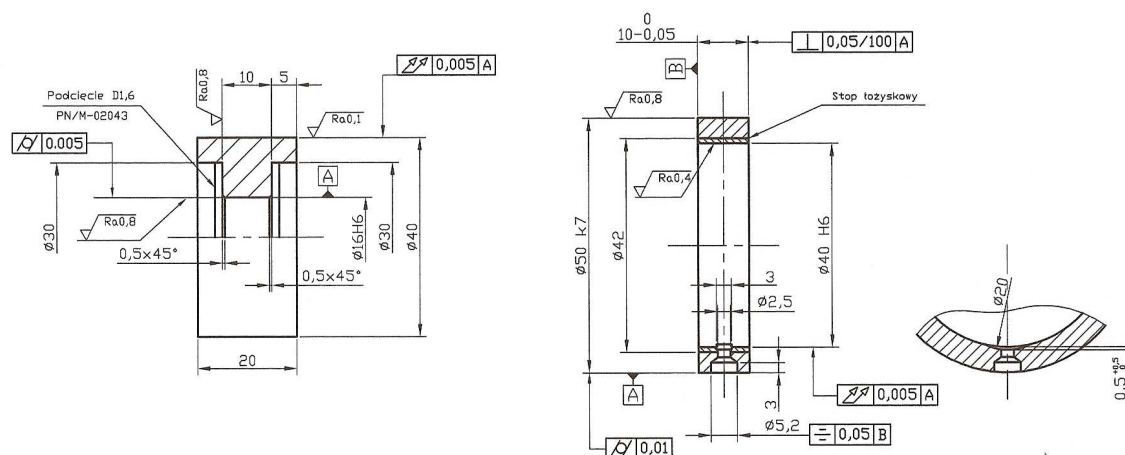
Źródło: Opracowanie własne

3. WARUNKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH

Badania przeprowadzono na łożyskach ślizgowych skojarzonych w następujące pary cierne:

- stalowy hartowany czop – panewka ze stopem łożyskowym Ł16 (PbSb15Sn10 wg PN-ISO 4381:1997), która będzie oznaczana w pracy literą „T”,
- stalowy hartowany czop pokryty warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H – panewka ze stopem łożyskowym Ł16 (PbSb15Sn10 wg PN-ISO 4381:1997).

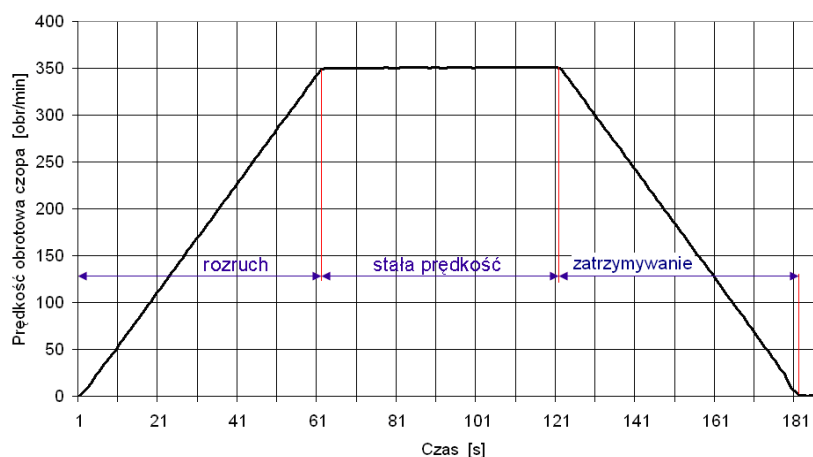
Czopy zastosowane w badaniach (rys. 3) zostały wykonane w różnych grupach selekcyjnych co umożliwiło przeprowadzenie badań par ciernych z różnymi luzami względnymi. Oprócz standardowego czopa zastosowanego w badaniach wykonanego ze stali konstrukcyjnej stopowej do ulepszenia cieplnego (zahartowany do twardości około 55HRC, chropowatość powierzchni $Ra = 0,2 \div 0,3\mu\text{m}$) w badaniach został użyty czop, który dodatkowo został pokryty warstwą nc-WC/a-c:H [1,2]. Warstwa ta, to nanokompozytowa powłoka zbudowana z nanokrystalicznych węglików w amorficznej osnowie uwodornionego węgla. Powłoka ta ma dobre właściwości ślizgowe oraz dużą odporność na zużycie (niski współczynnik tarcia) w warunkach tarcia suchego. Zastosowanie tej powłoki w łożysku ślizgowym zwiększa jego odporności na zużycie i polepsza warunki pracy łożyska. Panewki (rys. 3) wykonane na bazie stali stopowej o podwyższonej wytrzymałości 18G2A, zostały wylane stopem łożyskowym. Grubość warstwy wylania - 1mm, nominalna średnica wewnętrzna panewki - $\varnothing 40\text{mm}$, stosunek długości do średnicy panewki - 0,25).



Rys. 3. Geometria czopa i panewki

Źródło: Opracowanie własne

Przy zastosowaniu hydrodynamicznych łożysk ślizgowych oprócz prawidłowych warunków pracy (tarcie płynne) występują również niekorzystne warunki pracy, gdy występuje tarcie mieszane. Taki charakter pracy ma łożysko w czasie rozruchu, ustalonej pracy oraz wyhamowania. Powtarzający się w serii badań cykl zmian prędkości obrotowej czopa dla takich warunków przedstawiono na (rys.4).



Rys. 4. Prędkość obrotowa czopa w czasie próby w zakresie jednego cyklu

Źródło: Opracowanie własne

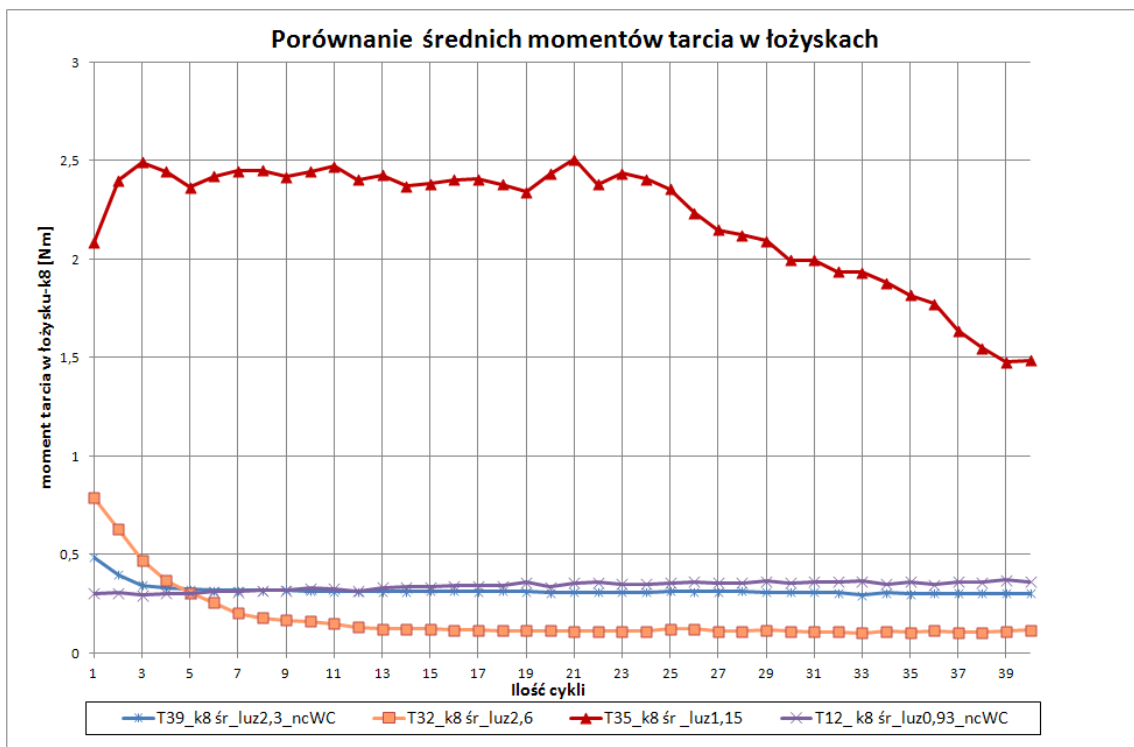
Badania danej pary ciernej rozpoczynano od wstępnego docierania przy obciążeniu 0,5MPa, a następnie przeprowadzano próbę właściwą według cyklu na rys.4 dla obciążenia 1MPa. W początkowej fazie ma miejsce rozruch, czyli stopniowe narastanie prędkości obrotowej czopa do 350 obr/min w czasie 60 sekund, przez kolejne 60 sekund trwa praca ustalona, a następnie w czasie 60 sekund następuje zatrzymanie układu. Cykl taki powtarzano przez 40 serii. Pozostałe parametry podczas trwania badań, to temperatura oleju zasilającego układ smarowania, która wahała się w granicach 20 ÷ 21°C, ciśnienie oleju utrzymywane na poziomie 0,05MPa oraz temperatura otoczenia około 25 °C.

4. WYNIKI BADAŃ WPŁYWU WIELKOŚCI LUZU WZGLĘDNEGO I POWŁOKI NANOKOMPOZYTOWEJ W ŁOŻYSKU NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE ŁOŻYSKA

Do analizy wyników posłużyły parametry zaobserwowane, między innymi: moment tarcia w łożysku, temperatura w środku styku panewki z czopem oraz spadek napięcia na oporności zastępczej styku, którego zadaniem jest określenie warunków tarcia pomiędzy współpracującymi powierzchniami pary ciernej.

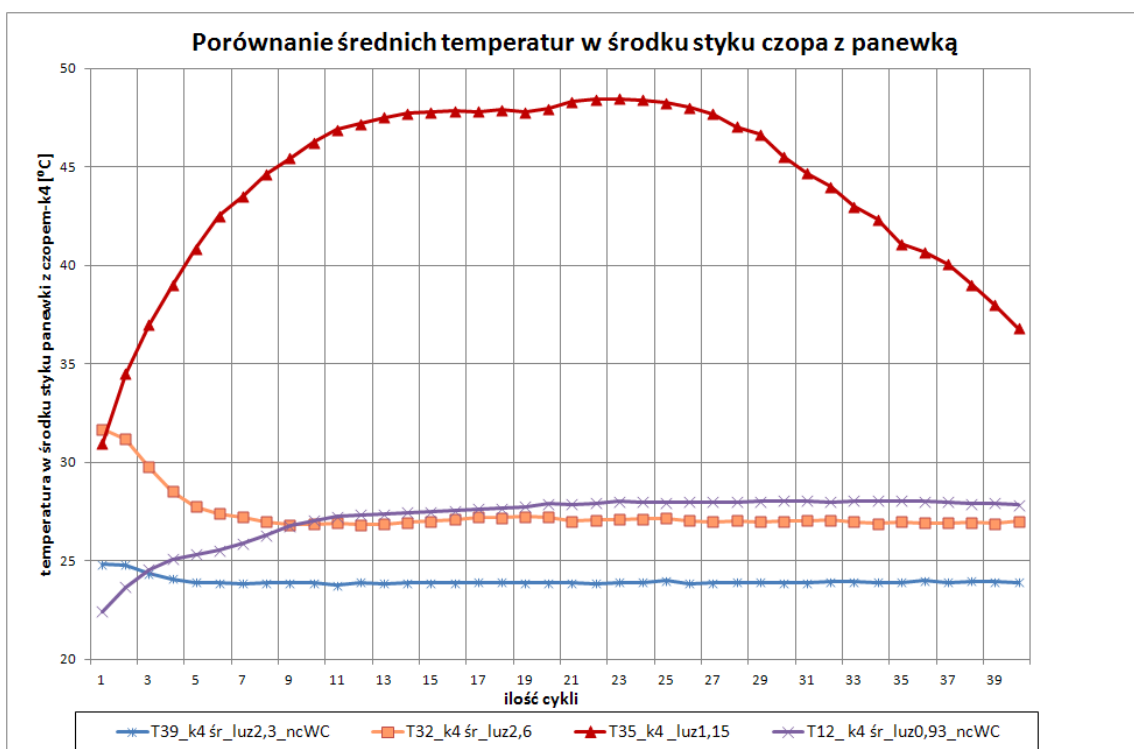
Na rys. 5 przedstawiono zestawienie średnich momentów tarcia dla panewek wylanych stopem łożyskowym Ł16 o różnych luzach względnych współpracujących z czopem hartowanym pokrytym oraz bez pokrycia warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H. Na podstawie tych przebiegów można zaobserwować iż dla pary, w której czop jest bez pokrycia i występuje większa wartość luzu względnego (2,6‰) momenty tarcia mają najmniejsze wartości ($\approx 0,2\text{Nm}$). Natomiast dla pary w której czop jest również bez pokrycia, ale luz względny ma mniejszą wartość (1,15‰) momenty tarcia są największe ($\approx 2\text{Nm}$).

Dla par, w których czop jest pokryty warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H sytuacja wygląda analogicznie, tzn. dla łożyska, w którym występuje mniejszy luz względny (0,93‰) wartości momentu tarcia są większe ($\approx 0,4\text{Nm}$), natomiast w łożysku podobnym z luzem większym (2,3‰) wartości momentu tarcia są mniejsze ($\approx 0,3\text{Nm}$). Warto jednak zauważyć, że warstwa ta zapewnia dużo mniejsze różnice w wartościach momentów tarcia, niż tam gdzie zestawy łożyskowe posiadają czop bez pokrycia.



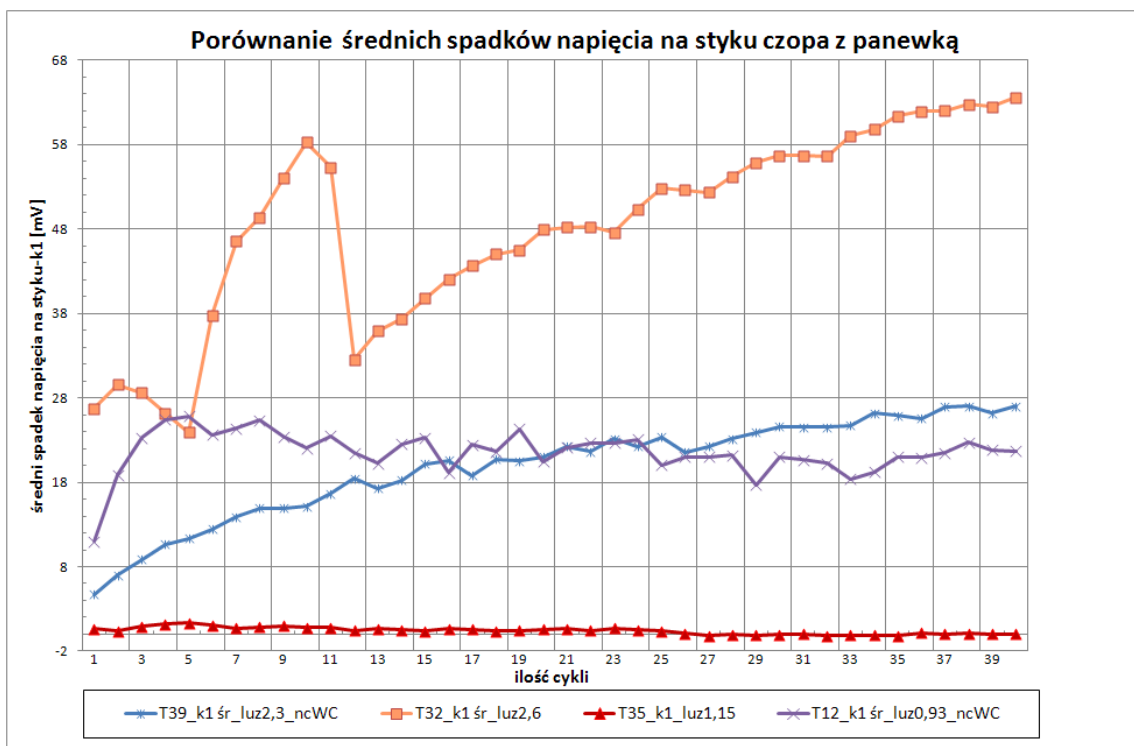
Rys. 5. Zestawienie średnich momentów tarcia dla przedstawionych przypadków par ciernych

Źródło: Opracowanie własne



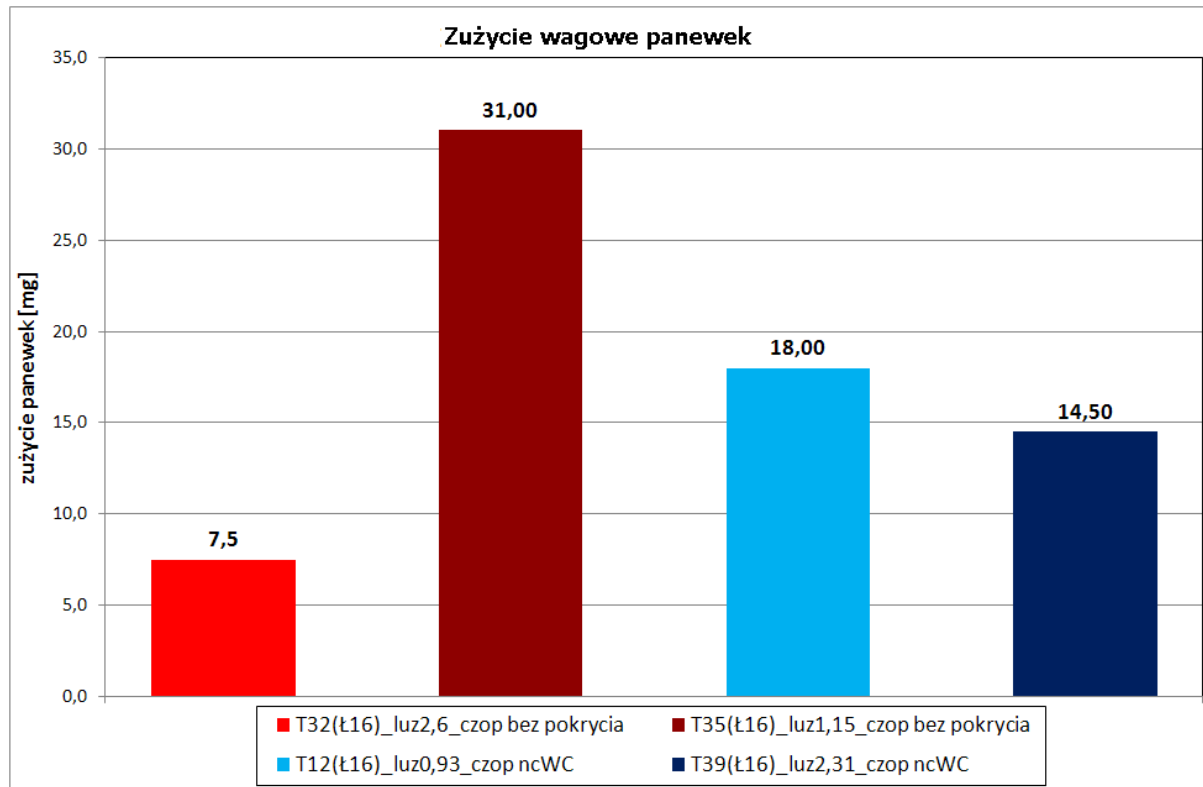
Rys. 6. Zestawienie średnich temperatur w środku styku panewki z czopem dla przedstawionych przypadków par ciernych

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Zestawienie średnich spadków napięcia na styku czopa z panewką dla przedstawionych przypadków par ciernych

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 8. Zestawienie zużycia wagowego panewek zastosowanych w parach ciernych

Źródło: Opracowanie własne

Na rys. 6 przedstawiono porównanie średnich temperatur w środku styku panewki z czopem - panewkę wylano stopem łożyskowym Ł16. W łożyskach tych występują różne wartości luzów względnych, a panewka współpracuje z czopem hartowanym bez i z pokryciem warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H. W porównaniu tym bardzo widoczne są duże wartości temperatur (od 31 ÷ 47°C) dla łożyska z małą wartością luzu względnego (1,15‰), którego czop nie jest pokryty warstwą nanokompozytową. Analogicznie dla podobnego łożyska, ale z dużą wartością luzu względnego (2,6‰) temperatury te są dużo niższe ($\approx 27^\circ\text{C}$), może to wynikać z faktu lepszej wymiany środka smarnego pochodzącego z filmu olejowego, którego wzrost można zaobserwować na rys. 7, a mianowicie wzrost średniego spadku napięcia na styku panewki z czopem).

Dla par trących, w których zastosowano warstwę nc-WC/a-C:H można zaobserwować iż dla mniejszych wartości luzu względnego (0,93‰) w łożysku temperatury w środku styku panewki z czopem są większe ($\approx 28^\circ\text{C}$) od temperatur w podobnym łożysku ($\approx 24^\circ\text{C}$), ale z luzem względnym większym (2,3‰). Warto zauważyć, że w łożyskach tych (z czopem pokrytym warstwą) różnice temperatur dla dwóch różnych luzów są niewielkie.

Na rys.7 przedstawiono zestawienie średnich spadków napięcia na styku czopa z panewką, które świadczą o stanie tworzącego się filmu olejowego w łożysku. Charakterystyczne są tutaj duże wartości średnich spadków napięcia na styku czopa z panewką oraz ich wzrost, dla łożyska w którym panewka jest wylana stopem łożyskowym Ł16 z większym luzem – 2,6‰ (bez pokrycia czopa warstwą nanokompozytową). Również zauważalny jest przebieg średniego spadku napięcia dla podobnego łożyska, ale z luzem dużo mniejszym (1,15‰). Przebieg ten charakteryzuje się małymi wartościami średnich spadków napięcia na styku czopa z panewką co świadczyć może o słabej jakości filmu olejowego (co przekłada się na wzrost temperatury i momentu tarcia w łożysku – rys. 5÷6).

Dla łożysk, w których zastosowano pokrycie czopa warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H można zaobserwować wzrost średniego spadku napięcia na styku czopa z panewką, a tym samym lepsze warunki do tworzenia się filmu olejowego dla luzu względnego większego – 2,3‰, niż dla łożyska podobnego, ale z luzem mniejszej wartości – 0,93‰. Przy zastosowaniu warstwy nanokompozytowej różnice średnich spadków napięcia dla dwóch różnych luzów względnych (0,93 i 2,3‰,) nie są tak znaczące jak w łożyskach bez zastosowania warstwy nanokompozytowej.

Dla danych przypadków czopy par trących nie wykazały ubytku swojej masy. W przeprowadzonych badaniach nie wystąpiło zatarcie par ciernych.

5. WNIOSKI

- 1) Luzy względne (0,93; 1,15; 2,3; 2,6‰) zastosowane w przebadanych łożyskach mają znaczący wpływ (szczególnie dla zestawów łożyskowych z czopem bez zastosowania warstwy nanokompozytowej) na charakterystyki tribologiczne.
- 2) W łożyskach wylanych stopem łożyskowym Ł16 i współpracujących z czopem bez pokrycia w przypadku większej wartości luzu względnego (2,6‰) otrzymano mniejszy moment tarcia ($\approx 0,1\text{Nm}$) oraz mniejszą temperaturę (26°C) w łożysku.
- 3) W łożyskach wylanych stopem łożyskowym Ł16 i współpracujących z czopem pokrytym warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H im większa wartość luzu względnego tym mniejszy moment tarcia oraz temperatura w środku styku panewki z czopem łożyska.
- 4) Zróżnicowana wartość luzu względnego (0,93 i 2,3‰) w łożysku współpracującym z czopem pokrytym warstwą nc-WC/a-C:H ma zdecydowanie mniejszy wpływ na przyrost wartości zużycia panewki w przeciwieństwie do wpływu luzu (1,15 i 2,6‰) w łożysku współpracującym z czopem bez pokrycia.

- 5) Zastosowanie warstwy nanokompozytowej w łożyskach z panewkami wylanymi stopem łożyskowym Ł16 z luzami względnymi 0,93 i 2,3‰, nie powoduje tak dużych rozbieżności w wartościach temperatur pracy oraz momentów tarcia w łożyskach.
- 6) Pokrycie czopa warstwą nanokompozytową nc-WC/a-C:H wpływa na obniżenie temperatury pracy oraz na spadek momentu tarcia w łożysku w porównaniu do łożyska z czopem bez pokrycia.
- 7) Pokrycie czopa warstwą nc-WC/a-C:H sprawia, że pomimo różnego luzu (0,93 i 2,3‰) zużycie jest zbliżone (rys. 8) w stosunku do łożyska w którym czop nie jest pokryty warstwą.
- 8) W prowadzonych warunkach badań dla testowanych zestawów nie wystąpiło zjawisko zatarcia.

TRIBOLOGICAL RESEARCH OF TRANSVERSE SLIDING BEARINGS

Abstract

In transverse sliding bearings used in equipment nodes, takes significant role micro and macro parameters of working together cutting pairs (spigot-acetabular). Those parameters have significant effect on tribological characteristics of working bearing, its dynamic and intensity of use. One of the characteristic parameters that is very important for the work of bearing is the relative slack which has direct impact on work of the bearing during initial rapping and normal use. In the process of design very important is the proper selection of the material for the spigot and bearing, giving a proper cooperation i.e. low friction coefficient, low motion resistance and minimum consumption.

In the publication results of tribological tests are presented. Namely impact of the relative clearance on the tribological characteristics and influence of the used coating on the intensity of bearing wear.

Tests were taken for different relative clearance in bearing with the use of lubricant for typical bearing alloys and nudges couple, in which the spigot was coated with the nanocomposite nc-WC/a-C:H (consist of nanocrystalline carbides in the matrix of hydrogenated amorphous carbon).

BIBLIOGRAFIA

1. CEMPUR G., Moskalewicz T., T. Zimowski, Wendler B., Czyrska-Filemonowicz A.: *Microstructure and properties of the coating at high speed steel nc-WC/aC HS-6-5-2. Materials engineering.* No. 4/2011, pp. 359-362.
2. Strzelecki S. Wójcicki R.: *Measurements of Tribological Characteristics In The Research of the Journal Bearing Materials. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers.* No.6, vol.55, June 1999.
3. Wendler B., Moskalewicz T., Progalskiy I., Pawlak W., Makówka M., Włodarczyk K., Nolbrzak P., Czyrska-Filemonowicz A., Hanus, A.: *Hard and superhard nanolaminate and Nanocomposite coatings for machine elements based on Ti6Al4V alloy.* Vol 43, November 2010.
4. Wójcicki R.: *Eksperymentalne badania procesów tarcia i zużycia w łożyskach ślizgowych.* III Międzynarodowa Konferencja n.t.: Modelowanie i symulacja zjawisk tarciovych w układach fizycznych i strukturach technicznych „Tarcie 2004”, Warszawa, maj 2004.

Autorzy: dr inż. Radosław MICHALAK, dr inż. Ryszard WÓJCICKI – Politechnika Łódzka