

Mirosława KOSMYNINA*

STABILIZACJA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA W MODELOWYM ŁOŻYSKU ŚLIZGOWYM

THE STABILISATION OF THE FRICTION COEFFICIENT IN A MODEL SLIDE BEARING

Słowa kluczowe:

warstwy powierzchniowe, obciążenia tribologiczne, elektrochemiczne osadzenie, odnawialna powłoka

Key words:

surface layers, the tribological load, Electrochemical deposition, renewable coating

Streszczenie

W pracy omówiono współpracę dwóch układów obciążeń zewnętrznych: mechanicznego z tarcieniem i elektrochemicznego. Badania prowadzono w modelowym układzie tribologicznym składającym się z obracającego się pierścienia z prędkością 200 obr/min, z obciążeniem skokowym powierzchni bocznej (klockiem) siłami od 175 N do 507 N. Do układu podłączono kontrolowany obwód elektryczny, realizujący proces elektrochemicznej redukcji cynku pod-

* Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Maszyn, ul. I. Krasickiego 54, 26-600 Radom.

czas pracy układu tribologicznego. Osadzanie cynku wymuszano zewnętrznym źródłem prądu stałego z elektrolitu utworzonego na bazie oleju bazowego (hydrorafinatu II). Ustalono, że osadzenie technologicznej warstwy cynku, dla wypełnienia mikronierówności pierścienia (2–3 μm), ułatwia docieranie współpracujących elementów.

Cynk osadzany w warunkach eksploatacji pozwala zachować stałą objętość (wymiar) elementu obciążanego oraz zmniejszyć i stabilizować współczynnik tarcia. W systemie omawianych układów realizowany jest proces osadzania powłok odnawialnych: osadzanych w układzie elektrochemicznym i zużywanych w strefie tarcia.

WPROWADZENIE

Klasyczne łożyska ślizgowe składają się z trzech rodzajów materiałów: materiału konstrukcyjnego nadającego sztywność konstrukcji; stopu łożyskowego – miękkiego, plastycznego metalu lub stopów metali oraz środowiska smarującego (oleju lub smaru) [L. 1–6].

W wyniku obciążenia mechanicznego z tarciami materiał obciążany zmniejsza swoją masę i wymiary. Zużycie materiału występuje w obszarze ruchu strefy obciążenia elementu. Stop łożyskowy dotychczas nakładany jest na materiał konstrukcyjny jednorazowo – przed rozpoczęciem eksploatacji elementu. W miarę zużycia środka smarowego jego objętość w układzie jest uzupełniana lub okresowo zamieniana nowym (świeżym) środkiem smarującym [L. 1, 3, 7].

Cykliczne obciążenia mechaniczne stopów łożyskowych, których zadaniem jest ułatwienie współpracy materiałów obciążonych mechanicznie z tarciami, mogą prowadzić do umocnienia stopu i pękania, czyli zniszczenia warstwy powierzchniowej. Prognozowanie okresu, w którym może nastąpić katastroficzne zniszczenie warstwy stopu łożyskowego, jest trudne do ustalenia. Brak również ustalonego, jednolitego mechanizmu tribologicznego zużywania materiału [L. 1].

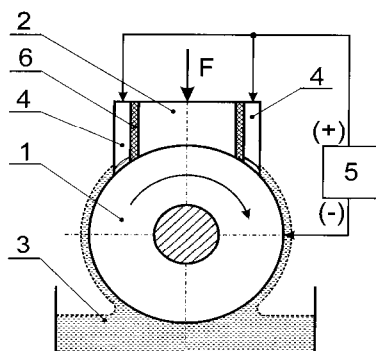
Cel pracy wynika z założenia, że zużywająca się warstwa powierzchniowa w strefie tarcia powinna być uzupełniana kryształami metalu osadzonymi na trajektorii ruchu tej strefy. Założono, że taka odnawialna warstwa powierzchniowa, wykonana z wybranego metalu, stabilizuje współczynnik tarcia w okresie współpracy elementów.

W niniejszej pracy prezentowane są wyniki badań doboru szybkości osadzania powłok cynkowych, wydzielanych w kontrolowanym obwodzie elektrycznym, [L. 8–10] na stabilizację współczynnika tarcia. Badania prowadzono przy zadawanym skokowo obciążeniu.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Do badań obciążeń mechanicznych z tarcieniem tworzywa metalicznego wybrano układ realizujący tarcie ślizgowe. Schemat układu zbudowanego z obracającego się pierścienia (1), wstępnie szlifowanego ze stali C50 \varnothing 40 mm, z prędkością 200 obr/min i obciążanego klockiem (2) siłą F , pokazano na **Rys. 1**. W układzie strefa tarcia przemieszcza się po bocznej powierzchni pierścienia – trajektorii ruchu tej strefy.

Podczas współpracy elementów w strefę tarcia podawany jest z miski olejowej hydrorafinat (3). Zużycie elementu w warunkach pracy występuje na trajektorii ruchu strefy tarcia. Zmniejsza się średnica zewnętrzna pierścienia i jego masa. Zużycie oceniane jest metodą wagową po zakończeniu badań.



Rys. 1. Schemat układu sterowania strukturą w strefie tarcia łożyska ślizgowego: 1, 2 – elementy węzła tarcia; 3 – pojemnik z cieczą smarującą (elektrolitem); 4 – rozpuszczalna anoda; 5 – źródło prądu (potencjostat); 6 – dielektryk

Fig. 1. Diagram of the control structure in the zone of friction sliding bearing: 1, 2 – elements of the friction, 3 – container with a liquid lubricant (electrolyte), 4 – soluble anode, 5 – the power source (potentiostat), 6 – dielectric

W omawiany układ obciążeń mechanicznych z tarcieniem, wmontowano obwód elektryczny składający się ze źródła prądu stałego (5), dwóch płytek (4) (rozpuszczalnych anod), oddzielonych warstwą izolacji (6) od elementu obciążającego i swobodnie ślizgającego się po trajektorii przemieszczenia strefy tarcia. Napięcie elektryczne, pomiędzy elementem obciążającym i elektrodą pomocniczą, pozwala sterować potencjałem powierzchni roboczej lub prądem polaryzacji w układzie tribologicznym.

Układ elektrochemiczny współpracuje z układem mechanicznym podczas obrotów pierścienia. Wówczas odległość pomiędzy obracającą się powierzchnią pierścienia – katodą (1) i elektrodą pomocniczą (4) wypełnia środek smarowy z miski (3). W okresie spoczynku olej ścieka do miski olejowej i równocześnie odłącza układ elektryczny.

W badaniach używano bazy olejowej – hydrorafinatu II. Do oleju wprowadzano jony cynku i związki ułatwiające jego redukcję elektrochemiczną. Wartości momentów tarcia uzyskano dla powierzchni szlifowanej oraz cynkowanej, stosując skokowe obciążenie. Dla analizy wybierano wartości ustabilizowanego momentu tarcia. Wyniki pomiarów momentu tarcia przeliczano na współczynnik tarcia. Do wykonania zależności (**Rys. 2**) zastosowano wartości średnie z trzech pomiarów.

Technologiczną warstwę wierzchnią, o grubości 2–3 μm , osadzano standardową metodą galwaniczną [**L. 10, 11**].

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Zastosowanie procesów elektrokryształizacji metalu w układzie tribologicznym wymaga przeprowadzenia badań podstawowych. Do nich należy wybór charakteru polaryzacji zewnętrznej, zakresu podawanych napięć oraz wartości strumienia ładunków elektrycznych biorących udział w procesie krystalizacji powłok ciągłych [**L. 10**]. Liniowa zależność pomiędzy wybranym zakresem napięć elementu polaryzowanego i ilością ładunków elektrycznych wyrażana jest współczynnikiem intensywności polaryzacji:

$$\beta_k = \frac{\partial \eta_k}{\partial j_k} \quad (1)$$

gdzie:

- β_k – tangens kąta nachylenia odcinka krzywej polaryzacji do osi gęstości prądu,
- $\partial \eta_k$ – wybrany zakres napięć elementu polaryzowanego,
- ∂j_k – ilość ładunków elektrycznych biorących udział w procesie.

Liczba znamionowa (Ξ) procesu elektrochemicznego jest stosunkiem intensywności polaryzacji (β) elektrody w wybranym elektrolicie do rezystywności tego elektrolitu (ρ) i odległości międzyelektrodowej (L)

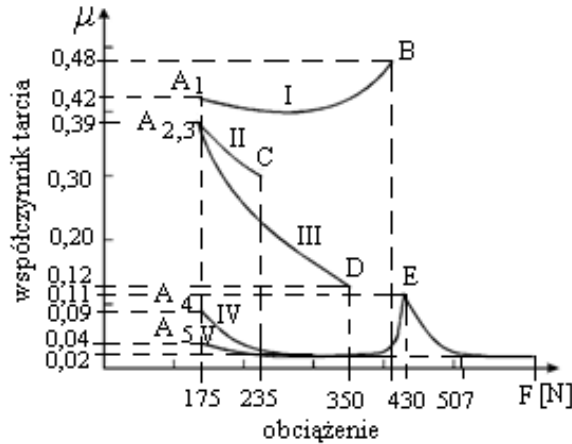
$$\Xi = \frac{\beta}{\rho \cdot L} \quad (2)$$

Z zależności 2 wynika, że przy zwiększeniu rezystywności elektrolitu liczba znamionowa procesu elektrochemicznego nie zmieni się, jeżeli odległość międzyelektrodowa ulegnie zmniejszeniu. Oznaczenie znamiennej kryterialnej (Ξ_1) w warunkach badań podstawowych pozostaje niezmiennie w warunkach testowych (Ξ_2):

$$\Xi_1 = \Xi_2 \quad (3)$$

Na stanowisku badawczym (**Rys. 1**) odległość pomiędzy elektrodami wyznacza ślizgająca się, po obciążanej powierzchni elementu, elektroda pomocnicza. Dla oceny wpływu elektrokryształizowanej powłoki zastosowano metodę galwaniczną, poprzez zadawanie gęstości ładunków elektrycznych, w teoretycznie przewidywanym zakresie polaryzacji prądowej osadzania powłok ciążących: od 200 mA/cm^2 do 400 mA/cm^2 .

Na **Rys. 2** zilustrowano średnie wartości współczynnika tarcia w zróżnicowanych warunkach oddziaływania tribologicznego elementów. Krzywa I ilustruje współpracę elementów stal–stal w oleju bazowym. Smarowanie układu elektrolitem zawierającym jony cynku i polaryzacji prądem stałym 100 mA/cm^2 – krzywa II oraz polaryzacji prądem stałym 300 mA/cm^2 – krzywa III, obniża współczynnik tarcia. W stosowanych warunkach procesu współczynnik tarcia obniżył się do 0,12 przy obciążeniu 350 N (punkt D). W badanym zakresie obciążeń nie obserwowano stabilnej wartości współczynnika. Po przerwaniu procesu na powierzchni elementu nie zaobserwowano kryształów cynku. Prawdopodobnie ilość osadzonych kryształów cynku jest niedostateczna dla wytworzenia stabilnej warstwy ślizgowej.



Rys. 2. Wpływ prądów polaryzacji na współczynnik tarcia (μ) współpracujących elementów przy prędkości obrotowej pierścienia 200 obr/min: I – stal–stal w oleju bazowym (A_1, B); II i III – stal–stal w oleju bazowym z jonami cynku przy polaryzacji zewnętrznej odpowiednio: 100 mA/cm^2 (A_2, C) i 300 mA/cm^2 (A_3, D); IV – stal ocynkowana o grubości warstwy $< 1 \mu\text{m}$ i prądach polaryzacji 100 mA/cm^2 (A_4, E) i 300 mA/cm^2 od punktu (E); V – jak dla IV – stal z powłoką cynku o grubości $2\text{--}3 \mu\text{m}$ (A_5)

Fig. 2. Effect of polarization currents in the coefficient of friction (μ) of interacting elements at the speed of the ring 200 turns / min: I – steel–steel in the base oil (A_1, B); II and III – steel–steel in the base oil with zinc ions at the external polarization, respectively: 100 mA/cm^2 (A_2, C) and 300 mA/cm^2 (A_3, D); IV – stainless steel with a thickness $< 1 \mu\text{m}$ polarization currents I 100 mA/cm^2 (A_4, E) and 300 mA/cm^2 of the point (E); V – as the for IV – zinc-coated steel (with a thickness of $2\text{--}3 \mu\text{m}$) (A_5)

Krzywe IV i V odnoszą się do pomiarów współczynnika tarcia przy wstępnym osadzeniu na elemencie stalowym powłoki cynkowej. Obliczeniowa grubość powłoki wynosiła około 1 μm (krzywa IV) i 2–3 μm (krzywa V). Współczynnik tarcia w początkowej fazie procesu obniżył się z 0,39 ($A_{2,3}$) do odpowiednio: 0,09 (A_4) i 0,04 (A_5). Przy zewnętrznej polaryzacji prądowej 100 mA/cm^2 ustabilizowanie współczynnika tarcia na poziomie 0,02 obserwowano przy obciążeniu od 250 do około 400 N. Powyżej tego obciążenia współczynnik tarcia wzrósł do wartości 0,12 (E) prawdopodobnie w wyniku zużycia warstwy cynku. Wzrost prądu polaryzacji (zwiększenie prędkości osadzania) do 300 mA/cm^2 spowodowało stabilizację współczynnika tarcia na poziomie 0,02 dla obciążenia powyżej 500 N. Ustabilizowanie współczynnika tarcia osiągnięto poprzez zastosowanie technologicznej warstwy powierzchniowej [L. 10–16], której zużycie kompensowano w procesie elektrochemicznego osadzania w warunkach pracy modelowego łożyska ślizgowego.

Badania testowe łożyska ślizgowego (**Rys. 1**) prowadzono przy obciążeniu 175 N, po 8 godzin w ciągu doby. Każdego dnia sprawdzano, czy na bocznej powierzchni obracającego się pierścienia znajduje się warstewka cynku. Po trzymiesięcznym okresie pracy, łożysko demontowano i po usunięciu elektrolitu porównywano masę elementu obciążanego z jego masą wyjściową. Przeprowadzono trzy roczne serie badań, dla pierścieni o średnicy 40 mm i masie wyjściowej 202,3 g; 205,4 g; 206,6 g. Pomiaru geometrii elementu oraz wagowe pozwoliły ustalić, że średnica elementów obciążanych nie zmieniła się, natomiast masa w dwóch przypadkach wzrosła o 0,51 i 1,02 g, w pozostałych przypadkach pozostała bez zmian. Ten nieznaczny wzrost masy spowodowany był wypełnieniem mikronierówności stali cynkiem.

WNIOSKI

Badania współpracy dwóch układów obciążeń zewnętrznych: tribologicznego i elektrochemicznego modelowego węzła tarcia, realizującego tarcie ślizgowe, wykazały stabilizację współczynnika tarcia w zakresie obciążeń od 250 N do 410 N przy stałej prędkości obrotowej pierścienia 200 obr/min:

1. Stabilną wartość współczynnika tarcia uzyskano w wyniku zastosowania technologicznej warstwy cynku o grubości wymaganej dla zapełnienia mikronierówności obciążanego elementu i osadzanie cynku podczas pracy układu. Powłoki cynkowe o grubości 1–3 μm , wstępnie osadzone na elemencie obciążanym, obniżają wartość współczynnika tarcia z 0,4 do 0,09–0,04.
2. Cynk, osadzany w warunkach pracy układu tribologicznego, pozwala zachować stałą masę i wymiar elementu obciążanego poprzez kompensację zużywającej się powłoki w strefie tarcia.

LITERATURA

1. Tribologia i trybotechnika (pod red. Szczerka M., Wiśniewskiego M.) Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2000.
2. Lawrowski Z.: Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie. PWN, Warszawa 1993.
3. Garkunov Dmitry N.: Scientific discoveries in tribotechnologies. No-wear effect under friction. Hydrogen wear of metals. Moscow 2006.
4. Burakowski T., Wierzchoń W.: Surface engineering of metals – principles, equipment, technologies. CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington. D.C., 1999.
5. Totten George E., Hong Liang, Marcel Dekker: Mechanical Tribology. Materials Characterization, and Applications, INC. New York 2004.
6. Kosmynina M.: Triboelektrolytyk deposition of metallic coatings. Materials Protection. Vol.32. No.10B, Wuchan, Chiny, 1999 s. 231–234.
7. Pytko S.: Podstawy tribologii i techniki smarowniczej. Wyd. AGH, Kraków 1989
8. Kosmynina M.: Wpływ warstw cynkowych na opory wiercenia. Tribologia Nr 4/2010 s. 157–171.
9. Patent PL Politechniki Radomskiej (Kosmynina M., Mirzozjew R., Chałko L.) Nr 345374 wyd. 29.01.2008. Sposób zabezpieczenia przed zużyciem współpracujących ze sobą powierzchni metalowych i układ elektryczny do stosowania tego sposobu.
10. Kosmynina M.: Rozrobotka technologii powyszenia i znosostojkosti detalej maszyn c pomoszczu kontrola i uprawlenia strukturoj elektrochimizyskim metodom. Sankt-Petersburg. Wyd. S-PPTU, 2005.
11. Praca zbiorowa: Poradnik galwanotechnika. WNT, Warszawa 2002.
12. Kosmynina M.: Analiza zjawisk towarzyszących procesowi skrawania. Mechanik nr 1/2012, s. 34 XVI.
13. Kosmynina M.: Kształtowanie tribologicznych własności węzłów tarcia poprzez konstytuowanie technologicznej warstwy powierzchniowej. Tribologia, Nr 6, 1999, s. 839 –847.
14. Burakowski T.: Areologia. Powstanie i rozwój. Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2007.
15. Burakowski T., Marczak R., Senatorski J., Szumniak J.: Eksploatacyjna warstwa wierzchnia w inżynierii powierzchni. Materiały Konferencyjne nt. Inżynieria materiałowa. Szczecin – Świnoujście 1998.
16. Legutko S., Nosal S.: Kształtowanie technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej części maszyn. Wyd. Ośrodek Wydawnictw naukowych, Poznań 2004.

Summary

The work is devoted to the cooperation of two systems of external loads: a mechanical with friction and electrochemical. The research was conducted in a model tribological system, which consisted of a rotating

ring with a speed of 200 turns/min. It was loaded with a block on the lateral surface with forces from 175 N to 507 N. The testing device was connected to an controlled electrical circuit implementing the electrochemical reduction of zinc in the work of the tribological system. The deposition of zinc was enforced by an external direct current from the electrolyte formed based on base oil (hydrorafinat II). It was found that the technological zinc layer deposition filling the micro-irregularities of the ring (2–3 microns) helps to facilitate the working elements.

Zinc, after the deposition in the operating conditions, can maintain the constant volume (dimension) of the loaded element and reduce and stabilise the friction coefficient. In the description of the considered device, the process of the deposition of renewable coatings is discussed. This includes the deposition of the coating in the electrochemical system and its function in the friction zone.