

**Waldemar KOSZELA^{*}, Lidia GAŁDA^{*}, Andrzej DZIERWA^{*},
Paweł PAWLUS^{*}, Jarosław SEP^{*}**

WPLYW KIESZENI SMAROWYCH NA ZATARCIE PARY CIERNEJ STAL–BRĄZ

THE EFFECT OF OIL POCKETS ON THE SEIZURE OF A FRICTIONAL PAIR: STEEL–BRONZE

Słowa kluczowe:

nagniatanie, kieszenie smarowe

Key-words:

burnishing, oil pockets

Streszczenie

W referacie przedstawiono przykładowe powierzchnie cylindryczne z kieszeniami smarowymi wykonane w Katedrze Technologii Maszyn i Organizacji Produkcji Politechniki Rzeszowskiej oraz zaprezentowano możliwości poprawy odporności na zatarcie węzłów ślizgowych typu stal–brąz z wykonanymi mikrozasobnikami smaru.

Stwierdzono, że istnieje możliwość zwiększenia drogi tarcia do zatarcia pary ciernej zawierającej próbkę z kieszeniami smarowymi w porównaniu z węzłem posiadającym panewkę gładką (tradycyjną).

^{*} Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Organizacji Produkcji, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel. (0 17) 865 18 07.

WPROWADZENIE

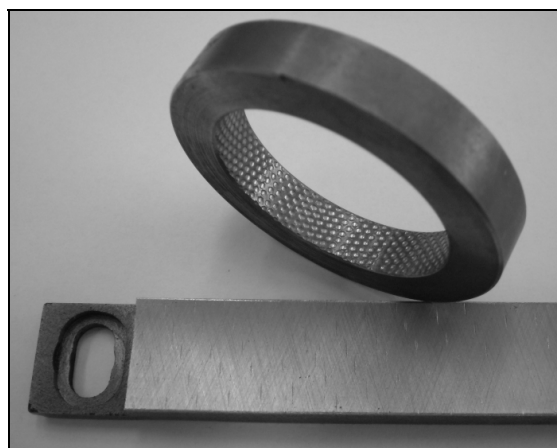
Zużywanie adhezyjne występuje w mikroobszarach plastycznego odkształcenia warstwy wierzchniej. Istnieje ono przy tarciu ślizgowym o małych prędkościach względnych i dużych naciskach jednostkowych w obszarze rzeczywistej powierzchni styku, jeżeli obie powierzchnie zostaną zbliżone na odległość działania sił molekularnych [L. 1]. Zacieranie najczęściej utożsamiane jest z tworzeniem szczepień adhezyjnych i ich niszczeniem w wyniku głębokiego wrywania materiału, przenoszenia go z jednej warstwy na drugą i niekorzystnym oddziaływaniem powstałych nierówności na węzeł tarciový [L. 2]. W czasie zacierania tarcie płynne nie występuje. Przyczyną przerwania ciągłości warstewki smaru może być między innymi nadmierny wzrost temperatury środka smarowego, nagły wzrost obciążenia, mała wytrzymałość warstwy granicznej [L. 3]. Istotny wpływ na zacieranie współpracujących powierzchni wywiera ich struktura geometryczna. Powinna być ona ukształtowana tak, aby uzyskać odpowiednią pojemność olejową oraz zapewnić przerywanie styku tarciového [L. 2]. Można to osiągnąć przez wykonywanie kieszeni smarowych na współpracujących powierzchniach. Wykorzystuje się do tego celu różne techniki kształtowania powierzchni włączając obróbkę ścierną, skrawanie, wygniatanie, metody jonowe, techniki trawienia, obróbkę laserem i inne [L. 4]. Badania odporności na zatarcie prowadzi się zazwyczaj przy wzrastającym obciążeniu lub przy stałym obciążeniu i zakłóceniu procesu smarowania.

Autorzy publikacji [L. 6, 7] badali wpływ kieszeni smarowych na zatarcie elementów ze stali w układzie: powierzchnia płaska–kulka, pracujących w warunkach tarcia suchego ze stopniowo wzrastającym obciążeniem. Wgłębienia o wymiarach: głębokość 2÷4 μm , średnica 65±15 μm przy stopniu pokrycia 10÷60% wykonano metodą laserową na powierzchni tarczy. Wpływ obecności wgłębień na wzrost drogi tarcia w porównaniu ze współpracą z powierzchnią szlifowaną był najbardziej korzystny w odniesieniu do stopnia pokrycia w granicach 40÷50%.

Prowadzono również badania wpływu kieszeni smarowych wykonanych na powierzchni jednego elementu na zatarcie stalowych par ciernych w warunkach stałego obciążenia. Przed rozpoczęciem badań dostarczano środek smarny metodą natryskową. Badania przerywano w przypadku otrzymania granicznej wartości współczynnika tarcia. Stwierdzono, że wykonanie wgłębień może znacznie zwiększyć drogę tarcia do zatarcia w porównaniu ze współpracą powierzchni gładkich [L. 8, 9].

PROCES FORMOWANIA KIESZENI SMAROWYCH

W KTMiOP Politechniki Rzeszowskiej od kilku lat realizowane są projekty, w ramach których opracowano szereg konstrukcji do kształtowania określonej struktury geometrycznej powierzchni elementów maszyn. Projekty te ukierunkowane są na kształtowanie kieszeni smarowych przez wyłaczanie mechaniczne oraz trawienie. Metoda pierwsza dotyczy wyrobów posiadających określoną sztywność, gdy siły formujące wgłębienia nie powodują deformacji przedmiotu obrabianego. W odniesieniu do wyrobów o niewielkiej sztywności wymagane jest użycie określonego oprzyrządowania zabezpieczającego przed deformacją. Mimo zastosowania specjalistycznego oprzyrządowania istnieją wyroby, dla których mechaniczne wygniatanie jest obróbką niezalecaną (np. cienkościenne tuleje cylindrowe). W tych przypadkach wykorzystywano technologię opartą na procesach trawienia, która nie powoduje deformacji przedmiotu obrabianego i można ją zastosować do wyrobów o dużej twardości. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe powierzchnie z wykonanymi kieszeniami smarowymi na fragmencie panewki z brązu B101 oraz próbkę wyciętą z tulei cylindrowej.



Rys. 1. Przykładowe powierzchnie z kieszeniami smarowymi (fragment panewki z brązu i próbka wycięta z tulei cylindrowej)

Fig. 1. Examples of surfaces with oil pockets (fragment of bronze bearing sleeve and sample cut out from cylinder liner)

PRZEBIEG TESTU ZATARCIA

W celu zapewnienia jednolitych warunków testu opracowano określoną procedurę badawczą i zastosowano ją do wszystkich prób.

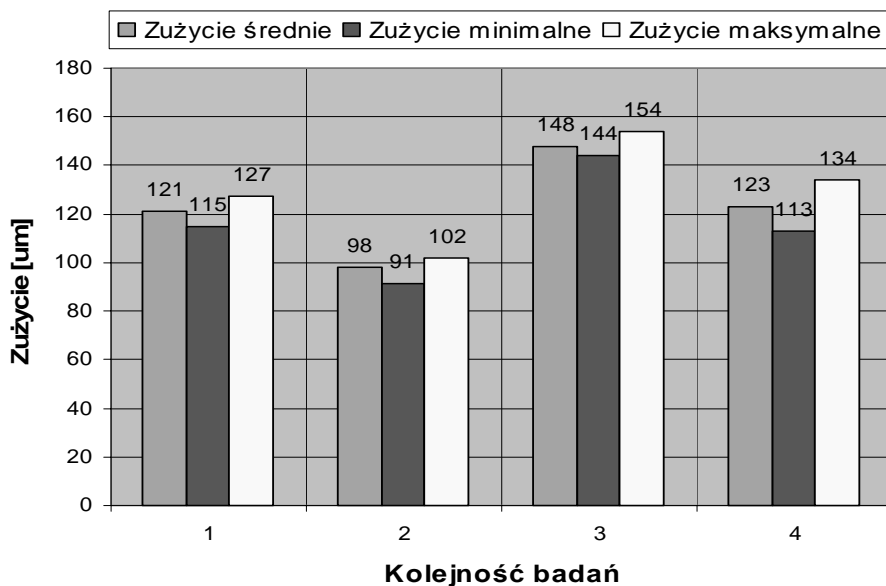
Podstawą ustalenia parametrów testu zatarcia były badania wstępne. Na ich podstawie określono czas docierania, obciążenie podczas docierania oraz prób zasadniczych, rodzaj smarowania, warianty skojarzeń, parametry podlegające rejestracji oraz wartość krytyczną siły tarcia odpowiedzialnej za wyłączenie napędu testera ($F_{kr} = 400$ N). Próby odporności na zatarcie przeprowadzono z wykorzystaniem testera do badań tribologicznych typu rolka-kłosek (T-05). Nieruchomą próbkę stanowił wycinek panewki z brązu B101 (CuSn10P) o twardości 138HB. Przeciwpróbką była rolka ze stali 42CrMo4 o twardości 40HRC.

W badaniach próbki docierano przez 10 minut stosując nacisk jednostkowy równy 8,8 MPa, po czym zakładano obciążenie zasadnicze wynoszące 2700 N (26,5 MPa). Prędkość tarcia wynosiła 0,27 m/s. Jako środka smarnego użyto oleju L-AN 46 w postaci jednej kropli wprowadzonej pomiędzy powierzchnie trące, bezpośrednio przed testem. Skojarzenia stal-brąz wykonano w czterech wariantach panwi o różnym stopniu pokrycia kieszeniami smarnymi. Jako punkt odniesienia przyjęto skojarzenie z panwią toczoną. Rejestrowano siłę tarcia i temperaturę próbki od rozpoczęcia testu aż do momentu automatycznego wyłączenia testera ($F_{kr} = 400$ N). Podczas testów nie kontrolowano wilgotności i temperatury powietrza. Jako punkt zatarcia przyjęto nagły wzrost siły tarcia po okresie ustabilizowanego przebiegu. Dla testów, w których nie obserwowano wyraźnego okresu stabilizacji za punkt zatarcia przyjęto moment automatycznego wyłączenia się testera. Zazwyczaj dotyczyło to krótkich przebiegów, co nie miało zasadniczego wpływu na wyniki. Odporność na zatarcie określano miarą drogi tarcia od chwili założenia obciążenia zasadniczego aż do punktu zatarcia.

BADANIE ODPORNOŚCI NA ZATARCIE PARY CIERNEJ STAL-BRĄZ

Podstawą do badania zjawiska zatarcia w skojarzeniu stal-brąz były wyniki wcześniejszych badań zużycia tego węzła. Ze względu na charakter badań tribologicznych ograniczono się do skojarzeń, które wykazały się najmniejszym, największym i zbliżonym zużyciem do porównawczego zestawu próbek. Zużycie w testach określano jako przemieszczenie

liniowe w kierunku promieniowym próbki i przeciwp próbki po 5 km drogi tarcia. W trakcie badań okazało się, że stopień pokrycia panewki mikrozasobnikami smarnymi wykazuje wyraźną korelację do zużycia. Panewki z powierzchniami o stopniu pokrycia w zakresie 26% cechowały się najmniejszym zużyciem sumarycznym [L. 5]. Wyniki zużycia dla próbek wytypowanych do testów zatarcia przedstawiono na **Rys. 2**.

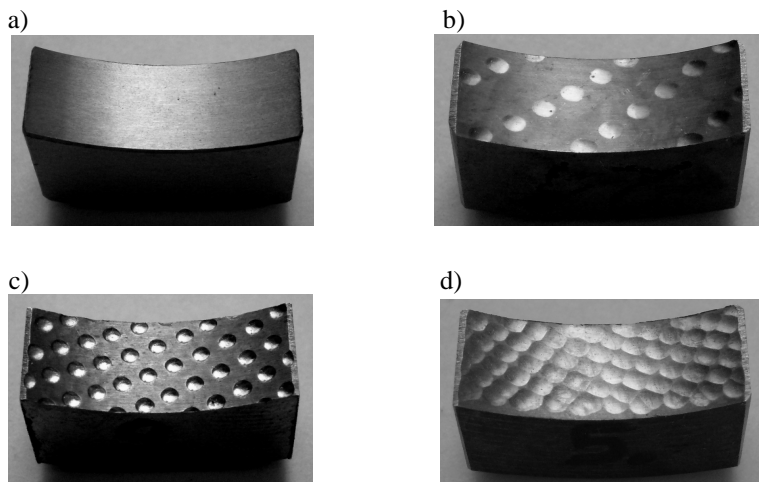


Rys. 2. Wyniki testów zużycia: 1 – próbki gładkie, 2 – powierzchnia kieszeni smarowych 26%, 3 – powierzchnia kieszeni smarowych 75%, 4 – powierzchnia kieszeni smarowych 10%

Fig. 2. The results of wear tests: 1 – smooth specimens, 2 – oil pockets density 26%, c – oil pockets density 75%, d – oil pockets density 10%

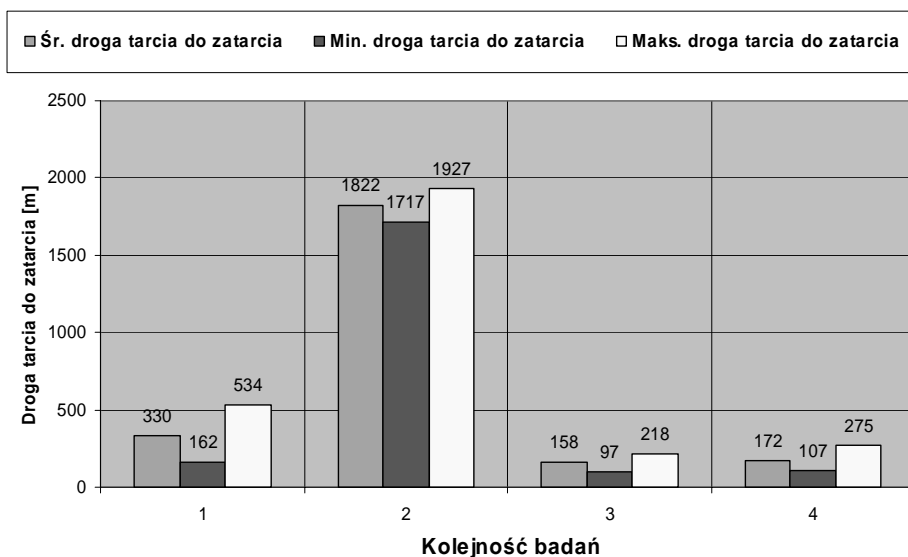
Ogólny wygląd powierzchni ślizgowych próbek przedstawia **Rys. 3**.

Następnie dla tych zestawów badawczych przeprowadzono testy zatarcia. Testy przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w pkt 3, z trzema powtórzeniami. Wyniki pomiarów drogi tarcia do zatarcia przedstawiono na **Rys. 4**, stosując analogiczną kolejność wyników jak w testach zużycia.



Rys. 3. Próbkę do badań tribologicznych: a – próbkę gładką, b – powierzchnia kieszeni smarowych 10%, c – powierzchnia kieszeni smarowych 26%, d – powierzchnia kieszeni smarowych 75%

Fig. 3. Samples for tribological tests: a) – smooth specimens, b) – oil pockets density 26%, c – oil pockets density 75%, d – oil pockets density 10%



Rys. 4. Droga tarcia do zatarcia: 1 – próbkę gładkie, 2 – powierzchnia kieszeni smarowych 26%, 3 – powierzchnia kieszeni smarowych 75%, 4 – powierzchnia kieszeni smarowych 10%

Fig. 4. Frictional distance to seizure: 1 – smooth specimens, 2 – oil pockets density 26%, 3 – oil pockets density 75%, 4 – oil pockets density 10%

Z wykresu wynika, iż modyfikacja warstwy wierzchniej panwi kieszeniami smarowymi może znacznie wydłużyć drogę tarcia do zatarcia. Najlepsze wyniki uzyskano dla próbek serii nr 2, podobnie jak w testach zużycia. Pozostałe próbki cechowały się jednak prawie dwukrotnym skróceniem okresu do zatarcia w porównaniu z zestawem porównawczym.

PODSUMOWANIE

Z badań przeprowadzonych dla skojarzenia stal-brąz z powierzchnią panwi modyfikowaną kieszeniami smarowymi wynika, że istnieje określony rodzaj kształtowania kieszeni smarowych, który korzystnie wpływa zarówno na zatarcie, jak i zużycie. Zagłębienia w powierzchni ślizgowej są dodatkowym źródłem smarowania, gromadzą produkty zużycia, ale jednocześnie zmniejszają rzeczywistą powierzchnię kontaktu powodując wzrost nacisków jednostkowych. Przeprowadzone testy zatarcia cechowały się znacznym zróżnicowaniem uzyskanych wyników, co wskazuje na konieczność prowadzenia szerszych badań i analiz w obszarze najbardziej korzystnym.

LITERATURA

1. Hebda M.: Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Warszawa – Radom 2007.
2. Nosal S.: Tribologiczne aspekty zacierania się węzłów ślizgowych. Rozprawy nr 328, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
3. Szczerek M., Tuszyński W.: Zacieranie. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2000.
4. Etsion I.: State of the art in laser surface texturing. ASME Journal of Tribology 125, 2005, 248–253.
5. Koszela W.: Nagniatanie impulsowe powierzchni walcowych pracujących w warunkach tarcia. Rozprawa doktorska, Rzeszów 2003.
6. Moskovith A., Perfiliev V., Gindin D., Paransky N., Boxman R., Rapoport R.: Surface texturing using pulsed air arc treatment. Wear 26, 2007, 1467–1469.
7. Rapoport L., Moshkovith A., Perfilyev V., Lapsker I., Halperin G., Itovich Y., Etsion I.: Friction and wear of MoS₂ films on laser textured steel surfaces. Proceedings of NORDTRIB 2008 Symposium, Tampere (Finland) 2008.

8. Haefke H., Gerbig Y., Dumitru G., Romano V.: Microtexturing of functional surfaces for improving their tribological performance. Proceedings of the International Tribology Conference, Nagasaki (Japan), 2008, 217–221.
9. Dumitru G., Romano V., Weber H.-P., Haefke H., Gerbig Y., Pfuger E.: Laser microstructuring of steel surfaces for tribological applications. Appl. Phys. A 70, 2000, 485–487.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The paper shows the examples of cylindrical surfaces with oil pockets created in Rzeszów University of Technology, Department of Manufacturing Processes and Production Organisation. Possibilities of improvement in seizure resistance of the frictional pair, steel-bronze, by creation of oil pockets are also presented.

It was found that it is possible to increase the sliding distance to seizure of a frictional pair containing a sample with an oil pocket in comparison to assembly with a smooth (traditional) bearing-sleeve.