

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

WPLYW KIESZENI SMAROWYCH NA POWIERZCHNIACH ŚLIZGOWYCH NA ZUŻYCIE ŚCIERNE

THE EFFECT OF OIL POCKETS ON THE ABRASIVE WEAR OF A SLIDING ASSEMBLY

Słowa kluczowe:

kieszenie smarowe, zużycie ściernie

Key-words:

oil pockets, abrasive wear

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań odporności na zużycie ściernie skojarzeń materiałowych z powierzchniami modyfikowanymi metodami wygniata-
nia. Stopień pokrycia powierzchni wgłębieniami mieścił się w zakresie
od 10 do 20%. Kształtowane wgłębienia mogą stanowić zarówno zasob-
niki substancji smarującej oraz miejsca lokowania zanieczyszczeń. Za-
prezentowano i porównano rezultaty badań prowadzonych dla dwóch

* Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, ul. Powstańców
Warszawy 8, 35-959 Rzeszów.

różnych skojarzeń materiałowych: stal–żeliwo sferoidalne oraz stal–brąz. W efekcie prowadzonych badań uzyskano znaczną poprawę odporności na zużycie w przypadku par trących stal–żeliwo, w których na powierzchni stali ukształtowane zostały wgłębienia. W odniesieniu do par tarciovych stal–brąz w zakresie badanych parametrów otrzymano zmniejszenie odporności na zużycie ściernie w porównaniu z wariantami bez wgłębień.

WPROWADZENIE

Zużywanie adhezyjne występuje w mikroobszarach plastycznego odkształcenia warstwy wierzchniej. Istnieje ono przy tarcii ślizgowym o małych prędkościach względnych i dużych naciskach jednostkowych na obszarach rzeczywistej powierzchni styku, jeżeli cząstki obu powierzchni zostaną zbliżone na odległość zasięgu działania sił molekularnych [L. 1]. Na zacieranie adhezyjne szczególnie narażone są skojarzenia jednoimienne stal–stal, stal–żeliwo oraz żeliwo–żeliwo.

Zużycie ściernie powstaje, gdy ubytek materiału w warstwie wierzchniej jest spowodowany oddzielaniem cząstek wskutek mikroskrawania, rysowania lub bruzdowania [L. 2]. Proces taki istnieje, gdy w obszarach tarcia współpracujących elementów znajdują się luźne lub utwierdzone cząstki ścierniwa albo wystające nierówności twardszego materiału [L. 1, 3]. Pochodzenie cząstek stałych stanowiących zanieczyszczenia może być zarówno eksploatacyjne, jak i produkcyjne oraz dystrybucyjne. W olejach przed etapem eksploatacji mogą występować cząstki o rozmiarach nawet powyżej 100 μm . Eliminacja zanieczyszczeń z kinematycznych węzłów maszyn wydaje się celem nieosiągalnym. Ich obecność może znacznie przyspieszać proces zużycia, szczególnie w przypadku metali miękkich.

Kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni jako sposób poprawy osiągnięć tribologicznych elementów maszyn jest dobrze znane od wielu lat. W celu zwiększenia trwałości maszyn stosowano różne techniki kształtowania obejmujące obróbkę skrawaniem, ścierną, wygniataniem aż po najnowsze techniki trawienia czy obróbkę laserową. Aktualnie największe zainteresowanie w kraju i za granicą dotyczy obróbki laserowej, stosowanej do teksturowania powierzchni ślizgowych tulei cylindrowych, pierścieni uszczelniających, pierścieni tłokowych oraz łożysk [L. 4–6]. Z analizy literatury oraz badań własnych wynika, że specjalnie ukształtowane w powierzchni wgłębienia mogą znacznie poprawić od-

porność na zatarcie i zużycie ściernie elementów ślizgowych [L. 7, 8]. Ukształtowane wgłębienia gromadzą produkty zużycia, ograniczając w ten sposób ich wbijanie i deformację elementów trących oraz stanowią zasobniki substancji smarującej.

Wśród różnorodnych technologii kształtowania wgłębień na szczególną uwagę zasługują technologie nagniatania (wygniatania). Technologia wygniatania jest prosta, efektywna, nie wymaga skomplikowanego oprzyrządowania i nie oddziałuje negatywnie na środowisko. W Katedrze Technologii Maszyn i Organizacji Produkcji opracowano wiele narzędzi służących do obróbki powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych [L. 9].

METODYKA BADAŃ

Badania odporności na zużycie przeprowadzono z wykorzystaniem testera tribologicznego T-05 produkcji ITeE Radom i dotyczyły wpływu stopnia pokrycia powierzchni wgłębieniami na zużycie ściernie dla różnych skojarzeń materiałowych elementów ślizgowych. Testy realizowano na próbkach wykonanych z brązu CuSn10P o twardości 138 HB. Powierzchnie ślizgowe próbek poddano obróbce nagniatania impulsowego w celu uzyskania wgłębień o zróżnicowanym stopniu pokrycia. Średnia głębokość wgłębień wynosiła 60 μm , a szerokość około 1,2 mm. Przeciwpórkę stanowił stalowy pierścień 42CrMo4 ulepszony cieplnie do twardości 40 HRC. W przypadku węzła ślizgowego stal-żeliwo procesowi obróbki wygniataniem poddano stalowe pierścienie 42CrMo4 o twardości 32 HRC. Wgłębienia sferyczne na powierzchni pierścieni charakteryzowały się głębokością równą 60 μm i szerokością około 0,9 mm. Na materiał przeciwpórkę dobrano żeliwo sferoidalne EN-GJS-400-15, które po obróbce cieplnej uzyskało twardość 50 HRC. Stopień pokrycia wgłębieniami wynosił 10, 15 i 20%. Badaniom poddano powierzchnie z odciskami o kształcie sferycznym, odwzorowującymi kulistą końcówkę roboczą urządzenia do nagniatania [L. 9]. W celu porównania wpływu kształtowanych wgłębień na zużycie ściernie zbadano również próbki bez kieszeni smarowych. W przypadku skojarzenia materiałów stal-brąz powierzchnie próbek z brązu poddano obróbce toczeniem ($R_a = 0,32 \mu\text{m}$), natomiast w węzłach ślizgowych stal-żeliwo stalowe pierścienie szlifowano ($R_a = 0,32 \mu\text{m}$). Środkiem smarnym był olej maszynowy L-AN 46.

Prędkość tarcia w obu analizowanych wariantach skojarzeń materiałowych wynosiła 0,27 m/s, natomiast siła docisku różniła się i wynosiła

900 N (stal–żeliwo) oraz 1800 N (stal–brąz). Droga tarcia w przypadku twardych elementów (stal–żeliwo) wynosiła 3892 m, podczas gdy węzłów o mniejszej twardości była równa 973 m. Różne parametry testu, uwarunkowane długością próby, zostały dobrane na etapie badań rozpoznawczych.

W celu intensyfikacji zużycia do 40 cm³ oleju L-AN 46 dodawano 1 g (stal–żeliwo) lub 2 g (stal–brąz) pyłu kwarcowego. Wyniki analizy chemicznej pyłu przedstawiono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Wyniki analizy chemicznej pyłu kwarcowego

Table 1. Results of chemical analysis of the quartz dust

Udział procentowy [%]								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Straty po prażeniu
73,7	14,8	0,46	0,02	0,80	0,16	4,61	4,24	0,85

Wyniki pomiarów składu granulometrycznego pyłu przedstawiono w **Tabeli 2**.

Tabela 2. Skład granulometryczny pyłu kwarcowego

Table 2. Composition of the quartz dust

Przedział wymiarowy ziaren [µm]	0÷2	2÷5	5÷10	10÷20	20÷40	powyżej 40
Udział masowy [%]	15	13	16	21	23	12

W odniesieniu do węzłów ślizgowych z materiałów stal i brąz ocenie poddano sumaryczne zużycie liniowe próbki i przeciwpróbki. Zużycie próbek i przeciwpróbek określano również poprzez ubytek masy.



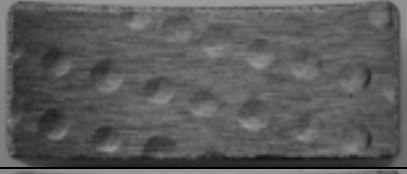



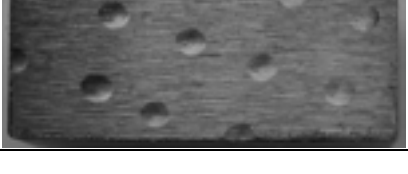
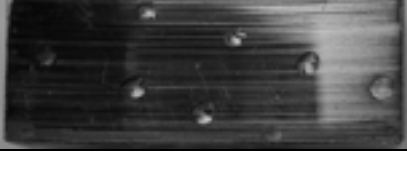
Mimo czterokrotnie dłuższej drogi tarcia zużycie liniowe stali i żeliwa było tak niewielkie, że zastosowano profilometryczną metodę oceny zużycia. Przed i po próbie tarcia wykonywano pomiary struktury geometrycznej powierzchni, stosując metodę relokacji określano zmianę wybranych parametrów oraz głębokości kieszeni smarowych.

WYNIKI BADAŃ

W **Tabeli 3** przedstawiono zdjęcia przykładowych próbek z brązu przed i po badaniach odporności na zużycie ściernie we wszystkich analizowanych wariantach.

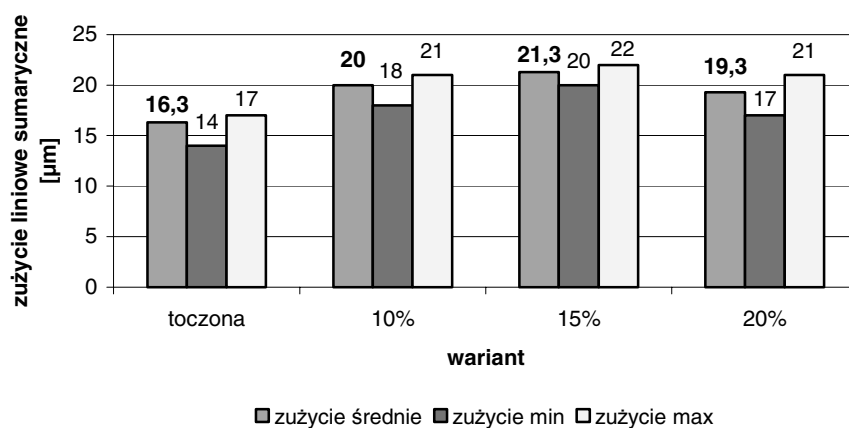
Tabela 3. Zdjęcia próbek z brązu CuSn10P przed i po próbach tarcia

Table 3. Photos of bronze samples CuSn10P before and after friction tests

Stopień pokrycia wgłębieniami Sp	Przed próbą tarcia	Po próbie tarcia
- toczona		
20 %		
15%		
10%		

Po zakończonych badaniach powierzchnie ślizgowe próbek z brązu poddano obserwacji. Zauważono, że wgłębienia całkowicie wypełnione były produktami zużycia, a powierzchnia tarcia uzyskała połysk metaliczny ze śladami współpracy zgodnymi z kierunkiem ruchu przeciwpróbkki. Próbki bez kieszeni smarowych po próbach tarcia znacznie różniły się wyglądem powierzchni ślizgowej od badanych próbek z wgłębieniami. Miejscami powierzchnia została wygładzona uzyskując połysk metaliczny, natomiast w innych obszarach była bardziej chropowata, szczególnie w części środkowej próbek toczonych. Po analizie parametrów pracy węzłów tribologicznych stwierdzono, że siła tarcia F podczas badań próbek toczonych była większa ($F_{sr} = 138 \text{ N}$) niż próbek z wgłęb-

bieniami, dla których średnia siła tarcia mieściła się w zakresie 125–126 N. Podobna zależność wystąpiła przy analizie temperatury T mierzonej około 2 mm od powierzchni tarcia. Średnia temperatura próbek toczonych wynosiła 73°C , natomiast T_{sr} próbek pokrytych wgłębieniami $70,5\text{--}72^{\circ}\text{C}$. Mimo nieco trudniejszych warunków pracy zużycie liniowe węzłów tarcia z próbką bez kieszeni smarowych było mniejsze w porównaniu z wszystkimi wariantami powierzchni o zróżnicowanym stopniu pokrycia wgłębieniami. Sumaryczne zużycie elementów węzłów ciernych stal–brąz przedstawiono na **Rys. 1**.



Rys. 1. Sumaryczne zużycie elementów węzłów ciernych stal–brąz


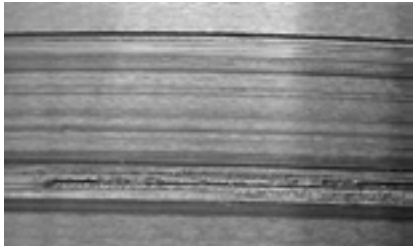

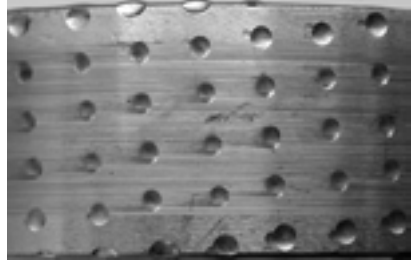
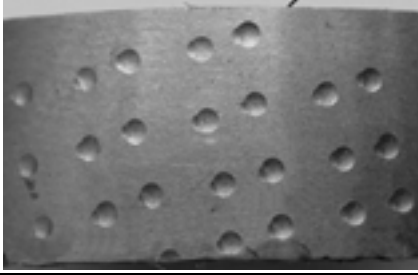
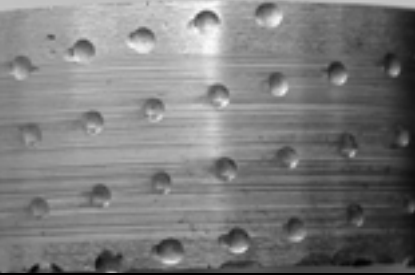
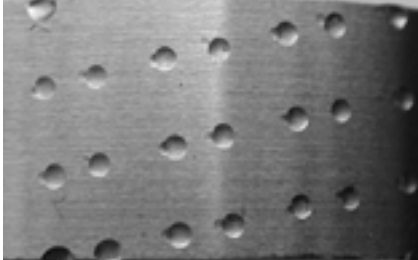

Fig. 1. Total wear of friction pair: steel-bronze

Odporność na zużycie ścierne węzłów tribologicznych z materiałów stal–brąz badana w warunkach zwiększonego zanieczyszczenia pyłem kwarcowym była większa w przypadku powierzchni bez wgłębień o 18,4–30,7% w porównaniu z powierzchniami nagniatanymi. Brązowe próbki z wgłębieniami charakteryzowały się większym ubytkiem masy o około 19–47% w stosunku do próbek toczonych.

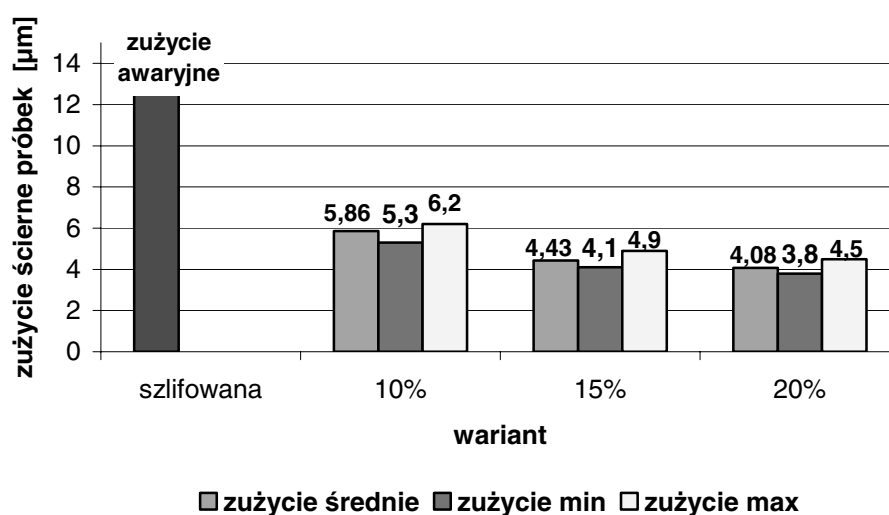
Drugą badaną grupę stanowiły elementy o większej twardości: stalowe pierścienie – 32 HRC i żeliwne wycinki panewek – 50 HRC. W **Tabeli 4** zaprezentowano zdjęcia przykładowych próbek ze stali przed i po badaniach odporności na zużycie ścierne.

Tabela 4. Zdjęcia próbek ze stali 42CrMo4 przed i po próbach tarcia

Table 4. Photos of steel samples 42CrMo4 before and after friction tests

Stopień pokrycia wgłębieńmi Sp	Przed próbą tarcia	Po próbie tarcia
- szlifowana		
20 %		
15 %		
10 %		

Po zakończonych badaniach w przypadku stalowych próbek w kieszeniach smarowych nie zaobserwowano tak dużej ilości cząstek ściernych, jak miało to miejsce we wgłębieniach próbek z brązu. Można przypuszczać, że podczas całej czterogodzinnej próby wygniecione wgłębienia stanowiły przede wszystkim zasobniki środka smarnego, jak również miejsca lokalizacji zanieczyszczeń. Podczas badań odporności na zużycie próbki bez wgłębień nie przechodziły całego cyklu badań, ponieważ ulegały zatarciu na początkowym etapie testu. Odmienne rezultaty w przypadku tego skojarzenia materiałowego, ale po ukształtowaniu kieszeni smarowych na powierzchni tarcia można wyjaśnić tym, że istniała możliwość przerywania styku tarciovego, co zapobiega szczeniom adhezyjnym. Na powierzchni próbek z wgłębieniami tworzyła się równoległa struktura zgodna z kierunkiem ruchu.



Rys. 2. Zużycie stalowych próbek węzłów ciernych stal-żeliwo

Fig. 2. Wear of steel samples from friction pair: steel-cast iron

Zużycie stalowych próbek węzłów ciernych stal-żeliwo przedstawiono na **Rys. 2**. W badanym zakresie parametru S_p zauważono, że wraz z jego wzrostem maleje zużycie ściernych stalowych próbek. Odporność na zużycie ściernych próbek o stopniu pokrycia wgłębieniami równym 20% wzrosła o 30,4% w porównaniu z wariantem próbek z wgłębieniami na powierzchni zajmującymi 10%.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wgłębienia wygniatane na powierzchniach ślizgowych mogą korzystnie wpływać na odporność na zużycie elementów maszyn pracujących w warunkach zwiększonego zanieczyszczenia środka smarnego. Ukształtowane kieszenie smarowe pełniły rolę zasobników na olej oraz gromadziły zanieczyszczenia, eliminując zacieranie węzłów stal–żeliwo.

W przypadku skojarzenia materiałowego stal–brąz wgłębienia stanowiły miejsca lokalizacji zanieczyszczeń i produktów zużycia. W badanym zakresie parametrów odporność na zużycie ścierne przy intensywnym zanieczyszczeniu oleju była mniejsza niż węzłów, których elementy nie posiadały kieszeni smarowych.

LITERATURA

1. Hebda M.: Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Warszawa – Radom 2007.
2. Łuczak A., Mazur T.: Fizyczne starzenie elementów maszyn, WNT, Warszawa 1981.
3. Gierek A.: Zużycie tribologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
4. Napadłek W.: Zwiększenie odporności tribologicznej warstwy wierzchniej żeliwnych tulei cylindrowych wykorzystaniem ablacji laserowej, *Tribologia*, z. 5, s. 147–160, 2009.
5. Antoszewski B., Radek N.: Tribologiczne i technologiczne aspekty tekstrowania par ślizgowych o powierzchniach płaskich, *Tribologia*, z. 2, s. 25–33, 2008.
6. Etsion I.: State of the art in laser surface texturing, *Materiały konferencyjne 12th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces*, s. 17–20, Rzeszów 2009.
7. Pawlus P., Gałda L., Dzierwa A., Koszela W.: Abrasive wear resistance of textured steel rings, *Wear*, z. 267, s. 1873–1882, 2009.
8. Gałda L., Dzierwa A., Sęp J., Pawlus P.: The effect of oil pockets shape and distribution on seizure resistance in lubricated sliding, *Tribology Letters*, z. 37, s. 301–311, 2010.
9. Sęp J., Gałda L., Pawlus P., Koszela W.: Wybrane technologiczne metody zwiększania odporności na zużycie tribologiczne, *Tribologia*, z. 4, s. 59–68, 2008.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

In this paper, the results of abrasive wear resistance tests of assemblies with textured (burnished) surfaces are shown. The area density of oil pockets was in the range of 10 to 20%. The created pits can be both the reservoirs of lubricating oil and the places of wear debris presence. The results of investigations were carried out for two different material assemblies: steel-cast iron and steel-bronze were presented and compared. As an effect of investigations, we obtained the considerable improvement of wear resistance for the textured steel-cast iron pair. The abrasive wear resistance of the sliding steel-textured-bronze pair decreased in comparison to variants without dimples.