

Sławomir WOŚ*, **Paweł PAWLUS***, **Waldemar KOSZELA***

WPLYW OBUSTRONNEGO TEKSTUROWANIA POWIERZCHNI TRĄCYCH W SZYKACH REGULARNYCH I NIEREGULARNYM NA WARTOŚĆ SIŁY TARCIA

THE EFFECT OF TEXTURING BOTH SURFACES IN REGULAR AND IRREGULAR ARRAYS ON FRICTION FORCE

Słowa kluczowe:

kieszenie smarowe, obróbka strumieniowo-ścierna, obustronne teksturowanie

Key words:

oil, pockets, abrasive jet machining, texturing both surfaces

Streszczenie

Celem badań było ustalenie wpływu, jaki wywierają kieszenie smarowe przy obustronnym teksturowaniu powierzchni trących z wykorzystaniem metody strumieniowo ścierniej na opory tarcia. Badania wykonano przy użyciu testera typu trzpień–tarcza, gdzie siła docisku próbek wynosiła 20 N. Doświadczenia przeprowadzono przy zadanej prędkości ślizgania oraz z wyznaczoną ilością

* Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Polska.

oleju w miejscu współpracy. Prędkość ślizgania wynosiła 0,4 m/s, a zastosowana ilość oleju to jedna kropla (około 0,08 ml). Badania przeprowadzono w styku rozłożonym przy jednokierunkowym ślizganiu. Testowane tarcze ze stali 42CrMo4 o twardości 50HRC były polerowane, a następnie teksturowane za pomocą obróbki strumieniowo-ściernej. Uzyskano na nich kieszenie smarowe o średnicy 300 μm i głębokości 10 μm , o stopniu pokrycia 5%. Kieszenie smarowe były wykonane w czterech szykach regularnych i jednym nieregularnym. Tarcze współpracowały z teksturowaną przeciwpróbką wykonaną z tego samego materiału o twardości 40HRC. Na przeciwpróbce wykonano kieszenie smarowe o średnicy 500 μm , głębokości 5 μm , stopień pokrycia wynosił 20%. Kieszenie smarowe były ułożone w szyku prostokątnym równomiernym.

Stwierdzono, że obecność kieszeni smarowych na obu współpracujących powierzchniach spowodowała znaczny wzrost siły tarcia. Natomiast w przypadku teksturowania tylko jednego współpracującego elementu obecność wgłębień na powierzchni stacjonarnej lub ruchomej wydaje się nie mieć znaczenia.

WPROWADZENIE

Teksturowanie powierzchni jest jedną ze stosowanych obecnie metod poprawiających właściwości tribologiczne węzłów ciernych. Ustalono, że odpowiednio zmodyfikowana powierzchnia (np. poprzez wprowadzenie kieszeni smarowych, rowków, wgłębień lub porów) ma pozytywny wpływ na możliwość redukcji siły tarcia w przypadku smarowania mieszanego i płynnego [L. 1, 2]. Właściwe struktury powierzchni są możliwe do uzyskania przez zastosowanie takich technik obróbki, jak nagniatanie [L. 2], obróbka laserem [L. 3], trawienie elektrochemiczne, obróbka elektroerozyjna i obróbka strumieniowo-ścierna [L. 4].

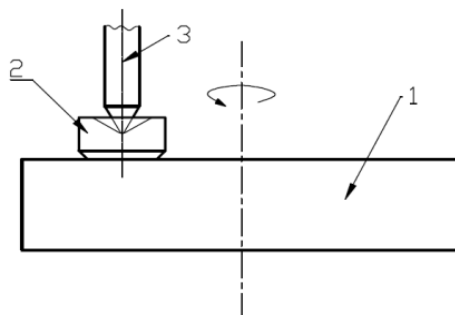
Powierzchnie teksturowane, na których wykonano kieszenie smarowe, mogą powodować redukcję siły tarcia, zużycia, a także mają pozytywny wpływ na utrzymywanie filmu olejowego odpowiedniej grubości, pełnią one funkcję dodatkowych zasobników oleju w przypadku niedoborów oleju, a także zbierają zanieczyszczenia powstałe w trakcie pracy węzła ciernego [L. 1, 2, 4].

Obecność kieszeni smarowych w przypadku styku skoncentrowanego elementów współpracujących powinna być odpowiednio zaplanowana w procesie obróbki. Na podstawie badań [L. 5] można wnioskować, że kieszenie smarowe które mają pozytywny wpływ na współczynnik tarcia, powinny mieć mniejszą powierzchnię od powierzchni styku współpracujących elementów. Odmienne wyniki otrzymano na podstawie prac [L. 6, 7], co sugeruje, że obecność kieszeni smarowych powinna być najbardziej korzystna w przypadku styku rozłożonego, gdzie powierzchnia kontaktu jest wielokrotnie większa od pojedynczej kieszeni smarowej oraz gdy kieszenie te są relatywnie płytkie. Gdy stopień pokrycia próbek wykonanych z brązu wynosił 23%–26% [L. 2], zaobserwowa-

no zmniejszenie zużycia współpracujących elementów. Ponadto również w poprzednio przeprowadzanych badaniach [L. 4] z wykorzystaniem testera typu trzpień–tarcza T-11, dla próbek obrabianych metodą strumieniowościerną, zaobserwowano, że stopień pokrycia na poziomie 17% przy skojarzeniu elementów współpracujących twardy–twardy (próbki wykonane ze stali 42CrMo4 o twardości 50HRC dla dysku teksturowanego i 40HRC dla przeciwpróbki) skutkowało zmniejszeniem współczynnika tarcia, jak i stabilizacją współpracy (zmniejszenie wahań siły tarcia w trakcie pracy). Również stosowanie znacznie mniejszego stopnia pokrycia może być uzasadnione. Przedstawione w artykule [L. 7] badania przeprowadzone za pomocą testera trzpień–tarcza na teksturowanych próbkach ceramicznych z azotku krzemu współpracujących ze stalowym trzpieniem sugerują stosowanie pokrycia kieszeniami smarowymi na poziomie 5%–20% przy średnicy kieszeni smarowej 100 μm . Badania przeprowadzone dla zmiennych szyków wykonania kieszeni smarowych o średnicy 300 μm i głębokości 10 μm oraz stopniu pokrycia 5%, [L. 8] wykonanych za pomocą metody strumieniowo ścierniej, wykazały pozytywny ich wpływ na redukcję siły tarcia oraz stabilizację pracy.

OBIEKTY BADAWCZE

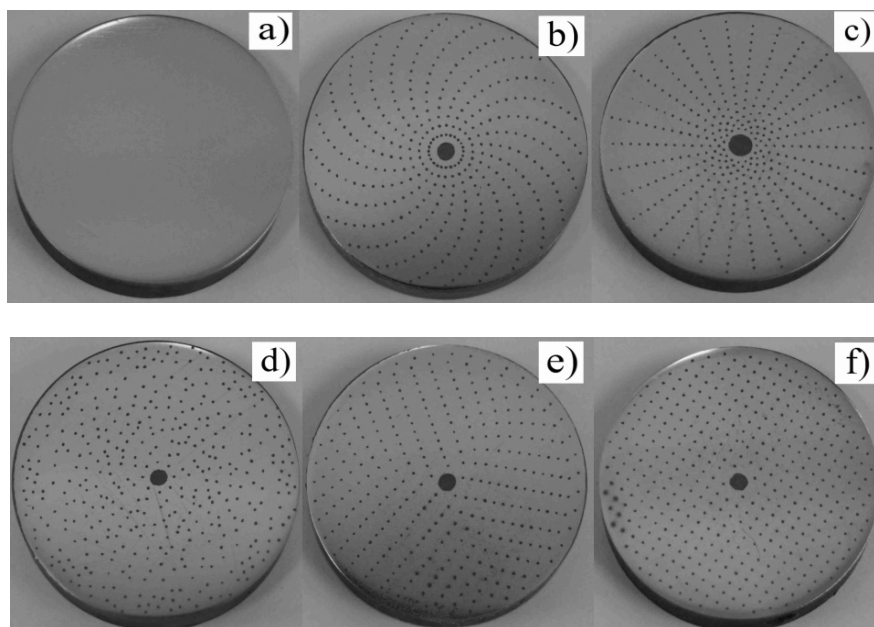
Badania przeprowadzono za pomocą testera typu trzpień–tarcza T-11. Badano zarówno teksturowane, jak i nieteksturowane dyski o średnicy 25,4 mm, twardości 50 HRC wykonane ze stali 42CrMo4 w przypadku jednokierunkowego ślizgania. W parze ciernej współpracowały one z mniejszym teksturowanym dyskiem, który był zamocowany wahliwie na trzpieniu w celu uzyskania lepszego przylegania do siebie powierzchni w styku rozłożonym (Rys. 1). Zastosowana przeciwpróbka miała twardość 40HRC, średnicę 5 mm oraz fazowanie o wymiarze 0,5 mm x 45° i była wykonana również ze stali 42CrMo4.



Rys. 1. Schemat styku rozłożonego: 1 – tarcza, 2 – wahliwa przeciwpróbka, 3 – trzpień przytrzymujący przeciwpróbkę

Fig. 1. Schematic of conformal contact: 1 – disc, 2 – counter specimen, 3 – pin that holds counter-specimen

Zarówno tarcze, jak i przeciwpróbki były polerowane, a następnie teksturowane metodą strumieniowo-ścierną za pomocą piasku korundowego EDELKORUND 200 μm . Do osłonięcia powierzchni nieobrabianych wykorzystano maskownice wycinane laserowo ze zbrojonej włóknem szklanym dwuwarstwowej folii grawerskiej. Następnie obrabiano powierzchnie próbek za pomocą dyszy o średnicy 6 mm i ciśnieniu roboczym 0,6 MPa. Uzyskano dzięki temu kieszenie smarowe w pięciu różnych szykach (**Rys. 2**) których średnice miały wymiary 300 μm i głębokość 10 μm , a stopień pokrycia wynosił 5%. Kieszenie smarowe na powierzchni przeciwpróbki 2 miały średnicę 500 μm , głębokość 5 μm oraz stopień pokrycia na poziomie 20%.



Rys. 2. Teksturowane tarcze z różnym ułożeniem kieszeni smarowych: a) próbka gładka, b) w szyku spiralnym, c) w szyku promieniowym, d) losowa, e) w szyku koncentrycznym, f) w szyku kwadratowym

Fig. 2. Textured discs with different arrays of oil pockets: a) untextured disc, b) spiral array, c) radial array, d) random array, e) concentric array f) square array

Do badań wykorzystano olej LA-N46 (lepkość kinematyczna w 40°C 46,0 mm^2/s ; w 100°C 6,6 mm^2/s ; temperatura zapłonu >170°C, gęstość w 15°C 880 kg/m^3). Podczas badań mierzona była siła tarcia w funkcji czasu. Do pomiaru siły tarcia wykorzystano czujnik tensometryczny firmy Hottinger typu S2. Prędkość obrotowa była monitorowana za pomocą indukcyjnego zbliżeniowego przetwornika położenia typu SCID-1 ZVN.

METODYKA BADAŃ

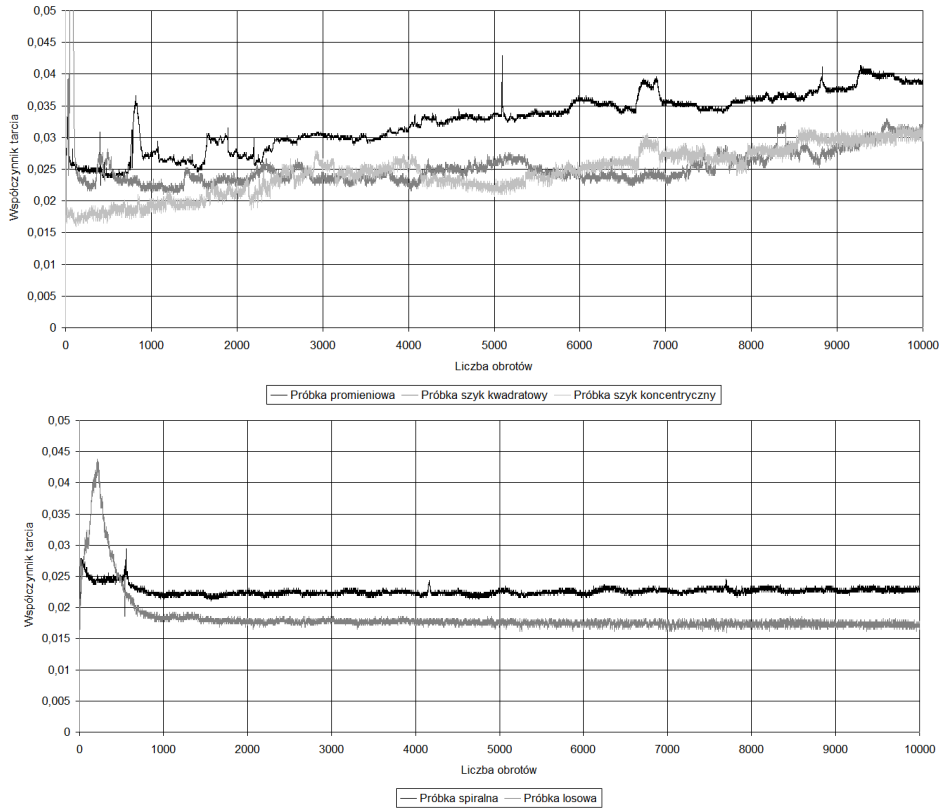
Badania były przeprowadzane w temperaturze 22°C bez dodatkowych źródeł ciepła. W miejsce współpracy dostarczono jedną kroplę oleju LA-N46. Objętość ta była wystarczająca do wypełnienia wszystkich kieszeni smarowych. Wszystkie próby przeprowadzono z trzykrotną powtarzalnością z wykorzystaniem nowych próbek. Badania wykonano przy prędkości ślizgania 0,4 m/s i obciążeniu normalnym 20 N. Promień tarcia, który mierzono od osi obracającego się dysku do osi trzpienia przytrzymującego przeciwpróbkę wynosił 8 mm. Powierzchnia styku próbki z przeciwpróbką była kołem o średnicy 4 mm. Te same parametry testu zastosowano w poprzedniej publikacji [L. 8] w celu zapewnienia możliwości porównania wyników.

Wyniki badań mogą być pomocne w przypadku doboru typu teksturowania dla węzłów ciernych o średnim obciążeniu w warunkach dobrego smarowania. Można je zastosować w przypadku obróbki prowadnic, cylindrów i tłoków urządzeń hydraulicznych oraz powierzchni współpracujących zaworów sterowników hydraulicznych oraz zaworów kulowych. Użyty w badaniach olej jest stosowany do smarowania wymienionych elementów.

WYNIKI BADAŃ

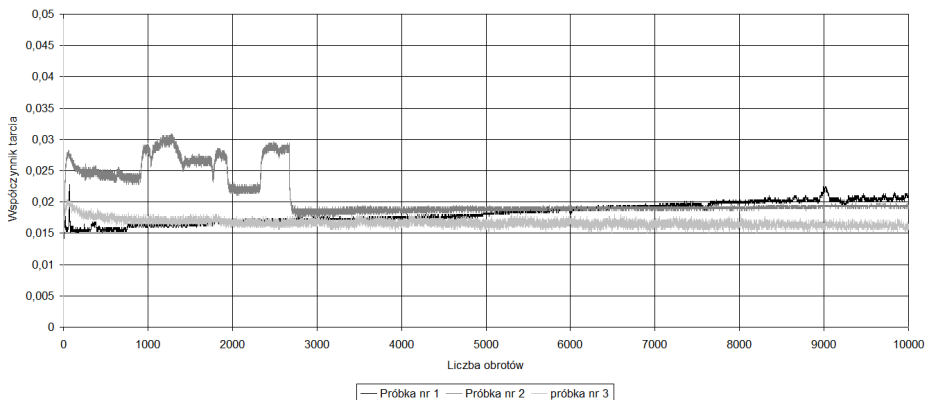
Podczas przeprowadzonych badań zaobserwowano negatywny wpływ zastosowania kieszeni smarowych na obu współpracujących powierzchniach (**Rys. 3**). Objawia się on poprzez wprowadzenie silnych wahań siły tarcia. Największe wahania zaobserwowano w przypadku próbki, na której kieszenie smarowe były ułożone w szyku promieniowym. Wyniki badań przedstawiono w odniesieniu do chwilowego współczynnika tarcia, który był obliczany jako stosunek siły tarcia do obciążenia normalnego. Porównując otrzymane wyniki z rezultatami wcześniej przeprowadzonych badań (**Rys. 5**), można zaobserwować, że w przypadku próbki losowej obecność dodatkowych kieszeni smarowych na powierzchni współpracującej wydaje się nie mieć wpływu na współczynnik tarcia. Zwiększył się natomiast okres, w którym następuje stabilizacja siły tarcia zaraz po starcie testu. Podobny skok można zaobserwować w przypadku próbki o szyku promieniowym dla testu we współpracy z gładką przeciwpróbką (**Rys. 5**).

Widoczna jest natomiast stabilizacja siły tarcia w przypadku współpracy teksturowanej przeciwpróbki z gładką tarczą (**Rys. 4**). Uzyskana siła tarcia mieszcząca się w przedziale 0,32–0,43 N jest na tym samym poziomie, jak w przypadku odwrotnym (współpracy teksturowanej tarczy z gładką przeciwpróbką). Sugeruje to, że nie ma znaczenia, czy powierzchnia teksturowana znajduje się na ruchomym bądź stacjonarnym elemencie.



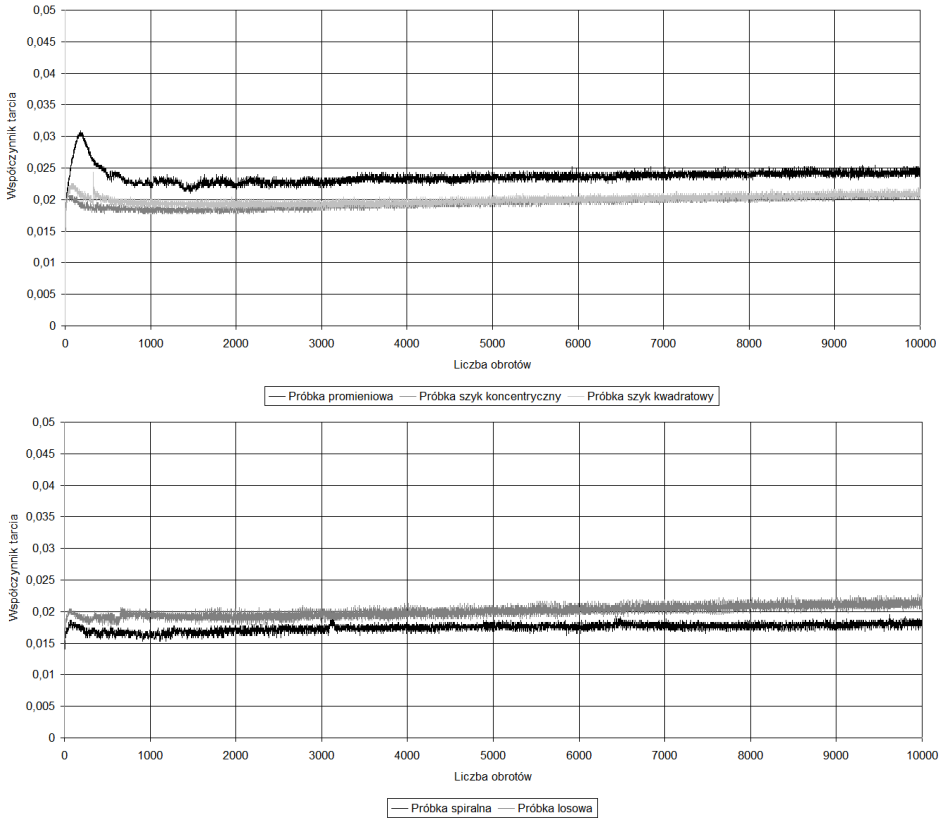
Rys. 3. Wyniki badań przeprowadzonych dla teksturowanych przeciwpróbek w skojarzeniu z teksturowaną tarczą o różnym sposobie ułożenia kieszeni smarowych

Fig. 3. Results of tests carried out for textured counter-specimens in contact with textured disc with different arrays of oil pockets



Rys. 4. Wyniki badań z trzech prób przeprowadzonych dla nieteksturowanych dysków i teksturowanej przeciwpróbki

Fig. 4. Results of tests from three untextured specimens and textured counter-specimen



Rys. 5. Wyniki badań z prób przeprowadzonych dla przeciwpróbki nieposiadającej kieszeni smarowych zamieszczone w publikacji [L. 8]

Fig. 5. Results for different oil pockets arrays in contact with untextured counter-specimen, published in [L. 8]

WNIOSKI

Obecność kieszeni smarowych na obu współpracujących powierzchniach przy współpracy materiałów typu twardy–twardy powoduje znaczny wzrost siły tarcia (nawet o 70%). Kolejnym efektem takiego skojarzenia jest brak stabilizacji siły tarcia przez cały czas trwania próby (próbka promieniowa) bądź wydłużenie okresu stabilizacji po rozpoczęciu współpracy (próbka w szyku losowym). Najbardziej korzystnym przypadkiem jest zastosowanie teksturowania jedynie dla jednej ze współpracujących powierzchni, przy czym obecność wgłębień na powierzchni stacjonarnej lub ruchomej wydaje się nie mieć znaczenia. Porównując wyniki badań, można wysnuć hipotezę, że szyk, w jakim zostały wykonane kieszenie smarowe, przy tym samym stopniu pokrycia, ma znaczenie przy szybkości stabilizacji dwóch powierzchni współpracujących.

LITERATURA

1. Nilsson B., Rosen B.-G., Thomas T.R., et al.: Oil pockets and surface topography: mechanism of friction reduction. XI international colloquium on surfaces. Chemnitz, Germany: Addendum, 2004.
2. Koszela W., Pawlus P., Galda L.: The effect of oil pockets size and distribution on wear in lubricated sliding. *Wear* 2007; 263: 1585–1592.
3. Etsion I.: State of the art in laser surface texturing. Proceedings of the 12th conference on metrology and properties of engineering surfaces, Rzeszów, Poland, 2009, pp. 17–20.
4. Woś S., Koszela W., Pawlus P.: Tribological behaviours of textured surfaces under conformal and non-conformal starved lubricated contact conditions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J, *Journal of Engineering Tribology* (w druku).
5. Wang X., Liu W., Zhou F., et al.: Preliminary investigation of the effect of dimple size on friction in line contacts. *Tribol Int* 2009; 42: 1118–1123.
6. Vilhena L.M., Sedlacek M., Podgornik B., et al. Surface texturing by pulsed Nd:YAG laser. *Tribol Int* 2009; 42: 1496–1504.
7. Wakuda M., Yamauchi Y., Kanzaki S., et al.: Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact. *Wear* 2003; 254: 356–363.
8. Wos S., Pawlus P., Koszela W.: The effect of oil pockets array on tribological behaviour of sliding elements. *Materiały konferencji NordTrib'2014*, Aarhus, Dania.

Summary

The aim of the study was to determine the tribological effects of texturing both surfaces of a friction pair. Oil pockets were made with the use of abrasive jet machining. Tests were carried out using a pin-on-disc machine in unidirectional sliding, the normal force was 20 N, and the sliding speed was 0.4 m/s. Before each test, one drop of lubricant (about 0.08 ml) was supplied to the inlet side of the contact zone. Tested discs made from 42CrMo4 steel of 50 HRC hardness were polished and textured by abrasive jet machining. Oil pockets had a diameter 300 μm and a depth of 10 μm , with a 5% area ratio. Dimples were positioned in one irregular and four regular arrays. Discs co-acted with smaller textured disc (counter-specimen) from the same material, with a hardness of 40 HRC. The oil pockets on the counter-specimen surface, arranged evenly in a rectangular array, had a diameter of 500 μm , a depth of 5 μm , and a pit-area ratio of 20%. The study indicated the negative effect of texturing both surfaces, which cause an increase in friction. Surface texturing of only one surface, stationary or moving, can be beneficial to the tribological performance of sliding pairs, causing a decrease in friction force.