

**Maciej MATUSZEWSKI\***

## **ZUŻYCIE MASOWE ELEMENTÓW PARY CIERNEJ Z POWIERZCHNIAMI ANIZOTROPOWYMI**

### **MASS WEAR OF ELEMENTS OF FRICTIONAL PAIR WITH ANISOTROPIC SURFACES**

#### **Słowa kluczowe:**

proces zużywania, kierunkowość struktury, styk konforemny

#### **Key words:**

wear process, texture direction, conformal contact

#### **Streszczenie**

W pracy przeanalizowano wpływ kierunkowości, jako jednej z cech struktury geometrycznej powierzchni, na intensywność procesu zużywania elementów par ciernych ze stykiem konforemny. Opisano cechy warstwy wierzchniej elementów maszyn ze szczególnym wyróżnieniem znaczenia kierunkowości SGP w aspekcie transformacji warstwy wierzchniej.

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych, w których jako czynniki wejściowe (niezależne) przyjęto: kąt przecięcia śladów obróbki na

---

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, tel. (052) 340-86-56, e-mail: matus@utp.edu.pl.

próbce i przeciwpróbce ( $0^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $60^\circ$  i  $90^\circ$ ) oraz docisk próbki i przeciwpróbki (300; 450 i 600 N). Miarą zachodzących zmian w badanej parze ciernej ze stykiem konforemnym była masa próbek (jej zmiana) kontrolowana po różnych drogach tarcia; stanowiła ona zatem czynnik wyjściowy (zależny).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że kąt przecięcia śladów obróbki na próbce i przeciwpróbce ma istotny wpływ na intensywność procesu zużywania. Zużycie jest największe dla kąta  $0^\circ$ , najmniejsze zaś dla kąta  $90^\circ$ . Stwierdzono także, że obserwowane zmiany mają mniejszy gradient dla większych wartości obciążenia próbek. Bezpośrednio potwierdzono w ten sposób istotność wzajemnego usytuowania śladów obróbki na współpracujących powierzchniach, a tym samym, lecz pośrednio – wpływ kierunkowości SGP na intensywność procesu zużywania elementów par ciernych.

## WPROWADZENIE

Cechy użytkowe współpracujących elementów maszyn, takie jak trwałość i niezawodność, są ściśle związane z własnościami i właściwościami warstwy wierzchniej (WW). Wynika to z tego, że procesy tarcia, które prowadzą do zużycia i uszkodzeń, oddziałują głównie na warstwę wierzchnią. Z uwagi na to, że stan WW w znaczący sposób wpływa na cechy eksploatacyjne elementów maszyn, np. na: odporność na zużywanie (ubytek masy, zmiana wymiarów liniowych), opory ruchu [**L. 1, 9, 13**], jest ona przedmiotem zainteresowania naukowców oraz obiektem licznych badań doświadczalnych. Celem tych badań jest poznawanie i rozszerzanie wiedzy o uzyskanych w procesie wytwórczym cechach powierzchni i ich wpływie na charakterystyki tribologiczne par ciernych. Wiedza uzyskana z tych badań umożliwia nadawanie warstwie wierzchniej elementów par kinematycznych cech zwiększających ich odporność na najczęściej destrukcyjne działanie wymuszeń eksploatacyjnych.

Celem badań opisanych w niniejszej pracy było zweryfikowanie istotności wzajemnego usytuowania śladów obróbki dla przebiegu i skutków procesów zużywania elementów pary ciernej ze stykiem konforemnym. Jako miarę pozwalającą ocenić tę istotność, przyjęto masę próbek, która zmieniała się w wyniku zachodzących zmian na współpracujących powierzchniach.

## CECHY WARSTWY WIERZCHNIEJ A PROCES ZUŻYWANIA

Analizując cechy warstwy wierzchniej (naprężenia, twardość, struktura, itp.) można stwierdzić, że w poszczególnych fazach istnienia wytworu nie są one stałe, lecz ulegają ciągłym zmianom w trakcie realizacji procesu wytwórczego. WW na tym etapie nazywana jest technologiczną warstwą wierzchnią (TWW). Jej cechy zmieniają się praktycznie po każdej wykonanej operacji czy też zabiegu technologicznym, mają więc charakter dynamiczny, a zmiany dotyczą zarówno wnętrza WW, jak i jej powierzchni. Całość tego procesu nazywana jest transformacją TWW. O cechach użytkowych elementów par kinematycznych decyduje stan WW tych elementów po zakończeniu ostatniej operacji procesu technologicznego i właśnie ten stan przyjmuje się jako TWW gotowego elementu i w takim ujęciu ma ona charakter statyczny.

Od chwili rozpoczęcia procesu eksploataowania obiektu technicznego, a więc od czasu, gdy na niego i jego elementy składowe zaczynają oddziaływać wymuszenia zewnętrzne, TWW przekształca się w EWW i rozpoczyna się proces jej transformacji, który podobnie jak w przypadku transformacji TWW jest procesem dynamicznym. Stan EWW zmienia się podczas całej fazy użytkowania. Cechą wspólną transformacji TWW i EWW jest więc dynamika tego zjawiska. W przypadku TWW, ze względu na przebieg eksploatacji, istotny jest stan na końcu etapu wytwarzania, natomiast dla EWW istotny jest jej stan bieżący [L. 1].

O właściwościach warstwy wierzchniej w dużej mierze decyduje stereometria powierzchni, czyli ukształtowanie zewnętrznej części warstwy wierzchniej. Ukształtowanie to określa się jako strukturę geometryczną powierzchni (SGP). Jest ona zbiorem mikronierówności powierzchni, będących śladami realizowanej obróbki lub skutkami procesu zużywania. Podstawowe wielkości opisujące SGP to: chropowatość, falistość, stopień anizotropowości powierzchni – kierunkowość śladów obróbki, odchyłki kształtu i wady powierzchni [L. 2, 5]. Duży wpływ na charakterystyki tribologiczne współpracujących powierzchni elementów maszyn mają parametry opisujące chropowatość i kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni [L. 7, 9, 12]. W literaturze przedmiotu do opisu stanu i zmian w SGP, najczęściej przyjmuje się różne parametry chropowatości, np. [L. 6, 12, 13]. Rzadziej do tego celu wykorzystuje się parametry kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni, a przecież ślady po obróbce są nieodłącznym rezultatem procesu wytwórczego. Ślady te mogą mieć różne: wymiary, kształt i rozmieszczenie, dlatego też

stanowią ważny element charakterystyki powierzchni i tym samym warstwy wierzchniej. Można więc stwierdzić, że dla procesu zużywania istotnym elementem struktury geometrycznej powierzchni jest również jej kierunkowość. Dotyczy to szczególnie par kinematycznych z konforemnym stykiem powierzchni współpracujących elementów par kinematycznych [L. 3, 4, 8, 10].

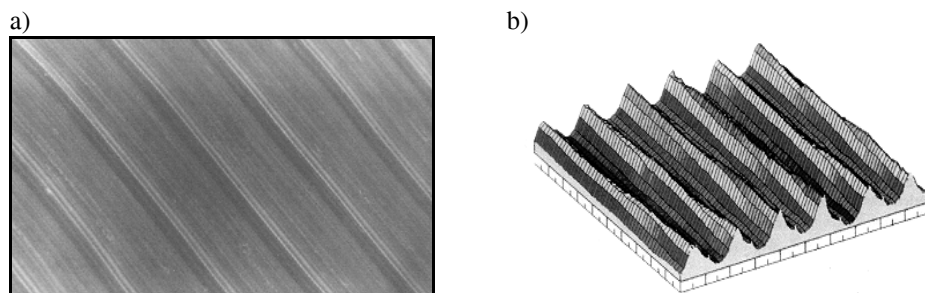
## BADANIA DOŚWIADCZALNE

### Cel, obiekt i metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu rozmieszczenia i ukierunkowania śladów po obróbce, przy konforemnym styku współpracujących elementów, na intensywność ich zużywania. Jako miarę intensywności procesu zużywania przyjęto zmianę (ubytek) masy, a więc czynnik, który często bywa bezpośrednim skutkiem zużywania (zużycie masowe).

W procesie wytwórczym elementów współpracujących ruchowo jedną ze stosowanych obróbek wykończeniowych jest szlifowanie. Taka obróbka stanowiła też ostatnią fazę przygotowania próbek do badań. SGP badanych próbek miała więc charakter anizotropowy z wyraźnym ukierunkowaniem śladów obróbki (**Rys. 1**). Przebieg zużywania obserwowano zmieniając względne usytuowanie śladów obróbki na współpracujących powierzchniach, uzyskując w ten sposób różne kąty współpracy struktur.

Poddane badaniom tribologicznym próbki i przeciwpróbki wykonane były odpowiednio: ze stali 102Cr6 oraz ze stali X210Cr12 i współpracowały na zaprojektowanym i wykonanym w Zakładzie Obrabiarek i Robotów Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, stanowisku do badań procesu zużywania [L. 11].



**Rys. 1. Struktura geometryczna powierzchni badanych próbek: a) w układzie 2D, b) w układzie 3D**

Fig. 1. Surface geometric structure samples: a) configuration 2D, b) configuration 3D

Twardość przeciwpółki zdecydowanie przewyższała (o 50%) twardość próbek, po to aby zmiany zachodziły przede wszystkim na powierzchni próbek. Wartości twardości wynosiły odpowiednio 60 HRC i 40 HRC. Stan przeciwpółki był okresowo kontrolowany i nie wykazywał istotnych oznak zużycia – ubytek masy, zmiany w SGP.

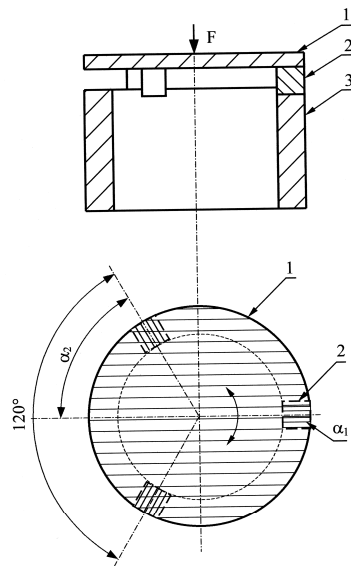
Badany węzeł tarcia smarowany był olejem maszynowym L-AN 68 i pracował przy następujących parametrach:

- prędkość ruchu względnego: 2,9 m/min (0,05 m/s),
- obciążenie: 300, 450 oraz 600 N (co odpowiadało teoretycznym naciskom w strefie styku odpowiednio: 1,0; 1,5 oraz 2,0 MPa).

W badaniach wartości parametrów przyjęto w oparciu o analizę informacji literaturowych oraz na podstawie badań wstępnych.

Badania przeprowadzono dla następujących wartości kątów ( $\alpha$ ) między charakterystycznymi śladami obróbki na próbkach i przeciwpółce:  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  i  $90^\circ$ .

Zasadę kojarzenia próbek i przeciwpółki w trakcie badań i wynikające z tego skojarzenie kątowe współpracujących struktur przedstawiono na **Rys. 2**.



**Rys. 2. Idea kojarzenia próbek i przeciwpółki ze względu na kąt  $\alpha$  ( $\alpha_1 = 0^\circ$  i  $\alpha_2 = 60^\circ$ ) przecięcia śladów obróbki: 1 – przeciwpółka; 2 – próbki, 3 – tuleja ustalająca próbki**

**Fig. 2. Idea of samples and countersample joint considering angle  $\alpha$  ( $\alpha_1 = 0^\circ$  and  $\alpha_2 = 60^\circ$ ) of machining trace intersection: 1– countersample, 2 – samples, 3 – locating samples bush**

W trzech rowkach tulei ustalającej próbki mocuje się nieruchomo badane próbki, które są rozmieszczone na obwodzie co  $120^\circ$ . Oscylacyjny ruch względny wykonuje przeciwpróbka, natomiast docisk przeciwpróbki do próbek (obciążenie układu) realizuje się przez napinanie sprężyny.

### Wyniki badań doświadczalnych

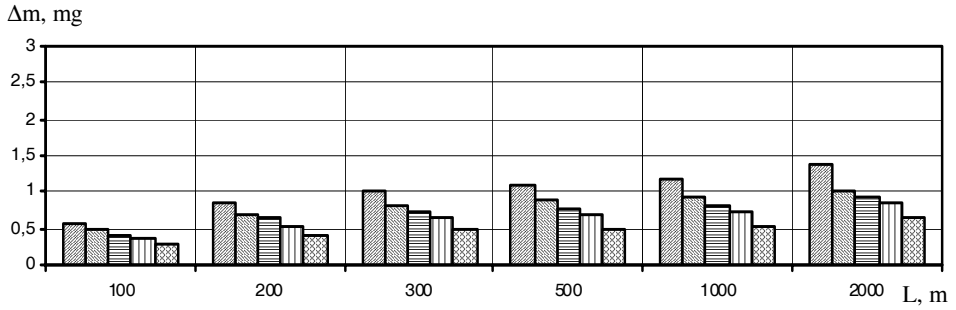
Liczba powtórzeń w badaniach wynosiła 8, a stwierdzony rozrzut wyników mieścił się w przedziale  $\pm 2,5\%$ . Dla uzyskanego rozrzutu wyników na podstawie analizy statystycznej, przy poziomie istotności testu  $\alpha = 0,05$ , stwierdzono, że różnice pomiędzy wynikami dla różnych wariantów badań (różne drogi tarcia oraz obciążenia) są statystycznie istotne.

Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono w postaci wykresów – **Rys. 3**. Transformację warstwy wierzchniej próbek w niniejszej pracy opisano ubytkiem masy w funkcji drogi tarcia – jednym z wielu zmiennej czynników towarzyszących transformacji. W czasie badań próbki ważono analityczną wagą laboratoryjną WAX 220 z dokładnością do 0,01 miligrama.

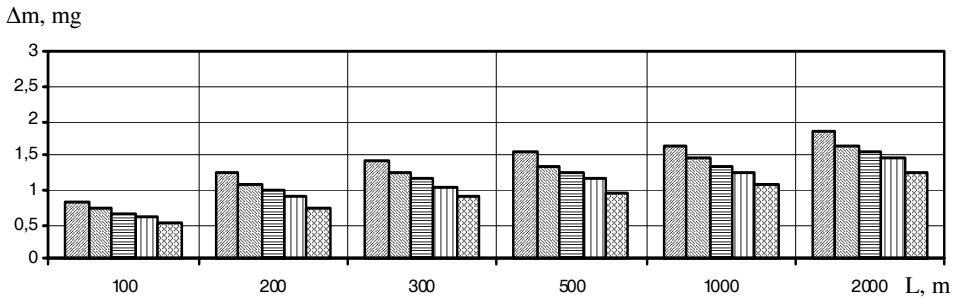
Na podstawie wyników badań przedstawionych na wykresach można stwierdzić, że zmiany masy próbek, a więc parametru przyjętego do opisu intensywności zużywania, są zależne od wartości kąta skojarzenia śladów obróbki. Dla kąta  $\alpha = 0^\circ$  zarejestrowano największy ubytek masy w stosunku do masy początkowej, natomiast dla kąta  $\alpha = 90^\circ$  zmiany te są najmniejsze. Dla kątów pośrednich, tj.  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $60^\circ$ , zmiany masy zawsze zawierają się pomiędzy wartościami dla kątów  $0^\circ$  i  $90^\circ$ . Taki charakter zmian tłumaczyć można tym, że przy kącie  $0^\circ$  (ślady są równoległe), mikronierówności „zaczepiają się” wzajemnie i wówczas ubytki materiału w rezultacie ścierania i ścinania są największe. Towarzyszą temu duże opory ruchu, co stwierdzono m.in. w [L. 6, 10]. Przy kącie  $90^\circ$  (ślady są do siebie prostopadłe), współpracujące powierzchnie stykają się wierzchołkami i przemieszczają się po nich powodując mniejsze ubytki materiału.

Taki charakter zmian obserwuje się dla wszystkich realizowanych warunków współpracy (różnych obciążeń). Stwierdzono ponadto, że dla większego obciążenia po takiej samej drodze tarcia zmiany masy w funkcji kąta przecięcia śladów są mniej intensywne. W badanym przedziale zmienności kąta przy obciążeniu 300 N i przy kącie  $90^\circ$  ubytek masy

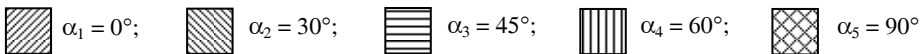
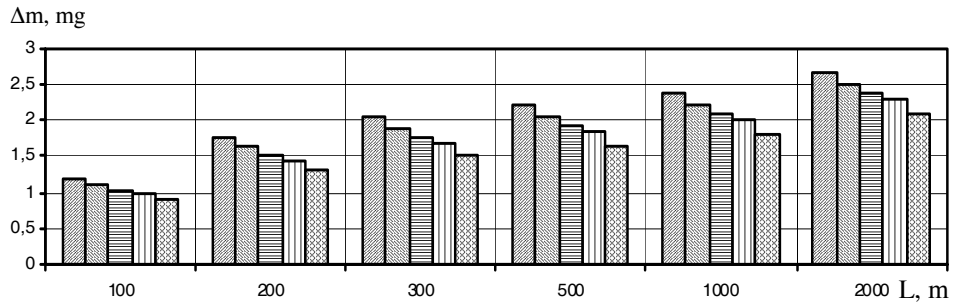
a)



b)



c)



**Rys. 3. Zmiany masy próbek  $\Delta m$  w funkcji drogi tarcia dla następujących wartości sił nacisku: a) 300 N, b) 450 N, c) 600 N**

**Fig. 3. Changes of samples mass  $\Delta m$  in function of friction distance for external loads: a) 300 N, b) 450 N, c) 600 N**

stanowi 50% wartości zarejestrowanej dla kąta  $0^\circ$  (dla drogi tarcia 100 m – zmiana od 0,6 do 0,3 mg), a przy obciążeniu 600 N (dwukrotnie większym) różnica ta wynosi odpowiednio 25% (zmiana od 1,2 do 0,9 mg). Taki jakościowo podobny obraz zmian zarejestrowano zarówno przy małych, jak i przy dużych wartościach drogi tarcia.

Na tej podstawie można stwierdzić, że cel pracy został osiągnięty. Poza zweryfikowaniem podstawowego założenia badań, jakim było wykazanie, że stopień anizotropowości struktury powierzchni ma wpływ na proces zużywania, a więc i na przebieg transformacji warstwy wierzchniej, potwierdzono także to, że intensywność zużywania zależy także od przyjętych i analizowanych warunków współpracy elementów.

## PODSUMOWANIE

Badania doświadczalne potwierdziły, iż przebieg i skutki transformacji eksploatacyjnej warstwy wierzchniej zależą od stereometrii powierzchni, opisaną parametrami kierunkowości. Celowe jest więc kontynuowanie badań rozszerzając zbiory czynników wejściowych o struktury powierzchni o różnym stopniu anizotropowości.

Wyniki badań mogą być przydatne przy wyborze optymalnego (przy kryteriach tribologicznych) sposobu obróbki, wiadomo bowiem, że każdy sposób pozostawia na powierzchni ślady, których rozmieszczenie zdefiniowane jest kinematyką narzędzia i przedmiotu obrabianego.

## LITERATURA

1. Burakowski T., Marczak R.: Eksploatacyjna warstwa wierzchnia i jej badania. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* z. 3/1995, s. 327÷337.
2. Burakowski T., Wierzchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*. WNT, Warszawa 1995.
3. Czarnecki H.: Analiza teoretyczna wpływu stereometrii powierzchni na działanie pary tribologicznej. *Tribologia* nr 4/2005, s. 19÷31.
4. Dąca J., Rudnicki Z., Warszzyński M.: Analiza wpływu topografii powierzchni na przebieg zjawisk tribologicznych. *Materiały XXI Sympozjonu PKM, Bielsko-Biała, WNT tom 1, Warszawa 2003, s. 213÷218.*
5. De Chiffre L.: Industrial survey on ISO surface texture parameters. *Annals of the CIRP*, 48/3/1999, pp. 463÷466.
6. Dowson D. (editors): *Experimental methods in tribology*. Tribology series 44, Elsevier 2004.



7. Hutchings I. M.: Tribology. Friction and wear of engineering materials. Elsevier, Cambridge 1992.
8. Latoś H.: Podstawy doboru kierunkowości i struktury powierzchni o określonych właściwościach tarciovych. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej nr 74, seria Konferencje nr 34. Wrocław 1999, s. 117÷124.
9. Matuszewski M.: Badanie wpływu wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni elementów par kinematycznych na proces ich zużycia. Praca doktorska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz 2008.
10. Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Influence of texture direction of kinematic pair elements surfaces on service operated layer transformation. Tribologia nr 4/2006, pp. 87÷97.
11. Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Significance meaning of texture direction of surfaces' geometric structure for course of wear process. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol. 9/2004, pp. 111÷115.
12. Pietruszewicz W.: Parametry chropowatości powierzchni i ich przydatność do określania cech użytkowych przedmiotu. Materiały konferencji „Wpływ technologii na stan warstwy wierzchniej” Poznań – Gorzów Wlkp. 1985, s. 631÷646.
13. Styp-Rekowski M.: Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych. Wydawnictwo Uczelniane ATR, seria Rozprawy nr 103, Bydgoszcz 2001.

**Recenzent:**  
**Jarosław SEP**

## Summary

**The article deals with the influence of texture direction, as one of the structure geometric features, on the intensity of wear process of elements of frictional pairs with conformal contact. Properties of the surface layer of machine elements have been described focusing on SGS direction significance in terms of the surface layer transformation.**

**Experimental tests results have been presented, in which such factors as: the angle of machining trace intersections on samples and countersamples (0°; 30°; 45°; 60° and 90°) and the sample and**

countersample pressure (300, 450 and 600 N) were accepted as input factors. The mass of samples (its changes) controlled along different friction routes was the measurement of changes occurring in the tested frictional pair with conformal contact.

On the basis of carried out experimental tests it was found that the angle of machining trace intersections on samples and countersamples has a significant influence on the intensity of the wear process. Wear is the biggest for angle 0 and the smallest for angle 90. It was also found that the change gradient is smaller for higher values of the sample load. Thus in this way significance of mutual location of the sample traces on cooperating surfaces has been proved and at the same time, though indirectly, the influence of SGS direction on the intensity of the frictional pair element wear process.