

Maciej MATUSZEWSKI*, Janusz MUSIAŁ*, Michał STYP-REKOWSKI*

STOPIEŃ IZOTROPOWOŚCI STRUKTURY POWIERZCHNI ELEMENTÓW MASZYN A PROCES ZUŻYWANIA

DEGREE OF ISOTROPY SURFACE STRUCTURE OF MACHINE ELEMENTS AND WEAR PROCESS

Słowa kluczowe:

struktura geometryczna powierzchni, izotropowość, sposób obróbki, proces zużycia

Key words:

surface geometric structure, isotropy, kind of machining, wear process

Streszczenie

W niniejszej pracy przeanalizowano wpływ ukształtowania struktury geometrycznej powierzchni na proces zużycia elementów par kinematycznych ze stykiem konforemny. Rozmieszczenie śladów obróbki określono stopniem izotropowości struktury. Omówiono cechy warstwy wierzchniej elementów maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem izotropowości struktury powierzchni. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na

* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, tel. (052) 340-86-56, e-mail: matus@utp.edu.pl, e-mail: jamusual@utp.edu.pl, e-mail: msr@utp.edu.pl.

zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym. Miarami procesu zużycia były: ubytek masy oraz zmiana parametru chropowatości Ra zarejestrowane dla struktur charakteryzujących się różnym stopniem izotropowości, a więc kształtem i rozmieszczeniem śladów obróbki. Wyniki badań potwierdziły istotność badanych czynników na intensywność procesu zużycia.

WPROWADZENIE

Stan ostatecznie ukształtowanej technologicznej warstwy wierzchniej w największym stopniu wpływa na proces eksploatacji i intensywność zachodzącego w niej zużycia. Stan warstwy wierzchniej (WW) wyznaczony jest zbiorem cech, które są opisane wielkościami parametrycznymi i nieparametrycznymi. To m.in. cechy: fizyczne, chemiczne, geometryczne, materiałowe itp. [L. 1]. Wśród tych cech istotne znaczenie dla procesu zużycia mają wielkości stereometryczne, opisujące strukturę geometryczną powierzchni (SGP). Strukturę tę tworzą nierówności powierzchni, czyli wzniesienia i wgłębienia, będące śladami realizowanej obróbki lub będące skutkami procesu zużycia. Parametry struktury geometrycznej powierzchni w dużym stopniu (niekiedy decydującym) determinują m.in. takie cechy użytkowe par kinematycznych jak trwałość, niezawodność itp. [L. 2, 3, 8].

Ukształtowanie struktury geometrycznej powierzchni jest funkcją przyjętego sposobu obróbki, jego kinematyki i parametrów technologicznych. Sposób rozmieszczenia charakterystycznych śladów obróbki na powierzchni – ich uporządkowanie lub losowość – jest określane stopniem izotropowości struktury.

SPOSÓB OBRÓBK I A STOPIEŃ IZOTROPOWÓCI SGP

Czynniki, które w procesie technologicznym determinują SGP, to wymuszenia kinematyczne, czyli kinematyczne parametry obróbki oraz narzędzie (geometria ostrza, rodzaj) użyte do operacji czy też zabiegu tego procesu.

Spośród wielkości opisujących SGP na charakterystyki tribologiczne największy wpływ mają parametry określające chropowatość oraz kierunkowość struktury, a więc parametry wpływające na stopień izotropowości struktury [L. 2, 3, 5, 8].

Chropowatość powierzchni powstaje w wyniku równoczesnego oddziaływania wielu niezależnych czynników zarówno losowych, jak i zdeterminowanych, wskutek czego posiada ona bardzo złożoną mikrogeometrię.

Powierzchnie obrobione skrawaniem posiadają silnie zaznaczoną składową zdeterminowaną, wynikającą z odwzorowania geometrii ostrza i posuwu, na której widoczne są niższego rzędu mikronierówności o charakterze losowym. Udział ich w ogólnej wysokości chropowatości wynosi od 15% dla obróbki zgrubnej do 65% tej wysokości dla obróbki wykończeniowej [L. 7].

Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni jest wynikiem przyjętej metody obróbki (np. sposobu skrawania i jego odmiany). Wynika ona z kinematyki procesu obróbki, czyli układu ruchów prostoliniowych lub obrotowych, nadawanych narzędziu i przedmiotowi obrabianemu.

Izotropia danego ośrodka ogólnie polega na tym, że we wszystkich kierunkach wykazuje on te same właściwości fizyczne lub geometryczne. Izotropowość SGP (I_z) oznacza więc jednakową strukturę powierzchni we wszystkich kierunkach. Jest to jednocześnie idealnie symetryczna struktura względem wszystkich możliwych osi symetrii.

Istnieje wiele sposobów określenia stopnia izotropowości SGP [L. 4, 7, 9]. Często stosowany jest sposób polegający na analizie funkcji autokorelacji, której kształt jest asymetryczny, smukły i wydłużony w jednym kierunku w przypadku powierzchni anizotropowych, natomiast okrągły i symetryczny dla powierzchni izotropowych [L. 7, 9]. Analizę przeprowadza się w przekroju dokonywanym w odległości wynoszącej 20% wysokości od najwyższego punktu funkcji autokorelacji w układzie 3D. Izotropowość wyraża się w procentach: od 0% (powierzchnia całkowicie anizotropowa) do 100% (powierzchnia całkowicie izotropowa).

Przyjmuje się następujący umowny podział stopnia izotropowości: $I_z < 20\%$ – powierzchnia anizotropowa, $I_z > 80\%$ – powierzchnia izotropowa [L. 7].

PROCES ZUŻYWANIA A STOPIEŃ IZOTROPOWOŚCI SGP – BADANIA DOŚWIADCZALNE

Cel i metodyka badań

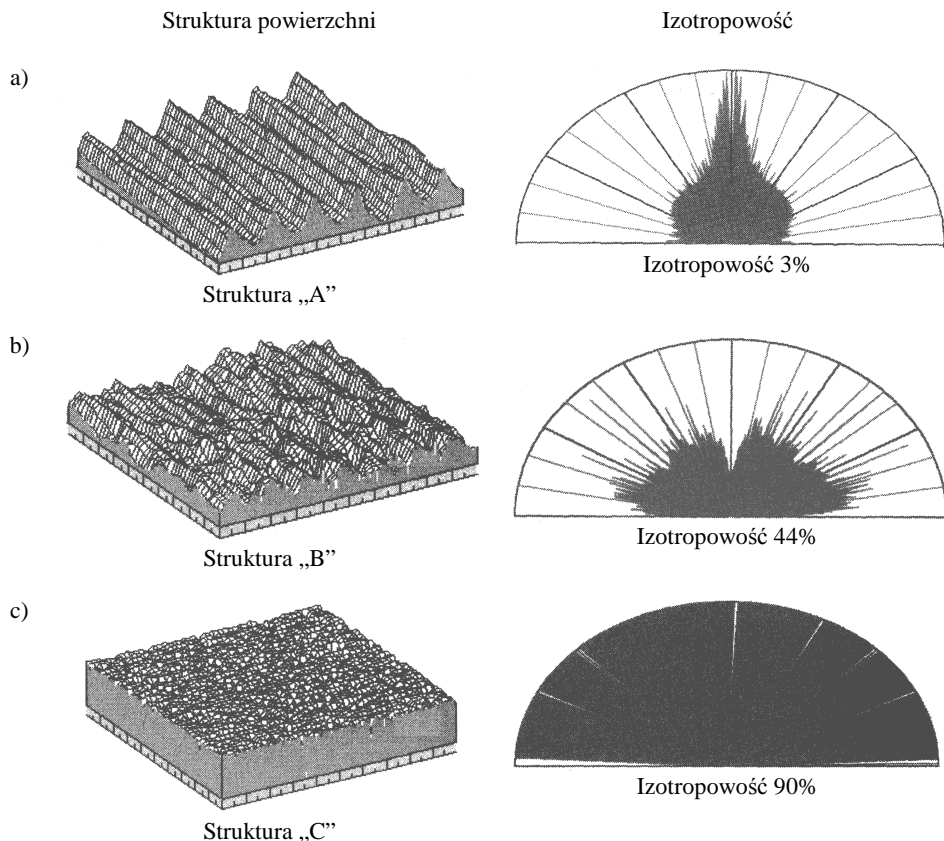
Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu stopnia izotropowości struktury, a więc kształtu i rozmieszczenia śladów po obróbce, na intensywność procesu zużywania. Przebieg zużywania obserwowano dla próbek o strukturach będących wynikiem obróbki: toczeniem, szlifowaniem oraz elektroerozyjnej (Rys. 1).

Izotropowość została określona za pomocą przyrządu Talyscan 150 firmy Taylor-Hobson z wykorzystaniem oprogramowania TalyMap Expert.

Na Rys. 2 przedstawiono dodatkowo zdjęcia badanych struktur.

Dla struktury A obserwuje się bardzo widoczne ukierunkowanie śladów obróbki. Dla struktury B ukierunkowanie śladów jest również widoczne, choć nie jest już tak wyraźne. Natomiast struktura C charakteryzuje się dużą losowością rozmieszczenia śladów.

Jako miarę procesu zużywania przyjęto zmianę masy próbek Δm (ubytek) oraz zmianę parametru chropowatości Ra jako parametru najczęściej używanego w praktyce przemysłowej.

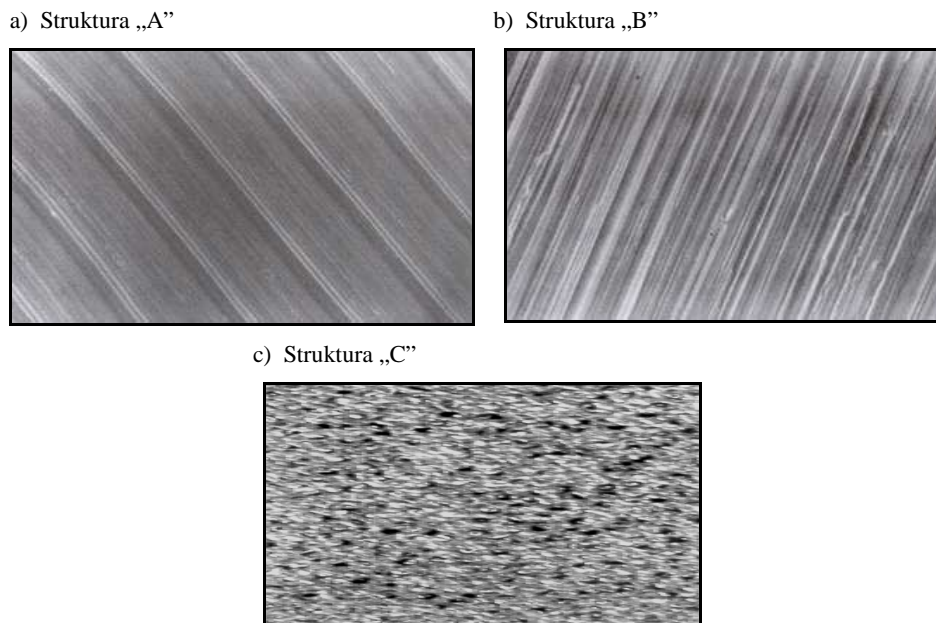


Rys. 1. Izotropowość struktur powierzchni przyjętych do badań po następujących obróbkach: a) toczenie, b) szlifowanie, c) elektroerozja

Fig. 1. Isotropy surface structures for research accepted following treatments: a) turning, b) grinding, c) EDM

Badania przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym [L. 6].

Tworzywem konstrukcyjnym, z jakiego wykonane były próbki, była ulepszona stal 102Cr6 o twardości 40 HRC, natomiast przeciwpróbka wykonana była ze stali X210Cr12 zahartowanej do twardości 60 HRC. Twardość przeciwpróbki zdecydowanie przewyższała (o 50%) twardość próbek, aby zmiany stanu struktury geometrycznej powierzchni występowały przede wszystkim w warstwie wierzchniej próbek. Przeciwpróbka posiadała zawsze strukturę anizotropową, jej stan był okresowo kontrolowany i nie wykazywał istotnych oznak zużycia.



Rys. 2. Zdjęcia struktur powierzchni przyjętych do badań po obróbkach: a) toczeniem, b) szlifowaniem, c) elektroerozją

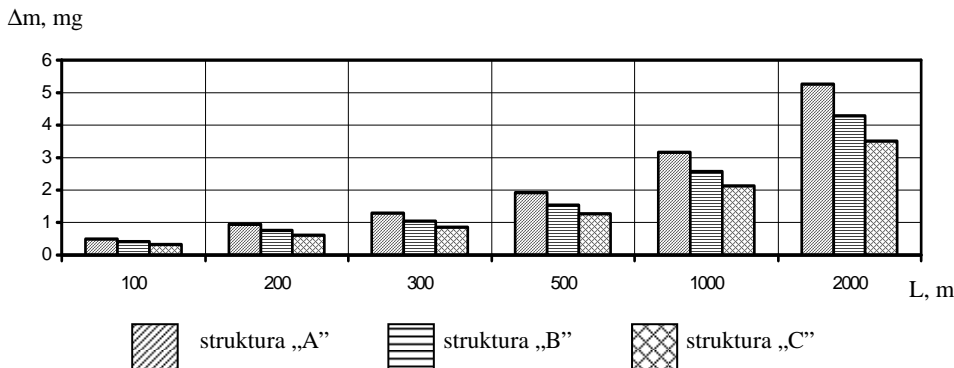
Fig. 2. Photos surface structures for resarch accepted following treatmens: a) turning, b) grinding, c) EDM

Próbki z przeciwpróbką współpracowały ze stykiem konforemnym, przy obciążeniu 450 N, co odpowiadało teoretycznym naciskom w strefie styku 1,5 MPa. Prędkość ruchu względnego podczas badań wynosiła 2,9 m/min (0,05 m/s), a próbki pracowały w ośrodku smarującym, jakim był olej maszynowy (L – AN 68).

Wyniki badań

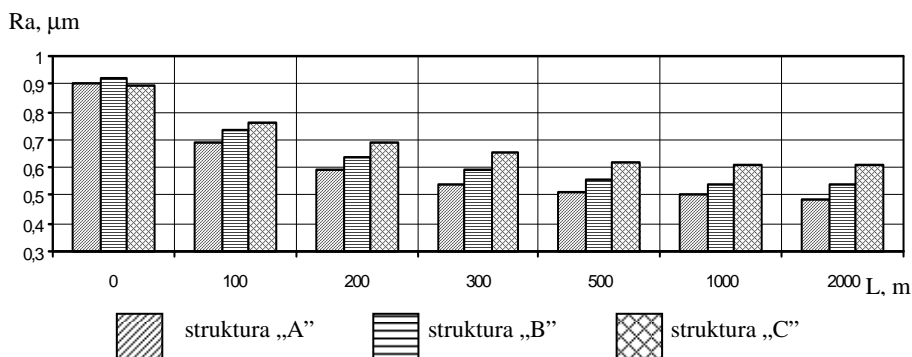
Wyniki badań doświadczalnych przedstawione zostały w postaci wykresów. Na **Rys. 3** przedstawione są zmiany masy próbek Δm (bezwzględny ubytek masy w stosunku do masy początkowej próbki) w funkcji drogi tarcia L dla przyjętych do badań struktur powierzchni o różnym stopniu izotropowości (wg **Rys. 1**).

Natomiast na **Rys. 4** zobrazowane są zmiany stanu struktury geometrycznej powierzchni, opisane zmianą parametru chropowatości Ra , także w funkcji drogi tarcia L dla struktur o przyjętym do badań stopniu izotropowości.



Rys. 3. Zmiany masy próbek Δm w funkcji drogi tarcia dla różnego stopnia izotropowości badanych struktur

Fig. 3. Change of mass samples in the function of friction distance for different degree of isotropy of resarch structures



Rys. 4. Zmiany stanu WW opisane zmianą wartości parametru chropowatości R_a w funkcji drogi tarcia, dla różnego stopnia izotropowości badanych struktur

Fig. 4. Change of surface layer state described the change of value of parameter roughness R_a in the function of friction distance for different degree of isotropy of resarch structures

Z przeprowadzonych badań wynika, że zmiany masy próbek, a więc parametru opisującego intensywność zużywania oraz zmiany parametru chropowatości R_a , opisującego zmiany w SGP, są zależne od stopnia izotropowości struktur, a więc od kształtu i rozmieszczenia śladów po obróbce.

Z wykresów przedstawiających ubytek masy próbek wynika, że dla struktury o dużym stopniu izotropowości – 90% – obserwujemy mniejszą intensywność zużywania w funkcji drogi tarcia niż dla struktur ukierunkowanych. Dla próbek o stopniu izotropowości 3% (struktura anizotropowa) zużycie po drodze tarcia wynoszącej 2000 m, wzrosło ok. 10,5 razy w stosunku do zużycia początkowego (po drodze tarcia 100 m), natomiast dla struktury izotropowej wzrosło ok. 4,5 razy.

W przypadku wykresów przedstawiających zmianę parametru chropowatości Ra , nie obserwuje się już tak widocznych różnic dla struktur jak w przypadku ubytku masy, jednakże wpływ stopnia izotropowości struktur również można zaobserwować. Dla struktury o małym stopniu izotropowości obserwuje się największe zmiany, a dla struktur o dużym stopniu izotropowości zmiany są najmniejsze. Dodatkowo zaobserwować można, że w początkowym okresie współpracy następuje intensywne zmiana wartości parametru chropowatości, a w późniejszym okresie – po drodze tarcia około 500 m – następuje zmniejszenie intensywności tych zmian i obserwujemy stabilizację. Jest to zgodne z założonym mechanizmem procesu zużywania.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych potwierdzono fakt, że proces zużywania w znaczący sposób zależy od charakteru struktury powierzchni, determinowanej sposobem obróbki.

Z uwagi na to, iż badania miały charakter badań wstępnych, a potwierdziły one wpływ stereometrii powierzchni na proces zużywania, celowe jest kontynuowanie badań rozszerzając zbiory czynników wejściowych o struktury o różnym stopniu izotropowości.

Wyniki badań umożliwią wybór optymalnego (przy kryteriach tribologicznych) sposobu obróbki ze względu na kształt i rozmieszczenie śladów po obróbce i uzyskanie w ten sposób pożądanej stereometrii powierzchni.

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T., Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa 1995.
2. Czarnecki H., Analiza teoretyczna wpływu stereometrii powierzchni na działanie pary tribologicznej, *Tribologia*, nr 4/2005, s. 19–31.
3. Dąca J., Rudnicki Z., Warszyński M., Analiza wpływu topografii powierzchni na przebieg zjawisk tribologicznych, *Materiały XXI Sympozjonu PKM, Bielsko-Biała, tom 1, WNT, Warszawa 2003*, s. 213–218.
4. Górecka R., Polański Z., *Metrologia warstwy wierzchniej*. WNT, Warszawa 1983.
5. Łunarski J., Tribotechnologia i jej relacje z tribologią. *Tribologia*, nr 2/2009, s. 71–80.
6. 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.
7. Oczko K.E., Lubimow W., *Struktura geometryczna powierzchni*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
8. Styp-Rekowski M., *Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych*. Wydawnictwo Uczelniane ATR, seria Rozprawy nr 103, Bydgoszcz 2001.
9. Thomas T.R., *Rough surfaces*, Imperial College Press, London 1999.

Summary

In this paper, the influence of figuration of surface geometric structure on the run of wear processes of frictional pairs is discussed. Arrangement of the traces of machining determined the structure degree of isotropy. The paper discusses the characteristics of surface layers with particular emphasis on surface structure isotropy. The results of experimental investigations were carried out on a test stand designed and made for the research. As the measures of wear processes, one accepted the following quantities: mass decrement of samples and changes of roughness parameters Ra . The results of experimental investigations registered for the different degrees of isotropy of structures and thus traces of machining. The investigations confirm the influence of the tested factor on the intensity of the wear process.