Charakterystyka topografii stref kontaktu w połączeniach stykowych powierzchni kształtowanych w procesie szlifowania

The topographic characteristics of contact zones in the surface contact formed in the grinding process

WOJCIECH KACALAK
FILIP SZAFRANIEC*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.148
English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono charakterystyki topografii stref kontaktu w połączeniach stykowych powierzchni kształtowanych w procesie szlifowania.
SŁOWA KLUCZOWE: SGP, szlifowanie, połączenia stykowe

In the publication a topographic characteristics of the contact zones in the contact joints for the surfaces formed in the grinding process was presented.
KEYWORDS: stereometric structure of the surface, grinding, contact joints

Analiza topografii powierzchni technicznych i ich właściwości stereometrycznych jest coraz ważniejszym zadaniem w ocenie jakości procesów obróbki, a także w ocenie jakości produktów i prognozowaniu ich właściwości eksploatacyjnych [1, 3, 12, 14]. Wzrost wymagań w zakresie dokładności i właściwości elementów, dążenie do redukcji ich masy i rozmiarów (minimalizacji zużycia materiałów), a jednocześnie do wzrostu ich obciążalności i wytrzymałości, a także rozwój technologii wytwarzania spowodowały opracowanie wielu nowych metod pomiarów i urządzeń pomiarowych oraz znaczne powiększenie liczby parametrów wykorzystywanych w ocenie cech stereometrycznych powierzchni.

Dobór takich parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych, które tworzyłyby komplementarny zbiór, zapewniały wysoką skuteczność klasyfikacyjną i były łatwe do interpretacji, wciąż jest trudnym zadaniem. Wymaga ono rozwiązania wielu problemów, opracowania i upowszechnienia systemów do obliczeń i analiz oraz wspomagania podejmowania decyzji zgodnych z ustaleniami konstrukcyjnymi, technologicznymi i eksploatacyjnymi [2–8].

Użytkowane powierzchnie zazwyczaj są przeznaczone do współpracy z innymi powierzchniami, a zatem rozmieszczenie, rozmiary i cechy statystyczne potencjalnych pól kontaktu mają duże znaczenie [10, 11, 13, 15, 16]. Wiele znanych parametrów oceny topografii powierzchni wynika z postrzegania tej powierzchni jako obiektu geometrycznego. Uwzględnienie cech typowych dla obiektu materialnego daje przesłanki do ważnych analiz [2, 13]. Były one podstawą opracowania i zastosowania nowych zbiorów parametrów do oceny cech stereometrycznych powierzchni [3–9, 15, 16] zależnych od:

- wartości i cech rozkładu pierwszej pochodnej zarysu (w tym cech statystycznych wartości zbliżonych do zera);
- rozkładu rzędnych wierzchołków powierzchni i zarysów;
- rozkładu odległości wzniesień i wgłębień w określonym kierunku;
- rozmiarów, położenia i odległości pól prawdopodobnego styku z powierzchnią współpracującą o określonej topografii lub z powierzchnią równoważną statystycznie, dla określonych warunków zbliżenia powierzchni;
- rozkładu kątów pochylenia linii łączących sąsiednie wierzchołki powierzchni;
- rozkładu wartości stosunku wysokości do pierwiastka z pola wzniesienia;
- rozkładu wartości stosunku obwodu do pierwiastka z pola wzniesienia powierzchni ponad określony poziom;
- cech opisujących kształt wierzchołków nierówności i pól ich przecięcia na określonym poziomie.

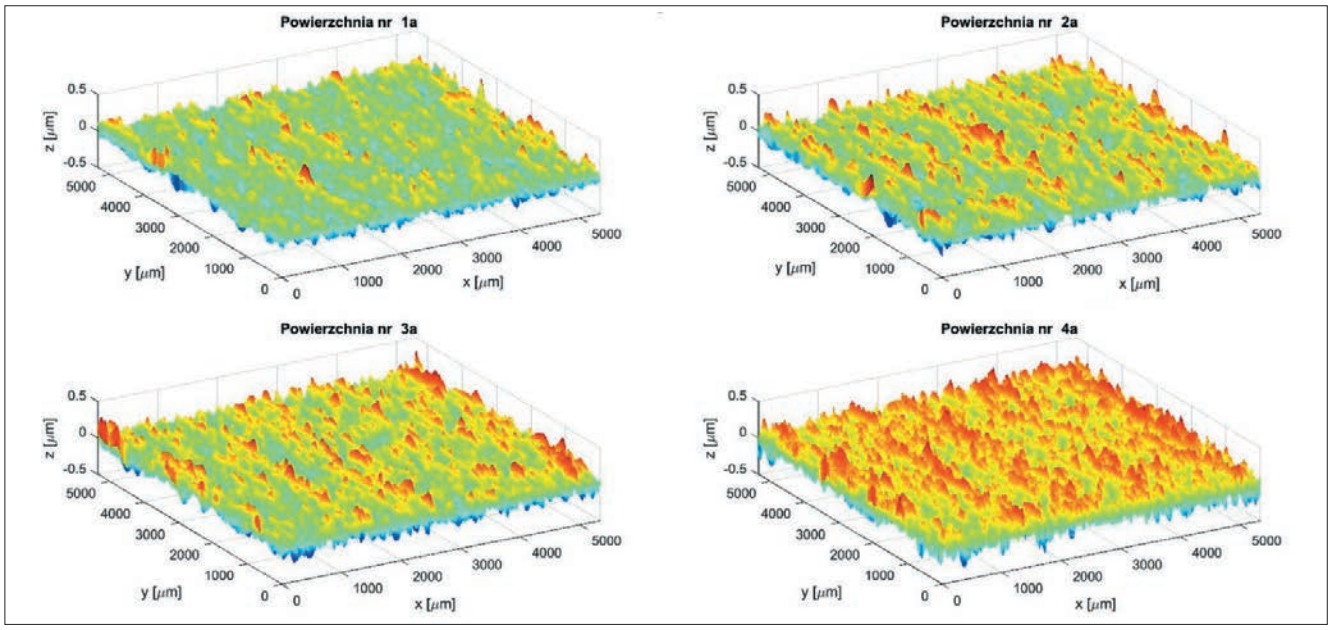
Metodyka badań

W celu wyznaczenia charakterystyki topografii stref kontaktu w połączeniach stykowych przeprowadzono badania 4 różnych powierzchni po procesie szlifowania z wykorzystaniem systemu pomiarowego Talysurf CCI 6000 firmy Taylor Hobson. Dla każdej z tych powierzchni wykonano akwizycję danych w 2 miejscach. Pozyskano 4 pary fragmentów powierzchni o wymiarach 5,33 mm × 5,33 mm, dla których wyznaczono parametry amplitudowe *Sa*, *Sq*, *Sp*, *Sv* i *St* oraz – dodatkowo – średnią objętość materiału wzniesień na powierzchni jednostkowej *Smmr* i średnią objętość wgłębień *Smvr* (wyniki pomiarów zamieszczono w tabl. I). Widoki 3D analizowanych powierzchni (nr 1*a*, 2*a*, 3*a* i 4*a*) przedstawiono na rys. 1.

TABLICA I. Parametry 3D powierzchni po szlifowaniu, oznaczonych symbolami 1*a*–4*b*

Nr	*Sa*, µm	*Sq*, µm	*Sp*, µm	*Sv*, µm	*St*, µm	*Smmr*, µm	*Smvr*, µm
1*a*	0,0602	0,0752	0,4101	0,2987	0,7088	0,2987	0,4101
1*b*	0,0704	0,0881	0,4782	0,3286	0,8068	0,3286	0,4782
2*a*	0,0613	0,0767	0,3572	0,3048	0,6620	0,3048	0,3572
2*b*	0,0715	0,0896	0,4564	0,3352	0,7916	0,3352	0,4564
3*a*	0,0637	0,0806	0,3625	0,3222	0,6847	0,3222	0,3625
3*b*	0,0747	0,0942	0,4138	0,3679	0,7792	0,3679	0,4138
4*a*	0,0738	0,0927	0,3960	0,4650	0,8610	0,4650	0,3960
4*b*	0,0880	0,1107	0,4636	0,5053	1,0282	0,5053	0,4636

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wk5@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej



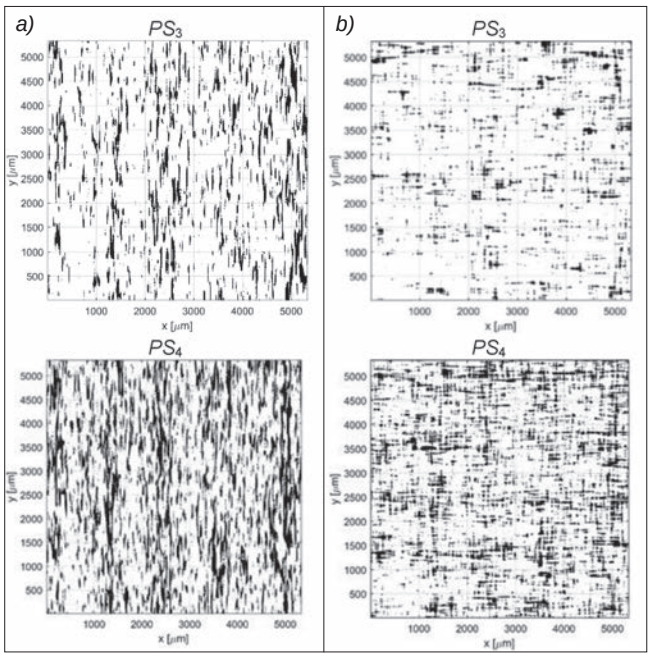
Rys. 1. Widoki 3D powierzchni kształtowanych w procesie szlifowania

Dokonano analizy cech stref kontaktu tych par powierzchni (przyjęto oznaczenia: *a* – dla pierwszej powierzchni, *b* – dla drugiej powierzchni jako powierzchni współpracującej). W tym celu w środowisku obliczeniowym MATLAB opracowano aplikacje, które zawierały procedury umożliwiające wyznaczenie cech stref kontaktu w funkcji zbliżenia powierzchni. Wartości zbliżenia przyjęto z zakresu mniejszego od granicznego:

$$(St(a) + St(b)) - (Sa(a) + Sa(b))$$

gdzie: $St(a)$ i $St(b)$ – wartości parametru *St* dla powierzchni *a* i *b*; $Sa(a)$ i $Sa(b)$ – wartości parametru *Sa* dla powierzchni *a* i *b*.

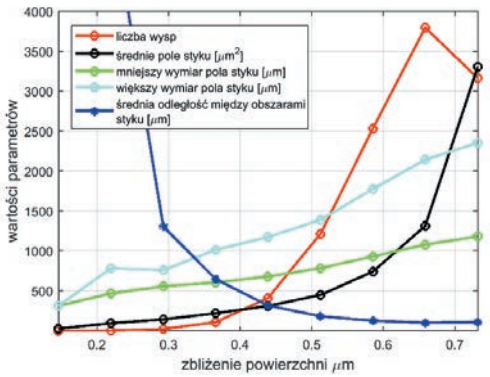
Badania przeprowadzono w przedziale 5÷40% wartości ($St(a) + St(b)$). Powierzchnie zbliżano do siebie z zachowaniem równoległości (||) oraz prostopadłości (⊥) kierunków śladów obróbkowych. Sumując wszystkie obszary styku *PS* (rys. 2) na poziomie 40%($St(a) + St(b)$), wyznaczono całkowite powierzchnie pól styku (tabl. II), które są zdecydowanie większe dla połączeń stykowych o równoległym położeniu śladów obróbkowych.



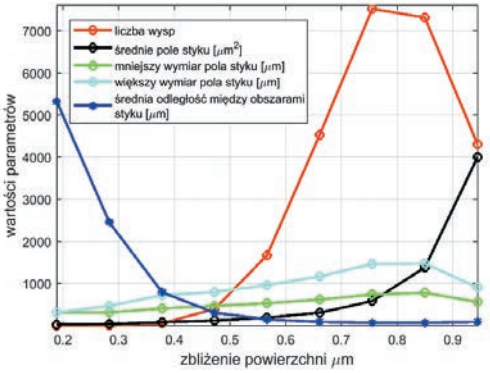
Rys. 2. Pola styku *PS* na poziomie 40%($St(a) + St(b)$) dla powierzchni nr 3 i 4 (widok z góry): *a*) połączenie stykowe dla równoległych śladów obróbki (||), *b*) połączenie stykowe dla prostopadłego skojarzenia śladów obróbki (⊥)

TABLICA II. Całkowita powierzchnia pól styku na poziomie 40% ($St(a) + St(b)$)

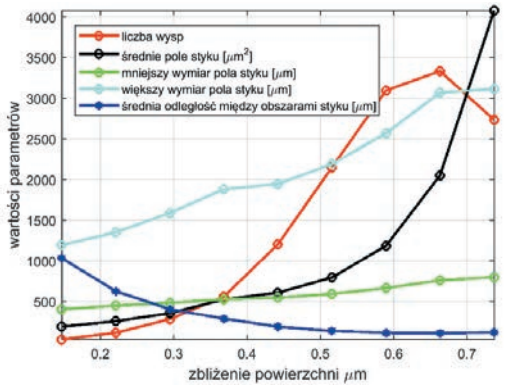
Całkowita powierzchnia pól styku w analizowanym obszarze, mm^2	
(⊥)	(||)
0,2032	1,2370
0,7636	2,3304
1,8495	3,8399
5,8952	7,3838



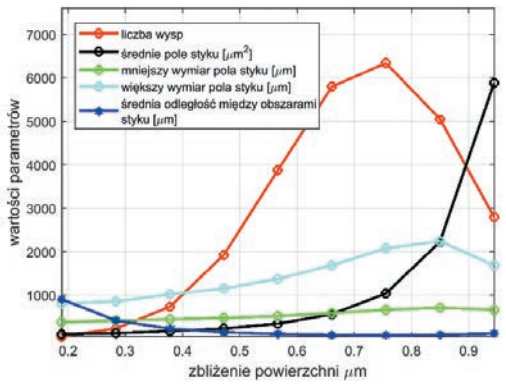
Rys. 3. Parametry obszarów styku dla powierzchni nr 3 (⊥)



Rys. 4. Parametry obszarów styku dla powierzchni nr 4 (⊥)



Rys. 5. Parametry obszarów styku dla powierzchni nr 3 (||)



Rys. 6. Parametry obszarów styku dla powierzchni nr 4 (||)

Dla każdego poziomu zbliżenia wyznaczano: liczbę pól styku (wysp), średnie pole styku, mniejszy oraz większy wymiar pola styku, średnią odległość między obszarami styku. Wartości parametrów obszarów styku dla wybranych powierzchni zestawiono na rys. 3–6.

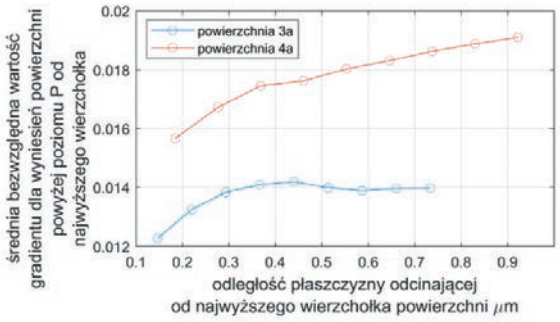
Interpretacja wyników i podsumowanie

Parametry opisujące pola styku powierzchni współpracujących, kojarzonych z zachowaniem równoległości śladów obróbkowych oraz ich prostopadłości, wykazują następujące cechy:

- Liczba pól styku dla prostopadłych skojarzeń śladów obróbkowych jest mała przy niewielkich zbliżeniach powierzchni i znacząco się zwiększa dla większych zbliżeń. Stosunek liczby pól styku dla zbliżenia na poziomie 0,4 µm i maksymalnej liczby pól wynosi: dla powierzchni nr 3 – ok. 15, a dla powierzchni nr 4 – ok. 50.
- Liczba pól styku dla równoległych skojarzeń śladów obróbkowych jest dość duża dla niewielkich zbliżeń powierzchni i stopniowo się zwiększa dla większych zbliżeń. Stosunek liczby pól styku dla zbliżenia na poziomie 0,4 µm i maksymalnej liczby pól wynosi: dla powierzchni nr 3 – ok. 4, a dla powierzchni nr 4 – ponad 6.
- Maksymalna liczba pól styku dla skojarzeń prostopadłych śladów obróbkowych wynosi od 140 do 285 mm^{-2}, a dla równoległych skojarzeń śladów obróbkowych – od 115 do 220 mm^{-2}.
- Stosunek pola powierzchni do objętości materiału pod powierzchnią, opisujący rozwinięcie powierzchni, jest skorelowany z liczbą pól styku. Im większa jest średnia bezwzględna wartość gradientu powierzchni, tym większa liczba pól styku (rys. 7).

Z opisanych relacji wynikają zalecenia dotyczące maksymalizacji sztywności stykowej połączeń. Wygładzanie powierzchni o małych odchyłkach kształtu, powodujące zmniejszenie amplitudy składowych o wysokiej częstości (dużym gradiencie), zmniejsza liczbę pól styku, lecz znacząco powiększa pola kontaktów. Wówczas skojarzenie prostopadłe śladów obróbkowych może być korzystne. Wygładzanie wprowadza nowe ślady obróbkowe, co oznacza, że od topografii – zdeterminowanej przez układ śladów szlifowania i kolejnych w procesie wygładzania – zależy wiele cech połączeń stykowych.

Często stosowane w różnych analizach parametry, zestawione w tabl. I, mają zbliżone wartości, natomiast parametry opisujące cechy potencjalnych pól kontaktów pozwalają na wyraźne różnicowanie cech eksploatacyjnych powierzchni. Z tego wynika zdolność klasyfikacyjna i przydatność techniczna parametrów.



Rys. 7. Średnia bezwzględna wartość gradientu dla wyniesień powierzchni powyżej poziomu P, określanego od najwyższego wierzchołka

LITERATURA

1. Grzesik W. „Wpływ topografii powierzchni na właściwości eksploatacyjne części maszyn”. *Mechanik*. 88, 8–9 (2015): s. 587–893.
2. McCool J.I. “Comparison of models for the contact of rough surfaces”. *Wear*. 107 (1986): s. 37–60.
3. Kacalak W. i in. „*System do analizy i oceny topografii powierzchni technicznych*”. Projekt R03 040 03, 2010.
4. Kacalak W., Tandecka K. „Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania”. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 5 (2011).
5. Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz. „Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni”. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 57 (2011): s. 542–546.
6. Kacalak W., Tomkowski R., Lipiński D., Szafraniec F. „System oceny struktury geometrycznej powierzchni po obróbce ściernej”. *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 219–226.
7. Kacalak W., Szafraniec F., Ściegienka R. „Topografia powierzchni elementów ceramicznych szlifowanych z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnej powierzchni czynnej”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1180––1182. DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.307.
8. Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.G. “A method and new parameters for assessing the active surface topography of diamond abrasive films”. *Journal of Machine Engineering*. 16, 4 (2016): s. 95–108.
9. Kacalak W., Różański R., Lipiński D. “Evaluation of classification ability of the parameters characterizing stereometric properties of technical surfaces”. *Journal of Machine Engineering*. 16, 2 (2016): s. 86–94.
10. Lipiński D., Kacalak W. “Metrological aspects of abrasive tool active surface topography evaluation”. *Metrology and Measurements Systems*. 23, 4 (2016): s. 567–578. DOI: 10.1515/mms-2016-0043.
11. Lipiński D., Kacalak W. „Zastosowanie metod analizy obrazu do oceny powierzchni czynnej narzędzia ściernego”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1152–1153. DOI: 10.17814 /mechanik. 2016.8-9.293.
12. Lubimow W., Oczoś K.E., Łabudzki R.K. „Klasyfikacja struktur geometrycznych powierzchni (SGP)”. *Obróbka ścierna, podstawy i technika. Zbiór prac XIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej*, 2000.
13. Majumdar A., Bhushan B. “Fractal model elastic-plastic contact between rough surfaces”. *Journal of Tribology*. 113 (1991): s. 1–11.
14. Pawlus P. „*Topografia powierzchni – pomiar, analiza, oddziaływanie*”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005, s. 165–168.
15. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D. “Evaluation of the surface topography after precision machining”. *Journal of Machine Engineering*. 12, 4 (2012): s. 71–80.
16. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D. “Methodology of evaluation of extra smooth surfaces with the use of new evaluation parameters”. *Proceedings of the International Conference on Surface Metrology*, 2012, France, s. 64–71.