

Analiza struktury geometrycznej powierzchni w ujęciu stochastycznym

Machine surface texture analysis in terms of stochastic approach

ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.511

W artykule zaprezentowano metodę analizy danych struktury geometrycznej powierzchni obrobionych przy wykorzystaniu zależności między rozkładem amplitudy mikronierówności a wymiarem fraktalnym rzędnych powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: analiza stochastyczna powierzchni, wymiar fraktalny

The paper presents a method of surface texture analysis using the relationship between the amplitude distribution and a fractal dimension of the surface.

KEYWORDS: stochastic analysis of the surface, fractal dimension

Podstawą do wnioskowania o jakości powierzchni obrobionej są zarejestrowane dane pomiarowe dwu- lub trójwymiarowe powierzchni. Pomiary wykonywane są różnymi metodami i dają możliwość oceny właściwości powierzchni oraz wpływu czynników ją kształtujących [3].

Najczęściej opis powierzchni ogranicza się do wyznaczenia parametrów powierzchni, i jej funkcjonalność oceniana jest za pomocą parametrów, które wyznaczane są przy założeniu, że powierzchnia jest realizacją stacjonarnego procesu ergodycznego [7].

Właściwości powierzchni

Struktura geometryczna powierzchni obrobionej jest skumulowanym wynikiem wszystkich procesów kształtujących. Można wyróżnić cztery stany, w których znajdować się może powierzchnia obrobiona:

- Stan powierzchni jako wynik procesu stochastycznego. Cechy charakterystyczne powierzchni: struktura geometryczna powierzchni (SGP) ma charakter losowy, występuje brak okresowości, trendu, brak zależności między próbkami danych, parametry powierzchni opisywane są rozkładami prawdopodobieństwa.
- Stan powierzchni jako wynik procesu niestabilnego. Cechy charakterystyczne powierzchni: SGP ma charakter losowy, występują zależności między próbkami danych, proces jest niestabilny, okresowy.
- Stan powierzchni jako wynik procesu ustabilizowanego o zdefiniowanej zdolności wytwórczej. Cechy charakterystyczne powierzchni: SGP ma charakter zdefiniowany procesem technologicznym, opis powierzchni zgodny jest z modelem deterministycznym, występują zależności między próbkami danych.
- Stan powierzchni jako wynik procesu chaotycznego. Cechy charakterystyczne powierzchni: SGP ma charakter deterministyczny, niewielkie zmiany w parametrach procesu mogą powodować znaczne zmiany w powierzchni.

Przejścia pomiędzy różnymi stanami powierzchni obrobionej powoduje współdziałanie dwóch parametrów modelu:

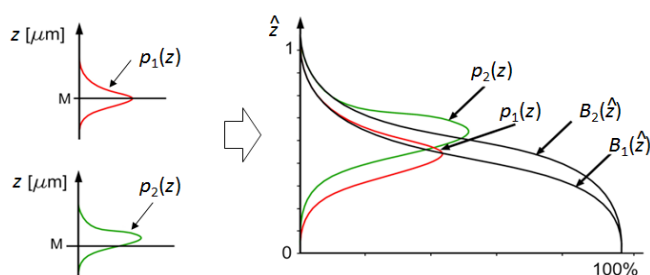
- czynnika technologicznego, ilustrującego proces technologiczny wpływający na jakość technologiczną powierzchni obrobionej,
- ustabilizowania procesu wytwarzania, które ustala się na podstawie wartości wskaźnika zdolności systemu wytwórczego C_{pk} .

Fraktalne właściwości powierzchni

Badania teoretyczne powierzchni obrobionych odnoszą się do właściwości określanych mianem fraktalnych – parametry struktury geometrycznej powierzchni zależą od skali. Badania eksperymentalne wskazują jednak, że także zmiana skali powoduje, że obserwowane parametry fraktalne ulegają zmianom. Zachowując jednak skalę, można potraktować powierzchnię jako fraktal o cechach samopodobieństwa i można dla niej wyznaczyć jeden parametr – wymiar fraktalny. Niezależnie od metody wyznaczenia wartości wymiaru fraktalnego (wymiar Hausdorffa, cyrkłowy, pudełkowy, masowy, korelacyjny), będzie on zawsze określał relację między powierzchnią lub objętością fraktala a jego długością. Wartość wymiaru fraktalnego dla powierzchni przyjmuje wartości niewymierne z przedziału od 2 do 3, wskazując jednocześnie, w jaki sposób powierzchnia obrobiona wypełnia przestrzeń, w której jest osadzona.

Z wypełnieniem przestrzeni chropowatości związana jest funkcja udziału materiałowego, która dla danej wysokości cięcia wskazuje na udział procentowy pełnego materiału dla mierzonej powierzchni [4]. W pracy [5] oraz [7] zaprezentowano zmodyfikowany gaussowski model fraktalny w zastosowaniu do topografii powierzchni. Model łączy geometrię fraktalną z krzywą udziału materiałowego.

Analizując krzywe udziału materiałowego dla tego samego procesu, stwierdzono duże podobieństwo ich parametrów. Dla celów porównawczych wprowadzono więc znormalizowaną krzywą udziału materiałowego. Dla danych rozkładu wysokości policzono odpowiadające znormalizowane krzywe udziału materiałowego $B_1(\hat{z})$ oraz $B_2(\hat{z})$, gdzie \hat{z} jest wysokością znormalizowaną $0 \leq \hat{z} \leq 1$. Przeskalowano każdy zbiór danych i przypisano im model gaussowski w celu uzyskania rozkładu znormalizowanych wysokości (rys. 1).



Rys. 1. Znormalizowane krzywe udziału materiałowego $B_1(\hat{z})$ oraz $B_2(\hat{z})$

* Prof. nadzw. dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

Dla znormalizowanych funkcji gęstości prawdopodobieństwa p_1 i p_2 , znormalizowane krzywe udziału materiałowego można opisać znaną zależnością (1).

$$B_1(\hat{z}) = \int_{\hat{z}}^1 p_1(\tau) d\tau \quad \text{oraz} \quad B_2(\hat{z}) = \int_{\hat{z}}^1 p_2(\tau) d\tau \quad (1)$$

Badając wpływ wartości wymiaru fraktalnego powierzchni Sfd na wysokość znormalizowanej krzywej udziału materiałowego dla każdego $0 < \hat{z} < 1$, można stwierdzić, że jeżeli $Sfd_1 < Sfd_2$, to

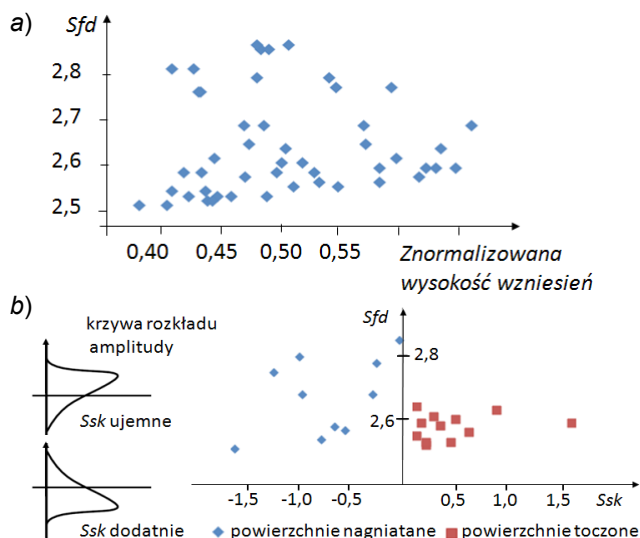
$$B(\hat{z}; Sfd_1) < B(\hat{z}; Sfd_2) \quad (2)$$

Model fraktalny topografii powierzchni zdefiniowany w [5] dla profilu powierzchni wskazuje, że wysokość znormalizowanej krzywej nośności $B(\hat{z})$ wzrasta z wartością wymiaru fraktalnego dla wszystkich znormalizowanych wysokości $0 < \hat{z} < 1$. Co więcej, dla większości powierzchni wysokość nierówności jest mocno skorelowana z wymiarem fraktalnym, tak że $B_1(\hat{z}) < B_2(\hat{z})$, jeżeli $Sfd_1 < Sfd_2$ dla wszystkich $0 < \hat{z} < 1$.

Analiza wymiaru fraktalnego dla powierzchni po toczeniu i nagniataniu

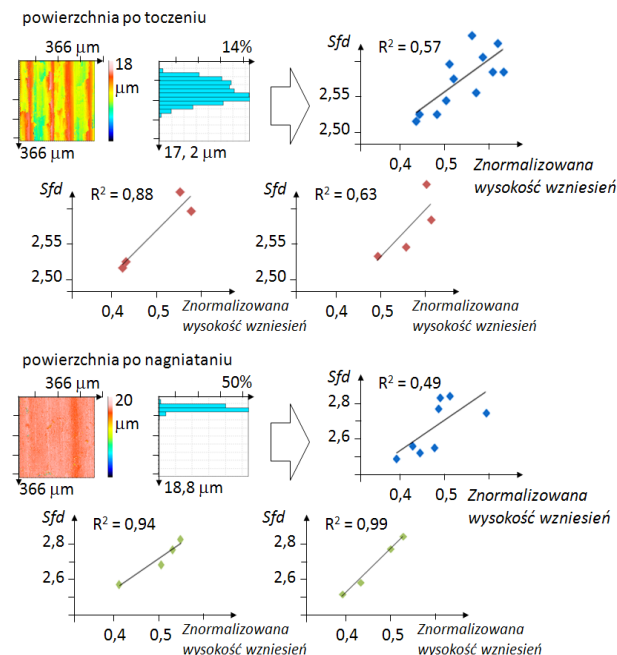
Jak wspomniano, struktura geometryczna powierzchni jest skumulowanym wynikiem wszystkich procesów kształtujących i w przypadku, gdy jej stan jest wynikiem procesu ustabilizowanego o zdefiniowanej zdolności wytwórczej, to w zależności od natężenia czynnika technologicznego uzyskana zostanie powierzchnia mniej lub bardziej zgodna jest z modelem deterministycznym.

Metodyka badań obejmowała wykonanie dwóch eksperymentów – prób toczenia i prób nagniatania. Analizie poddano pomiary powierzchni z trzykrotnie powtórzonych dwunastu prób toczenia (cztery geometrie ostrza: TNMX 160408-WF, ostrze zmodyfikowane TNMG 160408-PF, TNMG 160404-PF; stal normalizowana C45; posuw 0,1, 0,2 i 0,3 mm/obr, prędkość skrawania 100 m/min, głębokość skrawania 0,5 mm), a następnie nagniatania (głębokość nagniatania 6, 8 i 10 μm). Powierzchnie zmierzono mikroskopem CCI 6000. Wyznaczono wymiar fraktalny Sfd oraz wartość amplitudy dla największej wartości znormalizowanej funkcji gęstości prawdopodobieństwa $p(\hat{z})$ (znormalizowana wysokość wzniesień).



Rys. 2. Zależność wymiaru fraktalnego od znormalizowanej wysokości wzniesień (a) oraz od parametru skośności Ssk (b)

Zależność wymiaru fraktalnego od znormalizowanej głębokości wzniesień oraz skośności wskazuje, że nie można potraktować stanu powierzchni obrobionej jako wyniku procesu stochastycznego, lecz należy analizować powierzchnię z uwzględnieniem czynnika technologicznego. Na rys. 3 dokonano rozdziału danych z rys. 2a uwzględniając czynnik technologiczny (toczenie i nagniatanie). Zestawienie wartości wymiaru fraktalnego w funkcji znormalizowanej wysokości wzniesień wykazuje się w tym przypadku znaczną zależnością i ma sens fizyczny dla procesu.



Rys. 3. Analiza zależności współczynnika Sp/Sz w funkcji wymiaru fraktalnego Sfd dla danych po toczeniu i nagniataniu

Podsumowanie

Artykuł zawiera rozważania dotyczące analizy przestrzeni nierówności z wykorzystaniem wymiaru fraktalnego oraz znormalizowanej wysokości wzniesień. W zależności od technologii tworzenia powierzchni, zwiększająca się wartość znormalizowanej wysokości wzniesień powoduje zwiększenie Sfd dla toczenia i nagniatania.

LITERATURA

- Gawlik J., Magdziarczyk W., Wojnar L. „Analiza fraktalna struktury geometrycznej powierzchni”. *Konferencja KZZ*, Zakopane 2011: s. 382–386.
- Grzesik W., Broł S. “Wavelet and fractal approach to surface roughness characterization after finish turning of different workpiece materials”. *Journal of Materials Processing Tech.* Vol. 209, No. 5 (2009): pp. 2522–2531.
- Kacalak W. „Metodyka badań i analiz oraz podstawy modelowania i symulacji procesów obróbki ściernej”. *Profesor Wojciech Kacalak doctor honoris causa Politechniki Poznańskiej*. Poznań: Politechnika Poznańska, 2015.
- PN-EN ISO 25178-2 (2012) Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni (oryg.).
- Whitehouse D. “*Handbook of surface metrology*”. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1994.
- Zawada-Tomkiewicz A. “Application of machined surface image analysis for identification of suitable parameters of turning as a pre-operation”. *12th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces*, Rzeszów 2009, pp. 167–171.
- Zawada-Tomkiewicz A. “*Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrobionej powierzchni*”. Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, 2012.