

Wykorzystanie wymiaru fraktalnego do identyfikacji podobieństwa powierzchni

The use of fractal dimension to the identification of the similarity surface

KRZYSZTOF ŻAK
MARIUSZ RZAŚA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.528

W pracy podjęto próbę zastosowania wymiaru fraktalnego do identyfikacji powierzchni po obróbce skrawaniem. Celem jest określenie, czy wymiar fraktalny może stanowić miarę diagnostyczną do oceny podobieństwa powierzchni. Praca zawiera opis i wyniki badań eksperymentalnych dla powierzchni po toczeniu, szlifowaniu i nagniataniu. Wyniki pracy mogą mieć zastosowanie w konstruowaniu systemów diagnostycznych. **SŁOWA KLUCZOWE:** wymiar fraktalny, identyfikacja powierzchni, diagnostyka procesu

This paper attempts to use the fractal dimension to identify the surface after the machining process. The objective is to determine whether the fractal dimension can provide a diagnostic measure to evaluate the similarity of the surface. The work contains a description and experimental results for the surface after turning, grinding and burnishing. The results of the work can be used in constructing diagnostic systems.

KEYWORDS: fractal dimension, surface identification, process diagnostics

Najważniejszą współcześnie technologią kształtowania elementów maszyn i urządzeń jest obróbka skrawaniem. Rola tej techniki wytwarzania w wielu gałęziach przemysłu wyraźnie się wzmacnia. Spowodowane jest to możliwością skracania serii i zwiększania różnorodności produkowanych wyrobów oraz stosowaniem nowych materiałów konstrukcyjnych o wymaganych właściwościach mechanicznych i eksploatacyjnych [1, 2]. Toczenie stali hartowanej (45–60 HRC) narzędziami skrawającymi z CBN zostało uznane za alternatywę dla szlifowania. Jednak efektywne wdrożenie tego procesu w przemyśle wymaga głębszej analizy funkcjonalnej powierzchni, która zależy od topografii powierzchni opisanej przez parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni.

W pracy przedstawiono sposób określenia cech geometrycznych powierzchni na podstawie analizy fraktalnej. Za twórcę współczesnej geometrii fraktalnej uznaje się Benoît B. Mandelbrota, który jako pierwszy użył słowa „fraktal”. Fraktale charakteryzują się tym, że posiadają pewne cechy podobieństwa, które można wyrazić liczbowo [3–5]. Własność tą znalazła zastosowanie w zagadnieniach technicznych [6,7]. Jednym z parametrów opisujących fraktale jest wymiar fraktalny. Wymiar fraktalny zbioru A stanowi miarę skali podobieństwa obrazu.

$$d(A) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(A, \varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}}$$

gdzie: $N(A, \varepsilon)$ określa minimalną liczbę o promieniu $\varepsilon > 0$ potrzebną do pokrycia zbioru A .

* Dr inż. Krzysztof Żak (k.zak@po.opole.pl), dr hab. inż. Mariusz Rzaśa, prof. PO (m.rzasa@po.opole.pl) – Politechnika Opolska

Wymiar fraktalny może zatem być miarą podobieństwa służącą do identyfikacji procesów [8, 9] która opiera się na podobieństwie (autopodobieństwie) obrazu. Ponieważ powierzchnię po skrawaniu można przedstawić w postaci obrazu, możliwe jest zatem wykorzystanie wymiaru fraktalnego do jej identyfikacji.

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie próby wyznaczenia wymiaru fraktalnego powierzchni po skrawaniu, jako miary podobieństwa tej powierzchni. Przeprowadzono badania dla powierzchni po toczeniu ostrzem z CBN, szlifowaniu ściernicą z Al_2O_3 i nagniataniu tocznym.

Opis badań

Próby toczenia przeprowadzono na próbkach ze stali 41Cr4 (odpowiednik AISI 5140) o twardości około 55 ± 1 HRC. Do skrawania użyto płytek ostrzowych z narożami z CBN CB 7015 o symbolu TNGA 160408 S01030 firmy Sandvik Coromant. Szlifowanie przeprowadzono ściernicą z elektrokorundu monokrystalicznego 32A o wymiarach $350 \times 25 \times 127$ mm. Natomiast nagniatanie przeprowadzono z doprowadzeniem medium chłodząco-smarującego (MCS) zawierającego 85% nafty i 15% oleju maszynowego. Wyjściowa chropowatość Sa dla wszystkich powierzchni wynosi około $0,2 \mu m$.

Warunki prowadzenia trzech wymienionych operacji podano w tabl. I.

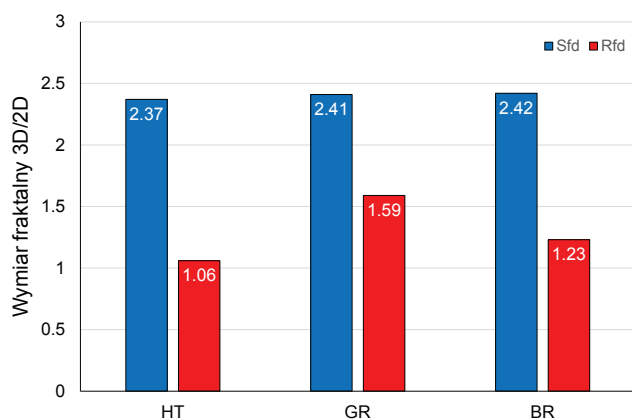
TABLICA I. Zestawienie warunków badań

Rodzaj operacji	Warunki procesu
Toczenie (HT) na twardo ostrzem z CBN TNGA 160408 S01030	$v_c = 150$ m/min, $f = 0,06$ mm/obr $a_p = 0,15$ mm
Szlifowanie (GR) tarcza z elektrokorundu monokrystalicznego $350 \times 25 \times 127$ 32A	około $n = 650$ obr/min $f = 0,35$ m/min
Nagniatanie kulką z Si_3N_4 (BR) po toczeniu na twardo	Kulka o średnicy 12 mm, siła nacisku 400 N, MCS: 85% nafty i 15% oleju

Pomiary topografii i chropowatości powierzchni przeprowadzono na profilometrze TOPO-01P z promieniem zaokrąglenia igły równym $2 \pm 0,5 \mu m$. Wszystkie próby toczenia i nagniatania zostały przeprowadzone na 3-osiowej tokarce CNC GENOS L200 firmy OKUMA, natomiast próby szlifowania przeprowadzono na szlifierce uniwersalnej do wałków typu SWA 25L. Niezbędne obliczenia oraz wizualizację topografii powierzchni prowadzono w programie Mountains Map v 6 firmy Digital Surf.

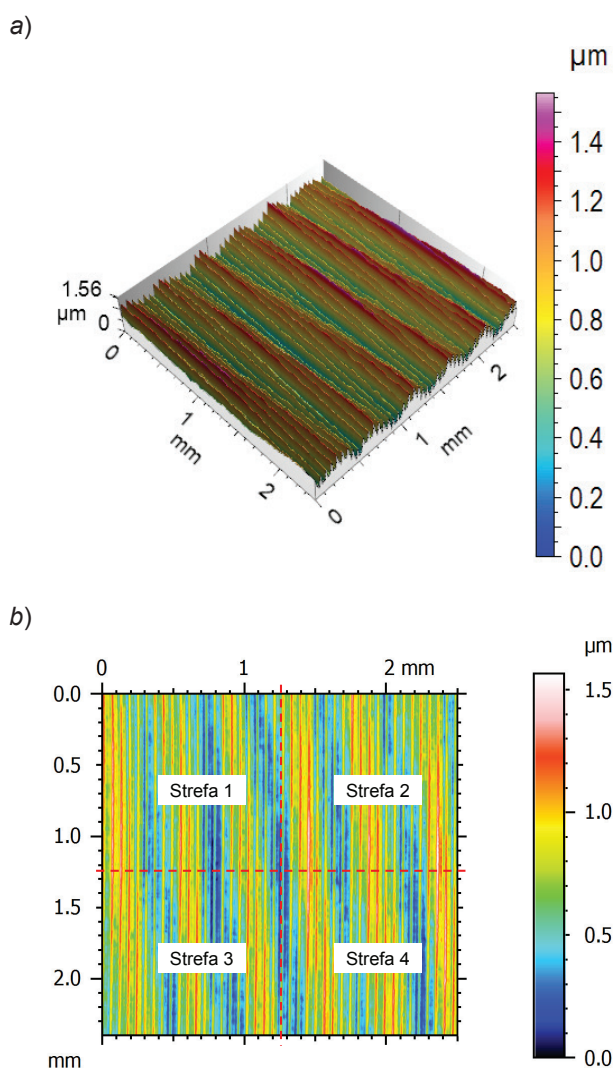
Na pierwszym etapie badań przeprowadzono ocenę wpływu rodzaju obróbki na wymiar fraktalny. Wyniki badań przedstawiono na rys. 1. Przeanalizowano następujące procesy: toczenia na twardo (HT), szlifowania (GR) i na-

gniatacia (BR). Kolorem niebieskim zaznaczono wymiary fraktalne dla powierzchni 3D (Sfd), natomiast kolorem czerwonym dla pojedynczego profilu (Rfd). Jak wynika z przedstawionych wyników badań, wartość wymiaru fraktalnego zależy od struktury geometrycznej powierzchni.



Rys. 1. Wpływ obróbki na wymiar fraktalny Sfd/Rfd

W celu oceny, czy za pomocą wymiaru fraktalnego możliwe jest porównanie powierzchni, podzielono próbkę o wymiarach $2,5 \times 2,5$ mm (rys. 2a) na 4 równe części (rys. 2b).



Rys. 2. Przykład topografii powierzchni po toczeniu na twardo (HT) (a) oraz sposób podziału do analizy fraktalnej (b)

Dla tak wydzielonych stref próbek obliczono wymiar fraktalny. Wyniki obliczeń dla powierzchni po toczeniu (HT), szlifowaniu (GR) i nagniataniu (BR) przedstawiono w tabelicy II. Wymiar fraktalny Sfd dla czterech stref przyjmuje stałą wartość około 2,3 dla próbki po toczeniu. Analizując pozostałe próbki po szlifowaniu i nagniataniu, można zauważyć, że wymiar fraktalny jest wrażliwy na rodzaj przeprowadzonej obróbki. Na przykład, dla próbki po szlifowaniu wymiar fraktalny dla całej powierzchni wynosił $Sfd = 2,41$, ale podczas analizy wybranych fragmentów powierzchni wymiar fraktalny zmieniał się w zakresie 2,35–2,38, co może świadczyć o uwzględnieniu pozostałości powierzchni po toczeniu. Powierzchnia przed operacją szlifowania została przetoczona i po zmierzeniu chropowatość powierzchni $Sa = 0,4$ mm.

TABLICA II. Zestawienie wyników badań

Analizowana strefa	Sfd (HT)	Sfd (GR)	Sfd (BR)
Strefa 1	2,36	2,35	2,44
Strefa 2	2,37	2,37	2,46
Strefa 3	2,34	2,38	2,43
Strefa 4	2,35	2,37	2,44

Uzyskanie zbliżonej wartości wymiaru fraktalnego stanowi potwierdzenie słuszności przyjętego założenia, że wymiar fraktalny może być parametrem określającym podobieństwo powierzchni generowanych w różnych operacjach obróbkowych.

Podsumowanie

W pracy przeprowadzono analizę możliwości zastosowania wymiaru fraktalnego jako miary podobieństwa struktury powierzchni po obróbce skrawaniem. Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że wymiar fraktalny zmienia swoją wartość w zależności od rodzaju obróbki skrawaniem. Świadczy to, że miara ta jest czuła na strukturę powierzchni. Przeprowadzenie obliczeń dla tej samej próbki, ale dla wybranych fragmentów powierzchni wykazało, że wartości wymiaru fraktalnego odzwierciedlają podobieństwo struktury powierzchni po obróbce skrawaniem. Możliwe jest zatem zastosowanie wymiaru fraktalnego jako jednego z parametrów określających podobieństwo powierzchni.

LITERATURA

- Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa, WNT, 2010.
- Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. Warszawa, WNT, 2006.
- Petingen H.-O., Jurgens H., Saupe D. „Granice chaosu-Fraktale”. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.
- Winnicki I. „Fraktale wokół nas i kilka słów o chaosie”. Warszawa, Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki, nr 4 (2010): s. 169–184.
- Zawada-Tomkiewicz A. „Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrabianej powierzchni”. Monografia nr 224, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2012.
- Konkol J. „Wykorzystanie geometrii fraktalnej do określania odporności na pęknięcie betonu modyfikowanego metakaolinitem”. *Budownictwo i Architektura*. T. 12, nr 3 (2013): s. 177–184.
- Marek M. „Ocena fraktalna powierzchni krzepnięcia”. *Archives of Foundry*. Vol. 3, No. 10 (2003): PAN Katowice, s. 17–22.
- Ambroziak R., Sekulska-Nalewajko J., Matulski M. „Analiza wymiaru fraktalnego okrzemek”. *Automatyka*. T. 9, z. 3 (2005): s. 513–524.
- Żak K. „Areal field and fractal based characterization of hard surfaces produced by different machining operations”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 16, No. 1 (2016): pp. 24–32.