

# Narzędzia do analizy porównawczej stanu struktury geometrycznej powierzchni ukształtowanej toczeniem

## Tools for comparative analysis of a surface texture formed by turning

STANISŁAW ADAMCZAK  
JACEK ŚWIDERSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.143>  
English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Przedstawiono możliwości oceny stanu struktury geometrycznej powierzchni ukształtowanej za pomocą toczenia z wykorzystaniem poszczególnych grup parametrów oraz wybranych funkcji SGP. Analizie poddano powierzchnie uzyskane z zastosowaniem różnych wartości posuwu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** struktura geometryczna powierzchni, trójwymiarowe parametry struktury geometrycznej powierzchni

*The paper presents methods of evaluating the surface texture machined by turning using individual groups of parameters and selected SGP functions. Surface parameters obtained using different feed rates were analyzed.*

**KEYWORDS:** surface texture, 3D surface texture parameters

W ostatnich latach rozwój nowych technik pomiaru struktury geometrycznej powierzchni, należących do systemu klasyfikacji przedstawionego w PN-EN ISO 25178-6:2011 [8] określającego klasę metod profilowania liniowego, oraz metod oceny topografii przestrzennej umożliwił powstanie nowych parametrów oraz funkcji charakteryzujących topografię powierzchni.

W praktyce przemysłowej w zdecydowanej większości przypadków do chwili obecnej wykorzystywane są jednak wyłącznie stykowe metody pomiaru profilu chropowatości z użyciem przenośnych profilometrów stykowych ze ślizgaczem lub laboratoryjnych profilometrów stykowych bez ślizgacza, umożliwiających pomiar profilu pierwotnego, składającego się z zarysu kształtu, falistości i chropowatości. Do oceny stanu powierzchni wytwarzanych elementów wykorzystywany jest praktycznie wyłącznie parametr chropowatości  $R_a$ , czyli średnia arytmetyczna rzędnych profilu [1].

Pomiary topografii powierzchni pozwalają lepiej opisać naturę powierzchni. Większość oddziaływania powierzchni ma charakter trójwymiarowy, dlatego jego opisu nie można ograniczać do analizy profilu.

Pod koniec XX w. w wyniku prac prowadzonych na uniwersytecie w Birmingham zdefiniowano pierwsze 14 parametrów opisujących liczbowo nierówności powierzchni 3D. Są to parametry: amplitudowe ( $S_q$ ,  $S_z$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$ ), przestrzenne ( $S_{ds}$ ,  $S_{td}$ ,  $S_{tr}$ ,  $S_{al}$ ), hybrydowe ( $S_{dq}$ ,  $S_{sc}$ ,  $S_{dr}$ ) oraz funkcjonalne ( $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$ ,  $S_{vi}$ ). Opublikowano je w słynnej „Blue Book” [5]. Obowiązujący zestaw parametrów struktury geometrycznej powierzchni jest zawarty w normie PN-EN ISO 25178-2:2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzena – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni [7]. Norma definiuje parametry w następujących grupach: parametry wysokościowe, para-

metry przestrzenne, parametry hybrydowe, funkcje i związane z nimi parametry oraz pozostałe parametry.

Współczesne pakiety oprogramowania do analizy struktury geometrycznej powierzchni umożliwiają obliczanie kilkudziesięciu parametrów. Przedstawianie wszystkich parametrów dla danego rodzaju powierzchni jest nieuzasadnione. Dobór parametrów odpowiednich do wybranej aplikacji, zapewniający pełną charakterystykę powierzchni, wymaga wiedzy i doświadczenia od przeprowadzającego taką analizę. Prawidłowa selekcja parametrów ma na celu uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy badana struktura geometryczna powierzchni będzie w stanie zapewnić niezbędne walory konstrukcyjne i eksploatacyjne.

Dobór parametrów do oceny struktury geometrycznej powierzchni powinien zostać poprzedzony analizą przeznaczenia konstrukcyjnego elementu oraz warunków eksploatacyjnych. Należy uwzględnić rodzaj styku badanej powierzchni z innymi elementami (sztywny, sprężysty), rodzaj obciążenia (statyczne, dynamiczne) oraz czy jest to powierzchnia ruchoma [2, 3, 6].

### Obiekt badań

Pomiary przeprowadzono na elementach walcowych ze stali WCL o średnicy 49 mm. Obróbka odbywała się na centrum tokarskim DMG Alpha 500 z następującymi parametrami:

- prędkość skrawania  $v_c$  – 360 m/min,
- posuw na obrót  $f_n$  – 5, 30, 60, 90, 120, 150  $\mu\text{m}/\text{obr}$ ,
- promień krawędzi skrawającej  $r_n$  – 7,8  $\mu\text{m}$ ,
- promień naroża  $r_\epsilon$  – 0,8 mm,
- płytki DCGT 11 T3 08 – UM 1125.

Skutkiem obróbki było uzyskanie powierzchni o charakterze ukierunkowanym, okresowym zdeterminowanym z nierównościami o długości fali odpowiadającej posuwowi na obrót oraz amplitudzie nieprzekraczającej 2 mm [4].

### Przyrząd pomiarowy i oprogramowanie

Pomiary struktury geometrycznej zostały przeprowadzone z użyciem przyrządu optycznego Talysurf CCI wykorzystującego metodę koherentnej interferometrii korelacyjnej należąca do grupy metod topografii przestrzennej o zakresie pomiarowym w osi Z wynoszącym 2,2 mm i rozdzielczości 10 pm, w której analiza obrazu jest oparta na matrycy o rozmiarze 1024 × 1024 pkt. Pomiary zostały wykonane przy zastosowaniu obiektywu o powiększeniu ×10, który umożliwia skanowanie obszaru o wymiarach 1,66 × 1,66 mm z rozdzielczością poziomą 1,66 × 1,66  $\mu\text{m}$ . Analizę większych obszarów powierzchni umożliwia opcja łączenia pojedynczych pomiarów. Do analizy zmierzonej powierzchni wykorzystano oprogramowanie TalyMap Platinum.

\* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Jacek Świdorski (swiderski@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

## Analiza wyników

Celem przeprowadzonych rozważań jest przedstawienie możliwości wykorzystania poszczególnych narzędzi służących do analizy struktury geometrycznej w porównaniu z prostym pomiarem opartym na wyznaczeniu parametru  $R_a$ .

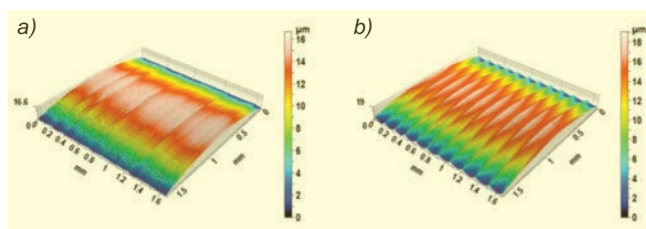
Wyniki pomiarów średnich wartości parametru chropowatości  $R_a$  wraz z odchyleniem standardowym sześciu detali wytworzonych z różnymi wartościami posuwu przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Wyniki pomiarów parametru  $R_a$  oraz  $s$

Parametr	Posuw, $\mu\text{m}/\text{obr}$					
	5	30	60	90	120	150
$R_a$ , mm	0,166	0,176	0,234	0,405	0,416	0,415
$s$ , mm	0,074	0,044	0,036	0,048	0,102	0,049

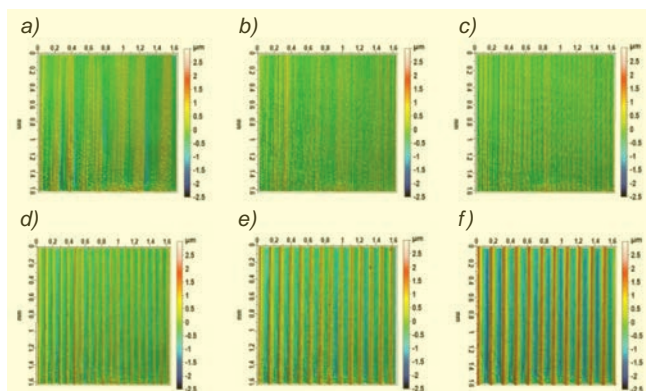
Z tak przeprowadzonych pomiarów otrzymuje się minimalną informację na temat mierzonych powierzchni.

Pomiar topografii umożliwia wstępną analizę poprzez interpretację obrazów izometrycznych powierzchni. Na rys. 1 przedstawiono obrazy izometryczne powierzchni uzyskanych przy skrajnych wartościach posuwu. Charakter tych powierzchni jest różny. Pierwsza jest powierzchnią ukierunkowaną okresową, o niskim poziomie determinowości, natomiast druga jest powierzchnią ukierunkowaną okresową, zdeterminowaną.



Rys. 1. Obraz izometryczny powierzchni dla posuwu: a) 5  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , b) 150  $\mu\text{m}/\text{obr}$

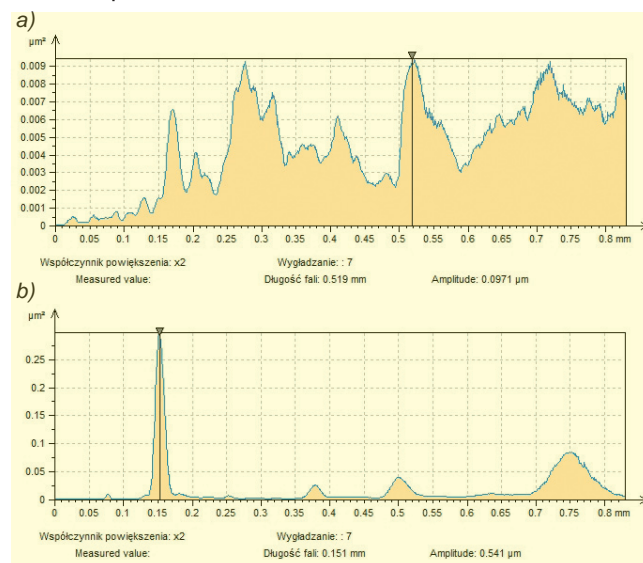
Obrazy izometryczne poszczególnych powierzchni po usunięciu nominalnego kształtu przedstawiono na rys. 2. Można na nich zaobserwować, w jaki sposób wartość posuwu w sposób stopniowy wpływa na charakter uzyskanej powierzchni: od powierzchni ukierunkowanej okresowej o niskim poziomie determinowości do ukierunkowanej okresowej zdeterminowanej.



Rys. 2. Obraz izometryczny powierzchni dla posuwu: a) 5  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , b) 30  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , c) 60  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , d) 90  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , e) 120  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , f) 150  $\mu\text{m}/\text{obr}$

W rozkładzie gęstości widmowej mocy dla większych wartości posuwu występuje tylko jedna składowa odpowiadająca wartości posuwu. W miarę zmniejszania się

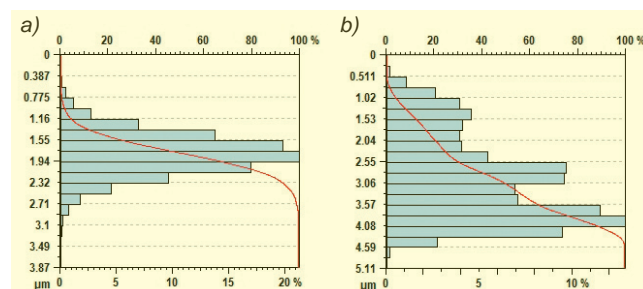
wartości posuwu oprócz determinanty odpowiadającej wartości posuwu pojawiają się dodatkowe składowe okresowe związane z zakłóceniami wynikającymi z odkształceń plastycznych materiału. Na rys. 3 przedstawiono rozkłady gęstości widmowej mocy uzyskane dla skrajnych wartości posuwu.



Rys. 3. Rozkład gęstości widmowej mocy dla posuwu: a) 5  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , b) 150  $\mu\text{m}/\text{obr}$

Charakter rozkładu rzędnych powierzchni w funkcji posuwu zmienia się: od zbliżonego do normalnego dla najmniejszego posuwu do rozkładu teoretycznego promieniowego charakterystycznego dla toczenia precyzyjnego wykończeniowego.

Na rys. 4 przedstawiono rozkłady rzędnych powierzchni i krzywe nośności uzyskane przy skrajnych wartościach posuwu. Charakter rozkładu rzędnych i krzywych nośności potwierdzają wartości parametrów  $S_{sk}$  – współczynnika skośności (asymetrii) oraz  $S_{ku}$  – współczynnika skupienia (kurtoza) (tabl. II). W miarę zwiększania posuwu wartości współczynnika skośności rosną: od niewielkich wartości ujemnych do dodatnich, świadczących o prawostronnej skośności.

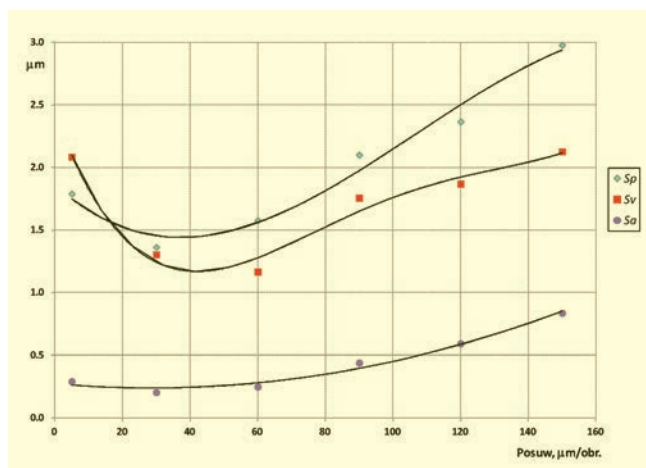


Rys. 4. Rozkład rzędnych powierzchni dla posuwu: a) 5  $\mu\text{m}/\text{obr}$ , b) 150  $\mu\text{m}/\text{obr}$

TABLICA II. Wyniki pomiarów parametrów  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$

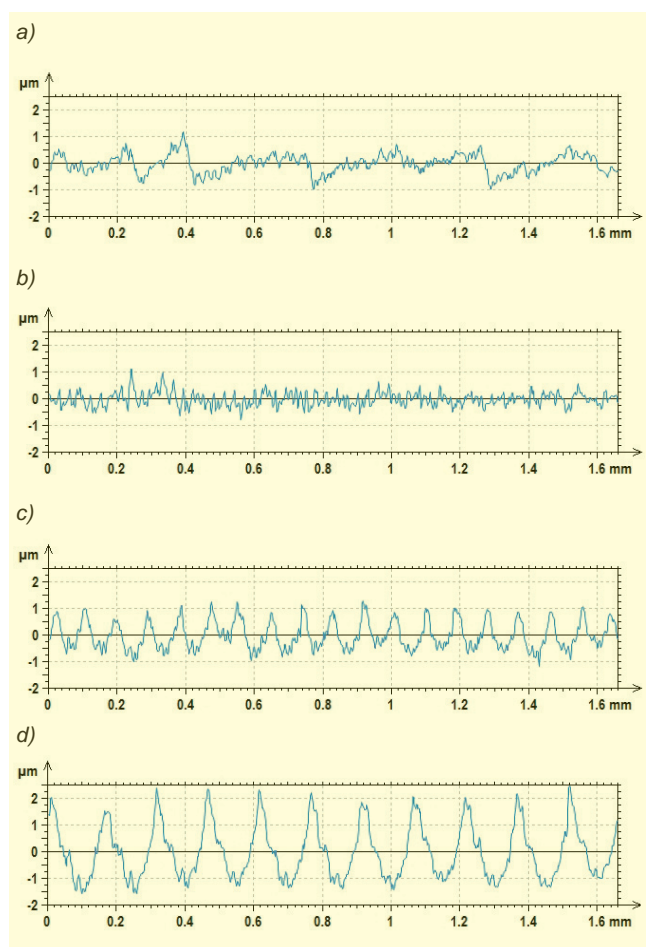
Parametr	Posuw, $\mu\text{m}/\text{obr}$					
	5	30	60	90	120	150
$S_{sk}$	-0,038	0,178	0,105	0,383	0,338	0,541
$S_{ku}$	3,555	3,452	2,547	2,250	2,146	2,285

Zmiany wartości amplitudowych parametrów powierzchni w funkcji posuwu mają bardzo podobny charakter. Minimalne wartości parametrów uzyskano dla posuwu 30  $\mu\text{m}/\text{obr}$ . Naturę tych zmian dla wybranych parametrów amplitudowych przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wartości parametrów amplitudowych:  $S_p$  – wysokość najwyższego wzniesienia powierzchni,  $S_v$  – głębokość najniższego wgłębienia,  $S_a$  – średnia arytmetyczna wysokość powierzchni – w funkcji posuwu

Na szczególną uwagę zasługuje sposób, w jaki ulegają zmianie profile pierwotne w zależności od zastosowanego posuwu. Zmniejszenie wartości posuwu z 30 do 5  $\mu\text{m/obr}$  powoduje powstanie składowej falistości o znaczącej wartości. Profil okresowy zdeterminowany pojawia się od posuwu 90  $\mu\text{m/obr}$ .



Rys. 5. Profile pierwotne dla posuwu: a) 5  $\mu\text{m/obr}$ , b) 30  $\mu\text{m/obr}$ , c) 90  $\mu\text{m/obr}$ , d) 150  $\mu\text{m/obr}$

Wyniki pomiarów parametrów hybrydowych: wskaźnika powierzchni nośnej  $S_{bi}$ , wskaźnika zatrzymywania cieczy przez rdzeń  $S_{ci}$  oraz wskaźnika zatrzymywania cieczy przez wgłębienia  $S_{vi}$  przedstawiono w tabl. III.

TABLICA III. Wyniki pomiarów parametrów hybrydowych  $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$ ,  $S_{vi}$

Parametr	Posuw, $\mu\text{m/obr}$					
	5	30	60	90	120	150
$S_{bi}$	0,314	0,274	0,285	0,438	0,619	0,914
$S_{ci}$	1,522	1,574	1,605	1,677	1,771	1,841
$S_{vi}$	0,119	0,103	0,098	0,067	0,058	0,046

Wszystkie powierzchnie charakteryzują się zbliżonymi do siebie wartościami wskaźnika zatrzymywania cieczy przez rdzeń, natomiast największy wskaźnik zatrzymywania cieczy przez doliny uzyskano dla posuwu 30  $\mu\text{m/obr}$ .

## Podsumowanie

Wartości parametrów chropowatości powierzchni  $R_a$  elementów wytworzonych z zastosowaniem posuwu w zakresie od 5 do 150  $\mu\text{m/obr}$  mieszczą się w wąskim przedziale od 0,166 do 0,416  $\mu\text{m}$ . Jednak błędem byłoby wyciągnięcie wniosku, że mają one zbliżone właściwości struktury geometrycznej powierzchni. Dopiero analiza z zastosowaniem odpowiednich parametrów, funkcji i narzędzi pozwala na opisanie każdej z uzyskanych struktur pod kątem zastosowania mierzonej powierzchni.

Analiza wykazała, że w miarę zwiększania wartości posuwu zmienia się diametralnie charakter powierzchni: od ukierunkowanej okresowej o niskim poziomie determinowości ze składową losową oraz znaczącą składową falistości do powierzchni ukierunkowanej okresowej zdeterminowanej.

W miarę zwiększania posuwu zmienia się również charakter rozkładu rzędnych: od normalnego dla najmniejszego zastosowanego posuwu do rozkładu teoretycznego promieniowego, a tym samym zmienia się kształt krzywej nośności i związane z nią parametry.

Wartości parametrów amplitudowych osiągają minima dla posuwu 30  $\mu\text{m/obr}$ .

Analiza rozkładu gęstości widmowej mocy i poszczególnych profili pozwala na wyodrębnienie składowej wynikającej z zastosowanego posuwu oraz ewentualnych zakłóceń w układzie obrabiarka–uchwyt–przedmiot–narzędzie.

Współczesne zestawy oprogramowania do analizy struktury geometrycznej powierzchni są wyposażone w całą gamę funkcji i narzędzi do obróbki danych uzyskanych podczas pomiaru. Prawidłowe ich wykorzystanie wymaga jednak szerokiej wiedzy w tym zakresie.

## LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysu kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNT, 2008.
- Ocoś K., Liubimov V. „Struktura geometryczna powierzchni. Podstawy klasyfikacji z atlasem charakterystycznych powierzchni kształtowych”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2003.
- Świdorski J., Dobrowolski T. „Zasady dobrej praktyki dla pomiarów chropowatości powierzchni po bardzo dokładnym toczeniu”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1140–1141.
- Skrzyniarz M., Nowakowski Ł., Miko E. „Opracowanie metody pomiarów przemieszczeń względnych narzędzia i przedmiotu obrabianego podczas toczenia”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 577–585.
- Stout K. et al. „The development of methods for the characterisation of roughness in three dimensions”. *European Report*. EUR 15178N, 1993, ISBN 0704413132.
- Blateyron F. „3D Parameters and New Filtration Techniques”. *Conference: JSPE*. Tokyo: 2006.
- PN-EN ISO 25178-2:2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- PN-EN ISO 25178-6:2011 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 6: Klasyfikacja metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni. ■