

Analiza wpływu gęstości próbkowania poziomego na parametry chropowatości

Analysis of the impact of the horizontal sampling density on roughness parameters

STANISŁAW ADAMCZAK
JACEK ŚWIDERSKI
TOMASZ DOBROWOLSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.4.52>

Przedstawiono analizę wpływu gęstości próbkowania poziomego na wartości parametrów chropowatości profilu wzorca materialnego typu PSS (*periodic sinusoidal shape*) uzyskiwane w pomiarach wykonywanych profilometrem stykowym z ostrzem odwzorowującym oraz dla opracowanego wzorca programowanego.

SŁOWA KLUCZOWE: struktura geometryczna powierzchni, wzorce materialne, wzorce programowane

The article presents an analysis of the impact of the horizontal sampling density on obtained values of roughness parameters of material roughness standard of PSS (periodic sinusoidal shape) type for measurements conducted with the use of stylus instrument and for developed software measurement standard.

KEYWORDS: surface texture, material measures, software measurement standards

Wraz z rozwojem technologii wytwarzania następuje dynamiczny rozwój nowych metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni, które muszą zapewnić uzyskiwanie wiarygodnych wyników [1–5].

Najliczniejszą grupę przyrządów do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni stanowią profilometry stykowe z ostrzem odwzorowującym, wykorzystujące metodę profilową do pomiarów chropowatości i falistości powierzchni. Metodzie tej poświęconych jest wiele pozycji literaturowych oraz dokumentów normalizacyjnych [6]. Ze względu na wieloletnie doświadczenie w stosowaniu wspomnianych przyrządów mają one ugruntowane miejsce w praktyce przemysłowej.

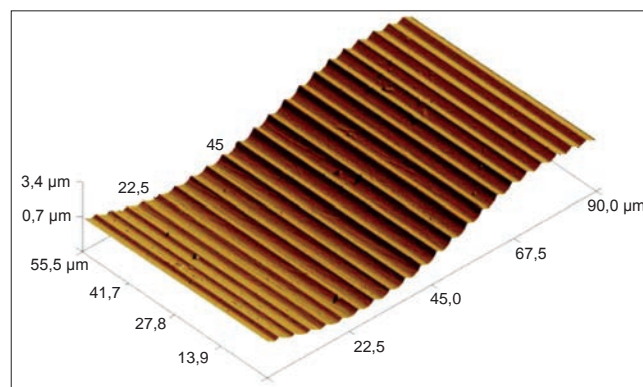
Przedstawione rozważania dotyczą powierzchni o charakterze okresowym, dla których parametr $RSm \leq 40 \mu\text{m}$. Aby zapewnić wiarygodność pomiarów stykowych nierówności powierzchni o amplitudzie kilkudziesięciu nanometrów i odstępie nierówności rzędu kilkunastu mikrometrów, konieczna jest analiza poszczególnych parametrów pomiaru i czynników mających decydujący wpływ na jego wynik. Jednym z ważniejszych jest gęstość próbkowania poziomego – na dobór tego parametru ma wpływ osoba wykonująca pomiary.

W celu ustalenia, jak gęstość próbkowania poziomego wpływa na uzyskiwane parametry profilu powierzchni o charakterze okresowym, posłużono się stalowym wzorcem typu PSS (*periodic sinusoidal shape*) [7] o parametrach nominalnych $RSm = 100 \mu\text{m}$, $Pt = 3 \mu\text{m}$, $Ra = 1 \mu\text{m}$, w postaci złożenia dwóch profili sinusoidal-

nych o długości fali $\lambda_1 = 100 \mu\text{m}$ i $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$. Do pomiarów wykorzystano profilometr stykowy ze stożkowym ostrzem o kącie $\alpha = 90^\circ$ i promieniu $r = 2 \mu\text{m}$.

Wzorzec programowany

Dążąc do uzyskania jak najwierniejszego odwzorowania struktury geometrycznej powierzchni wzorca materialnego, przeprowadzono pomiary mikroskopem sił atomowych z wykorzystaniem sondy (cantilevera) o nominalnym promieniu $r_{\text{tip}} = 2 \text{ nm}$ na obszarze $90 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ z próbkowaniem poziomym $\Delta x = \Delta y = 0,18 \mu\text{m}$. Obraz izometryczny powierzchni wzorca materialnego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Obraz izometryczny powierzchni wzorca typu PSS

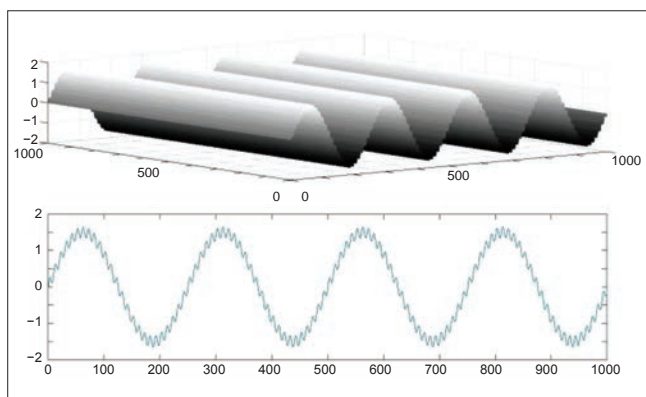
Na podstawie wyników pomiarów wzorca materialnego (wykonanych na mikroskopie sił atomowych) oraz analizy profilu zbudowano wzorzec programowany [8], którego profil spełnia następującą zależność:

$$y = A \sin a \cdot x + B \sin b \cdot x$$

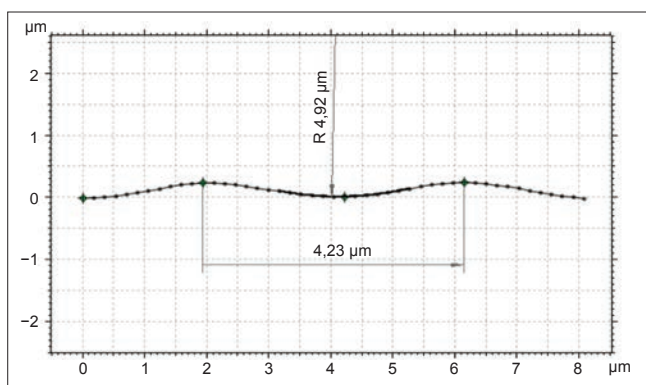
Profil stanowi złożenie dwóch fal sinusoidalnych: fali o długości $\lambda_1 = 100 \mu\text{m}$ i amplitudzie $A_1 = 1,57 \mu\text{m}$ oraz fali o długości $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$ i amplitudzie $A_2 = 0,15 \mu\text{m}$. Obraz izometryczny i profil opracowanego wzorca programowanego przedstawiono na rys. 2.

Wierność odwzorowania kształtu fali o długości $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$ sprawdzono przez wyznaczenie promienia zarysu dla profilu uzyskanego na mikroskopie sił atomowych oraz dla profilu modelowego. Zasadę przedstawiono na rys. 3. Dla wzorca materialnego wyznaczony promień zarysu wynosi $R = 4,92 \mu\text{m}$, natomiast dla wzorca programowanego $R = 5,98 \mu\text{m}$. W obu przypadkach wartości promieni są większe od promieni ostrza odwzorowanego zastosowanego do pomiarów.

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Jacek Świdorski (swidorski@tu.kielce.pl), mgr inż. Tomasz Dobrowolski (t.dobrowolski@tu.kielce.pl) – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej



Rys. 2. Obraz izometryczny i profil wzorca programowanego



Rys. 3. Wyznaczenie promienia profilu wzorca

Wyniki badań

W celu sprawdzenia wpływu gęstości próbkowania poziomego na uzyskiwane parametry chropowatości dla opracowanego modelu wzorca programowanego przeprowadzono obliczenia, wykorzystując próbkowanie poziome $\Delta x = 0,125; 0,25; 0,50$ i $1,00 \mu\text{m}$ oraz filtr *cut-off* $\lambda c = 0,8 \mu\text{m}$. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabl. I i na rys. 4.

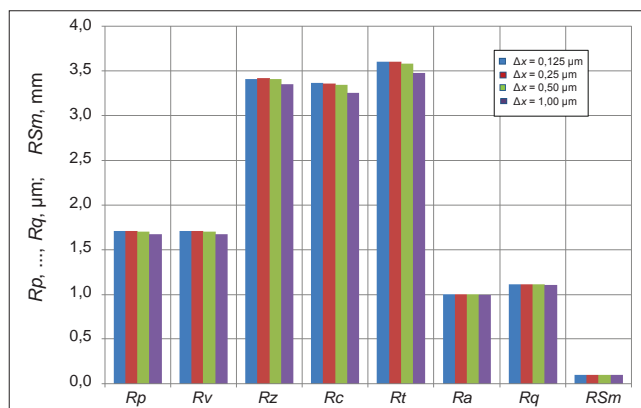
Po zastosowaniu filtra Gaussa *cut-off* $\lambda c = 0,008 \text{ mm}$ – w celu odfiltrowania składowej o długości fali $\lambda_1 = 100 \mu\text{m}$ – uzyskano profile składowej o długości fali $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$ dla poszczególnych gęstości próbkowania (rys. 5).

Zmniejszanie gęstości próbkowania powoduje deformację profilu sinusoidalnego o długości fali $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$. W granicznym przypadku dla próbkowania $\Delta x = 1,00 \mu\text{m}$ uzyskano profil trójkątny.

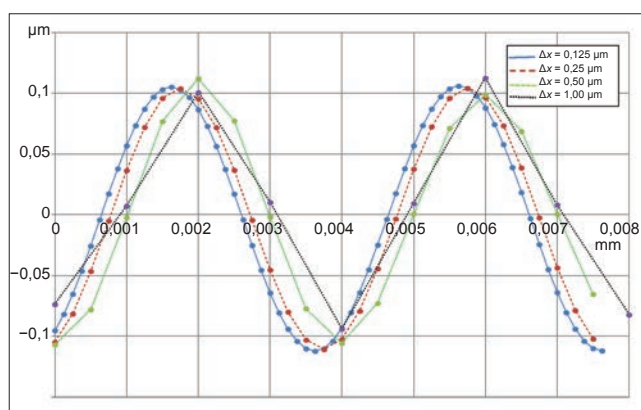
Aby ustalić, jaki wpływ na uzyskiwane parametry chropowatości i kształt odwzorowanego profilu ma gęstość

TABLICA I. Wyniki obliczeń parametrów chropowatości dla modelu wzorca programowanego

	$\Delta x, \mu\text{m}$				Współczynnik zmienności, %
	0,125	0,25	0,50	1,00	
$R_p, \mu\text{m}$	1,707	1,708	1,703	1,674	1,16
$R_v, \mu\text{m}$	1,707	1,708	1,703	1,674	1,16
$R_z, \mu\text{m}$	3,413	3,416	3,406	3,349	1,16
$R_c, \mu\text{m}$	3,362	3,360	3,344	3,256	1,88
$R_t, \mu\text{m}$	3,603	3,604	3,579	3,475	2,13
$R_a, \mu\text{m}$	0,998	0,998	0,997	0,995	0,16
$R_q, \mu\text{m}$	1,109	1,109	1,108	1,105	0,17
RSm, mm	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,01



Rys. 4. Wartości parametrów chropowatości dla modelu wzorca programowanego

Rys. 5. Wpływ gęstości próbkowania poziomego na deformację profilu o długości fali $\lambda_2 = 4 \mu\text{m}$

próbkowania poziomego, wykonano pomiary profilometrem stykowym z ostrzem odwzorowującym przy następujących parametrach:

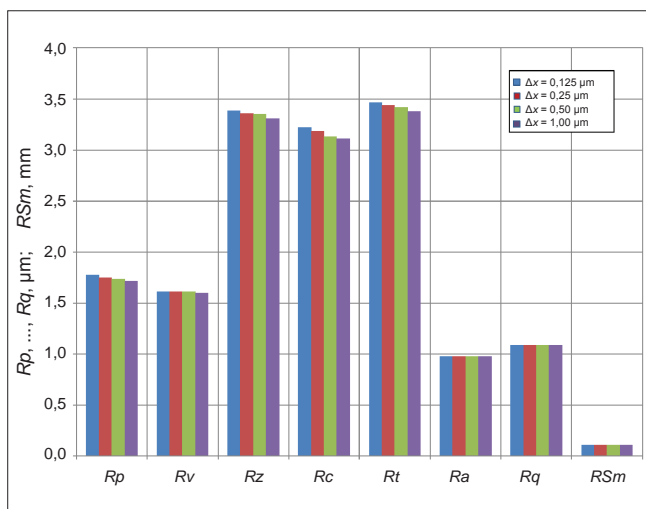
- kształt ostrza odwzorowującego: $\alpha = 60^\circ$; $r_{\text{tip}} = 2 \mu\text{m}$;
- siła nacisku ostrza: $F < 1 \text{ mN}$;
- prędkość przesuwu ostrza odwzorowującego: $v = 0,1 \text{ mm/s}$;
- gęstość próbkowania wzdłuż osi X: $\Delta x = 0,125 \mu\text{m}, 0,25 \mu\text{m}, 0,5 \mu\text{m}$ i $1,0 \mu\text{m}$.

Dla każdej wartości gęstości próbkowania poziomego przeprowadzono serię 10 pomiarów. Wartości średnich parametrów chropowatości przedstawiono w tabl. II i na rys. 6, a wpływ gęstości próbkowania na zmianę kształtu odwzorowanego profilu – na rys. 7.

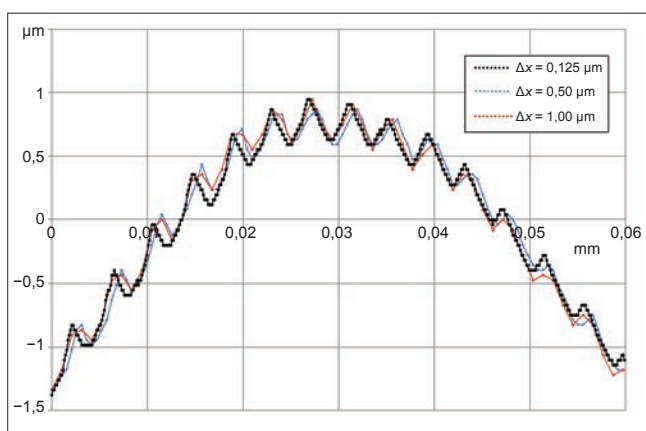
Wartości amplitudowych parametrów chropowatości dotyczących maksymalnych cech wzniesień i wgłębień maleją w miarę zmniejszania gęstości próbkowania w osi X

TABLICA II. Wyniki obliczeń parametrów chropowatości dla wzorca materialnego

	$\Delta x, \mu\text{m}$				Współczynnik zmienności, %
	0,125	0,25	0,50	1,00	
$R_p, \mu\text{m}$	1,773	1,749	1,737	1,713	1,43
$R_v, \mu\text{m}$	1,613	1,610	1,613	1,594	0,57
$R_z, \mu\text{m}$	3,386	3,359	3,350	3,307	0,98
$R_c, \mu\text{m}$	3,130	3,112	3,221	3,188	1,60
$R_t, \mu\text{m}$	3,464	3,435	3,419	3,380	1,03
$R_a, \mu\text{m}$	0,972	0,972	0,972	0,971	0,04
$R_q, \mu\text{m}$	1,084	1,084	1,084	1,082	0,09
RSm, mm	0,1013	0,1014	0,1013	0,1013	0,02



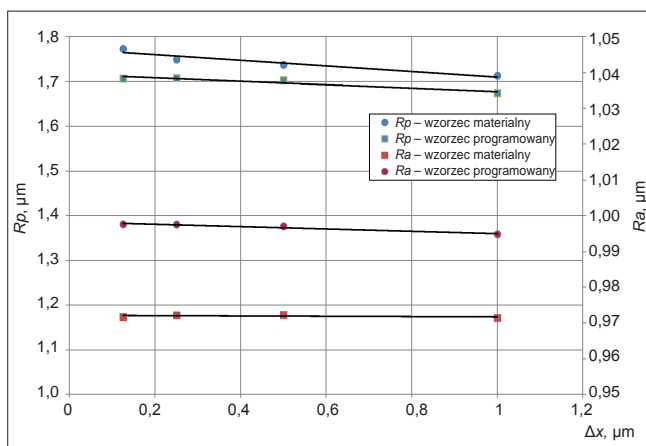
Rys. 6. Wartości parametrów chropowatości dla wzorca materialnego



Rys. 7. Zmiana kształtu profilu w zależności od gęstości próbkowania

od $\Delta x = 0,125 \mu m$ do $\Delta x = 1,00 \mu m$ – tak wynika zarówno z obliczeń dla modelu wzorca, jak i z badań eksperymentalnych. Zmiany te są spowodowane zmianą kształtu odwzorowanego profilu o długości fali $\lambda_2 = 4 \mu m$. Zmiana gęstości próbkowania ma zdecydowanie mniejszy wpływ na parametry amplitudowe dotyczące wartości średnich rzędnych profilu R_a i R_q , a najmniejszy – na parametr poziomy odległościowy R_{Sm} .

Na rys. 8 przedstawiono wpływ zmiany gęstości próbkowania poziomego na uzyskiwane wartości parametrów R_p i R_a dla wzorca materialnego i wzorca programowanego.



Rys. 8. Wartości parametrów chropowatości w zależności od gęstości próbkowania

W celu określenia stopnia współzależności wyników obliczeń uzyskanych dla wzorca programowanego i wzorca materialnego obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych parametrów chropowatości (tabl. III). W przypadku większości parametrów widać silną zależność liniową, jedynie w przypadku parametru R_{Sm} nie ma związku liniowego pomiędzy wynikami uzyskanymi dla wzorca materialnego i wzorca programowanego.

TABLICA III. Wyniki obliczeń współczynnika korelacji liniowej Pearsona

Parametr	Współczynnik korelacji liniowej Pearsona
R_p	0,71
R_v	0,92
R_z	0,82
R_c	0,60
R_t	0,83
R_a	0,43
R_q	0,95
R_{Sm}	0,11

Badania wpływu gęstości próbkowania w osi X na wartości parametrów chropowatości przeprowadzone na wzorcu materialnym i wzorcu programowanym wykazały, że zmniejszenie gęstości próbkowania w zakresie Δx od 0,125 do 1,00 μm powoduje gorsze odwzorowanie części mierzonego profilu o wysokiej częstotliwości, co skutkuje zmianami w uzyskiwanych wartościach parametrów chropowatości.

Zmiana gęstości próbkowania spowodowała największe zmiany w uzyskanych wartościach parametrów amplitudowych oraz nie miała wpływu na wartości parametru R_{Sm} , ponieważ dominującą składową mierzonego profilu była składowa o długości fali $\lambda_1 = 100 \mu m$.

W celu zapewnienia wysokiej wiarygodności pomiarów chropowatości powierzchni składającej się z nierówności o odstępach od kilku do kilkunastu mikrometrów przeprowadzający pomiary powinien zwrócić szczególną uwagę na dobór gęstości próbkowania poziomego.

Publikacja w ramach projektu PBS2 finansowanego z NCBR (Nr PBS2/A6/20/2013) „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano”.

LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNT, 2008.
- Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Miller T., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. 3 (2015): s. 81–87.
- Miller T., Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B. „Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*. 65, 1 (2017): s. 53–61.
- Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. „The errors of stylus methods in surface topography measurements”. Szczecin: ZAPOL, 2014.
- PN-EN ISO 25178-6 2011. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 6: Klasyfikacja metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni.
- Leach R. „The measurement of surface texture using stylus instruments”. *Measurement Good Practice Guide*. 37 (2014).
- PN-EN ISO 25178-70:2014. Geometrical product specification (GPS) – Surface texture – Part 70: Material Measures.
- PN-EN ISO 25178-71. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 71: Wzorce programowane.