

# Wpływ wykorzystania funkcji łączenia pomiarów na parametry stereometrii powierzchni

## Influence of the use of stitching function on the surface texture parameters

STANISŁAW ADAMCZAK  
JACEK ŚWIDERSKI  
TOMASZ DOBROWOLSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.2.26>

Aby przeanalizować stereometrię powierzchni na większym obszarze, niż to umożliwia przyrząd pomiarowy, wykorzystuje się funkcję łączenia wielu pomiarów w jedną powierzchnię (*stitching*). W artykule przedstawiono wpływ zastosowanej metody łączenia szeregu pomiarów struktury geometrycznej powierzchni na uzyskiwane wartości parametrów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** struktura geometryczna powierzchni, interferometria koherentna korelacyjna

*In order to analyze the stereometry of the surface over a larger area than that resulting from the measurement capabilities of the device used, the function of stitching multiple measurements into a single surface is used. The article presents the influence of the applied method on the obtained values of surface texture parameters*

**KEYWORDS:** surface texture, coherence correlation interferometry

Jednym z ograniczeń przyrządów optycznych, używanych do oceny topografii przestrzennej, jest uzależnienie mierzonego obszaru od możliwości układu optycznego. W przypadku mikroskopów sił atomowych ograniczenie mierzonego obszaru wynika z konstrukcji napędów piezoelektrycznych odpowiedzialnych za skanowanie powierzchni w osiach X i Y [2, 3].

Dobór obszaru, który powinien zostać podany pomiarowi struktury geometrycznej powierzchni, jest uzależniony od wysokości nierówności oraz od średniej odległości pomiędzy nierównościami. Im większe nierówności i odległości pomiędzy nimi, tym większą powierzchnię należy zmierzyć. Najczęściej te powierzchnie są większe od możliwości pomiarowych przyrządu.

Oprócz ograniczenia mierzonego obszaru z wartością powiększenia obiektywu w przyrządach optycznych związane są odstępki próbkowania  $\Delta X$  i  $\Delta Y$ . Zastosowanie obiektywu o większym powiększeniu powoduje zmniejszenie mierzonego obszaru, ale jednocześnie zwiększenie gęstości próbkowania poziomego.

Ograniczeniem metod optycznych przy pomiarach topografii powierzchni jest również apertura numeryczna obiektywu, która limituje możliwość pomiaru na zboczach o dużym nachyleniu. Wybór do pomiaru powierzchni ze stromymi zboczami obiektywu ze zbyt małą aperturą sprawia, że punkty na pewnych obszarach pozostają niezmiernie. Zbyt duża liczba niezmiernych punktów jest przyczyną uzyskiwania niewiarygodnych wyników [1].

Przedstawione informacje wskazują, że aby wyniki pomiarów były jak najdokładniejsze, należy dysponować obiektywem o jak największym powiększeniu ze względu na zmniejszenie odstępów próbkowania  $\Delta X$  i  $\Delta Y$  oraz

ograniczenie liczby punktów niezmiernych. Jednak wówczas mierzony obszar będzie zbyt mały w stosunku do obszaru wynikającego z nierówności występujących na powierzchni.

Jednym z rozwiązań tego problemu jest wykorzystanie funkcji numerycznego łączenia wielu pomiarów w pojedynczą powierzchnię – „*stitchingu*”. Może być w nią wyposażone zarówno oprogramowanie do obsługi przyrządu pomiarowego, jak i oprogramowanie do analizy pomiarów.

Powierzchnie, które mają być połączone, muszą zostać zmierzone na regularnie rozmieszczonej siatce z regularnymi wierszami i kolumnami. Każda powierzchnia powinna mieć ten sam rozmiar i taką samą rozdzielczość. Sąsiednie powierzchnie muszą zawierać zachodzące na siebie strefy (zalecane nachodzenie to 20% powierzchni). Rozmiar zachodzącej strefy musi być identyczny między wszystkimi powierzchniami.

### Przyrząd pomiarowy

Pomiary wykonano przyrządem optycznym wykorzystującym metodę koherentnej interferometrii korelacyjnej – Talysurf CCI – wyposażonym w system trzech obiektywów o powiększeniu:  $\times 10$ ,  $\times 20$  i  $\times 50$ . Pojedynczy pomiar składa się z macierzy  $1024 \times 1024$  punkty, zawierającej współrzędne nierówności powierzchni.

Od rodzaju obiektywu zależą: mierzony obszar, gęstość próbkowania poziomego, maksymalny kąt nachylenia mierzonego zboczy oraz apertura numeryczna, czyli czynniki, które mają istotny wpływ na wyniki pomiaru (tablica). Do zobrazowania powierzchni o wymiarach  $5 \times 5$  mm obiektywem o najmniejszym powiększeniu  $\times 10$  trzeba wykonać 16 pomiarów, a następnie scalić składowe w jedną powierzchnię. Ponieważ jeden skanowany obszar składa się z 1 048 576 punktów pomiarowych, sklejony obszar ma ich ok. 12 mln. Taka liczba danych wymaga zastosowania mocnych jednostek obliczeniowych do analizy struktury geometrycznej powierzchni [4, 5].

**TABLICA. Specyfikacja metrologiczna obiektywów**

Obiektyw	Mierzony obszar, mm	Rozdzielczość, $\mu\text{m}$	Nachylenie, $^\circ$	Apertura numeryczna
$\times 10$	$1,65 \times 1,65$	1,65	7,7	0,30
$\times 20$	$0,82 \times 0,82$	0,83	14,6	0,40
$\times 50$	$0,33 \times 0,33$	0,33	27,7	0,55

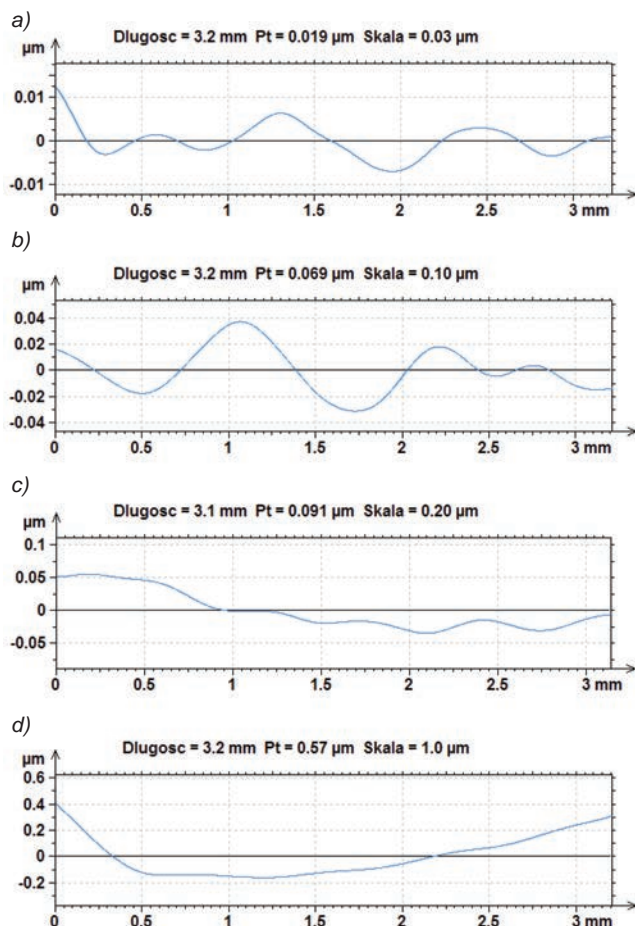
### Wyniki badań

Pierwszą część pomiarów przeprowadzono na wzorcu materialnym chropowatości typu PPS (profilu sinusoidalnym) o parametrach nominalnych:  $R_a = 0,67 \mu\text{m}$  i  $RSm = 0,08 \text{ mm}$  [6]. Jako punkt odniesienia służył pomiar profilu

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

przeprowadzony na profilometrze stykowym FormTalysurf PGI 1200 na odcinku o długości 4 mm. Następnie przeprowadzono pomiary na przyrządzie optycznym Talysurf CCI z obiektywami:  $\times 10$ ,  $\times 20$  i  $\times 50$ , z wykorzystaniem „stitchingu”. Aby zapewnić wymaganą długość w osi X (4 mm), poszczególne pomiary składały się z następującej liczby powierzchni składowych:

- obiektyw  $\times 10$  – 3 powierzchni (1,65 mm  $\times$  1,65 mm),
- obiektyw  $\times 20$  – 6 powierzchni (0,82 mm  $\times$  0,82 mm),
- obiektyw  $\times 50$  – 12 powierzchni (0,33 mm  $\times$  0,33 mm).

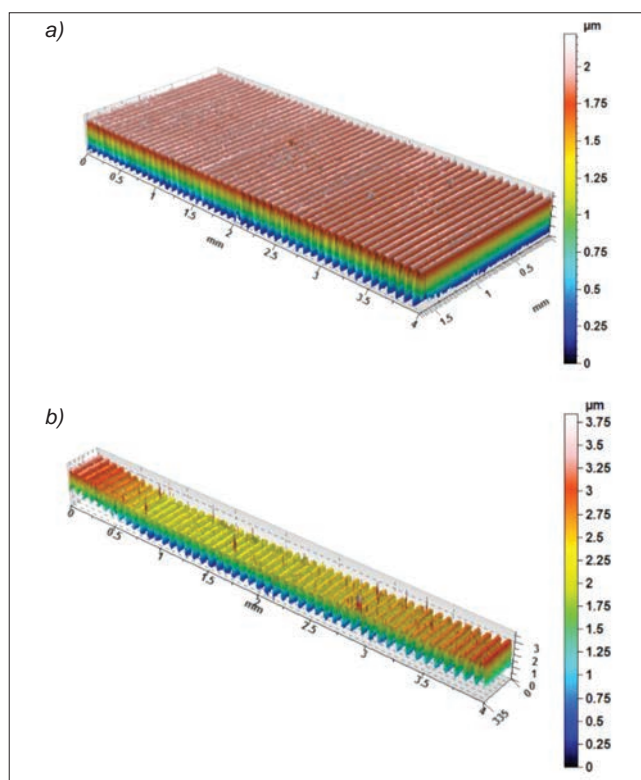


Rys. 1. Profile falistości dla poszczególnych pomiarów: a) pomiar stykowy – FormTalysurf PGI 1200, b) pomiar optyczny – Talysurf CCI, obiektyw  $\times 10$ , c) pomiar optyczny – Talysurf CCI, obiektyw  $\times 20$ , d) pomiar optyczny – Talysurf CCI, obiektyw  $\times 50$

W celu analizy wpływu łączenia poszczególnych pomiarów w powierzchnię wynikową przeprowadzono wyodrębnienie pojedynczego profilu pierwotnego, a następnie profilu falistości uzyskanego po zastosowaniu filtra Gaussa  $\lambda c = 0,8$  mm. Porównanie uzyskanych profili falistości przedstawiono na rys. 1.

Najmniejszą wartością parametru  $Pt$  (całkowitej wysokości profilu), równą 19 nm, charakteryzuje się profil falistości dla pomiaru stykowego. Wartości parametru  $Pt$  dla profili falistości pomiarów optycznych rosną wraz z powiększeniem obiektywu, co jest ściśle związane z liczbą powierzchni składających się na powierzchnię wynikową: od  $Pt = 69$  nm dla obiektywu  $\times 10$  aż do  $Pt = 570$  nm dla obiektywu  $\times 50$ . Im więcej łączonych pomiarów, tym większe zniekształcenie powierzchni wynikowej ze względu na błędy łączenia i błąd prostoliniowości stolika przesuwanego mierzonego wzorcowca w osi X.

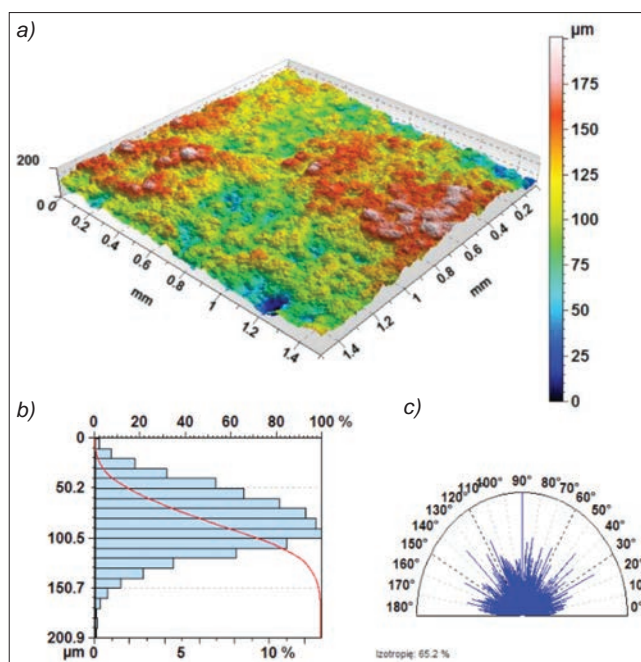
Charakter zniekształceń otrzymanej powierzchni wzorca dla obiektywu  $\times 50$  w odniesieniu do powierzchni otrzymanej dla obiektywu  $\times 10$  przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyka zmierzonej powierzchni wzorca: a) obraz izometryczny powierzchni wzorca dla pomiaru z wykorzystaniem obiektywu  $\times 10$ , b) obraz izometryczny powierzchni wzorca dla pomiaru z wykorzystaniem obiektywu  $\times 50$

Drugą część pomiarów wykonano na próbkach po obróbce polegającej na natrysku powierzchni zimnym gazem. Na rys. 3 przedstawiono charakterystykę badanej powierzchni. Jest to powierzchnia o charakterze losowym, izotropowym.

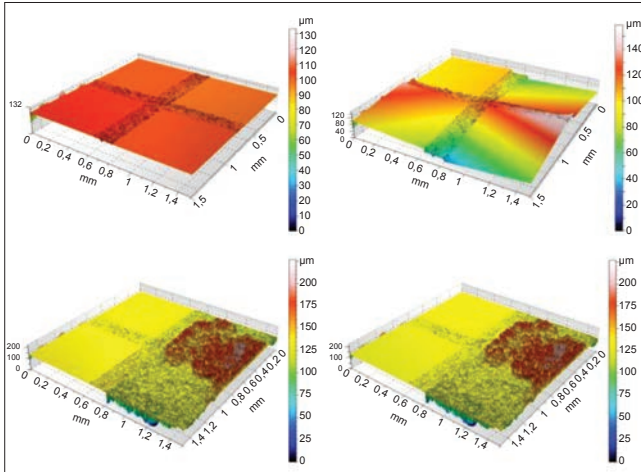
Do pomiarów użyto obiektywu  $\times 20$  z wykorzystaniem funkcji „stitchingu”. Powierzchnię wynikową o wymiarach 1,5 mm  $\times$  1,5 mm uzyskano z połączenia czterech powierzchni składowych o wymiarach 0,82 mm  $\times$  0,82 mm z zakładką ok. 20%.



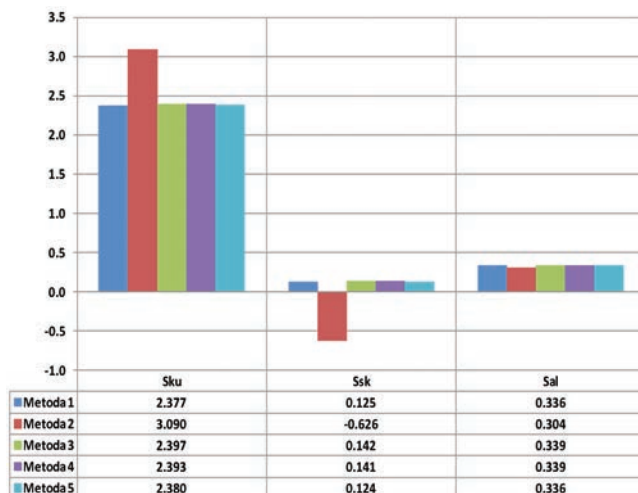
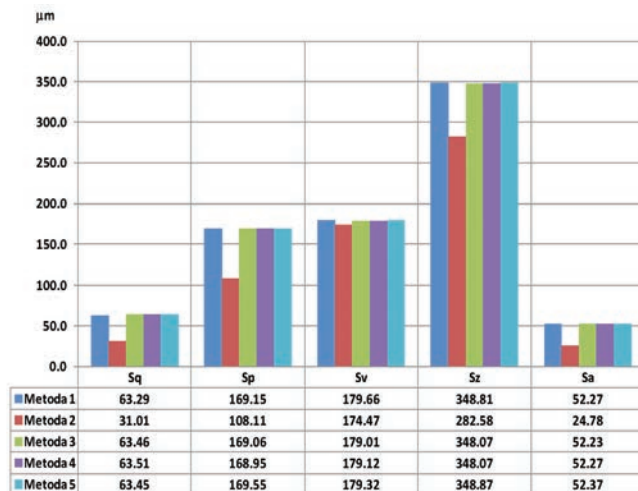
Rys. 3. Charakterystyka zmierzonej powierzchni: a) obraz izometryczny powierzchni, b) rozkład rzędnych powierzchni, c) kierunkowość struktury

Powierzchnię wynikową uzyskano następującymi metodami:

- **metoda 1** – powierzchnia uzyskana w wyniku „stitchingu” wykonanego w oprogramowaniu przyrządu Talysurf CCI,
- **metoda 2** – powierzchnia uzyskana w wyniku zastosowania opcji zszywania powierzchni z poziomowaniem  $LS$  (metodą najmniejszych kwadratów) w oprogramowaniu TalyMap Platinum,



Rys. 4. Wyniki odejmowania powierzchni odniesienia i powierzchni uzyskanych pozostałymi metodami



Rys. 5. Wartości wybranych parametrów struktury geometrycznej uzyskane dla powierzchni wynikowej otrzymanej różnymi metodami

- **metoda 3** – powierzchnia uzyskana w wyniku zastosowania opcji zszywania powierzchni bez poziomowania  $LS$  (metodą najmniejszych kwadratów) w oprogramowaniu TalyMap Platinum,
- **metoda 4** – powierzchnia uzyskana w wyniku zastosowania opcji uaktualniania powierzchni z automatycznym uchybem  $Z$  w oprogramowaniu TalyMap Platinum,
- **metoda 5** – powierzchnia uzyskana w wyniku zastosowania opcji uaktualniania powierzchni z uchybem  $Z$ , przy użyciu wspólnych stref w oprogramowaniu TalyMap Platinum.

Pierwszą metodę łączenia zmierzonych obszarów postraktowano jako metodę odniesienia. Do zobrazowania błędów łączenia wykorzystano operator odejmowania powierzchni, z zastosowaniem metod od 2 do 5 w stosunku do powierzchni odniesienia. Wyniki użycia tego operatora przedstawiono na rys. 4. Największe błędy łączenia powierzchni występują w metodzie 2.

Wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni uzyskane poszczególnymi metodami łączenia pomiarów przedstawiono na rys. 5.

Parametry obliczone w oparciu o powierzchnię uzyskaną w wyniku zastosowania opcji zszywania powierzchni z poziomowaniem  $LS$  (metodą najmniejszych kwadratów) w oprogramowaniu TalyMap Platinum (metoda 2) najbardziej odbiegają od parametrów uzyskanych pozostałymi metodami. Parametrem najbardziej wrażliwym na zastosowaną metodę łączenia powierzchni jest asymetria powierzchni  $Ssk$ .

## Podsumowanie

Badania wykazały, że zastosowanie podczas pomiarów struktury geometrycznej powierzchni funkcji łączenia pomiarów w celu uzyskania większego obszaru do analizy wiąże się z ryzykiem zmniejszenia wiarygodności takich pomiarów. Poszczególne algorytmy numerycznego łączenia pomiarów są bowiem źródłem potencjalnych błędów, mających wpływ na wartości parametrów. Jednocześnie podczas tego rodzaju pomiarów wykorzystywany jest stolik przyrządu do przesuwania mierzonego przedmiotu w osiach  $X$  i  $Y$ . Błędy płaskości stolika będą dodatkowo wpływały na wynik pomiaru.

**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

1. Adamczak S., Świdorski J., Wiczorowski M., Majchrowski R., Miller T., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. 3 (2015): s. 81–87.
2. PN-EN ISO 25178-6:2011 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – SGP: Przestrzenna – Część 6: Klasyfikacja metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni.
3. PN-EN ISO 25178-604:2013-12 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 604: Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych.
4. Łukianowicz C. “Use of White Light Scanning Interferometry for Assessment of Surface Topography”. *Measurement Automation and Monitoring*. 56, 9 (2010): s.1055–1058, ISSN 0032-4140 (in Polish).
5. Leach R. “The measurement of rough surface topography using coherence scanning interferometry”. *Measurement Good Practice Guide*. Engineering Measurement Division National Physical Laboratory. 116 (2010).
6. PN-EN ISO 25178-70:2014 Geometrical product specification (GPS) – Surface texture – Part 70: Material Measures. ■