

# Ocena dokładności wymiarowo-kształtowej i stereometrii powierzchni radiatora ukształtowanego mikrofrezem precyzyjnym VHM

Evaluation of the dimensional-shape accuracy and surface stereometry of the radiator formed by precision VHM

STANISŁAW ADAMCZAK  
JACEK ŚWIDERSKI  
TOMASZ DOBROWOLSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.147>

English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Przestawiono możliwości zastosowania różnych metod pomiaru do oceny wymiarowo-kształtowej i stereometrii powierzchni radiatora frezowanego za pomocą mikrofrezu precyzyjnego VHM z powłoką DLC.

**SŁOWA KLUCZOWE:** frezowanie, dokładność wymiarowo-kształtowa, stereometria powierzchni, pomiary optyczne, koherentna korelacyjna interferometria

*The paper presents the possibilities of application of the individual measurement methods for evaluation of the dimensional-shape accuracy and surface stereometry of the radiator milled with precision VHM with DLC coating.*

**KEYWORDS:** milling, dimensional-shape accuracy, surface texture, optical measurements, coherence correlation interferometry

Współczesne urządzenia wymagają stosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Jednym z problemów jest zapewnienie skutecznego odprowadzenia energii cieplnej wytworzonej podczas pracy urządzenia. Do odbioru tej energii wykorzystuje się m.in. radiatory wykonane z materiałów o dużym współczynnikiem przewodzenia ciepła, takich jak aluminium oraz miedź.

W przypadku małogabarytowych urządzeń wielkość radiatora musi być dostosowana do rozmiarów elementów generujących ciepło, a jednocześnie zapewniać skuteczne odprowadzanie do atmosfery jego nadmiaru.

Radiator na potrzeby badań skuteczności odprowadzania ciepła wytworzono z zastosowaniem obróbki mikrofrezem VHM z powłoką DLC [2] (rys. 1). Radiator ma wymiary 30 × 30 mm i rowki o głębokości 0,4 mm i szerokości 0,4 mm.



Rys. 1. Mikrofrez precyzyjny VHM z powłoką DLC i wytworzony za jego pomocą radiator



Rys. 2. Pomiar średnicy mikrofrezu VHM: a) na stanowisku KALIMAT-C, b) na multisensorowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej O-Inspect

Przed obróbką dokonano pomiarów mikrofrezu na stanowisku do pomiarów narzędzi KALIMAT-C firmy Kelech oraz na multisensorowej maszynie współrzędnościowej O-Inspect (rys. 2). Średnia wartość średnicy narzędzia wynosiła 0,418 mm.

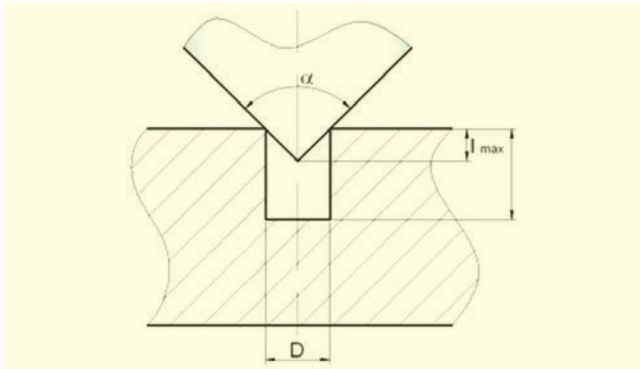
Do wykonania radiatora wykorzystano pionowe centrum frezarskie Hermle B 300. Powierzchnia górna radiatora została splanowana głowicą frezarską  $\varnothing 63$  mm z posuwem 800 mm/min i głębokością skrawania 1 mm. Frezowanie rowków mikrofrezem precyzyjnym VHM z powłoką DLC przeprowadzono z maksymalnymi obrotami wrzeciona 15000 obr/min oraz posuwem 72 mm/s i głębokością skrawania 0,015 mm. Całkowita głębokość frezowania wynosiła 0,4 mm. Tak ukształtowany radiator poddano analizie wymiarowo-kształtowej oraz struktury geometrycznej powierzchni, która polegała na:

- pomiarze szerokości rowka,
- pomiarze głębokości rowka,
- pomiarze struktury geometrycznej powierzchni górnej radiatora,
- pomiarze struktury geometrycznej powierzchni dna rowka radiatora.

## Metody pomiarowe

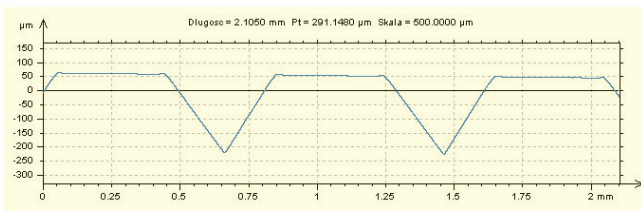
Rozwój w ostatnich latach nowych technik pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, należących do systemu klasyfikacji przedstawionego w PN-EN ISO 25178-6:2011 [6], określającego klasę metod profilowania liniowego oraz metod topografii przestrzennej, znacząco zwiększył możliwości oceny różnego rodzaju powierzchni. Najbardziej rozpowszechnioną metodą jest pomiar za pomocą profilometru stykowego z ostrzem odwzorowującym [5]. Metoda ta jest stosowana zarówno w przemyśle, jak i w warunkach laboratoryjnych. Podczas pomiarów mikrorowków decydujące znaczenie ma jednak kąt wierzchołkowy stożka ostrza odwzorowującego, który ogranicza głębokość penetracji rowka, a tym samym odwzorowanie powierzchni bocznych rys. 3.

\* 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) – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn



Rys. 3. Schemat pomiaru za pomocą ostrza odwzorowującego

Wynik pomiaru radiatora za pomocą profilometru stykowego FormTalysurf PGI z ostrzem odwzorowującym o kącie wierzchołkowym  $\alpha = 90^\circ$  i promieniu  $r_{tip} = 2 \mu\text{m}$  przedstawiono na rys. 2.



Rys. 4. Wynik pomiaru radiatora metodą stykową

Pomiar radiatora tą metodą skutkuje błędnym odwzorowaniem kształtu rowka oraz jego głębokości.

Do analizy powierzchni obrobionej mikrofrezem VHM z powłoką DLC wybrano metodę optyczną opartą na zbieraniu obrazów prążków interferencyjnych i ich lokalizacji podczas skanowania pionowego, łączącą technikę skanowania pionowego z interferometrią optyczną [1, 3]. Ograniczeniem tej metody przy pomiarach głębokich rowków radiatora jest apertura numeryczna obiektywu, która limituje możliwość pomiaru na zboczach o dużym nachyleniu. Zastosowanie do pomiaru powierzchni ze stromymi zboczami obiektywu ze zbyt małą aperturą powoduje, że otrzymuje się obszary z punktami niezmiernymi, oznaczone jako białe plamy na obrazie topografii powierzchni.

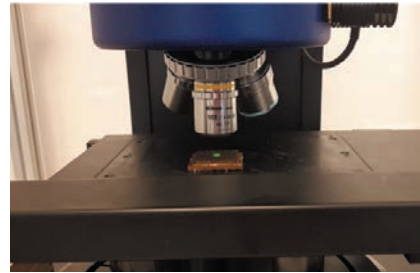
W celu weryfikacji otrzymanych wyników wykonano także pomiary oparte na metodzie konfokalnej. Zakresy pionowe głowic konfokalnych znajdują się w przedziale od 100  $\mu\text{m}$  do głowic pracujących w skali makro o zakresie do 10 mm. Od zakresu pionowego głowicy uzależniona jest jej rozdzielczość: od kilku nanometrów dla głowic o najmniejszym zakresie pionowym do 300 nm dla głowic o największym zakresie.

### Przyrządy pomiarowe

Do pomiarów oraz analizy wymiarowo-kształtowej wytypowano dwa przyrządy:

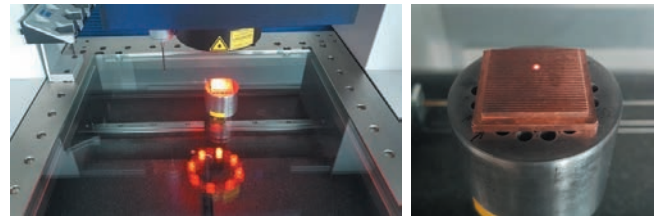
- Profilometr optyczny Talysurf CCI (rys. 5) wykorzystujący metodę koherentnej interferometrii korelacyjnej, o zakresie pomiarowym w osi Z wynoszącym 2,2 mm i rozdzielczości 10 pm, w którym analiza obrazu jest oparta na macierzy o rozmiarze  $1024 \times 1024$  pkt, wyposażony w zestaw obiektywów o powiększeniu  $\times 10$ ,  $\times 20$  i  $\times 50$ , umożliwiającą pomiar obszaru odpowiednio do zastosowanego obiektywu:  $1,66 \times 1,66$  mm;  $0,83 \times 0,83$  mm;  $0,33 \times 0,33$  mm. W miarę wzrostu powiększenia obiektywu rośnie również rozdzielczość pozioma i apertura numeryczna obiektywu, co skutkuje zwiększeniem możliwości

pomiaru powierzchni o dużych kątach nachylenia zbocza. Analizę większych obszarów powierzchni umożliwia opcja łączenia pojedynczych pomiarów.



Rys. 5. Profilometr optyczny Talysurf CCI Lite wykorzystujący metodę koherentnej interferometrii korelacyjnej

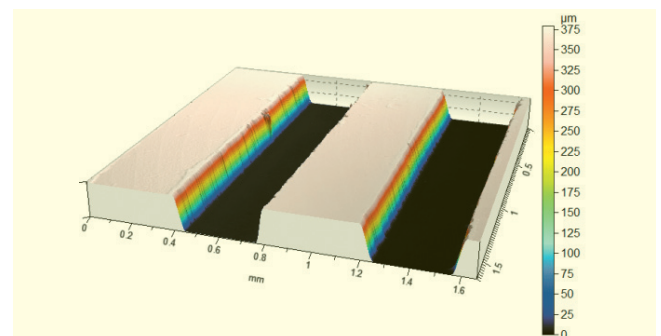
- Multisensorową współrzędnościową maszynę pomiarową O-Inspect (rys. 6) wyposażoną w trzy głowice pomiarowe (stykową, optyczną oraz konfokalną). Głowica konfokalna wykorzystuje do pomiarów konturu plamkę światła białego o średnicy  $\varnothing 20$  mm i zakresie pomiarowym 10 mm.



Rys. 6. Multisensorowa współrzędnościowa maszyna pomiarowa O-Inspect wyposażona w trzy głowice pomiarowe

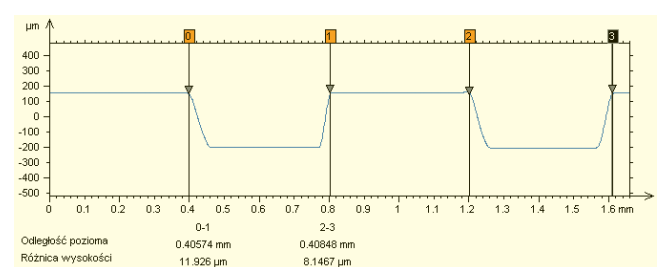
### Pomiar szerokości i głębokości rowka

Wynik pomiaru stereometrii powierzchni radiatora przeprowadzonego za pomocą profilometru Talysurf CCI Lite przedstawiono na rys. 7.

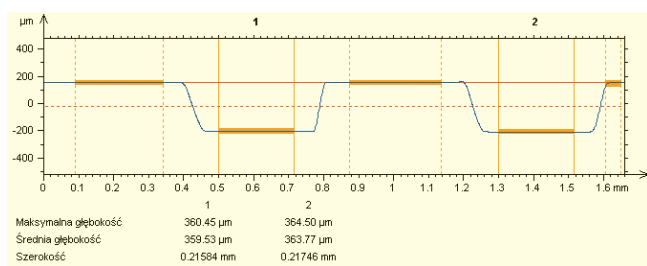


Rys. 7. Obraz izometryczny powierzchni radiatora

Aby wyznaczyć szerokość rowka, wyodrębniono ze stereometrycznego obrazu radiatora pojedynczy profil (rys. 8).



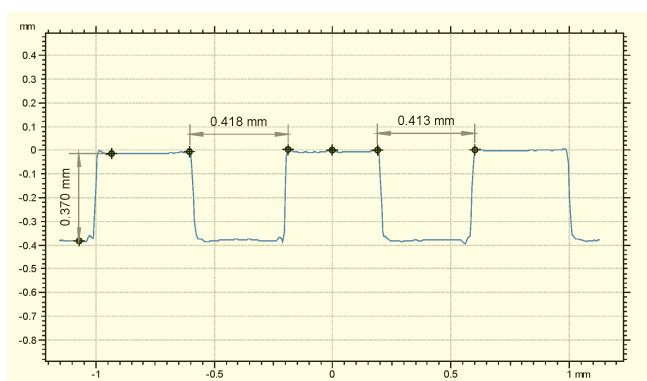
Rys. 8. Wyznaczenie szerokości rowka na wyodrębnionym profilu



Rys. 9. Wyniki pomiarów głębokości rowka radiatora

Pomiar głębokości rowka radiatora przeprowadzono na średnim profilu wygenerowanym z pomiaru 3D ocenianego detalu (rys. 9).

Wyniki otrzymane za pomocą profilometru optycznego porównano z pomiarem wykonanym multisensorową współrzędnościową maszyną pomiarową O-Inspect wyposażoną w głowicę konfokalną (rys. 10).

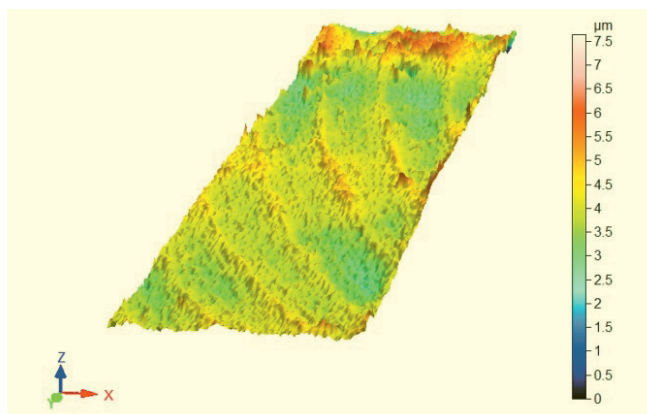


Rys. 10. Wyznaczenie szerokości rowka i jego głębokości na multisensorowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej O-Inspect

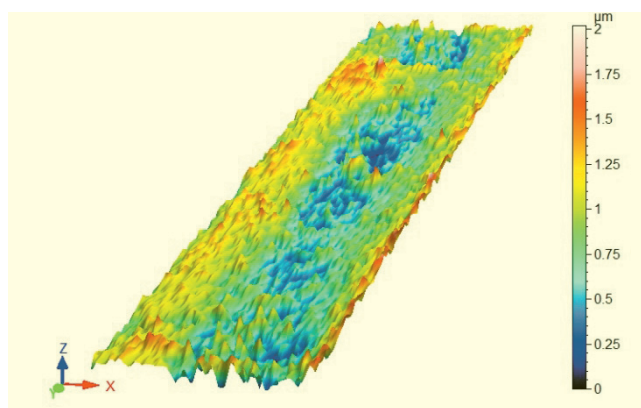
Na podstawie wyników można wywnioskować, że pomiary wykonane metodą koherentnej interferometrii korelacyjnej dają bardzo zbliżone szerokości i głębokości rowka do pomiarów metodą konfokalną [4]. Różnica dla szerokości rowka wynosi 8 µm, co stanowi 2% mierzonej wielkości, a dla głębokości – 8 µm, co również stanowi 2% mierzonej wielkości.

### Pomiar stereometrii powierzchni

W celu sprawdzenia stanu powierzchni radiatora wyodrębniono powierzchnię górną (rys. 10) po obróbce głowicą frezarską i dna rowka (rys. 11) po obróbce mikrofrezem oraz wyznaczono parametry przestrzenne poszczególnych powierzchni (tablica). Wartości parametrów amplitu-



Rys. 11. Obraz izometryczny powierzchni górnej radiatora



Rys. 12. Obraz izometryczny powierzchni dna rowka

dowych dla powierzchni górnej są ok. 2-krotnie większe od wartości tych parametrów dla dna rowka. Powierzchnia górna jest ukierunkowana, okresowa i zdeterminowana natomiast dno rowka jest losowe, izotropowe.

TABLICA. Parametry stereometrii powierzchni

Parametry	Powierzchnia górna	Powierzchnia dolna
$Sq, \mu m$	0,597	0,311
$Ssk$	-0,016	-0,181
$Sku$	4,700	2,800
$Sp, \mu m$	3,760	1,180
$Sv, \mu m$	3,880	0,844
$Sz, \mu m$	7,640	2,020
$Sa, \mu m$	0,452	0,252

### Podsumowanie

Badania były ukierunkowane na dobór optymalnych metod oraz przyrządów pomiarowych do oceny wymiarowo-kształtowej oraz stanu struktury geometrycznej powierzchni po obróbce rowków o wymiarach 0,4 × 0,4 mm mikrofrezem VHM z powłoką DLC. Dla powierzchni o takiej geometrii metoda profilowania ostrzem odwzorowującym jest nieodpowiednia, a odwzorowanie kształtu rowka jest niewiarygodne. Metoda koherentnej interferometrii korelacyjnej do oceny wymiarowo-kształtowej oraz stereometrii powierzchni pozwala uzyskać wiarygodne wyniki. Zostały one potwierdzone poprzez pomiar za pomocą głowicy konfokalnej. Jedynym sposobem pomiaru stereometrii powierzchni radiatora są metody optyczne. Powierzchnia górna radiatora oraz powierzchnia dna rowka charakteryzują się odmiennymi właściwościami wynikającymi z rodzaju zastosowanej obróbki.

### LITERATURA

- 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.
- Nowakowski Ł., Miko E. „Analiza czynników wpływających na strukturę geometryczną powierzchni poddanych obróbce skrawaniem”. *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 11–18.
- 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).
- Wieczorowski M., Majchrowski R., Jakubowicz M. „Pomiary cech geometrycznych warstwy wierzchniej za pomocą laserowego czujnika konfokalnego”. *Mechanik*. 11 (2016): s. 1650–1651.
- 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) SGP: Przestrzenna – Część 6: Klasyfikacja metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni.