

# Wpływ zmiany orientacji osi narzędzia oraz kierunku jego prowadzenia w obróbce powierzchni swobodnej na chropowatość powierzchni

The influence of the tool axis orientation changes and the direction of tool driving in free surface machining on surface roughness

JAN BUREK  
TOMASZ RYDZAK  
ARTUR SZAJNA \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.107>

Przedstawiono wpływ prowadzenia narzędzia wzdłuż krzywych parametrycznych tworzących powierzchnię swobodną oraz zmiany orientacji osi narzędzia na parametry chropowatości podczas obróbki wykończeniowej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka powierzchni swobodnej, orientacja narzędzia, obróbka symultaniczna

*Presented is the effect of the direction of tool driving along parametric curves from a free surface and changes of the tool axis orientation on roughness parameters during finishing machining.*

**KEYWORDS:** free surface machining, tool orientation, simultaneous machining

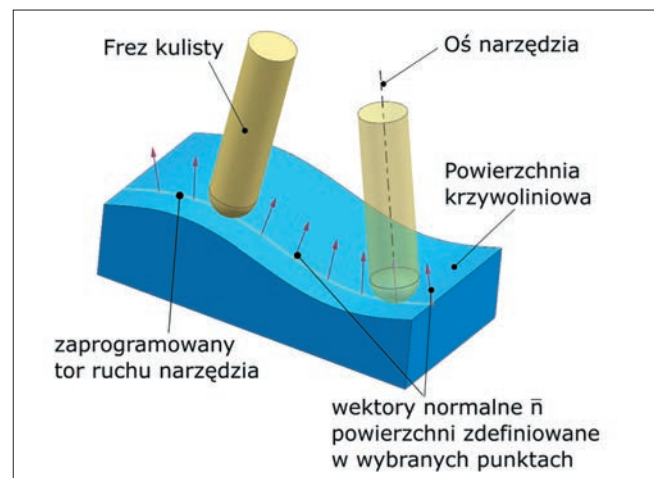
Obróbka powierzchni złożonych jest ciągle przedmiotem badań. Złożone geometrie tworzone są najczęściej na podstawie krzywych parametrycznych o wysokim stopniu krzywizny i jej zmiennym charakterze oraz rozpiętych na tych krzywych powierzchniach swobodnych. Stosowana dotychczas technologia frezowania 3D lub 5D pozwala w różnym stopniu sprostać wysokim wymaganiom, stawianym w kształtowaniu krzywoliniowych powierzchni swobodnych. Wykonywanie wieloosiowych cykli obróbkowych na obrabiarkach o rozbudowanej kinematyce jest wspomagane przez zaawansowane systemy CAM.

Poprawność kodu NC wygenerowanego w tych systemach, opisującego trajektorię ruchu narzędzia względem obrabianej powierzchni swobodnej, zależy przede wszystkim od zorientowania osi narzędzia w przestrzeni roboczej [1]. Oprócz parametrów technologicznych i geometrycznych również strategia prowadzenia narzędzia względem obrabianej powierzchni oraz orientacja narzędzia mogą mieć wpływ na jakość powierzchni i dokładność obrabianej części [2].

Przeprowadzono wstępne badania oceny wpływu zmiany orientacji osi frezu kulistego w zależności od kierunku prowadzenia narzędzia podczas obróbki wykończeniowej na chropowatość powierzchni swobodnej.

## Wieloosiowe frezowanie powierzchni swobodnych

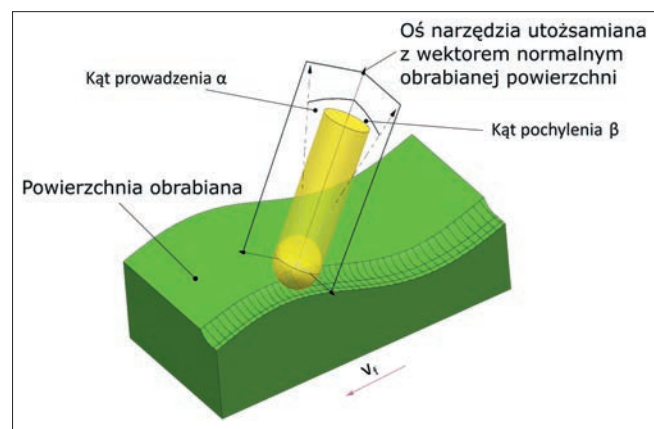
Zaawansowane systemy CAM wykorzystują różne metody i algorytmy realizacji kształtu ścieżek toru ruchu narzędzia względem krzywizn głównych obrabianej powierzchni [3,4]. Jedną z nich opiera się na adaptacyjnej



Rys. 1. Pozycjonowanie osi narzędzia względem zdefiniowanych wektorów normalnych w wybranych punktach na powierzchni złożonej

strategii pozycjonowania osi narzędzia względem zdefiniowanych wektorów normalnych w wybranych punktach na powierzchni złożonej (rys. 1) [5].

Kąty prowadzenia  $\alpha$  są definiowane względem wektora normalnego, przy czym kąt wyprzedzenia (o wartości dodatniej) lub opóźnienia (o wartości ujemnej) definiowany jest w kierunku posuwu, natomiast kąt pochylenia  $\beta$  – prostopadle do kierunku posuwu (rys. 2).



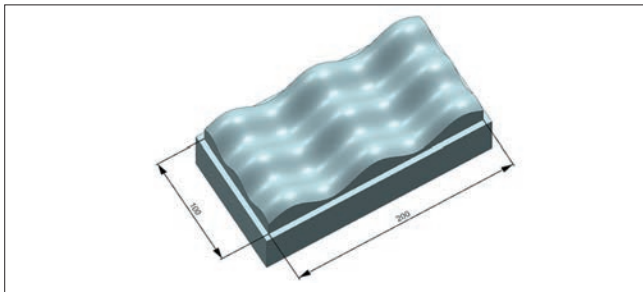
Rys. 2. Orientacja narzędzia względem wektora normalnego  $\vec{n}$ :  $\alpha$  – kąt prowadzenia (wyprzedzenia lub opóźnienia),  $\beta$  – kąt pochylenia,  $v_f$  – prędkość posuwu

Określenie tych dwóch kątów względem wektora normalnego rozpatrywanej powierzchni pozwala jednoznacznie określić pozycję osi narzędzia skrawającego w przestrzeni roboczej obrabiarki.

\* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Tomasz Rydzak (t.rydzak@prz.edu.pl), mgr inż. Artur Szajna (a.szajna@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

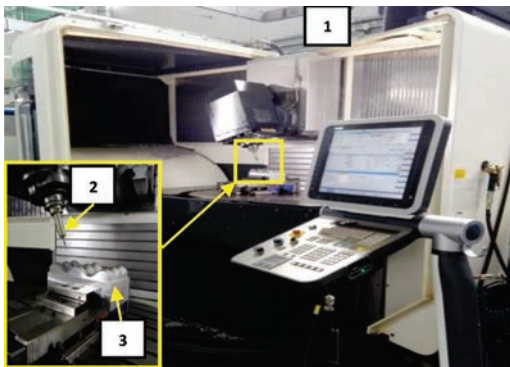
## Warunki badań

Badania przeprowadzono na części testowej, na której geometrię utworzono w oparciu o dwie krzywe parametryczne, opisane funkcją sinus w obu kierunkach głównych, różniące się amplitudą i okresem. Na tych krzywych rozpięto powierzchnię swobodną, charakteryzującą się różnymi krzywiznami Gaussa (rys. 3).



Rys. 3. Model 3D-CAD części testowej

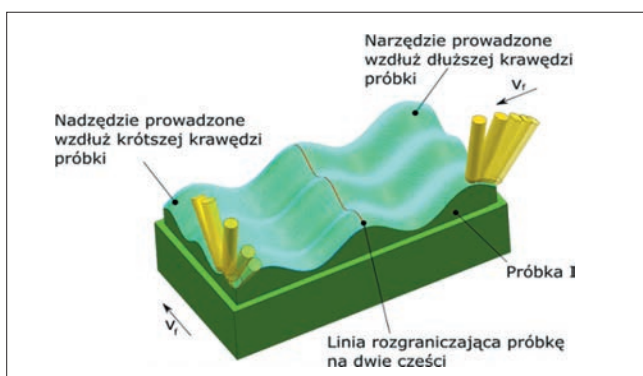
Obróbkę tych powierzchni przeprowadzono na wielosiowym centrum frezarskim DMU 100 monoBLOCK z układem sterowania Sinumerik 840D (rys. 4).



Rys. 4. Stanowisko badawcze: 1 – pięciosiowe centrum obróbkowe DMG 100 monoBLOCK, 2 – narzędzie, 3 – część testowa

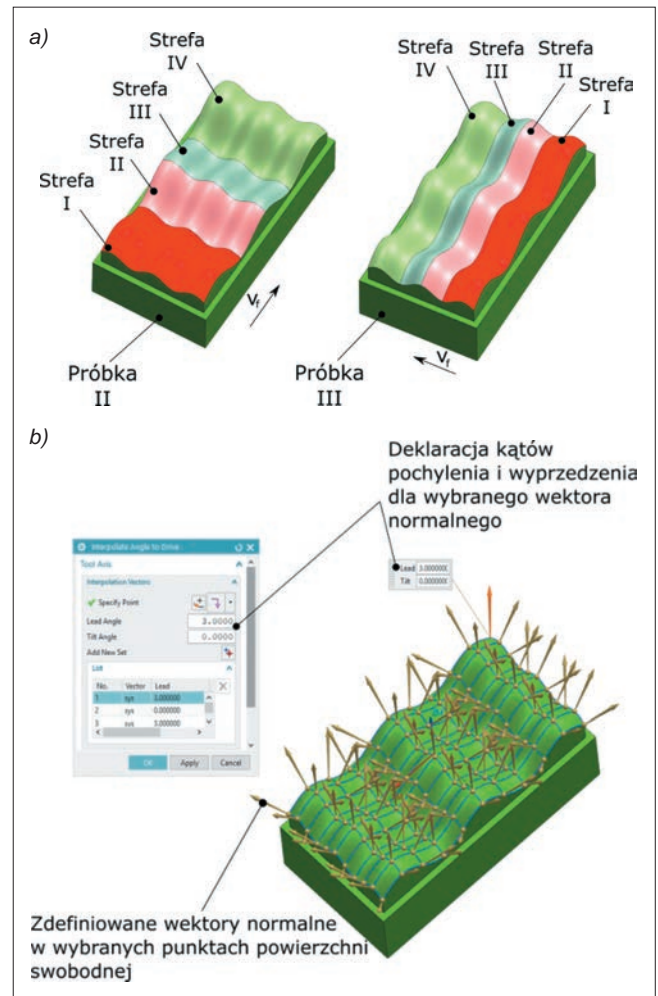
Program obróbkowy opracowano w systemie NX CAM. Badania przeprowadzono na trzech próbkach, w zależności od zmiany kąta pochylenia  $\beta$  lub wyprzedzenia  $\alpha$ , kierunku prowadzenia narzędzia oraz efektywnej prędkości skrawania. Do obróbki zastosowano frez kulisty R216.42-05030-AK10A, a obrabiano stop aluminium EN-AW 7075.

Powierzchnię pierwszej próbki podzielono na dwie równe strefy. W jednej strefie prowadzono narzędzie wzdłuż krótszej krawędzi modelu, natomiast w drugiej – wzdłuż dłuższej krawędzi. Oś narzędzia pozycjonowano względem lokalnych wektorów normalnych, określając odpowiednio kąty  $\alpha = 0$  oraz  $\beta = 0$  (rys. 5).



Rys. 5. Wizualizacja torów ruchu narzędzia – pierwsza próbka

Powierzchnie drugiej i trzeciej próbki podzielono na cztery strefy. W wybranych strefach zmieniano kąt wyprzedzenia  $\alpha$  lub kąt pochylenia  $\beta$  względem zdefiniowanych wektorów normalnych oraz efektywną prędkość skrawania w zależności od wartości tych kątów, poprzez zmianę prędkości obrotowej wrzeciona [2, 6] (rys. 6).



Rys. 6. Części testowe: a) strefy zmiany kątów orientacji narzędzia dla drugiej i trzeciej próbki, b) wartości kątów orientacji osi narzędzia względem zdefiniowanych wektorów normalnych

Dla każdej próbki przyjęto takie same parametry geometryczne:  $a_p = 0,2$  mm,  $a_e = 0,5$  mm oraz posuw  $f_z = 0,028$  mm/ostrze. W celu zachowania stałej prędkości skrawania przy zmianie orientacji osi narzędzia definiowano odpowiednio prędkość obrotową (tablica).

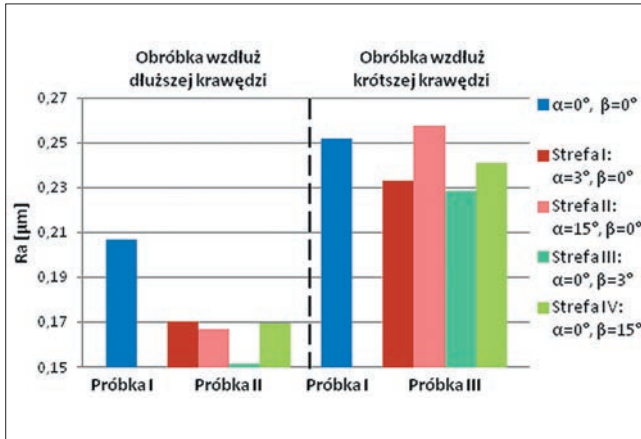
TABLICA. Parametry skrawania i orientacja osi narzędzia

Parametry	$n$ , obr/min	$v_c$ , m/min	$\alpha$ , °	$\beta$ , °	
Próbka I	18 000	235	0	0	
Próbka II	Strefa I	16 796	3	0	
	Strefa II	13 324	15	0	
	Strefa III	16 796	235	0	3
	Strefa IV	13 324	235	0	15
Próbka III	Strefa I	16 796	3	0	
	Strefa II	13 324	235	15	0
	Strefa III	16 796	235	0	3
	Strefa IV	13 324	235	0	15

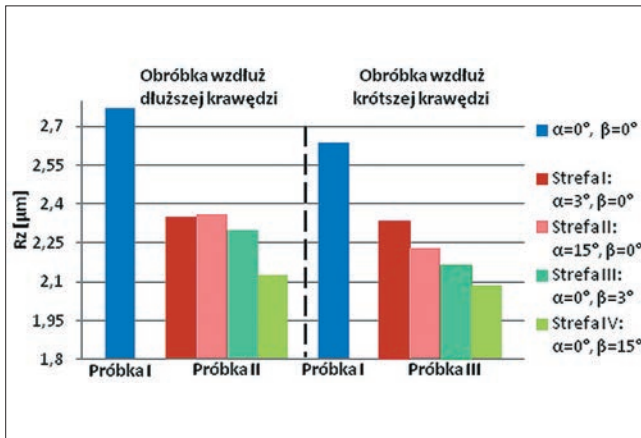
## Analiza i wyniki badań

Do wyznaczenia chropowości obrabianych powierzchni wykorzystano profilograf MarSurf GD 120 firmy Mahr. Zmierzono parametry chropowości  $Ra$  i  $Rz$ . Uzyskane wartości przedstawiono na rys. 7–10.

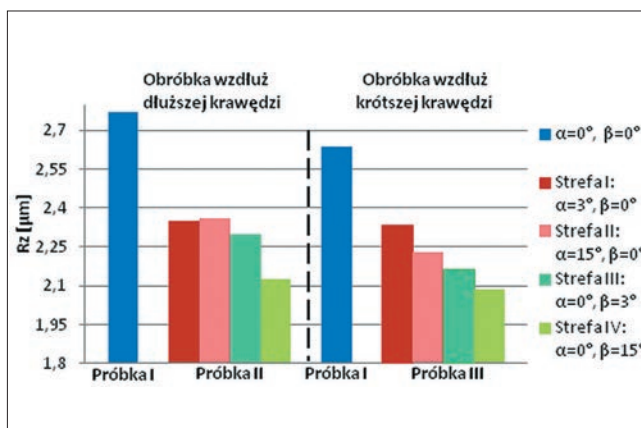
Wyniki pomiarów chropowości wskazują, że zmiana kątów pochylenia oraz wyprzedzenia osi narzędzia istotnie wpływa na parametry chropowości  $Ra$  oraz  $Rz$  mierzone prostopadłe do kierunku posuwu. Dla powierzchni obrabianej wzdłuż dłuższej i krótszej krawędzi poprawa ta była rzędu 30% – parametr  $Ra$  (rys. 7) oraz 20% – parametr  $Rz$  (rys. 9).



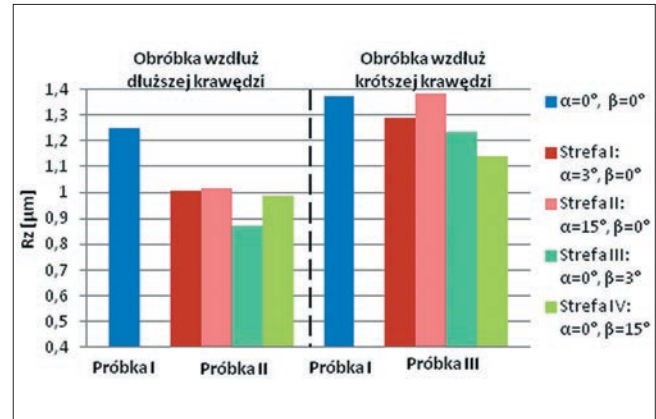
Rys. 7. Parametr  $Ra$  mierzony poprzecznie do posuwu



Rys. 8. Parametr  $Ra$  mierzony wzdłużnie do posuwu



Rys. 9. Parametr  $Rz$  mierzony poprzecznie do posuwu



Rys. 10. Parametr  $Rz$  mierzony wzdłużnie do posuwu

Przy pomiarach równoległych do posuwu lepsze rezultaty otrzymano w przypadku powierzchni obrabianej wzdłuż dłuższej krawędzi. Dla tej powierzchni zmniejszenie parametru  $Ra$  było rzędu 26% (rys. 8), a parametru  $Rz$  – około 30% (rys. 10). Nie można jednoznacznie stwierdzić, czy kierunek prowadzenia narzędzia w obróbce wykończeniowej miał wpływ na wyniki z powodu zbyt małej różnicy wartości parametrów  $Ra$  i  $Rz$  w badanych kierunkach prowadzenia narzędzia. Najmniejsze wartości parametru chropowości  $Ra$  oraz  $Rz$  uzyskano dla definiowanych kątów pochylenia  $\beta$ .

## Wnioski

Z przedstawionej analizy wynika, że w procesie symultanicznego frezowania pięcioosiowego powierzchni złożonej zmiana orientacji osi narzędzia względem wektora normalnego, poprzez kąty wyprzedzenia i pochylenia, ma wpływ na chropowość powierzchni. Odpowiedni dobór tych kątów, nawet przy małych zakresach ich wartości, pozwala uzyskać zdecydowaną poprawę jakości obrabianej powierzchni.

## LITERATURA

- Burek J., Żyłka Ł., Gdula M., Płodzień M., „Wpływ kinematyki 5-osiowego frezowania na chropowość powierzchni pióra łopatkki”. *Mechanik*. 87, 8 (2014): s. 437–444.
- Mikó Balázs, Beňo Jozef. „Effect of the working diameter to the surface quality in free-form surface milling”. *Key Engineering Materials*. 581 (online: 7 października 2013): s. 372–377.
- Qiang Zoua, Juyong Zhanga, Bailin Dengb, Jibin Zhaoc. „Iso-level tool path planning for free-form surfaces”. *Computer-Aided Design*. 53 (2014): s. 117–125.
- Warkentina Andrew, Ismailb Fathy, Bedib Sanjeev. „Comparison between multi-point and other 5-axis tool positioning strategies”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 40 (2000): s. 185–208.
- Burek J., Gdula M., Sułkiewicz P., Żurek P. „Strategia 5-osiowej obróbki łopatek turbin uwzględniająca zmiany krzywizny obrabianego profilu”. *Mechanik*. 12 (2016): s. 1892–1893.
- Burek J., Żurek P., Żurawski K. „Wpływ kąta pochylenia na chropowość powierzchni złożonych po obróbce frezem kulistym”. *Mechanik*. 10 (2016): s. 1478–1479.