

# Wpływ kąta pochylenia na chropowatość powierzchni złożonych po obróbce frezem kulistym

The influence of inclination angle on surface roughness with milling using ball mill

JAN BUREK  
PIOTR ŻUREK  
KAROL ŻURAWSKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.419

W artykule przedstawiono wpływ kąta pochylenia frezu kulistego na chropowatość powierzchni po obróbce wykończeniowej elementów o złożonych kształtach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka 5-osiowa, frez kulisty

*The article presents the influence of ball mill inclination angle on complex surfaces roughness at the finishing phase.*

**KEYWORDS:** 5-axis milling, ball mill

Obecnie stosowane 5-osiowe centra obróbkowe CNC wspomagane przez zaawansowane systemy CAM, pozwalają na wykonywanie dowolnych powierzchni złożonych. Jednak kluczowym elementem w tym procesie jest uzyskanie odpowiedniej chropowatości powierzchni. W przypadku obróbki frezem kulistym kształtowana powierzchnia wymaga wielu ścieżek narzędziowych (wierszowań), co oczywiście powoduje znaczne wydłużenie czasu obróbki. Stąd też obróbka ta jest mało wydajna, ale pozwala na wykonanie dowolnej powierzchni. Proces frezowania powierzchni krzywoliniowych tą metodą znajduje obecnie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, m.in. w produkcji form, matryc i tłoczników, w przemyśle lotniczym do produkcji wręg ze stopów aluminium, a także części silników i łopatek wirników turbin [2, 3, 4].

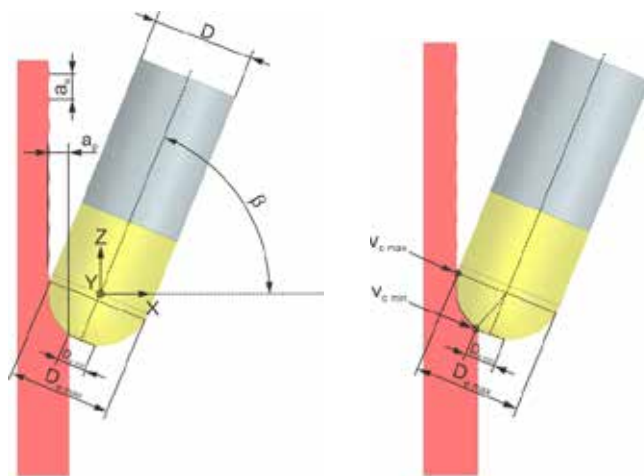
Można powiedzieć, że ze względu na kształt narzędzia oraz kinematykę procesu metoda ta jest niezastąpiona do obróbki powierzchni złożonych i miejsc, które są niedostępne dla innych narzędzi ze względu na możliwe kolizje [3, 5].

Przy 5-osiowej obróbce frezem kulistym ważną rolę odgrywa pozycjonowanie narzędzia. Zmiana kąta pochylenia frezu wiąże się ze zmianą punktu styku z przedmiotem obrabianym (rys. 1). Konsekwencją tego jest zmiana efektywnej prędkości skrawania  $v_{ce}$ , co w konsekwencji prowadzi również do zmiany chropowatości powierzchni obrabianej. Prędkość skrawania przy obróbce narzędziem kulistym określona jest wzorem:

$$v_{ce} = \frac{\pi n D \sin [\beta + \arccos(\frac{r - a_p}{r})]}{1000}$$

gdzie:  $v_{ce}$  – efektywna prędkość skrawania,  $n$  – prędkość obrotowa frezu,  $D$  – średnica frezu,  $\beta$  – kąt pochylenia frezu,  $a_p$  – głębokość skrawania,  $r$  – promień frezu.

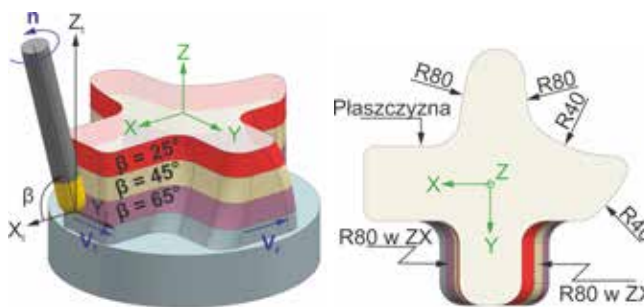
Można zauważyć, że aby utrzymać stałą prędkość skrawania  $v_c$  niezależnie od kąta pochylenia  $\beta$  frezu, konieczna jest zmiana prędkości obrotowej  $n$  wrzeczona [1, 6].



Rys. 1. Pozycjonowanie frezu kulistego:  $a_p$  – głębokość skrawania,  $a_e$  – szerokość skrawania,  $\beta$  – kąt pochylenia,  $D$  – średnica frezu,  $D_e$  – średnica efektywna frezu,  $v_{ce}$  – prędkość skrawania

## Warunki badań

Badania zostały przeprowadzone na przedmiocie testowym o złożonych kształtach (rys. 2). Zawierał on wypukłe i wklęsłe powierzchnie o różnych promieniach i konfiguracji, a także płaszczyznę.



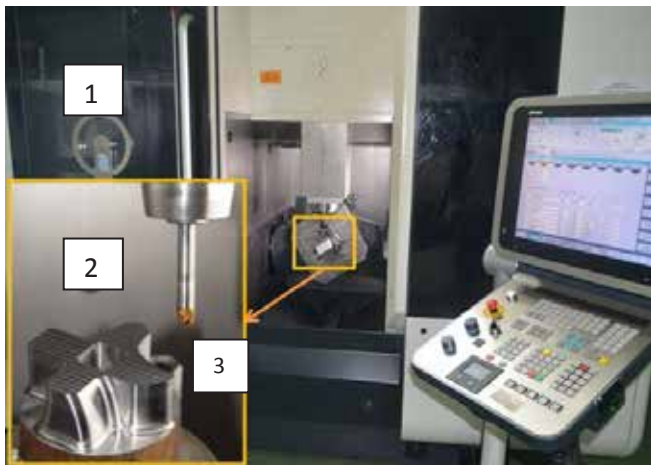
Rys. 2. Powierzchnie testowe dla kątów pochylenia frezu:  $\beta = 25^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $\beta = 65^\circ$

Zastosowano obróbkę wierszowaniem z trzema różnymi kątami pochylenia:  $\beta = 25^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $65^\circ$ . Głębokość skrawania wynosiła  $a_p = 0,3$  mm, natomiast szerokość ścieżki  $a_e = 0,2$  mm. Założeniem badań było utrzymanie stałej prędkości skrawania.

\* Dr hab. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p\_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji

kości skrawania  $v_c$  niezależnie od zmiany kąta pochylenia  $\beta$ , przez zmianę prędkości obrotowej  $n$  frezu.

W badaniach zastosowano 5-osiowe centrum obróbkowe DMG 55 HSC Linear (rys. 3). Materiałem obrabianym była stal 40HN. W procesie wykorzystano frez kulisty 316-12BM440-12060G 1030 firmy Sandvik.



Rys. 3. Stanowisko badawcze. 1 – pięcioosiowe centrum obróbkowe DMG 55 HSC Linear, 2 – narzędzie, 3 – przedmiot testowy

Badania przeprowadzono z parametrami obróbkowymi przedstawionymi w tablicy.

TABLICA. Parametry obróbkowe

$\beta(^{\circ})$	25	45	65
$v_{ce}$ (m/min)	245	245	245
$n$ (obr/min)	17 390	10 750	8040
$f_z$ (mm/z)	0,07	0,07	0,07
$v_t$ (mm/min)	4959	3038	2353
$a_p$ (mm)	0,3	0,3	0,3
$a_e$ (mm)	0,2	0,2	0,2

Do pomiaru chropowatości wykorzystano profilometr 3D MarSurf XR 20. Pomiary wykonano na powierzchniach testowych dla różnych kątów pochylenia  $\beta$  (rys. 2).

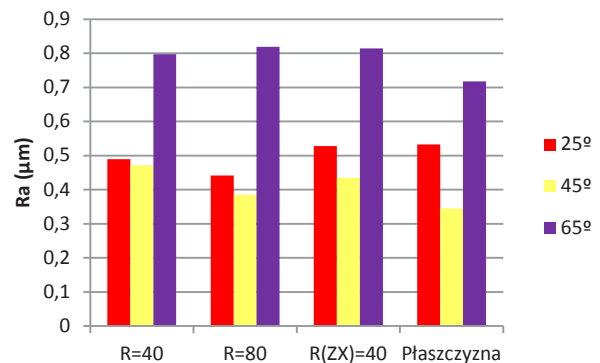
### Analiza wyników

Wyniki pomiarów parametru  $R_a$  chropowatości powierzchni przedstawiono na rys. 4 i 5.

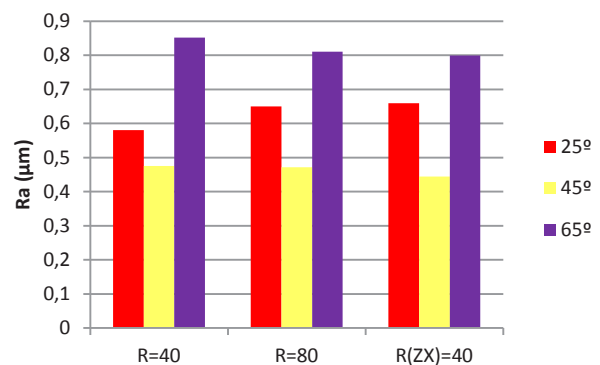
Analizując przedstawione wartości parametrów, można zauważyć, że najmniejszą chropowatość dla przyjętych parametrów obróbki otrzymano przy zastosowaniu kąta pochylenia wynoszącego  $\beta = 45^{\circ}$ . W każdym z rozpatrywanych przypadków wartość parametru  $R_a$  dla tego kąta była najniższa. Najlepszy wynik wynoszący  $R_a = 0,37 \mu\text{m}$  uzyskano dla powierzchni płaskiej. Wraz ze zmniejszaniem się promieni krzywizny powierzchni  $R$ , chropowatość powierzchni ulegała zwiększeniu. Dla powierzchni wklęsłej oraz wypukłej o promieniu krzywizny  $R = 40 \text{ mm}$  wartość ta wynosiła  $4,8 \mu\text{m}$ .

Przy frezowaniu powierzchni wypukłych oraz płaskich z kątem pochylenia wynoszącym  $\beta = 25^{\circ}$  nastąpiło zwiększenie parametru  $R_a$  w stosunku do kąta  $\beta = 45^{\circ}$ . Różnica ta dochodziła nawet do ok. 30%. Takich rozbieżności nie odnotowano przy obróbce powierzchni wklęsłych. Dla promienia  $R = 40 \text{ mm}$  wartości prawie się zrównały i wyniosły  $R_a = 0,48 \mu\text{m}$ .

W przypadku zastosowania kąta pochylenia  $\beta = 65^{\circ}$  wystąpiło znaczne zwiększenie chropowatości powierzchni obrabianej. Niezależnie od kształtu wykonywanych powierzchni chropowatość uległa prawie dwukrotnemu zwiększeniu do ok.  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ .



Rys. 4. Wykres chropowatości w punktach charakterystycznych powierzchni wklęsłych oraz płaskiej dla różnych kątów pochylenia



Rys. 5. Wykres chropowatości w punktach charakterystycznych powierzchni wypukłych dla różnych kątów pochylenia

### Wnioski

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że duży wpływ na chropowatość wykonywanej powierzchni ma kąt pochylenia  $\beta$  frezu kulistego. Również wartość parametru  $R_a$  zmienia się w zależności od zmienności krzywizny powierzchni. Odnotowywane różnice są na tyle duże, że warto uwzględnić te zmiany podczas projektowania przebiegu procesu obróbkowego.

### LITERATURA

- Boujelbene M., Moisan A., Bouzid W., Torbaty S. "Variation cutting speed on the five axis milling". *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 21 (2007): pp. 7-14.
- Burek J., Żurawski K., Żurek P., Misiura J. „Dokładność kształtowa powierzchni złożonej po procesach symultanicznego 5-osiowego frezowania punktowego oraz obwodowego”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2015): s. 730.
- Burek J., Żurek P., Płodzień M., Misiura J., Żurawski K. „Wpływ strategii obróbki na dokładność kształtową przy pięcioosiowym frezowaniu elementów cienkościennych frezami kulistymi”. *Mechanik*. Nr 8-9 (2014): s. 1-3.
- Lazoglu I., Manav C., Murtezaoglu Y. „Tool path optimization for free form surface machining”. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Vol. 58, pp. 101-104.
- Ozuturk E., Taner Tunc L., Budak E. "Investigation of lead and tilt angle effects in 5 axis-end milling process". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 49 (2009): pp. 1053-1062.
- Zhang L., Wang D., Wang K. "Modeling and Analysis for Five-Axis High Speed Milling Process Based on Cutter Optimal Kinematics Performance". *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. Vol. 4 (2012): pp. 4718-4723.