

# Programowanie procesu 5-osiowej symultanicznej obróbki frezem baryłkowym w aplikacji HyperMILL

## Programming work for simultaneous 5-axis machining process using barrel end milling tool

JAN BUREK  
PIOTR ŻUREK  
KAROL ŻURAWSKI  
PAWEŁ SUŁKOWICZ \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.92

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Prezentowano metodykę programowania 5-osiowej obróbki frezami baryłkowymi. Do generacji ścieżek wykorzystano program HyperMILL. Następnie przeprowadzono weryfikację działania programu na fragmencie wieńca łopatkowego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka 5-osiowa, frezy baryłkowe, CAM

*Presented is a programming method for simultaneous 5-axis barrel end milling process. The toolpaths were generated using Hypermill software. Consequently, the program was practically verified on a blisk section.*

**KEYWORDS:** 5-axis milling process, barrel mill, CAM

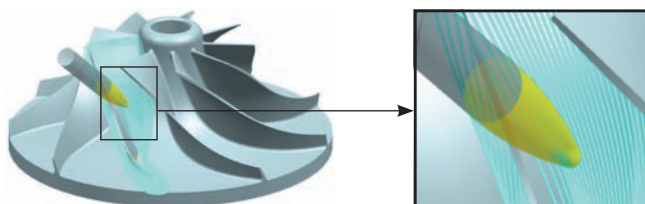
W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój przemysłu lotniczego. Wiąże się to z coraz większymi wymaganiami wobec technik wytwarzania, w tym obróbki skrawaniem.

Sprawność konstrukcji maszyn przepływowych zależy w dużej mierze od precyzji wykonania oraz spasowania ich elementów. Ma to bezpośrednie przełożenie na konkurencyjność producentów na bardzo wymagającym rynku. Drugim aspektem jest wydajność samego procesu. Produkcja zintegrowanych elementów o powierzchniach swobodnych jest niezwykle czasochłonna. Czas wykonania elementów tego typu może wynosić nawet kilkadziesiąt godzin. Dlatego już kilkuprocentowe zwiększenie wydajności przynosi znaczne korzyści.

Obecnie produkowane 5-osiowe centra obróbkowe, wspierane zaawansowanymi systemami CAM, pozwalają na wykonywanie elementów o złożonych kształtach z pełnego materiału. Aby zwiększyć wydajność, stosuje się nowe typy narzędzi, a także bardziej zaawansowane strategie obróbkowe, implementowane w systemach CAM [1, 2].

### Obróbka frezem baryłkowym

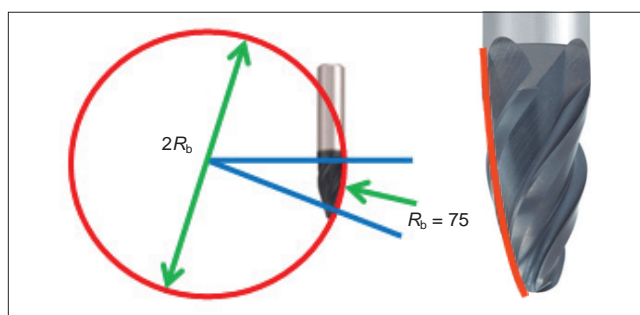
Najczęściej stosowanym narzędziem w obróbce punktowej elementów o powierzchniach złożonych jest frez kulisty. Jednak ze względu na mały przekrój warstwy skrawanej zagęszczenie ścieżek obróbkowych musi być bardzo duże, co drastycznie obniża wydajność [2, 4].



Rys. 1. Frezowanie pióra wirnika sprężarki promieniowej

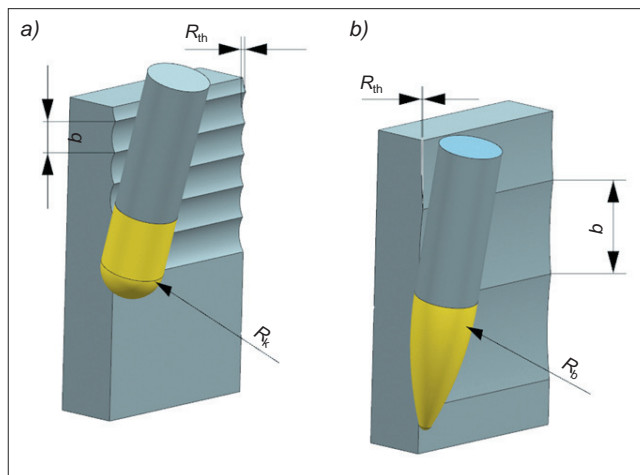
\* Dr hab. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr Piotr Żurek (p\_zurek@prz.edu.pl), mgr Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr Paweł Sułkowicz (sulkowicz@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Alternatywą dla frezu kulistego jest frez baryłkowy (rys. 1). Jego geometria pozwala na znaczne zmniejszenie zagęszczenia ścieżek z zachowaniem tej samej chropowatości kinematycznej. Dzięki temu można skrócić czas obróbki, a jednocześnie poprawić jakość powierzchni [3, 5].



Rys. 2. Geometria frezu baryłkowego

Jak widać na rys. 2, zaokrągloną powierzchnię boczną frezu baryłkowego można interpretować jako zarys frezu kulistego o wielokrotnie większej średnicy. W tym przykładzie frez baryłkowy o średnicy  $\varnothing 10$  mm odpowiada frezowi kulistemu  $\varnothing 170$  mm [3, 5].



Rys. 3. Obróbka frezem: a) kulistym, b) baryłkowym.  $R_k$  – promień frezu kulistego,  $R_b$  – promień frezu baryłkowego,  $R_{th}$  – chropowatość teoretyczna,  $b$  – szerokość ścieżki

Analiza wzorów (1,2) na chropowatość teoretyczną pokazuje, jak duże znaczenie ma promień powierzchni roboczej. Wzór (1) odpowiada frezowi kulistemu, natomiast wzór (2) – frezowi baryłkowemu:

$$R_{th} = R_k - \sqrt{R_k^2 - \frac{b^2}{4}}, \quad (1)$$

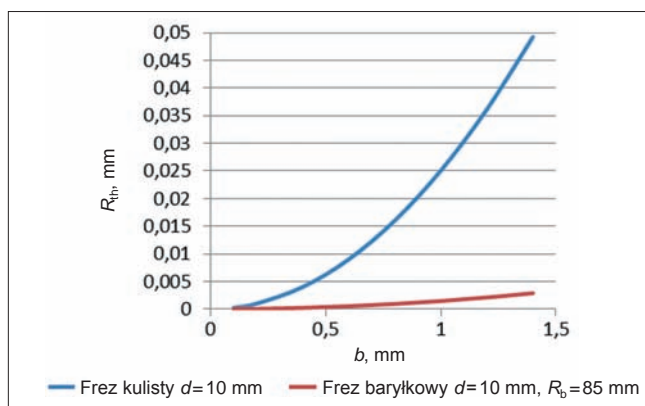
$$R_{th} = R_b - \sqrt{R_b^2 - \frac{b^2}{4}}, \quad (2)$$

Przykładowo: zakładając, że promień kuli wynosi 5 mm ( $R_k$ ), a frezu baryłkowego 85 mm ( $R_b$ ), to przy zagęszczeniu ścieżek wynoszącym 0,2 mm otrzymuje się:

- dla frezu kulistego  $R_{th} = 0,001$ ,
- dla frezu baryłkowego  $R_{th} = 0,00006$ .

Przy takich parametrach różnica chropowatości teoretycznej jest prawie dwudziestokrotna. Natomiast aby uzyskać zbliżoną jakość powierzchni, szerokość ścieżki powinna wynosić  $b = 0,8$  mm dla frezu baryłkowego, co daje czterokrotnie krótszy czas obróbki.

Na rys. 4 przedstawiono zależność chropowatości teoretycznej od zagęszczenia ścieżek dla rozpatrywanych narzędzi. Widać, jak duża jest między nimi różnica. Im większą założę się teoretyczną chropowatość, tym większe korzyści można odnieść z zastosowania frezu baryłkowego.



Rys. 4. Zależność chropowatości teoretycznej od zagęszczenia ścieżek obróbkowych

### Programowanie obróbki frezami baryłkowymi

Kod wygenerowano w aplikacji HyperMILL z modułem operacji 5-osiowych, który pozwala na obróbkę styczną narzędziami o dowolnym kształcie. Do przedstawienia metodyki programowania wykorzystano fragment wieńca wirnikowego (rys. 5). Obróbka została podzielona na trzy etapy.



Rys. 5. Model elementu testowego oraz półfabrykatu

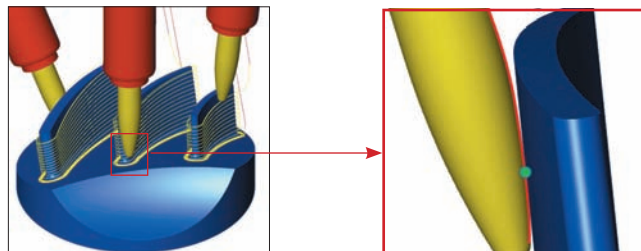
Pierwszą operacją było wstępne wybranie materiału frezem walcowym. Obróbka miała usunąć naddatek na czole półfabrykatu oraz zgrubnie wyprofilować kanały międzyłopatkowe. Do utworzenia operacji wykorzystano moduł obróbki wysokowydajnej VoluMILL. Zastosowano strategię trochoidalną przy pełnej głębokości skrawania. Obróbka prowadzona była symultanicznie w pięciu osiach.

Kolejny etap stanowiła symultaniczna, 5-osiowa obróbka wykończeniowa piór łopatek. W tej operacji zastosowano frezy baryłkowe. W programie HyperMILL narzędzia baryłkowe definiuje się jako frez kształtowy. System pozwala na generowanie ścieżek obróbki stycznej dla frezów o dowolnym zarysie. Domyślnie jest to frez baryłkowy, ale istnieje możliwość wprowadzania innych zarysów.

Ścieżki obróbkowe przebiegały spiralnie. W operacji obróbki stycznej miejsce kontaktu definiowane jest w po-

jedynczym punkcie (rys. 6 – kolor zielony) leżącym na zarysie narzędzia (rys. 6 – kolor czerwony). Na tej podstawie system generuje położenie narzędzia.

Ostatnią operacją była obróbka wykończeniowa dna. Przeprowadzono ją frezem walcowym. Utrzymano stałą głębokość oraz szerokość skrawania. Narzędzie zostało pochylone pod kątem 15°.



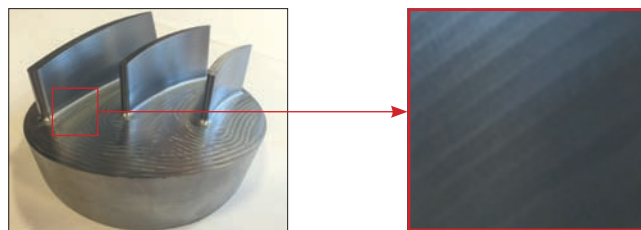
Rys. 6. Obróbka wykończeniowa pióra frezem baryłkowym

### Weryfikacja programu

W oparciu o wygenerowany kod wykonano element testowy. Obróbka została przeprowadzona na 5-osiowym centrum obróbkowym DMU 100 MonoBLOCK znajdującym się w Katedrze Techniki Wytwarzania Politechniki Rzeszowskiej.

W procesie wykorzystano frez walcowy  $d = 12$  mm Emuge Franken 2654T.012025 i frez baryłkowy  $d = 10$  mm o zaokrągleniu powierzchni bocznej  $R_b = 85$  mm Emuge Franken 3538L.10085A. Materiałem obrabianym była stal do ulepszenia cieplnego 40 HM.

Obróbka przebiegła prawidłowo. Nie odnotowano utraty stabilności procesu. Na powierzchni nie pojawiły się żadne defekty, mimo że łopatki można zakwalifikować do struktur cienkościennych, co dodatkowo utrudnia proces skrawania (rys. 7).



Rys. 7. Gotowy element

### Podsumowanie

Zastosowanie frezu baryłkowego do obróbki powierzchni złożonych wiąże się z wieloma korzyściami. Symulacje i badania wykazały, że dzięki wsparciu tej technologii przez zaawansowany system CAM uzyskano wzrost wydajności, a jednocześnie podniesiono jakość powierzchni obrabianego elementu. Takie rozwiązanie wpisuje się doskonale w wymagania dzisiejszego przemysłu.

### LITERATURA

1. Chaves-Jacob J., Poulachon G., Duc E. "Optimal strategy for finishing impeller blades using 5-axis machining". London: Springer-Verlag, 2011.
2. Davim J.P. "Machining of Complex Sculptured Surfaces", DOI: 10.1007/978-1-4471-2356-9\_2, London: Springer-Verlag, 2012.
3. Li T., Chen W., Xu R., Wang D. "Flank Milling for Blisk with a Barrel Ball Milling Cutter". School of Mechanical Engineering and Automation. Beijing (China): Beihang University, 100191.
4. Tasy D.M., Her M.J., "Accurate 5-Axis Machining of Twisted Ruled Surfaces". Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2001.
5. Wang D., Chen W., Li T., Xu R. "Five-Axis Flank Milling of Sculptured Surface with Barrel Cutters". School of Mechanical Engineering and Automation. Beijing (China): Beihang University, 100191. ■