

Badania symulacyjne strefy styku w pięcioosiowej obróbce powierzchni prostokreślnych frezem stożkowym

The analysis of cutter-workpiece engagement of conical ballmill during five-axis machining of ruled surfaces

JAN BUREK
KAROL ŻURAWSKI
PIOTR ŻUREK
MARCIN SAŁATA *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.104>

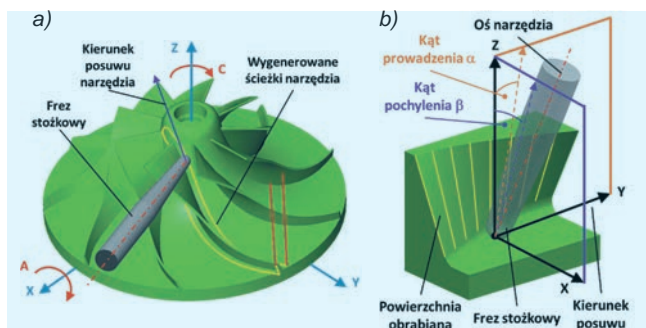
Przedstawiono badania symulacyjne wpływu kąta prowadzenia frezu stożkowego na strefę styku narzędzia przy obróbce powierzchni prostokreślnych nierozwijalnych o różnych kątach skręcenia.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie pięcioosiowe, frez stożkowy, powierzchnia prostokreślna

The article presents the analysis of the influence of a conical mill's lead angle on cutter-workpiece engagement. A methodology of performing a machining simulation as well as its results during machining of ruled surfaces with varying angles of torsion is presented.

KEYWORDS: five-axis milling, conical ballmill, ruled surface

Powszechnie stosowaną strategią obróbki wirników jest wierszowanie frezem kulistym. Narzędzie wykonuje wiele przejść z małą szerokością skrawania. Strategia ta pozwala na wykonanie powierzchni o dowolnym kształcie, jednakże jest mało wydajna. Alternatywą dla tej metody jest frezowanie obwodowe frezem stożkowym (rys. 1) [2, 3, 8].

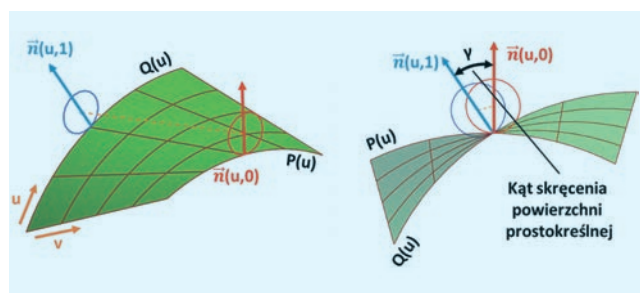


Rys. 1. Schemat: a) frezowania obwodowego wirnika, b) pięcioosiowych parametrów pozycjonowania osi narzędzia [3]

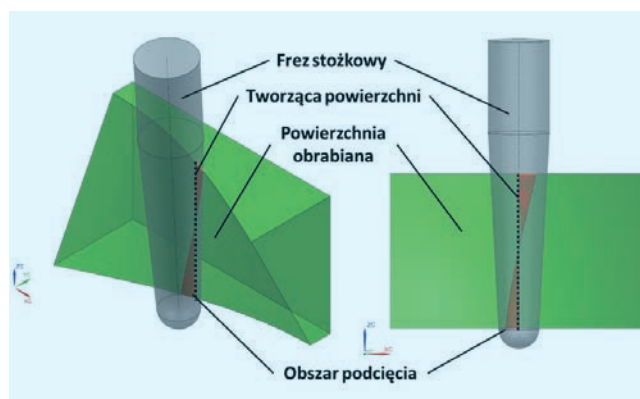
Podczas frezowania obwodowego frezem stożkowym obróbka odbywa się w jednym przejściu, w którym powierzchnia obwodowa narzędzia skrawa na całej linii styku. To pozwala na wielokrotne skrócenie czasu obróbki w porównaniu z obróbką wierszowaniem [2, 3, 8].

Metoda ta może być zastosowana wyłącznie do obróbki powierzchni prostokreślnych (rys. 2). Ograniczenie to wynika z liniowego kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym [2–5].

Ponadto przy obróbce powierzchni prostokreślnych nierozwijalnych istnieje ryzyko podcięć lub pozostawienia resztek nadmiaru obróbkowego (rys. 3). Aby tego uniknąć, niezbędna jest ciągła zmiana kąta prowadzenia α narzędzia w czasie obróbki [2–5].



Rys. 2. Kąt skręcenia γ powierzchni prostokreślniej nierozwijalnej [3]



Rys. 3. Schemat powstawania podcięć podczas obróbki powierzchni prostokreślniej nierozwijalnej [3]

Analiza strefy styku narzędzia stanowi podstawę do przewidywania siły skrawania. Natomiast zmiana wartości oraz kierunku działania siły skrawania mają decydujący wpływ na odkształcenia sprężyste układu OUPN, co skutkuje błędami wymiaru oraz kształtu [1, 6, 7]. Ponadto metoda ta umożliwia wyznaczenie maksymalnej odchyłki kształtu modelu powierzchni obrabianej względem powierzchni nominalnej [5, 6].

Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu kąta prowadzenia frezu α oraz kąta skręcenia powierzchni prostokreślniej γ na pole powierzchni styku A_s frezu stożkowego oraz objętość warstwy skrawanej V w procesie pięcioosiowego frezowania obwodowego.

Badania symulacyjne

Na potrzeby badań symulacyjnych zostały utworzone sparametryzowane modele 3D powierzchni prostokreślniej nierozwijalnej o stałym kącie skręcenia γ oraz frezu stożkowego.

Możliwe było modyfikowanie wymiarów geometrycznych powierzchni testowej, m.in. długości, szerokości, wysokości, kąta skręcenia γ oraz wartości pozostawionego nadmiaru obróbkowego.

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRZ (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza

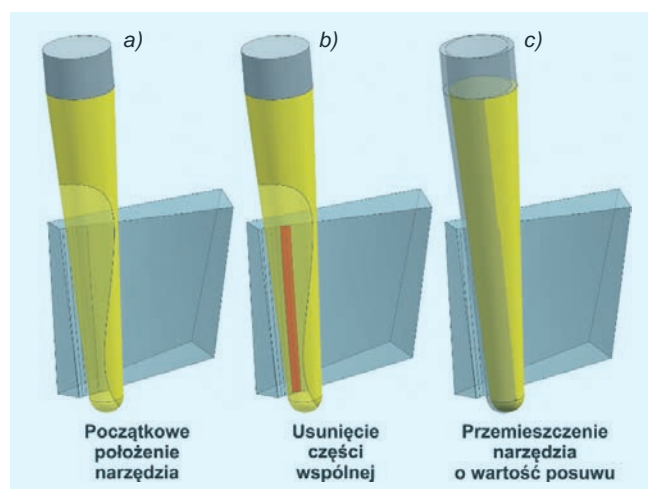
Natomiast w modelu frezu stożkowego możliwa była zmiana wymiarów geometrycznych, tj. średnicy frezu, długości części roboczej, długości całkowitej, kąta pochylenia stożka oraz pięcioposiowych parametrów pozycjonowania osi narzędzia, tj. kąta prowadzenia α i kąta pochylenia β .

Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy przedstawiono w tablicy.

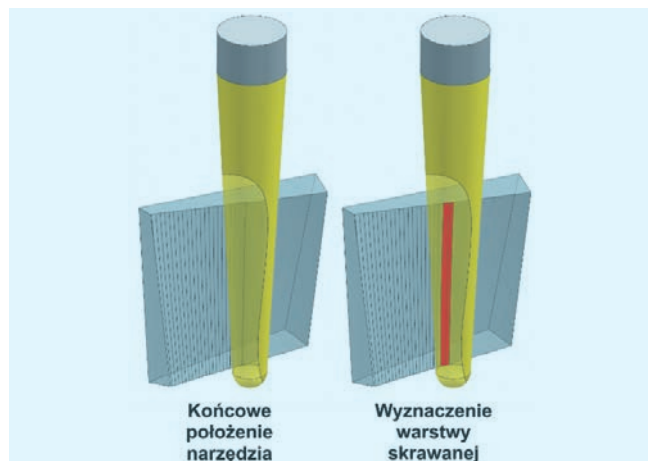
TABLICA. Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy

Średnica narzędzia d	4 mm
Kąt stożka	6°
Posuw na ostrze f_z	0,05 mm
Głębokość skrawania a_p	0,2 mm
Szerokość skrawania a_e	20 mm
Kąt prowadzenia α	$0^\circ \div 3^\circ$
Kąt pochylenia β	0°
Kąt skręcenia powierzchni γ	$0^\circ \div 30^\circ$

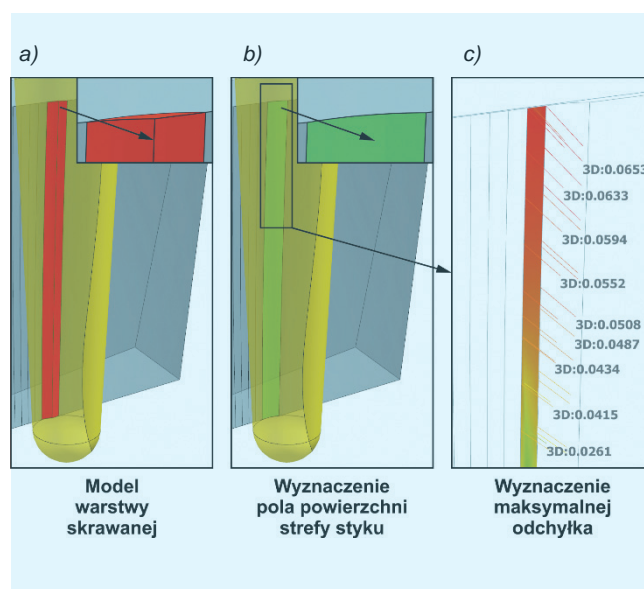
W pierwszej fazie ustalono wstępne położenie narzędzia względem obrabianej powierzchni (rys. 4a). Następnie wykonano operację odejmowania bryły narzędzia od modelu powierzchni obrabianej (rys. 4b). W kolejnym kroku przemieszczono model frezu z poprzedniej pozycji o wartość posuwu. Tę procedurę wykonano w pętli iteracyjnej do momentu zrealizowania założonej długości ścieżki (rys. 4c) [9, 10].



Rys. 4. Metoda wyznaczania modelu warstwy skrawanej – etap 1



Rys. 5. Metoda wyznaczania modelu warstwy skrawanej – etap 2



Rys. 6. Metoda wyznaczania strefy styku i maksymalnej odchyłki od modelu nominalnego

Na kolejnym etapie wyznaczono część wspólną modelu narzędzia i powierzchni obrabianej (rys. 5). W rezultacie uzyskano model warstwy skrawanej. Posłużył on do wyznaczenia objętości usuwanego materiału (rys. 6a) oraz pola powierzchni strefy styku A_S (rys. 6b). Dodatkowo, w oparciu o uzyskany model powierzchni obrabianej, wyznaczono wartość maksymalnej odchyłki względem modelu nominalnego (rys. 6c) [9, 10].

Analiza wyników

Na rys. 7–9 przedstawiono wykresy zależności wartości objętości warstwy skrawanej V , pola powierzchni strefy styku A_S oraz maksymalnej odchyłki od kąta skręcenia powierzchni γ dla różnych kątów prowadzenia α .

Z analizy rys. 7 wynika, że kąt skręcenia γ obrabianej powierzchni prostokątnej oraz kąt prowadzenia narzędzia α mają znaczny wpływ na objętość warstwy skrawanej.

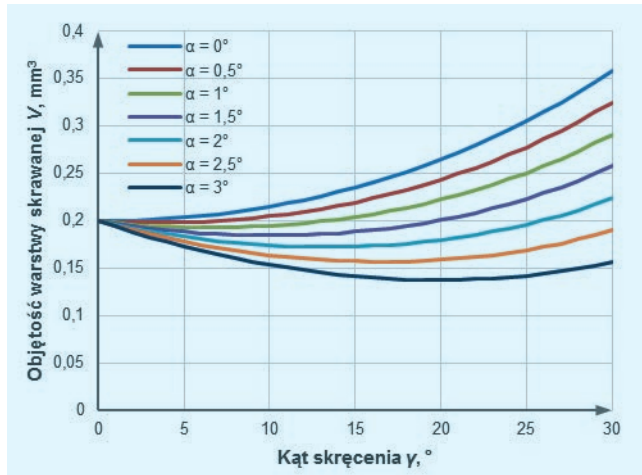
Przy obróbce z zerowym kątem prowadzenia α objętość warstwy skrawanej mieści się w zakresie od 0,20 do 0,36 mm³. W tym przypadku objętość warstwy skrawanej V wzrasta wraz ze zwiększaniem się kąta skręcenia γ powierzchni obrabianej. Natomiast po wprowadzeniu kąta prowadzenia $\alpha = 3^\circ$ uzyskano najmniejszą objętość warstwy skrawanej V , która mieściła się w przedziale od 0,14 do 0,19 mm³. Należy zaznaczyć, że maksymalna wartość została osiągnięta przy zerowym kącie skręcenia powierzchni obrabianej γ natomiast najmniejsza – przy $\gamma = 20^\circ$.

Na podstawie analizy rys. 8 można stwierdzić, że zarówno kąt skręcenia powierzchni prostokątnej γ , jak i kąt prowadzenia α wywierają wpływ na wartość pola powierzchni strefy styku narzędzia A_S .

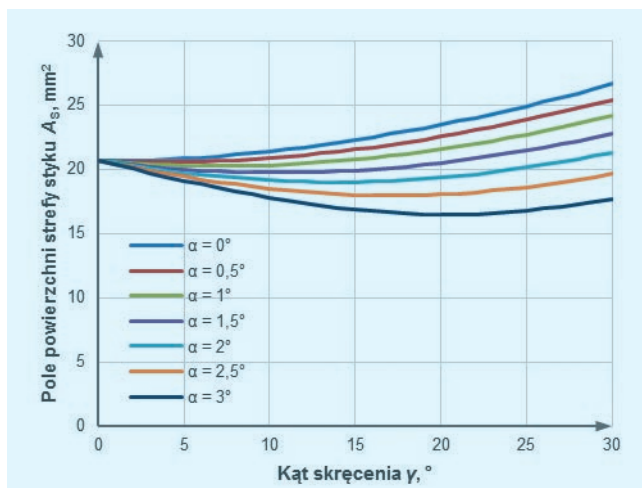
Największe wartości uzyskano przy zerowym kącie prowadzenia α i mieściły się one w zakresie od 20 do 26,7 mm². Podobnie jak w przypadku objętości warstwy skrawanej V , wartość pola powierzchni strefy styku A_S wzrastała wraz ze zwiększaniem się kąta skręcenia γ powierzchni obrabianej. Dla kąta prowadzenia $\alpha = 3^\circ$ następuje zmniejszenie pola powierzchni strefy styku narzędzia do zakresu od 16,5 do 20 mm², przy czym wartość minimalna jest osiągana dla kąta skręcenia $\gamma = 20^\circ$.

Ponadto zmiana wartości kąta prowadzenia α wpływa na ukształtowanie strefy styku narzędzia. Jest to widoczne zwłaszcza przy dużych wartościach kąta skreślenia powierzchni prostokątnej (rys. 10).

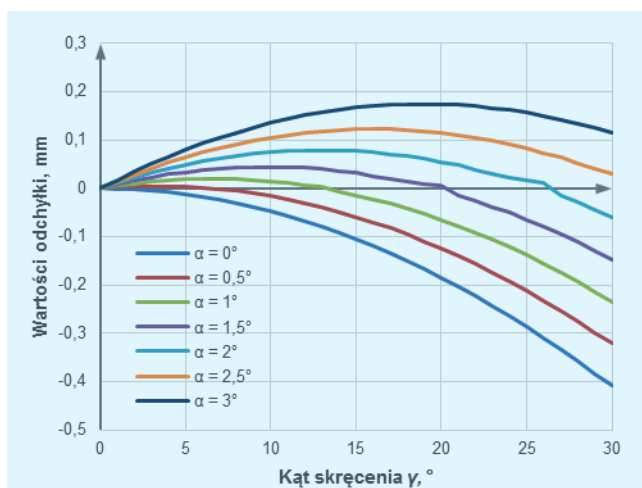
Na podstawie rys. 9 można stwierdzić, że w zależności od kąta skreślenia γ powierzchni prostokątnej zmienia się wartość maksymalnej odchyłki wynikającej z podcięć



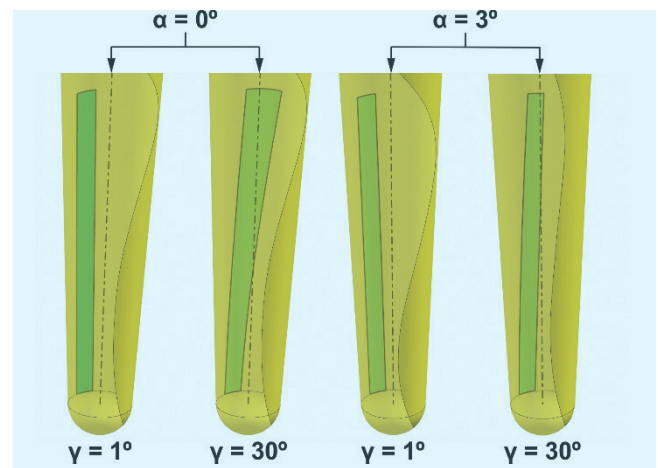
Rys. 7. Objętość warstwy skrawanej V w funkcji kąta skreślenia γ dla różnych kątów prowadzenia α



Rys. 8. Pole powierzchni strefy styku narzędzia A_s w funkcji kąta skreślenia γ dla różnych kątów prowadzenia α



Rys. 9. Wartości maksymalnej odchyłki od modelu nominalnego w funkcji kąta skreślenia γ dla różnych kątów prowadzenia α



Rys. 10. Strefy styku narzędzia

obróbkowych czy też pozostawienia nadmiaru. Widać, że rozkład odchyłek jest różny w zależności od kąta prowadzenia narzędzia. Szczególnie należy zwrócić uwagę na fakt, że dla każdego kąta skreślenia odchyłki minimalna osiągana jest przy różnym kącie prowadzenia narzędzia.

Podsumowanie

Z badań symulacyjnych można wywnioskować, że wartości kąta prowadzenia frezu α oraz kąt skreślenia γ powierzchni prostokątnej mają bardzo duży wpływ zarówno na objętość warstwy skrawanej V , jak również na pole powierzchni strefy styku A_s w procesie pięcioosiowego frezowania obwodowego.

Duża rozpiętość wartości badanych parametrów w rozpatrywanym zakresie kątów skreślenia γ implikuje zmienność składowych siły skrawania, które z kolei znajdują odzwierciedlenie w dokładności wykonania obrabianej powierzchni.

W celu utrzymania stałej wartości objętości warstwy skrawanej V i pola powierzchni strefy styku A_s konieczna jest ciągła zmiana kąta prowadzenia α w czasie obróbki.

LITERATURA

1. Boz Y., Erdim H., Lazoglu I. „A comparison of solid model and three-orthogonal delfield methods for cutter-workpiece engagement calculations in three- and five-axis virtual milling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2013).
2. Burek J., Żurawski K., Żurek P. „Wpływ kąta prowadzenia frezu na dokładność wymiarowo-kształtową powierzchni prostokątnych”. *Mechanik*. 87, 8–9 (2014): s. 729.
3. Burek J., Żurawski K., Żurek P. „Wpływ kąta pochylenia freza na dokładność kształtową powierzchni prostokątnych”. *Mechanik*. 89, 10 (2016): s. 1472–1473.
4. Chu C.-H., Chen J.-T. „Tool path planning for five-axis flank milling with developable surface approximation”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 29 (2006): s. 707–713.
5. Ferry W. „Virtual Five-axis Flank Milling of Jet Engine Impellers”. Vancouver: The University of British Columbia, 2008.
6. Lazoglu I., Boz Y., Erdim H. „Five-axis milling mechanics for complex free form surfaces”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 60 (2011): pp. 117–120.
7. Li Z.-H., Wang X.-Z., Zhu L.-M. „Arc-surface intersection method to calculate cutter-workpiece engagements for generic cutter in five-axis milling”. *Computer-Aided Design*. 73 (2016): s. 1–10.
8. Waldt N. „NC-Programmierung für das funfachsige Flanken-frasen von Feriformflächen”. Universität Hannover, 2005.
9. Yang Y., Wan M., Zhang W., Ma Y. „Extraction of cutter-workpiece engagement for multi-axis milling”. *Materials Science Forum*. 770 (2014): s. 357–360.
10. Yang Y., Zhang W., Wan M., Ma Y. „A solid trimming method to extract cutter-workpiece engagement maps for multi-axis milling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2013).