

# Geometria warstwy skrawanej w obróbce powierzchni złożonych frezem toroidalnym

## Geometry area of cut in machining sculptured surfaces of the toroidal cutter

JAN BUREK  
MICHAŁ GDULA \*

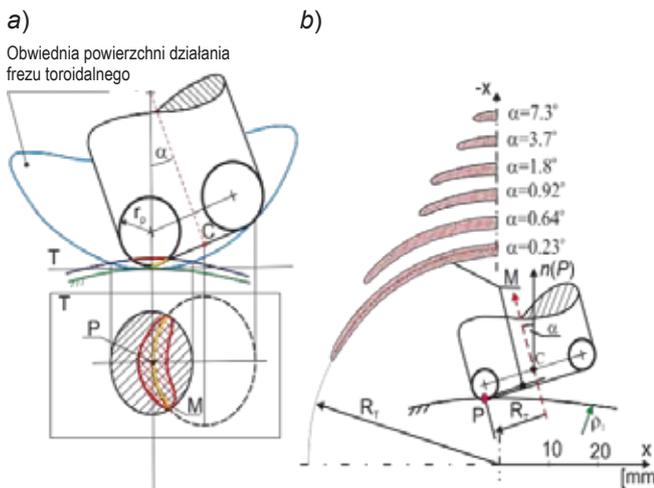
DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.357

Prezentowane wyniki badań symulacyjnych wpływu kąta prowadzenia osi frezu toroidalnego oraz zmiennego promienia krzywizny obrabianej powierzchni na geometrię warstwy skrawanej w procesie symultanicznego 5-osiowego frezowania wypukło-wklęsłej oraz wklęsło-wypukłej powierzchni złożonej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** kąt prowadzenia, promień krzywizny, obróbka 5-osiowa, frez toroidalny, geometria warstwy skrawanej

*In the paper presents the results of simulation research. Was studied the process of simultaneous 5-axis milling of convex-concave and concave-convex sculptured surface of the toroidal cutter. Determine the effect of the lead angle and the variable radius of curvature machined contour on the cutting geometry. KEYWORDS: lead angle, radius of curvature, 5-axis milling, toroidal cutter, cutting geometry*

W procesie symultanicznego 5-osiowego frezowania powierzchni złożonych frezem toroidalnym takich części, jak łopatki turbin, przekrój warstwy skrawanej istotnie zależy od kąta prowadzenia  $\alpha$  frezu w kierunku posuwu oraz zmieniającego się promienia krzywizny  $\rho_1$  obrabianego profilu powierzchni (rys. 1) [2].



Rys. 1. Odwzorowanie ostrza frezu toroidalnego w materiale obrabianym dla  $\alpha > 0$ : a) ślad styku, b) kształt śladu styku

Wraz z ciągłą zmianą promienia krzywizny  $\rho_1$  obrabianego profilu przy stałej wartości kąta prowadzenia  $\alpha$  zmienia

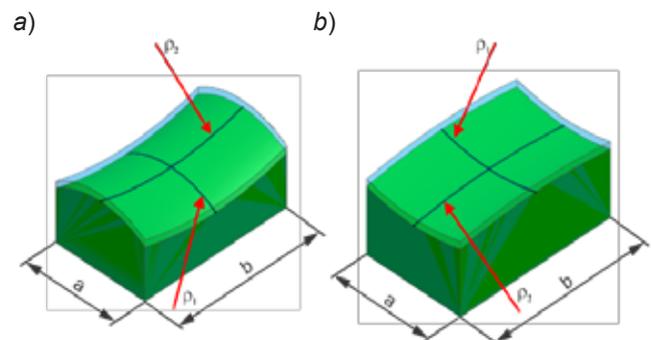
się punkt styku, a tym samym warunki styku pomiędzy powierzchnią działania frezu toroidalnego a przedmiotem obrabianym.

Parametry wpływające na styk między frezem toroidalnym a obrabianą powierzchnią (tj. położenie oraz kształt śladu styku) wpływają z kolei na zmianę przekroju warstwy skrawanej. Wykorzystując możliwości systemów CAD/CAM, można wyznaczyć zależność geometrii warstwy skrawanej w funkcji kąta prowadzenia  $\alpha$  oraz promienia krzywizny  $\rho_1$ . Zmniejszenie przekroju poprzecznego warstwy skrawanej prowadzi do zredukowania siły skrawania oddziałującej na narzędzie i przedmiot obrabiany, co w sposób bezpośredni wpływa na dokładność wymiarowo-kształtową obrabianej powierzchni.

Stąd też ważne jest określenie stopnia wpływu tych parametrów na zmianę przekroju warstwy skrawanej, co przedstawiono dalej w badaniach symulacyjnych.

### Warunki badań symulacyjnych

Badania przeprowadzono w środowisku CAD NX9 w dwóch etapach. Na pierwszym etapie zrealizowano symulację obróbki powierzchni wypukło-wklęsłej, natomiast na etapie drugim – powierzchni wklęsło-wypukłej. Powierzchnie te skonstruowano w oparciu o różne promienie krzywizny:  $\rho_1$  w kierunku posuwu narzędzia oraz  $\rho_2 \gg \rho_1$  w kierunku prostopadłym do posuwu narzędzia (rys. 2).



Rys. 2. Modele analizowanych powierzchni: a) wypukło-wklęsłej, b) wklęsło-wypukłej

W badaniach wstępnych wykazano, że promień krzywizny  $\rho_2$  jest nieistotny i nie wpływa znacząco na geometrię warstwy skrawanej, zatem ten parametr pominięto w dalszych analizach [2].

W tablicy przedstawiono parametry oraz zmienne badanego procesu obróbki. Dla każdego z etapów parametrami stałymi były: głębokość skrawania  $a_p$ , szerokość skrawania  $a_e$  i posuw na ostrze  $f_z$ . Średnica frezu toroidalnego była

\* Dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRZ (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Michał Gdula (gdulam@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji

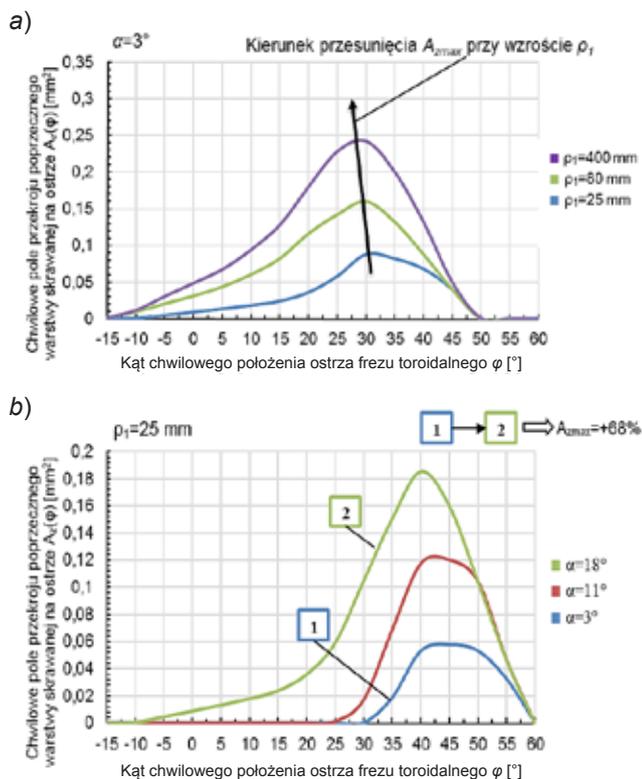
równa  $D_{FT} = 16$  mm i promień okrągłej płytki skrawającej  $r_p = 4$  mm. Parametrami zmiennymi w ustalonym zakresie były: kąt prowadzenia  $\alpha$  oraz promień krzywizny w kierunku posuwu  $\rho_1$ .

TABLICA. Parametry oraz zmienne badanego procesu obróbki

Lp.	Parametry	Obróbka powierzchni wypukło-wklęsłej	Obróbka powierzchni wklęsło-wypukłej
1.	$a_p$ [mm]	0,25	0,25
2.	$a_e$ [mm]	1,5	1,5
3.	$f_z$ [mm/ostre]	0,26	0,26
4.	$f_n$ [mm/obrot]	0,5	0,5
5.	$\rho_1$ [mm]	$\rho_1 \in <25 \div 400>$	$\rho_1 \in <40 \div 120>$
6.	$\alpha$ [°]	$\alpha \in <3 \div 18>$	$\alpha \in <15 \div 23>$

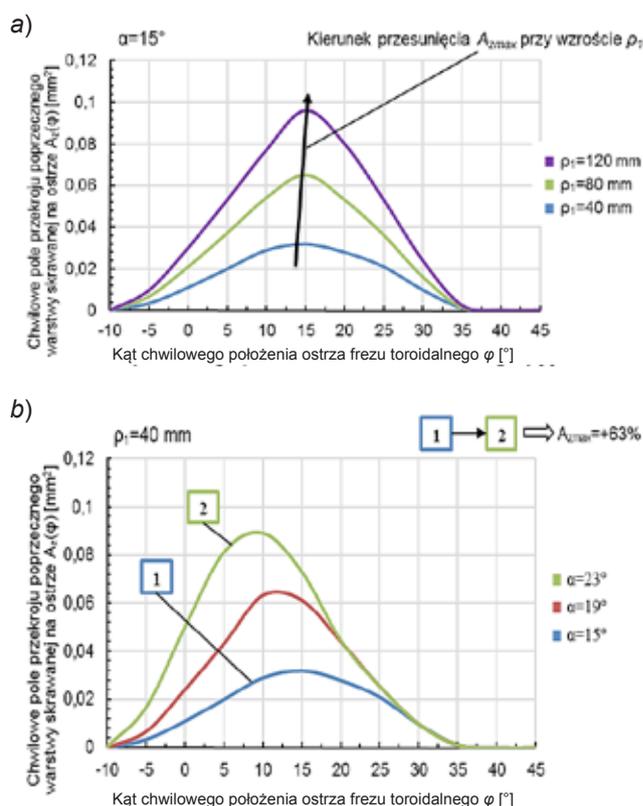
## Wyniki badań symulacyjnych

• W celu dokonania identyfikacji warunków styku narzędzie – przedmiot wykonano badania rozkładu chwilowego pola przekroju warstwy skrawanej  $A_z(\varphi)$  przypadającego na ostrze frezu. Rozkłady chwilowego przekroju warstwy skrawanej w obróbce powierzchni wypukło-wklęsłej pokazano na rys. 3. Z zakresu kąta prowadzenia wytypowano wartości  $\alpha = 3; 11; 18^\circ$ , natomiast promienia krzywizny  $\rho_1 = 25; 80; 400$  mm.



Rys. 3. Wpływ promienia krzywizny (a) oraz kąta prowadzenia (b) na rozkład chwilowego pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej  $A_z(\varphi)$  przypadającego na ostrze frezu toroidalnego w obróbce powierzchni wypukło-wklęsłej

• Rozkłady chwilowego przekroju warstwy skrawanej w obróbce powierzchni wklęsło-wypukłej pokazano na rys. 4. Z zakresu kąta prowadzenia wytypowano wartości  $\alpha = 15; 19; 23^\circ$ , natomiast promienia krzywizny  $\rho_1 = 40; 80; 120$  mm.



Rys. 4. Wpływ promienia krzywizny (a) oraz kąta prowadzenia (b) na rozkład chwilowego pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej  $A_z(\varphi)$  przypadającego na ostrze frezu toroidalnego w obróbce powierzchni wklęsło-wypukłej

## Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że symultaniczna 5-osiowa obróbka powierzchni złożonych, z uwagi na zmieniające się w sposób ciągły strefę i punkt styku między ostrzem frezu toroidalnego a obrabianą powierzchnią, nie powinna być prowadzona ze stałą wartością kąta prowadzenia  $\alpha$ . Wraz ze wzrostem wartości pochylenia osi frezu w kierunku posuwu następuje zmniejszenie strefy styku między powierzchnią działania frezu a powierzchnią obrabianą. Ponadto pochylenie osi frezu toroidalnego powoduje zwiększenie i przesunięcie maksymalnego pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej  $A_{zmax}$ , co wynika z wydłużenia czynnej długości krawędzi skrawającej. Kolejnym istotnym parametrem wpływającym na przebieg procesu symultanicznego 5-osiowego frezowania jest zmienny promień krzywizny  $\rho_1$ . W obróbce ze stałym kątem  $\alpha$  wzrost wartości  $\rho_1$  powoduje wzrost pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej.

## LITERATURA

- Fang N., Wu Q. "A comparative study of the cutting forces in high speed machining of Ti-6Al-4V and Inconel 718 with a round cutting edge tool". *Journal of Materials Technology*. Vol. 209, (2009), pp. 4385÷4389.
- Gdula M. „Proces symultanicznego pięcioosiowego frezowania powierzchni złożonych frezem toroidalnym.” *Praca doktorska w realizacji*.
- Gilles P., Monies F., Walter R. "Optimum orientation of a torus milling cutter: Method to balance the transversal cutting force". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 47, (2007) pp. 2263÷2272.
- Lim E.M., Menq C.H., Yen D.W. "Integrated planning for precision machining of complex surfaces-iii. Compensation of dimensional errors". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 37 (1997), no. 9, pp. 1313÷1326.
- Zander M. „Potentiale beim mehrachsen-fräsen mit toruswerkzeugen im formenbaum.” RWTH Aachen, 1995.