Badania symulacyjne warstwy skrawanej frezem baryłkowym

The analysis of barrel mill's cut-layer cross section

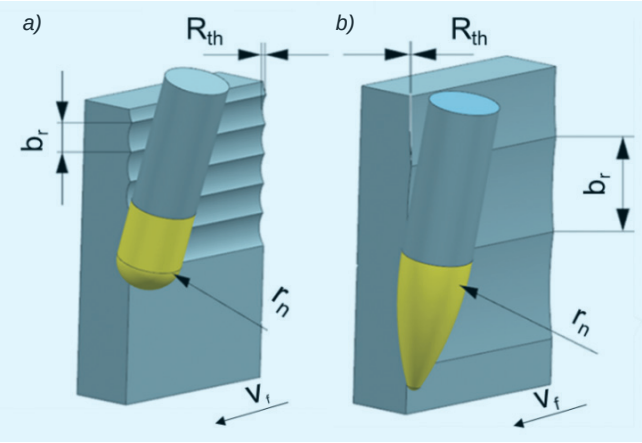
JAN BUREK
ŁUKASZ ŻYŁKA
PIOTR ŻUREK
KAROL ŻURAWSKI
MARCIN SAŁATA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.103

Przedstawiono badania symulacyjne pola przekroju warstwy **skrawanej frezem baryłkowym. Badania dotyczyły obróbki powierzchni złożonych wklęsłych oraz wypukłych.**
SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie pięcioosiowe, frez baryłkowy

The article presents the analysis of barrel mill's cut-layer cross section. A methodology of performing a machining simulation as well as its results during machining of concave and convex surfaces is presented.
KEYWORDS: five-axis milling, barrel mill

Złożone powierzchnie najczęściej obrabia się frezami kulistymi. Jednak ze względu na stosunkowo małą szerokość ścieżki obróbkowej praca tymi frezami jest mało wydajna. Małe szerokości ścieżek obróbkowych b_r wynikają z małego promienia zarysu krawędzi skrawającej r_n. Dlatego poszukuje się nowych geometrii frezów, które umożliwią stosowanie znacznie szerszych ścieżek obróbkowych. Do tych narzędzi należą frezy o baryłkowym zarysie krawędzi skrawającej (rys. 1) [2–4].



Rys. 1. Obróbka frezem: *a*) kulistym oraz *b*) baryłkowym [2, 3]

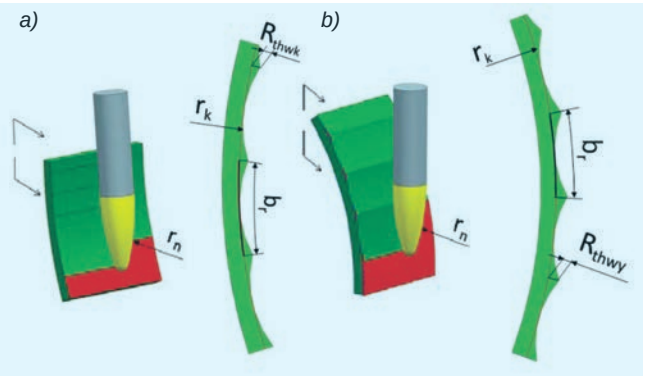
Zastosowanie tych frezów wiąże się z zupełnie innym nakładaniem się ścieżek obróbkowych, co istotnie wpływa na wydajność powierzchniową i maksymalną teoretyczną wysokość profilu R_{th}, którą określa się wzorem [2–4]:

$$R_{\mathrm{th}} = r_{\mathrm{n}} + \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \frac{b_{\mathrm{r}}^2}{4}}$$

gdzie: r_n – promień zarysu krawędzi skrawającej, b_r – szerokość ścieżki.

Wraz z poszerzaniem ścieżki obróbkowej b_r zwiększeniu ulega pole przekroju warstwy skrawanej. Ma to wpływ na rozkład oraz wartość siły skrawania, co z kolei skutkuje odkształceniami sprężystymi układu OUPN i przekłada się na błędy wymiaru oraz kształtu obrabianej powierzchni. Stąd bardzo ważna jest analiza pola przekroju warstwy skrawanej [1, 9].

Ponadto w przypadku obróbki powierzchni złożonych oprócz promienia r_n istotny wpływ na maksymalną wysokość profilu ma promień krzywizny powierzchni obrabianej r_k – zarówno powierzchni wklęsłych, jak i wypukłych (rys. 2) [5, 7].



Rys. 2. Obróbka frezem baryłkowym powierzchni: *a*) wklęsłych, *b*) wypukłych

W obróbce powierzchni wklęsłej wraz ze zmniejszaniem promienia krzywizny r_k powierzchni obrabianej maleje maksymalna wysokość profilu R_{thwk}, zgodnie z zależnością:

$$R_{\mathrm{thwk}} = r_{\mathrm{k}} - (r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \cos\frac{b_{\mathrm{rwk}}}{2r_{\mathrm{k}}} - \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \left[(r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \sin\frac{b_{\mathrm{rwk}}}{2r_{\mathrm{k}}}\right]^2}$$

gdzie: b_{rwk} – szerokość ścieżki obróbkowej dla powierzchni wklęsłej (wartość łukowa).

Natomiast w przypadku obróbki powierzchni wypukłych wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny rośnie maksymalna wysokość profilu R_{thwy} według zależności:

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

$$R_{\mathrm{thwy}} = (r_{\mathrm{n}} + r_{\mathrm{k}}) \cos\frac{b_{\mathrm{rwy}}}{2r_{\mathrm{k}}} - \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \left[(r_{\mathrm{k}} + r_{\mathrm{n}}) \sin\frac{b_{\mathrm{rwy}}}{2r_{\mathrm{k}}}\right]^2} - r_{\mathrm{k}}$$

gdzie: b_{rwy} – szerokość ścieżki obróbkowej dla powierzchni wypukłej (wartość łukowa).

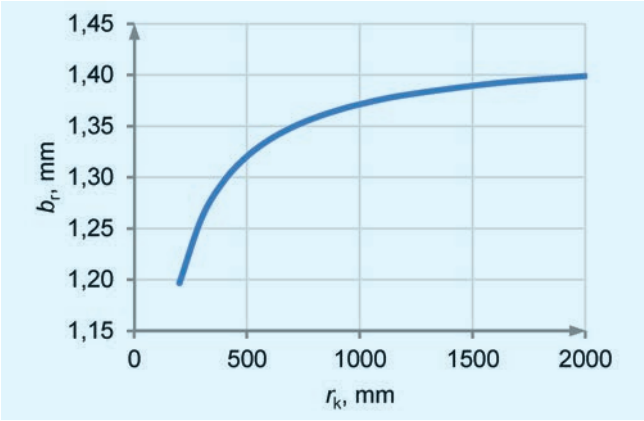
Jeśli założy się zachowanie stałej maksymalnej wysokości profilu (R_{th} = const) poprzez zmianę szerokości ścieżek obróbkowych b_{r}, można obliczyć szerokość tych ścieżek dla powierzchni wklęsłej b_{rwk} oraz dla powierzchni wypukłej b_{rwy} według zależności:

$$b_{\mathrm{rwk}} = 2r_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{acos}\left[\frac{2r_{\mathrm{k}}^2 - 2r_{\mathrm{k}} \cdot r_{\mathrm{n}} - 2 \cdot r_{\mathrm{k}} \cdot R_{\mathrm{thwk}} + R_{\mathrm{thwk}}^2}{2(r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \cdot (r_{\mathrm{k}} - R_{\mathrm{thwk}})}\right]$$

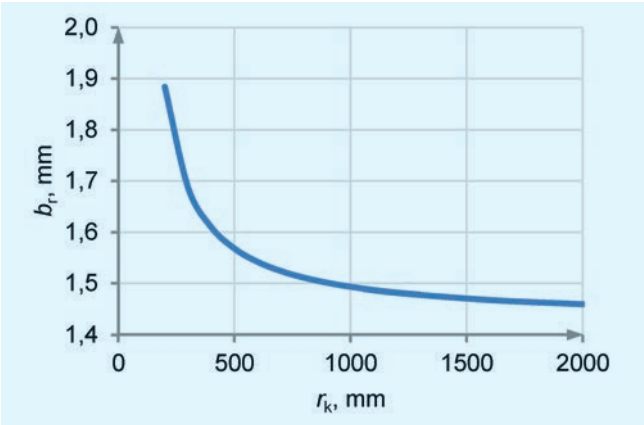
$$b_{\mathrm{rwy}} = 2r_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{acos}\left[\frac{2r_{\mathrm{k}}^2 + 2r_{\mathrm{k}} \cdot r_{\mathrm{n}} + 2r_{\mathrm{k}} \cdot R_{\mathrm{thwy}} + R_{\mathrm{thwy}}^2}{2(r_{\mathrm{k}} + r_{\mathrm{n}}) \cdot (r_{\mathrm{k}} + R_{\mathrm{thwy}})}\right]$$

Badania symulacyjne

W oparciu o te zależności wyznaczono szerokości ścieżek obróbkowych dla promieni krzywizny od 200 do 2000 mm. Obliczenia były prowadzone dla stałego parametru R_{th} = 3 µm. Zakres szerokości ścieżek wyniósł b_{r} = 1,46÷1,88 mm dla powierzchni wklęsłej (rys. 3) oraz 1,20÷1,44 mm dla powierzchni wypukłej (rys. 4).



Rys. 3. Szerokości ścieżki obróbkowej w funkcji promienia krzywizny obrabianej – powierzchnia wypukła



Rys. 4. Szerokości ścieżki obróbkowej w funkcji promienia krzywizny obrabianej – powierzchnia wklęsła

Szerokość ścieżki b_{r} w zależności od promienia r_{k} w przypadku obu typów powierzchni jest zmienna. Widać dużo większe różnice szerokości ścieżki b_{r} w małych zakresach promieni powierzchni obrabianych poniżej r_{k} = 500 mm.

Następnie przeprowadzono badania symulacyjne warstwy skrawanej podczas obróbki powierzchni wklęsłej oraz wypukłej frezem baryłkowym. Przyjęto stałe parametry geometryczne i technologicznie (tablica). Analizę wykonano dla szerokości ścieżek otrzymanych w wyniku przeprowadzonych obliczeń. Celem analizy było wyznaczenie maksymalnego pola przekroju warstwy skrawanej w zależności od promienia krzywizny powierzchni obrabianej przy założeniu stałej maksymalnej wysokości profilu R_{th}.

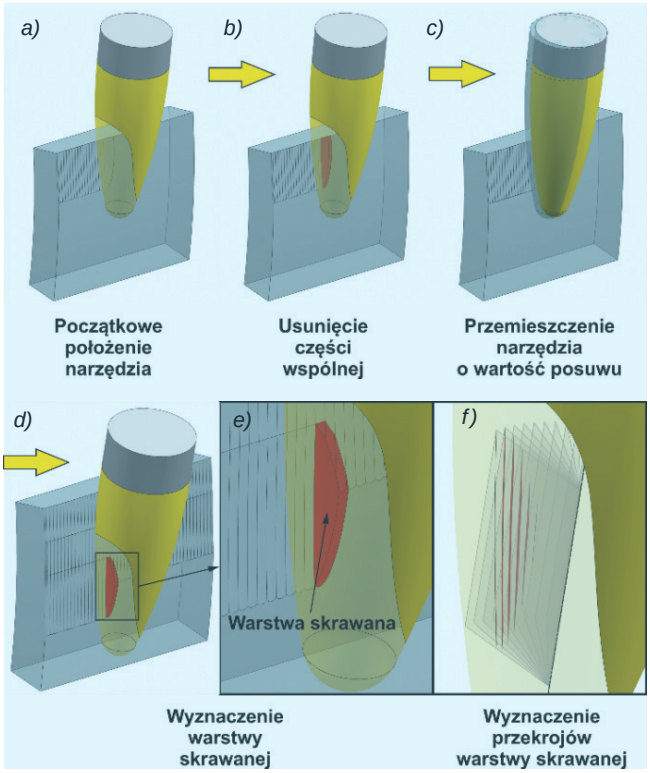
TABLICA. Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy

Maksymalna wysokość profilu R_{th}, µm	3
Promień zarysu krawędzi skrawającej r_{n}, mm	85
Średnica narzędzia d, mm	10
Posuw na ostrze f_{z}, mm	0,1
Zakres szerokości ścieżek b_{r}, mm	1,2÷1,9
Zakres promieni krzywizny powierzchni obrabianej r_{k}, mm	200÷2000

Metodyka badań

Analiza została przeprowadzona w oparciu operacje boolowskie. Uproszczeniem było przyjęcie braku pochylenia krawędzi skrawającej [6, 8].

Utworzono dwa typy modeli powierzchni obrabianej – oddzielne dla powierzchni wklęsłej oraz wypukłej. Promień krzywizny r_{k} oraz szerokość ścieżki b_{r} były sparametryzowane. Następnie zamodelowano frez baryłkowy o średnicy d = 10 mm i promieniu zarysu krawędzi skrawającej r_{n} = 85 mm. Przebieg analizy przedstawiono na rys. 5.



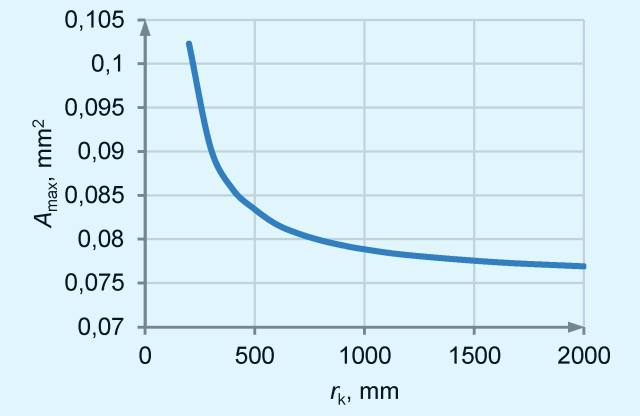
Rys. 5. Metoda wyznaczania pola powierzchni warstwy skrawanej

W pierwszym kroku ustalono położenie narzędzia względem obrabianej powierzchni (rys. 5*a*). Odjęto bryłę modelu narzędzia od powierzchni obrabianej (rys. 5*b*). Kolejnym etapem było ponowne przesunięcie modelu narzędzia z poprzedniej pozycji o wartość posuwu (rys. 5*c*).

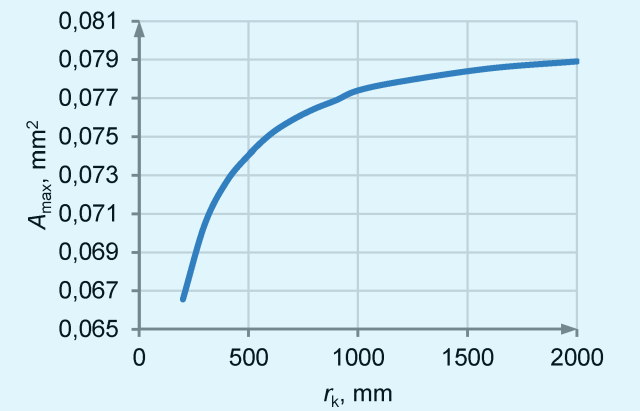
Te czynności były powtarzane do momentu wykonania założonej liczby ścieżek (rys. 5*d*). Następnie wyznaczono iloczyn modelu powierzchni obrabianej oraz bryły narzędzia i otrzymano model warstwy skrawanej (rys. 5*e*). Na etapie końcowym wyznaczono przekroje warstwy i odczytano pola powierzchni (rys. 5*f*) [10].

Analiza wyników

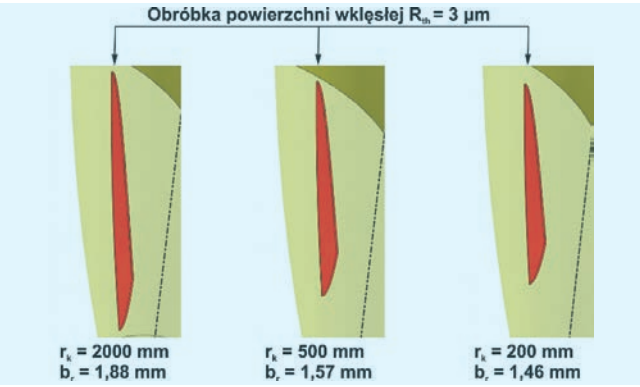
W przypadku obróbki powierzchni wklęsłej o promieniu krzywizny r_k = 200 mm pole przekroju warstwy skrawanej A_{max} wyniosło 0,103 mm^2 (rys. 6). Jest to wartość o ok. 30% większa w porównaniu z polem przekroju warstwy skrawanej w obróbce powierzchni wklęsłej o promieniu r_k = 2000 mm. Zmienność pola przekroju warstwy skrawanej była znacznie większa w zakresie promieni krzywizny r_k poniżej 500 mm. Ponadto wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny powierzchni obrabianej wydłużał się styk narzędzia. Widoczna jest zmiana ukształtowania warstwy skrawanej, zwłaszcza przy najmniejszych promieniach krzywizny powierzchni obrabianej (rys. 8).



Rys. 6. Maksymalne pole powierzchni warstwy skrawanej A_{max} w funkcji promienia krzywizny powierzchni obrabianej r_k dla powierzchni wklęsłej przy R_{thwk} = const

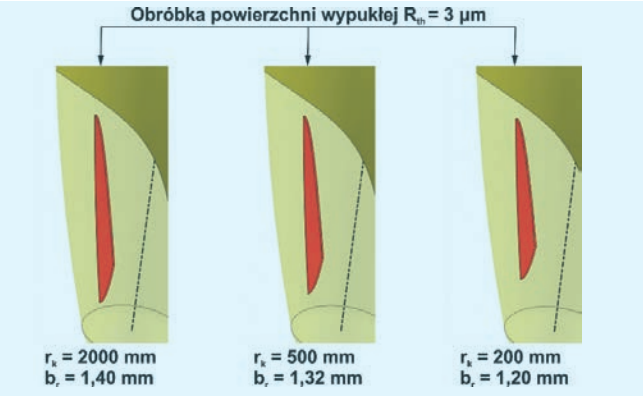


Rys. 7. Maksymalne pole powierzchni warstwy skrawanej A_{max} w funkcji promienia krzywizny powierzchni obrabianej r_k dla powierzchni wypukłej przy R_{thwy} = const



Rys. 8. Modele warstwy skrawanej powierzchni wklęsłej

Natomiast w przypadku obróbki powierzchni wypukłych wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny powierzchni obrabianej zmniejszało się pole przekroju warstwy skrawanej. Różnica w przypadku obróbki powierzchni o promieniu krzywizny r_k = 200 mm wyniosła ok. 20% względem powierzchni o promieniu krzywizny r_k = 2000 mm. Podobnie jak w przypadku powierzchni wklęsłych, zmienność pola przekroju była znacznie większa dla promieni krzywizny r_k mniejszych od 500 mm.



Rys. 9. Modele warstwy skrawanej powierzchni wypukłej

Podsumowanie

W obróbce powierzchni złożonych frezem baryłkowym ważnym parametrem jest promień krzywizny powierzchni obrabianej. Aby uzyskać stałą jakość powierzchni, niezbędna jest zmiana szerokości ścieżek obróbkowych, co przekłada się na zmiany pola przekroju warstwy skrawanej. Ponieważ różnice są znaczne i przekraczają 20%, powinny być one uwzględniane podczas projektowania procesu obróbkowego.

LITERATURA

1. Boz Y., Erdim H., Lazoglu I. „A comparison of solid model and three--orthogonal dexelfield methods for cutter-workpiece engagement calculations in three- and five-axis virtual milling". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2013).
2. Burek J., Żurek P., Sułkowicz P., Żurawski K. „Programowanie procesu 5-osiowej symultanicznej obróbki frezem baryłkowym w programie HyperMILL". *Mechanik.* 89, 5–6 (2016): s. 470÷471.
3. Burek J., Żurek P., Żurawski K. „Porównanie chropowatości powierzchni złożonych po obróbce frezem baryłkowym oraz kulistym". *Mechanik*. 10 (2016).
4. Chaves-Jacob J., Poulachon G., Duc E. „Optimal strategy finishing impeller blades using 5-axis machining". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 58 (2012): s. 5731÷5830.
5. Gong H., Fang F.Z., Hu X.T., Cao L.–X., Liu J. „Optimization of tool positions locally based on the BCELTP for 5-axis machining of free--form surfaces". *Computer-Aided Design*. 42 (2010): s. 558÷570.
6. Iwabe H., Shimizu K. "Analysis of cutting mechanism by ball end". *3D-CAD JSME International Journal.* C, 49 (2006).
7. Meng F.-J., Chen Z.-T., Xu R.-F., Li X. „Optimal barrel cutter selection for the CNC machining of blisk". *Computer-Aided Design*. 53 (2014): s. 36÷45.
8. Urban B. "*Kinematische und mechanische wirkungen des Kugelkopf-frasens*". Hannover: Gottfried Wilhelm Leibnitz Universitat Hannover, 2009.
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).