

Analiza warstwy skrawanej w obróbce elementów cienkościennych o złożonej geometrii

Analysis of the machined layer of thin-walled complex geometry parts

JAN BUREK
RAFAŁ FLEJSZAR*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.132>

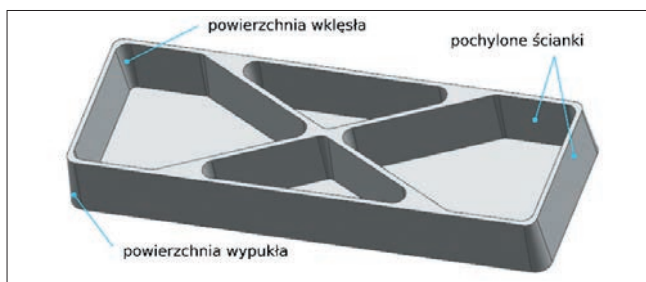
Przedstawiono sposób kształtowania warstwy skrawanej podczas frezowania z wykorzystaniem systemu CAD oraz opisano metodykę przeprowadzonych badań. Określono wpływ geometrii elementu obrabianego i kątów opasania na pole powierzchni styku narzędzia z przedmiotem obrabianym.

SŁOWA KLUCZOWE: elementy cienkościenne, systemy CAD, analiza warstwy skrawanej

Presented is the method of analysis of a machined layer in a CAD system in milling process, and described is the methodology of this type of research. The influence on the area of contact between the tool and the workpiece caused by geometry of the workpiece and the angles of wrapping was determined.

KEYWORDS: thin-wall elements, CAD systems, cutting layer analysis

Współczesne konstrukcje w przemyśle lotniczym bazują głównie na cienkościennych elementach kieszeniowych o złożonej geometrii (rys. 1). Obróbka takich elementów jest trudna ze względu na występowanie sprężystych i plastycznych odkształceń konstrukcji. W przypadku skrawania naroży zewnętrznych i wewnętrznych kieszeni tych elementów może dochodzić do istotnej zmiany kąta opasania narzędzia z obrabianym materiałem. Zaleca się więc, aby obróbka naroży przebiegała według odpowiedniej strategii, mającej zmniejszyć siły skrawania oraz odkształcenia ścianek przedmiotu obrabianego [4, 5, 7].



Rys. 1. Przykład cienkościennego elementu o złożonej geometrii

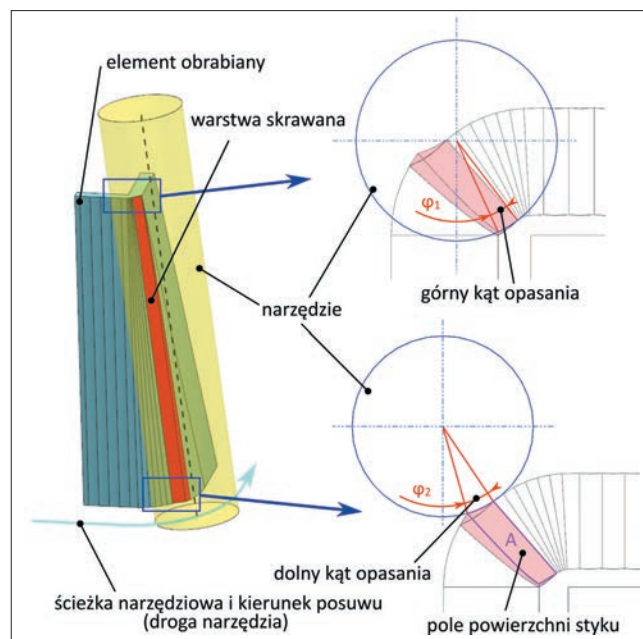
Najczęściej stosowanym typem obróbki powierzchni złożonych jest frezowanie punktowe, a w przypadku powierzchni prostokreślnych bardziej efektywne jest frezowanie obwodowe [2].

W związku z małą sztywnością elementów cienkościennych poważny problem stanowi odkształcanie się ich ścianek. Na odkształcanie się ścianek oraz związane z tym niedokładności geometryczne powierzchni obrabianych wpływa nie tylko geometria obrabianej części. Duże znaczenie mają także parametry technologiczne i geometryczne warstwy skrawanej, które wpływają bezpośrednio na siły skrawania.

Dlatego już na etapie projektowania obróbki wykorzystuje się komputerową symulację możliwych sił skrawania [3, 6, 8].

Modele analityczne pozwalają na szybkie przewidywanie nie tylko sił skrawania, lecz także odkształceń, z wykorzystaniem stosunkowo małej mocy obliczeniowej. Ich główną zaletą jest możliwość oszacowania sił skrawania już na etapie projektowania procesu technologicznego, bez konieczności sięgania do zaawansowanych systemów wykorzystujących metodę elementów skończonych.

Podstawowym wymaganiem tej metody jest znajomość modelu geometrycznego warstwy skrawanej. We frezowaniu trzyosiowym taki model jest znany i powszechnie stosowany, jednakże bardzo trudno jest analitycznie określić parametry geometryczne warstwy skrawanej dla obróbki pięcioosiowej. Bardziej efektywną metodą jest analiza styku narzędzia z powierzchnią obrabianą z wykorzystaniem systemu CAD (rys. 2) [1, 2, 6].



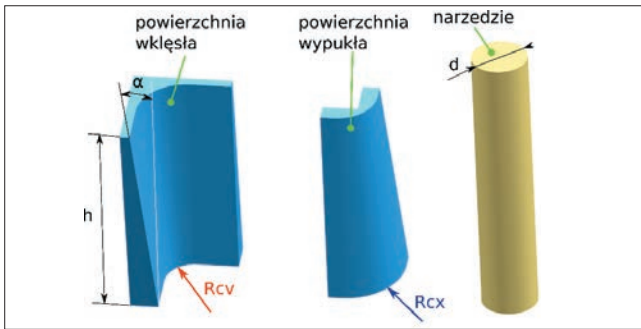
Rys. 2. Analiza symulacyjna warstwy skrawanej

Celem pracy było przeprowadzenie symulacji kształtowania warstwy skrawanej w obróbce obwodowej frezem walcowym powierzchni prostokreślnej i określenie wpływu geometrii przedmiotu obrabianego na parametry geometryczne warstwy skrawanej.

Badania symulacyjne

Wykonano sparametryzowane trójwymiarowe modele testowe elementów cienkościennych prostokreślnych powierzchni wypukłej oraz wklęsłej, modele półfabrykatów oraz model frezu walcowego (rys. 3).

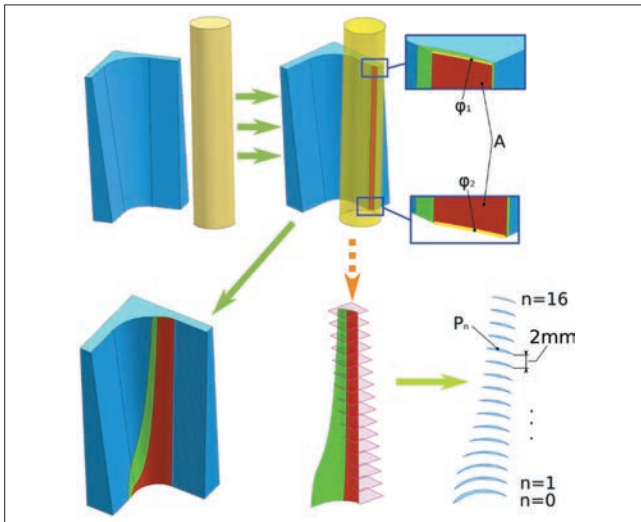
* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Rafał Flejszar (r.flejszar@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej



Rys. 3. Modele powierzchni przyjęte do badań symulacyjnych

Przyjęto uproszczenie geometrii frezu jako walca (brak pochylenia krawędzi skrawającej), stałą średnicę frezu $d = 8$ mm, kąt pochylenia ścianki elementu obrabianego $\alpha = 5^\circ$, wysokość ścianki $h = 30$ mm, głębokość skrawania $a_p = 30$ mm oraz szerokość skrawania $a_e = 0,5$ mm. Jedyne zmienne były: promień zaokrąglania powierzchni wklęsłej R_{CV} i wypukłej R_{CX} , które były technologicznie i geometrycznie ograniczone poprzez średnicę frezu, kąt oraz wysokość ścianek części obrabianej.

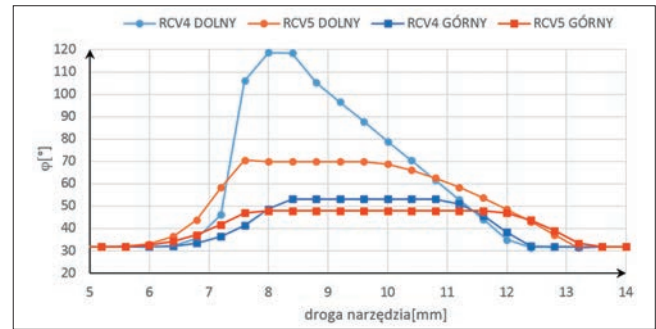
Schemat styku frezu z powierzchnią obrabianą przedstawiono na rys. 4.

Rys. 4. Schemat styku frezu: ϕ_1 – dolny kąt opasania, ϕ_2 – górny kąt opasania, A – pole powierzchni styku frezu z przedmiotem, P_n – pole przekroju warstwy skrawanej

Pierwszym krokiem było ustalenie położenia frezu względem części obrabianej. Kolejnym krokiem była transformacja modelu narzędzia zgodnie z kierunkiem toru ruchu (determinowanym przez geometrię przedmiotu obrabianego) o wartość posuwu ($f_n = 0,4$ mm/obr). Następnie utworzono część wspólną bryły przedmiotu obrabianego i narzędzia, na podstawie której możliwe były wirtualne pomiary pola powierzchni styku A , kątów opasania ϕ oraz pola przekrojów warstwy skrawanej P_n , dla dowolnego położenia narzędzia (gdzie n oznacza wysokość poziomu h ze skokiem co 2 mm). Następnie część wspólna była odejmowana od bryły półfabrykatu. Algorytm ten powtarzano aż do otrzymania gotowej powierzchni [1, 2].

Wyniki badań

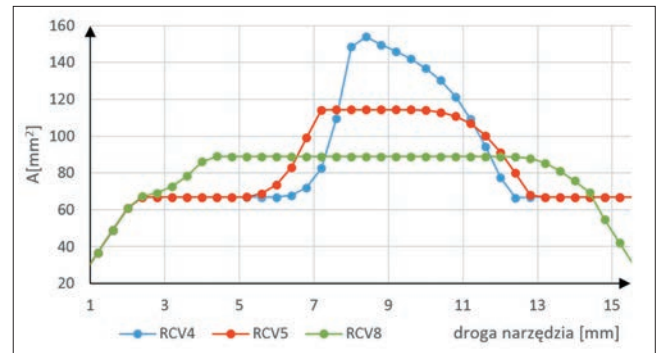
Symulacja pozwoliła na wykonanie wykresów kątów opasania oraz pola powierzchni styku narzędzia z obrabianą powierzchnią w zależności od drogi przebytej przez narzędzie (rys. 5).



Rys. 5. Wykres kątów opasania dla powierzchni wklęsłej

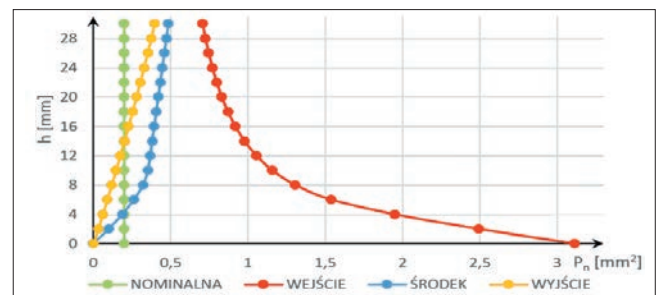
Dla powierzchni wklęsłej przy zastosowaniu parametru $R_{CV} = 4$ mm (równego promieniowi narzędzia) widoczny jest bardzo duży wzrost kąta opasania.

Dolny kąt opasania zmienia się w dużo większym stopniu niż górny kąt opasania. Zmiana kątów opasania prowadzi do wzrostu pola powierzchni styku narzędzia z przedmiotem obrabianym (rys. 6).



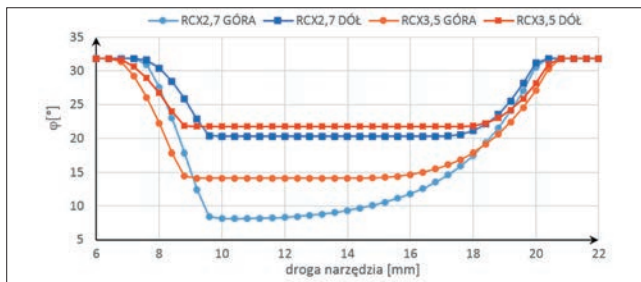
Rys. 6. Powierzchnia styku narzędzia dla powierzchni wklęsłej przedmiotu

Wraz ze wzrostem wartości promienia zaokrąglenia wklęsłego widoczny jest znaczny spadek kątów opasania oraz pola powierzchni styku. Przy zaokrągleniu $R_{CV} = 5$ mm mierzona wartość spada o prawie 25%. Bardzo szybki wzrost wartości kąta opasania oraz powierzchni styku widoczny jest w momencie wejścia narzędzia w obszar zaokrąglenia wklęsłego. Powoduje to dużą skokową zmianę pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej wobec wartości nominalnej przy obróbce płaskiej powierzchni (rys. 7).

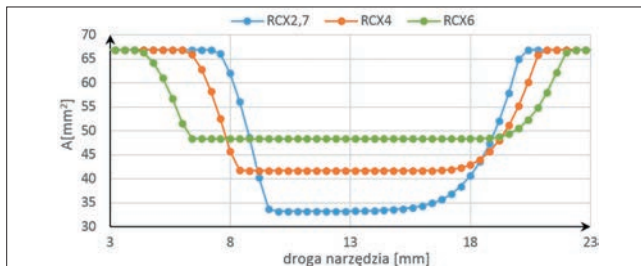
Rys. 7. Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej przy obróbce zaokrąglenia wklęsłego dla geometrii z $R_{CV} = 4$ mm

W momencie wejścia w obszar zaokrąglenia wklęsłego następuje bardzo duża zmiana pola przekroju poprzecznego w dolnych przekrojach warstwy skrawanej, po czym maleje ona niemal do zera. Oznacza to, że w momencie wykonywania zaokrąglenia wklęsłego narzędzie, pomimo dużego dolnego kąta opasania, właściwie nie skrawa żadnego naddatku swoją dolną częścią.

W przypadku powierzchni wypukłej dla bardzo małych wartości promieni zaokrąglenia pole powierzchni styku i kąty opasania znacząco maleją (rys. 8, 9).



Rys. 8. Kąty opasania dla powierzchni wypukłych



Rys. 9. Powierzchnia styku dla powierzchni wypukłej

Dla tego typu naroży większe zmiany obserwuje się dla górnego kąta opasania. Jest to związane z geometrią modelu (kierunkiem pochylenia ścianek).

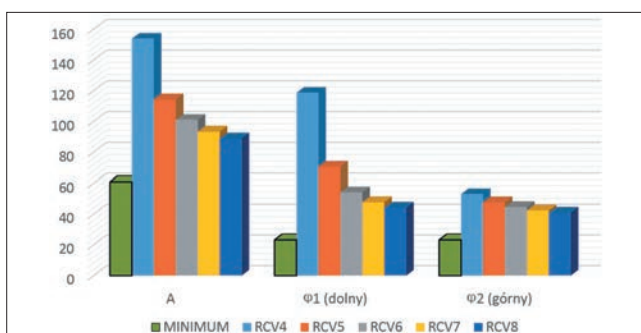
Analiza wyników

Na podstawie wyników symulacji wyznaczono eksperymentalne pola powierzchni styku narzędzia w zależności od promienia zaokrąglenia oraz kątów opasania:

$$A_{CV} = (1,34\varphi_1^2 + 8,13\varphi_2^2 + R_{CV}(0,208\varphi_1 + 1,02\varphi_2) + 1,1\varphi_1\varphi_2)10^{-2} + 38,32$$

$$A_{CX} = (0,741\varphi_1^2 + 0,254\varphi_2^2 + R_{CX}(1,17\varphi_1 + 0,155\varphi_2) + 2,89\varphi_1\varphi_2)10^{-2} + 26,79$$

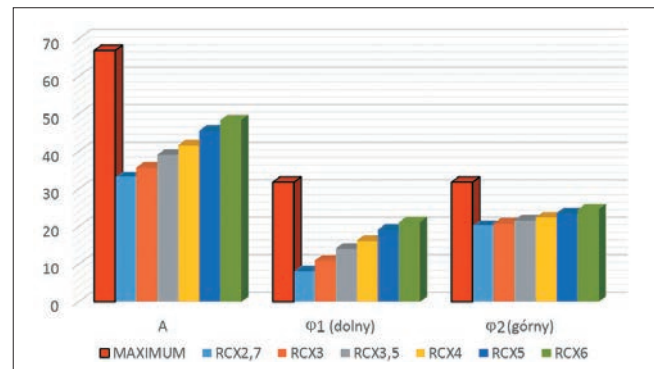
Porównano ekstremalne wartości pól powierzchni styku i kątów opasania powierzchni wklęsłych z wartościami otrzymanymi dla obróbki powierzchni płaskiej (rys. 10).



Rys. 10. Wyniki pomiarów pola powierzchni styku, dolnego i górnego kąta opasania dla powierzchni wklęsłych

Widoczny jest ponad półtorakrotny wzrost pola powierzchni styku oraz ponad czterokrotny wzrost kąta opasania dla naroży o promieniu kształtowanym bezpośrednio przez średnicę frezu ($R_{CV} = 4$ mm). Jednak już przy geometrii o promieniu większym o 1 mm następuje redukcja pola powierzchni styku o 25% oraz kąta opasania u podstawy frezu o 40%. W przypadku górnego kąta opasania wpływ zmiany promienia o 1 mm redukuje wartości kąta o niecałe 10%.

Dla powierzchni wypukłych można zauważyć odwrotny efekt (rys. 11).



Rys. 11. Wyniki pomiarów pola powierzchni styku, dolnego i górnego kąta opasania dla powierzchni wypukłych

W przypadku naroża prawie ostrego ($R_{CX} = 2,7$ mm) wartość pola powierzchni styku spada o ok. 50%, a wartość górnego kąta opasania – o ok. 75% w porównaniu z polem powierzchni przy obróbce płaskiej ścianki. Przy kształtowaniu powierzchni wypukłej o promieniu zaokrąglenia nieprzekraczającym średnicy frezu widoczny jest znaczący spadek parametrów geometrycznych warstwy skrawanej.

Wnioski

Geometria modelu ma znaczący wpływ na parametry geometryczne warstwy skrawanej. Już nieznaczna jej modyfikacja może powodować bardzo duże zmiany zarówno w polu powierzchni styku, jak i w kątach opasania narzędzia. Bardzo duża zmiana pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej potwierdza stosowaną dotychczas redukcję posuwu, zwłaszcza na wejściach w naroża wklęsłe. Istnieje możliwość zwiększenia wydajności skrawania naroży wypukłych poprzez zmianę sposobu pozycjonowania lub zwiększenie posuwu.

Przedstawiony sposób analizy warstwy skrawanej z wykorzystaniem systemu CAD, po zaimplementowaniu modelu matematycznego, może być podstawą do analitycznego wyznaczania sił skrawania. Mogą one być danymi wejściowymi w procesie optymalizacji ścieżek narzędziowych, w celu minimalizacji prawdopodobieństwa występowania błędów geometrycznych oraz maksymalizacji wydajności, stosowanymi już na etapie projektowania procesu technologicznego.

LITERATURA

- 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". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 81, 5–8 (2015): s. 811–823.
- Burek J., Żurawski K., Żurek P., Sałata M. „Badania symulacyjne strefy styku w pięciosiowej obróbce powierzchni prostokątnych frezem stożkowym”. *Mechanik*. 8–9 (2017): s. 718–720.
- Campatelli G., Scippa A. "Prediction of milling cutting force coefficients for Aluminum 6082-T4". *Fifth CIRP Conference on High Performance Cutting*. 1 (2012): s. 563–568.
- Kuczmaszewski J., Pieško P., Zagórski I., Włodarczyk M. „Obróbka elementów cienkościennych wykonanych ze stopów aluminium i magnezu”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2015.
- Kuczmaszewski J., Pieško P., Doluk E. „Obróbka naroży wewnętrznych o małym promieniu zaokrąglenia”. *Mechanik*. 5–6 (2017): s. 418–420.
- Qu S., Zhao J.B., Wang T.R. "Experimental study and machining parameter optimization in milling thin-walled plates based on NSGA-II". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 89, 5–8 (2017): s. 2399–2409.
- Tang A.J., Liu Z.Q. "Deformations of thin-walled plate due to static end milling force". *Journal of Materials Processing Technology*. 206, 1–3 (2008): s. 345–351.
- Wu B.H., Yan X., Luo M., Gao G. "Cutting force prediction for circular end milling process". *Chinese Journal of Aeronautics*. 26, 4 (2013): s. 1057–1063.