

Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu na proces odprowadzania wiórów ze strefy skrawania

The effect of the cutting edge helix angle of the cutter on the process of chips removing from the cutting zone

JAN BUREK
ŁUKASZ ŻYŁKA
MARCIN PŁODZIEN
PAWEŁ SUŁKOWICZ
JAROSŁAW BUK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.152>
English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu walcowo-czołowego na proces odprowadzania (kąta i prędkość) wiórów ze strefy skrawania podczas wysoko wydajnego frezowania stopu aluminium AlZn5.5MgCu.

SŁOWA KLUCZOWE: frez, kąt pochylenia, aluminium, obróbka wysokowydajna

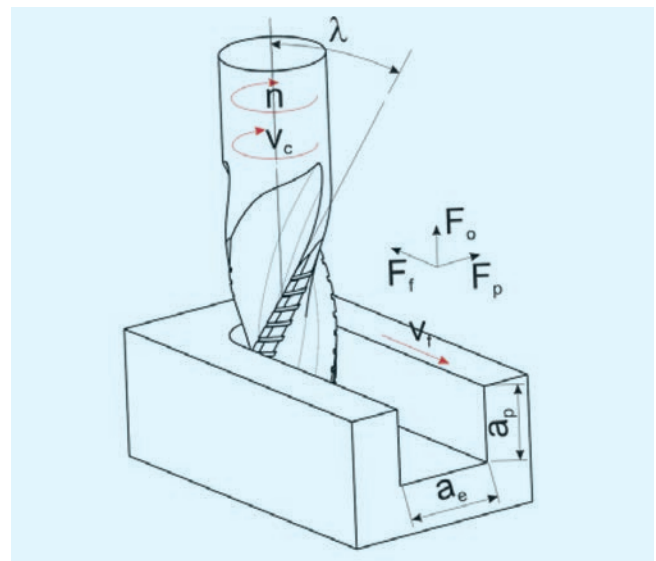
The influence of the cutting edge helix angle of the end milling cutter on the chips removal process (angle and velocity) from the cutting zone during high-performance milling of AlZn5.5MgCu aluminum alloy is presented.

KEYWORDS: end mill, helix angle, aluminum, high performance cutting

Stopy aluminium dzięki unikalnym właściwościom, takim jak: niska gęstość, niski opór właściwy oraz dobra obrabialność (zwłaszcza przez kształtowanie ubytkowe), znalazły zastosowanie w lotnictwie, kosmonautyce i motoryzacji. W przemyśle lotniczym najczęściej wykorzystuje się stop aluminium do przeróbki plastycznej AlZn5.5MgCu. Można go znaleźć w konstrukcji elementów nośnych samolotów, np.: wręg, podłużnic i dźwigarów kadłuba oraz skrzydeł [1–3, 5].

Integralne, jednolite struktury elementów konstrukcyjnych wytwarza się z pełnego bloku materiału za pomocą frezowania. Niejednokrotnie podczas obróbki tego typu konstrukcji ponad 90% materiału usuwa się w postaci wiórów. Cechą charakterystyczną złożonej struktury jest jej cienkościenność oraz duża liczba obszarów zamkniętych o relatywnie dużej głębokości [4–7].

Z uwagi na cienkościenność struktur nośnych ze stopów aluminium oraz dużą objętość usuwanego materiału obróbka ubytkowa tych elementów jest realizowana wieloetapowo. Pierwszy etap – obróbka zgrubna oraz kształtująca – wykonywany jest metodą wysokowydajną – HPC (*high performance cutting*), która polega na usuwaniu materiału w jak najkrótszym czasie poprzez zwiększenie wydajności objętościowej Q_v , to jest dosuwu promieniowego a_p , osiowego a_e oraz posuwu na ostrze f_z (rys. 1). Obróbka HPC, prócz niezaprzeczalnych zalet, ma pewne ograniczenia, związane m.in. z odprowadzaniem znacznej ilości wiórów ze strefy skrawania, co jest przyczyną zalepiania rowków wiórowych narzędzia. Problemy te nasilają się podczas obróbki obszarów zamkniętych o relatywnie dużej głębokości (kieszeni) (rys. 2) [5, 9].



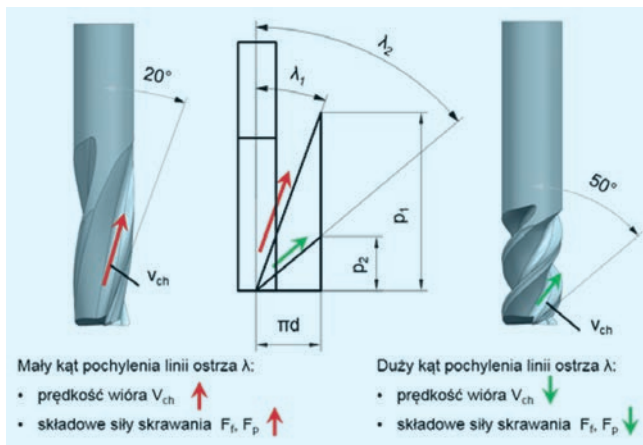
Rys. 1. Parametry procesu frezowania HPC: a_p – dosuw osiowy, a_e – dosuw promieniowy, v_f – prędkość posuwu, n – prędkość obrotowa frezu, v_c – prędkość skrawania, λ – kąt pochylenia krawędzi skrawającej

Z badań własnych wynika, że proces odprowadzania wiórów można istotnie przyspieszyć przez odpowiedni dobór zarysu i kąta pochylenia krawędzi skrawającej [4, 5, 11]. Wykazano, że zastosowanie falistego bądź przerywanego zarysu krawędzi skrawającej przyczynia się do obniżenia siły skrawania F_f nawet o 30% w porównaniu z frezem o ciągłym zarysie krawędzi skrawającej. Uzyskano również zmniejszenie wiórów oraz znaczne ich rozdrobnienie, niezależnie od stosowanego dosuwu osiowego a_p [1, 2, 4, 5, 10].

Pochylenie krawędzi skrawającej

Wraz z krawędzią skrawającą frezu walcowo-czołowego pochylone są również rowki wiórowe, co ma bardzo duże znaczenie w kontekście odprowadzania wiórów ze strefy skrawania. Kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ ma istotny wpływ na warunki odprowadzania wiórów ze strefy skrawania, gdyż jego wartość determinuje rozkład wektorów prędkości wiórów w rowku wiórowym (rys. 2). W zależności od kąta λ zmienia się więc prędkość usuwania wiórów. Ponadto kąt pochylenia krawędzi skrawającej wpływa znacząco na kierunek spływu wiórów, który przy małych kątach jest osiowy, a przy dużych – zmienia się w promieniowy. Zmiana kąta λ przyczynia się również do zmiany wartości składowych siły skrawania (siły posuwowej F_f , odporowej F_p i osiowej F_o) [3, 9, 11].

* Dr hab. inż. Jan Burek (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl), dr inż. Marcin Płodzien (plodzien@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkowicz (psulkowicz@prz.edu.pl), mgr inż. Jarosław Buk (jbuk@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji na Politechnice Rzeszowskiej

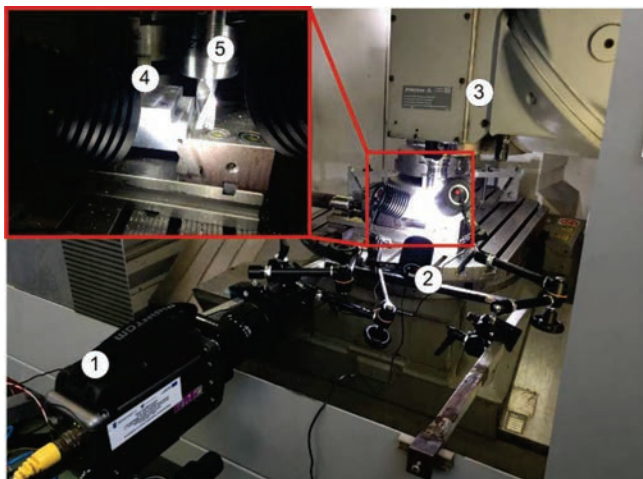


Rys. 2. Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej na odprowadzenie wiórów i składowe siły skrawania

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wpływu kąta pochylenia krawędzi skrawającej na prędkość i kąt odprowadzania wiórów ze strefy skrawania.

Warunki badań

Badania procesu odprowadzania wiórów przeprowadzono na wieloosiowym centrum obróbkowym firmy DMG – 80 DuoBlock (rys. 3).



Rys. 3. Stanowisko do pomiaru procesów szybkozmiennych: 1 – kamera szybka, 2 – układ oświetlaczy ledowych, 3 – 5-osiowe centrum frezarskie 80 DuoBlock, 4 – próbka badawcza, 5 – badany frez

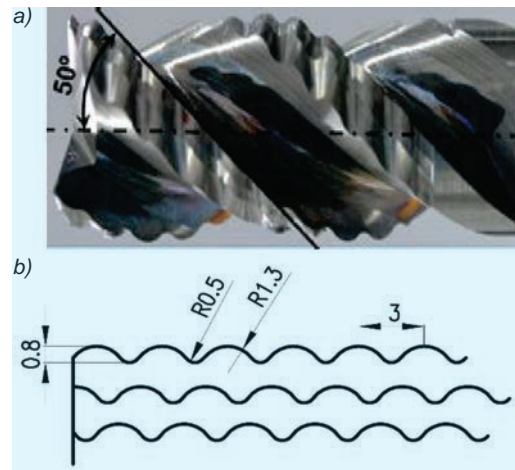
Pomiary parametrów procesu odprowadzania wiórów (kąta i prędkości) przeprowadzono z użyciem kamery szybkiej typu Phantom V.9.1 firmy Vision Research. Kamera rejestrowała obraz w rozdzielczości 480×480 pikseli z maksymalną liczbą klatek $kl_{max} = 6400$ kl/s.

Do badań wykorzystano 3-ostrzowe pełnowęglkowe frezy monolityczne o średnicy $d = 20$ mm i kącie pochylenia λ krawędzi skrawającej zmieniającym się w zakresie od 20 do 50° z krokiem co 5° (rys. 4a). We frezach zastosowano falisty zmienny zarys krawędzi skrawającej (rys. 4b). Próbkę badawczą, w formie prostokątnianu o wymiarach $100 \times 100 \times 50$ mm, wykonano ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu.

Próby frezowania dla wszystkich narzędzi skrawających przeprowadzono ze stałymi parametrami technologicznymi (tablica). W celu rejestracji płynnego obrazu ostrzy skrawających oraz procesu odprowadzania wiórów w strumieniu świetlnym z oświetlaczy ledowych określono maksymalną możliwą prędkość skrawania v_c . Oparto się na zależności:

$$v_c = \frac{\pi d}{1000} \cdot \frac{kl_{max} \cdot 60}{z \cdot kl_z}, \text{ m/min}$$

gdzie: d – średnica narzędzia, kl_{max} – maksymalna liczba klatek rejestrowanych przez kamerę, z – liczba ostrzy skrawających, $kl_z = 25$ kl/s – liczba klatek na jedno ostrze skrawające.



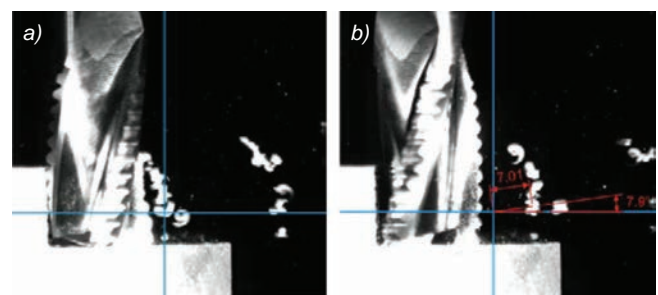
Rys. 4. Frez pełnowęglkowy: a) frez o kącie pochylenia $\lambda = 50^\circ$, b) geometria zarysu krawędzi skrawającej

TABLICA. Parametry technologiczne

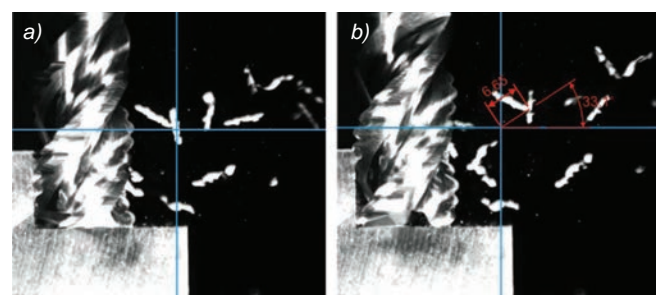
Prędkość skrawania v_c , m/min	321
Dosuw osiowy a_p , mm	15
Dosuw promieniowy a_e , mm	8
Posuw na ostrze f_z , mm/ostrze	0,075

Wyniki badań doświadczalnych

Przykładowe zarejestrowane obrazy prezentujące wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej na proces odprowadzania wiórów dla kątów $\lambda = 20^\circ$ i $\lambda = 50^\circ$ przedstawiono na rys. 5–6.



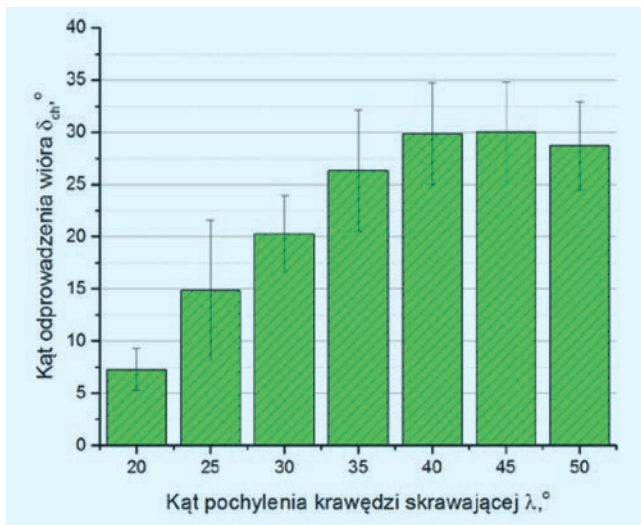
Rys. 5. Proces odprowadzania wiórów dla kąta pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda = 20^\circ$: a) wiór w pozycji 0 klatki obrazu, b) wiór po 10 klatkach obrazu



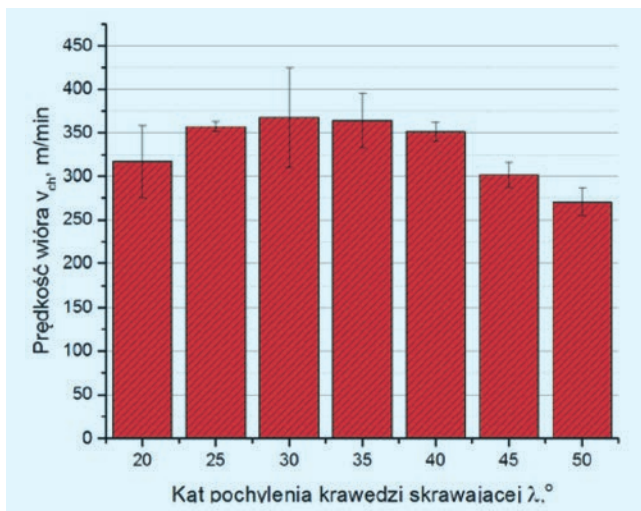
Rys. 6. Proces odprowadzania wiórów dla kąta pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda = 50^\circ$: a) wiór w pozycji 0 klatki obrazu, b) wiór po 10 klatkach obrazu

Wyniki badań pozwalają zaobserwować znaczący wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej na proces odprowadzania wiórów ze strefy skrawania oraz na proces formowania się wiórów i ich postać. Zwiększanie kąta pochylenia krawędzi skrawającej powoduje zmianę formy wiórów ze spiralno-stożkowej w przypadku kąta $\lambda = 20^\circ$ (rys. 5b) na formę śrubową otwartą w przypadku kąta $\lambda = 50^\circ$ (rys. 6b).

Analizę kąta odprowadzania i prędkości wiórów przeprowadzono na podstawie przemieszczenia losowo wybranych 5 wiórów, a następnie wyznaczono średnie wartości z uzyskanych pomiarów. Na rys. 7 oraz 8 przedstawiono wpływ kąta λ pochylenia krawędzi skrawającej na kąt δ_{ch} odprowadzania oraz prędkość wiórów v_{ch} .



Rys. 7. Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej λ na kąt odprowadzania wiórów δ_{ch}



Rys. 8. Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej λ na prędkość wiórów v_{ch}

W zakresie kąta pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda = 20\text{--}40^\circ$ zaobserwowano liniowy wzrost kąta odprowadzania wiórów δ_{ch} w przedziale $7\text{--}30^\circ$. Dalszy wzrost kąta pochylenia krawędzi skrawającej λ nie powoduje już tak znaczącego wzrostu kąta odprowadzania wiórów δ_{ch} , którego średnia wartość dla kąta pochylenia $\lambda = 40\text{--}50^\circ$ wyniosła ok. 28° .

Największą prędkość przemieszczenia wiórów uzyskano w zakresie $\lambda = 30\text{--}40^\circ$. Średnia wartość z tego

przedziału wyniosła 350 m/min i była o 10% wyższa niż prędkość skrawania v_c . Stosowanie kątów pochylenia λ mniejszych od 30° oraz większych od 40° powoduje obniżenie prędkości wiórów. Najniższą prędkość wiórów v_{ch} uzyskano dla kąta pochylenia $\lambda = 50^\circ$ i wyniosła ona ok. 270 m/min.

Ponadto zaobserwowano duży rozrzut pomiarów kąta odprowadzania wiórów δ_{ch} i prędkości wiórów v_{ch} . Tak duże zmiany wystąpiły z powodu: pojawiających się rotacji wiórów w przestrzeni, wzajemnej interakcji wiórów (zderzenia) powodującej zmianę kąta odprowadzania oraz prędkości wiórów, jak również uderzenia wiórów o przedmiot obrabiany, zmiany postaci wiórów oraz zmiennego oddziaływania sił tarcia podczas formowania się wiórów.

Podsumowanie

Z badań wynika, że zmiana wartości kąta λ pochylenia krawędzi skrawającej wpływa korzystnie na proces odprowadzania wiórów ze strefy skrawania (kąt δ_{ch} oraz prędkość odprowadzania v_{ch}).

W przypadku kąta pochylenia krawędzi skrawającej w zakresie $30^\circ < \lambda < 40^\circ$ badania wykazały większe prędkości odprowadzania wiórów v_{ch} ze strefy skrawania. Z kolei stosowanie kątów pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda > 40^\circ$ powoduje obniżenie prędkości odprowadzania wiórów v_{ch} poniżej prędkości skrawania v_c . Stosowanie kątów pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda > 40^\circ$ skutkuje występowaniem największych kątów odprowadzania wiórów δ_{ch} ze strefy skrawania – ok. 30° . Dla kątów $\lambda < 40^\circ$ obserwuje się liniową redukcję kąta odprowadzania wiórów δ_{ch} od 25° do 6° .

Zmiana wartości kąta pochylenia wpływa również na postać i wielkość wiórów. W przypadku kąta pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda < 40^\circ$ wióry charakteryzowały się mniejszymi rozmiarami i większą fragmentacją. Natomiast stosowanie kąta pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda > 40^\circ$ powoduje postawanie wiórów o znacznie większych wymiarach i mniejszej fragmentacji.

Podsumowując wyniki analizy kąta odprowadzania δ_{ch} oraz prędkości wiórów v_{ch} w przypadku frezu z zarysem falistym, stwierdza się, że korzystne jest stosowanie kąta pochylenia krawędzi skrawającej w zakresie $\lambda = 35\text{--}40^\circ$.

LITERATURA

- Burek J., Żyłka Ł., Płodzień M., Buk J. „Wpływ zarysu ostrza freza na kształtowanie wiórów w wysokowydajnym frezowaniu stopu aluminium”. *Mechanik*. 8–9 (2016).
- Burek J., Żyłka Ł., Płodzień M., Gdula M. „Wpływ zarysu linii ostrza freza na siłę skrawania w procesie wysokowydajnej obróbki stopu AlZn5.5MgCu”. *Mechanik*. 8–9 (2015).
- Kuczmaszewski J., Zaleski K. „Obróbka skrawaniem stopów aluminium i magnezu”. Lublin: OWPL, 2015.
- Burek J. Płodzień M. „Wysoko wydajna obróbka części ze stopów aluminium o złożonych kształtach”. *Mechanik*. 7 (2012): s. 542–549.
- Kawalec A., Oczko K.E. „Kształtowanie metali lekkich”. Warszawa: PWN, 2012.
- Campbell F.C. „Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials”. Elsevier, 2006.
- Oczko K.E. „Doskonalenie procesów kształtowania ubytkowego stopów aluminium”. *Mechanik*. 3 (2009), s. 153–163, 4 (2009), s. 249–256.
- Demir H., Gündüz S. „The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”. *J Mater Des*. 30, 5 (2009): s. 1480–1483.
- Groppe M. „Prozessauslegung für die Hochleistungfräsbearbeitung von Aluminium-Strukturbauteilen”. Dr.-Ing. Dissertation. Hannover, 2005.
- Zhang L., Zheng L. „Prediction of cutting forces in end milling of pockets”. *Int Journal Adv Manu Technol*. 25 (2005): s. 281–287.
- Trent E.M., Wright P.K. „Metal Cutting”. 4th edn. Butterworth-Heinemann, USA, 2000, pp. 439.