

Wpływ sposobu chłodzenia na wysokowydajną obróbkę stopu AlZn5.5MgCu

The influence of the cooling method on high performance cutting of the AlZn5.5MgCu alloy

JAN BUREK
MARCIN PŁODZIEN
ŁUKASZ ŻYŁKA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.152>

Przedstawiono badania wysokowydajnego frezowania lotniczego stopu aluminium. Zastosowano cztery sposoby dostarczania cieczy chłodząco-smarującej (CCS): zalewowo, centralnie, na powierzchnię natarcia oraz przyłożenia. Opisano wpływ sposobów dostarczania CCS na składowe siły skrawania i amplitudę przyspieszenia drgań.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka wysokowydajna, chłodzenie, aluminium, frez

The research of the high performance cutting of the aviation aluminum alloy was conducted. Four methods of the cooling delivery: flood, internal, on rake surface, on the relief surface, were applied. The influence of the cooling method on the cutting forces component and vibration amplitude was presented. KEYWORDS: high performance cutting, cooling, aluminum, end mill

Aluminiowe części lotnicze o złożonych kształtach wytwarza się zwykle w małych seriach. Dla złożonych struktur aluminiowych charakterystyczna jest cienkościennosc oraz duża ilość obszarów zamkniętych o relatywnie dużej głębokości. Wykonanie jednolitej lotniczej konstrukcji nośnej wymaga niekiedy usunięcia z półfabrykatu nawet ponad 90% materiału. Ze względów ekonomicznych konieczne jest odstępianie od trudnych do zautomatyzowania metod produkcji, takich jak praco- i czasochłonne nitowanie elementów konstrukcji skrzydeł czy kadłuba samolotu. Wydajność wytwarzania podnosi się przez zwiększanie parametrów obróbki, takich jak dosuw osiowy a_p , promieniowy a_e , prędkość skrawania v_c oraz posuw na ostrze f_z [1, 4–6, 8].

Z tych powodów pojawiły się nowe metody obróbki, np. obróbka z dużymi prędkościami skrawania HSC (*high speed cutting*) oraz obróbka wysokowydajna HPC (*high performance cutting*). Obróbka HSC jest stosowana przede wszystkim na etapie wykańczania, a do jej zalet zalicza się wzrost wydajności, redukcję energetycznego oddziaływania narzędzia na przedmiot obrabiany oraz poprawę jakości powierzchni obrabianej. W przeciwieństwie do obróbki HSC metoda HPC znajduje zastosowanie głównie na etapie obróbki zgrubnej. Zapewnia ona znaczącą redukcję czasu i kosztów wytwarzania.

Jednak obie metody mają również pewne ograniczenia praktyczne [1, 4, 6, 8]. Wynikają one głównie z dużych wartości parametrów obróbki, takich jak a_p , a_e oraz f_z , i dużych przekrojów warstwy skrawanej, które z kolei wpływają na

zwiększenie wartości składowych siły skrawania. Równie dużym problemem jest potrzeba szybkiego odprowadzenia znacznej ilości wiórów, co wynika z trudnego dostępu cieczy chłodząco-smarującej (CCS) do strefy skrawania. W efekcie zbyt duże siły skrawania mogą być przyczyną wystąpienia odkształcenia plastycznego obrabianych ścianek już na etapie obróbki zgrubnej, co w przypadku elementów nośnych struktur lotniczych może być powodem powstania braku. Z drugiej strony nieodpowiednie doprowadzanie CCS do strefy skrawania może się przyczynić do wzrostu zjawiska adhezyjnego oraz utrudniać odprowadzanie wiórów ze strefy skrawania i sprzyja zalepieniu rowka wiórowego.

Dlatego tak ważne jest kontrolowanie frezowania pod względem siły skrawania, wielkości i postaci wióra oraz jego ewakuacji [1, 4–6]. Konieczne jest odpowiednie przygotowanie narzędzia skrawającego do frezowania wysokowydajnego pod kątem makrogeometrii i sposobu dostarczania CCS. Jak wykazały badania, wybór geometrii zarysu krawędzi skrawającej oraz kąta pochylenia krawędzi skrawającej istotnie wpływa na wartości składowych siły skrawania oraz na wielkość i postać wiórów [1–3, 7]. Również sam sposób doprowadzania CCS ma istotny wpływ na procesy dynamiczne w strefie skrawania. Dotyczy to przede wszystkim wpływu tych sił na drgania narzędzia.

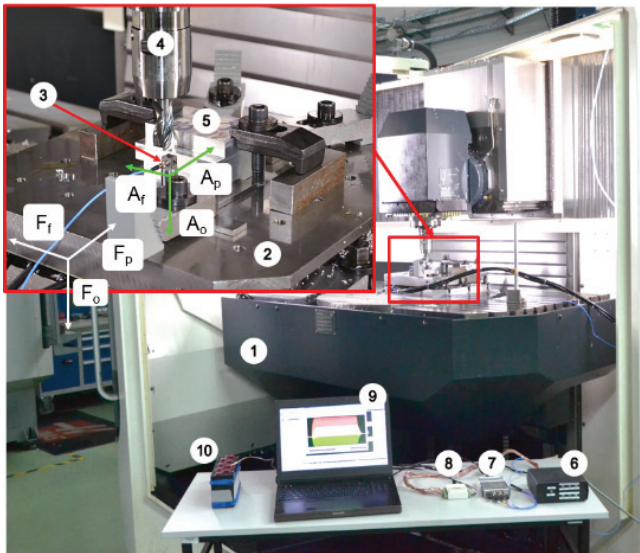
Celem niniejszych badań było określenie wpływu sposobu doprowadzania CCS do strefy skrawania na wartości składowych siły skrawania jak również na wartość amplitudy przyspieszenia drgań, wywołanych siłami hydrodynamicznymi pochodzącymi od strumieni CCS.

Warunki badań

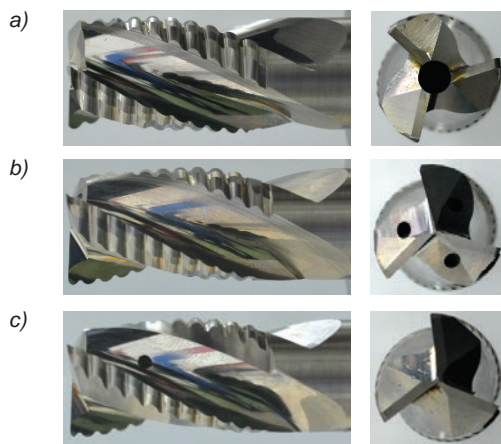
Badania procesu frezowania wysokowydajnego przeprowadzono na centrum obróbkowym DMU100 mono-Block firmy DMG (rys. 1). Pomiar składowych siły skrawania rejestrowano za pomocą platformy pomiarowej o autorskiej konstrukcji, złożonej z czterech pojedynczych trzyskładowych piezoelektrycznych siłomierzy firmy Kistler typu 9601A31. Pomiar amplitudy przyspieszenia drgań wykonano za pomocą trzyskładowego czujnika drgań PCB 356B21. Wykorzystano frezy monolityczne pełnowęglkowe o średnicy $d = 20$ mm i kącie pochylenia krawędzi skrawającej $\lambda = 30^\circ$ oraz zmiennym sposobie dostarczania CCS.

Badania przeprowadzono z zastosowaniem czterech sposobów dostarczania CCS: chłodzenia zalewowego, centralnego (z otworami: $\varnothing 3$ mm, $\varnothing 4$ mm, $\varnothing 5$ mm), na powierzchnię przyłożenia oraz na powierzchnię natarcia (rys. 2).

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Marcin Płodzien (plodzien@prz.edu.pl), dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – centrum frezarskie DMU100 mono-Block, 2 – platforma składowych siły skrawania, 3 – czujnik amplitudy drgań, 4 – badany frez, 5 – badana próbka, 6 – wzmacniacz ładunku, 7 – przetwornik A/C czujnika drgań, 8 – przetwornik A/C platformy siły skrawania, 9 – komputer z oprogramowaniem, 10 – zewnętrzne źródło zasilania platformy pomiarowej



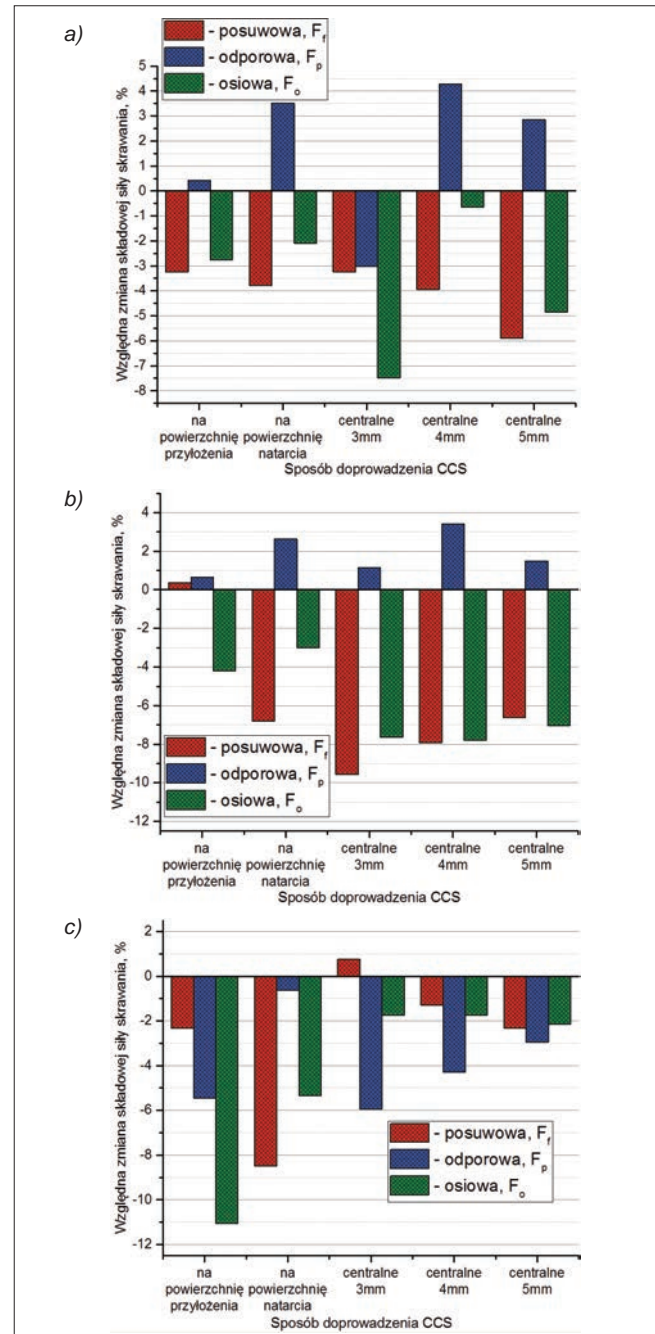
Rys. 2. Sposoby doprowadzania CCS: a) centralny, b) na powierzchnię przyłożenia, c) na powierzchnię natarcia

Próbki wykonano ze stopu lotniczego aluminium AlZn5.5MgCu (7075). Przyjęto stałe parametry obróbki: prędkość skrawania $v_c = 694$ m/min, dosuw osiowy $a_p = 15$ mm oraz wydajność objętościowa $Q_w = 594$ cm³/min. Stałą wydajność objętościową otrzymano poprzez dobór par parametrów technologicznych odpowiednio: dosuwu promieniowego $a_e = 8$; 12; 16 mm oraz posuwu na ostrze $f_z = 0,15$; 0,10; 0,075 mm/ostrze.

Wyniki badań

Na rys. 3 przedstawiono względną zmianę składowych siły skrawania (posuwowej F_f , odporowej F_p , osiowej F_o) dla różnych sposobów doprowadzania CCS w porównaniu ze sposobem zalewowym (konwencjonalnym).

Z analizy wartości składowych siły skrawania dla parametrów $a_e = 8$ mm oraz $f_z = 0,15$ mm/ostrze wynika, że składowa posuwowa F_f oraz osiowa F_o maleją średnio o ok. 4% niezależnie od sposobu doprowadzania CCS. Największe obniżenie składowej posuwowej F_f uzyskano dla sposobu centralnego z otworem $\varnothing 5$ mm, natomiast składowej osiowej F_o – dla sposobu centralnego z otworem $\varnothing 3$ mm. Względne zmiany tych składowych siły wynoszą kolejno 5,5% oraz 7,5%.



Rys. 3. Względna zmiana składowych siły skrawania dla różnych sposobów dostarczania CCS w stosunku do sposobu zalewowego; parametry: a) $a_e = 8$ mm; $f_z = 0,15$ mm/ostrze, b) $a_e = 12$ mm; $f_z = 0,10$ mm/ostrze, c) $a_e = 16$ mm; $f_z = 0,075$ mm/ostrze

W większości metod dostarczania CCS uzyskano kilkuprocentowy wzrost wartości siły składowej odporowej F_p w stosunku do sposobu zalewowego. Największy wzrost – 4,5% – odnotowano dla sposobu centralnego z otworem $\varnothing 4$ mm (rys. 3a).

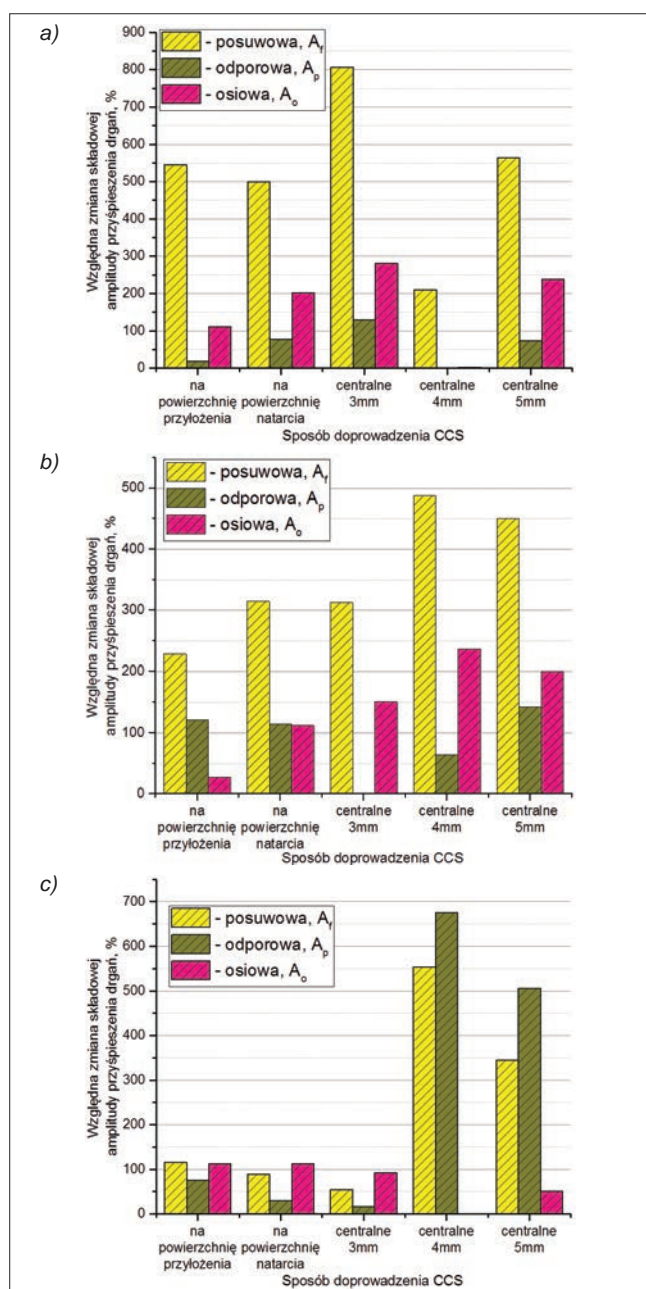
Analiza względnej zmiany składowych siły skrawania dla parametrów technologicznych $a_e = 12$ mm oraz $f_z = 0,1$ mm/ostrze pokazuje obniżenie składowej posuwowej F_f oraz osiowej F_o siły skrawania (kolejno o ok. 9,5% oraz 7,5%). Największy był spadek tych składowych dla sposobu centralnego z otworem $\varnothing 3$ mm. Uzyskano kilkuprocentowy wzrost składowej odporowej F_p siły skrawania. Największy wzrost (3,5%) uzyskano dla sposobu centralnego z otworem $\varnothing 4$ mm (rys. 3b).

W przypadku parametrów technologicznych $a_e = 16$ mm i $f_z = 0,075$ mm/ostrze widać na obniżenie składowych siły skrawania przy większości sposobów doprowadzania

CCS. Najlepsze rezultaty uzyskano dla sposobu doprowadzania na powierzchnię przyłożenia – składowa posuwowa F_r spadła o 2%, odporowa F_p – o 5%, a osiowa F_o – o 11% (rys. 3c).

Można stwierdzić, że wybór sposobu dostarczania CCS wpływa, ale nieznacznie, na wartości składowych siły skrawania. Przyczyną tak znacznych różnic w wynikach może być zmiana procesu formowania i ewakuacji wiórów w zależności od nastaw procesu, jak również oddziaływanie hydrodynamiczne CCS.

Na rys. 4 przedstawiono względną zmianę składowych amplitudy przyspieszenia drgań na kierunku posuwowym A_r , odporowym A_p i osiowym A_o dla różnych sposobów doprowadzania CCS w porównaniu ze sposobem zalewowym.



Rys. 4. Względna zmiana składowych amplitudy przyspieszenia drgań dla różnych sposobów dostarczania CCS w stosunku do sposobu zalewowego; parametry: a) $a_e = 8$ mm; $f_z = 0,15$ mm/ostrze, b) $a_e = 12$ mm; $f_z = 0,10$ mm/ostrze, c) $a_e = 16$ mm; $f_z = 0,075$ mm/ostrze

Z analizy wyników, pokazanych na rys. 4, można wywnioskować, że zastosowanie różnych sposobów dostarczania CCS powoduje znaczący wzrost wszystkich

składowych amplitudy przyspieszenia drgań w porównaniu z metodą zalewową. Największy wzrost amplitudy odnotowano kolejno dla składowej posuwowej A_r , osiowej A_o oraz odporowej A_p .

Dla parametrów $a_e = 8$ mm oraz $f_z = 0,15$ mm/ostrze składowe rosły w zakresie $A_r = 200 \div 800\%$, $A_p = 15 \div 240\%$, $A_o = 50 \div 300\%$ – w zależności od sposobu doprowadzania CCS. Najniższy wzrost uzyskano w przypadku sposobu centralnego z otworem $\varnothing 4$ mm (rys. 4a).

Przy parametrach $a_e = 12$ mm, $f_z = 0,10$ mm/ostrze również zaobserwowano wzrost amplitudy drgań. W zależności od sposobu doprowadzania CCS odnotowano wzrost składowych kolejno w zakresie: $A_r = 200 \div 480\%$, $A_p = 0 \div 150\%$, $A_o = 30 \div 220\%$. Najmniejszy wzrost amplitudy drgań odnotowano dla sposobu doprowadzania na powierzchnię przyłożenia (rys. 4b).

Najmniej amplituda drgań wzrosła przy parametrach: $a_e = 16$ mm i $f_z = 0,075$ mm/ostrze dla większości badanych sposobów doprowadzania CCS. W przypadku doprowadzania CCS na powierzchnię natarcia i przyłożenia oraz doprowadzania centralnego z otworem $\varnothing 3$ mm względny wzrost amplitudy drgań na kierunku posuwowym A_r oraz osiowym A_o wyniósł ok. 100%, natomiast składowa odporowa A_p maksymalnie wzrosła o 80% (rys. 4c).

Wzrost amplitudy drgań w przypadku frezów z wewnętrznym doprowadzaniem CCS można wytłumaczyć obniżeniem sztywności narzędzia na skutek występowania kanałów wewnętrznych (zmiana przekroju poprzecznego), a także oddziaływaniem hydrodynamicznym CCS na narzędzie.

Podsumowanie

Z badań wynika, że sposób dostarczania CCS w nieznacznym stopniu wpływa na zamiany składowych siły skrawania. W przypadku większości sposobów zaobserwowano spadek składowych siły skrawania na poziomie średnio 5% w porównaniu z zalewową metodą doprowadzania CCS. Z drugiej strony odnotowano znaczący wzrost amplitudy przyspieszenia drgań dla wszystkich sposobów doprowadzania CCS w stosunku do sposobu zalewowego. Niejednokrotnie w zależności od metody doprowadzania (ukształtowania kanałów wewnętrznych) odnotowano wzrost amplitudy drgań – w niektórych przypadkach nawet o 500% w porównaniu z chłodzeniem zalewowym.

Uzyskane wyniki świadczą również, że korzystniej jest stosować większe dosuwy promieniowe a_e niż posuwy na ostrze f_z (rys. 4c), przy utrzymaniu stałej wydajności obróbki.

LITERATURA

- Burek J., Żyłka L., Płodzień M., Gdula M., Sułkiewicz P. "The influence of the cutting edge shape on high performance cutting". *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 90, 1 (2018) s. 134–145.
- Tehrani-zadeh F., Budak E. "Design of serrated end mills for improved productivity". *Procedia CIRP*. 58 (2017): s. 493–498.
- Burek J., Żyłka L., Płodzień M., Buk J., Sułkiewicz P. "Wpływ kąta pochylecia krawędzi skrawającej frezu na proces odprowadzania wiórów ze strefy skrawania". *Mechanik*. 11 (2017): s. 962–964.
- 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., Oczóś K.E. „Kształtowanie metali lekkich”. Warszawa: PWN, 2012.
- Izamsah R., Yuhazri M.Y., Hadzley M., Amran M. "Effects of end mill helix angle on accuracy for machining thin-rib aerospace component". *Applied Mechanics and Materials*. 315 (2013): s. 773–778.
- Oczóś K.E. „Obróbka wysokowydajna – HPC”. *Mechanik*. 11 (2004): s. 701–709.