

# Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu na proces frezowania stopu aluminium AlZn5.5MgCu

The influence of the angle of inclination cutting edge milling cutter on the milling of AlZn5.5MgCu aluminum alloy

JAN BUREK  
MARCIN PŁODZIEN  
ARTUR SZAJNA  
JAROSŁAW TYMCZYSZYN\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.7.47>

Przedstawiono wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu na proces frezowania stopu aluminium AlZn5.5MgCu. Badania przeprowadzono dla dwóch frezów palcowych, trzyostrzowych, o różnym kącie pochylenia krawędzi skrawającej. Zarejestrowano składowe siły skrawania oraz parametry chropowości powierzchni.

**SŁOWA KLUCZOWE:** frezowanie, aluminium, frez

*The article presents the influence of the angle of inclination cutting edge milling cutter on the milling process of AlZn5.5MgCu aluminum alloy. The study was carried out for two finger mills, three blades with different angle of inclination of the cutting edge. In experimental investigations, the components of cutting forces and surface roughness parameters were registered.*

**KEYWORDS:** milling, aluminum, milling cutter

Stopy aluminium AlZn5.5MgCu są powszechnie stosowane w przemyśle lotniczym – najczęściej na elementy konstrukcyjne kadłubów (wręgi). Obecnie te konstrukcje zazwyczaj wykonuje się z jednego bloku, co oznacza konieczność usunięcia w procesie skrawania nawet 90% materiału [1]. Dlatego też obróbka takich elementów jest realizowana metodą wysokowydajnego frezowania HPC (*high performance cutting*). Duże wartości prędkości skrawania i posuwów oraz głębokości skrawania w obróbce HPC, w porównaniu z obróbką konwencjonalną, wymagają odpowiednich makro- i mikrogeometrii narzędzia [2]. W procesie frezowania HPC podstawowymi problemami są kształt wiórów oraz sposób ich odprowadzania, co zależy m.in. od geometrii krawędzi skrawającej. Ze względu na to, że frez pracuje głównie powierzchnią walcową, istotnym parametrem makrogeometrii frezu jest wartość kąta pochylenia krawędzi skrawającej.

Producenci oferują specjalne narzędzia o geometrii przeznaczonych do obróbki stopów aluminium. Różnice geometrii wynikają m.in. z asymetrycznego rozkładu ostrzy oraz ze zmiany kąta pochylenia  $\lambda$  linii śrubowej krawędzi skrawającej. Dzięki różnym kątom wzniosu linii śrubowej krawędzi skrawających powstają wióry o zmiennym przekroju, co skutkuje zmianą składowych siły skrawania (składowej posuwowej  $F_f$ , odporowej  $F_p$  i osiowej  $F_o$ ) [4].

Składowe siły skrawania mają duże znaczenie zwłaszcza w przypadku obróbki elementów cienkościennych, takich jak wręgi w konstrukcjach lotniczych. Składowa siła

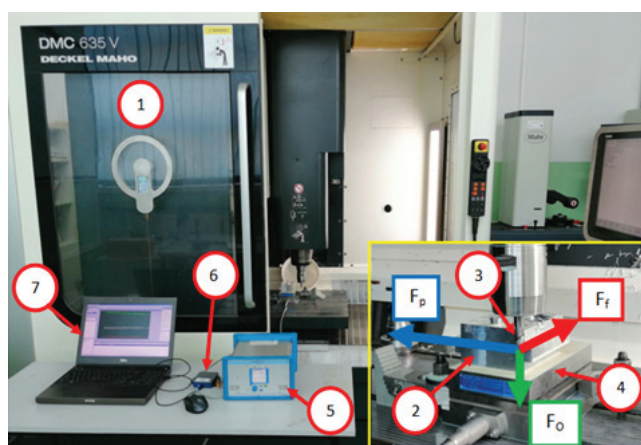
prostopadła do obrabianej powierzchni (siła odporowa  $F_p$ ) może powodować odkształcenia sprężyste lub plastyczne obrabianej ścianki. Te odkształcenia wynikają z nacisku wywieranego na obrabianą powierzchnię przez krawędź skrawającą narzędzia.

Dalej przedstawiono wpływ różnych kątów pochylenia  $\lambda$  krawędzi skrawających frezu palcowego na przebieg procesu frezowania, w zależności od zmiany parametrów skrawania.

## Warunki badań

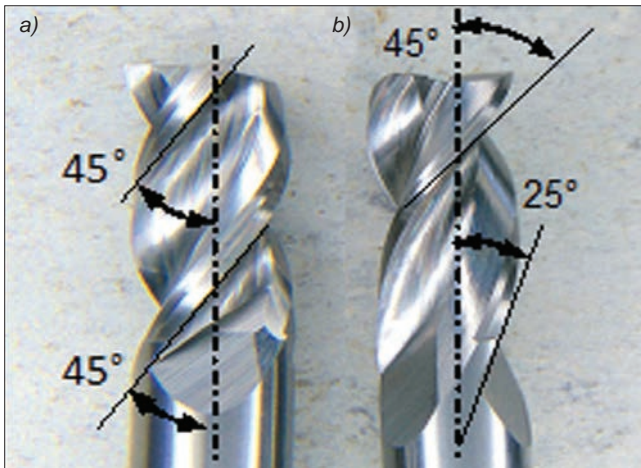
W badaniu wykorzystano próbki ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu. Frezowanie przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim DMC 635 V DECKEL MAHO firmy DMG (rys. 1). Pomiar składowych siły skrawania wykonano za pomocą siłomierza firmy Kistler typu 9121 i wzmacniacza ładunku 5019A, a pomiary chropowości powierzchni – za pomocą profilografometru MarSurf M300. Do badań wykorzystano frezy palcowe monolityczne, pełnowęglkowe, trzyostrzowe, o średnicy  $d = 10$  mm, różniące się kątem pochylenia krawędzi skrawającej:

- o stałym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda = 45^\circ$  (rys. 2a),
- o zmiennym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda = 45^\circ \div 25^\circ$  (rys. 2b).



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – centrum frezarskie DMC 635 V DECKEL MAHO firmy DMG, 2 – obrabiany przedmiot, 3 – badane frezy, 4 – siłomierz, 5 – wzmacniacz, 6 – przetwornik A/C, 7 – komputer

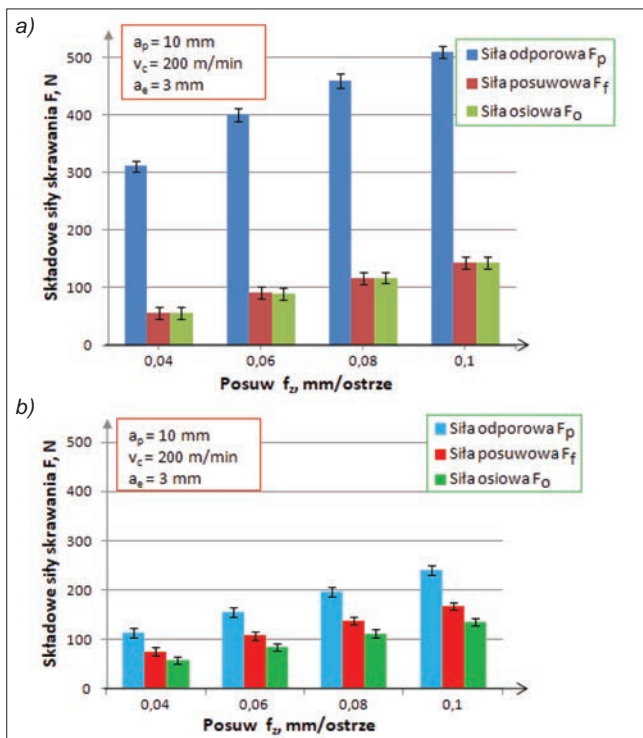
\* Dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRz, [jburek@prz.edu.pl](mailto:jburek@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0003-2664-5248> – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
Dr inż. Marcin Płodzień, [plodzien@prz.edu.pl](mailto:plodzien@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0001-8369-3604> – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
Mgr inż. Artur Szajna, [a.szajna@prz.edu.pl](mailto:a.szajna@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0002-3820-7272> – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
Mgr inż. Jarosław Tymczyszyn, [j.tymczyszyn@prz.edu.pl](mailto:j.tymczyszyn@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0003-2972-5112> – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska



Rys. 2. Badane frezy: a) o stałym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ$ , b) o zmiennym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ \pm 25^\circ$

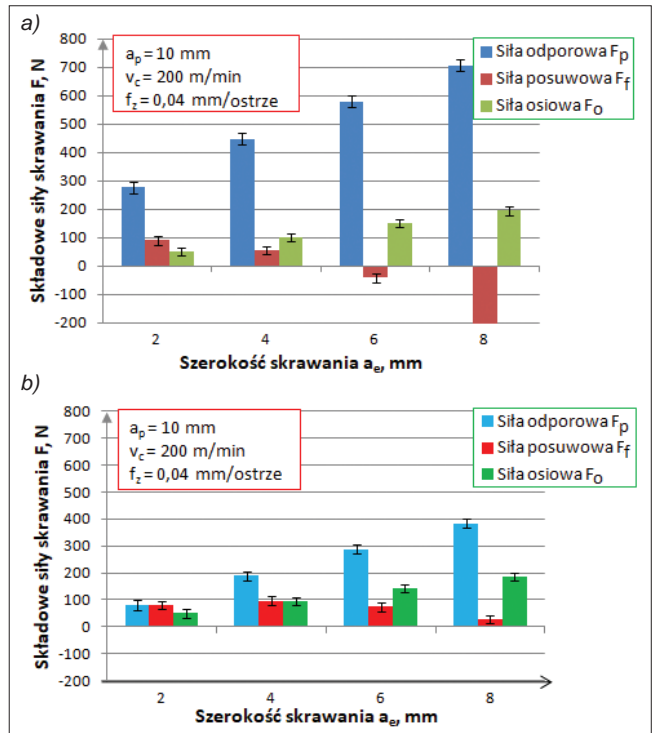
### Wyniki badań

W pierwszej próbie badań przyjęto stałe parametry technologiczne: głębokość skrawania  $a_p = 10$  mm, prędkość skrawania  $v_c = 200$  m/min oraz szerokość skrawania  $a_e = 3$  mm. Zmieniano posuw na ostrze  $f_z = 0,04; 0,06; 0,08; 0,1$  mm/ostrze. Zbadane zależności wpływu posuwu  $f_z$  na składowe siły skrawania dla badanych narzędzi przedstawiono na rys. 3.

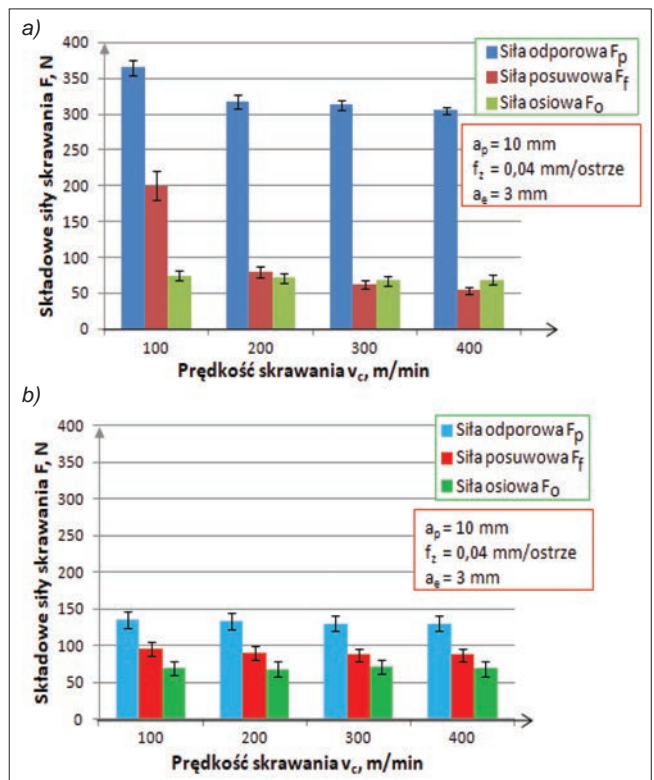


Rys. 3. Składowe siły skrawania w zależności od posuwu  $f_z$  dla frezu: a) o stałym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ$ , b) o zmiennym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ \pm 25^\circ$

Można zauważyć znacznie niższe wartości składowych siły skrawania podczas obróbki frezem o zmiennym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda$ . Wartość siły odporowej w przypadku frezu o stałym kącie  $\lambda$  kształtowała się na poziomie  $F_p = 300 \div 500$  N, siła posuwowa osiągała wartości  $F_f = 50 \div 150$  N, natomiast siła osiowa  $F_o = 50 \div 150$  N. Dla frezu o zmiennym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda$  składowa odporowa  $F_p$  jest ponad dwukrotnie niższa w stosunku do siły występującej podczas obróbki frezem o stałym kącie  $\lambda$ .



Rys. 4. Składowe siły skrawania w zależności od szerokości skrawania  $a_e$  dla frezu: a) o stałym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ$ , b) o zmiennym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ \pm 25^\circ$



Rys. 5. Składowe siły skrawania w zależności od prędkości skrawania  $v_c$  dla frezu: a) o stałym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ$ , b) o zmiennym kącie spirali  $\lambda = 45^\circ \pm 25^\circ$

W drugiej próbie badań przyjęto stałe parametry technologiczne: głębokość skrawania  $a_p = 10$  mm, prędkość skrawania  $v_c = 200$  m/min, posuw  $f_z = 0,04$  mm/ostrze. Zmieniano szerokość skrawania  $a_e = 2; 4; 6; 8$  mm. Otrzymane zależności wpływu szerokości skrawania  $a_e$  na składowe siły skrawania przedstawiono na rys. 4.

Analizując uzyskane wyniki, zaobserwowano zmianę kierunku działania siły posuwowej  $F_f$  dla frezu o stałym

kącie  $\lambda$ . Zmiana kierunku siły  $F_f$  następuje, gdy frez pracuje z szerokością skrawania  $a_e > 50\% \cdot d$ . Siła posuwowa  $F_f$  przy szerokości skrawania  $a_e = 80\% \cdot d$  wynosi ok. 200 N. Składowe odporowa  $F_p$  i osiowa  $F_o$  dla obu frezów wykazują wzrost wartości podczas zwiększania szerokości skrawania  $a_e$ .

W trzeciej próbie badań przyjęto stałe parametry technologiczne: głębokość skrawania  $a_p = 10$  mm, posuw na ostrze  $f_z = 0,04$  mm/ostrze oraz szerokość skrawania  $a_e = 3$  mm. Zmieniało się prędkość skrawania  $v_c = 100; 200; 300; 400$  m/min. Wyniki zależności wpływu prędkości skrawania  $v_c$  na składowe siły skrawania dla badanych narzędzi przedstawiono na rys. 5.

Jak widać, następuje spadek składowych siły skrawania wraz ze wzrostem prędkości skrawania  $v_c$ . Składowa odporowa  $F_p$  dla frezu o stałym kącie  $\lambda$  wynosi

ok. 300÷370 N, a dla frezu o zmiennym kącie  $\lambda$  – ok. 140 N. Pozostałe składowe siły skrawania, tj.  $F_f$  i  $F_o$ , mają zbliżone wartości (60÷100 N).

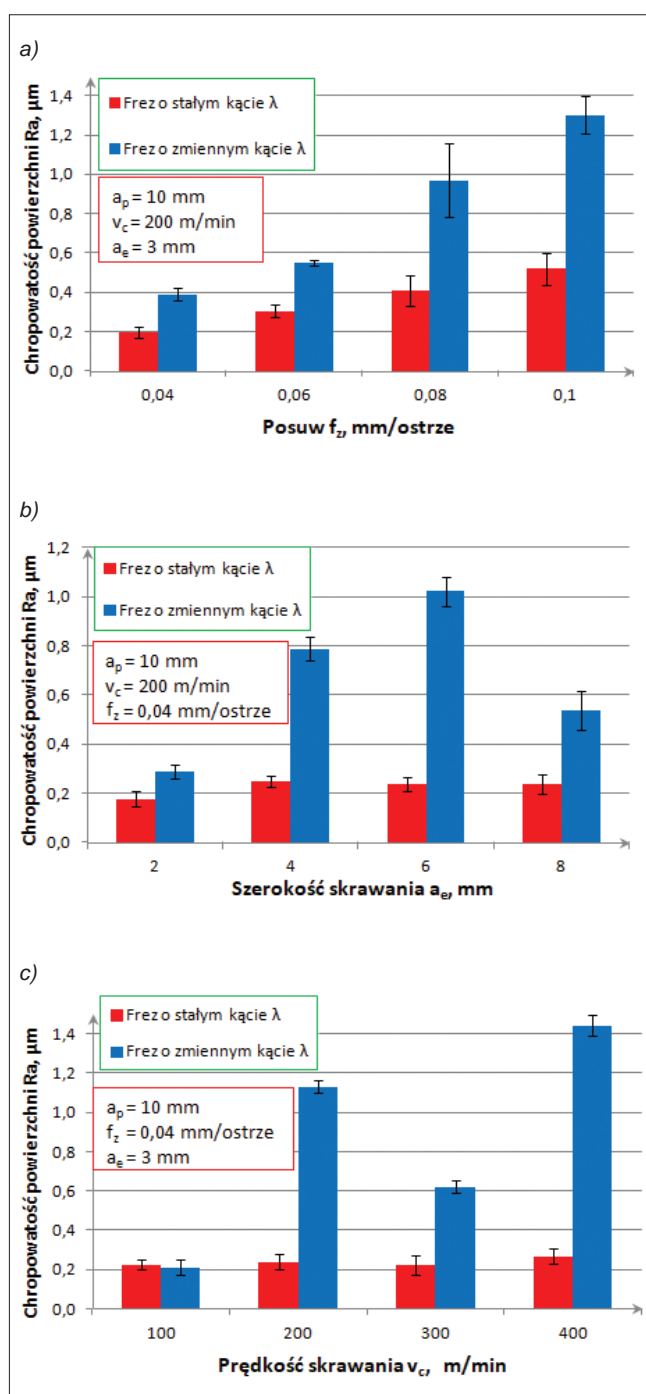
Wyniki wpływu kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu na parametr chropowatości  $Ra$  pokazano na rys. 6.

Po obróbce powierzchni frezem o stałym kącie  $\lambda$  zanotowano dwukrotnie mniejszą wartość parametru  $Ra$  w porównaniu z frezem o zmiennym kącie  $\lambda$ . Dla frezu o zmiennym kącie  $\lambda$  widać wzrost parametru  $Ra$  w funkcji szerokości skrawania. Parametr  $Ra$  dla powierzchni kształtowanej przy pomocy frezu o stałym kącie  $\lambda$  utrzymuje się w całym przedziale na poziomie ok. 0,18÷0,25  $\mu\text{m}$ . Wzrost szerokości skrawania  $a_e$  do wartości rzędu 80% średnicy narzędzia o zmiennym kącie  $\lambda$  spowodował wzrost parametru  $Ra$  do 1,12  $\mu\text{m}$ .

Dla obu zastosowanych frezów chropowatość powierzchni  $Ra$  wykazuje tendencję do wzrostu w całym badanym przedziale parametrów  $f_z$ ,  $a_e$  i  $v_c$ . Maksymalna wartość  $Ra = 1,44$   $\mu\text{m}$  została osiągnięta przy prędkości skrawania  $v_c = 400$  m/min podczas obróbki frezem o zmiennym kącie  $\lambda$ .

## Podsumowanie

Na podstawie badań można stwierdzić, że stosowanie narzędzi o zmiennym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda$  powoduje istotne obniżenie składowej siły odporowej  $F_p$ , jednak prowadzi do większej chropowatości powierzchni w porównaniu z chropowatością powierzchni po obróbce frezem o stałym kącie  $\lambda$ . Z tego względu frezy o zmiennym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda$  nadają się do wysokowydajnej obróbki zgrubnej aluminium, prowadzonej z maksymalnymi prędkościami skrawania oraz posuwu roboczego. Natomiast frezy o stałym kącie pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda$  powinny być stosowane do obróbki wykończeniowej.



Rys. 6. Zależność parametru chropowatości  $Ra$  od: a) posuwu  $f_z$ , b) szerokości skrawania  $a_e$ , c) prędkości skrawania  $v_c$

## LITERATURA

- [1] Burek J., Żyłka Ł., Płodzień M., Buk J. „Wpływ zarysu ostrza frezu na kształtowanie wiórów w wysokowydajnym frezowaniu stopu aluminium”. *Mechanik*. 8–9 (2016): 1216–1217.
- [2] Burek J., Żyłka Ł., Gdula M., Płodzień M. „Wpływ zarysu linii ostrza frezu na siłę skrawania w procesie wysokowydajnej obróbki stopu AlZn5.5MgCu”. *Mechanik*. 8–9 (2015): 275–284.
- [3] Burek J., Żyłka Ł., Płodzień M., Sułkiewicz P., Buk J. „Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej frezu na proces odprowadzania wiórów ze strefy skrawania”. *Mechanik*. 11 (2017): 962–964.
- [4] Kuczmaszewski J., Zaleski K. „Obróbka skrawaniem stopów aluminium i magnezu”. Lublin: OWPL, 2015.
- [5] „Obróbka skrawaniem i narzędzia skrawające”. Praca zbiorowa pod red. W. Olszaka, K. Marchelki. Wyd. 1. Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 1972.
- [6] Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów metalowych”. Wydawnictwa NTW, 1998.