

Analysis of the impact of milling strategies on the surface roughness of 6060 aluminum alloy

Analiza wpływu strategii frezowania na chropowatość powierzchni stopu aluminium 6060

MAREK KOŁODZIEJ
PAWEŁ KAROLCZAK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.11.98>

The article presents the results of research on the impact of the selected 6060 aluminum alloy milling strategy on surface roughness. Its assessment was based on the main roughness parameters in 2D and 3D. In addition, studies on the impact of tool extension in the holder on the obtained surface roughness were cited.

KEYWORDS: milling, roughness

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu wybranej strategii frezowania stopu aluminium 6060 na chropowatość powierzchni. Jej ocenę przeprowadzono na podstawie głównych parametrów chropowatości w układzie 2D i 3D. Ponadto przytoczono badania wpływu wysunięcia narzędzia w oprawce na uzyskaną chropowatość powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie, chropowatość

Wprowadzenie

W ciągu kilkudziesięciu lat nastąpił ogromny postęp w dziedzinie obróbki skrawaniem, który był efektem rozwoju obrabiarek CNC, narzędzi skrawających (w tym materiałów narzędziowych i powłok), systemów sterowania i systemów informatycznych.

Obecnie coraz częściej wykorzystuje się systemy informatyczne wspomagające inżynierów. Ułatwiają one prace związane z projektowaniem konstrukcji, opracowywaniem technologii wytwarzania czy organizacją procesu produkcyjnego. W przypadku obróbki skrawaniem programy CAM pozwalają na łatwe wygenerowanie skomplikowanej ścieżki narzędzia. Tego typu programy wspomagają np. wykonywanie metodą frezowania skomplikowanych elementów w jednym zamocowaniu – z wykorzystaniem więcej niż trzech sterowanych osi. W związku z wieloma możliwościami tworzenia ścieżek narzędzia w oprogramowaniu CAM powstaje pytanie, jak wybrać ścieżkę najkorzystniejszą ze względu na efekty technologiczne (takie jak chropowatość powierzchni) i trwałość narzędzia [1–5].

Metodyka badań

Badaniom poddano stop aluminium 6060, który charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, dobrą odpornością na korozję, wysoką udurowalnością, średnią wytrzymałością zmęczeniową oraz dobrą spawalnością. Ten materiał znajduje zastosowanie w produkcji: drzwi, okien, balustrad, zabudów samochodów oraz elementów nośnych przyczep, autobusów i ciężarówek.

Badania zrealizowano na pionowym centrum obróbkowym VF-1 firmy Haas. Zastosowano dwuostrzowy frez składany APX3000R182SA16ELA (w wersji z długim trzonkiem) firmy Mitsubishi Materials, zapewniający wysoką wydajność w operacjach obróbki 3D oraz możliwość zagłębiania się po skosie. Frez wyposażono

w płytce AOGT123604PEFR-GM – również firmy Mitsubishi Materials – gwarantujące skuteczną obróbkę w szerokim zakresie parametrów.

W doświadczeniu przyjęto trzy różne strategie frezowania rowka (biorąc pod uwagę drogę narzędzia), realizowane przy trzech różnych wartościach wysunięcia narzędzia w oprawce. Sprawdzano, jak wysunięcie narzędzia wpływa na chropowatość obrabianej powierzchni.

Wymiary próbki ze stopu aluminium 6060 oraz wymiary rowków przedstawiono na rys. 1.

Pierwsza strategia polegała na klasycznej obróbce rowków – drogę narzędzia pokazano na rys. 2. Przyjęto następujące parametry skrawania: prędkość obrotową $n = 5305$ obr/min, prędkość skrawania $v_c = 300$ m/min, posuw na ostrze $f_z = 0,1$ mm/z.

W drugiej strategii droga narzędzia była oparta na krzywej trochoidalnej (rys. 3), a parametry skrawania były następujące: prędkość obrotowa $n = 5305$ obr/min, prędkość skrawania $v_c = 300$ m/min, posuw na ostrze $f_z = 0,15$ mm/z, stała szerokość skrawania $a_e = 7,2$ mm, kąt opasania $\varphi = 156,9^\circ$.

W trzeciej strategii narzędzie wykonywało ruch po linii śrubowej (rys. 4), a parametry obróbki wynosiły: prędkość obrotowa $n = 5305$ obr/min, prędkość skrawania $v_c = 300$ m/min, posuw na ostrze $f_z = 0,1$ mm/z, prędkość posuwu po linii śrubowej = 530 mm/min, kąt linii śrubowej = 2° .

Pomiary chropowatości przeprowadzono na powierzchniach czołowych i bocznych rowka frezowanego przy różnych wysunięciach narzędzia z oprawki: 26 mm, 36 mm i 46 mm. Wysunięcie frezu mierzono jako odległość między jego końcem a czołem wrzeciona.

Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rys. 5. Długość odcinka pomiarowego wynosiła 4 mm, profil filtrowano filtrem Gaussa. Do oceny chropowatości powierzchni wybrano parametr R_a . Mimo że daje on ubogą informację o oznaczanym profilu, a jego interpretacja jest trudna (z punktu widzenia praktycznego użytku), to właśnie ten parametr jest szeroko stosowany do opisu chropowatości powierzchni w warunkach przemysłowych, ponieważ wykazuje małą zmienność niezależnie od metody pomiaru chropowatości.

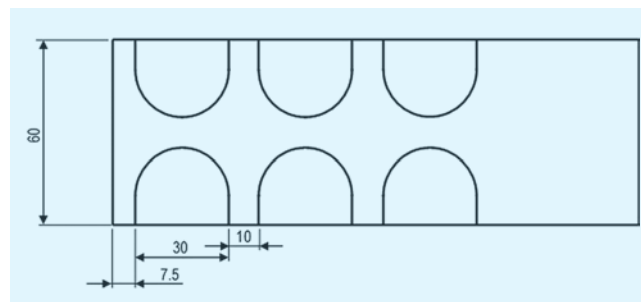


Fig. 1. Dimensions of the tested sample
Rys. 1. Wymiary badanej próbki

* Dr inż. Marek Kołodziej, marek.kolodziej@pwr.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0001-6916-8520> – Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska
Dr inż. Paweł Karolczak, pawel.karolczak@pwr.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-0595-1580> – Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

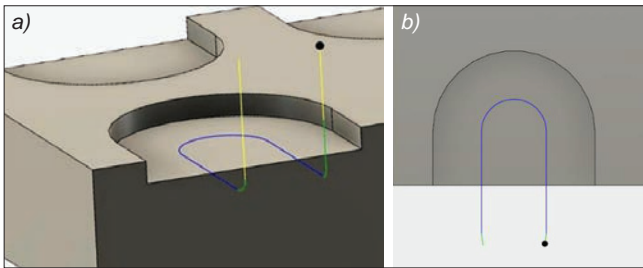


Fig. 2. Tool path in the first machining strategy: a) isometric view, b) top view
Rys. 2. Ścieżka narzędzia w pierwszej strategii obróbki: a) rzut izometryczny, b) widok z góry

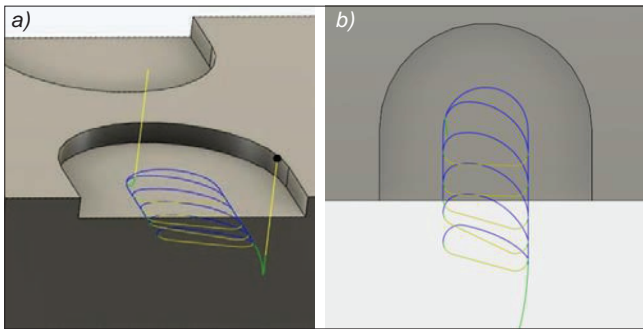


Fig. 3. Tool path in the second machining strategy: a) isometric view, b) top view
Rys. 3. Ścieżka narzędzia w drugiej strategii obróbki: a) rzut izometryczny, b) widok z góry

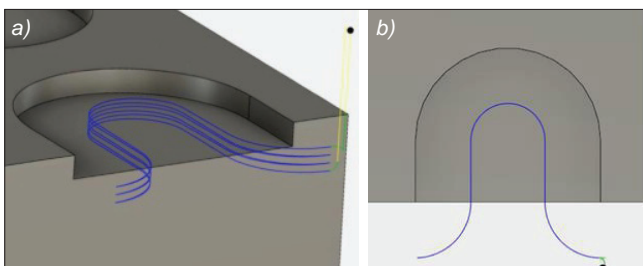


Fig. 4. Tool path in the third machining strategy: a) isometric view, b) top view
Rys. 4. Ścieżka narzędzia w trzeciej strategii obróbki: a) rzut izometryczny, b) widok z góry

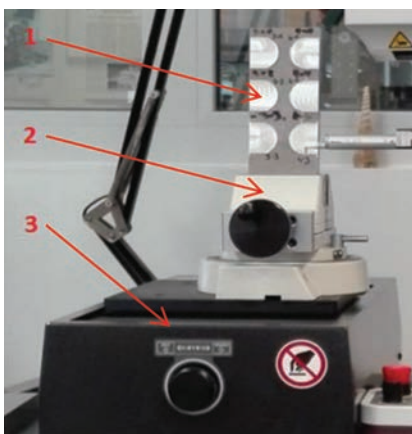


Fig. 5. Measuring stand: 1 – sample tested, 2 – rotary vice, 3 – Y-axis sliding table
Rys. 5. Stanowisko pomiarowe: 1 – badana próbka, 2 – imadło obrotowe, 3 – stół przesuwny osi Y

Wyniki badań

Analizę jakości otrzymanych powierzchni (rys. 6) rozpoczęto od oględzin wizualnych. Ślady na obrobionych powierzchniach są skorelowane ze ścieżką wygenerowaną w danej strategii obróbki. W przypadku pierwszej strategii są one średnio widoczne, w przypadku drugiej strategii – bardzo wyraźne (dokładnie widać skok krzywej trochoidalnej), a w przypadku trzeciej strategii – najsubtelniejsze.

Na rys. 7 i 8 zamieszczono wartości parametru R_a dla poszczególnych strategii frezowania z różnymi wysunięciami narzędzia z oprawki.

Porównując wyniki pomiarów chropowatości powierzchni czołowej rowka dla pierwszej strategii frezowania i poszczególnych wysunięć narzędzia z oprawki, można zauważyć, że parametr R_a ma największe wartości w stosunku do pozostałych strategii. Wysunięcie narzędzia z oprawki powoduje, że największa jest również zmiana wartości R_a , co może wskazywać na niestabilne warunki pracy frezu, który jest mocno obciążony i szybciej się zużywa.

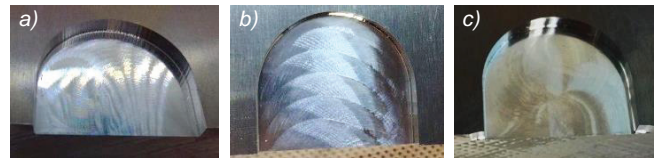


Fig. 6. Traces on the surface after milling: a) first strategy, b) second strategy, c) third strategy
Rys. 6. Ślady na powierzchni po obróbce: a) pierwsza strategia, b) druga strategia, c) trzecia strategia

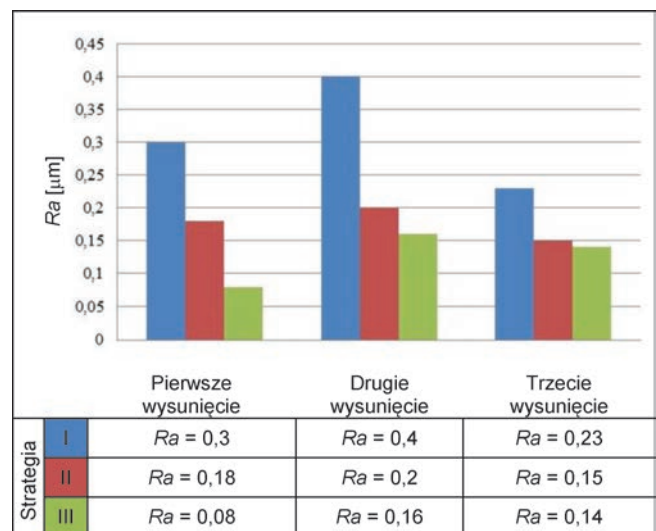


Fig. 7. Diagram of the groove face roughness depending on the milling strategy and the tool sliding out of the holder
Rys. 7. Wykres chropowatości powierzchni czołowej rowka w zależności od strategii frezowania oraz wysunięcia narzędzia z oprawki

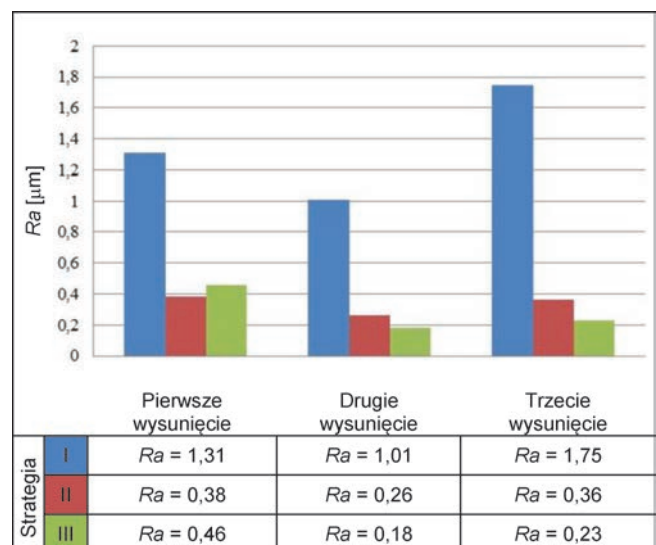


Fig. 8. Roughness chart of the lateral surface of the groove depending on the milling strategy and the tool sliding out of the holder
Rys. 8. Wykres chropowatości powierzchni bocznej rowka w zależności od strategii frezowania oraz wysunięcia narzędzia z oprawki

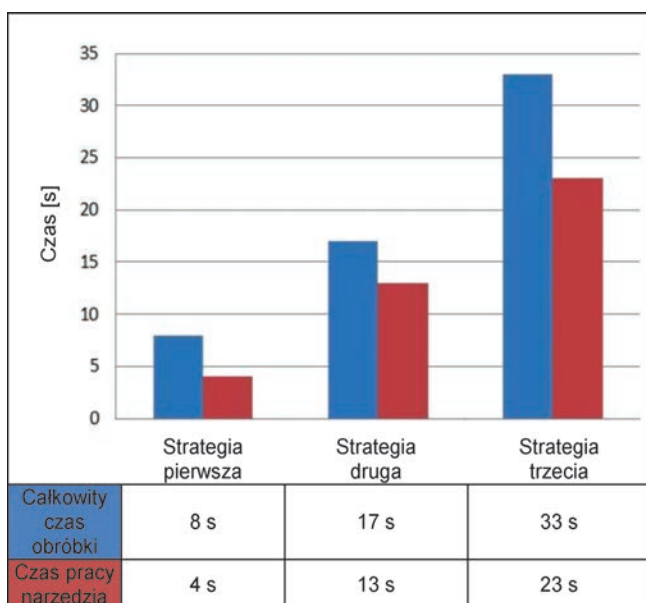


Fig. 9. Processing time according to individual strategies
Rys. 9. Czas obróbki według poszczególnych strategii

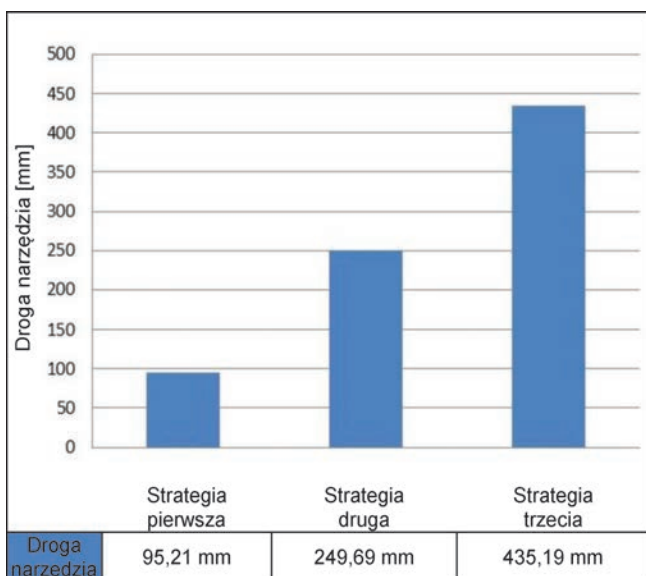


Fig. 10. Tool path in individual machining strategies
Rys. 10. Droga narzędzia w poszczególnych strategiach obróbki

Jeszcze większe różnice chropowatości powierzchni dla różnych strategii frezowania zaobserwowano na powierzchni bocznej rowka. Dla strategii drugiej i trzeciej wysunięcie narzędzia w oprawce nie ma większego wpływu na jakość bocznej powierzchni rowka. Natomiast strategia oparta na klasycznej obróbce rowków charakteryzuje się największą wartością oraz zmiennością parametru R_a .

W badaniach porównano również czas obróbki dla poszczególnych strategii. Wyniki zamieszczono na rys. 9.

Niewątpliwie najkrótszy czas obróbki, wynoszący jedynie 4 s, uzyskano w ramach pierwszej strategii. Obróbka trochoidalna charakteryzuje się dłuższym czasem pracy z uwagi na dłuższą drogę, jaką ma do przebycia narzędzie (rys. 10). Najdłużej trwała obróbka według trzeciej strategii. W stosunku do pierwszej strategii czas obróbki był prawie sześciokrotnie dłuższy. Duży wpływ na to miały ruchy pomocnicze, które zajmowały prawie 1/3 całkowitego czasu przeznaczanego na obróbkę.

Podsumowanie

Wybór strategii obróbki nie jest łatwym zadaniem i zależy od bardzo wielu czynników, m.in. od: czasu obróbki, sił skrawania, oczekiwanego stanu powierzchni po obróbce oraz drogi, jaką musi przebyć narzędzie. Wpływ na wybór ścieżki narzędzia ma również stan procesu produkcyjnego – jednym z jego elementów jest bowiem strategia obróbki.

W badaniach porównano trzy różne strategie obróbkowe, biorąc pod uwagę chropowatość uzyskanej powierzchni, czas obróbki oraz drogę, którą przebyło narzędzie skrawające. Ze względu na parametr chropowatości powierzchni czołowej rowka pierwszym wyborem byłyby trzecia strategia. Nie zawsze jednak jakość powierzchni czołowej jest najważniejsza. W przypadku bocznej powierzchni rowka zbliżoną chropowatość otrzymano po obróbce według drugiej i trzeciej strategii. Jak widać, klasyczna obróbka, przebiegająca zgodnie z pierwszą strategią, jest najmniej korzystna z uwagi na badane parametry chropowatości czołowej i bocznej powierzchni rowka. Widać to zwłaszcza na przykładzie powierzchni bocznej rowka – tu różnice wartości parametru R_a są dwu-, a nawet trzykrotne (dla większego wysunięcia narzędzia). Z uwagi na przebytą drogę narzędzia i czas obróbki można jednak wybrać strategię pierwszą.

Ze względu na badane parametry obrabianej powierzchni korzystna jest druga strategia. Ścieżka narzędzia jest tu typowa dla obróbki trochoidalnej. Jednym z głównych parametrów, którym się steruje podczas takiej obróbki, jest szerokość skrawania. W omawianych badaniach wynosiła ona 40% szerokości narzędzia i była o wiele za duża, ponieważ producenci narzędzi skrawających zalecają, aby wartość tego parametru oscylowała od 7% do 10% średnicy narzędzia. W obróbce trochoidalnej nie powinno się zatem skracać jej czasu poprzez zwiększanie szerokości skrawania. Należałoby raczej zwiększyć posuw.

Interesującymi sposobami obróbki, które pozwalają uzyskać powierzchnie o małej chropowatości, są strategie bazujące na ruchu zagłębienia typu „ramp”. Taki charakter miała trzecia strategia. W tym przypadku również można zwiększać wartość posuwu, kąt nachylenia linii śrubowej – od 2° do $8,6^\circ$ (producent narzędzia podaje tę wartość jako maksymalną). Taki zabieg skróciłby czas obróbki oraz drogę narzędzia, która w trzeciej strategii była znacznie dłuższa niż w strategii pierwszej, dla której przyjęto maksymalne parametry obróbki.

LITERATURA

- [1] Habrat W. „Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora”. Krosno: Wydawnictwo KaBe, 2007.
- [2] Oczko K., Kawalec A. „Kształtowanie metali lekkich”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- [3] Pieśko P. „Badania wpływu sztywności statycznej frezów trzpieniowych na dokładność geometryczną przedmiotów wykonywanych ze stopów aluminium”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2014.
- [4] Sandvik Polska. „Poradnik obróbki skrawaniem”. Warszawa, 2012.
- [5] Zalewski A. „Skracanie czasu obróbki na frezarkach CNC na podstawie okresowej analizy warunków skrawania”. *Inżynieria Maszyn*. 17, 2 (2012).