

Dokładność geometryczna naroży po obróbce frezowaniem stopów aluminium

Geometric accuracy of corners after milling operation of aluminum alloys

KAMIL ANASIEWICZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.145>

Opisano badania obejmujące porównanie geometrii naroży wewnętrznych po obróbce frezowaniem elementów ze stopu aluminium 7075. Badano wpływ zmian parametrów technologicznych oraz rodzajów obróbki na dokładność geometryczną próbek. Poprawne przeprowadzenie procesu frezowania naroży wiąże się z koniecznością doboru odpowiedniej prędkości posuwu i właściwego kąta opasania frezu. Frezowanie naroży jest problematyczne z uwagi na zwiększanie się kąta opasania narzędzia w ich obrębie. W znacznym stopniu utrudnia to wykonanie stabilnej obróbki i wpływa niekorzystnie na dokładność oraz cechy geometryczne naroży. Wykonano badania z zastosowaniem różnych strategii oraz parametrów technologicznych frezowania naroży o zmiennych kątach rozwarcia. Na podstawie analizy otrzymanych wyników sformułowano wnioski wskazujące na związek pomiędzy zmianą wybranych parametrów technologicznych frezowania w narożach a dokładnością geometryczną wykonanych próbek.
SŁOWA KLUCZOWE: dokładność geometryczna, obróbka naroży, frezowanie naroży, obróbka skrawaniem.

The study comparing a geometry of the inner corners after milling operation of aluminum alloy 7075 elements was conducted. The influence of changes of technological parameters and types of treatment on the geometric accuracy of the samples was investigated. The correct process of corner milling involves the need to select the right feed speed as well as the correct engagement angle of the milling tool. Corner milling is problematic due to the increase of engagement angle in their area. This makes it much more difficult to perform stable machining and adversely affects the surface accuracy and geometry of the concave corners. The tests using various strategies and technological parameters for milling corners with variable opening angles were carried out. When analyzing the obtained results, conclusions were formulated indicating the relationship between the change of selected technological parameters of milling in the corners and the geometric accuracy of the samples tested.

KEYWORDS: geometric accuracy, corner machining, corner milling, machining

Podstawowym celem przedstawionego opracowania była ocena wpływu zmiennych parametrów technologicznych na dokładność geometryczną frezowanego naroża. Badania przeprowadzono na trzyosiowym pionowym centrum obróbkowym. Wykorzystano próbki ze stopu aluminium 7075. Zastosowano różne parametry technologiczne oraz rodzaje obróbki. Obróbka frezowaniem naroży sprawia kłopoty ze względu na zwiększenie kąta opasania narzędzia w ich obrębie. Problem staje się szczególnie widoczny w przypadku obróbki form odlewniczych, kuźniczych, rozdmuchowych lub cienkościennych konstrukcji kieszeniowych, wykorzystywanych na potrzeby przemysłu

lotniczego [1, 2]. W elementach tego typu występują małe promienie zaokrągleń naroży, często usytuowane w głębokich wybraniach kieszeniowych, co wymaga stosowania dużych wysięgów narzędzia i może uniemożliwić użycie narzędzia o mniejszej średnicy.

W nowoczesnych technologiach obróbki, takich jak HSM i HSC, konieczna jest pełna kontrola nad parametrami [3, 4]. Przyjęcie nieodpowiednich parametrów skutkuje pogorszeniem jakości powierzchni, a nawet podcięciami powierzchni naroża. Zwiększenie kąta opasania w narożach wpływa na wzrost wymaganej mocy skrawania oraz powstawanie drgań, co może przyspieszać zużycie wrzeciona i narzędzia oraz zwiększać jego ugięcie [5–7]. Wymagania dotyczące dokładności oraz jakości powierzchni wykonania takich form są zwykle bardzo wysokie. Odpowiednia strategia obróbki naroży może pozwolić na znaczne zredukowanie lub wyeliminowanie potrzeby ręcznego docierania albo szlifowania stref w narożach [8, 9].

W badaniach przedstawionych w literaturze [2, 9] omawiano problem obróbki wybrań kieszeniowych i ich naroży, jednak nie skupiano się na pomiarach dokładności geometrycznej ich wykonania. Często w narożach o małej średnicy – ze względu na ograniczenia geometryczne – niemożliwe jest zastosowanie narzędzia o mniejszej średnicy, które pozwoliłoby na zredukowanie kąta opasania. Z tego powodu ważne jest przyjęcie odpowiedniej strategii ich obróbki, która nie wpłynie niekorzystnie na jej wydajność.

Opis metody

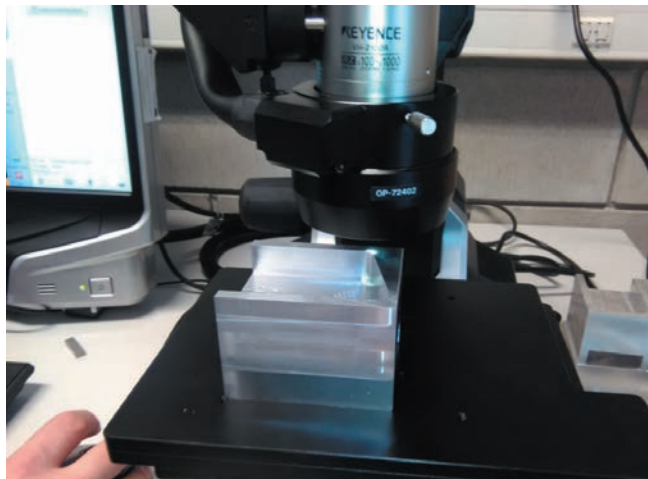
Przeprowadzono badania obróbki naroży o różnych kątach rozwarcia wynoszących: 60°, 75°, 90° i 105°, o promieniu zaokrąglenia $r = 5$ mm, z zastosowaniem różnych rodzajów oraz strategii obróbki. Każde naroże obrabiano zgrubnie, półwykończeniowo oraz wykończeniowo. Dodatkowo dla każdego rodzaju obróbki zastosowano strategię zmniejszenia posuwu w narożach.

Próbki wykonane ze stopu aluminium 7075 frezowano w sztywnym zamocowaniu na trzyosiowej frezarce Hwacheon Vesta 1000. Badania wykonywano frezem monolitycznym WNT z węglików spiekanych o numerze 53518100. Narzędzie miało średnicę $\varnothing = 10$ mm, trzy ostrza robocze, kąt pochylenia linii śrubowej $\lambda_s = 45^\circ$, oraz kąt natarcia $\gamma = 8^\circ$. Głębokość skrawania wynosiła $a_p = 15$ mm z uwzględnieniem naddatków pomiędzy operacjami. Program CNC opracowano z użyciem oprogramowania CAD/CAM NX 8.5. Prędkość skrawania dla operacji zgrubnej oraz półwykończeniowej wynosiła $V_c = 300$ m/min, a posuw – 0,08 mm/ostrze w operacjach bez zmiany posuwu w narożach. Po operacji zgrubnej pozostawiano 1 mm naddatku. W przypadku próbek, w których zmniejszono posuw w narożach, zastosowano ustawienie pozwalające na stopniowe zredukowanie posuwu narzędzia do 50% w siedmiu krokach w chwili wejścia narzędzia w naroże.

* Mgr inż. Kamil Anasiewicz (k.anasiewicz@pollub.pl) – Politechnika Lubelska

Prędkość skrawania dla operacji wykończeniowej wynosiła $V_c = 450$ m/min, a podstawowy posuw – 0,06 mm/ostre. Po operacji półwykończeniowej pozostawiano 0,15 mm naddatku usuwanego w obróbce wykończeniowej.

Pomiary geometrii naroża wykonano za pomocą mikroskopu cyfrowego Keyence VHX-5000 (rys. 1).



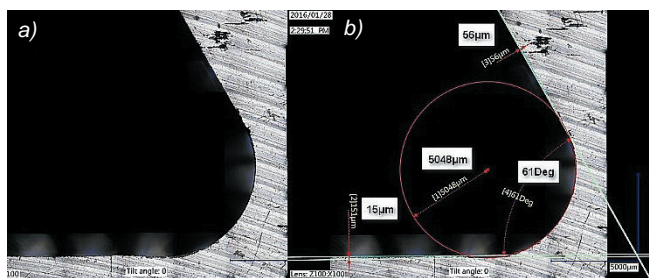
Rys. 1. Pomiar naroża na mikroskopie cyfrowym

Pomiary obejmowały sprawdzenie podcięć powstałych podczas frezowania oraz pomiar geometrii uzyskanych naroży. Pomiarów dokonywano równoległe do ściany naroża, z użyciem 100-krotnego powiększenia.

Wyniki

Pomiary wykonane na mikroskopie cyfrowym pozwalają ocenić dokładność geometryczną obróbki i wykryć niepożądane zjawiska. Wskazują one jednoznacznie, że we wszystkich badanych wartościach kąta naroża w obróbce półwykończeniowej nastąpiło podcięcie naroży (rys. 2). Podcięcie naroża rozumiane jest jako niedokładność geometryczna spowodowana wciąganiem narzędzia do wnętrza naroża. Powoduje to niepożądaną zmianę profilu w stosunku do programowanej geometrii. Obróbka naroży narzędziem o średnicy odpowiadającej promieniowi obrabianego naroża jest szczególnie narażona na wystąpienie podcięć.

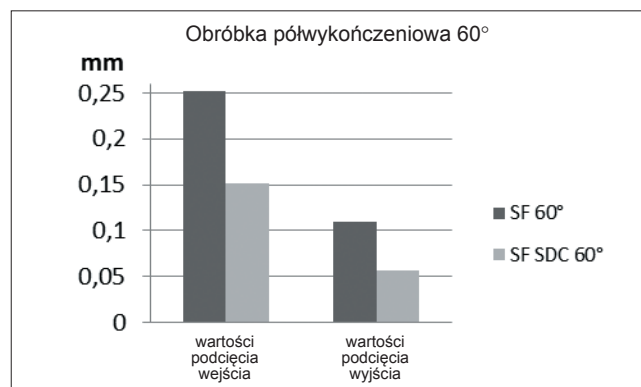
Prezentowane wyniki obejmują próbki wykonane z zastosowaniem obróbki półwykończeniowej.



Rys. 2. Naroże o kącie 60° wykonane w obróbce półwykończeniowej: a) bez wymiarów, b) z naniesionymi wymiarami

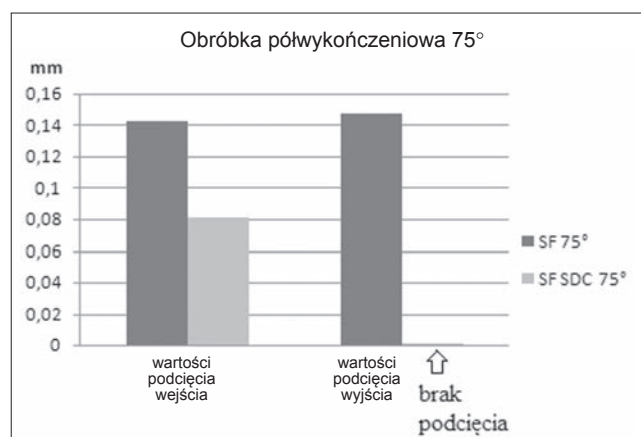
Na rys. 3. przedstawiono wyniki wartości podcięcia naroża o kącie 60° w stosunku do wartości oczekiwanej dla obróbki półwykończeniowej (SF) oraz półwykończeniowej ze zwalnianiem posuwu na ząb w narożach (SF SDC).

Na podstawie analizy wykresu można zauważyć, że stosowanie strategii obróbki ze zwalnianiem posuwu na ostrze w narożach pozwala niemal o połowę zmniejszyć wartości podcięcia naroża – zarówno po stronie wejścia, jak i wyjścia. Zmniejszenie posuwu o 50% w stosunku do wartości podstawowej pozwala na wyraźne zredukowanie podcięcia naroża zwłaszcza w sytuacji, gdy nie jest możliwe zastosowanie mniejszego narzędzia.



Rys. 3. Porównanie danych z obróbki półwykończeniowej ze stałą prędkością posuwu (SF) i ze zwalnianiem posuwu roboczego w narożach (SF SDC), dla kąta 60°

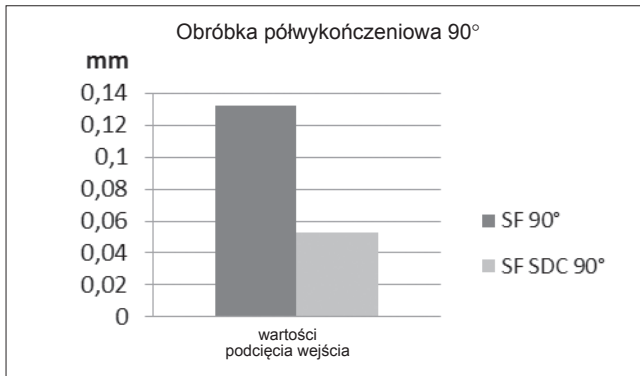
W przypadku kąta naroża 75° można zauważyć zmniejszenie wartości podcięć (rys. 4). Dodatkowo zastosowanie strategii zmniejszania posuwu w narożach (SF SDC) pozwoliło na niemalże dwukrotne zmniejszenie podcięcia podczas wejścia frezu i jego wyeliminowanie podczas wyjścia narzędzia.



Rys. 4. Porównanie obróbki wykończeniowej z stałą prędkością posuwu i ze zwalnianiem posuwu w narożach, dla kąta 75°

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów naroża o kącie 90° (rys. 5) można zauważyć kontynuację zmniejszania wartości podcięć. W odniesieniu do poprzedniego kąta naroża wartości podcięć są mniejsze. Zarówno w przypadku zastosowania obróbki ze stałym posuwem, jak i obróbki ze zwalnianiem posuwu w narożach nie następuje podcięcie naroża podczas wyjścia narzędzia z jego strefy.

Dla naroża o kącie rozwartym 105° (rys. 6) oraz kąta prostego podcięcie naroża występuje wyłącznie na wejściu. Wartości podcięć są o ponad 50% niższe dla obróbki ze stałym posuwem w stosunku do naroża o kącie ostrym 60°. Zastosowanie strategii SDC pozwoliło na zmniejszenie podcięcia na wejściu aż o 65%.

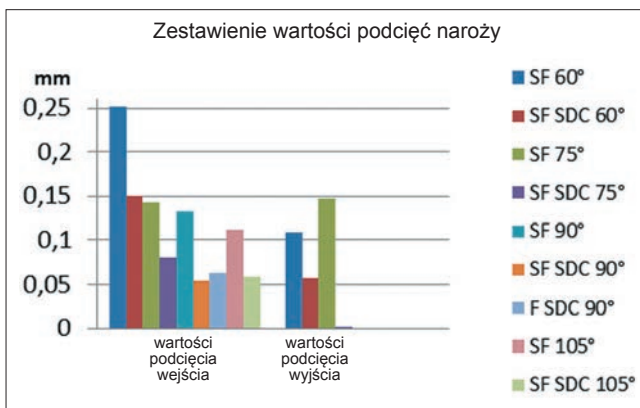


Rys. 5. Porównanie obróbki wykończeniowej z stałą prędkością posuwu i ze zwalnianiem posuwu w narożach, dla kąta 90°



Rys. 6. Porównanie obróbki wykończeniowej z stałą prędkością posuwu i ze zwalnianiem posuwu w narożach, dla kąta 105°

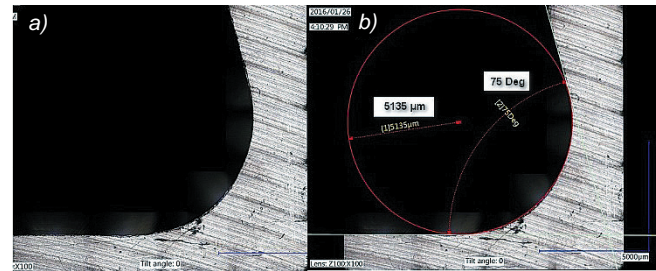
Na rys. 7 zestawiono pomiary podcięć wejścia oraz wyjścia dla wszystkich badanych kątów naroży oraz użytych strategii.



Rys. 7. Wykres porównujący wszystkie występujące podcięcia naroży z ograniczeniem wejściowych oraz wyjściowych

Dodatkowo podczas frezowania naroża o kącie prostym 90° doszło do jego podcięcia w operacji wykończeniowej. Zmierzone wartości kątów naroży są zgodne z założeniami bądź odbiegają od nich maksymalnie o $\pm 1^\circ$.

Przeprowadzono również pomiary dokładności wykonania założonego promienia wewnętrznego naroża. W obróbce półwykończeniowej różnice w wartościach otrzymanych promieni naroża są relatywnie małe, maksymalnie jest to 2,5% od planowanego promienia naroża równego 5 mm.



Rys. 8. Naroże o kącie 75° wykonane w obróbce wykończeniowej: a) bez wymiarów, b) z naniesionymi wymiarami

Podsumowanie

W wyniku badań zweryfikowano założenia sformułowane we wstępie pracy. Można stwierdzić, że istnieje związek pomiędzy zmianą wybranych parametrów technologicznych a otrzymanymi parametrami jakościowymi wykonanych próbek.

Można wyciągnąć następujące wnioski:

- We wszystkich badanych próbkach nastąpiło podcięcie naroża spowodowane wciąganiem narzędzia do wnętrza naroża. Podcięcie na wejściu występuje znacznie częściej niż podcięcie na wyjściu. Zmiana profilu naroża w obszarze wystąpienia podcięcia jest niepożądana.
- Obróbka naroży narzędziem o średnicy odpowiadającej promieniowi wykonywanego naroża jest szczególnie narażona na wystąpienie podcięć.
- W skrajnym przypadku wartość podcięcia wejścia naroża wynosiła 0,25 mm, ale została zredukowana do 0,15 mm dzięki zastosowaniu strategii zmniejszania posuwu w narożach.
- Wykorzystanie strategii zmniejszania posuwu na ostrze w obrębie naroża w znacznym stopniu ogranicza powstawanie podcięć oraz redukuje wielkość takiego podcięcia nawet o 65% w strefie wejścia do naroża oraz wyjścia z niego.
- Strategia zmniejszania posuwu na ostrze w obrębie naroży nie wpływa niekorzystnie na czas i wydajność obróbki.

Ze względu na uzyskane wyniki zaleca się zmniejszać prędkość posuwu roboczego podczas wejścia narzędzia w naroże. Należy programować ścieżki toru narzędzia w celu uzyskania jak najmniejszego kąta opasania narzędzia. Jeśli to możliwe, powinno się używać narzędzi z promieniem mniejszym od promienia frezowanego naroża.

LITERATURA

- Burek J., Płodzień M. „Wysokowydajna obróbka części ze stopów aluminium o złożonych kształtach”. *Mechanik*. 7 (2012): s. 542–549.
- Choy H.S., Chan K.W. “Machining tactics for interior corners of pockets”. *IJAMT*. 20, 10 (2002): s. 741–748.
- Kłonica M., Kuczmazewski J., Matuszak J., Pałka T., Pieško P., Rusinek R., Włodarczyk M., Zagórski I., Zaleski K. „Obróbka skrawaniem stopów aluminium i magnezu”. Lublin: Politechnika Lubelska (2015).
- Ocoś K.E., Kawalec A. „Kształtowanie metali lekkich”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN (2012).
- Pieško P. „Badania wpływu sztywności statycznej frezów trzpieniowych na dokładność geometryczną przedmiotów wykonanych ze stopów aluminium”. Ph.D. (luty 2014).
- Pieško P., Zagórski I. „Analiza porównawcza metod frezowania HSM, HPC oraz frezowania konwencjonalnego wysokokrzemowych stopów aluminium”. *Postępy Nauki i Techniki*. 7 (2011): s. 219–226.
- Tsui K.S., Chan K.W. “An efficient NC tool path planning approach”. *ICCIMA 2005: 6th International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, Proceedings*. (2005): s. 132–137.
- Wei Z., Wang M.J., Han X.G. “Cutting forces prediction in generalized pocket machining”. *IJAMT*. 50, 5 (2010): s. 449–458.
- Yue Caixu, Liu Xianli, Ding Yunpeng, Liang S. “Off-line error compensation in corner milling process”. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B – Journal of Engineering Manufacture*. 232, 7 (2016): s. 1172–1181.