



KRZYSZTOF DZIK¹, PIOTR PRACH²

Analiza dokładności interpolacji kołowej obrabiarek CNC

Analysis of the Circular Interpolation of the CNC Milling Machines

¹ Student, członek studenckiego koła naukowego Mechanics, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Innowacyjnych Technologii, Polska

² Student, członek studenckiego koła naukowego Mechanics, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Innowacyjnych Technologii, Polska

Streszczenie

W artykule dokonano analizy wpływu parametrów procesu na błędy okrągłości i walcowatości detali. Próbkę o cylindrycznym kształcie wykonano poprzez frezowanie z zastosowaniem interpolacji kołowej i poddano ocenie geometrycznej i wymiarowej.

Słowa kluczowe: CNC, interpolacja kołowa, okrągłość, walcowatość

Abstract

The article analyzes the impact of process parameters on the parts roundness and cylindricity. Samples of cylindrical shape were made by milling with the use of circular interpolation and subjected to geometric and dimensional assessment.

Keywords: CNC, circular interpolation, roundness, cylindricity

Wstęp

Znaczący i stały wzrost liczby obrabiarek sterowanych numerycznie we współczesnych zakładach przemysłowych wymusza szkolenie wielu operatorów tego typu maszyn. Skutkiem tego jest nie tylko powstawanie centrów edukacyjnych szkolących w tym zakresie, ale również coraz częstsze występowanie przedmiotu związanego z programowaniem i obsługą obrabiarek CNC w ramach technicznych kierunków studiów inżynierskich lub magisterskich – w tym również w przypadku kierunków mechatronika, inżynieria bezpieczeństwa czy też edukacja techniczno-informatyczna prowadzonych na Uniwersytecie Rzeszowskim.

Ze względu na liczbę producentów maszyn i proponowanych przez nich rozwiązań – zarówno w zakresie oprzyrządowania, jak i programowalnych układów sterujących – często szkolenia są ukierunkowane jedynie na umiejętność

obsługi urządzeń konkretnego producenta. Zdarza się również, że mają one charakter bardzo ogólny i ograniczają się do nauki ustandaryzowanych komend zawartych w normie ISO 6983, symulowanych za pośrednictwem wirtualnych maszyn. Rozwiązanie takie daje pewność, że ewentualny błąd w programie sterującym obrabiarką pisanym przez uczącego się dopiero operatora nie spowoduje rzeczywistej kolizji, a co za tym idzie – strat materialnych czy zagrożenia dla zdrowia lub życia. Jednocześnie symulacja pracy maszyny w środowisku wirtualnym sprawia, że kursanci mają styczność z wyidealizowanymi warunkami, które nie uwzględniają niedokładności pracy mechanizmów odpowiadających za ruch narzędzia, drgań i innych zjawisk wpływających na dokładność uzyskiwanych detali. Nawet jeżeli szkolenia odbywają się z wykorzystaniem rzeczywistych obrabiarek, często pomiary dokładności wykonanych w ramach ćwiczeń warsztatowych detali ograniczają się do użycia prostych narzędzi, jak liniały pomiarowe, suwmiarki lub mikrometry. Bardzo rzadko spotyka się natomiast w procesie szkolenia bardziej złożone narzędzia pomiarowe, pozwalające na zobrazowanie błędów kształtu powodowanych przez maszyny CNC.

Błędy kształtu powodowane przez maszyny CNC

Pomimo dużej dokładności i zminimalizowania czynnika ludzkiego wykonywanie detali z wykorzystaniem obrabiarek sterowanych numerycznie nadal obarczone jest pewnymi błędami geometrycznymi i wymiarowymi. Błędy takie mogą wynikać chociażby z braku dokładności pozycjonowania, są związane z luzami na nakrętkach śrub pociągowych, brakiem prostoliniowości lub prostopadłości osi obrabiarki (Majda, 2011).

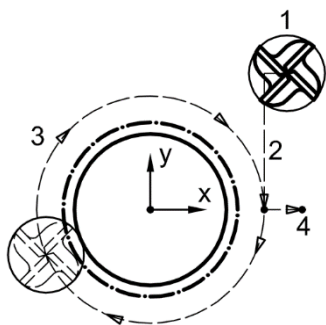
Oprócz dokładności wykonania samej maszyny istotna okazuje się również geometria ścieżek, po których odbywa się ruch narzędzia, wynikająca z samego kodu sterującego pracą obrabiarki. Zbyt małe zagęszczenie linii będzie powodowało niedokładne skrawanie materiału i nierówność uzyskiwanej powierzchni. Zbyt duże zagęszczenie natomiast będzie przekładało się na niską wydajność produkcji i obniżenie rentowności procesu. Ponadto w przypadku obróbki pięcioosiowej istotny staje się kształt narzędzia (frezy kuliste, barylkowe) przekładający się na dokładność odwzorowania geometrii detalu. (Burek, Żyłka, Żurek, Żurawski, Sałata, 2017).

Ważną rolę odgrywa w tym przypadku układ interpolatora, odpowiedzialny za przeliczenie ruchu narzędzia po łuku na liniowe przemieszczenie przedmiotu względem poszczególnych osi obrabiarki (Nittler, Farouki, 2016). Dlatego często stosuje się narzędzia pozwalające na ocenę dokładności zarówno samej obrabiarki sterowanej numerycznie, jak i doboru parametrów procesu technologicznego obróbki skrawaniem. Zazwyczaj sprowadzają się one do pomiarów błędów wymiaru i kształtu prostych detali wytworzonych testowo na potrzeby sprawdzenia samej maszyny (Wolny, 2016).

Badania błędów kształtu

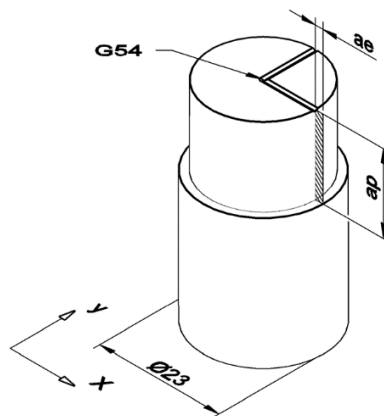
Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z aluminium PA6. Pręty aluminiowe ciągnione, o średnicy 25 mm, wstępnie przetoczono do średnicy 23 mm w celu uzyskania osiowości próbek przed obróbką właściwą. Obróbki właściwej dokonano z użyciem obrabiarki Haas OM-2a. Przy użyciu interpolacji kołowej na każdej próbce frezowano wyspę o średnicy 20 mm i wysokości 15 mm zgodnie z rys. 1. Geometria ścieżki frezu dla każdej kolejnej zbieranej warstwy została zaprogramowana jak na rys. 1.

Program CNC odpowiedzialny za wykonanie próbek rozpoczynał się od grawerowania na powierzchni czołowej próbki dwóch odcinków, zaznaczających na próbce jej ułożenie względem osi X oraz Y frezarki, a jednocześnie początek układu współrzędnych dla offsetu G54 detalu WCS (rys. 2). Obróbka właściwa powierzchni walcowej została wykonana frezem dwupiórowym o średnicy 10 mm, wykonanym z węgliku VHM. Ruch wejścia frezu w materiał (linia oznaczona jako 2 na rys. 1) odbywał się w płaszczyźnie XY obrabiarki, po linii stycznej do okręgu docelowego, aż do momentu dojazdu do punktu zerowego w osi Y. Wówczas program zmieniał tryb pracy obrabiarki z interpolacji liniowej na interpolację kołową, powodując tym samym frezowanie powierzchni walcowej (linia oznaczona jako 3 na rysunku). Po wykonaniu ruchu po obwodzie program powracał do interpolacji liniowej i w tym trybie odsuwał narzędzie od detalu (linia oznaczona jako 3 na rysunku).



Rysunek 1. Ścieżki ruchu narzędzia

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 2. Model 3D próbki

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku próbek wykonanych od razu z pełną głębokością frezowania program w dalszej części ponosił wrzeczono i kończył pracę obrabiarki. Natomiast w przypadku programów, w których pełna głębokość frezowania była

dzielona na dwie lub trzy warstwy, proces frezowania okręgu był powtarzany dla każdej warstwy, jednak odbywał się za każdym razem na większej głębokości.

W przypadku próbek, w których szerokość warstwy skrawanej była mniejsza niż 1,5 mm, proces frezowania końcowego był poprzedzony procesem frezowania wstępnego, wykonywanego zawsze na głębokości a_p równej 15 mm. W ten sposób wykonano 11 próbek, różniących się między sobą parametrami wejściowymi zawartymi w tab. 1. Oprócz głębokości frezowania i szerokości frezowanej ścieżki jako trzeci zmienny parametr wejściowy przyjęto wartość posuwu w zakresie od 160 do 200 m/min. Prędkość obrotowa wrzeczona we wszystkich przypadkach wynosiła 4200 obr/min. Powyższe parametry zostały wyliczone na podstawie noty katalogowej frezu.

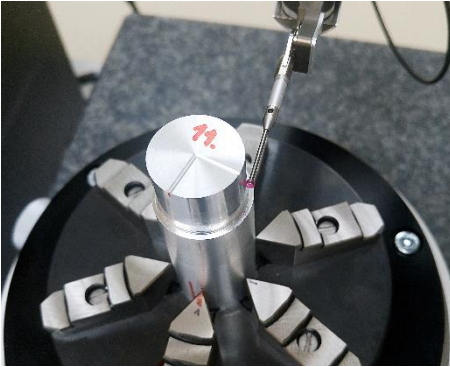
Tabela 1. Zestawienie parametrów wejściowych procesu frezowania oraz wyniki pomiarów błędów kształtu

Lp.	Parametry wejściowe			Wyniki pomiarów			
	Posuw f [m/min]	Głębokość a_p [mm]	Szerokość a_c [mm]	O1 [μm]	O2 [μm]	O3 [μm]	W1 [μm]
1.	240	15,0	1,5	69,09	68,11	60,04	82,43
2.	240	5,0	0,5	18,76	6,41	4,43	37,92
3.	160	15	0,5	16,19	18,90	21,17	28,02
4.	160	5,0	1,5	20,95	10,48	5,48	57,72
5.	240	7,5	1,0	33,11	14,65	9,92	60,48
6.	160	7,5	1,0	25,72	9,80	7,95	45,90
7.	200	15,0	1,0	33,69	32,39	29,01	46,92
8.	200	5,0	1,0	24,85	11,63	5,51	52,33
9.	200	7,5	1,5	49,19	16,58	11,63	70,79
10.	200	7,5	0,5	18,23	8,95	7,85	39,51
11.	200	7,5	1,0	30,59	11,90	9,35	50,13

Źródło: opracowanie własne.

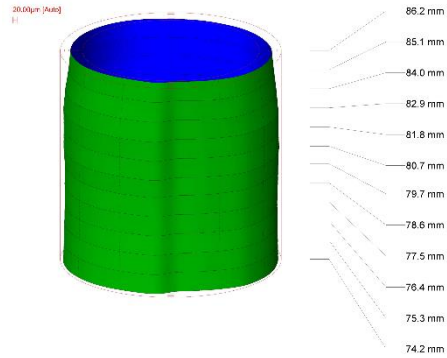
Pomiaru tak przygotowanych próbek dokonano z wykorzystaniem urządzenia do badania błędów kształtu Hommel Etamic F155. Urządzenie to pozwala na pomiar odchyłek walcowości, prostoliniowości i okrągłości próbek wykonanych w formie walców, cylindrów, wałów lub tulei. Pomiar jest dokonywany poprzez przesuw głowicy zakończonej rubinową kulką po powierzchni walcowej mierzonej próbki (rys. 3). Wszystkie próbki mierzono według jednego programu obejmującego rejestrację okrągłości na trzech wysokościach obrabianej powierzchni, otrzymując zarys 2D obwodu na danej wysokości oraz rejestrację walcowości w formie 12 pomiarów obwodowych oraz 6 pomiarów wzdłużnych, tworząc w ten sposób mapę 3D odchyłek (rys. 4).

Analiza diagramów 2D wykazała w przypadku wszystkich zwiększony ubytek materiału w miejscu wejścia frezu w materiał. Głębokość ubytku jest zróżnicowana względem dobranych parametrów, jak i wysokości, dla której był dokonywany pomiar okrągłości. Niemniej jej kształt i charakter w każdym przypadku pozostaje taki sam.



Rysunek 3. Pomiar walcowatości i okrągłości przykładowej próbki

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 4. Przykładowy model 3D zmierzonej powierzchni walcowej dla próbki 1

Źródło: opracowanie własne.

Również zauważalny jest wpływ parametrów obróbki na uzyskiwane wyniki pomiarów. W przypadku walcowatości $W1$ wyraźnie widać, że najmniejsze błędy, poniżej $40\ \mu\text{m}$, występowały w przypadku próbek, w których szerokość warstwy skrawanej a_e była najmniejsza i wynosiła $0,5\ \text{mm}$. W przypadku próbek z szerokością warstwy wynoszącą $1\ \text{mm}$ wartość ta mieściła się w granicach od 40 do $60\ \mu\text{m}$, aczkolwiek do tej grupy zakwalifikowała się również próbka nr 4 o grubości warstwy $1,5\ \text{mm}$, ale na wynik mogła wpłynąć niska wartość posuwu f . Wartość błędu powyżej $60\ \mu\text{m}$ uzyskano dla próbek o dużej grubości a_e lub średniej grubości i wysokim posuwie $f = 240\ \text{mm/min}$. Podobne wnioski pojawiają się w przypadku pomiaru okrągłości $O1$ na wysokości pomiarowej $75\ \text{mm}$. Również w tym przypadku wyraźnie widoczny jest wpływ grubości warstwy a_e oraz posuwu f .

Zupełnie inną zależność da się zauważyć w przypadku pomiarów błędów okrągłości $O2$ na wysokości pomiarowej $80\ \text{mm}$. W tym przypadku dla wszystkich próbek istotna zaczyna się okazywać głębokość warstwy skrawanej a_p . Najmniejsze błędy, bo nie przekraczające $12\ \mu\text{m}$, zostały uzyskane w przypadku próbek o głębokości warstwy a_p równej $5\ \text{mm}$ lub $7,5\ \text{mm}$, przy niskich i średnich wartościach posuwu oraz niskich grubościach warstwy skrawanej a_e . Średnie wartości błędów w przedziale od 12 do $16\ \mu\text{m}$ zostały uzyskane dla próbek o głębokości warstwy $7,5\ \text{mm}$ i średnich oraz wysokich wartościach posuwu f . Największe błędy pojawiły się w przypadku próbek o głębokości warstwy skrawanej a_p równej $15\ \text{mm}$.

Zależność ta jest jeszcze lepiej widoczna w przypadku pomiarów błędów okrągłości $O3$ na wysokości pomiarowej $85\ \text{mm}$. W tym przypadku wyraźnie widać w pierwszej kolejności wpływ głębokości warstwy a_p , a w następnej kolejności wpływ grubości warstwy skrawanej a_e . Wyniki sugerują, że wartość posuwu f w tym przypadku nie miała wpływu na błędy kształtu.

Spadek wartości błędów dla okrągłości na wyższych wysokościach pomiarowych może być podyktowany faktem, że w przypadku głębokości równej 5 mm oraz 7,5 mm przejście frezu wzdłuż tej powierzchni odbywało się trzykrotnie lub dwukrotnie. Pierwsze przejście odbywało się, kiedy dochodziło do skrawania materiału na tej głębokości. Kolejne przejścia natomiast miały miejsce w momencie, gdy frez usuwał materiał na większych głębokościach, przez co mogło dochodzić również do wyrównywania powierzchni w miejscach, w których materiał został już wcześniej usunięty poprzez skrawanie.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pokazują, jak bardzo złożony jest proces frezowania z wykorzystaniem obrabiarek CNC, zwłaszcza w przypadku elementów, względem których może być wymagana większa dokładność wykonania. Jednocześnie zauważalny jest wpływ parametrów w sposób, który jest niemożliwy do przewidzenia zwłaszcza przez dopiero uczących się lub mniej doświadczonych operatorów, a jednocześnie niemożliwy do zasymulowania na obecnym etapie rozwoju wirtualnych systemów szkoleniowych CNC. Istotna wydaje się w tym przypadku na etapie szkoleń nie tylko analiza geometrii wynikającej z kodu programu sterującego pracą obrabiarki, ale również pokazywanie młodym adeptom fachu różnic pomiędzy uzyskiwanymi detalami wynikających z wpływu parametrów obróbki.

Literatura

- Burek, J., Żyłka, Ł., Żurek, P., Żurawski, K., Sałata, M. (2017). The Analysis of Barrel Mill's Cut-Layer Cross Section. *Mechanik*, 8–9, 714–716. DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.103>.
- Majda, P. (2011). Pomiary i kompensacja błędów geometrycznych obrabiarek CNC. *Inżynieria Maszyn*, 1–2, 126–134.
- Nittler, K.M., Farouki, R.T. (2016). A Real-Time Surface Interpolator Methodology for Precision CNC Machining of Swept Surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83 (1–4), 561–574. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7552-x>.
- Norma ISO-6983. Automation Systems and Integration – Numerical Control of Machines – Program Format and Definitions of Address Words.
- Wolny, R. (2016). Ocena dokładności 5-osiowej frezarki CNC na podstawie obróbki przedmiotu próbnego. *Mechanik*, 8–9, 1164–1165. DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2016.8-9.299>.