

# Ocena dokładności wykonania czopa okrągłego z wykorzystaniem różnych strategii obróbkowych na pionowym centrum frezarskim

Rating accuracy a round pin after using different machining strategies on a vertical milling center

PIOTR MAJ  
EDWARD MIKO \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.388

W pracy przedstawiono wpływ strategii obróbki na dokładność wykonania czopa okrągłego. Przed obróbką przedmiotu obrabiarka została poddana badaniom diagnostycznym celem wyznaczenia dokładności geometrycznych i dokładności ruchu osi obrotowej. Czop został wykonany z wykorzystaniem trzech strategii. Pierwsza obejmowała interpolację kołową z wykorzystaniem osi X i Y, a druga – ruchu obrotowego osi C oraz utrzymaniem stałej pozycji narzędzia. Ostatnia strategia zawierała w sobie zestawienie pracy trzech osi: X, Y oraz C.

**SŁOWA KLUCZOWE:** dokładność, obrabiarka CNC, walcowość, dokładność geometryczna

*The article is to present the impact of machining strategies on the accuracy of the round pin. Before machining the workpiece has been tested to define the diagnostic accuracy and geometric accuracy of motion of the rotary axis. The round pin was made using three strategies. The first consisted of a circular interpolation using the X and Y axes. Second by the rotation C axis and keeping a stable position of the tool. The last strategy was to combine of movements X, Y and C axes.*

**KEYWORDS:** precision, CNC machine, cylindricity, geometrical accuracy

Jedną z metod uzyskiwania zadanego kształtu przedmiotu jest obróbka ubytkowa. W zależności od oczekiwanych względem końcowego przedmiotu wykorzystuje się maszynę przypisaną do konkretnej obróbki oraz odpowiednią metodę wykonania elementu. Dlatego oprócz parametrów obróbki na dokładność obrabianego przedmiotu wpływa wybór odpowiedniej strategii. Również na tę dokładność wymiarowo-kształtową wpływają stan i błędy geometryczne obrabiarki [1].

Celem artykułu jest przedstawienie, w jaki sposób dobór strategii wykonania czopa okrągłego wpływa na jego dokładność wymiarowo kształtową.

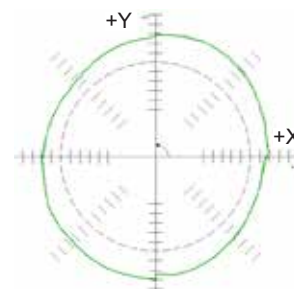
## Opis przyrządów i stanowisk badawczych

Do wykonania czopów posłużyła obrabiarka DMU 50. Jest to 5-osiowe pionowe centrum frezarskie ze sterowaniem Heidenhain iTNC530. Na pierwszym etapie obrabiarka została poddana diagnostyce oraz sprawdzeniu dokładności ruchów osi obrotowej. Do pomiarów błędów geometrycznych posłużył pręt kinematyczno-kulkowy Ballbar QC10. Maszyna została tak zaprogramowana, aby względem zadanego punktu wrzeciono wykonywało interpolację kołową

w płaszczyźnie XY. Między wrzecionem a stołem obrabiarki został zamocowany pręt kinematyczno-kulkowy Ballbar. Tak zestawione stanowisko pozwoliło określić błędy, które wpływają na dokładność geometryczną obrabiarki. Przełożyło się to na określenie odchyłki okrągłości w wykonywanej interpolacji kołowej. Kolejnym krokiem było sprawdzenie dokładności wykonywania ruchów przez oś obrotową obrabiarki. Do tych celów posłużyła sonda Renishaw RX10. Została ona zamocowana w osi obrotowej stołu. Stół wykonywał ruch obrotowy w dwóch kierunkach, a sonda w zestawieniu z interferometrem laserowym posłużyła do odczytu dokładności ruchu osi obrotowej [2, 3]. Kolejnym etapem było wykonanie próbek według różnych strategii, z wykorzystaniem interpolacji kołowej z zestawieniem pracy osi X i Y. Próbkę wykonano ze stali C45. Wykorzystanym do obróbki narzędziem był frez trzpieniowy ORION Type N 1682812 o średnicy 12 mm. Wszystkie próbki wykonano z tymi samymi parametrami:  $v_c = 189$  m/min,  $n = 5000$  obr/min,  $f = 200$  mm/ostrze,  $a_p = 25$  mm,  $a_e = 0,25$  mm; średnica czopa  $\varnothing 44$  mm. Końcowym etapem badań było dokonanie pomiarów wykonanych czopów za pomocą maszyny współrzędnościowej Prismo Navigator – ZEISS [4, 5].

## Wyniki badań

Podczas pomiarów zmierzono następujące wielkości: różnicę odchyłki pozycjonowania =  $-10,1$   $\mu\text{m}$ , odchyłkę prostokątowości =  $-21,8$   $\mu\text{m}$ , odchyłkę prostoliniowości osi Y =  $2,9$   $\mu\text{m}$ , błąd nawrotu osi Y =  $1,4/1,1$   $\mu\text{m}$  oraz luz zwrotny osi Y =  $1,2/1,2$   $\mu\text{m}$ . Pomiar diagnostyczny wykazał, że odchyłka okrągłości wyniosła  $9,7$   $\mu\text{m}$ . Rysunek 1 przedstawia odchyłkę promieniową interpolacji kołowej zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara w płaszczyźnie XY. Analiza wykresu (rys. 1) pozwoliła zaobserwować występowanie niedokładności maszyny w trakcie zmiany kierunku przemieszczania się osi. Zaobserwowano wzrost promienia w tych miejscach.



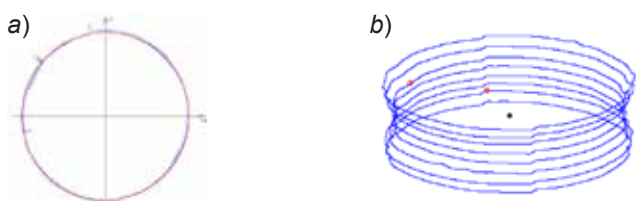
Rys. 1. Odchyłka promieniowa interpolacji kołowej w płaszczyźnie XY

\* Mgr inż. Piotr Maj (pmaj@tu.kielce.pl), dr hab. inż. Edward Miko, prof. PŚk (emiko@tu.kielce.pl) – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Kolejnym etapem było dokonanie analizy dokładności osi obrotowej C. Dokładność pozycjonowania osi obrotowej wyniosła 5,24  $\mu\text{m}$ , a luz zwrotny był równy 1,34  $\mu\text{m}$ .

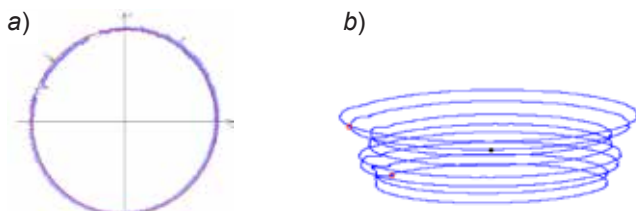
Po dokonaniu diagnostyki obrabiarki kolejnym etapem było wykonanie czopów za pomocą trzech różnych strategii. Pierwsza strategia obejmowała wykonywanie ruchów po okręgu wykorzystaniem równoczesnej pracy osi X i Y. Druga polegała na utrzymaniu stałej pozycji narzędzia i wykonywaniu ruchu przez os obrotową C. Trzecia obejmowała zestawienie ruchów osi X i Y wraz z osią C. Końcowym etapem było zmierzenie wykonanych czopów przy użyciu maszyny współrzędnościowej. Dla każdej ze zmierzonych próbek została wyznaczona odchyłka okrągłości i walcowości.

Analiza pierwszej strategii (rys. 2) pozwoliła stwierdzić, że na powierzchni czopa wyraźnie widać skoki promienia w miejscu zmiany kierunku przemieszczania się osi oraz miejsce wejścia i wyjścia narzędzia z przedmiotu.



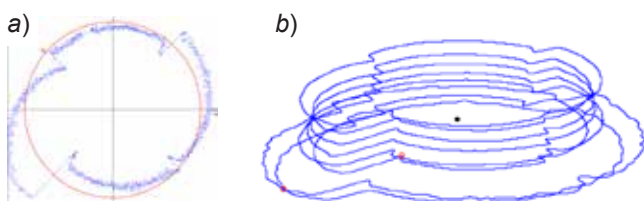
Rys. 2. Pomiar czopa wykonanego według strategii I: a) pomiar okrągłości, b) pomiar walcowości

W drugiej strategii (rys. 3) zaobserwowano tylko jeden charakterystyczny punkt – jest to miejsce wejścia i wyjścia narzędzia. Spowodowane to było wykorzystaniem obrotu osi C i utrzymaniem stałej pozycji narzędzia.



Rys. 3. Pomiar czopa wykonanego według strategii II: a) pomiar okrągłości, b) pomiar walcowości

Ostatnia strategia (rys. 4) przyniosła największe niedokładności wykonanej próbki. Spowodowane jest to wykorzystaniem zestawienia pracy trzech osi. Na powierzchni czopa można zaobserwować bardzo wyraźne miejsca wejścia i wyjścia narzędzia oraz zmianę kierunku przemieszczania się osi.



Rys. 4. Pomiar czopa wykonanego według strategii III: a) pomiar okrągłości, b) pomiar walcowości

Analiza wyników pozwoliła stwierdzić, jak dobór strategii wpływa na końcową dokładność obrabianego przedmiotu. Zestawienie wyników pomiarów zostało przedstawione w tabeli. Można zaobserwować, że przy wykorzystaniu strategii I uzyskano najmniejsze wartości odchyłek dla okrągłości i walcowości czopa, a otrzymana średnica była

najbardziej zbliżona do programowanej. Największą różnicę promienia, okrągłości i walcowości czopa zaobserwowano po obróbce według strategii III. Spowodowane to było zestawieniem pracy osi X i Y wraz z osią obrotową C, co przełożyło się na spotęgowanie niedokładności geometrycznych maszyny i wpłynęło na dokładność obrabianego przedmiotu.

Dla mierzonych próbek zaobserwowano również podobieństwo w odwzorowaniu ruchu osi pomiędzy pomiarem diagnostycznym a zmierzoną okrągłością gotowego czopa.

TABLICA. Pomiary dokładności wykonania czopa z wykorzystaniem różnych strategii

Średnica [mm]					
Strategia	Śr. Akt.	pos TOL	Diff	<- ->	Diff <- ->
I	43,9675	43,966	0,15	-0,15	0,0015
II	44,0283	43,966	0,15	-0,15	0,0623
III	44,0546	43,966	0,15	-0,15	0,0886
Okrągłość [mm]					
Strategia	Śr. Akt.	pos TOL	Diff	<- ->	Śr. Akt. – zmierzona średnica próbki
I	0,0066	0	0,066	0,0066	Śr. Nom. – założona średnica próbki
II	0,0075	0	0,0075	0,0075	pos TOL – tolerancja dodatnia
III	0,03	0	0,03	0,03	neg TOL – tolerancja ujemna
Walcowość [mm]					
Strategia	Śr. Akt.	pos TOL	Diff	<- ->	Diff – różnica Śr. Akt. i Śr. Nom.
I	0,0046	0	0,0046	0,0046	
II	0,0082	0	0,0082	0,0082	
III	0,0427	0	0,0427	0,0427	

## Wnioski

Badania wykazały istotność wpływu strategii obróbki na dokładność końcową obrabianego przedmiotu. Zaobserwowano podobieństwo w odwzorowaniu ruchu osi pomiędzy pomiarem interpolacji kołowej a zmierzoną okrągłością gotowego czopa. W zależności od wykorzystanej metody na powierzchni bocznej czopa można zaobserwować charakterystyczne odkształcenia powierzchni walcowej. W pierwszej strategii są nimi miejsca wejścia i wyjścia narzędzia oraz miejsce zmiany kierunku przemieszczania się osi w płaszczyźnie XY. Próbką charakteryzuje się również średnicą najbardziej zbliżoną do zaprogramowanej. Również wartości odchyłki okrągłości i walcowości były najmniejsze w porównaniu z innymi metodami. W strategii II zaobserwowano znaczne zwiększenie różnicy średnicy mierzonego czopa. Mogło to być spowodowane nieprawidłowym dojazdem narzędzia na pozycję startową. W tej metodzie można zaobserwować charakterystyczną powierzchnię, a mianowicie miejsca wejścia i wyjścia narzędzia. Największą różnicę promienia, okrągłości i walcowości czopa zaobserwowano w przypadku strategii III. Spowodowane to było zestawieniem pracy osi X i Y wraz z osią obrotową C, co przełożyło się na zsumowanie niedokładności geometrycznych obrabiarki i wpłynęło na dokładność wykonania przedmiotu obrabianego.

## LITERATURA

- Honczerenko J. „Obrabiarki sterowane numerycznie”. WNT 2009.
- Majda P. „Pomiary i kompensacja błędów geometrycznych obrabiarek CNC”. *Inżynieria Maszyn*. R. 16, z. 1÷2, 2011, s. 26÷134.
- Szafarczyk M., Chrzanowski J. „Nowa koncepcja sprawdzania dokładności maszyn NC”. *Materiały konferencyjne, AUTOMATION Automatyzacja – Nowości i Perspektywy Warszawa 2005*, s. 405÷413.
- Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Miller T., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*, 3, 2015, s. 81÷87.
- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni, zarysy kształtu falistości i chropowatości”. WNT, Warszawa 2008.