

Analiza dokładności pięcioosiowej frezarki CNC z użyciem standardowego i zmodyfikowanego testu okrągłości

Analysis of accuracy of 5-axis CNC milling machine through standard and modified circular test

RYSZARD WOLNY*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.136>

W analizie dokładności pięcioosiowej frezarki CNC wykorzystano system pomiarowy z teleskopowym prętem kinematycznym kulowym typu ball bar. Wykonano standardowy test pomiarowy. Zaproponowano zmodyfikowany test z zastosowaniem pochylonej podstawy badawczej. Porównano otrzymane wyniki. W sposób pośredni oceniono dokładność obrabiarki. **SŁOWA KLUCZOWE:** pięcioosiowa frezarka, system ball bar, dokładność geometryczna, test okrągłości

In analysis of accuracy of 5-axis CNC milling machine measuring system with telescopic kinematic ball bar was used. Standard measuring test was made. The modified test was proposed with application of investigated inclined basis. The obtained results were compared. The accuracy of machine tool in indirect way was evaluated.

KEYWORDS: 5-axis milling machine, ball bar system, geometric accuracy, circular test

Zastosowanie pięcioosiowych obrabiarek CNC do obróbki skrawaniem przedmiotów o złożonych kształtach 3D pozwala na zapewnienie dużej dokładności geometrycznej powierzchni. Aby uniknąć błędów obróbkowych oraz uzyskać wysoką jakość obrabianych detali, konieczna jest sprawna i szybka diagnostyka wieloosiowych obrabiarek.

Zagadnienia diagnostyki obrabiarek powinny być uwzględniane przez ich producentów, a także użytkowników w bieżącym procesie produkcyjnym. Metody diagnostyczne wykorzystują do oceny stanu maszyny własności statyczne, dynamiczne oraz cieplne skorelowane z poszczególnymi rodzajami błędów obróbki. Błędy, które należy zmierzyć i dążyć do ich eliminacji, mają głównie charakter geometryczny, kinematyczny, termiczny, dotyczą układów napędowych i regulatorów, układów pomiarowych oraz sterowania [1].

Wymaganą dokładność wieloosiowych obrabiarek CNC zapewniają badania diagnostyczne połączone z regulacją układów serwonapędowych i kompensacją błędów realizowaną poprzez układy sterowania. Metody badania dokładności obrabiarek zostały ściśle znormalizowane i przedstawione w międzynarodowych normach ISO 230.

Celem pracy była analiza dokładności pięcioosiowej frezarki CNC z wykorzystaniem systemu pomiarowego z teleskopowym prętem kinematycznym kulowym typu ball bar. Wykonano standardowy test pomiarowy.

Zaproponowano także test zmodyfikowany, z zastosowaniem podstawy badawczej pochylonej pod kątem 45°. Takie innowacyjne podejście dało podstawę do dalszych badań. Porównano wyniki pomiarów. W sposób pośredni podjęto próbę oceny dokładności badanej obrabiarki.

Pręt kinematyczny kulowy

Pręt kinematyczny kulowy typu ball bar został skonstruowany w 1982 r. przez Bryana [2–4]. Jest to urządzenie pomiarowe zbudowane z dwóch kul oraz pręta teleskopowego z wbudowanym czujnikiem przemieszczenia. Kule na obu końcach działają jak przeguby kulowe, a pręt pomiarowy z dużą dokładnością mierzy odległość pomiędzy nimi. Pierwotnym przeznaczeniem tego urządzenia była kalibracja współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

Od czasu pierwszego zastosowania w centrach obróbkowych CNC w 1985 r. pręt pomiarowy typu ball bar jest szeroko wykorzystywany, ponieważ [5]:

- dokładność testu jest wyższa niż dokładność obrabiarek,
- urządzenie jest niezawodne i łatwe w obsłudze,
- wyniki pomiarów wskazują na błędy obrabiarek.

Dzięki temu możliwe jest diagnozowanie źródeł błędów poprzez analizę i porównywanie uzyskanych profili pomiarowych na wykresach biegunowych.

Z czasem zaproponowano inne metody testowe, przedstawione w pracy [6].

W 1994 r. test obrabiarek z wykorzystaniem pręta pomiarowego został ujęty w normie międzynarodowej ISO 230-4.

Dokładność produkowanych obecnie obrabiarek wzrasta i jest porównywalna z dokładnością pręta pomiarowego. Dlatego poszukuje się nowych metod, o większej dokładności pomiarowej w teście okrągłości [7].

Test kontrolny oceny dokładności

Do badań wybrano frezarskie centrum obróbkowe DMU 60 monoBLOCK (rys. 1). Obrabiarka, wyprodukowana w 2010 r., była eksploatowana w nowoczesnym zakładzie przemysłowym w systemie trzyzmiennym. Frezarka była wyposażona w stół obrotowy i uchylne wrzeciono i spełniała kryteria kompleksowej obróbki symultanicznej w pięciu osiach [8].

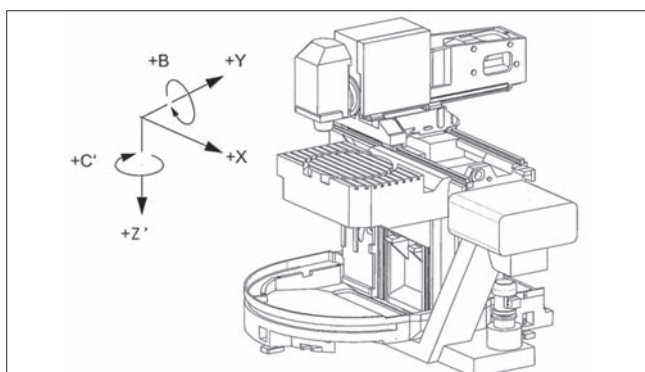
Test kontrolny dokładności badanej obrabiarki przeprowadzono z użyciem bezprzewodowego systemu QC20-W typu ball bar firmy Renishaw (rys. 2).

Pomiary wykonano w klimatyzowanej hali, w temperaturze 20°C. Maszyna uzyskała stabilność cieplną po dwugodzinnej pracy bez obciążenia.

Badania dokładności z wykorzystaniem systemu ball bar przeprowadzono zgodnie z normą ISO 230-4 jako test standardowy [10, 11].

Dla porównania przeprowadzono zmodyfikowany test dokładności, w którym podstawa magnetyczna urządzenia ball bar została pochylona do powierzchni stołu obrabiarki o kąt 45° (rys. 3).

* Dr inż. Ryszard Wolny (rwolny@itm.pcz.pl) – Instytut Technologii Mechanicznych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej



Rys. 1. Centrum frezarskie DMU 60 monoBLOCK z układem osi sterowanych



Rys. 2. System QC20-W ball bar [9]



Rys. 3. Zmodyfikowany test dokładności obrabiarki [8]

Oprogramowanie dostępne w systemie nie generowało automatycznie kodu pomiarowego dla zmodyfikowanego ustawienia. Z wykorzystaniem modułu CAM przygotowano program testujący dla analizowanego przypadku pomiarowego.

Przed rozpoczęciem testu urządzenie QC20-W zostało skalibrowane na wzorcu o długości 150 mm.

Przebieg czynności pomocniczych poprzedzających pomiary obejmował:

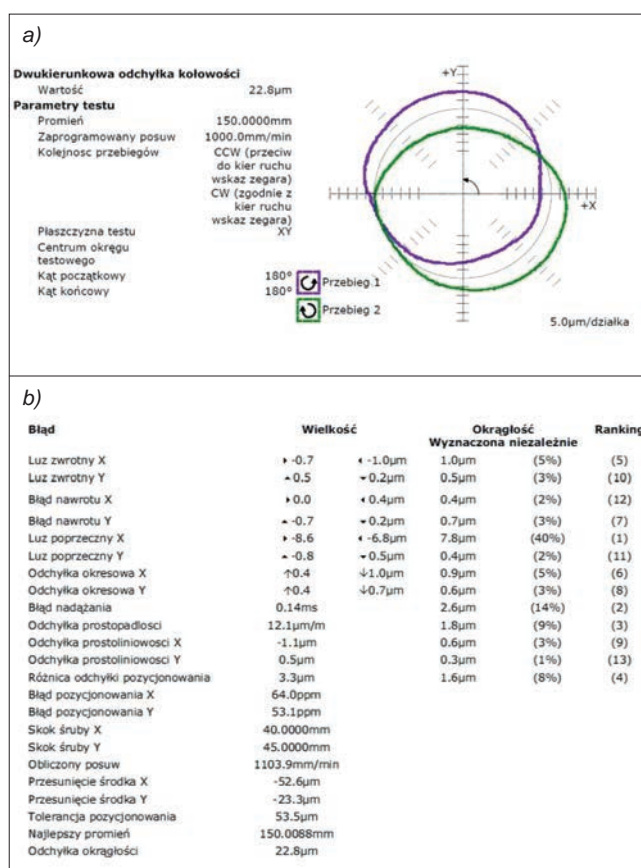
- zamocowanie trzpienia magnetycznego we wrzecionie obrabiarki oraz ustawienie podstawy na stole obrotowym maszyny,

- określenie wartości posuwu 1000 mm/min na obrabiarkę,
- ustalenie wielkości rozszerzalności cieplnej obrabiarki,
- wczytanie do pamięci układu sterowania maszyny programu testowego,
- wybór pręta pomiarowego o długości 150 mm,
- połączenie urządzenia QC20-W z komputerem,
- uruchomienie programu pomiarowego.

Wyniki pomiarów standardowego testu dokładności

Szczegółowo przeanalizowano wyniki pomiarów. W raporcie testu diagnostycznego zawarto podstawowe wartości błędów i odchyłek oraz ich procentowe udziały w całkowitej odchyłce okrągłości obrabiarki.

Przebiegi graficzne dwukierunkowej odchyłki kołowości, której wartość określono na 22,8 μm , przedstawiono na rys. 4a. Pozostałe wartości głównych błędów i odchyłek stanowiły podstawę do analizy wyników pomiarów (rys. 4b).



Rys. 4. Wyniki pomiarów dokładności obrabiarki w teście standardowym: a) dwukierunkowa odchyłka kołowości, b) podstawowe błędy i odchyłki testu pomiarowego

W zmierzonej odchyłce okrągłości obrabiarki największe udziały wykazały:

- luz poprzeczny osi X (40%),
- błąd nadążania (14%),
- odchyłka prostokątności (9%),
- różnica odchyłki pozycjonowania (8%),
- luz zwrotny osi X (5%).

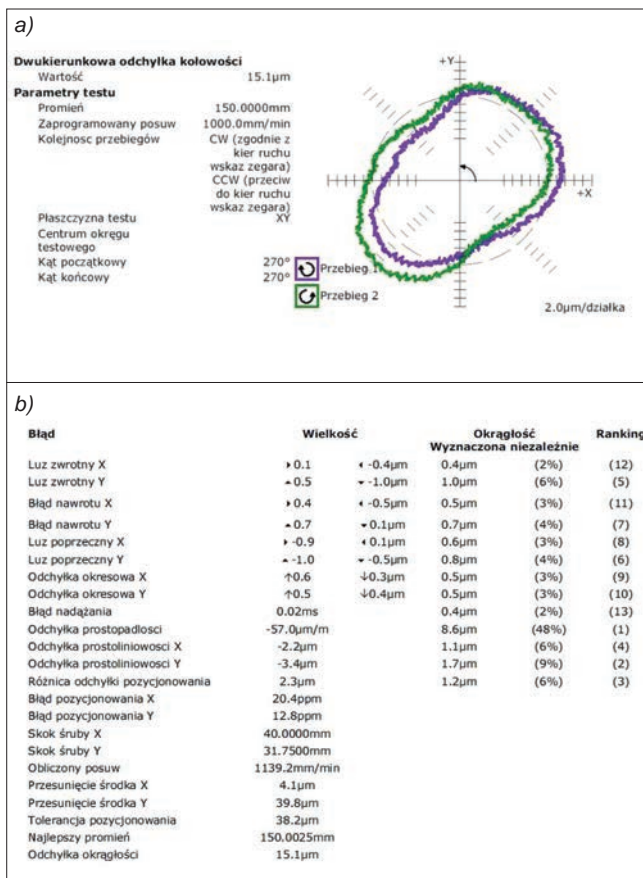
Luz poprzeczny (*lateral play*) osi X to błąd, którego skutkiem jest nierównomierne przemieszczanie się zespołów obrabiarki po prowadnicach podczas ruchów nawrotnych. Główną przyczyną luzu poprzecznego („bocznego”) jest wada prowadnic obrabiarki. Jest to błąd inny niż *backlash*, który jest luzem poosiowym.

Błąd nadążania (*servo mismatch*) powstaje w wyniku niewłaściwego doboru parametrów układów napędowych osi X i Y. Skutkiem tego błędu tor interpolacji nie jest okręgiem. Stosowanie małych wartości posuwów minimalizuje błąd nadążania.

Luz poprzeczny osi X i błąd nadążania stanowiły 54% w odchyłce okrągłości testu standardowego obrabiarki.

Wyniki pomiarów zmodyfikowanego testu dokładności

Na rys. 5a przedstawiono wyniki pomiarów dwukierunkowej odchyłki kołowości oraz jej wartość wynoszącą 15,1 μm , tj. o 33,8% mniej niż uzyskano w teście standardowym.



Rys. 5. Wyniki pomiarów dokładności obrabiarki w teście zmodyfikowanym: a) dwukierunkowa odchyłka kołowości, b) podstawowe błędy i odchyłki testu pomiarowego

Odchyłkę okrągłości obrabiarki określały następujące wielkości składowe (rys. 5b):

- błąd prostopadłości (48%),
- odchyłka prostoliniowości osi Y (9%),
- różnica odchyłki pozycjonowania (6%),
- odchyłka prostoliniowości osi X (6%),
- luz zwrotny osi Y (6%).

Błąd prostopadłości (*squareness*) to odchylenie kierunku osi obrabiarki (np. X i Y) od kąta prostego, które może mieć charakter lokalny lub być skutkiem nieprawidłowości prowadnic na całej długości. Osie obrabiarki mogą wykazywać odkształcenia w płaszczyźnie pionowej (tj. wklęsłość, wypukłość, pochYLENIE) oraz nadmierne zużycie skutkujące zwiększeniem luzu podczas ruchu. Na skutek występowania na obrabiarence błędów prostopadłości pojawiają się odchyłki prostopadłości frezowanych

płaszczyzn oraz problemy z kształtowaniem powierzchni cylindrycznych, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych.

Odchyłka prostoliniowości (*straightness*) osi Y występuje w przypadku lokalnego zniekształcenia prowadnic obrabiarki. Powodowana jest prawdopodobnie przez ich zużycie lub uszkodzenie. Wielkość błędu prostoliniowości nie zależy od prędkości ruchu posuwowego.

Błąd prostopadłości oraz odchyłka prostoliniowości osi Y miały 57% udziału w odchyłce okrągłości dla obrabiarki w teście zmodyfikowanym.

Zaproponowany zmodyfikowany test pomiarowy, dotyczący określenia dokładności wieloosiowej obrabiarki CNC z wykorzystaniem systemu pręta pomiarowego typu *ball bar*, stanowił alternatywę wobec obróbki przedmiotu próbnego w postaci stożka ściętego pochylonego do płaszczyzny stołu obrabiarki.

Wstępne wyniki badań dokładności obrabiarek poprzez obróbkę przedmiotów próbnych i pomiarów z użyciem testu zmodyfikowanego wykazały dobrą korelację, co może być przesłanką do dalszych testów pomiarowych i ich analizy.

Sposób pośredniej oceny dokładności obrabiarek z wykorzystaniem obróbki przedmiotów próbnych przedstawiono szczegółowo w pracy [12].

Podsumowanie

Badania diagnostyczne pięcioosiowych obrabiarek CNC z wykorzystaniem systemu pomiarowego QC20-W typu *ball bar* zmierzały w kierunku poprawy stanu technicznego eksploatowanych maszyn.

Na podstawie wyników standardowego i zmodyfikowanego testu dokładności nie można stwierdzić jednoznacznie, że badana obrabiarka spełnia wymagania. Wynikało to z ograniczonej liczby pomiarów diagnostycznych.

Wyniki pomiarów odchyłek okrągłości dla badanej obrabiarki (niższe niż 25 μm) nie przekroczyły wartości dopuszczalnych.

Przedstawiony zmodyfikowany test pomiarowy pośredniej oceny dokładności obrabiarek powinien być poddany dalszym badaniom i wnikliwej analizie.

LITERATURA

1. Turek P., Kwaśny W., Jędrzejewski J. „Zaawansowane metody identyfikacji błędów obrabiarek”. *Inżynieria Maszyn*. 1–2 (2010): s. 7–37.
2. Bryan J. US Patent No US4435905 A – *Telescoping magnetic ball bar test gage*.
3. Bryan J. “A simple method for testing measuring machines and machine tools. Part 1: Principles and applications”. *Precision Engineering*. 4, 2 (1982): s. 61–69.
4. Bryan J. “A simple method for testing measuring machines and machine tools. Part 2: Constructions and details”. *Precision Engineering*. 4, 3 (1982): s. 125–138.
5. Kakino Y., Ihara Y., Shinohara A. “*Accuracy inspection of NC machine tools by double ball bar method*”. Carl Hanser Verlag, 1993.
6. Knapp W., Hrovat S. “*The circular test for testing NC machine tools*”. Zurich: Hrovat S., 1987.
7. Heidenhain J. “*KGM 181 and KGM 182 grid encoders*”. <http://www.heidenhain.de/> (dostęp: 15.06.2018 r.).
8. Kotas T. „Dokładność obrabiarek sterowanych numerycznie”. Praca dyplomowa magisterska. Instytut Technologii Mechanicznych, Politechnika Częstochowska (2014).
9. <http://www.renishaw.pl/> (dostęp: 15.06.2018 r.).
10. American Standard B5.54–2005. Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers. Section 7.11 Contouring Performance Using Telescoping Circular Tests.
11. ISO 230–4: 2005. Test code for machine tools – Part 4: Circular tests for numerically controlled machine tools.
12. Wolny R. „Ocena dokładności pięcioosiowej frezarki CNC na podstawie obróbki przedmiotu próbnego”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1164–1165.