

Jerzy Józwik¹⁾

OCENA ODCHYLEŃKI PROSTOPADŁOŚCI OSI OBRABIARKI STEROWANEJ NUMERYCZNIE Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU QC10 BALLBAR

Streszczenie. W pracy przedstawiono wybrane systemy diagnostyczne obrabiarek CNC. Dokonano analizy możliwości pomiarowych typowych błędów i odchyłek identyfikowanych za pomocą nowoczesnych urządzeń diagnostycznych. Przeprowadzono ocenę prostopadłości osi sterowanych pionowego centrum obróbczego CNC FV580A z wykorzystaniem systemu QC10 Ballbar. Wyniki pomiarów zestawiono z wynikami uzyskanymi dla zbliżonej klasy centrum obróbczego HSC 105 linear. Uzyskane rezultaty badań pozwoliły na ocenę charakteru błędu prostopadłości osi i umożliwiły podjęcie działań zmierzających do minimalizacji wpływu odchyłki prostopadłości osi na wyniki obróbki.

Słowa kluczowe: dokładność geometryczna obrabiarki, diagnostyka obrabiarek, błędy obrabiarek CNC, odchyłka prostopadłości osi.

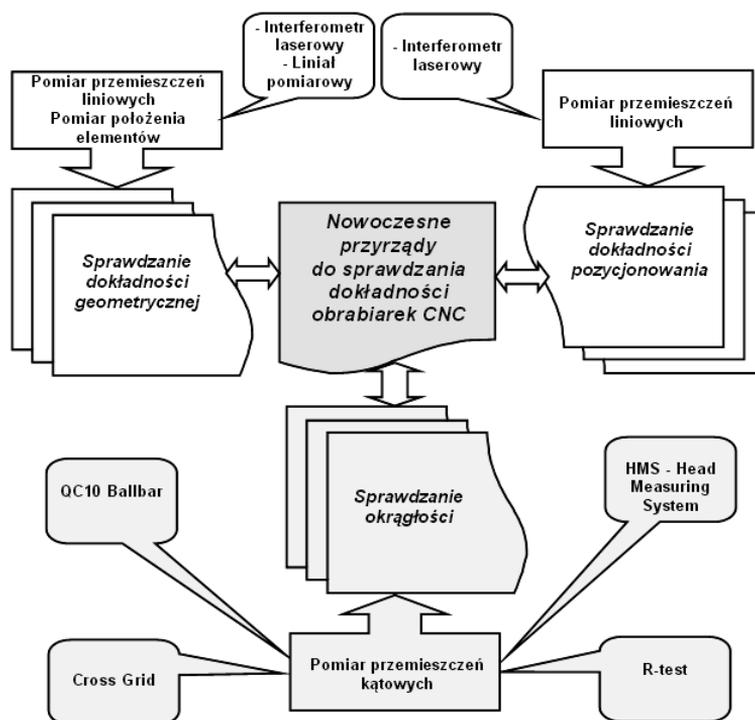
WPROWADZENIE

Diagnostyka obrabiarek sterowanych numerycznie jest bardzo ważnym zagadnieniem, które jest rozpatrywane zarówno przez producentów, jak również użytkowników maszyn [1–5]. Diagnostykę stanu technicznego elementów i zespołów obrabiarek przeprowadza się okresowo lub doraźnie w przypadku awarii [6–9]. Badania diagnostyczne obrabiarek CNC są znormalizowane i opisane w Normie Międzynarodowej ISO 230 (z ang. Acceptance code for machine tools), która jest zatwierdzona przez Polski Komitet Normalizacyjny. Polskie Normy PN-ISO 230 [21] określają zarówno ogólne przepisy badania obrabiarek, jak i szczegółowe metody wyznaczania poszczególnych odchyłek oraz tolerancje ograniczające ich dopuszczalne wartości.

SYSTEMY DIAGNOSTYCZNE I KALIBRACYJNE OBRABIAREK CNC

W procesie diagnozowania stanu zespołów mechanicznych obrabiarek wykorzystywane są różne metody, dzięki którym dokonuje się pomiarów dokładności geometrycznej obrabiarki (rys. 1) [10–20]. Obecnie najbardziej powszechnymi metodami kontroli obrabiarek są metody oparte na sprawdzaniu okrągłości (np. urządzeniem QC10

¹⁾ Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

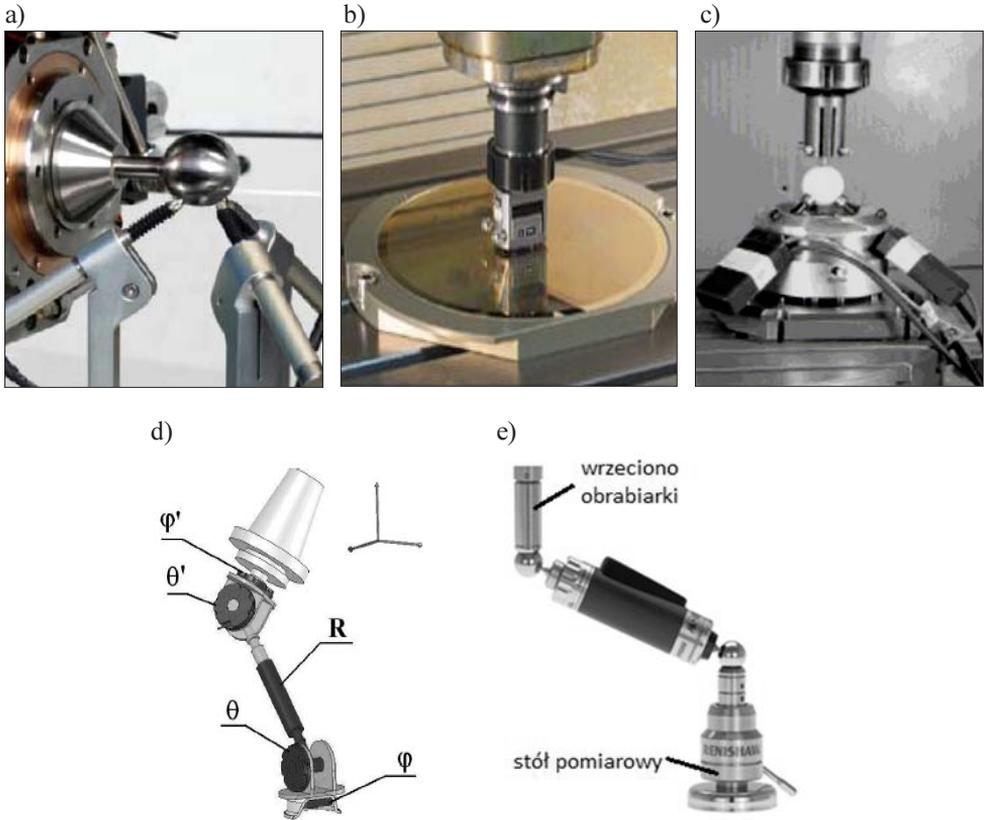


Rys. 1. Nowoczesne przyrządy do sprawdzania dokładności obrabiarek CNC [2]

Ballbar [1–3, 6, 10, 12, 14]) lub pomiarze przemieszczeń liniowych (interferometria laserowa). Celem pomiarów jest wyznaczenie maksymalnej wartości odchyłki związanej z danym rodzajem błędu. Systemy diagnostyczne i kalibracyjne obrabiarek CNC bazujące na teście okrągłości pozwalają na wyznaczanie kluczowych parametrów maszyn. Pozwalają również na ich monitorowanie (w skali czasu rzędu miesięcy, kwartałów, lat), co w efekcie powoduje zmniejszenie ryzyka produkcji braków i ponoszenia strat. Stosując najnowsze narzędzia diagnostyczne, takie jak np. QC10 Ballbar, QC20-W Ballbar, Cross Grid, R-test, HMS – Head Measuring System (rys. 2), podczas kilkunastominutowego pomiaru użytkownik może ustalić, czy maszyna nadaje się do realizacji odpowiednich zadań technologicznych [2, 10, 13]. Dzięki testom diagnostycznym wszelkie naprawy i remonty mogą być odpowiednio wcześniej zaplanowane.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU QC10 BALLBAR

Narzędzie pomiarowe QC10 Ballbar pozwala określić obszary robocze obrabiarki o zwiększonych odchyłkach geometrycznych. Dopuszczalne wartości odchyłek są przedstawione w normach dla każdego rodzaju niedokładności geometrycznych i od-

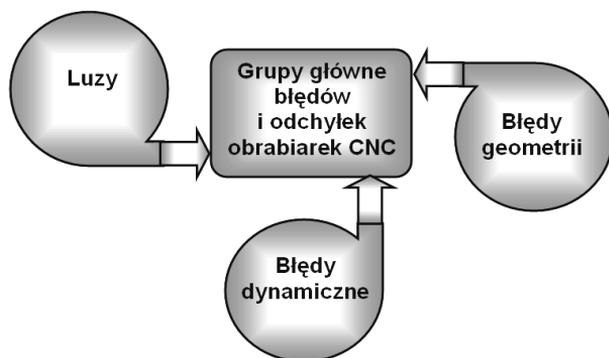


Rys. 2. Wybrane narzędzia diagnostyczne obrabiarek CNC: a) Head Measuring System [22], b) Cross Grid [11], c) R-Test [16], d) pręt wektorowy [17–20], e) QC20-W Ballbar [2]

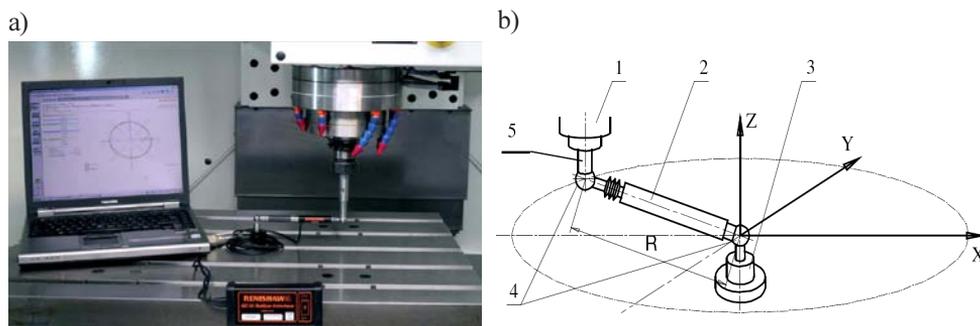
noszą się do całej powierzchni roboczej obrabiarki. Pomiar i interpretacja błędów maszyny są realizowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w PN-ISO 230-4. Wykorzystanie testu QC10 pozwala na określenie wielu błędów i odchyłek, które można zaklasyfikować do trzech głównych grup: luzów, błędów geometrii oraz błędów dynamicznych, związanych z regulacją napędów (rys. 3). Ponowny test, po wprowadzeniu kompensacji, jest zazwyczaj potwierdzeniem poprawności pracy maszyny.

Test QC10 wymaga wykonania przez maszynę interpolacji kołowej (ruchu po okręgu) w wybranej płaszczyźnie dla ustalonej lokalizacji i posuwu (rys. 4). Pomiędzy wrzecionem a stołem maszyny mocowana jest sonda diagnostyczna (Ballbar), z przetwornikiem przemieszczeń, który bardzo dokładnie mierzy promień okręgu w całym zakresie interpolowanego ruchu maszyny.

Spśród najważniejszych odchyłek identyfikowanych podczas testu urządzeniem QC10 Ballbar należy wymienić: odchyłkę okrągłości, odchyłkę prostokątności osi, odchyłkę okresową oraz błąd nawrotu, luz zwrotny w badanej osi i luz poprzeczny. Inne



Rys. 3. Główne grupy błędów i odchyłek obrabiarek CNC [2]



Rys. 4. Zasada pomiaru diagnostycznego frezarek CNC szybkim testem QC10 Ballbar: a) widok ogólny, b) zasada przygotowania testu; 1 – wrzeciono frezarki, 2 – przetwornik pomiarowy (teleskopowy pret kinematyczny), 3 – podstawka magnetyczna centrująca, 4 – końcówki kuliste, 5 – uchwyt magnetyczny, R – promień zarysu nominalnego [4, 12]

alternatywne metody pomiaru np. luzu zwrotnego są dużo bardziej czasochłonne. Zastosowanie QC10 Ballbar pozwala w ciągu kilku minut na pozyskanie informacji o geometrii i błędach dynamicznych maszyny, których wykrycie klasycznymi metodami byłoby bardzo czasochłonne. Wśród pozostałych błędów identyfikowanych przez system QC10 Ballbar są: błąd prostoliniowości, błąd cykliczny, błąd spirali, błąd skali, błąd nadążania, zmianę offsetu, zmianę promienia i inne. [16].

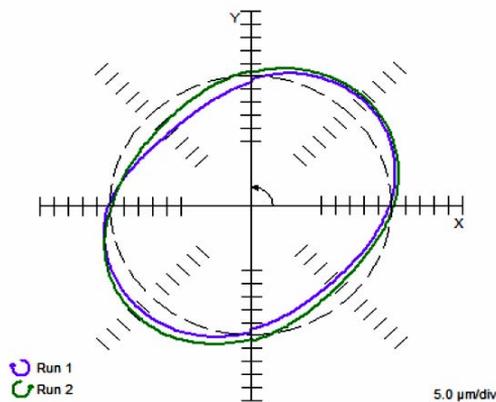
ODCHYLEKA PROSTOPADŁOŚCI OSI OBARABIARKI CNC (SQUARENESS)

Odchyłka prostopadłości osi obrabiarki CNC jest jedną z najważniejszych odchyłek identyfikowanych przez system QC10 Ballbar. Wykres uzyskany podczas testu QC10 Ballbar przybiera kształt owalny o osi głównej położonej pod kątem 45° lub 135° (rys. 5).

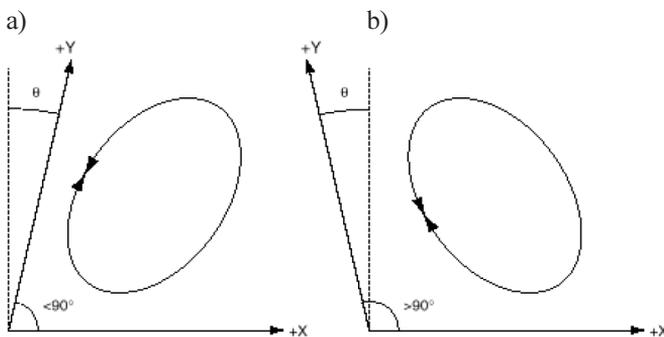
Oś odchylenia wykresu jest jednakowa dla obydwu kierunków przebiegu interpolacji zarówno w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, jak i w kierunku przeciwnym.

Wartością błędu prostopadłości jest kąt zawarty pomiędzy dwoma osiami sterowanymi numerycznie w danej płaszczyźnie pomiarowej. W przypadku przedstawionym na rys. 5 kąt ten jest mniejszy niż 90° . Błąd prostopadłości osi obrabiarki osiąga wartość zero tylko wtedy, gdy osie testowanej płaszczyzny są idealnie prostopadłe względem siebie. Jednostką błędu prostopadłości jest $[\mu\text{m}/\text{m}]$, istnieje możliwość wyboru innych jednostek wyniku testu (takich jak: $\mu\text{m}/\text{mm}$, $\mu\text{m}/\text{ft}$, kąt w stopniach lub sekundach). Wyboru dokonuje się poprzez odpowiednie ustawienie parametrów oprogramowania. Gdy kąt pomiędzy dwoma osiami liczony w ich dodatnim kierunku nie przekracza wartości 90° , to wtedy błąd prostopadłości przybiera wartości ujemne (rys. 6a). Natomiast gdy kąt pomiędzy dwoma osiami, liczony w ich dodatnim kierunku przekracza wartość 90° , to wtedy błąd prostopadłości przybiera wartości dodatnie (rys. 6b).

Odchylenie prostopadłości osi może mieć charakter lokalny lub może występować na całej długości osi, zarówno w płaszczyźnie poziomej jak również pionowej.



Rys. 5. Graficzne przedstawienie odchyłki prostopadłości identyfikowanej podczas testu kołowego systemu QC10 Ballbar



Rys. 6. Odchyłka prostopadłości: a) błąd ujemny (negative), b) błąd dodatni (positive) [12, 14]

W celu jednorazowej oceny błędu prostopadłości osi obrabiarki CNC zaleca się wielokrotne przeprowadzenie testu w kilku miejscach wzdłuż prowadnic obrabiarki. Dzięki temu można ustalić, czy błąd ma charakter lokalny, czy też globalny (tzn. czy występuje wzdłuż całej długości prowadnic). Jeżeli błąd ma charakter lokalny (występuje tylko na pewnej długości osi), to należy starać się używać obszar prowadnic, gdzie wpływ błędu prostopadłości jest najmniejszy. Natomiast jeśli prowadnice wykazują błąd prostopadłości na całej długości, wtedy niezbędne jest przeprowadzenie korekcji ustawienia prowadnic. Jeśli po przeprowadzeniu korekcji ustawienia prowadnic błąd prostopadłości osi nie zostanie zminimalizowany, to należy dokonać wymiany prowadnic na nowe.

STANOWISKO BADAWCZE ORAZ WARUNKI POMIARU

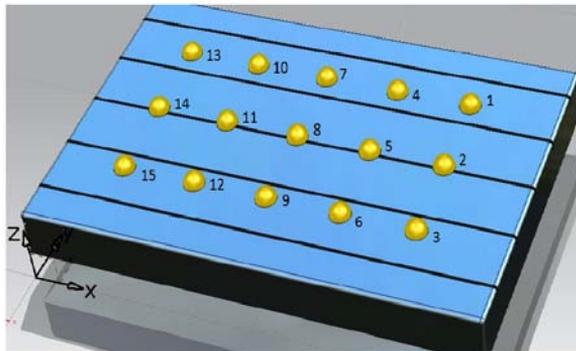
Badania przeprowadzono na czteroosiowym, pionowym centrum frezarskim FV580A wyposażonym w system sterowania numerycznego firmy FANUC (rys. 7 b, d) oraz pięćoosiowe centrum obróbkowe HSC 105 linear (rys. 7 a, c), wyposażone w sterowanie firmy Heidenhain. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 20 °C. Współczynnik rozszerzalności cieplnej dla obrabiarki wyniósł 11 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$. Do obsługi oprogramowania QC10 użyto stacjonarnego komputera spełniającego odpowiednie wymagania sprzętowe.

Przebieg eksperymentu

- Przed rozpoczęciem badań diagnostycznych wykonano następujące czynności:
- podłączono urządzenie QC10 Ballbar do stacjonarnego komputera poprzez interfejs szeregowy RS232,
 - wybrano płaszczyznę pomiarów XY (rys. 8),
 - określono miejsca pomiarowe na stole frezarki – 15 punktów pomiarowych rozmieszczonych równomiernie w układzie „prostokąta” (rys. 8),
 - ustalono wartości prędkości ruchu posuwowego dla stołu obrabiarki: $v_f=500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000$ mm/min,
 - dokonano wyboru wartości promienia trzpienia pomiarowego ($L=100, 150$), rys. 4b,
 - ustalono kąt realizacji testu: 360°,
 - określono wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej obrabiarki 11 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ oraz temperaturę 20 °C,
 - do pamięci układu sterowania CNC wprowadzono program realizujący ruch pomiarowy,
 - dokonano kalibracji teleskopowego pręta kinematycznego,
 - zamontowano na stole frezarki teleskopowy pręt kinematyczny (rys. 6),
 - na frezarce uruchomiono program realizujący ruch pomiarowy i rozpoczęto procedurę pomiarową.



Rys. 7. Stanowisko badawcze: a) HSC 105 linear, b) FV580A, c) HSC z urządzeniem QC10, d) FV-580A z urządzeniem QC10



Rys. 8. Schemat stołu obrabiarki wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi, wykonany w programie graficznym NX 6.0

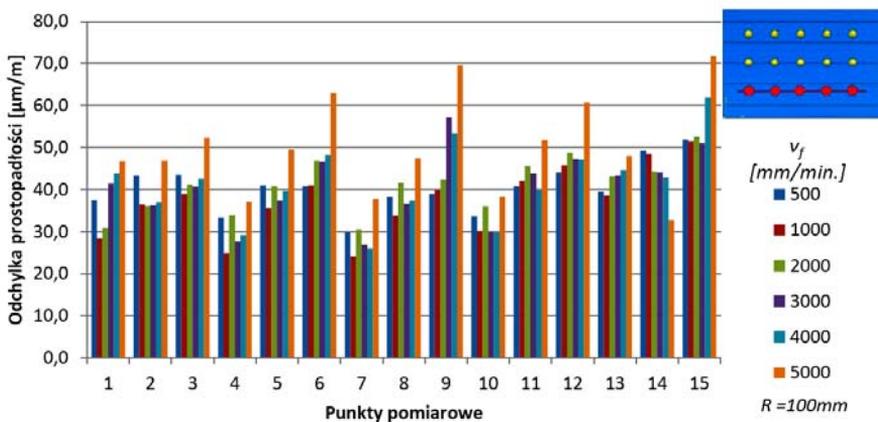
Punkty pomiarowe znajdujące się na stole obrabiarki, zostały rozmieszczone równomiernie. W punktach tych dokonano pomiarów z różnymi parametrami interpolacji kołowej (różne długości kinematycznego pręta pomiarowego, różne posuwy). Odległość „zewnętrznych” punktów od krawędzi stołu wynosiła 150 mm. Odstęp między punktami w osi X i Y wynosiły 60 mm.

Wykonano 184 pomiary w piętnastu punktach rozmieszczonych jak na rysunku 8. Badania eksperymentalne przeprowadzono przy użyciu dwóch długości pręta kinematycznego: 100 mm oraz 150 mm oraz sześciu różnych prędkości posuwu ($v_f = 500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000$ mm/min). Podczas wykonywania pomiarów nie stwierdzono zakłóceń pochodzących od czynników zewnętrznych. Pomiary wykonano według zaleceń firmy Renishaw zgodnie z normą ISO 230.

Analiza wyników badań eksperymentalnych dla promienia pomiarowego $R = 100$ mm

W efekcie przeprowadzonych pomiarów dla promienia pomiarowego $R = 100$ mm, uzyskano wyniki w postaci wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki CNC. Odchyłki te przedstawiono w funkcji prędkości ruchu posuwowego oraz położenia punktu pomiarowego na stole obrabiarki (rys. 9). W zasadzie odchyłka prostopadłości osi nie zależy od prędkości ruchu posuwowego stosowanego w teście kołowości. Zaobserwowano jednak, że im większa wartość ruchu posuwowego, tym większe wartości zarejestrowanych odchyłek prostopadłości osi. Zauważono również, że w punktach pomiarowych 3, 6, 9, 12, 15 (rys. 8) występują zwiększone wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki. Na rysunku 9 w prawym górnym rogu umieszczono schemat stołu obrabiarki z naniesionymi punktami pomiarowymi.

Zaobserwowano, że punkty pomiarowe 3, 6, 9, 12, 15 znajdują się w jednej linii w osi X (rys. 9). Świadczy to o lokalnym charakterze występowania maksymalnej odchyłki prostopadłości osi w płaszczyźnie X-Y obrabiarki. Maksymalna odchyłka prostopadłości wyniosła $71,8 \mu\text{m/m}$, zaś minimalna odchyłka prostopadłości wyniosła $24,1 \mu\text{m/m}$. Prawie we wszystkich punktach pomiarowych, maksymalne wartości odchyłki prostopadłości wystąpiły dla ruchu posuwowego $v_f = 5000$ mm/min

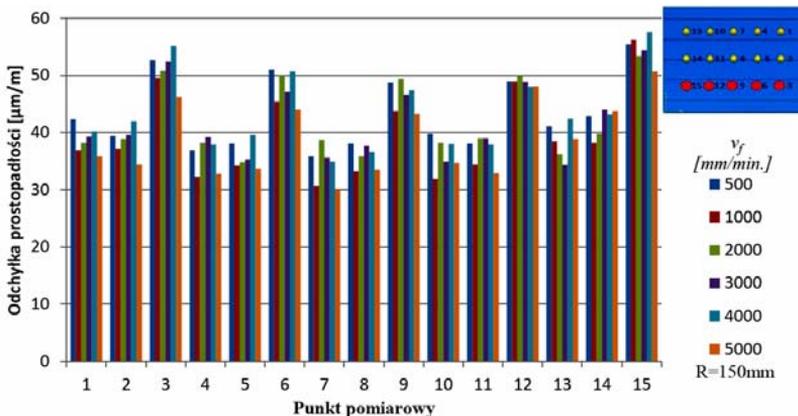


Rys. 9. Przebieg zmian odchyłki prostopadłości osi w piętnastu punktach na stole obrabiarki CNC w funkcji prędkości ruchu posuwowego v_f , dla $R = 100$ mm

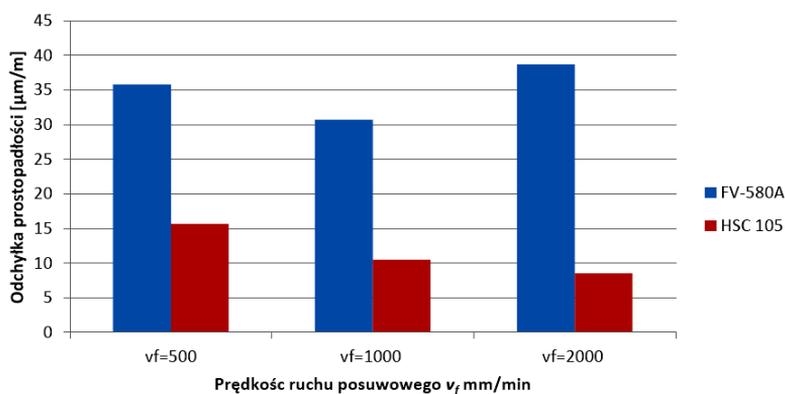
Analiza wyników badań eksperymentalnych dla promienia pomiarowego $R = 150 \text{ mm}$

Na rysunku 10 przedstawiono przebieg zmienności odchyłek prostopadłości dla promienia pomiarowego $R = 150 \text{ mm}$. Cechą szczególną jest powtarzalny charakter zmian w punktach 3, 6, 9, 12, 15. Kolorem czerwonym zaznaczono schematycznie położenie punktów o podwyższonych wartościach odchyłki prostopadłości. Przyczyną powstania takiego przebiegu wykresu może być zużycie prowadnic w pewnym obszarze, lub też niewłaściwe wypoziomowanie stołu obrabiarki. W większości przypadków, maksymalne wartości odchyłki prostopadłości zarejestrowano przy prędkości ruchu posuwowego $v_f = 4000 \text{ mm/min}$. Maksymalna wartość odchyłki prostopadłości wyniosła $57,6 \mu\text{m/m}$ zaś minimalną $30 \mu\text{m/m}$.

W celach porównawczych dokonano oceny prostopadłości osi obrabiarki HSC 105. Próby wykonano dla losowo wybranego punktu pomiarowego oznaczonego nr 7 na rysunku 8. Test kołowości przeprowadzono dla promienia pomiarowego $R = 150 \text{ mm}$, przy trzech prędkościach ruchu posuwowego v_f (500, 1000, 2000 mm/min). Uzyskane wyniki zestawiono na wykresie porównawczym (rys. 11). Przedstawione na wykresie wartości odchyłki prostopadłości dla obrabiarki FV580A oraz obrabiarki HSC 105 wskazują na dużo lepszą dokładność geometryczną obrabiarki HSC 105. Zaobserwowano, że odchyłki dla obrabiarki FV580A przybierają wartości dodatnie i są ponad dwukrotnie większe niż odchyłki prostopadłości obrabiarki HSC 105. Dla obrabiarki HSC 105 przy prędkości ruchu posuwowego $v_f = 500\text{--}2000 \text{ mm/min}$ zaobserwowano spadek wartości odchyłek prostopadłości. Maksymalną wartość odchyłki prostopadłości zaobserwowano dla prędkości ruchu posuwowego $v_f = 2000 \text{ mm/min}$ i wynosi ona $38,7 \mu\text{m/m}$. Efektem występowania na obrabiarce odchyłki prostopadłości jest brak wzajemnej prostopadłości frezowanych płaszczyzn.



Rys. 10. Przebieg zmian odchyłki prostopadłości osi w piętnastu punktach na stole obrabiarki CNC w funkcji prędkości ruchu posuwowego v_f , dla $R = 150 \text{ mm}$



Rys. 11. Porównanie odchyłki prostopadłości osi obrabiarki FV580A i HSC 105 linear, w punkcie pomiarowym 7, dla $R = 150$ mm

Wynika to ze złego wzajemnego ustawienia prowadnic osi X i Y, zużycia prowadnic lub ich odkształceń sprężystych oraz cieplnych. Powodem dużej wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki może być także nadmierny luz. Inną przyczyną może być również niewłaściwe lub nieprecyzyjne wypoziomowanie stołu obrabiarki.

Przyczyna ta jednak – wskutek pomiarów interferometrem laserowym została w ostateczności wykluczona. Potwierdził to również test zrealizowany na różnych wysokościach w kierunku osi Z, z którego wynika powtarzalny charakter błędu na każdej z nich. W oparciu o przeprowadzone pomiary stwierdzono lokalny charakter występowania odchyłki prostopadłości osi pionowego centrum obróbczego FV580A. Jako zalecany sposób przeciwdziałania błędom obróbki wynikającym z lokalnego występowania odchyłki prostopadłości osi jest unikanie obróbki w zidentyfikowanej przestrzeni roboczej obrabiarki. Jest to przestrzeń, w których odchyłka prostopadłości osi obrabiarki osiąga maksymalne wartości i występuje w obszarze wyznaczonym punktami pomiarowymi 3, 6, 9, 12, 15.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Systemy diagnostyczne i kalibracyjne pozwalają na wyznaczanie kluczowych parametrów obrabiarek i tym samym ich monitorowanie. Efektem tego jest zmniejszenie ryzyka produkcji braków i ponoszenia strat.

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, na pionowym centrum frezarskim FV-580A stwierdzono, że w pewnym obszarze pomiarowym, otrzymano odchyłki o wartościach znacznie większych, niż w pozostałych lokalizacjach. Charakterystyczne punkty pomiarowe, w których występowały odchyłki o podwyższonych wartościach to: 3, 6, 9, 12, 15 (rys. 8). Punkty te, leżą w jednej linii równoległej w osi X. Takie rozmieszczenie sugeruje lokalne zużycie prowadnic obrabiarki.

Doraźnie, środkiem zaradczym zmierzającym do zminimalizowania wpływu tak znaczącej odchyłki prostopadłości osi na wyniki obróbki, jest zmiana położenie uchwytu mocującego przedmiot obrabiany na obrabiarce. Ponieważ wartość odchyłki prostopadłości osi występuje również w pozostałych punktach pomiarowych (rys. 8) jedynym sposobem jej minimalizacji jest korekta ustawienia prowadnic, zaś w ostateczności ich wymiana. Podczas dokonywania pomiarów na pionowym centrum frezarskim FV-580A, nie zauważono czynników zewnętrznych mogących mieć wpływ na bezpośrednie wyniki pomiaru.

Ocena porównawcza centów obróbczych – eksploatowanego pionowego centrum frezarskiego FV-580A i nowego HSC 105 wskazuje istotne różnice odchyłki prostopadłości osi w badanej płaszczyźnie X-Y. Wyniki wskazują na większe zużycie eksploatacyjne centrum FV-580A o czym świadczy dwukrotnie wyższa wartość odchyłki prostopadłości uzyskana w trakcie realizacji testów.

Dla uzyskania wymaganej dokładności realizowanych ruchów i precyzji zajmowanych położeń, nie wystarczy tylko naprawa bieżących usterek. Konieczne staje się częste systematyczne badanie diagnostyczne połączone z ewentualną regulacją np. układów sterowania, napędów, itp. Ważnym obszarem związanym niezawodnym działaniem maszyn i urządzeń CNC jest racjonalne, uzasadnione naukowo, przewidywanie ich stanów przyszłych. Możliwość prognozowania stanu technicznego obrabiarki stanowi wyzwanie we współczesnym przedsiębiorstwie. Wiedza z zakresu diagnostyki maszyn i urządzeń CNC, a w szczególności metod diagnostycznych oraz metod przewidywania stanu przyszłych może pozwolić na osiągnięcie wymiernych korzyści utylitarnych.

PIŚMIENNICTWO

1. Durica I., Kuric I. Calibration and machine performance monitoring. 9th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing, Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2008.
2. Honczarenko J., Kwaśniewicz J. Nowe systemy pomiarowe do sprawdzania dokładności obrabiarek CNC. *Mechanik*, 12, 2008: 1012–1016.
3. Józwick J. i in. Ocena testu QC10 do kontroli of-line obrabiarek sterowanych numerycznie CNC. *Maintenance and Reliability*, nr 3, 2010.
4. Józwick J. i in. Prognozowanie dokładności obrabiarki CNC na podstawie szeregu czasowego. Cz. 1. Wybrane urządzenia diagnostyczne obrabiarek CNC. 10th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2009.
5. Józwick J. i in. Prognozowanie dokładności obrabiarki CNC na podstawie szeregu czasowego. Cz. 2. Prognozowanie odchyłki okrągłości i prostopadłości osi obrabiarki CNC. 10th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2009.
6. Kakino Y., Ihara Y., Shinohara A. Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method, Hasnsner Verlag Publishers, 1993.
7. Král' J. et al.: Verifikácia presnosti NC a CNC trojosej frézy. *Acta Mechanica Slovaca*, 12, 3, 2008: 229–232.

8. Lei W.T., Sung M.P., Liu W.L., Chuang Y.C. Double ballbar test for the rotary axis of five-axis CNC machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, 2, 2007: 273–285.
9. Nakazawa H., Ito K. Measurement system of contouring accuracy on NC Machine Tools. *Bull. Japan Soc. Prec. Eng.*, 12, 4, 1978: 189.
10. Rzyśko T.: Nowe systemy pomiarowe do stosowania na tokarkach CNC. *Mechanik*, 10, 74, 2001: 665.
11. Research on Error Modelling and Identification of 3 Axis NC Machine Tools Based on CrossGrid Encoder Measurement. *Journal of Physics: Conference Series* 48, 2006: 91–100.
12. Staniek R. Badanie dokładności obrabiarek Szybkim Testem QC10 (Ballbar). Praca niepublikowana. Poznań 2005.
13. Szafarczyk M. Urządzenie do sprawdzania dokładności obrabiarek 5-osiowych. *Mechanik* 4, 79, 2005: 268.
14. Ślązak Ł., Magdziak M. Nowoczesne systemy pomiaru przedmiotów na obrabiarkach NC. *Mechanik*, 5-6, 81, 2007: 483–489.
15. Uhlmann E., Hohwieler E., Geisert C. Monitoring of Slowly Progressing Deterioration of CNC-Machine Axes. 2nd Ist PROMS Virtual International Conference 3–14 July 2006 Intelligent Production Machines and Systems. Elsevier, 2006.
16. Weikert S. R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools, *CIRP Annals*, 53, 1, 2004: 429.
17. Wypysiński R. Zastosowanie niezależnego układu współrzędnych do badania dokładności maszyn NC. XII Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2008, Pomiary Automatyka Robotyka, Warszawa 2008.
18. Wypysiński R. Vector Bar for accuracy testing of NC lathes. IV International Conference on Machining and Measurement of Sculptured Surfaces, No A/2/MMSS06.
19. Wypysiński R. Wektorowa metoda sprawdzania maszyn NC na przykładzie tokarek. XI Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2007, Pomiary Automatyka Robotyka, mat. na płycie CD, Warszawa 2007.
20. Wypysiński R. Zastosowanie niezależnego układu współrzędnych do badania dokładności maszyn NC. XII Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2008. Pomiary Automatyka Robotyka, mat. na płycie CD, Warszawa 2008.
21. PN-ISO 230-4:1999 – Przepisy badania obrabiarek. Badania okrągłości w obrabiarkach sterowanych numerycznie.
22. www.fidia.com/english/acc_eng_fr.htm

ASSESSMENT OF SQUARENESS ERROR OF CNC MACHINE TOOL AXES USING THE QC10 BALLBAR SYSTEM

Summary

The paper presents some diagnostic systems of CNC machine tools. An analysis of the measurement capabilities of typical errors and defects identified by modern diagnostic equipment is presented. Squareness error assessment of CNC vertical machining centre FV580A axis is realized. The measurement results were compared with results obtained for a similar class machining center HSC 105 linear. Obtained results of the tests allowed the assessment of squareness error, and allowed to take action to minimize the impact of this error on the results of cutting.

Keywords: geometric accuracy of machine tools, CNC machine tools diagnostic, CNC machine errors, squareness error.