

Analiza wpływu trybu pracy pięcioosiowego systemu współrzędnościowego na dokładność pomiaru

Analysis of impact of the working mode on the accuracy of the five-axis measuring system

MACIEJ GRUZA
ADAM GAŚKA
PIOTR GAŚKA
WIKTOR HARMATYS
JERZY SŁADEK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.502

W artykule zaprezentowane są wyniki badania wpływu trybu pracy pięcioosiowego systemu współrzędnościowego na dokładność pomiaru. Procedura badawcza zakładała pomiar dwóch pierścieni wzorcowych o różnej średnicy w trzech trybach pomiaru: 2-osiowym wykorzystującym ruchy samej głowicy, 3-osiowym wykorzystującym tylko ruchy maszyny i 5-osiowym stanowiącym ich połączenie.

SŁOWA KLUCZOWE: współrzędnościowa maszyna pomiarowa, głowica obrotowo-uchyłna, dokładność pomiaru

In this paper authors try to assess the impact of the chosen working mode on accuracy of five-axis measuring system. The experiment consists of measurement of two reference rings of different diameters using three working modes: 2-axis mode – when measurements are performed using only head rotary movements; 3-axis mode – using only Coordinate Measuring Machine movements and 5-axis mode – the combination of previously mentioned modes.

KEYWORDS: coordinate measuring machine, articulated head probe, measurement accuracy

Pomiary z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej (WMP) pracującej w trybie trzyosiowym wiążą się z koniecznością przyspieszania i zwalniania elementów o znacznej masie (zwłaszcza w przypadku maszyn z granitowymi podzespołami), co może powodować niekorzystne z punktu widzenia dokładności pomiaru zjawiska, jak np. drgania [1–6]. Wpływu tych czynników nie można całkowicie wyeliminować, ale jest on częściowo uwzględniany w procesie kwalifikacji głowicy pomiarowej. Pięcioosiowe systemy współrzędnościowe uzyskuje się poprzez zastosowanie specjalnego typu głowic obrotowo-uchyłnych umożliwiających wykorzystanie w trakcie pomiaru ruchów obrotowych głowicy. Dzięki zastosowaniu dodatkowych dwóch osi obrotowych możliwe jest ograniczenie wpływu błędów powodowanych kinematyką maszyny. System pięcioosiowy ma możliwość pracy w podstawowych trzech trybach: standardowym trzyosiowym przy nieruchomej głowicy o sztywno zadeklarowanej orientacji; trybie dwuosiowym, w którym podczas pomiaru ruchy wykonuje wyłącznie głowica oraz trybie pięcioosiowym stanowiącym kombinację dwóch wcześniejszych.

Przebieg eksperymentu

Autorzy postanowili sprawdzić, jak zmienia się dokładność pomiaru systemu pięcioosiowego w zależności od wybranego trybu pracy. W tym celu zmierzono dwa pierścienie wzorcowe o średnicy 20 mm oraz 34 mm. Oba pierścienie mogą zostać zmierzone z użyciem wszystkich trzech trybów, natomiast zmiana ich średnicy powinna uwidocznić wpływ kinematyki maszyny na wynik pomiaru w trybie trzyosiowym. Ponadto postanowiono zmierzyć płytkę wzorcową, aby określić jak pomiar z użyciem ruchów głowicy wpływa na dokładność pomiaru długości. Aby wyeliminować ewentualne wpływy mocowania, pierścienie zostały przyklejone na stalowym bloku w imadle pozwalającym zmieniać zarówno kąt horyzontalny jak i wertykalny (rys. 1). Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej Zeiss WMM 850S wyposażonej w głowicę obrotowo-uchyłną Renishaw PH20 współpracującą z głowicą TP20. Maksymalny dopuszczalny błąd maszyny przy pomiarze długości wyraża równanie:

$$E_{MPE} = 2,5 + 2,5 * L/1000 \mu\text{m}$$

gdzie: L – mierzona długość wyrażona w milimetrach.

Podczas pomiarów wykorzystano końcówkę pomiarową o średnicy 4 mm i długości trzpienia 10 mm. Autorzy przyjęli, że pomiary zostaną przeprowadzone dla pierścieni ustawionych w taki sposób, aby ich główne osie znajdowały się pod kątem 90° względem osi pionowej maszyny. Ustawienie równoległe do płaszczyzny stołu zostało wykluczone, ponieważ w tym położeniu głowica pracuje w specyficzny sposób, obracając się najpierw wokół osi wertykalnej, a następnie, już podczas pomiaru, tylko wokół osi horyzontalnej. Dla dokładności pomiaru jest to czynnik pozytywny, gdyż styk z przedmiotem odbywa się praktycznie tym samym punktem końcówki pomiarowej. W praktyce pomiarowej spotyka się jednakże otwory dowolnie umiejscowione względem głowicy, stąd też badania przeprowadzone w pozycji wybranej przez autorów mogą dać lepszy wgląd w rzeczywistą dokładność systemu.

Na każdym pierścieniu zostały wygenerowane 64 punkty pomiarowe równomiernie rozłożone w połowie jego wysokości. W drugim etapie badań zmierzono płytkę wzorcową o długości 500 mm. Pomiar długości płytki odbywał się przez pomiar dwóch punktów na środkach powierzchni czołowych, zgodnie ze strategią wzorcowania. Pomiary pierścieni zostały przeprowadzone w trzech trybach: dwuosiowym (pomiar tylko głowicą), trzyosiowym (pomiar tylko WMP) oraz pięcioosiowym (pomiar WMP i głowicą). Dla

* Mgr inż. Maciej Gruza (gruzam@interia.pl), dr inż. Adam Gaśka (aga-ska@mech.pk.edu.pl), mgr inż. Piotr Gaśka (pjpgaska@gmail.com), mgr inż. Wiktor Harmatys (wiktorharmatys@gmail.com), prof. dr hab. inż. Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej, Politechnika Krakowska

płytki wykorzystano dwa tryby (trzyosiowy oraz pięcioosiowy). Po pomiarze każdego pierścienia dokonano ewaluacji odchyłki kształtu oraz średnicy.

W trakcie badań prowadzony był ciągły monitoring temperatury, która zmieniała się w zakresie $19,9^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Każdy pomiar powtarzany był dziesięciokrotnie, a na podstawie uzyskanych rezultatów wyznaczono wartości średnie oraz rozstęp. Otrzymane wyniki przedstawione są na wykresach (rys. 2, 3) oraz w tablicach (tabl. I, II).



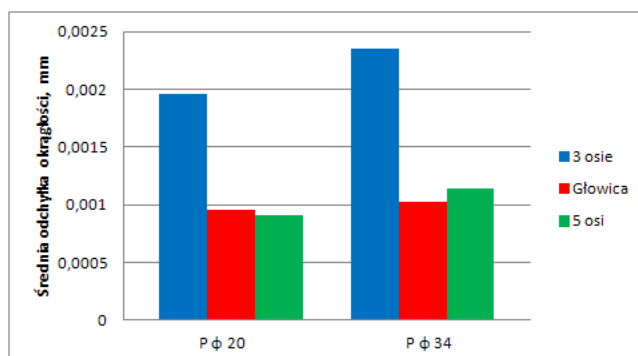
Rys. 1. Stanowisko pomiarowe. Pierścienie pomiarowe o różnych średnicach mierzone przy pomocy głowicy obrotowo-uchylnej

Wnioski

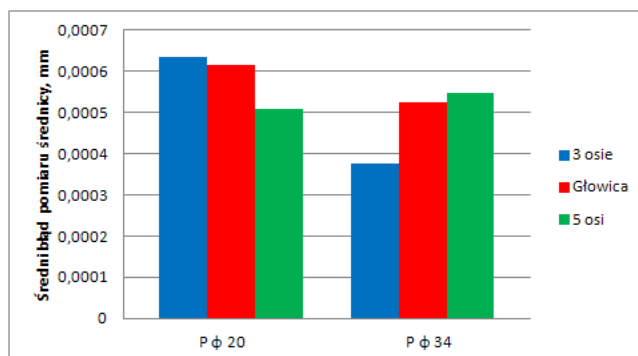
Analizując rozstępy z otrzymanych badań, można stwierdzić, że nie są one duże – największy $2\ \mu\text{m}$, a więc badania charakteryzują się powtarzalnością. Każdy pomiar wykonywany był dziesięciokrotnie dla zminimalizowania wpływu błędów przypadkowych, tak więc wyniki można uznać za reprezentatywne. Analizując wykresy (rys. 2, 3) oraz tabl. I, można stwierdzić, że podczas pomiaru kształtu pierścieni (okrągłość) zastosowanie ruchów głowicy przyniosło dwukrotnie lepsze rezultaty niż pomiar z użyciem trzech podstawowych osi maszyny, niezależnie od średnicy pierścienia wzorcowego. Tę samą tendencję można zaobserwować również dla rozstępów zarówno w przypadku błędów kształtu, jak i błędów pomiaru średnicy oraz błędów pomiaru długości płytki wzorcowej (tabl. I). Analizując drugi wykres (rys. 3), nie można jednoznacznie stwierdzić, że zastosowanie dodatkowych osi głowicy przy pomiarach średnic wewnętrznych będzie skutkowało poprawą lub pogorszeniem dokładności pomiaru, choć należy zauważyć, że pomiary z wykorzystaniem samych ruchów głowicy zajęły około połowy czasu potrzebnego na wykonanie tej samej procedury pomiarowej w trybie trzyosiowym. Analizując same rozstępy, można natomiast wysnuć wniosek, że pomiary w trybach dwu- i pięcioosiowym są bardziej powtarzalne.

Przy pomiarze długości niemożliwe było zmierzenie odległości 500 mm przy wykorzystaniu samych ruchów głowicy – w tym badaniu wpływ kinematyki maszyny zawsze będzie obecny. Analizując tabl. I widać, że zastosowanie w tym wypadku głowicy obrotowo-uchylnej poskutkowało niewielkim, ale jednak większym błędem pomiaru względem wartości nominalnej. W tym wypadku można zaryzykować stwierdzenie, że suma błędów pochodzących od kinematyki oraz z głowicy przewyższyła sumę błędów pochodzących od samej kinematyki maszyny.

Na podstawie powyższych badań można stwierdzić, że wybór trybu pomiarowego dla systemów pięcioosiowych



Rys. 2. Uśrednione odchyłki okrągłości dla pierścieni wzorcowych o średnicach 20 mm oraz 34 mm w trzech trybach pracy



Rys. 3. Uśredniony błąd pomiaru średnicy pierścieni wzorcowych względem średnicy nominalnej

TABLICA I. Uśredniony błąd pomiaru płytki wzorcowej względem długości nominalnej (wszystkie wartości wyrażone w mm)

Pomiar płytki wzorcowej	3 osie	5 osi
Średni błąd pomiaru długości	0,00292	0,00346

TABLICA II. Wartości rozstępów dla wszystkich pomiarów. P X – oznacza pierścień o średnicy X mm, P1 500 – płytka wzorcowca o długości 500 mm (wszystkie wartości wyrażone w mm)

Rozstęp	3 osie	głowica	5 osi
P 20 okrągłość	0,00129	0,00078	0,00059
P 34 okrągłość	0,00110	0,00042	0,00040
P 20 średnica	0,00063	0,00027	0,00038
P 34 średnica	0,00074	0,00034	0,00038
P1 500 długość	0,00200	-	0,00106

może mieć znaczny wpływ na dokładność pomiaru, ale jest on różny w zależności od wybranego zadania pomiarowego. Bez wątpienia jest to zagadnienie wymagające dogłębnej analizy, szczególnie w przypadku błędów pomiarów średnic, gdzie wyniki nie są jednoznaczne.

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, grant nr: 2015/17/D/ST8/01280

LITERATURA

- Hocken R.J., Pereira P.H. "Coordinate Measuring Machines and Systems". Second Edition, CRC Press, 2012.
- Śladek J. "Coordinate Metrology Accuracy of Systems and Measurements". Springer, 2016.
- Weckenmann A., Estler T., Peggs G., Mcmurry D. "Probing Systems in Dimensional Metrology". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 53, No. 2 (2004): pp. 657–684
- Ratajczyk E., Woźniak A. „Współrzędnościowe systemy pomiarowe”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.
- Woźniak A. „Dokładność stykowych głowic pomiarowych maszyn współrzędnościowych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010.
- Weekers W., Schellekens P. „Compensation for dynamic errors of coordinate measuring machines”. *Measurement*. Vol. 20, No. 3 (1997): pp. 197–209.