

Nowe rodzaje współrzędnościowych maszyn pomiarowych i oznaczenia ich parametrów

Część III. Przykłady maszyn o konstrukcji wspornikowej

New types of coordinate measuring machines and symbols used for their parameters
Part III. Examples of cantilever type machines

EUGENIUSZ RATAJCZYK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.76>

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe o konstrukcji wspornikowej są z założenia przeznaczone do pomiaru części i elementów maszynowych, a zwłaszcza części motoryzacyjnych, w warunkach produkcyjnych. Zaprezentowano typowe rodzaje tych maszyn i omówiono ich własności, takie jak zakresy pomiarowe i dokładności.

SŁOWA KLUCZOWE: współrzędnościowe maszyny pomiarowe, maszyny typu wspornikowej

Coordinate measuring machines of cantilever type are specifically intended for use in production environment, for measurement of the produced parts and machine elements, especially automotive parts. Common types of these machines are presented with their properties, such as measuring range and accuracy explained.

KEYWORDS: coordinate measuring machines, cantilever type machines

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe o konstrukcji wspornikowej mają stosunkowo małe zakresy pomiarowe. Są produkowane przez nieliczne firmy [1], m.in.: Carl Zeiss (maszyna DuraMax [2]), Wenzel (Smart CMM [3]), Hexagon Metrology (TIGO SF [4]), Mitutoyo (QM-Measure [5]) oraz Mora (Pico [6]).

Maszyny wspornikowe są w zasadzie przeznaczone do pomiaru elementów o małych wymiarach, najczęściej w granicach 500 mm, nieliczne z tych maszyn mają charakter laboratoryjny. Są one w większości łożyskowane tocznie i dlatego mogą pracować w warunkach niezależnych od zasilania aerostatycznego. Są zabezpieczone przed zapyleniem i można je z łatwością przestawiać w hali produkcyjnej dzięki stosunkowo dużej odporności na wpływ temperatury i drgań podłoża.

Współrzędnościowa maszyna pomiarowa DuraMax firmy Carl Zeiss

Maszyna DuraMax (rys. 1) ma zakres pomiarowy 500 × 500 × 500 mm. Jest wyposażona w głowicę pomiarową VAST XXT umożliwiającą przeprowadzanie pomiarów zarówno metodą pojedynczych punktów, jak i metodą skaningową. Długość trzpienia w osi głowicy wynosi od 30 do 150 mm, a długość trzpienia bocznego – od 30 do 65 mm.

Dokładność maszyny DuraMax wyrażona jest następującymi parametrami (pod warunkiem zastosowania głowicy pomiarowej VAST XXT z trzpieniem pomiarowym



Rys. 1. Wspornikowa maszyna pomiarowa DuraMax firmy Carl Zeiss

o długości 70 mm i średnicy końcówki pomiarowej 8 mm, do pomiarów skaningowych, z prędkością skaningu do 500 punktów na sekundę):

- błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości $E_{L0,40,MPE} = (2,4 + L/300) \mu\text{m}$, jeśli maszyna będzie funkcjonować w temperaturze $18 \pm 22^\circ\text{C}$, lub $E_{L0,40,MPE} = (2,9 + L/200) \mu\text{m}$ dla temperatury $18 \pm 30^\circ\text{C}$; gdzie L – długość w mm,
- maksymalna granica dopuszczalna rozstępu powtarzalności $R_{0,MPL} = 1,7 \mu\text{m}$,
- graniczny błąd dopuszczalny głowicy w przypadku pomiarów skaningowych $MPE_{THP} = 2,9 \mu\text{m}$, $\tau = 55 \text{ s}$,
- błąd graniczny dopuszczalny kształtu pojedynczego trzpienia pomiarowego $P_{FTU,MPE} = 2,4 \mu\text{m}$,
- błąd graniczny dopuszczalny kształtu zespołu wielotrzpieniowego $P_{FTM,MPE} = 3,9 \mu\text{m}$,
- błąd graniczny dopuszczalny wymiaru zespołu wielotrzpieniowego $P_{STM,MPE} = 1,2 \mu\text{m}$,
- maksymalna granica dopuszczalna wartości położenia zespołu wielotrzpieniowego $P_{LTM,MPE} = 2,7 \mu\text{m}$.

W maszynie DuraMax zainstalowano optoelektroniczne wzorce długości o rozdzielczości sygnału 0,2 μm . Gradienty temperatury są następujące: 2,0 K/h, 5,0 K/d i 1,0 K/m. Prędkość pomiarowa może być realizowana w zakresie do 100 mm/s. W wersji CNC maksymalna prędkość osiowa wynosi 300 mm/s, a wektorowa – 520 mm/s. Przyspieszenia osiowe osiągają maksymalnie 1 m/s^2 , a wektorowe – maksymalnie 1,7 m/s^2 .

Cechą szczególną maszyny DuraMax jest możliwość jej zainstalowania w otoczeniu produkcji ze względu na stosunkowo dużą odporność na wpływ temperatury i drgania (zintegrowany, pasywny system tłumienia drgań), zabezpieczenie przed zapyleniem (całkowicie osłonięte prowadnice) oraz fakt, że nie potrzebuje ona zasilania aerostatycznego, ponieważ ma zainstalowane łożyskowanie toczne. Ponadto maszyna jest wyposażona w automatyczny system wymiany zestawów głowic pomiarowych.

* Prof. dr inż. Eugeniusz Ratajczyk (erat33@interia.pl) – Wydział Inżynierii i Zarządzania Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie

DuraMax może być zainstalowana bezpośrednio w linii produkcyjnej do klasycznych pomiarów i pomiarów kół zębatych. Ma podstawowe oprogramowanie CALYPSO, a na potrzeby pomiaru kół zębatych – oprogramowanie GEAR PRO involute.

Maszyna pomiarowa Smart CMM

Oferowana przez niemiecką firmę Wenzel współrzędnościowa maszyna pomiarowa Smart CMM (rys. 2) ma zakresy pomiarowe wynoszące $500/1000 \times 450 \times 400$ mm. Graniczny błąd dopuszczalny wskazania MPE_E wynosi $4,5 + L/300$ μm , a graniczny błąd dopuszczalny zespołu głowicy pomiarowej dla pomiarów punktowych $MPE_P = 3,5 + L/300$ μm . Prędkość przemieszczeń zespołów ruchomych maszyny $V_{\text{max}} = 650$ mm/s, a przyspieszenie $a_{\text{max}} = 2$ m/s².



Rys. 2. Maszyna pomiarowa Smart CMM firmy Wenzel

Do pomiarów zastosowano oprogramowanie Click'n Measure, które umożliwia przygotowanie graficznego protokołu; zawiera też pakiet analiz statystycznych związanych z oceną jakości procesu wytwarzania na podstawie wyniku pomiaru kontrolowanych przedmiotów.

Maszyna Smart jest przeznaczona do pomiarów małych i średnich przedmiotów metodą stykową – zarówno punktowo, jak i skanującowo – oraz głowicami optycznymi. W pomiarach stosuje się najczęściej głowice TP200 i SP600 firmy Renishaw oraz głowice obrotowo-uchylne PH10T i ich nowszą generację PH20.

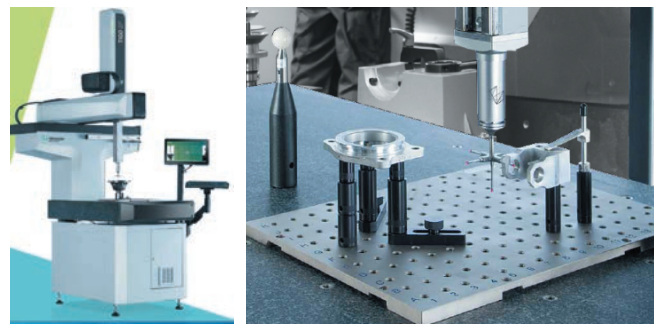
Maszyna pomiarowa TIGO SF

Hexagon Metrology oferuje maszynę TIGO SF (rys. 3) o zakresie pomiarowym $500 \times 580 \times 500$ mm. Umożliwia ona pomiar długości z błędem granicznym dopuszczalnym $E_{0,MPE} = (2,2 + L/300)$ μm .

W maszynie zastosowano wielosensorową kompensację temperatury umożliwiającą wykonywanie pomiarów nawet w temperaturze otoczenia z przedziału $15 \div 30^\circ\text{C}$. Z tego względu oraz dzięki zainstalowaniu aktywnego tłumienia drgań podłoża, zabezpieczenia przed dostępem kurzu, pyłu i mgły olejowej, a przede wszystkim dlatego, że nie wymagane jest doprowadzenie powietrza (zrezygnowano z łożysk aerostatycznych), TIGO SF może pracować w otoczeniu produkcji, czemu sprzyja również możliwość stosunkowo nieskomplikowanego przestawiania maszyny.

Możliwe są pomiary typowo punktowe i skanujące za pomocą głowicy LSP-X1c lub głowicy TesaStar z głowicą obrotowo-wychylną TesaStar-m5°.

Zastosowane oprogramowanie PC-DMIS TOUCH jest bogato wyposażone w grafikę, a końcowy protokół (oprócz danych liczbowych – wyników pomiaru) zawiera graficzne ujęcie mierzonego przedmiotu.



Rys. 3. Wspornikowa maszyna pomiarowa TIGO SF oraz panel sterowania Jog-box z przykładowymi mierzonymi detalami

Maszyna pomiarowa QM-Measure

QM-Measure (rys. 4) – maszyna pomiarowa firmy Mitutoyo – jest oferowana w dwóch modelach różniących się zakresami pomiarowymi: $300 \times 300 \times 300$ mm i $300 \times 500 \times 300$ mm. W temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ich graniczny błąd dopuszczalny $MPE_E = (3,0 + 0,4 L/100)$ μm pod warunkiem zastosowania głowicy pomiarowej TP2/TP20. Graniczny błąd dopuszczalny głowicy dla pomiarów punktowych $MPE_P = 4$ μm . Z opcjonalną kompensacją temperatury może ona pracować w zakresie $15 \div 30^\circ\text{C}$. Gradienty temperatury wynoszą: 2 K/h, 5 K/d, 1 K/m. Rozdzielczość układów pomiarowych wynosi 0,5 μm . Maszyna jest wyposażona w oprogramowanie MCOSMOS do pomiarów, analizy i raportowania wyników.

Rys. 4. Wspornikowa maszyna pomiarowa QM-Measure firmy Mitutoyo



Maszyna wspornikowa Pico 655

Zakres pomiarowy Pico 655 (rys. 5) – maszyny wspornikowej produkowanej przez mniej znaną na naszym rynku niemiecką firmę Mora – wynosi $600 \times 600 \times 500$ mm.



Rys. 5. Maszyna wspornikowa Pico 655 firmy Mora z magazynkiem ramowym do głowic pomiarowych

Błąd graniczny dopuszczalny wymiaru w temperaturze $18 \pm 22^\circ\text{C}$ jest równy $3,0 + L/300 \mu\text{m}$. Maszyna może być wyposażona w całą paletę głowic firmy Renishaw, np.: TP20, TP200, głowicę skaningową SP25, głowice obrotowo-uchylne z serii PH, a także w optyczną głowicę sensorową. Korzysta z oprogramowania Inca 3D opracowanego przez francuską firmę Inspect 3D. W każdej osi maszyny zastosowano kompensację temperatury.

Podsumowanie

Większość współrzędnościowych maszyn pomiarowych ma charakter urządzeń laboratoryjnych, w przypadku których konieczne jest utrzymywanie określonej temperatury i jej dopuszczalnych zmian w czasie. Również podłoże powinno być w odpowiednim stanie i o niskim poziomie drgań. Zwykle w laboratoriach maszyny pomiarowe lokowane są poza halą produkcyjną, co utrudnia ich wykorzystanie na bieżące potrzeby procesu obróbkowego. Współczesne systemy kontroli jakości produkcji i wyrobów wymagają, by urządzenia pomiarowe znajdowały się jak najbliżej procesu obróbkowego. Dlatego w halach produkcyjnych budowane są specjalne kabiny na maszyny pomiarowe, zapewniające odpowiedni poziom temperatury. Zwykle operator przebywa poza kabiną, a obsługę maszyny powierza się robotowi lub manipulatorowi.

Od tej koncepcji coraz częściej się odstępkuje na rzecz maszyn o nowej konstrukcji, budowanych ze specjalnych materiałów, możliwych do zastosowania w otoczeniu produkcji. Aby maszyna pomiarowa nadawała się do takich warunków, musi spełniać określone wymagania:

- mieć większą niż maszyny współrzędnościowe prędkość pomiaru (przemieszczeń w poszczególnych osiach) oraz duże przyspieszenia. O ile typowe maszyny pomiarowe osiągają prędkości dochodzące do $0,2 \text{ m/s}$, a przyspieszenia do $0,5 \text{ m/s}^2$, to maszyny stosowane do obsługi produkcji powinny osiągać prędkości do $0,5 \text{ m/s}$, a przyspieszenia nawet do 4 m/s^2 ;
- być odporna na wpływy zewnętrzne, np. temperaturę, drgania podłoża, oraz na zanieczyszczenia, np. mgłą olejową czy cieczą chłodzącą. Klasyczna maszyna pomiarowa zachowuje katalogowe dopuszczalne niepewności pomiaru w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ lub $20 \pm 4^\circ\text{C}$, natomiast maszyna pomiarowa przeznaczona do zastosowania w hali produkcyjnej powinna działać nawet wtedy, gdy temperatura waha w przedziale $15 \div 30^\circ\text{C}$. W niektórych przypadkach, gdy środowisko jest mocno zanieczyszczone albo zawiera składniki agresywne (np. w odlewniach), buduje się szczególnie osłonięte roboty z podwyższonym ciśnieniem wewnętrznym, by nie dopuścić do wtargnięcia do środka zanieczyszczeń – nie tylko cząstek powietrza, ale również drobnych opiłków;
- mieć wysoki stopień elastyczności, adekwatny do elastyczności systemu obróbkowego, a także czas pomiaru dostosowany do rytmu produkcji – stąd wynikają wymagania dotyczące odpowiednio dużych prędkości i przyspieszeń. Spełnieniu tych wymogów sprzyja paletyzacja i rodzaj transportu przedmiotów, połączonego z układami załadowniczymi i rozładowniczymi, z zastosowaniem manipulatorów, a nawet robotów przemysłowych;
- dawać możliwość monitorowania procesu obróbkowego i oddziaływania na przebieg tego procesu pod względem jego jakości. W niektórych przypadkach stosowane jest bezpośrednie połączenie z obrabiarką do korygowania – w oparciu o pomiary wykonywanego przedmiotu – jej nastawień, np. podczas obróbki kół zębatych;

- oferować dokładność zbliżoną do klasycznych maszyn pomiarowych, co jest trudne do osiągnięcia wobec wymienionych zaburzeń w środowisku produkcyjnym, w jakim maszyna ma pracować. Wymóg wysokiej dokładności spełniają w zasadzie maszyny obudowane (tzw. kabinowe). Dokładność maszyn nieobudowanych, np. o konstrukcji wysięgnikowej, jest o rząd mniejsza niż średnio dokładnych maszyn współrzędnościowych. Jest to w wielu przypadkach dokładność wystarczająca, ponieważ znaczna część takich maszyn jest stosowana w kontroli karoserii samochodowych, gdzie tolerancje wymiarowe, w tym przypadku elementów blaszanych, są znacznie większe od tolerancji dla przedmiotów maszynowych;
- maszyny o konstrukcji wspornikowej mają większość wymienionych właściwości, chociaż charakteryzują się – w porównaniu z maszynami kabinowymi – mniejszą dokładnością (graniczny błąd dopuszczalny zawiera się w przedziale $2,2 \div 4,5 + L/300$) i stosunkowo małym zakresem pomiarowym wynoszącym najczęściej $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}$.

LITERATURA

1. Ratajczyk E., Woźniak A. „Współrzędnościowe systemy pomiarowe”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.
2. Carl Zeiss (Niemcy): www.zeiss.de, www.zeiss.pl/industrial-metrology/pl_pl/home.html.
3. Wenzel Präzision GmbH (Niemcy): www.wenzel-cmm.com.
4. Hexagon Metrology (Szwecja): www.hexagonmetrology.se. Hexagon Metrology Sp. z o.o.: www.hexagonmetrology.pl.
5. Mitutoyo Polska Sp. z o.o.: www.mitutoyo.pl.
6. Mora Metrology GmbH (Niemcy): www.mora-metrology.de, www.metrica.com.pl.