

Nowe rodzaje współrzędnościowych maszyn pomiarowych i oznaczenia ich parametrów

Część II: Przykłady maszyn o konstrukcji portalowej

New types of coordinate measuring machines and symbols used for their parameters

Part II: Examples of gantry machines

EUGENIUSZ RATAJCZYK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.5-6.61>

Współrzędnościowe maszyny portalowe należą do grupy maszyn o najwyższej dokładności i są najczęściej stosowane do pomiarów geometrycznych elementów maszynowych, a zwłaszcza motoryzacyjnych. Opisano parametry i funkcje maszyn różnych producentów.

SŁOWA KLUCZOWE: współrzędnościowe maszyny pomiarowe, maszyny typu portalowej

Gantry type coordinate measuring machines belong to a group of machines operating to the highest accuracy standards and they are most commonly used for geometric measurements of machine elements, especially in automotive industry. Description of characteristics and functions of the machines offered by different manufacturers is presented.

KEYWORDS: coordinate measuring machines, portal type machines

Na krajowym rynku dostępne są współrzędnościowe maszyny portalowe takich firm, jak: Carl Zeiss [3], Leitz Messtechnik i DEA (grupa Hexagon Metrology) [4], japońskie Mitutoyo [5, 6] i Nikon Metrology [7], niemieckie Wenzel [8] i Zett Mess [9], polski Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania [10], hiszpański Trimek [11], angielski Aberlink [12] i niemiecka Mora [13]. Niektóre z tych maszyn – zwłaszcza te najdokładniejsze – zostaną zaprezentowane w tym artykule.

Maszyny firmy Carl Zeiss

W ofercie firmy Carl Zeiss znajduje się szereg maszyn portalowych różniących się zakresami pomiarowymi i dokładnością, parametrami funkcjonalnymi oraz rodzajem głowic pomiarowych. Są to m.in.: PRISMO, ACCURA, CONTURA, MICURA i najnowsza z nich – XENOS. ACCURA, CONTURA, MICURA i XENOS zostaną krótko opisane.



Rys. 1. Maszyna pomiarowa Zeiss ACCURA

Maszyna pomiarowa Zeiss ACCURA (rys. 1) wykonywana jest w 12 rozmiarach o zakresach pomiarowych od 900 × 1200 × 800 mm (model 9/12/8) do 2000 × 4200 × 1500 mm (model 20/42/15). Maszyny te mogą być wyposażone w głowice skanujące VAST gold, VAST XT gold, VAST XTR gold, VAST XXT oraz w głowicę optyczną VIScan lub głowicę skanującą laserową typu triangulacyjnego LineScan wraz z głowicą obrotowo-uchyłną RDS-D.

Główne parametry charakteryzujące dokładność dwóch grup wymiarowych w odniesieniu do głowic skanujących VAST XT gold, VAST gold i VAST XTR gold przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Ważniejsze parametry maszyn Zeiss ACCURA*

Parametr	Oznaczenie parametru	9/12/8 do 9/16/8	20/24/15 do 20/42/15
Błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości według ISO 10360-2:2010 dla 20±22°C, μm (L – mierzona długość, mm)	$E_{L0}/E_{L150, MPE}$	1,2 + L/350	3,9 + L/300
	opcja HTG 15±30°C	1,9 + L/150	–
Maksymalna granica dopuszczalna rozstępu powtarzalności, μm	$R_{0, MPL}$	1,2	2,4
Błąd pomiaru skaningowego według ISO 10260-4:2000, μm	THP	2 dla 40 s	6,1 dla 40 s
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu pojedynczego trzpienia pomiarowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{FTU, MPE}$	1,2	3,9
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{FTM, MPE}$	2,6 3,2**	4,2
Błąd graniczny dopuszczalny wymiaru zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10360-5:2003, μm	$P_{STM, MPE}$	1,4	1,9
Granica dopuszczalna maksymalna wartości położenia zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{LTM, MPL}$	1,9 2,0**	2,9

* Dane odnoszą się do trzpienia pomiarowego o długości 60 mm i średnicy końcówki pomiarowej 8 mm.
** Dane odnoszą się do głowicy VAST XTR gold.

Maszyny ACCURA wykonane są w tzw. technologii CARAT (*coating aging resistant aluminium technology*) zapewniającej zachowanie dobrego stosunku masy do objętości, co pozwala na zwiększenie prędkości pomiarowej i przyspieszenia oraz gwarantuje dobrą sztywność i stabilność temperaturową. Portal maszyny ma innowacyjną, wysoko efektywną ochronę termiczną w postaci

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

osłon piankowych (*foam insulation technology*). Przy minimalnej grubości osłony zapewniają maksymalną izolację. Umożliwia to pracę maszyn nawet w temperaturze otoczenia zawierającej się w przedziale $20 \pm 26^\circ\text{C}$ – dotyczy to modeli od 9/12/8 do 12/24/10. W przypadku modelu HTG od 9/12/8 do 12/24/10 zakres temperatury jest jeszcze większy – od 15 do 30°C .

Gradient temperatury w przypadku modeli od 9/12/8 do 12/24/10 wynosi: 1,0 K/h, 2,0 K/d i 1,0 K/m. Podobne wartości ustalone są dla modeli od 12/30/10 do 20/42/15. Natomiast dla modeli HTG od 9/12/8 do 12/24/10 wartości gradientów wynoszą: 2,0 K/h, 5,0 K/dzień i 1,0 K/miesiąc.

Osiowe prędkości pomiarowe zawierają się w przedziale $0 \div 70$ mm/s, a w przypadku pomiarów w trybie CNC – osiągają maksymalnie 460 mm/s, natomiast wektorowe prędkości pomiarowe osiągają do 800 mm/s. Przyspieszenia wektorowe nie przekraczają $2,3$ m/s².

Stosowane oprogramowanie to: Zeiss CALYPSO, Zeiss GEAR Pro i Zeiss HOLOS.

Maszyna pomiarowa Zeiss CONTURA (rys. 2) wykonywana jest w czterech grupach wymiarowych o symbolach: 7/7/6÷7/10/6, 9/12/8÷9/16/8, 10/12/6÷10/16/6 i 12/18/10÷12/24/10; zakresy pomiarowe w osi X zawierają się w przedziale $700 \div 1200$ mm, w osi Y $700 \div 2400$ mm, a w osi Z $600 \div 1000$ mm.

Główne parametry charakteryzujące dokładność maszyn CONTURA zamieszczono w tabl. II. Maszyny o najmniejszym (model 7/7/6) i największym (model 12/24/10) zakresie pomiarowym wyposażone są w głowice VAST XT gold i VAST XTR gold.

Maszyny pomiarowe Zeiss CONTURA mogą być wyposażane w: aktywne głowice skanujące VAST XT gold i VAST XTR gold, pasywną głowicę skaningową VAST XXT, impulsową głowicę XDT do pomiarów punktowych oraz optyczne głowice bezstykowe VIScan i Line Scan – ewentualnie z głowicą obrotowo-uchylną RDS.

W maszynach CONTURA zastosowano optoelektroniczne refleksyjne układy pomiarowe o rozdzielczości

Rys. 2. Portalowa współrzędnościowa maszyna pomiarowa Zeiss CONTURA



0,2 μm , kontroler typu Zeiss C99 oraz magazynek ramowy do głowic pomiarowych MSR (*multi-sensor rack*).

Temperatura otoczenia może się zawierać w przedziale $18 \div 22^\circ\text{C}$ (jest opcją maszyn HTG, w których dopuszcza się temperaturę $18 \div 26^\circ\text{C}$), jeśli mają być uzyskane wartości błędów podane w tabl. II. Gradienty temperatury wynoszą: 1,0 K/h, 1,5 K/d i 1,0 K/m.

Maszyna pomiarowa Zeiss MICURA (rys. 3) należy do maszyn portalowych o najmniejszym zakresie pomiarowym ($500 \times 500 \times 500$ mm) w ofercie firmy Carl Zeiss. Jej dokładności pomiarowe – osiągnięte z zastosowaniem głowic pomiarowych VAST XT gold i VAST XTR gold – zamieszczono w tabl. III. Długość trzpienia pomiarowego głowicy VAST XT gold może wynosić maksymalnie 500 mm, a minimalny wymiar końcówki trzpienia – 0,3 mm. W przypadku głowicy VAST XTR gold długość trzpienia może wynosić 350 mm, a minimalny wymiar końcówki – 0,5 mm.

W maszynach zastosowano optoelektroniczne, refleksyjne układy pomiarowe o rozdzielczości 0,2 μm , kontroler typu Zeiss C99 oraz magazynek ramowy do głowic pomiarowych MSR.

Temperatura otoczenia może się zawierać w przedziale od 20 do 22°C . Gradienty temperatury powinny wynosić: 1,0 K/h, 0,5 K/d i 0,51 K/m, by możliwe było osiągnięcie dokładności wyrażonych wartościami błędów pomiaru długości wymienionymi w tabl. III.

TABLICA II. Ważniejsze parametry maszyn Zeiss CONTURA *

Parametr	Oznaczenie parametru	7/7/6 do 7/10/6	20/18/10 do 12/24/10
Błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości według ISO 103602:2010 dla $20 \pm 22^\circ\text{C}$, μm (L – mierzona długość, mm)	$E_{L,MPE}$	$1,5 + L/350$	$2,1 + L/350$
Maksymalna granica dopuszczalna rozstępu powtarzalności, μm	$R_{0,MPL}$	1,2	1,5
Błąd pomiaru skaningowego według ISO 10360-4:2003, μm	THP	2,0 dla 40 s	3,5 dla 40 s
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu pojedynczego trzpienia pomiarowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{FTU,MPE}$	1,5	1,8
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu zespołu wielotrzeniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{FTM,MPE}$	2,5	3,9
Błąd graniczny dopuszczalny wymiaru zespołu wielotrzeniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{STM,MPE}$	1,2	2,5
Maksymalna granica dopuszczalna wartości położenia zespołu wielotrzeniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{LTM,MPL}$	1,7	2,8

* Dane odnoszą się do trzpienia pomiarowego o długości 60 mm i średnicy końcówki pomiarowej 8 mm.

Rys. 3. Portalowa współrzędnościowa maszyna pomiarowa Zeiss MICURA



TABLICA III. Ważniejsze parametry maszyn Zeiss MICURA *

Parametr	Oznaczenie parametru	VAST XT gold**	VAST XTR gold***
Błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości według ISO 103602:2009 dla 20±22°C, μm (L – mierzona długość, mm)	$E_{L0,MPE}$	0,7 + L/400	0,8 + L/400
	$E_{L150,MPE}$	0,9 + L/400	1,0 + L/400
Maksymalna granica dopuszczalna rozstępu powtarzalności, μm	$R_{0,MPL}$	0,7	0,8
Błąd pomiaru skaningowego według ISO 10360-4:2003, μm	THP	1,2 dla 40 s	1,3 dla 40 s
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu pojedynczego trzpienia pomiarowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{FTU,MPE}$	0,8	0,9
Błąd graniczny dopuszczalny kształtu zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10260-5:2010, μm	$P_{FTM,MPE}$	2,3	2,7
Błąd graniczny dopuszczalny wymiaru zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{STM,MPE}$	0,6	0,7
Granica dopuszczalna maksymalna wartości położenia zespołu wielotrzpieniowego według ISO 10360-5:2010, μm	$P_{LTM,MPL}$	1,6	1,7
* Dane odnoszą się do trzpienia pomiarowego o długości 60 mm i średnicy końcówki pomiarowej 8 mm. ** Głowica z trzpieniem pomiarowym o długości 500 mm i średnicy końcówki 0,3 mm. *** Głowica z trzpieniem pomiarowym o długości 350 mm i średnicy końcówki 0,5 mm.			

Ciśnienie oczyszczonego powietrza zasilającego łożyska aerostatyczne powinno się zawierać w przedziale 6÷8 bar, z jego maksymalnym zużyciem na poziomie 110 Nl/min. Wymagane zasilanie elektryczne wynosi maksymalnie 1000 W przy typowej konsumpcji 280 W.

Osiowe prędkości pomiarowe zawierają się w przedziale 0÷70 mm/s, a w przypadku pomiarów w trybie CNC osiągają maksymalnie 125 mm/s, natomiast prędkości wektorowe – maksymalnie 492 mm/s. Przyspieszenia wektorowe osiągają maksymalnie 1969 m/s².

Współrzędnościowa maszyna pomiarowa XENOS (rys. 4) należy do najnowszych i najdokładniejszych maszyn firmy Carl Zeiss. Została zbudowana ze specjalnych materiałów i ma specyficzną konstrukcję, dzięki czemu udało się uzyskać dokładność wyrażoną dopuszczalnym błędem granicznym na poziomie $E_{L0,MPE} = \pm(0,3 + L/1000)$ μm. Jej zakresy pomiarowe wynoszą 900 × 1500 × 700 mm.

W Zeiss XENOS zastosowano nowe rozwiązanie konstrukcyjne sprawdzone w modelu Zeiss CenterMax.



Rys. 4. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa XENOS

W przeciwieństwie do standardowej konstrukcji portalowej prowadnice kierunku Y znajdują się na górze ścian bocznych, które oddzielają osie ruchome od strefy mocowania – tym samym model ten może być zaliczony do maszyn suwnicowych (*gantry*). Ponieważ w kierunku Y przemieszcza się tylko belka poprzeczna, poruszające się masy są mniejsze. Stan ten jest utrzymywany przez cały czas – to ogromna zaleta w porównaniu z konstrukcją z ruchomym stołem. Redukcja ciężaru i stałe poruszające się masy pozwalają na optymalną koordynację napędów pod względem przyspieszenia i maksymalnej prędkości.

Części konstrukcyjne maszyny Zeiss XENOS, które odpowiadają za dokładność, są wykonywane z użyciem innowacyjnej technologii ceramiki karborundowej. Dotychczas materiał ten rzadko był stosowany w produkcji części o takim rozmiarze czy zbliżonej dokładności. W zestawieniu ze standardową ceramiką na bazie tlenku glinu ceramika karborundowa charakteryzuje się o ok. 50% mniejszą rozszerzalnością cieplną, do 30% większą sztywnością oraz o 20% mniejszą masą. Ma też dwukrotnie większą sztywność przy połowie masy w porównaniu ze stalą.

Maszyna XENOS jest standardowo wyposażona w głowicę do pomiarów referencyjnych VAST gold, która jest przeznaczona do trzpieni o długości do 800 mm i masie do 500 g, w tym do asymetrycznych konfiguracji układu trzpieni. Nowe łożyska powietrzne o jeszcze sztywniejszym połączeniu zwiększają stabilność, dzięki czemu można uzyskać lepszą dokładność.

Nowe metody akceptacji opartej na technice dokładności wspomaganej komputerowo CAA (*computer-aided accuracy*) i dodatkowe korekcie CAA odgrywają coraz większą rolę w osiągnięciu maksymalnej dokładności maszyn XENOS.

Współrzędnościowe portalowe maszyny pomiarowe firmy Leitz Messtechnik (Hexagon Metrology)

Modele o symbolach: PMM-C, PMM-Xi, Infinity, Reference (Xp/Xi/XE) i Ultra charakteryzują się największą dokładnością. Należy wyjaśnić, że w 2001 r. do grupy Hexagon Metrology, która jest częścią światowego koncernu Hexagon, przystąpiło kilka firm produkujących maszyny pomiarowe: niemiecka Leitz Messtechnik, włoska DEA, amerykańska Brown&Sharp i szwajcarska Tesa, a w roku 2004 – Sheffield i Romer. W Polsce Hexagon Metrology jest reprezentowany przez spółkę Hexagon Metrology z siedzibami w Krakowie i Warszawie.

Na rys. 5 przedstawiono maszynę Leitz PMM-Xi, a na rys. 6 – Leitz Infinity. Większość maszyn portalowych ma



Rys. 5. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Leitz PMM-Xi



Rys. 6. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Leitz Infinity

stały stół pomiarowy i ruchomy portal. Natomiast maszyny z serii PMM i Infinity mają przesuwany stół i stały portal.

W serii PMM-Xi jest dziewięć modeli różniących się głównie zakresami pomiarowymi i dokładnością. Ich parametry przedstawiono w tabl. IV. Maszyny te są wyposażane w głowice pomiarowe LSP-X5 z przetwornikami indukcyjnymi (o rozdzielczości 0,1 μm), pozwalającymi na wykonywanie pomiarów skaningowych, oraz w stałowe linały kodowe o wysokiej rozdzielczości, opracowane przez firmę Heidenhain, z automatyczną kompensacją temperatury.

Leitz PMM-Xi umożliwia przeprowadzanie pomiarów kół zębatych o średnicy do 1550 mm. Za pomocą tej maszyny można sprawdzać narzędzia do obróbki kół zębatych, np. przeciągacze i frezy obwiedniowe.

TABLICA IV. Główne parametry maszyn Leitz PMM-Xi*

Parametry	Model			
	8.10.6 12.10.6 12.10.7	16.12.7 24.12.7	24.16.7 16.12.10	24.12.10 24.16.10
Błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości $E_{L0,MPE}$, μm (L – mierzona długość, mm)	$0,6 + L/550$	$1,0 + L/550$	$1,1 + L/550$	$1,7 + L/500$
Granica dopuszczalna maksymalna rozstępu powtarzalności $R_{0,MPL}$, μm	0,4	0,6	0,6	0,8
Graniczny błąd dopuszczalny zespołu głowicy pomiarowej MPE_p dla pomiarów punktowych, μm	0,6	0,8	0,9	1,4
Graniczny błąd dopuszczalny MPE_{THP} zespołu głowicy pomiarowej dla pomiarów skaningowych, μm , w czasie 45 s	1,2	1,3	1,3	2,1
Dopuszczalne wartości temperatury	$20 \pm 1^\circ\text{C}$	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$20 \pm 2^\circ\text{C}$

* Wartości błędów E_{L0} , MPE_{THP} ustalono z zastosowaniem trzpienia pomiarowego o długości $L = 80$ mm i średnicy końcówki pomiarowej 5 mm, przy czym w celu ustalenia wartości MF , MS i ML zastosowano głowicę wyposażoną w zestaw pięciu trzpieni pomiarowych ułożonych w gwiazdę.

Maszyny z serii Infinity wykonywane są w dwóch zakresach pomiarowych $1200 \times 100 \times 600$, $1200 \times 1000 \times 700$ mm i mają podobne dokładności. Ich błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości wynosi $E_{L0,MPE} = (0,3 + L/1000) \mu\text{m}$, zakres powtarzalności błędu pomiaru długości $R_0 = 0,2 \mu\text{m}$, graniczny błąd dopuszczalny zespołu głowicy pomiarowej MPE_p dla pomiarów punktowych wynosi 0,4 μm , a dla pomiarów skaningowych $MPE_{THP} = 1,1 \mu\text{m}$ w czasie 60 s (głowica pomiarowa LSP-S4). Natomiast maszyny z serii Leitz Ultra charakteryzują się parametrami odpowiednio: $E_{L0,MPE} = (0,4 + L/850) \mu\text{m}$, $R_{0,MPL} = 0,25 \mu\text{m}$, $MPE_p = 0,5 \mu\text{m}$ i $MPE_{THP} = 1,2 \mu\text{m}$ w czasie 45 s. Wymienione dokładności są zachowane w temperaturze otoczenia w przedziale $19 \div 21^\circ\text{C}$.

Maszyny z ruchomym portalem z serii Reference (rys. 7) – najmniejsze z nich, np. HP 5.4.3, mają zakresy pomiarowe $500 \times 400 \times 300$ mm, a największe – modele XP 45.12.9 i Xi 45.12.10 – oferują zakresy pomiarowe wynoszące odpowiednio: $4500 \times 1200 \times 900$ mm i $4500 \times 1200 \times 100$ mm.



Rys. 7. Portalowe maszyny pomiarowe Leitz Reference

Maszyny portalowe Reference z serii HP wykonywane są w ośmiu zakresach pomiarowych, a z serii Xi – w dziewięciu. Parametry charakteryzujące dokładność tych maszyn dla najmniejszych oraz największych zakresów pomiarowych w obu seriach przedstawiono w tabl. V.

W maszynach z serii Leitz Reference zamontowane są linały ze stali AURODUR z automatyczną kompensacją temperatury, a belka portalu wykonana jest w technologii FRICISION. Maszyny te mogą być wyposażone w głowice pomiarowe LSP-X o długości trzpienia pomiarowego do 500 mm, LSP-X3c o długości trzpienia pomiarowego do 300 mm oraz w głowicę obrotowo-uchyłną do połączenia z sondą LSP-X1h/LSP-X1s TESASTAR. Możliwe jest zastosowanie głowicy bezstykowej w postaci skanera laserowego CMS generującego 1000 punktów na linię skanującą.

TABLICA V. Główne parametry maszyn Leitz Reference

Parametry	Model			
	HP 5.4.3	HP 45.12.9	Xi 5.4.3	Xi 45.12.10
Graniczny błąd dopuszczalny pomiaru długości $E_{L0,MPE}$, μm (L – mierzona długość, mm)	$0,7 + L/400$	$1,7 + L/350$	$1,1 + L/350$	$1,8 + L/300$
Maksymalna granica dopuszczalna rozstępu powtarzalności R_0 , μm	0,45	0,7	0,6	0,9
Graniczny błąd dopuszczalny zespołu głowicy pomiarowej MPE_p dla pomiarów punktowych, μm	0,8	1,2	1,1	1,6
Graniczny błąd dopuszczalny MPE_{THP} zespołu głowicy pomiarowej dla pomiarów skaningowych, μm	1,6 dla 35 s	2,1 dla 45 s	2,0 dla 45 s	2,5 dla 45 s
Dopuszczalne wartości temperatury	$20 \pm 1^\circ\text{C}$	$20 \pm 2^\circ\text{C}$	$18 \pm 2^\circ\text{C}$	$18 \pm 2^\circ\text{C}$

Portalowe współrzędnościowe maszyny pomiarowe firmy DEA (Hexagon Metrology)

W tej grupie są cztery rodzaje maszyn: DEA Global (Silver Classic, Silver Performance, Advantage i Silver SF), DEA Pionier, DEA Micro-Hite DCC i DEA MICRA.

Na rys. 8 pokazano maszynę DEA Global Silver Performance, która oferowana jest z osią X w czterech zakresach: 500, 700, 900 i 1200 mm, przy czym opcja o osi X = 500 mm występuje z osią Y w dwóch wymiarach: 500 lub 700 mm i z osią Z o zakresie 500 mm. Największe zakresy: oś X – 1200 mm, oś Z – 1000 mm, a oś Y – 1500, 2200 lub 3000 mm. Błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości $MPE_E = (1,5 + L/333) \mu\text{m}$.



Rys. 8. Maszyna pomiarowa DEA Global Silver Performance

Na uwagę zasługuje opatentowana belka portalu o trójkątnym przekroju, wykonana w technologii TRICISION. W maszynie zastosowano kompensację temperatury umożliwiającą wykonywanie pomiarów nawet w przedziale $16\div 26^{\circ}\text{C}$. Oprogramowanie PC-DMIS z opcją Adaptive Scanning samodzielnie oblicza optymalne parametry skanowania, by uzyskać możliwie najwyższą wydajność skanowania – po wprowadzeniu parametrów geometrycznych do formularza PC-DMIS oprogramowanie przetwarza je i ustala parametry skanowania.

Pomiary mogą być przeprowadzane z użyciem głowic stykowych firmy Leitz, np. LSP-X5 do pomiarów skaningowych lub głowic LSP-Xi z głowicą obrotowo-uchyłną TESASTAR. Może być zastosowana głowica bezstykowa w postaci skanera laserowego CMS 106. TESASTAR to tzw. głowica zmotoryzowana o skoku przemieszczenia kątownego 5° , co pozwala uzyskać w przestrzeni pomiarowej 2952 pozycje sondy mierzącej. Możliwe jest również użycie pięciokierunkowych głowic impulsowych do pomiarów punktowych: TESASTAR-p i TESASTAR-mp.

CMS 106 to w pełni zautomatyzowany liniowy skaner laserowy z trzema poziomymi powiększeniami, z linią promienia lasera 24, 60 lub 124 mm. Nadaje się do pomiarów prawie każdego materiału, w tym części obrabionych, tłoczonych, kutych, odlewanych, zarówno metalowych, jak i z tworzyw sztucznych, a nawet gumy, drewna i ceramiki. Regulacja mocy lasera przebiega automatycznie.

Portalowe maszyny firmy Mitutoyo

Mitutoyo oferuje paletę portalowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych: cztery rodzaje maszyn CRYSTA, dwa rodzaje maszyn STRATO i najdokładniejszą z nich – maszynę LEGEX. Maszyny CRYSTA oferowane są w wersjach CRYSTA Plus M, Apex C1200 i w dwóch odmianach CRYSTA Apex S, a maszyny STRATO z serii 355 – w dwóch odmianach STRATO Apex.

Maszyny z serii CRYSTA i STRATO różnią się nie tylko konstrukcją, ale przede wszystkim zakresami pomiarowymi i dokładnością. Przykładowo: maszyny CRYSTA Plus M z serii 196 oferowane są w ośmiu zakresach pomiarowych od $400 \times 4000 \times 300$ mm do $700 \times 1000 \times 600$ mm. Ich błąd graniczny dopuszczalny zawiera się w przedziale od $E_{L,MPE} = (3 + 0,4 L/100) \mu\text{m}$ do $E_{L,MPE} = (3,5 + 0,45 L) \mu\text{m}$, gdzie: L – mierzona długość w mm. Wymienione maszyny

wyposażane są w głowice pomiarowe TP20 firmy Renishaw, pozwalające na pomiary pojedynczym trzpieniem z dokładnością $P_{FTU,MPE} = 1,7 \mu\text{m}$, a w przypadku pomiarów skaningowych $MPE_{THP} = 2,3 \mu\text{m}$. Gradienty temperatury wynoszą: 2,0 K/h, 5,0 K/d i 1 K/m. Dokładniejsze wyniki można uzyskać przy pomiarze maszynami z serii 191 CRYSTA Apex S. Są one dostępne z 10 zakresami pomiarowymi: od $500 \times 400 \times 400$ do $900 \times 2000 \times 800$ mm. Błąd graniczny dopuszczalny, w zależności od zakresu pomiarowego i temperatury, zawiera się w przedziale od $E_{0,MPE} = (1,7 + 0,3 L/100) \mu\text{m}$ w temperaturze $18\div 22^{\circ}\text{C}$ do $E_{0,MPE} = (1,7 + 0,4 L/100) \mu\text{m}$ w temperaturze $16\div 26^{\circ}\text{C}$. Głowica pomiarowa SP25M, wyposażona w trzpień pomiarowy o długości 50 mm i końcówkę o średnicy $\varnothing 4$ mm, pozwala na uzyskanie dokładności na poziomie $P_{FTU,MPE} = 1,7 \mu\text{m}$, a dla pomiarów skaningowych $MPE_{THP} = 2,3 \mu\text{m}$. Gradienty temperatury wynoszą dla przedziału temperatury $18\div 22^{\circ}\text{C}$: 1,0 K/h, 2,0 K/d i 1,0 K/m. Dla zakresu temperatury otoczenia ulega powiększeniu jeden ze wskaźników, a mianowicie 5,0 K/d.

Na uwagę zasługują maszyny pomiarowe STRATO Apex z serii 355. Występują one w pięciu zakresach pomiarowych: od $500 \times 700 \times 400$ mm do $900 \times 1600 \times 600$ mm. Błąd dopuszczalny maszyn o najmniejszym zakresie pomiarowym $E_{0,MPE} = (0,7 + 0,25 L/100) \mu\text{m}$, a w przypadku maszyn o największym zakresie pomiarowym $E_{0,MPE} = (0,9 + 0,25 L/100) \mu\text{m}$. Tak jak w poprzedniej serii maszyn, także w tych maszynach stosowana jest głowica pomiarowa SP25M, wyposażona w trzpień o długości 50 mm i końcówkę o średnicy $\varnothing 4$ mm. Pozwala ona na wykonywanie pomiarów punktowych i skaningowych. Możliwe jest również stosowanie głowicy laserowej do pomiarów bezstykowych. Gradienty temperatury wynoszą: 1,0 K/h, 2,0 K/d i 1,0 K/m. Maszyna wyposażona jest w układy kompensacji temperatury, dlatego może pracować nawet w hali produkcyjnej.

Maszyny LEGEX z serii 356 oferowane są z czterema zakresami pomiarowymi: od $500 \times 700 \times 450$ mm (model 574) do $900 \times 1000 \times 600$ mm (model 9106). Należą do najdokładniejszych w ofercie firmy Mitutoyo. Ich błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości $E_{0,MPE} = (0,28 + 0,1L/100) \mu\text{m}$, przy błędzie głowicy w pomiarach punktowych $P_{FTU,MPE} = 0,4 \mu\text{m}$ i skaningowych $MPE_{THP} = 1,8 \mu\text{m}$. W maszynach tych zastosowano wzorce długości o rozdzielczości $0,01 \mu\text{m}$ wykonane ze szkła krystalicznego o niskim współczynniku rozszerzalności wynoszącym $0,01 \times 10^{-6}/\text{K}$. Maszyny te mają prędkości przejazdu 200 mm/s, a przyspieszenia 3D 981 mm/s^2 i mogą funkcjonować w zakresie temperatury $18\div 22^{\circ}\text{C}$. Gradienty temperatury wynoszą: 0,5 K/h, 1,0 K/d i 1,0 K/m. Maszyny te mogą współpracować z głowicami pomiarowymi impulsowymi i skaningowymi, zarówno o stykowym, jak i bezstykowym typie skanera laserowego.

We współrzędnościowych maszynach pomiarowych Mitutoyo mogą być stosowane głowice pomiarowe własnej produkcji lub firmy Renishaw. Na uwagę zasługuje głowica skanująca MPP-310Q o rozdzielczości wskazań $0,01 \mu\text{m}$, zakresie pomiarowym ± 1 mm i nacisku pomiarowym $0,03$ N. Jest ona łożyskowana aerostatycznie. Długość trzpienia pomiarowego sięga do 200 mm. Mogą być stosowane głowice skanujące: SP80, SP25M i SP600M, oraz cały szereg głowic impulsowych, np. TP7M, TP200, TP200 z głowicą obrotowo-impulsową firmy Renishaw PH20 obsługiwana przez oprogramowanie MCOSMOS. Ponadto można wykorzystywać głowice optyczne, jak laserowy skaner liniowy SurfaceMeasure umożliwiający

skanowanie z niepewnością 12 μm , z pozyskaniem 75000 punktów/s, oraz głowica QVP typu wizyjnego odtwarzająca obraz powierzchni w powiększeniu od 0,375 do 3,75 \times .

Współrzędnościowe maszyny Mitutoyo są wyposażone we własne oprogramowanie MCOSMOS, przy czym MCOSMOS-1 to pakiet podstawowy, MCOSMOS Manual jest stosowany do maszyn ręcznych, MCSOSMOS-2 jest pakietem typu CAD, a MCOSMOS-3 – pakietem pełnoobszarowym. Wymienione pakiety zawierają opcje Part Manager (konfiguracja systemu, zarządzanie danymi, tworzenie szablonów raportów itp.) i GEOPAK (praca w trybie online i offline, pomiary elementów przestrzennych, programy parametryczne). Opcje CAT1000P i CAT1000S obejmują m.in. programowanie z zastosowaniem modelu CAD, inspekcję powierzchni swobodnych i raport graficzny. Opcja SCANPAK to: pomiary konturów, analiza i edycja, wymiana danych z systemami CAD i SN. Oprócz tego występują dodatkowe pakiety oprogramowania, np. do kół zębatach – pakiet GEARPAK czy do pomiaru odchylek kształtu – ROUNDPAK-CMM.

Maszyny innych firm

Tak jak zaznaczono na początku, na rynku są również maszyny pomiarowe ALTERA oferowane przez firmę Nikon Metrology, a w kraju przez Smart Solutions [7]. Są to: ESSENTIAL, OPTIMUM i ULTIMATE oraz seria IK.

Niemiecka firma Wenzel [8] produkuje szereg maszyn portalowych, zarówno manualnych, jak i CNC. Do maszyn manualnych zalicza się dwa modele XCite o zakresach pomiarowych od 500 \times 600 \times 500 do 700 \times 800/1000/1200 \times 500 mm, trzy serie maszyn typu CNC LH54, LH1210, LH1512 oraz maszyny z serii XOrbit. Maszyny z serii LH54 mają zakresy pomiarowe 500 \times 600/1000 \times 400 mm. Natomiast maszyny z serii LH1210 i LH1512 odznaczają się stosunkowo największymi zakresami pomiarowymi (np. LH1512 – zakresy pomiarowe 1500 \times 2000/2500/3000/4000 \times 1200 mm) i są wykonywane są w trzech opcjach: Standard, Premium i Premium-Select.

Seria współrzędnościowych maszyn pomiarowych angielskiej firmy Aberlink, reprezentowanej w Polsce przez spółkę Oberon 3D [12], obejmuje modele portalowe, np. Axiom, wykonywane w trzech opcjach: Axiom too Manual, Axiom too CNC i Axiom too, oraz maszyny Zenith too i Azimuth.

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe Axiom too dostępne są w opcji ręcznej (manual), CNC i HS. Maszyny w opcji ręcznej mają trzy zakresy pomiarowe 640 \times 600 \times 500 mm, 640 \times 900 \times 500 mm oraz 640 \times 1200 \times 500 mm. Ich graniczne dopuszczalne błędy wskazań $MPE_E = (2,9 + L/250) \mu\text{m}$. Maszyny Axiom too CNC i Axiom too HS mają cztery zakresy pomiarowe: 640 \times 600/900/1200/1500 \times 500 mm. Graniczne dopuszczalne błędy wskazań maszyn Axiom too CNC dla wszystkich zakresów pomiarowych są takie same: $MPE_E = (2,9 + L/250) \mu\text{m}$. Natomiast dokładności maszyn Axiom too HS są wyższe: $MPE_E = (2,1 + L/250) \mu\text{m}$. W wymienionych maszynach jednostką sterującą i główną jednostką komputerową umieszczono w podstawie.

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe Zenith too wykonywane są w dziesięciu zakresach pomiarowych, przy czym oś X ma zakres pomiarowy 1000 mm, oś Z – 600 lub 800 mm, natomiast oś Y ma zakres pomiarowy: 1000, 1500, 2000, 2500 lub 3000 mm. Błąd graniczny dopuszczalny dla wszystkich maszyn Zenith too $MPE_E = (3,8 + L/250) \mu\text{m}$. W maszynach tych zastosowano liniowe układy pomiarowe firmy Renishaw o rozdzielczości sygnału 0,5 μm .

LITERATURA

1. PN-EN ISO 10360-2:2010: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Badania odbiorcze i okresowe współrzędnościowych maszyn pomiarowych (CMM). Część 2: CMM stosowane do pomiaru wymiarów.
2. Ratajczyk E., Woźniak A. „Współrzędnościowe systemy pomiarowe”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.
3. Carl Zeiss (Niemcy): www.zeiss.de, www.zeiss.pl/industrial-metrology/pl_pl/home.html.
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. Faktor. Centrum Techniki Pomiarowej (Chodzież, Polska): www.faktor.net.pl.
7. Nikon Metrology: www.nikonmetrology.com. Smart-Solutions: www.smart-solutions.pl.
8. Wenzel Präzision GmbH (Niemcy): www.wenzel-cmm.com.
9. Zett Mess Technik GmbH (Niemcy): www.zettmess.com.
10. Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie: www.ios.krakow.pl.
11. Trimek Ingeniera Metrologica (Hiszpania): www.trimek.com.
12. Aberlink Innovative Metrology LLP: www.aberlink.com. Oberon 3D L. Pietrzak i Wspólnicy Sp.j.: www.oberon3d.pl.
13. Mora Metrology GmbH (Niemcy): www.mora-metrology.de. Alfleth Engineering Sp. z o.o.: www.alfleth.com. ■