

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SONDY PRZEDMIOTOWEJ DO KONTROLI CZYNNEJ NA PIONOWYM CENTRUM OBRÓBKOWYM FV 580A

Barbara KAMIĘŃSKA-KRZOWSKA^{*}, Leszek SEMOTIUK^{*}, Marcin CZERW^{}**

b.krzowska@pollub.pl, l.semotiuk@pollub.pl

^{*} Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
ul. Nadbystrzycka 38d, 20-618 Lublin

^{**} Fabryka Łożysk Tocznych – Kraśnik S.A., ul. Fabryczna 6, 23-210 Kraśnik

Streszczenie: Przeanalizowano możliwość zastosowania sondy przedmiotowej na obrabiarkach CNC do pomiarów wybranych wymiarów liniowych detali w trakcie procesu obróbkowego a także po jego zakończeniu. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość wykonywania pomiarów bez zmiany zamocowania przedmiotu obrabianego. Wadą natomiast jest wpływ czynników związanych z przebiegiem procesu skrawania na dokładność wykonywanych pomiarów.

Przeprowadzono badania porównawcze wyników pomiarów uzyskanych na pionowym centrum obróbkowym FV580A za pomocą sondy przedmiotowej MP10 z pomiarami tych samych wymiarów na współrzędnościowej maszynie pomiarowej VISTA. Wyniki tych pomiarów wykazują pewne rozbieżności i zależą one od mierzonego wymiaru. Dokładna ich analiza pozwala stwierdzić, że zastosowanie sondy MP10 do kontroli przebiegu procesu obróbki jest zasadne ze względu na potrzeby szybkiego diagnozowania wymiaru obrabianego przedmiotu i może być również alternatywą dla pomiarów wykonywanych na maszynach współrzędnościowych.

1. WSTĘP

W obecnych czasach wymagania stawiane wyrobom przemysłu maszynowego są coraz wyższe. Jednocześnie konkurencja na rynku zmusza firmy do obniżania kosztów produkcji. Sytuacja ta dopinguje producentów do zwiększania automatyzacji obrabiarek i całych procesów produkcyjnych oraz jakości wykonywanych wyrobów.

W procesie wytwarzania wyrobów metodą obróbki ubytkowej obserwuje się tendencję zmierzającą do maksymalnej automatyzacji samego procesu skrawania sprowadzając do minimum czynności przygotowawcze i obsługowe. Istotnym aspektem jest tutaj redukcja czasów przestojów obrabiarki, możliwości obrabiania większych ilości części, możliwość obsługi przez operatora większej ilości obrabiarek czy też poprawa kontroli procesu produkcyjnego.

Wraz z procesem technologicznym wiąże się nierozdzielnie proces kontroli jakości wykonywanych detali. Obecnie coraz częściej wykorzystuje się współrzędnościowe techniki pomiarowe.

Wiedza na temat wykorzystania współrzędnościowych technik pomiarowych jest powszechna a pomiarowe maszyny współrzędnościowe znalazły zastosowanie w wielu zakładach przemysłowych do kontroli procesów wytwórczych. Jedną z większych ich wad jest oczywiście wysoki koszt zakupu. Alternatywną metodą pomiaru może okazać się wykorzystanie sondy przedmiotowej na obrabiarkach CNC. Koszty zakupu takiej sondy jest wielokrotnie mniejszy niż koszt zakupu maszyny pomiarowej.

Obrabiarkowe sondy pomiarowe pozwalają na wykonanie pomiarów detali obrabianych w trakcie i po zakończeniu przebiegu procesu obróbkowego. Rozwiązanie to daje możliwość wykonania większości pomiarów bez zmiany zamocowania przedmiotu obrabianego bezpośrednio po wykonaniu obróbki bądź w jej trakcie. Biorąc pod uwagę fakt, że na rynku oprogramowania zaczynają pojawiać się wersje programów pozwalających na uproszczenie tworzenia i integrację procedur pomiarowych z procesem produkcyjnym (np. Productivity+TM), współdziałające z różnego rodzaju systemami CAD/CAM i układami sterującymi pracą obrabiarek CNC, to wykorzystanie tego typu ciągle rozwijających się systemów do kontroli procesów produkcyjnych wydaje się być bardzo atrakcyjne.

Jednakże wykorzystanie tego typu systemów pomiarowych na obrabiarkach CNC wiąże się z rozwiązaniem wielu zagadnień wpływających bezpośrednio na jakość wykonywanych pomiarów (np. rozszerzalność cieplna obrabianego przedmiotu i inne związane z przebiegiem samego procesu skrawania). Podjęcie tego typu badań może jednak okazać się niecelowe, choćby w przypadku, gdy dokładność pomiarów prowadzonych za pomocą układów wewnątrzobrabiarkowych będzie zdecydowanie gorsza od dokładności pomiarów prowadzonych np. na maszynach współrzędnościowych. Dlatego też w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji przeprowadzono próbę porównania jakości pomiarów prowadzonych na pionowym centrum obróbkowym za pomocą sondy przedmiotowej i na pomiarowej maszynie współrzędnościowej.

2. CHARAKTERYSTYKA SONDY POMIAROWEJ MP10

Sondę MP10 (rys. 1) na pionowych centrach obróbkowych można wykorzystać do:

- ustawiania przedmiotu obrabianego (sonda identyfikuje położenie przedmiotu, aktualizując automatycznie offsety robocze);
- lokalizacji przedmiotu oraz detekcji błędów położenia;
- identyfikacji naddatków obróbkowych dla zapewnienia szybkiego i bezpiecznego podejścia narzędzia do przedmiotu obrabianego;
- kontroli detali podczas procesu produkcji, oraz po jego zakończeniu.



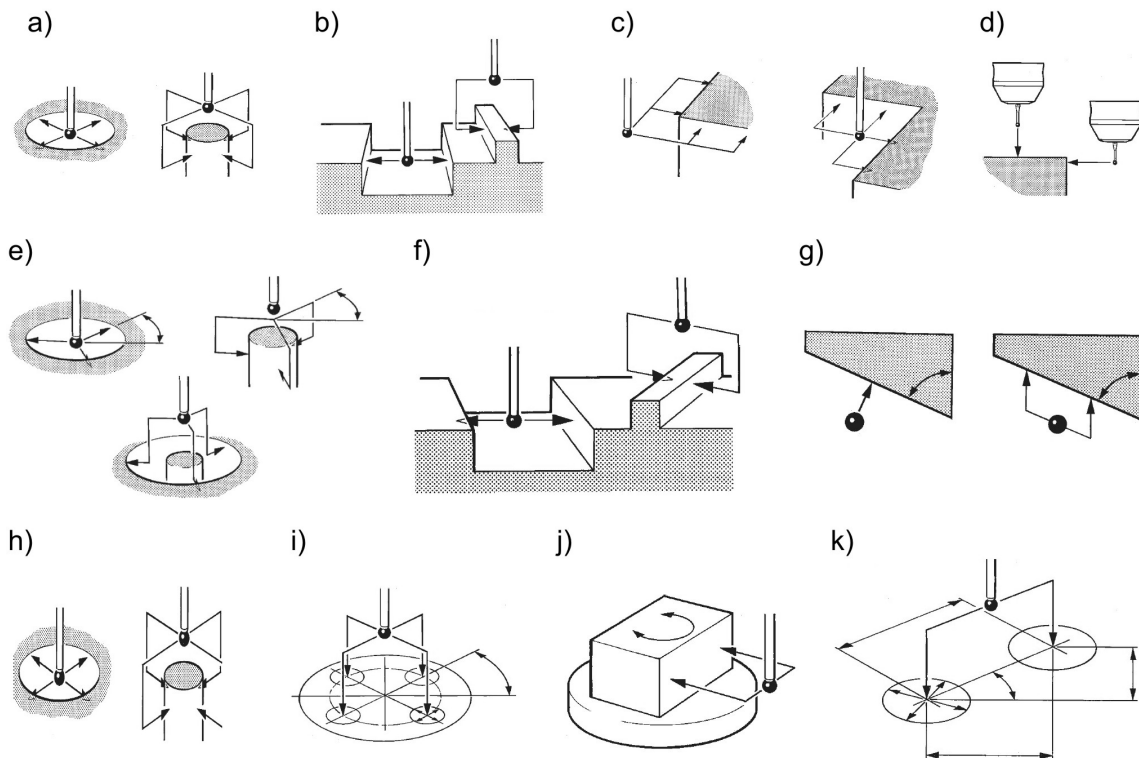
Rys. 1. Widok sondy pomiarowej przedmiotu obrabianego MP10 (materiały informacyjne firmy Renishaw)

Cechy charakterystyczne sondy NC4:

- Powtarzalność pomiarowa - 1,0µm.
- Detekcja w osiach $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$.
- Optyczny system transmisji.
- Wysoka odporność na uderzenia i drgania.
- Stopień ochrony IPX8 zapewnia odporność na chłodziwo i wióry.

Programowanie sondy do pomiarów na obrabiarce CNC może przebiegać w następujący sposób:

- dzięki wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania komputerowego;
- poprzez programowane ręczne (napisanie odpowiedniego programu pomiarowego a później umieszczenie go w pamięci obrabiarki);
- dzięki wykorzystaniu gotowych cykli pomiarowych zainstalowanych w pamięci obrabiarki podczas instalacji oprogramowania sondy (rys. 2).

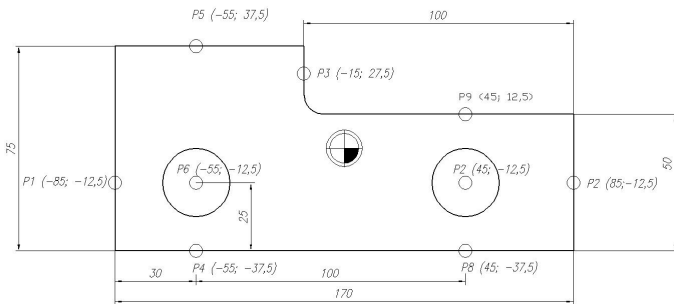


Rys. 2. Cykle pomiarowe dla sondy MP10 dostępne bezpośrednio z systemu sterującego pracą centrum obróbkowego: a) pomiar otworu i wałka, b) pomiar żebra i kieszeni, c) znajdowanie narożnika zewnętrznego i wewnętrznego, d) pozycjonowanie prostej powierzchni XYZ, e) trzypunktowy pomiar otworu i wałka, f) pomiar żebra i kieszeni ustawionej pod kątem, g) pomiar powierzchni z płaszczyzną pod kątem, h) naddatek materiału obrabianego, i) otwór i piasta mierzona na średnicy koła podziałowego, j) pomiar czwartej osi, k) pomiar wzajemnego położenia elementów (Instrukcja obsługi Fanuc seria 0i-MB.)

3. METODYKA BADAŃ

Możliwość wykorzystania systemów sond pomiarowych na centrum obróbkowym zostanie zbadana na wcześniej zaprojektowanym detalu o wymiarach nominalnych pokazanych na rys. 3. Przedmiot ten wykonany został na pionowym centrum frezarskim FV-580A. Półfabrykatem był pręt stalowy walcowany o następujących wymiarach (PN-85/H-93202): szerokość - $80^{+0,7}_{-1,6}$ mm, wysokość - $25^{+0,2}_{-1,4}$ mm, długość - 170 mm, materiał - St3.

Ponieważ charakterystyczne powierzchnie przedmiotu wykorzystywane później jako powierzchnie pomiarowe musiały zostać wykonane w jednym zamocowaniu, dlatego też niezbędne było zaprojektowanie i wykonanie odpowiedniego przyrządu mocującego. Detal ustalony został na kołkach ustalających i płaszczyźnie podstawy a zamocowany za pomocą śruby mocującej. Taki sposób ustalenia i zamocowania przedmiotu obrabianego zapewnił powtarzalność jego ustalenia a co za tym idzie powtarzalność przebiegu procesu obróbki.



Rys. 3. Ustalenie punktów pomiarowych dla sondy przedmiotowej

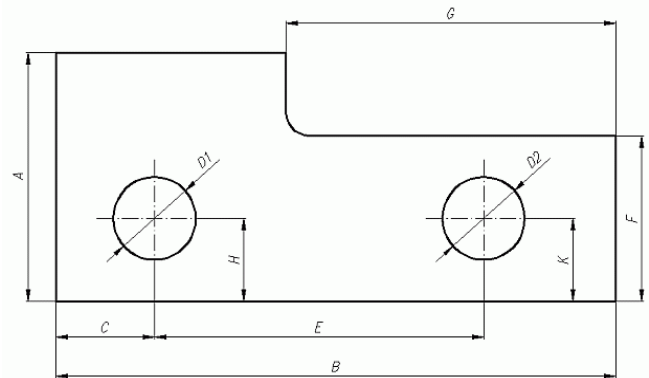
Proces technologiczny wykonany został z wykorzystaniem programu komputerowego do modelowania bryłowego (T-Flex) oraz wspomagania procesów wytwarzania (SPRUTCAM). Program SPRUTCAM umożliwił zaprojektowanie procesu obróbki oraz wygenerowanie kodów sterujących pracą centrum obróbkowego. Do pomiaru korekcji długości i średnicy narzędzia wykorzystano laserową sondę pomiarową NC4 firmy Renishaw.

Podczas projektowania technologii w programie SPRUTCAM wykorzystano dwa niezależne położenia punktu zerowego przedmiotu obrabianego. Do obróbki baz technologicznych ustalono punkt zerowy w dolnym lewym narożu na górnej powierzchni detalu. Do frezowania na gotowo punkt zerowy został ustalony na środku górnej powierzchni detalu.

4. PROGRAM POMIAROWY PRZEDMIOTU OBRABIANEGO Z WYKORZYSTANIEM SONDY MP10

Zadaniem programu pomiarowego było zmierzenie wymiarów liniowych przedmiotu obrabianego oraz średnic otworów.

Punkty pomiarowe oraz ich współrzędne względem punktu zerowego przedmiotu obrabianego pokazane zostały na rys. 3 odpowiednie odcinki pomiarowe na rys. 4.



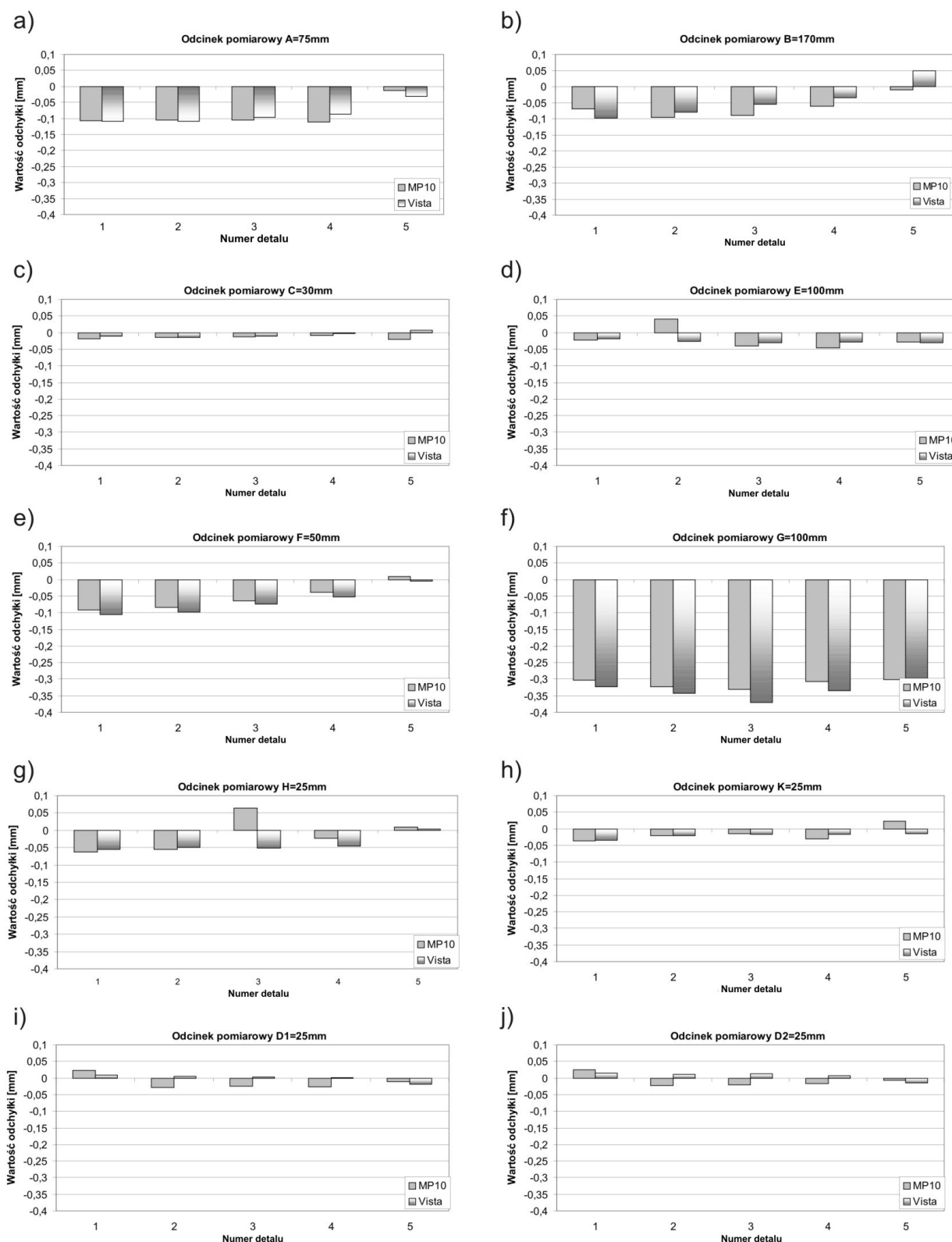
Rys. 4. Oznaczenia odcinków pomiarowych

5. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary przedmiotu wykonano na frezarskim centrum obróbkowym pionowym FV-580A za pomocą sondy MP10 firmy RENISHAW, a następnie na współrzędnościowej maszynie pomiarowej VISTA firmy C.ZEISS (rys.5). Jest to maszyna portalowa o zakresach pomiarowych wynoszących X=400mm, Y=500mm, Z=350mm. Można na niej mierzyć przedmioty o masie nie większej niż 280kg przy masie maszyny wynoszącej 400kg. Graniczny błąd dopuszczalny wskazania podczas pomiaru wymiaru wynosi $MPE_E = 2,4 + L/250 \mu\text{m}$ dla pomiarów CNC i $2,9 + L/250 \mu\text{m}$ dla pomiarów wykonywanych za pomocą pulpitu sterującego, gdzie L – mierzona długość w milimetrach. Graniczny błąd dopuszczalny zespołu głowicy pomiarowej dla pomiarów CNC wynosi $MPE_P = 2,2 \mu\text{m}$. Pomiary sondą MP10 zostały wykonane na pięciu detalach. Wyniki pomiarów przedstawione zostały w formie graficznej na wykresach zamieszczonych na rys. 6.



Rys. 5. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa VISTA firmy C.ZEISS



Rys. 6. Położenie odchyłek względem wymiaru nominalnego: a) odcinek pomiarowy A=75mm, b) odcinek pomiarowy B=170m, c) odcinek pomiarowy C=30mm, d) odcinek pomiarowy E=100mm, f) odcinek pomiarowy G=100mm, g) odcinek pomiarowy H=25mm, h) odcinek pomiarowy K=25mm, i) odcinek pomiarowy D1=25mm, k) odcinek pomiarowy D2=25mm

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Wykresy zamieszczone na rys. 6 przedstawiają położenie zaobserwowanych odchyłek w stosunku do wymiaru nominalnego dla dwóch metod pomiarowych. Os X reprezentuje numer próbki odpowiadający kolejnym mierzonym elementom, na osi Y zamieszczono wartość obliczonych odchyłek od wymiaru nominalnego. W tabeli 1 podane zostały obliczone różnice w wartościach odchyłek dla dwóch metod pomiarowych.

Wyniki pomiarów wykazują zróżnicowanie pomiędzy wartościami pomiarowymi w zależności od przyjętego odcinka pomiarowego. I tak należy zauważyć, że w przypadku odcinka pomiarowego A największa różnica pomiaru wyniosła 0,024mm, dla B – 0,04mm, dla C – 0,013mm, dla E – 0,0165mm, dla F – 0,015mm, dla G – 0,04mm, dla H – 0,022mm, dla K – 0,014mm, dla D1 – 0,025mm i dla D2 – 0,011mm.

Tab. 1. Wartości różnicy odchyłek od wymiarów nominalnych zmierzonych sondą MP10 Renishaw i na maszynie współrzędnościowej Vista

Symbol	Wymiar nominalny [mm]	Różnica [mm]				
		detal 1	detal 2	detal 3	detal 4	detal 5
A	75	0,003	0,006	0,008	0,024	0,019
B	170	0,028	0,016	0,035	0,026	0,04
C	30	0,0075	0	0,0035	0,007	0,013
E	100	0,0045	0,0145	0,0085	0,0165	0,0025
F	50	0,014	0,014	0,01	0,015	0,005
G	100	0,019	0,02	0,04	0,027	0,003
H	25	0,007	0,007	0,012	0,022	0,005
K	25	0,0005	0,0005	0,0015	0,014	0,007
D1	25	0,013	0,023	0,02	0,025	0,008
D2	25	0,009	0,011	0,006	0,01	0,007

Różnice w zmierzonych wymiarach dla różnych odcinków pomiarowych dla dwóch metod pomiarowych wahały się w granicach $0 \div 0,04$.

Na różnicę wyników pomiarów prowadzonych z wykorzystaniem sondy MP10 a pomiarami współrzędnościową maszyną Vista może mieć wpływ wiele istotnych czynników. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

1. Dokładność ustalenia i zamocowania przedmiotu obrabianego na obrabiarce. Ma to związek z dokładnością dopasowania się układu współrzędnych obrabiarki do punktu zerowego przedmiotu obrabianego. Punkt zerowy ustala się na podstawie pomiaru sondą przedmiotową. Dlatego też najkorzystniejsza jest sytuacja, gdy obróbka detalu i jego pomiar dokonywane są w jednym zamocowaniu. Zmiana zamocowania może w niekorzystny sposób wpłynąć na jakość prowadzonych pomiarów.
2. Niejednakowe warunki prowadzenia pomiarów. Zachowanie identycznych warunków pomiarowych jest bardzo trudne ze względu na sam proces skrawania. Wysoka temperatura w strefie skrawania, zastosowanie czynników chłodzących, odpowiednie nagrzanie podzespołów obrabiarki, aż wreszcie sama dokładność kinematyczna obrabiarki mają wpływ na jakość prowadzonych pomiarów i w szczególności sposób wpływają na zaobserwowaną różnicę wartości pomiarowych.
3. Odpowiednia kalibracja sond pomiarowych. Należy tu szczególną uwagę poświęcić dokładnej kalibracji sondy przedmiotowej. Ciągła kontrola przebiegu procesu produkcji może być wyznacznikiem momentu rozkalibrowania sondy pomiarowej, co ma bezpośredni

wpływ na późniejszą dokładność wyznaczania odpowiednich offsetów obrabiarki, czyli bezpośrednio na dokładność wytwarzania.

4. Strategia prowadzonych pomiarów. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa umożliwia dobór odpowiedniej strategii pomiarowej i dokładną analizę otrzymanych wyników. W przypadku sondy MP10 strategia pomiaru wynika z rodzaju zastosowanej metody pomiarowej. Producenci sond pomiarowych starają się rozszerzyć zakres możliwości pomiarowych sond poprzez ofertę odpowiedniego rodzaju oprogramowania, które wspomaga sam proces prowadzenia pomiarów oraz coraz bardziej integruje go z procesem produkcji na obrabiarkach CNC.

Wykorzystując sondę przedmiotową MP10 do kontroli wymiarów przedmiotu obrabianego można wyciągnąć również wnioski na temat poprawności założonej technologii wykonania detalu oraz przebiegu samego procesu wytwarzania.

Proces analizy poprawności zaprojektowanej technologii należy zacząć od sposobu jej przygotowania. Technologię wykonania przedmiotu opracowano za pomocą programu SPRUTCAM. Technolog ma tutaj możliwość doboru zastosowanych narzędzi obróbkowych oraz doboru samej strategii obróbki, czyli doboru rodzaju zabiegów obróbkowych oraz przebiegu ścieżek narzędziowych. Program na podstawie wprowadzonych danych obróbkowych generuje ścieżki narzędziowe zakładając, że wykonywany wymiar będzie wymiarem nominalnym.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykonanego detalu można stwierdzić, że prawie wszystkie wymiary wykazują tendencję schodzenia na minus, czyli

w głąb materiału. W związku z tym badany detal ma wymiary nominalne z odchyłkami ujemnymi. Potwierdzają to obydwie metody pomiarowe, istnieje więc możliwość błędnego pomiaru średnicy narzędzia obróbkowego. Tą niedogodność można skorygować wprowadzając do wartości korekcyjnych narzędzia odpowiednią wartość średnicy, należy też sprawdzić poprawność kalibracji sondy narzędziowej. Przeprowadzone pomiary wskazują również na postępujące zużycie narzędzia. W większości przypadków wymiary przedmiotów obrabianych mają tendencję wzrostową i zbliżają się powoli do wymiaru nominalnego. Dzięki prowadzonym pomiarom można kontrolować proces samego zużywania się narzędzia i wprowadzać odpowiednią korekcję w pamięci układu sterowania.

Przeprowadzone pomiary wskazują też, że największe odchyłki od wymiaru nominalnego zaobserwowano dla charakterystycznego wymiaru G (rys. 4). Proces technologiczny przewiduje obróbkę konturu przedmiotu a następnie zebranie resztek materiału z charakterystycznego naroża. Taki sposób obróbki wynika z zastosowanych narzędzi. Istnieje tutaj największe prawdopodobieństwo przekroczenia tolerancji wymiarowej. W tym przypadku należałoby zastosować inne narzędzie obróbkowe lub zmienić sam przebieg procesu technologicznego.

Mimo tak wielu niedogodności i niepewności uzyskania właściwego wyniku pomiaru zastosowanie sondy MP10 do kontroli przebiegu procesu produkcji jest zasadne ze względu na potrzebę szybkiego diagnozowania wymiaru przedmiotu obrabianego. Użycie sondy MP10 może być w pewnym zakresie alternatywą dla pomiarów wykonywanych na maszynach współrzędnościowych.

Na tym etapie badań trudno jest wyciągnąć jednoznaczne wnioski na temat jakości wykorzystanej metody pomiarowej (układ pomiarowy wewnątrzobrabiarkowy), dlatego też należy kontynuować badania w kierunku określenia zdolności pomiarowej pomiarowych układów wewnątrzobrabiarkowych z wykorzystaniem oprogramowania wspomagającego tworzenie cykli pomiarowych oraz obróbkę statystyczną wyników.

LITERATURA

1. **Chlebus E.** (2000), Techniki komputerowe CAX w inżynierii produkcji, WNT, Warszawa.
2. Fanuc seria 0i-MB. Instrukcja obsługi.
3. Inspection Plus software. Programming manual.
4. Materiały informacyjne firmy Renishaw.
5. NC1 non-contact tool setting system. Programming Guide (Fanuc compatible).
6. **Plichta J.** (2002), Podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie. Koszalin.
7. PN-73/M-55256: Obrabiarki do metali. Kodowanie funkcji przygotowawczych G i funkcji pomocniczych M dla obrabiarek sterowanych numerycznie.
8. PN-93/M-55251: Maszyny sterowane numerycznie. Osie współrzędnych i zwroty ruchów. Nazwy i określenia.
9. Programowanie obrabiarek CNC. Frezowanie. REA, Warszawa 1999.
10. **Ratajczyk E.** (2005), Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF OBJECTIVE SOUND APPLICATION TO ACTIVE CHECKING ON FV580A VERTICAL MACHINING CENTRE

Abstract: The possibility of application of objective sound on CNC metal working machines to selected linear details measurement in the course of tooling process and also after its ending has been analysed. The advantage of this solution is the possibility of measurements execution without attaching change of treatment object. However, the fault of mentioned above solution is the influence of connected factors with the course of cutting on the precision of the measurements executed.

The comparative studies of measurement results obtained on the FV580A vertical machining centre by means of MP10 objective sound with measurements of the same dimensions on the VISTA coordinates measuring machine have been executed. The results of this measurements show some divergences and they depend from the measured dimension. Their precise analysis permits to state that the application of MP10 sound to the checking of process course of tooling is legitimate with respect on the needs of rapid diagnostic of the treatment object dimension and can be also of the alternative for the measurements executed on the coordinates machines.