

Otrzymano: 19 czerwca 2017 / Zaakceptowano: 28 października 2017 / Zamieszczono na WWW: 17 listopada 2017

*obróbka mimośrodów,  
dokładność wymiarowa, chropowatość powierzchni*

Stanisław PŁONKA<sup>1\*</sup>  
Bogusław PYTLAK<sup>1</sup>  
Arkadiusz DYNIEWICZ<sup>2</sup>

## **WPLYW ODMIAN OBRÓBKİ CZĘŚCI KLASY MIMOŚRODY NA DOKŁADNOŚĆ I CHROPOWATOŚĆ TOCZONEJ POWIERZCHNI MIMOŚRODOWEJ**

W pracy scharakteryzowano odmiany obróbki części klasy mimośrodów. Określono wpływ odmian obróbki, a w szczególności sposobów ustalania mimośradowości na dokładność i chropowatość toczzonej powierzchni mimośrodowej. Analizowanym przykładem była obróbka wałka mimośrodowego skrzynki grzebieniowej na tokarce CNC TUG-56MN. Uzyskane wartości toczonego kształtująco mimośrodu z zastosowaniem tablic krzywych i kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$  oraz z zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu były prawie identyczne, natomiast wartość toczonego mimośrodu z użyciem podkładki pod jedną ze szczęk samocentrującego uchwytu trójszczękowego wyraźnie odbiegała od wymaganej wartości podanej w dokumentacji konstrukcyjnej. Chropowatość uzyskanych powierzchni określona średnią arytmetyczną rzędnych profilu  $R_a$  na obwodzie toczonego mimośrodu ulegała zmianom, w szczególności podczas toczenia z zastosowaniem tablic krzywych, co wynikało ze zmian geometrii ostrza w różnych położeniach kątowych obrabianego mimośrodu.

### **1. WPROWADZENIE**

Części klasy mimośrodów (części wieloosiowe) mają wiele powierzchni walcowych, przeważnie zewnętrznych, ale niekiedy i wewnętrznych, z których jedne mają oś wspólną, inne mają osie równoległe, przesunięte o pewną wielkość zwaną mimośradowością [1-3]. Obróbka części o powierzchniach współśrodkowych stanowi szczególny przypadek obróbki powierzchni obrotowych sprzężonych [2]. Charakterystycznymi wymaganiami, jakie stawia się procesowi wytwarzania tych części, są: zapewnienie równoległości osi poszczególnych obrabianych powierzchni obrotowych oraz położenia tych osi w żądanej odległości względem siebie (mimośradowości). W przypadku, gdy obrabiana część jest ograniczona powierzchniami mającymi różne osie, toczenie tych powierzchni w jednym ustawieniu bez zastosowania obrabiarek sterowanych numerycznie lub specjalnych przyrządów nie jest możliwe.

<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji

<sup>2</sup> BELOS PLP S.A., Bielsko-Biała

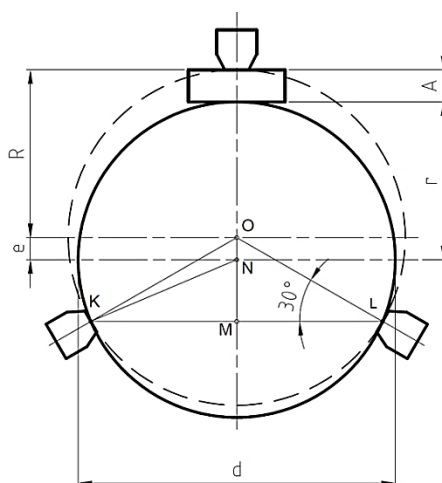
\* E-mail: splonka@ath.bielsko.pl

Celem pracy było określenie wpływu odmian obróbki, w tym w szczególności sposobów ustalania mimośrodowości na dokładność i chropowatość toczonej powierzchni mimośrodowej oraz usystematyzowanie metod obróbki części klasy mimośrodowej, w tym omówienie rozwiązań konstrukcyjnych wielopozycyjnych przyrządów obróbkowych i obróbki z zastosowaniem tablic krzywych (funkcji układu sterowania), które to opisują drogę narzędzia podczas jednego obrotu powierzchni mimośrodowej.

## 2. ODMIANY OBRÓBKİ CZĘŚCI KLASY MIMOŚRODY

Proces obróbki części klasy mimośrodowej może przebiegać według następujących odmian [2,3]:

- obróbka w kilku ustawieniach, na ogół stosowana w produkcji jednostkowej, może przebiegać na różne sposoby (z wykorzystaniem dwóch par nakiełków, z zastosowaniem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu samocentrującego (rys. 1) [3] oraz z użyciem uchwytu o indywidualnie przesuwanych szczękach). Wzór na grubość podkładki wraz z jego wyprowadzeniem zamieszczono poniżej (wyprowadzenie szczegółowe wraz z obliczeniem poszczególnych wyrazów rozwinięcia szeregu Taylora podano w [4]).



Rys. 1. Ustawienie przedmiotu w uchwycie samocentrującym z zastosowaniem podkładki: A – grubość podkładki, R – promień rozwarcia szczęk uchwytu samocentrującego, d – średnica przedmiotu obrabianego, e – wielkość mimośrodu, r – promień przedmiotu obrabianego

Fig. 1. The clamping of workpiece in self-centering lathe chuck with using of washer: A – washer thickness, R – spacing radius of jaws of self-centering chuck, d – workpiece diameter, e – eccentricity distance, r – workpiece radius

Na podstawie rysunku 1, grubość podkładki A, dla określonego mimośrodu e, wyraża się wzorem:

$$A = R + e - r \quad (1)$$

Wiedząc, że:

$$(KO) = R, \quad (KN) = r \quad (2)$$

z  $\Delta KOM$  otrzymuje się:

$$(KM)^2 = (KO)^2 - (MO)^2, \quad (3)$$

ponieważ  $\frac{MO}{KO} = \sin \alpha$ ; stąd po podstawieniu:

$$MO = R \cdot \sin 30^\circ = 0,5R, \quad (4)$$

zatem

$$(KM)^2 = R^2 - (0,5 \cdot R)^2. \quad (5)$$

Z trójkąta  $\Delta KNM$ :

$$(KM)^2 = (KN)^2 - (MN)^2, \quad (6)$$

a po podstawieniu za  $KN=r$  i  $MN=0,5R - e$  otrzymano:

$$(KM)^2 = r^2 - (0,5 \cdot R - e)^2. \quad (7)$$

Porównując ze sobą wyrażenia (5) i (7), otrzymuje się:

$$R^2 - (0,5 \cdot R)^2 = r^2 - (0,5 \cdot R - e)^2, \quad (8)$$

a po uporządkowaniu zależności (8) otrzymano następującą postać:

$$R^2 - R \cdot e - (r^2 - e^2) = 0. \quad (9)$$

Rozwiązując równanie (9) względem niewiadomej  $R$  otrzymuje się jedno poprawne rozwiązanie w postaci:

$$R = 0,5 \cdot e + \sqrt{r^2 - 0,75 \cdot e^2}. \quad (10)$$

Po podstawieniu rozwiązania (10) do równania (1) otrzymuje się:

$$A = 1,5e - r + \sqrt{r^2 - 0,75 \cdot e^2}. \quad (11)$$

W celu uproszczenia wyrażenia (11), człon:

$$f(e) = \sqrt{r^2 - 0,75 \cdot e^2} \quad (12)$$

przedstawiono w postaci rozwinięcia w szereg Taylora (ze względu na zmienną  $e$ ), ograniczając się do dwóch pierwszych wyrazów szeregu, co w końcowym wyniku daje [4]:

$$f(e) \approx r - \frac{3 \cdot e^2}{8 \cdot r}, \quad (13)$$

zatem wykorzystując zależność (13), wyrażenie (11) przyjmuje postać:

$$A \approx 1,5 \cdot e - \frac{3 \cdot e^2}{8 \cdot r}, \quad (14)$$

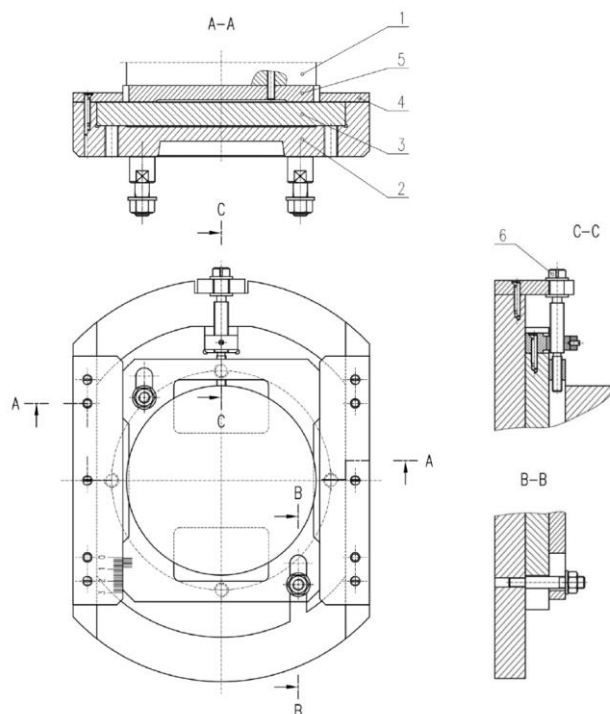
a po podstawieniu za  $2r$  średnicy  $d$  oraz uproszczeniu powstałego wyrażenia, ostatecznie otrzymuje się:

$$A \approx 1,5 \cdot e \cdot \left(1 - \frac{e}{2 \cdot d}\right). \quad (15)$$

- obróbka przy jednym ustawieniu w kilku pozycjach wymaga użycia wielopozycyjnych przyrządów obróbkowych, które umożliwiają ustawienie przedmiotu w różnych położeniach względem wrzeciona obrabiarki przy jednym zamocowaniu tego przedmiotu. Odmiana ta znajduje zastosowanie na ogół w produkcji małoseryjnej i seryjnej. Istnieją co najmniej trzy rozwiązania konstrukcyjne tego rodzaju wielopozycyjnych przyrządów obróbkowych: przesuwne, wychylne i obrotowe (zasada tych ostatnich oparta jest na twierdzeniu cosinusów, tj. twierdzeniu Carnota) [1,3,4]. Przykładowy wielopozycyjny przyrząd obróbkowy przesuwny przedstawiono na rysunku 2. Dokładność nastawienia wartości mimośrodu uzależniona jest od rodzaju wykonanego noniusza i może wynosić 0,1; 0,05 i 0,02 mm. Zasadę działania przyrządu wychylnego zamieszczono na rysunku 3. Wartość mimośrodu obliczona z  $\Delta OP_1M$  wynosi:

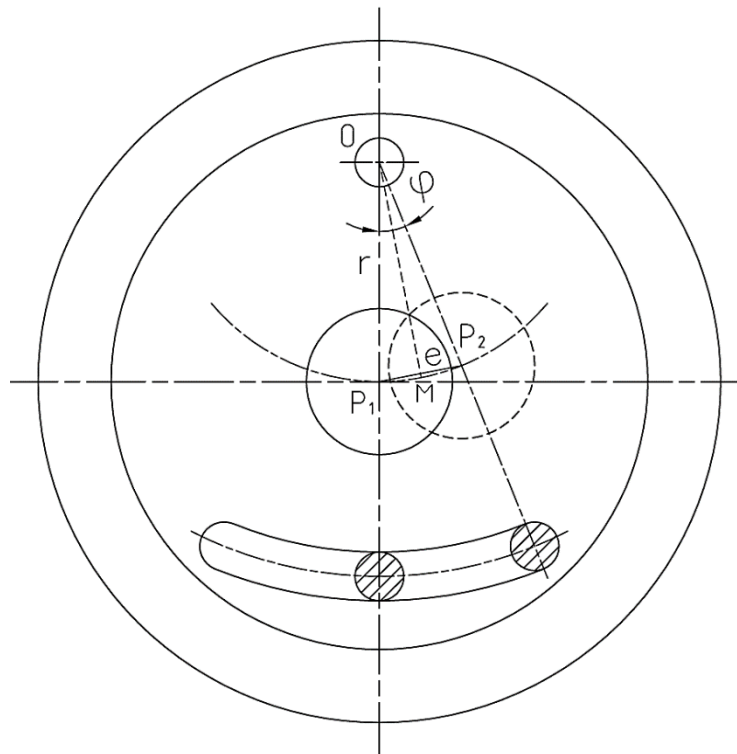
$$e = 2r \cdot \sin \varphi / 2, \quad (16)$$

gdzie:  $e$  – wartość mimośrodu,  $r$  – odległość osi kołka ustalającego od osi tarczy zabierakowej i równocześnie osi uchwytu obróbkowego,  $\varphi$  – kąt wychylenia osi uchwytu obróbkowego.



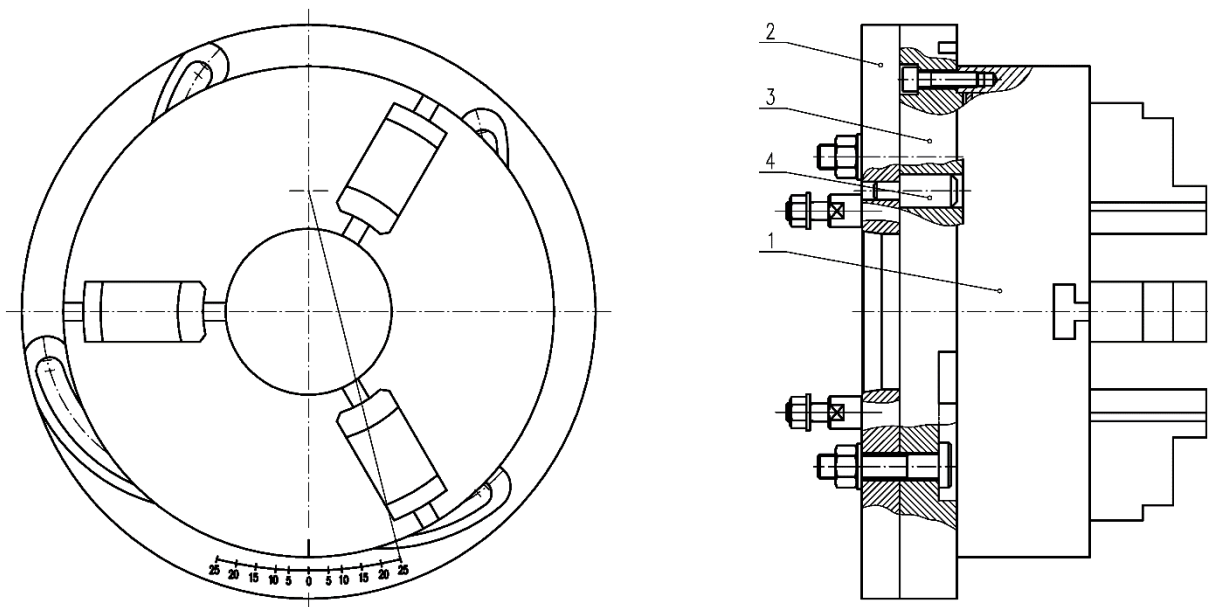
Rys. 2. Wielopozycyjny przyrząd przesuwny z naciętym noniuszem: 1 – uchwyt tokarski, 2 – tarcza, 3 – przeci ciężar, 4 – prowadnice, 5 – płyta uchwytu, 6 – śruba specjalna

Fig. 2. The multi-position sliding production jig with engraving nonius: 1 – lathe chuck, 2 – plate, 3 – counterbalance, 4 – ways, 5 – fixture plate, 6 – special screw



Rys. 3. Obliczanie kąta wychylenia uchwyty  
Fig. 3. Calculation of tilt angle of fixture

Przykładowy wielopozycyjny przyrząd obróbkowy wychylny przedstawiono na rysunku 4.



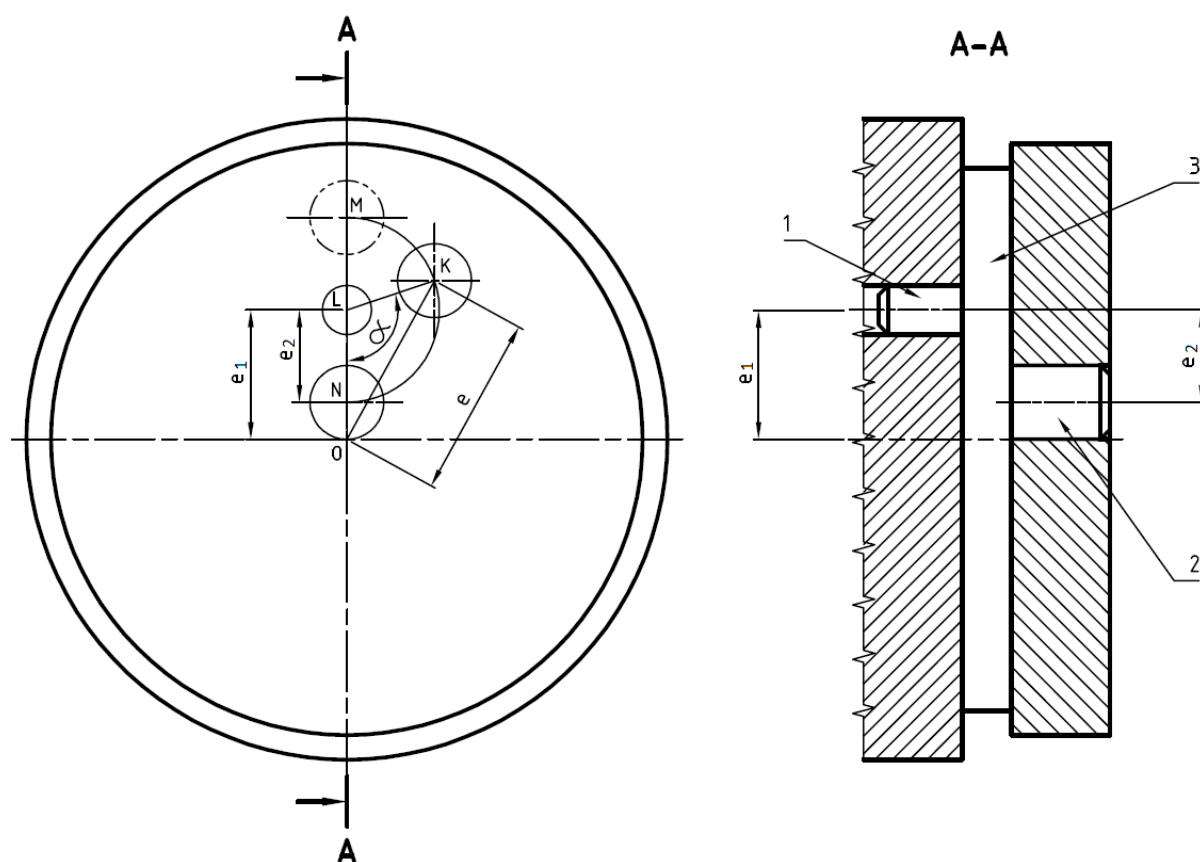
Rys. 4. Wielopozycyjny przyrząd wychylny do obróbki części mimośrodowych: 1 – uchwyt tokarski, 2 – tarcza zabierakowa 3 – tarcza pośrednicząca, 4 – kołek ustalający  
Fig. 4. The multi-position production jig for eccentric workpieces: 1 – lathe chuck, 2 – catch plate, 3 – intermediate plate, 4 – dowel pin

Zasadę działania wielopozycyjnego przyrządu obróbkowego obrotowego, którego konstrukcja oparta jest na twierdzeniu cosinusów zamieszczono na rysunku 5 [1,3,4]. Z dowolnego  $\Delta OLK$ , którego boki przylegające do kąta  $\alpha$  odpowiednio wynoszą  $e_1$  i  $e_2$  można napisać, że długość boku leżącego naprzeciw kąta  $\alpha$  w trójkącie wynosi:

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot \cos \alpha} \quad (17)$$

dla kąta  $\alpha=0^\circ - e=e_1-e_2$ , natomiast dla  $\alpha=180^\circ - e=e_1+e_2$

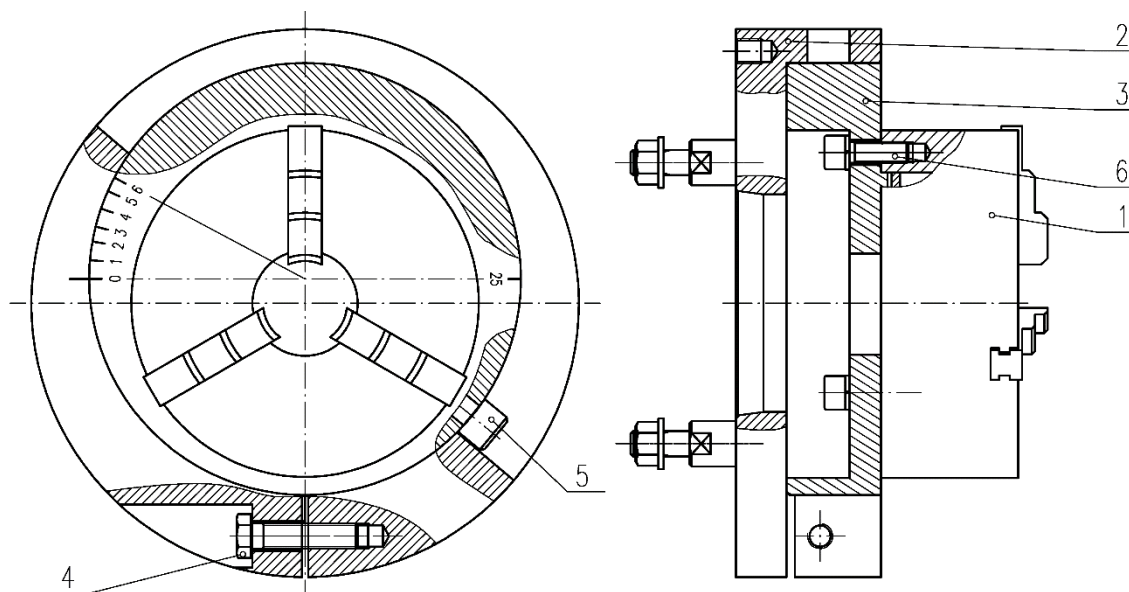
Poglądowe rysunki wielopozycyjnych przyrządów obróbkowych obrotowych zawierają następujące prace [1,4-6].



Rys. 5. Zasada działania przyrządu opartego na twierdzeniu Carnota: 1 – czop ustalający przyrząd w tarczy tokarskiej, 2 – czop ustalający przedmiot obrabiany, 3 – tarcza przyrządu, N – położenie osi czopa ustalającego przedmiot obrabiany dla  $\alpha=0^\circ$ , M – położenie czopa ustalającego przedmiot obrabiany dla  $\alpha=180^\circ$ , K – położenie osi czopa ustalającego przedmiot obrabiany dla  $0^\circ < \alpha < 180^\circ$

Fig. 5. The principle of action of a device based on Carnot's assertion: 1 – dowel pin of production jig on face chuck, 2 – dowel pin of workpiece, 3 – production jig plate, N – position of pin axis fixed workpiece for  $\alpha=0^\circ$ , M – position of pin axis fixed workpiece for  $\alpha=180^\circ$ , K – position of pin axis fixed workpiece for  $0^\circ < \alpha < 180^\circ$

Oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne czterech typowymiarów wielopozycyjnych przyrządów obróbkowych obrotowych firmy HORVATH, do obróbki toczeniem maksymalnego mimośrodów  $e=12,5$ ; 25 i 50 mm przedstawiono w [5,6]. Przykładowy przyrząd obrotowy tej konstrukcji do obróbki mimośrów zamieszczono na rysunku 6.



Rys. 6. Wielopozycyjny przyrząd obrotowy do obróbki mimośrodków firmy Horvath, którego konstrukcja oparta jest na twierdzeniu cosinusów: 1 – uchwyt tokarski, 2 – tarcza zabierakowa, 3 – tarcza pośrednicząca, 4 – śruba blokująca, 5 – kołek ograniczający, 6 – śruba mocująca uchwyt

Fig. 6. Multi-position rotary production jig for eccentric workpieces of Horvath Co., which design basis on the cosines theorem: 1 – lathe chuck, 2 – catch plate, 3 – intermediate plate, 4 – lock screw, 5 – guard finger, 6 – clamping screw of fixture

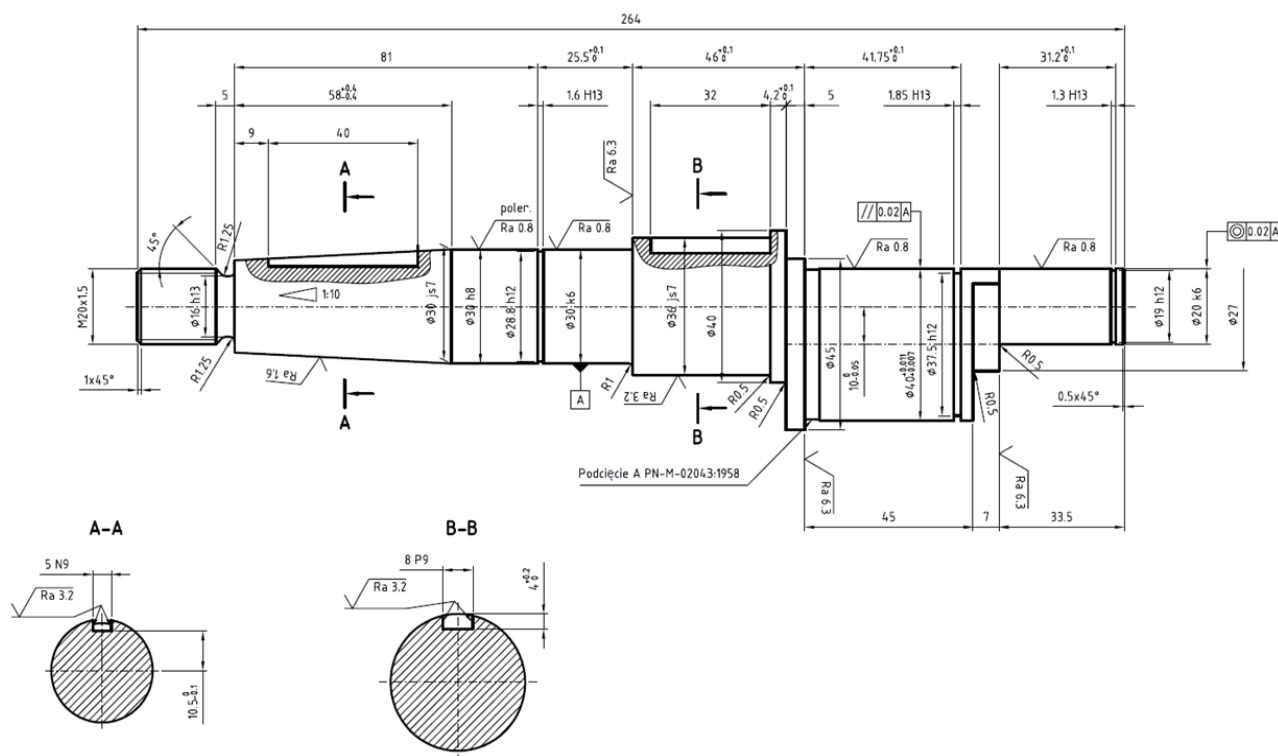
- obróbka przy jednym ustawieniu w jednej pozycji jest stosowana na ogół w warunkach produkcji masowej, chociaż z powodzeniem obecnie może mieć zastosowanie we wszystkich rodzajach produkcji. Taka odmiana obróbki jest możliwa w dwóch przypadkach: przy zastosowaniu obrabiarek wielowrzecionowych, przy czym ruch obrotowy wykonują wrzeciona narzędziowe, przedmiot zaś pozostaje nieruchomy – kierunki osi wrzecion odpowiadają kierunkom osi różnych powierzchni przedmiotu oraz przy zastosowaniu schematu obróbki, analogicznego do „schematu obtaczania nieokrągłego” [2]. Przedmiot obraca się, nóż zaś zamocowany w suporcie wykonuje ruchy wahadłowe, przy czym odległość jego wierzchołka od osi obrotu stale się zmienia [7].

### 3. METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Badania obejmowały wykonanie na tokarce CNC TUG-56MN, trzema odmianami obróbki, wałka mimośrodowego skrzynki grzebieniowej (rys. 7), ze szczególnym uwzględnieniem mimośrodu, a następnie określenie wpływu zastosowanej odmiany obróbki, a w szczególności sposobu ustalania mimośrodowości, na wartość mimośrodu oraz chropowatość powierzchni na obwodzie toczzonej powierzchni mimośrodowej. Zastosowane odmiany obróbki to:

- w kilku ustawieniach z zastosowaniem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu tokarskiego;

- przy jednym ustawieniu w kilku pozycjach z zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu obróbkowego typu obrotowego, którego konstrukcja oparta jest na twierdzeniu cosinusów (rys. 5);
- przy jednym ustawieniu w jednej pozycji z użyciem tablic krzywych na obrabiarce CNC [7,8].



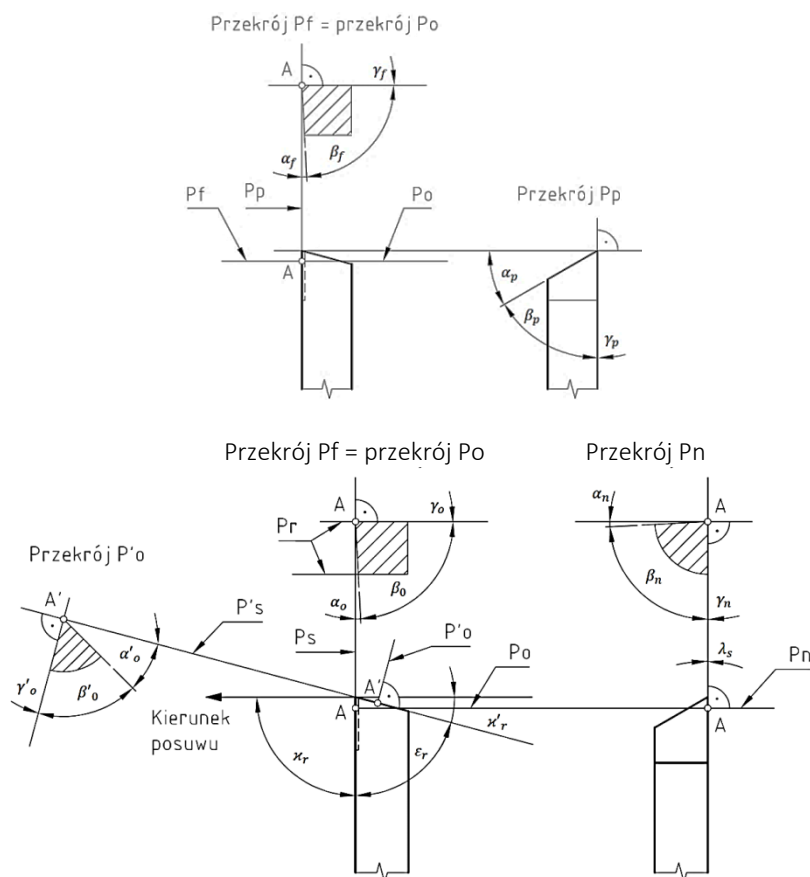
Rys. 7. Wałek mimośrodowy skrzynki grzebieniowej  
Fig. 7. The eccentric shaft of comb box

W przypadku obróbki mimośrodu, z użyciem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu samocentrującego, grubość podkładki A wyznaczono ze wzoru (15) dla następujących danych:  $e=10$  mm i  $d=36,510$  mm. Grubość podkładki dla tych danych wyniosła:  $A=12,945$  mm (przyjęto wymiary podkładki:  $12,945 \times 32 \times 55$  mm). Dla obróbki mimośrodu w jednym ustawieniu w kilku pozycjach zaprojektowano i wykonano wielopozycyjny przyrząd obróbkowy obrotowy o wartościach  $e_1=5^{+0,05}$  mm i  $e_2=5^{+0,05}$  mm [4]. Toczenie mimośrodu wałka skrzynki grzebieniowej (rys. 7) przeprowadzono po uprzednim nastawieniu kąta  $\alpha$  na  $180^\circ$ , tj. obrocie tarczy pośredniczącej wraz z trzyszczękowym uchwytem o w/w kąt, w stosunku do tarczy zabierakowej zamocowanej na wrzecionie tokarki CNC TUG-56MN.

Półfabrykatem do wykonania wałków mimośrodowych skrzynki grzebieniowej był pręt walcowany ze stali 41Cr4 o wymiarach:  $\phi 75 \times 270$  mm, który poddano dwóm zabiegom: frezowaniu czół na wymiar 264 mm oraz wykonaniu nakiełków na frezarko-nakiełczarce. Obróbkę zgrubną i kształtującą toczeniem prowadzono z zastosowaniem programów obróbkowych w dwóch ustawieniach. Do toczenia zgrubnego i kształtującego wałka, w tym



mimośrod, z użyciem podkładki oraz wielopozycyjnego przyrządu, zastosowano nóż PDJNR 2525M-15 z płytką mocowaną mechanicznie DNMG 150604-NF firmy Iscar o następującej geometrii:  $K_r=93^\circ$ ,  $\varepsilon_r=55^\circ$ ,  $K'_r=32^\circ$ ,  $r_\varepsilon=0,4$  mm. Kąty ostrza w układzie roboczym:  $\alpha_n=6^\circ$ ,  $\gamma_n=-6^\circ$ ,  $\lambda_s=-7^\circ$  [9,10]. Do toczenia zgrubnego i kształtującego mimośrodu z użyciem tablic krzywych i kroku kąta dyskretyzacji osi obrotowej  $\Delta C$  stosowano nóż specjalny (rys. 8). Wartości parametrów skrawania dla toczenia kształtującego mimośrodu zamieszczono w tabeli 1.



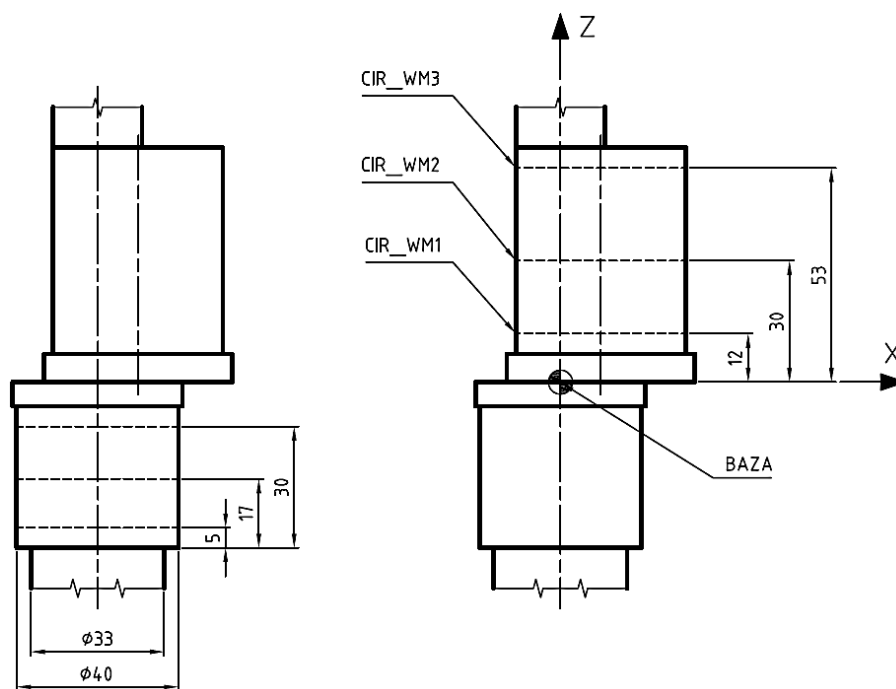
Rys. 8. Kąty ostrza noża tokarskiego w roboczym układzie odniesienia:  $\alpha_p=30^\circ$ ,  $\gamma_p=0^\circ$ ,  $\beta_p=60^\circ$ ,  $\alpha_f=\alpha_o=3^\circ$ ,  $\gamma_f=\gamma_o=0^\circ$ ,  $\beta_f=\beta_o=87^\circ$ ,  $\alpha'_o=30^\circ$ ,  $\gamma'_o=0^\circ$ ,  $\beta'_o=60^\circ$ ,  $\alpha_n=3^\circ$ ,  $\gamma_n=0^\circ$ ,  $\beta_n=87^\circ$ ,  $K_r=90^\circ$ ,  $\varepsilon_r=75^\circ$ ,  $K'_r=15^\circ$ ,  $r_\varepsilon=0,10$  mm,  $\lambda_s=0^\circ$

Fig. 8. The angles of turning tool edge in machining reference system:  $\alpha_p=30^\circ$ ,  $\gamma_p=0^\circ$ ,  $\beta_p=60^\circ$ ,  $\alpha_f=\alpha_o=3^\circ$ ,  $\gamma_f=\gamma_o=0^\circ$ ,  $\beta_f=\beta_o=87^\circ$ ,  $\alpha'_o=30^\circ$ ,  $\gamma'_o=0^\circ$ ,  $\beta'_o=60^\circ$ ,  $\alpha_n=3^\circ$ ,  $\gamma_n=0^\circ$ ,  $\beta_n=87^\circ$ ,  $K_r=90^\circ$ ,  $\varepsilon_r=75^\circ$ ,  $K'_r=15^\circ$ ,  $r_\varepsilon=0,10$  mm,  $\lambda_s=0^\circ$

Tabela 1. Parametry skrawania dla toczenia kształtującego na tokarce CNC TUG-56MN  
Table 1. The cutting parameters for particular machining variants on CNC lathe TUG-56MN

| Parametr      | Obróbka mimośrodu z użyciem podkładki | Obróbka mimośrodu w specjalnym przyrządzie | Obróbka mimośrodu z użyciem tablic krzywych |
|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $n$ , obr/min | 500                                   | 200                                        | 40                                          |
| $v_c$ , m/min | 64,4                                  | 26,38                                      | 7,85                                        |
| $f$ , mm/obr  | 0,05                                  | 0,10                                       | 0,05                                        |
| $a_p$ , mm    | 0,5                                   | 0,5                                        | 0,5                                         |

Pomiary wartości mimośrodów wałka skrzynki grzebieniowej toczonego trzema odmianami obróbki przeprowadzono na współrzędnościowej maszynie pomiarowej MicroXcel 765 z oprogramowaniem Modus 1.6. W pierwszej kolejności wyznaczono współrzędne 20-tu równomiernie rozmieszczonych punktów na obwodzie powierzchni walcowych  $\varnothing 36,5877$ ;  $\varnothing 36,5395$  oraz  $\varnothing 36,5853$  mm, dla trzech równoległych do siebie przekrojów płaszczyznami prostopadłymi do osi przedmiotów, w odległości 5, 17 i 30 mm od stopnia  $\varnothing 30,5$  mm ( $\varnothing 30$  k6). Te powierzchnie walcowe stanowiły powierzchnie bazowe do obróbki mimośrów. Następnie w celu uzyskania dokładnych zarysów walcowości tych powierzchni bazowych i wyznaczenia osi walców środkowych zastosowano metodę minimalizacji sumy kwadratów odległości tych osi od wartości współrzędnych równomiernie rozmieszczonych na obwodzie 20 punktów, dla każdego z trzech przekrojów powierzchni walcowych (rys. 9) [11]. W kolejnym kroku dla obrobionych powierzchni walcowych mimośrodu  $\varnothing 40,5$  mm wyznaczono trzy zarysy okrągłości, w odległości 12; 30 i 53 mm od punktu bazowego, na podstawie pomiarów współrzędnych 20-tu punktów równomiernie rozmieszczonych na każdym z tych obwodów. W kolejnym kroku wyznaczono współrzędne  $x$  i  $y$  środków tych zarysów i obliczono wartości mimośrodu ze wzoru:  $e = \sqrt{x^2 + y^2}$ .

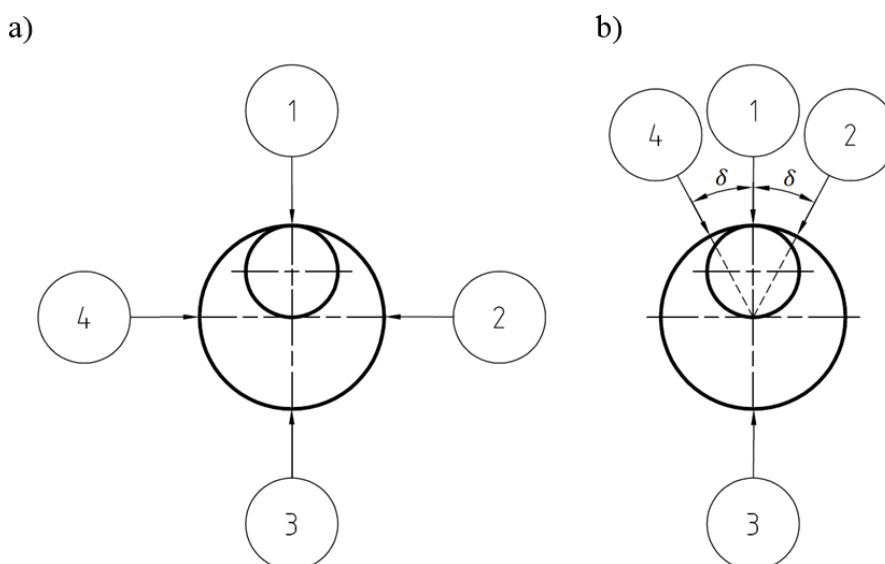


Rys. 9. Wyznaczenie wartości mimośrodu: a) wyznaczenie osi walca środkowego powierzchni bazowej, b) wyznaczenie trzech zarysów okrągłości CIR\_WM1, CIR\_WM2 i CIR\_WM3

Fig. 9. The determination of eccentricity value: a) the determination of center axis of basic surface, b) the determination of three roundness profiles CIR\_WM1, CIR\_WM2 and CIR\_WM3

Pomiary chropowatości powierzchni walcowej mimośrodu przeprowadzono za pomocą profilometru Perthometer PGK firmy Marh wyposażonego w stożkową końcówkę pomiarową o kącie  $60^\circ$  i promieniu zaokrąglenia  $r_k = 2 \mu\text{m}$ . Stosowano w trakcie pomiarów

długość odwzorowania  $l_t=17,5$  mm, długość odcinka elementarnego  $l_r=2,5$  mm, liczbę odcinków  $i=5$ , krok próbkowania  $\Delta x=2,17$   $\mu\text{m}$ , liczbę rejestrowanych punktów  $N_x=8064$ , prędkość przesuwu końcówki pomiarowej  $v_{os}=0,5$  mm/s oraz filtr Gaussa. Chropowatość powierzchni mierzono w czterech miejscach na obwodzie mimośrodowo (rys. 10) stosując trzykrotną powtarzalność. Do oceny chropowatości powierzchni walcowej mimośrodowo przyjęto następujące parametry: średnią arytmetyczną rzędnych profilu  $Ra$ , średnie kwadratowe odchylenie profilu  $Rq$ , maksymalną wysokość wzniesień profilu  $Rp$ , maksymalną głębokość wgłębień profilu  $Rv$ , największą wysokość profilu  $Rz$ , maksymalną wysokość profilu  $Rt$ , średnie kwadratowe pochylenie profilu  $Rdq$  oraz parametry krzywej udziału materiałowego (liniowego) – głębokość rdzenia chropowatości  $Rk$ , zredukowaną wysokość wzniesień  $Rpk$ , zredukowaną głębokość wgłębień  $Rvk$ , udział materiałowy wzniesień (liniowy)  $Mr1$ , udział materiałowy wgłębień  $Mr2$ , obszar wzniesień profilu wypełnionych materiałem  $A1$  i obszar wgłębień profilu wolnych od materiału  $A2$  [12,13].



Rys. 10. Miejsca pomiarów parametrów chropowatości: a) dla metody z użyciem podkładki i wielopozycyjnego przyrządu, b) dla metody z użyciem tablic krzywych;  $\delta$  – kąt wynikający ze stosunku wielkości  $e$  mimośrodowo do promienia mimośrodowo

Fig. 10. The measuring places of roughness parameters: a) for method with using washer and multi-position production jig, b) for method with using of curve tables;  $\delta$  – the angle resulting from the ratio  $e$  of the eccentric value to the eccentric radius

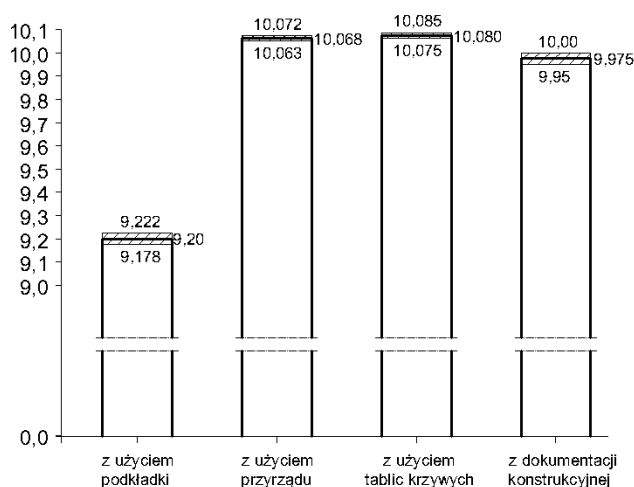
#### 4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki pomiarów wartości mimośrodowo  $e$  dla poszczególnych wariantów obróbki przedstawiono w tabeli 2 i na rysunku 11.

Jak widać z przeprowadzonych pomiarów wartości mimośrodowo uzyskane toczeniem kształtującym z zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu obróbkowego obrotowego mieszczą się w przedziale 10,063-10,072 mm i najmniej odbiegają od żądanej wartości mimośrodowo podanej w dokumentacji konstrukcyjnej  $e=10_{-0,05}$  mm.

Tabela 2. Wyniki pomiarów wartości mimośrodów na maszynie współrzędnościowej MicroXcel 765  
 Table 2. The measuring results of eccentricity value on coordinate measuring machine MicroXcel 765

|                                                                                                  |                                 | okrąg<br>CIR_WM1<br>[mm] | okrąg<br>CIR_WM2<br>[mm] | okrąg<br>CIR_WM3<br>[mm] | walec<br>CYL_BAZA<br>[mm] |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Obróbka mimośrodów<br>z użyciem podkładki                                                        | wartość współrzędnej<br>w osi X | 9,2215                   | 9,1986                   | 9,1778                   | 0,0000                    |
|                                                                                                  | wartość współrzędnej<br>w osi Y | -0,0006                  | 0,0024                   | 0,0066                   | 0,0000                    |
|                                                                                                  | średnica                        | 40,5034                  | 40,5042                  | 40,5157                  | 36,5877                   |
|                                                                                                  | $e$                             | 9,2215                   | 9,1986                   | 9,1778                   | 0,0000                    |
| Obróbka mimośrodów<br>w specjalnym przyrządzie                                                   | wartość współrzędnej<br>w osi X | 10,0633                  | 10,0663                  | 10,0716                  | 0,0000                    |
|                                                                                                  | wartość współrzędnej<br>w osi Y | -0,0037                  | -0,0132                  | -0,0219                  | 0,0000                    |
|                                                                                                  | średnica                        | 40,5076                  | 40,5134                  | 40,5143                  | 36,5395                   |
|                                                                                                  | $e$                             | 10,0633                  | 10,0633                  | 10,0716                  | 0,0000                    |
| Obróbka mimośrodów<br>z użyciem tablic krzywych<br>i kąta dyskretyzacji $\Delta C=2^\circ\alpha$ | wartość współrzędnej<br>w osi X | 10,0753                  | 10,0788                  | 10,0846                  | 0,0000                    |
|                                                                                                  | wartość współrzędnej<br>w osi Y | -0,0005                  | -0,0071                  | -0,0054                  | 0,0000                    |
|                                                                                                  | średnica                        | 40,6846                  | 40,6605                  | 40,6115                  | 36,5853                   |
|                                                                                                  | $e$                             | 10,0753                  | 10,0788                  | 10,0846                  | 0,0000                    |



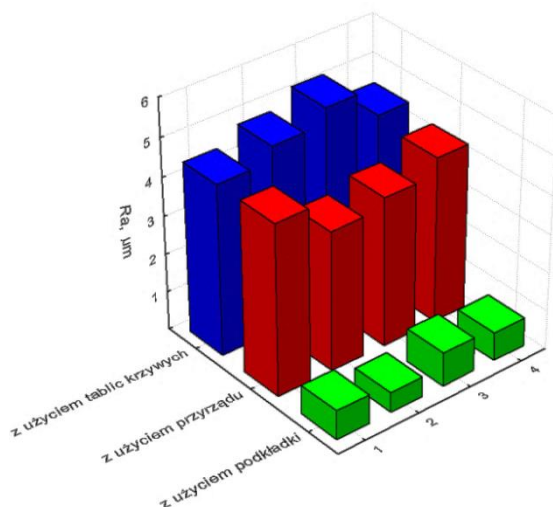
Rys. 11. Wpływ odmian obróbki mimośrodów na dokładność toczonej powierzchni mimośrodowej

Fig. 11. The influence of machining type on accuracy of turned eccentric surface

Wartości mimośrodów wałka skrzynki grzebieniowej uzyskane toczeniem z użyciem tablic krzywych i wartości kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$  są nieznacznie większe i mieszczą się w przedziale 10,075-10,085 mm. Natomiast wartości mimośrodów wałka skrzynki grzebieniowej znacznie odbiegające od wymaganej wartości uzyskano przez toczenie z użyciem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu obróbkowego. Wartości mimośrodów uzyskane tą metodą mieściły się w przedziale 9,178-9,223 mm. Przypuszcza się, że związane jest to z tym, że według wzoru (15) grubość podkładki oblicza

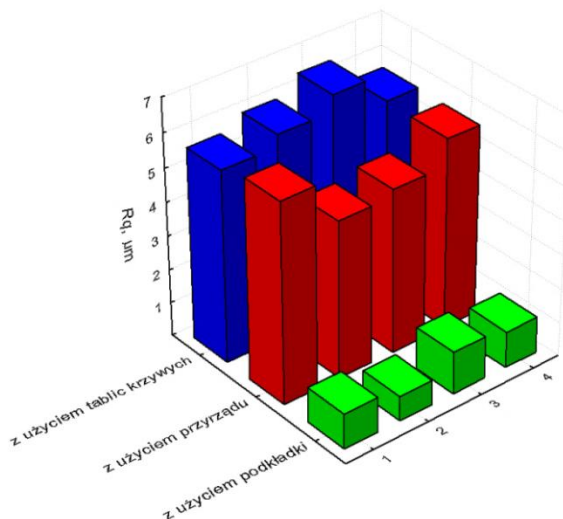
się, biorąc pod uwagę miejsce styku wałec – szczęki w płaszczyznach symetrii szczęk uchwytu tokarskiego. W rzeczywistości dwie szczęki uchwytu stykają się z powierzchnią walcową przedmiotu nie w miejscu swoich płaszczyzn symetrii (nie w punkcie K), lecz krawędziami przesuniętymi w bok (styk liniowy).

Wpływ miejsca pomiaru na obwodzie toczonej powierzchni mimośrodowej wałka skrzynki grzebieniowej na chropowatość przedstawiono na rysunkach 12-15. Analiza wartości parametrów chropowatości takich jak:  $Ra$ ,  $Rq$ ,  $Rp$  i  $Rv$ , uzyskanych z pomiarów, potwierdziła, że chropowatość na obwodzie powierzchni walcowej mimośrodu po toczeniu kształtującym trzema odmianami obróbki jest zróżnicowana i zależy od miejsca pomiaru. Ze względu na tylko trzykrotną liczbę powtórzeń dla każdego miejsca pomiaru, jako miarę rozproszenia wyników pomiarów obliczono rozstęp  $R$ .



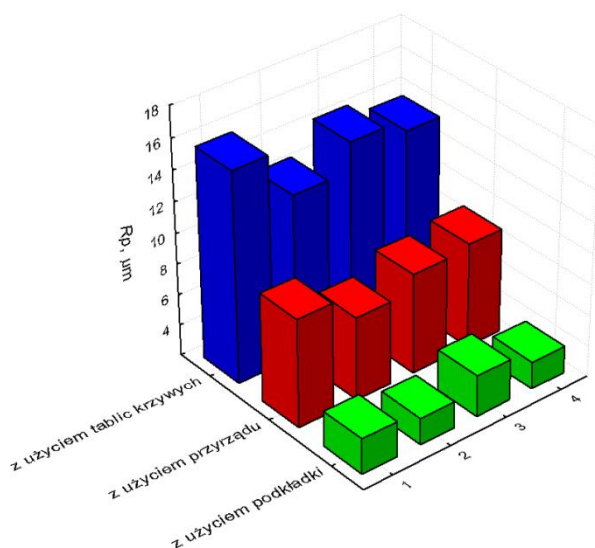
Rys. 12. Wpływ miejsca pomiaru na walcowej powierzchni mimośrodowej na chropowatość powierzchni określoną parametrem  $Ra$

Fig. 12. The influence of measuring place on eccentric cylindrical surface on roughness described by parameter  $Ra$



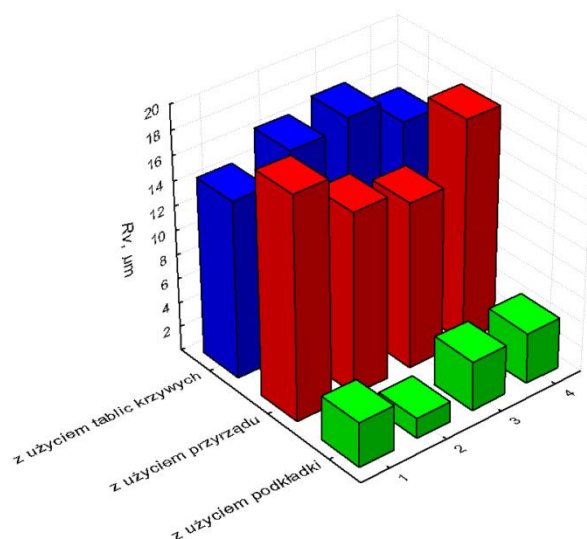
Rys. 13. Wpływ miejsca pomiaru na walcowej powierzchni mimośrodowej na chropowatość powierzchni określoną parametrem  $Rq$

Fig. 13. The influence of measuring place on eccentric cylindrical surface on roughness described by parameter  $Rq$



Rys. 14. Wpływ miejsca pomiaru na walcowej powierzchni mimośrodowej na chropowatość powierzchni określoną parametrem  $R_p$

Fig. 14. The influence of measuring place on eccentric cylindrical surface on roughness described by parameter  $R_p$



Rys. 15. Wpływ miejsca pomiaru na walcowej powierzchni mimośrodowej na chropowatość powierzchni określoną parametrem  $R_v$

Fig. 15. The influence of measuring place on eccentric cylindrical surface on roughness described by parameter  $R_v$

W przypadku toczenia kształtującego mimośrodę z użyciem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu samocentrującego chropowatość powierzchni określona średnią arytmetyczną rzędnych profilu  $R_a$  na obwodzie zmienia się od 0,49 do 0,88  $\mu\text{m}$ , zaś w przypadku toczenia kształtującego z zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu obrotowego – od 3,62 do 4,46  $\mu\text{m}$ , natomiast w przypadku toczenia kształtującego z użyciem tablic krzywych i kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$  – od 4,45 do 5,24  $\mu\text{m}$ . Najmniejsza chropowatość na powierzchni walcowej mimośrodę wystąpiła w miejscu pomiaru 2 zarówno po toczeniu kształtującym z użyciem podkładki ( $R_a=0,49\text{--}0,52$   $\mu\text{m}$ ), jak i toczeniu z zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu obrotowego ( $R_a=3,62\text{--}3,64$   $\mu\text{m}$ ).

Natomiast najmniejsza chropowatość na powierzchni mimośrodów podczas toczenia kształtującego z użyciem tablic krzywych i kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$  wystąpiła w miejscu pomiaru 1 i wyniosła  $Ra=4,45-4,46\text{ }\mu\text{m}$ . Prawie taka sama chropowatość wystąpiła również w miejscu pomiaru 4 i wyniosła  $Ra=4,47-4,48\text{ }\mu\text{m}$ . Wyraźnie większa chropowatość  $Ra=4,62-5,09\text{ }\mu\text{m}$  w miejscu pomiaru 2 wynikała z dużej ujemnej wartości kąta natarcia w układzie roboczym  $\gamma_{pu}=-28^\circ 26'$ . Różnice w wartościach parametrów chropowatości powierzchni, w tym parametru  $Ra$ , na obwodzie powierzchni mimośrodowej toczonej kształtująco z użyciem tablic krzywych i kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$  są wynikiem zmienności kątów natarcia i przyłożenia w układzie roboczym (w położeniu 2 wartości kątów ostrza wynoszą  $\alpha_{pu}=58^\circ 26'$ ,  $\gamma_{pu}=-28^\circ 26'$ , zaś w pozycji 4 –  $\alpha_{pu}=1^\circ 34'$ ,  $\gamma_{pu}=28^\circ 26'$ ).

Wartość rozstępu  $R$  wyników pomiarów chropowatości powierzchni określonej parametrem  $Ra$  dla trzech odmian toczenia powierzchni mimośrodowej, w poszczególnych miejscach na obwodzie 1, 2, 3 i 4, na ogół zawierała się w przedziale od 0,01 do 0,05  $\mu\text{m}$ . Jedynie w przypadku toczenia powierzchni mimośrodowej z użyciem podkładki wartość rozstępu, w miejscu pomiaru 1, była ponad 3-krotnie większa oraz w przypadku toczenia powierzchni mimośrodowej z użyciem tablic krzywych, w miejscu pomiaru 2, była ponad 9-krotnie większa od wartości 0,05  $\mu\text{m}$ .

Większą chropowatość powierzchni mimośrodu uzyskaną po toczeniu kształtującym z użyciem tablic krzywych i kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$ , w stosunku do chropowatości uzyskanej innymi odmianami obróbki, tłumaczyć należy bardzo małym promieniem naroża ostrza  $r_\epsilon=0,10\text{ mm}$  i bardzo małą prędkością skrawania  $v_c=7,85\text{ m/min}$ . Kilkukrotnie mniejsza chropowatość na powierzchni mimośrodu toczonego kształtująco użyciem podkładki w stosunku do chropowatości powierzchni mimośrodu toczonego zastosowaniem wielopozycyjnego przyrządu obrotowego wynikała z zastosowania dwukrotnie mniejszego posuwu  $f$  na obrót i prawie dwukrotnie większej prędkości skrawania  $v_c$ .

## 5. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy uzyskanych wyników pomiarów z przeprowadzonych badań odmian obróbki mimośrów toczeniem kształtującym stwierdza się, że:

- Odmiana z wykorzystaniem podkładki pod jedną ze szczęk trzyszczękowego uchwytu tokarskiego nie zapewnia wykonania przesunięcia mimośrodowego  $e$  o zakładanej wartości. Każde nowe ustawienie podkładki o tej samej grubości może powodować nastawienie innej wartości mimośrodu. Biorąc pod uwagę, że oś mimośrodu, po przesunięciu, znajduje się w osi wrzeciona przedmiotowego tokarki można zastosować typowy nóż tokarski.
- Zastosowanie wielopozycyjnego przyrządu obróbkowego umożliwia wykonanie przesunięcia mimośrodowego o bardzo zbliżonej wartości do podanej w dokumentacji konstrukcyjnej stosując typowy nóż tokarski. Natomiast wadą tej odmiany jest konieczność wyważenia przyrządu, co może sprawiać znaczne trudności wykonawcze. Dokładność wykonanej wartości przesunięcia mimośrodowego  $e$  zależy przede wszystkim od dokładności nastawienia kąтового tarczy pośredniczącej wraz z uchwytem względem tarczy zabierakowej.

- Odmiana polegająca na sprzężeniu ruchu osi obrotu wrzeciona C i osi poprzecznej X przy pomocy tablic krzywych daje możliwość uzyskania wartości mimośrodów o żądanej wartości podanej w dokumentacji konstrukcyjnej. Kształt mimośrodu w tej metodzie jest opisany za pomocą wieloboku, co wynika z przyjętego kąta dyskretyzacji  $\Delta C=2^\circ$ . Odmiana ta, eliminuje całkowicie dodatkowe oprzyrządowanie i pozwala na obróbkę danej części w jednym ustawieniu i jednej pozycji. Obróbka mimośrodu na tokarkach CNC posiadających tylko osie X i Z ograniczona jest wielkością mimośrodu  $e$  i kątem przyłożenia ostrza narzędzia  $\alpha_p$ , co w niektórych przypadkach wymaga zaprojektowania i wykonania specjalnego noża tokarskiego.

Podsumowując można powiedzieć, że odmiana z zastosowaniem tablic krzywych na tokarkę sterowaną numerycznie jest obecnie najbardziej uniwersalną odmianą wykonywania mimośrodu wałka skrzynki grzebieniowej.

#### LITERATURA

- [1] CHOROSZY B., 2000, *Technologia maszyn*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [2] SOKOŁOWSKI A.P., 1954, *Kurs technologii budowy maszyn*. Cz. II (Technologia obróbki części maszynowych), PWT, Warszawa.
- [3] TYMOWSKI J., 1989, *Technologia budowy maszyn*, Wyd. 3, PWN, Warszawa.
- [4] PŁONKA S., 2010, *Obróbka części klasy mimośrodu w jednym ustawieniu oraz w jednym ustawieniu w kilku pozycjach*, Praca niepublikowana. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej.
- [5] Prospekt firmy HORVATH GmbH, *Exzenter – Spannfutter, System Fischer*, Nr.1905/4.
- [6] <http://www.horvathgmbh.de/index.html>
- [7] PYTLAK B., 2015, *Toczenie powierzchni mimośrodowych*, Mechanik, 88/3, 59-65.
- [8] PYTLAK B., 2017, *Program obróbki wałka mimośrodowego skrzynki grzebieniowej na tokarkę TUG-56MN CNC z układem sterowania SINUMERIK*, Praca niepublikowana, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej.
- [9] CICHOSZ P., 2015, *Narzędzia skrawające*, WNT, Warszawa.
- [10] GRZESIK W., 2010, *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*, Wyd. II, WNT, Warszawa.
- [11] ADAMCZAK S., 2008, *Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość*, WNT, Warszawa.
- [12] STOUT K.J., BLUNT L., 2000, *Three dimensional surface topography*, Penton Press, London.
- [13] ISO 25178-2:2012 (E) – *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: terms, definitions and surface texture parameters*.

#### THE INFLUENCE OF MACHINING METHOD OF ECCENTRIC WORKPIECES FOR ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS

The machining methods of eccentric workpieces were characterized in the paper. The impact of the machining method on the accuracy and surface roughness of the eccentric surface was determined. The analysed example was machining method of eccentric shaft for comb box on CNC lathe TUG-56MN. The received values for turned eccentric shape with using curves table and discretization angle  $\Delta C=2^\circ$  and using a multi-position production jig were almost identical, while the value for turned eccentric shape with use washer under one of the jaws of self-centering chuck are differed from the required value given in the construction documentation. The roughness of received surface determined by the average roughness  $R_a$  on the periphery of the turned eccentric shape is changed in particular with the use of curved tables as a result of changes in edge geometry at different angular positions of the machined eccentricity. The largest surface roughness of the eccentric occurred during turning using curved tables, while the smallest using a washer under one of the jaws of the self-centering lathe.

Keywords: *eccentric workpiece machining, dimensional accuracy, surface roughness*