

Nr 105/2018, 87–97  
ISSN 2451-2486 (online)  
ISSN 1644-1818 (printed)  
DOI: 10.26408/105.08

Złożony/submitted: 19.04.2018  
Zaakceptowany/accepted: 08.05.2018  
Opublikowany/published: 29.09.2018

## MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA PRZYRZĄDU HOMMEL ETAMIC F50 DO POMIARU ODCHYLEK OKRĄGŁOŚCI WAŁKÓW PO TOCZENIU WYKOŃCZENIOWYM

### POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE HOMMEL ETAMIC F50 DEVICE FOR MEASURING ROUNDNESS DEVIATIONS OF SHAFTS AFTER FINISH TURNING

**Wojciech Labuda\*, Eryk Iwaszko**

Uniwersytet Morski w Gdyni, Morska 81-87, 81–225 Gdynia  
Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów,  
e-mail: w.labuda@wm.am.gdynia.pl, ORCID 0000-0002-8589-8053

\*Adres do korespondencji/Corresponding author

**Streszczenie:** Jednym z problemów współczesnych technik wytwarzania jest zapewnienie odpowiedniej jakości wyrobu, przy minimalizacji kosztów i jednoczesnym wzroście wydajności produkcji. Podczas obróbki wykończeniowej nadawane są ostateczne wymiary i właściwości użytkowe danego elementu, dlatego też niezbędna jest kontrola ich geometrii – w tym odchyłek kształtu. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zmiany parametrów skrawania na wartość odchyłek okrągłości wałków toczonych płytką Wiper. Badania przeprowadzono na wałku o średnicy 39 mm, wykonanym ze stali konstrukcyjnej S235JR. Proces toczenia czopów wału zrealizowano na tokarce uniwersalnej kłowej CU500MRD. Podczas badań wykorzystano nóż tokarski z wymienną płytką skrawającą WNMG-080408 WF. Pomiar odchyłek kształtu wykonano przyrządem Hommel Etamic F50. Urządzenie umożliwia wykonanie precyzyjnych i wydajnych pomiarów odchyłek okrągłości w postaci kompaktowego systemu pomiarowego.

**Słowa kluczowe:** toczenie wykończeniowe, parametry skrawania, odchyłki okrągłości.

**Abstract:** One of the greatest problem of modern production techniques is the achievement of an appropriate quality at minimal costs and accompanied by the production efficiency increase. During finish treatment the final dimensions as well as functional properties are imparted to a given element by application of proper treatment type. Therefore, it is necessary to control their geometry – including deviations of shape. The paper presents the results of influence of changing cutting parameters on the values of the roundness deviations of shafts after turning process by Wiper type insert. The turning process of shaft pins  $\phi 39$  mm in diameter, made of S235JR standard steel was carried out on a CU500MRD universal lathe. The turning process was conducted by WNMG-080408 WF replacable insert. The measurement of shape deviation was recorded using a Hommel Etamic F50. The device allows to provide precise and efficient measurements of roundness deviations in the form of a compact measuring system.

**Keywords:** finish turning, shape deviations, roundness deviations.

## 1. WSTĘP

Jednym z najważniejszych etapów prognozowania zadań na rzecz podniesienia jakości użytkowej maszyn i urządzeń jest rozwój metod sterowania ich cechami trwałościowo-niezawodnościowymi. Obiekt musi poprawnie spełniać swoje zadania w określonych warunkach i czasie [Przybylski 2005]. Badania wykazują, że blisko 80% uszkodzeń części maszyn ma swój początek w warstwie wierzchniej wyrobu, a 50% energii kinetycznej traci się na pokonanie oporów tarcia [Przybylski 2005].

Proces wytwarzania części maszyn związany jest z konstytuowaniem na powierzchni obrabianego materiału technologicznej warstwy wierzchniej (TWW). Zapewnienie odpowiedniej konstrukcji, materiału i technologii wytwarzania powinien zapewnić żądany stan początkowy elementu obrabianego [Burakowski i Marczak 1995, Burakowski i in. 1998].

Najbardziej rozpowszechnionym i uniwersalnym sposobem usuwania warstwy naddatku materiału jest proces skrawania. Do podstawowych metod kształtowania warstwy wierzchniej czopów wałów zalicza się proces toczenia wykończeniowego.

Podstawowymi cechami warstwy wierzchniej (WW), które mają zdecydowany wpływ na właściwości użytkowe części maszyn, są: chropowatość powierzchni, skład chemiczny i struktura WW, skład chemiczny i budowa warstw tlenkowych, umocnienie WW, rozkład naprężeń, wielkość i rozkład: wtrąceń, nieciągłości i wad struktury [Nadolny, Selech i Tyczewski 2003].

Wymienione właściwości użytkowe elementów maszyn można kształtować przez odpowiedni dobór technologii obróbki wykończeniowej. Wiele ośrodków naukowych, w tym również Akademia Morska w Gdyni, prowadzi badania związane z obróbką materiałów trudno obrabialnych [Dyl i Starosta 2011; 2012; Starosta i Dyl 2011; Dyl 2013a,b; Labuda 2014; Labuda i Charchalis 2014; Labuda 2016; Labuda i Kozyra 2016; Labuda 2017a,b,c].

Podstawowymi częściami maszyn są elementy walcowe oraz ich połączenia. Elementy obrotowe stanowią znaczącą i liczną grupę części maszyn, występującą w wielu gałęziach przemysłu. Rozwój technologii powoduje, że wymagania dotyczące dokładności kształtowo-wymiarowej elementów obrotowych są bardzo wysokie, dlatego istotną rolę w procesie kontroli pełni zastosowanie odpowiedniej metody pomiaru ich odchyłek kształtu. Rosnące wymagania dla dokładności wytwarzania przedmiotu determinuje konieczność ulepszania metod i narzędzi do kontroli ich powierzchni. W metrologii długości i średnicy odchyłki okrągłości często mierzy się jako pomiar dwupunktowy, czyli kontrola odchyłek kształtu elementów obrotowych jest przeprowadzana na podstawie analizy wyników pomiarów 2D. Mniej powszechny jest pomiar parametrów przestrzennych, które odnoszą się do całej powierzchni, a nie jedynie do zarysów 2D. Obecnie pomiary parametrów 3D są w praktyce ograniczone do pomiarów odchyłek walcowości.

Proces ten ma na celu określenie, czy uzyskane wyniki pomiarów mieszczą się w polu tolerancji, określonej w dokumentacji technologicznej.

Najczęściej używanymi obrotowymi częściami maszyn są walce i elementy sferyczne, nierzadko jednak tworzące je elementy mogą mieć kształt stożka, baryłki lub siodła.

Wiele czynników ma wpływ na odchyłki geometryczne powierzchni, a różne źródła błędów w procesie wytwarzania pozostawiają ślady na powierzchni elementu obrabianego. Odchyłki geometryczne są łącznym efektem oddziaływania tych źródeł [Poniatowska 2009; Król i in. 2012; Nowakowski i Gapiński 2013; Zakharov, Bobrovskij i Kochetkov 2016; Widmaier i in. 2017; Adamczak i Stępień 2018].

Realizowane badania mają na celu określenie zbioru czynników wejściowych, stałych i zakłócających dla procesu toczenia wykończeniowego czopów wałów, mających wpływ na strukturę geometryczną powierzchni (SGP) oraz siły i temperaturę podczas procesu toczenia. W artykule przedstawiono badania wpływu zmiany posuwu  $f$  [mm/obr] oraz głębokości skrawania  $ap$  [mm] na odchyłki okrągłości po przeprowadzonym procesie toczenia z wykorzystaniem płytki dogładzającej. Proces toczenia realizowany był przy stałej prędkości skrawania  $V_c = 245$  m/min.

## 2. METODYKA BADAŃ

Proces toczenia wykończeniowego czopów wału o średnicy  $\phi 39$  mm przeprowadzono na tokarce CU500MRD (rys. 1).



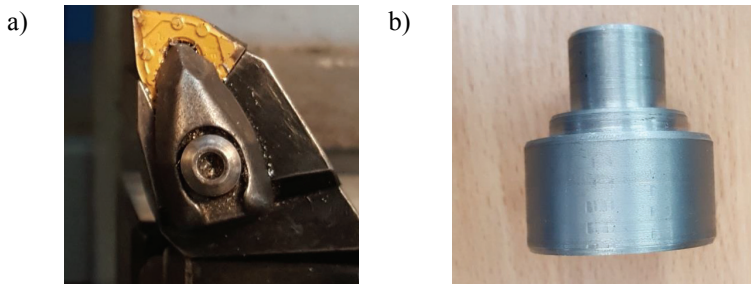
**Rys. 1.** Tokarka CU500MRD

**Fig. 1.** Lathe type CU500MRD

Do procesu skrawania użyto wymiennej płytki dogładzającej typu wiper WNMG-080408 WF (rys. 2a). Płytki te zapewniają wysoką wydajność obróbki półwykończeniowej oraz wykończeniowej. Odpowiednia geometria ostrza umożliwia stosowanie dwukrotnie większych posuwów przy zachowaniu takiej samej jakości wykończenia powierzchni, w porównaniu z tradycyjnymi płytkami. Natomiast zastosowanie takiego samego posuwu jak dla płytek standardowych pozwala na uzyskanie dwukrotnie mniejszej wartości parametru chropowatości powierzchni. Promień naroża płytki wykorzystanej w procesie toczenia wykończeniowego wynosił  $r\epsilon = 0,8$  mm.

Parametry skrawania dla płytki zostały dobrane z katalogu producenta i wynoszą odpowiednio: prędkość skrawania  $V_c = 270$  m/min, posuw  $f = 3$  (0,1–0,5) mm/obr oraz głębokość skrawania  $ap = 1$  (0,25–4) mm. W celu realizacji badań ograniczono zakres wartości parametrów  $ap$  oraz  $f$  dla obróbki wykończeniowej, natomiast wartość prędkości skrawania zredukowano do wartości wynikającej z możliwości nastawczych obrabiarki.

Wartości parametrów technologicznych procesu skrawania przedstawiono w tabeli 1. Próbkę wykonano ze stali konstrukcyjnej zwykłej jakości S235JR (rys. 2b).



**Rys. 2.** Płytką WNMG-080408 WF (a), przykładowy wałek użyty w badaniach (b)

**Fig. 2.** WNMG-080408 WF insert (a) and the sample used in research (b)

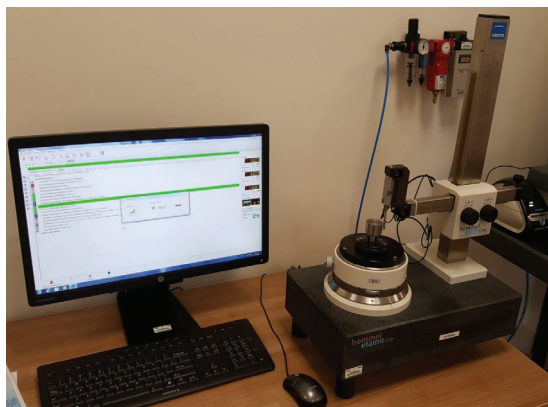
**Tabela 1.** Parametry skrawania podczas procesu toczenia

**Table 1.** Cutting parameters used in turning process

Oznaczenie płytki	Parametry skrawania		
	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/obr]	$ap$ [mm]
WNMG-080408 WF	245	0,2	0,5
		0,3	1,0
		0,4	1,5

Po zamocowaniu próbki w uchwycie trójściskowym przeprowadzono proces toczenia wstępnego, którego celem było usunięcie bicia próbki, z parametrami skrawania równymi:  $V_c = 245$  m/min,  $f = 0,2$  mm/obr oraz  $ap = 0,5$  mm. Proces obróbki skrawaniem przeprowadzono bez użycia cieczy chłodząco-smarującej.

Do pomiarów odchyłek okrągłości wykorzystano przyrząd F50 z oprogramowaniem Turbo Form (rys. 3). Przyrząd jest wykorzystywany do pomiarów podstawowych odchyłek kształtu i położenia, zgodnie z normą DIN ISO1101. Oprogramowanie oferuje szeroki zakres opcji do pomiaru i oceny tolerancji kształtu i położenia.

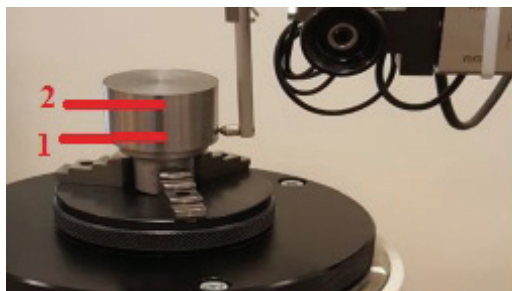


Rys. 3. Stanowisko pomiarowe Hommel-Etamic F50

Fig. 3. Hommel-Etamic F50 research stand

### 3. WYNIKI BADAŃ

Po przeprowadzonym procesie centrowania i poziomowania próbki w uchwycie trójściskowym wykonano pomiary odchyłek okrągłości wałków w dwóch miejscach pomiarowych (rys. 4).



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe Hommel-Etamic F50

Fig. 4. Hommel-Etamic F50 research stand

Proces centrowania i pomiarów odchyłek kształtu wykonano w odległości około 5 mm od powierzchni czołowych próbek.

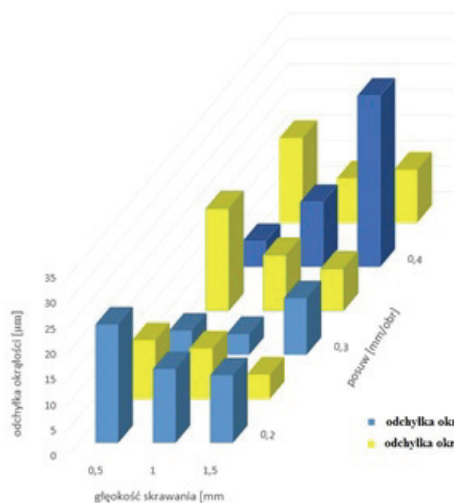
W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań wpływu zmiany warunków obróbki na wartość odchyłek okrągłości.

Graficzną interpretację z uzyskanych wyników prezentuje rysunek 5.

**Tabela 2.** Wyniki pomiarów odchyłek okrągłości

**Table 2.** Results of roundness deviations

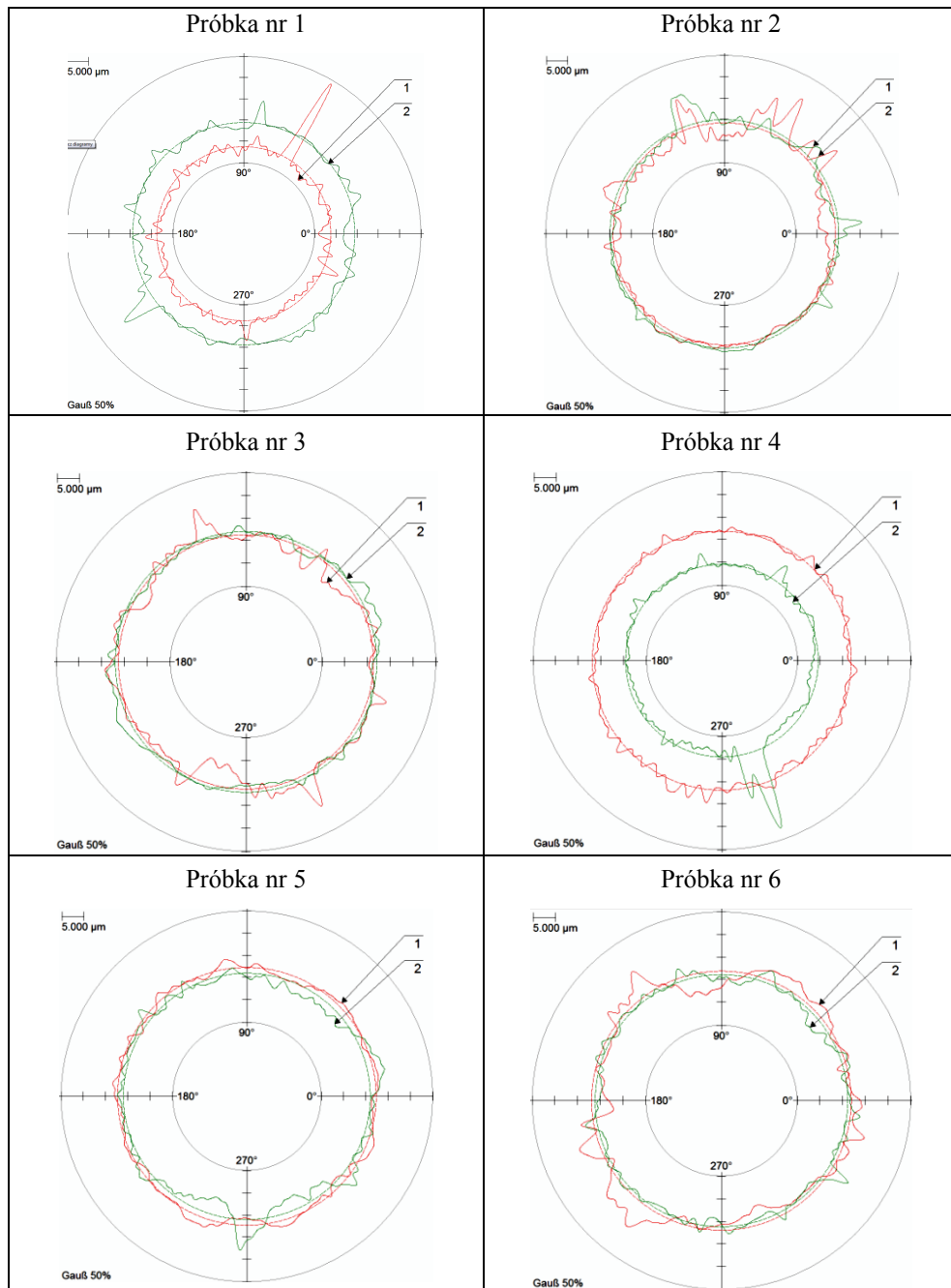
Numer próbki	Parametry skrawania			Odchyłka okrągłości 1 [μm]	Odchyłka okrągłości 2 [μm]
	Vc [m/min]	f [mm/obr]	ap [mm]		
1	245	0,2	0,5	11,47	23,22
2			1	9,87	14,48
3			1,5	4,74	13,27
4		0,3	0,5	20,02	4,74
5			1	10,89	4,06
6			1,5	8,21	11,09
7		0,4	0,5	16,58	5,01
8			1	8,66	12,67
9			1,5	10,36	33,52



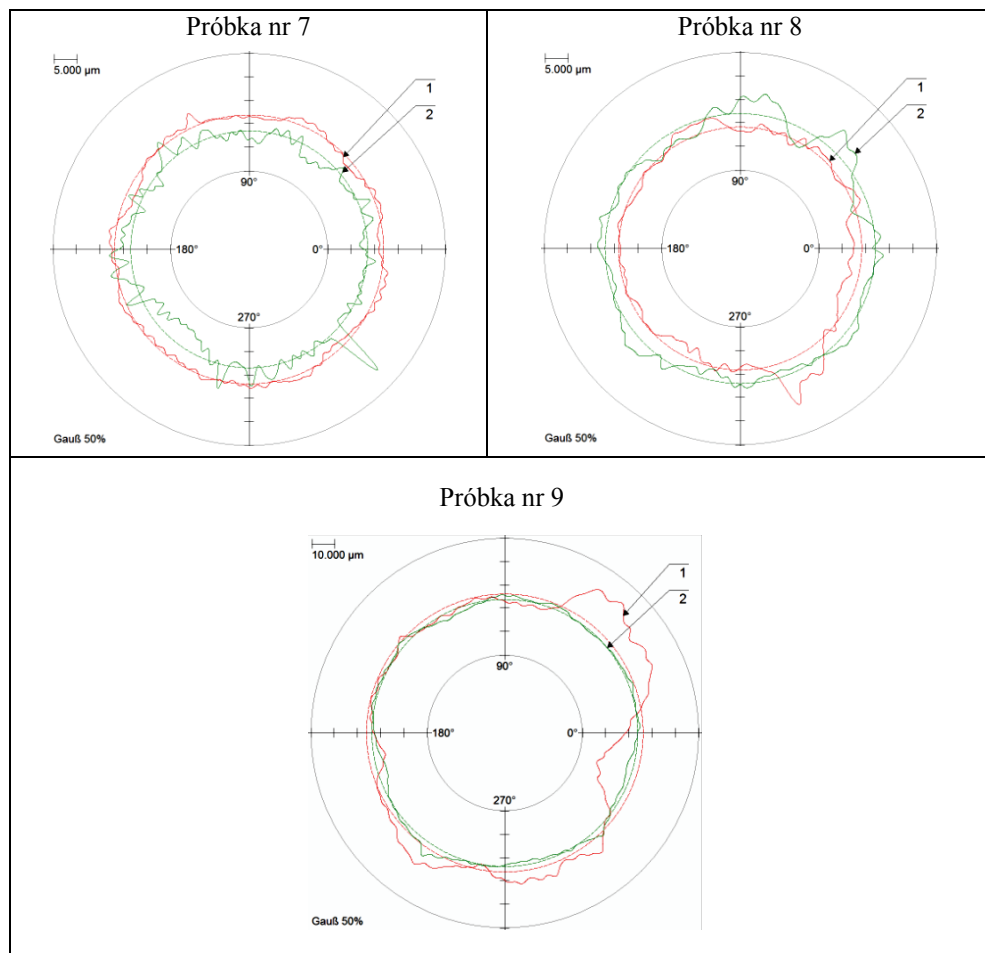
**Rys. 5.** Wyniki pomiarów odchyłek okrągłości

**Fig. 5.** Results of roundness deviations

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono widok odchyłek okrągłości z pomiarów nr 1 i 2 dla poszczególnych próbek.



**Rys. 6.** Widok odchyłek okrągłości dla próbek 1–6  
**Fig. 6.** The view of roundness deviations for samples 1–6



**Rys. 7.** Widok odchyłek okrągłości dla próbek 7–9

**Fig. 7.** The view of roundness deviations for samples 7–9

Proces toczenia wykończeniowego ze zmiennymi wartościami parametrów skrawania pozwolił na uzyskanie zróżnicowanych wyników pomiarów odchyłek okrągłości. Najwyższą jej wartość ( $33,52 \mu\text{m}$ ) uzyskano dla procesu toczenia z maksymalną wartością głębokości skrawania  $ap = 1,5 \text{ mm}$  oraz posuwu  $f = 0,4 \text{ mm/obr.}$  Natomiast jej najniższą wartość ( $4,06 \mu\text{m}$ ) uzyskano dla procesu skrawania z  $ap = 1 \text{ mm}$  oraz  $f = 0,3 \text{ mm/obr.}$  Największą różnicę między analizowanymi miejscami pomiarowymi zaobserwowano dla próbki nr 4. Odchyłka okrągłości 1 ( $4,74 \mu\text{m}$ ) jest ponad czterokrotnie mniejsza niż wartość odchyłki zmierzona w pozycji 2. Natomiast najmniejszą różnicę między wartościami odchyłek zaobserwowano na próbce nr 6 i wyniosła ona  $2,88 \mu\text{m}$ .



Analiza wyników pomiarów odchyłek okrągłości 2 wykazała, że wraz ze wzrostem głębokości skrawania wartość jej maleje dla wszystkich wartości posuwów. Dla odchyłek okrągłości mierzonych w miejscu pomiarowym nr 1 nie występuje taka zależność.

Pomiary odchyłek okrągłości, które wykonane zostały na pełnym zarysie próbki, pozwoliły zaobserwować wpływ miejscowych nierówności powierzchni na uzyskane wartości pomiarów. Przeprowadzone badania wykazały różnice uzyskiwanych wartości odchyłek okrągłości dla zmiennych parametrów skrawania i poszczególnych miejsc pomiarowych.

#### **4. WNIOSKI**

Artykuł jest jednym z serii, który ma na celu określenie zbioru czynników wejściowych, stałych i zakłócających dla procesu toczenia wykończeniowego czopów wałków, wykonanych ze stali nierdzewnej. Istotną rolę w obróbce wykończeniowej odgrywają prawidłowo dobrane warunki procesu skrawania. Błędy technologów negatywnie wpływają na ostateczne wymiary i właściwości użytkowe danego elementu, dlatego ważnym aspektem w kontroli procesu wytwarzania części maszyn jest analiza składowych struktury geometrycznej powierzchni. Niezbędna jest więc kontrola ich geometrii – w tym odchyłek kształtu.

Przyczyny odchyłek kształtu stanowią m.in. odchyłki prowadnic obrabiarki, odkształcenia obrabianego przedmiotu lub elementów obrabiarki oraz nieprawidłowe zamocowanie. Falistość powierzchni powodują m.in. odchyłki geometryczne lub odchyłki ruchu narzędzia, drgania obrabiarki lub narzędzia. Chropowatość jest spowodowana kształtem ostrza narzędzia oraz posuwem wzdłużnym lub wglębnym narzędzia, a także drganiami na styku przedmiot – narzędzie.

W przypadku pomiaru odchyłek kształtu elementów obrotowych powszechnie stosowane są strategie równomiernego próbkowania. Jeśli na mierzonym elemencie występują lokalne nierówności powierzchni, to nie zawsze metoda ta daje pożądane rezultaty. Wówczas lepszym rozwiązaniem mogłyby być strategie nierównomiernego próbkowania, w których trajektoria skanowania zostaje dopasowana do przewidywanych lub wykrytych nierówności.

Przyrząd pomiarowy F50 umożliwia w łatwy i szybki sposób wykonanie pomiarów odchyłek kształtu dla serii próbek. Pomiar rzeczywistego konturu elementu pozwala precyzyjnie określić wartość odchyłki oraz umożliwia dokładne zlokalizowanie pojedynczych nierówności powierzchni.

## LITERATURA

- Adamczak, S., Stepień, K., 2018, *Analiza strategii pomiaru odchyłek kształtu elementów obrotowych*, Mechanik, nr 2.
- Burakowski, T., 1999, *Tribologia a inżynieria powierzchni*, Tribologia, nr 6.
- Burakowski, T., Marczak, R., 1995, *Eksploatacyjna warstwa wierzchnia i jej badanie*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, nr 3.
- Burakowski, T., Marczak, R., Senatorski, J., Szumniak, J., 1998, *Konstituowanie eksploatacyjne warstwy wierzchniej w procesie tarcia technicznie suchego*, Problemy Eksploatacji, nr 2.
- Cicholska, M., Czechowski, M., 2005, *Materiałoznawstwo okrętowe*, Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia.
- Dyl, T., 2013a, *Finishing Intermetallic Coatings in Order to Reduce the Surface Roughness*, Journal of KONES, vol. 20, no. 1.
- Dyl, T., 2013b, *The Finishing of Composite Coatings in Aspect of Surface Roughness Reduction*, Journal of KONES, vol. 20, no. 2.
- Dyl, T., Starosta, R., 2011, *Wpływ geometrii i gatunku płytek skrawających na strukturę geometryczną toczonych powłok stopowych*, Inżynieria Materiałowa, nr 4.
- Dyl, T., Starosta, R., 2012, *Określenie wpływu geometrii i rodzaju materiału płytek skrawających na topografię toczonych powłok kompozytowych*, Inżynieria Materiałowa, nr 6.
- Król, K., Kołodziejczyk, K., Olejarczyk, K., Wikło, M., Siemiątkowski, Z., 2012, *Odchyłki kształtu wielkogabarytowych monolitycznych wałów korbowych: analiza przyczyn, metoda pomiaru i skutki technologiczne*, Modelowanie Inżynierskie, nr 44.
- Labuda, W., 2014, *The Analysis of Cutting Tool Geometric on Cutting Forces and Surface Roughness of Steel Applied to Marine Pumps Shaft Pins*, Journal of KONES, vol. 21, no. 1.
- Labuda, W., 2016, *The Influence of Treatment Conditions on Cutting Forces and Surface Roughness*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 23, no. 1, s. 207–214.
- Labuda, W., 2017a, *Analiza rozkładu sił skrawania podczas zmiennych warunków obróbki wałów wykonanych ze stali nierdzewnej*, Zeszyty Naukowe AM w Gdyni, nr 100, s. 120–130.
- Labuda, W., 2017b, *The Influence of Changing of Cutting Parameters on Temperature and Cutting Forces During Turning Process of Stainless Steel with CCET09T302R-MF Insert*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 24, no 4, s.133–140.
- Labuda, W., 2017c, *The Influence of Cutting Parameters on Surface Roughness Parameter of Stainless Steel After Finishing Turning of CCET09T302R-MF Insert*, METAL 2017: 26<sup>th</sup> International Conference on Metallurgy and Materials, TANGER Ltd., Ostrava.
- Labuda, W., Charchalis, A., 2014, *Ocena wpływu geometrii noża tokarskiego na strukturę geometryczną powierzchni czopów wałów wykonanych ze stali austenitycznej*, Logistyka, nr 6.
- Labuda, W., Kozyra, D., 2016, *Wpływ zmiany głębokości skrawania na wartość sił skrawania i parametr chropowatości powierzchni podczas toczenia czopów wałów*, Zeszyty Naukowe AM w Gdyni, nr 96, Gdynia, s. 82–91.
- Nadolny, K., Selech, J., Tyczewski, P., 2003, *Zmiany struktury geometrycznej powierzchni powstałe podczas testów zużyciowych*, Tribologia, nr 5.
- Nowakowski, P., Gapiński, B., *Analiza niepewności pomiaru odchyłki walcowości w zależności od stosowanej strategii pomiaru*, Inżynieria Maszyn, nr 3.

- Poniatowska, M., 2009, *Charakterystyka przestrzenna odchyłek geometrycznych wyznaczanych w pomiarach współrzędnościowych powierzchni swobodnych*, Acta Mechanica et Automatica, vol. 3, no. 2.
- Przybylski, W., 2005, *Współczesne problemy w technologii obróbki przez nagniatanie*, Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- Przybylski, W., 2008, *Współczesne problemy w technologii obróbki przez nagniatanie*, t. 2, Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- Starosta, R., Dyl, T., 2011, *Obróbka wykańczająca natryskiwanych płomieniowo powłok Ni-Al, ocena zużycia borazonowych płytek skrawających*, Tribologia. Teoria i Praktyka, nr 4.
- Widmaier, T., Hemming, B., Juhanko, J., Kuosmanen, P., Esala, V.-P., Lassila, A., Laukkanen, P., Haikio, J., 2017, *Application of Monte Carlo Simulation for Estimation of Uncertainty of Four-point Roundness Measurements of Rolls*, Precision Engineering, Journal of the International Societies for Precisionengineering and Nanotechnology, no. 48.
- Zakharov, O.V., Bobrovskij, I.N., Kochetkov, A.V., 2016, *Analysis of Methods for Estimation of Machine Workpiece Roundness*, Procedia Engineering, no. 150.