

Ocena dokładności odniesieniowych pomiarów zarysów falistości części maszyn

Accuracy assessment of V-block measurements of waviness profiles of machine parts

STANISŁAW ADAMCZAK
PAWEŁ ZMARZŁY *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.466

Głównym celem badań było przeanalizowanie dokładności odniesieniowych pomiarów zarysów falistości. Przedstawiono zmodyfikowaną konstrukcję przyrządu pomiarowego służącego do pomiaru odchyłki falistości powierzchni cylindrycznych metodą odniesieniową. Dokonano oceny dokładności rozpatrywanej metody pomiarowej, bazując na eksperymentalnych badaniach porównawczych. Wyniki badań wykazały, że modyfikacja przyrządu pomiarowego zwiększyła dokładność odniesieniowych pomiarów zarysów falistości.

SŁOWA KLUCZOWE: metoda odniesieniowa, profil falistości, dokładność metody, współczynnik wykrywalności

The main goal of research was to analyse the accuracy of V-block waviness measurement. The paper presents a modified structure of measuring device used to measure waviness deviation of cylindrical parts based on V-block method. Accuracy assessment of the presented method was carried out based on the comparative researches. The results indicated that modification of measuring device increases accuracy of V-block waviness measurements.

KEYWORDS: V-block method, waviness profile, method accuracy, coefficient of detectability

Można wyróżnić dwie podstawowe grupy metod służących do oceny zarysów kształtu powierzchni cylindrycznych. Pierwszą grupę stanowią metody bezodniesieniowe realizowane głównie za pośrednictwem przyrządów z obrotowym stołem lub obrotowym czujnikiem. Metody te są powszechnie stosowane w warunkach laboratoryjnych i cechują się wysoką dokładnością pomiarową [1, 2]. Jednakże zastosowanie przyrządów pomiarowych bazujących na metodzie bezodniesieniowej do realizacji pomiarów bezpośrednio na obrabiarce lub stanowisku roboczym jest utrudnione. Również pomiar elementów cylindrycznych o dużych wymiarach i ciężarze jest w niektórych przypadkach niemożliwy. Należy dodać, że systemy pomiarowe wykorzystujące metodę pomiaru zmian promienia są przyrządami specjalistycznymi, w związku z tym ich cena jest wysoka. Drugą grupę metod pomiarowych służących do analizy powierzchni cylindrycznych stanowią metody odniesieniowe. Metody te na początku cechowały się małą dokładnością i były stosowane jedynie do przybliżonej oceny odchyłki okrągłości [3]. Jednakże po zastosowaniu odpowiedniego modelu matematycznego oraz procedur komputerowych metody te mogą być stosowane do oceny odchyłki okrągłości [4–6], walcowości [7, 8] oraz falistości w zakresie 16–50 fal/obrót [9].

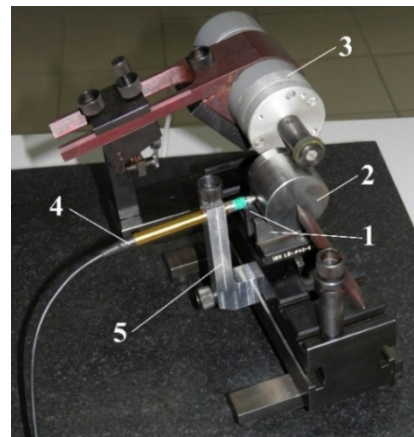
W celu dokonania pomiaru realizowanego metodą odniesieniową stosuje się model matematyczny wyrażony przez współczynnik wykrywalności K_n [7, 9, 10]. Współczynnik ten zależy między innymi od kątowych parametrów metody odniesieniowej. Parametry te określają kąt rozwarcia przyzmy pomiarowej (2α) oraz położenie osi czujnika pomiarowego w stosunku do obranego układu współrzędnych (kąt β). Dla niektórych wartości kąta α oraz β , współczynniki wykrywalności się zerują. Jest to zjawisko niepożądane, ponieważ nie jesteśmy w stanie wykryć wszystkich składowych harmonicznych profilu mierzonego, a tym samym obniża to dokładność pomiarową rozpatrywanej metody. Dlatego należy stosować takie parametry metody odniesieniowej, aby współczynniki wykrywalności w interesującym nas zakresie nie zerowały się.

Pomimo tego, że istnieje wiele różnych kombinacji kątowych parametrów metody odniesieniowej pozwalających na uzyskanie dodatnich wartości współczynników wykrywalności K_n w zakresie $n < 16,50$ [10], jednakże ich praktyczne zastosowanie w przyrządzie pomiarowym jest znacznie utrudnione z przyczyn konstrukcyjnych.

W związku z tym autorzy artykułu tak zmodyfikowali konstrukcję przyrządu pomiarowego służącego do oceny odchyłki okrągłości oraz falistości powierzchni cylindrycznych, aby wszystkie składowe falistości w zakresie 16–50 fal/obrót zostały wykryte. Procedura została przeprowadzona w celu zwiększenia dokładności pomiarowej rozpatrywanej metody.

Modyfikacja przyrządu pomiarowego ROL-2

Przyrząd pomiarowy ROL-2 służy do analizy odchyłki falistości powierzchni cylindrycznych w zakresie 16–50 fal/obrót. Na rys. 1 przedstawiono fotografię przyrządu ROL-2 po przeprowadzonej modyfikacji konstrukcji.



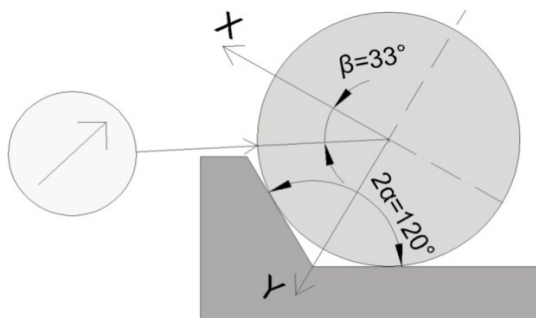
Rys. 1. Przyrząd pomiarowy ROL-2 stosowany do odniesieniowych pomiarów zarysów falistości

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c. (adamczak@tu.kielce.pl), dr inż. Paweł Zmarzły (pzmarzly@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

Zasada działania przyrządu pomiarowego jest stosunkowo prosta. Na dwóch pryzmach nożowych (1) o kącie rozwarcia $2\alpha = 120^\circ$ umieszczony jest przedmiot mierzony (2), który wprawiany jest w ruch obrotowy za pośrednictwem systemu napędowego (3). Indukcyjny czujnik pomiarowy (4) zamocowany w uchwycie (5) zbiera punkty pomiarowe z powierzchni mierzonego elementu. Wówczas zapisywany jest profil pierwotny. Następnie za pośrednictwem autorskiego oprogramowania zostaje przeprowadzona transformacja profilu pierwotnego na profil przetworzony. Po odpowiedniej filtracji wyznaczona jest odchyłka falistości w zakresie 16–50 fal/obrót.

W oryginalnym rozwiązaniu przyrządu pomiarowego ROL-2 czujnik pomiarowy usytuowany jest w stosunku do obranej osi X pod kątem 30° . Uzyskano wówczas następujące parametry metody odniesieniowej: $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 30^\circ$. Taka kombinacja kątów nie pozwala na wykrycie wszystkich składowych harmonicznych profilu pierwotnego w zakresie 16–50 fal/obrót, ponieważ niektóre współczynniki wykrywalności są zerowe (K_{23} , K_{25} , K_{35} , K_{37} , K_{47} , K_{49}). Obniża to dokładność pomiarową metody odniesieniowej. Wyniki badań porównawczych przedstawione w pracy [9] wykazały, że dokładność odniesieniowych pomiarów zarysów falistości dla kątów $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 30^\circ$ wynosiła odpowiednio $DM = 28,1\%$ (dla nominalnych parametrów metody) oraz $DM = 22,4\%$ (dla rzeczywistych parametrów).

Bazując na wynikach badań symulacyjnych przedstawionych w pracy [10] stwierdzono, że para kątów $\alpha = 60^\circ$ oraz $\beta = 33^\circ$, pozwala na uzyskanie dodatnich współczynników wykrywalności K_n w zakresie $n \in <16,50>$. Zaproponowana para kątów w łatwy sposób może być zastosowana w przyrządzie pomiarowym ROL-2, ponieważ wymaga jedynie modyfikacji położenia czujnika pomiarowego. W związku z tym wykonano nowy uchwyt pomiarowy (patrz 5 na rys. 1), uzyskując w ten sposób żądane parametry metody odniesieniowej, tak jak to przedstawiono na rys. 2. Następnie przeprowadzono badania mające na celu wyznaczenie dokładności odniesieniowych zarysów falistości na zmodyfikowanym przyrządzie pomiarowym ROL-2.



Rys. 2. Parametry metody odniesieniowej uzyskane w wyniku modyfikacji konstrukcji przyrządu ROL-2

Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne polegały na pomiarze odchyłki falistości próbek cylindrycznych za pomocą wzorcowego przyrządu pomiarowego bazującego na metodzie bezodniesieniowej (Talyround 365), a następnie pomiarze odchyłki falistości tych samych próbek cylindrycznych za pomocą zmodyfikowanego przyrządu ROL-2. Na podstawie wyników pomiarowych wyznaczono eksperymentalną dokładność metody odniesieniowej DM [9]. Parametr ten pozwala zakwalifikować badany system pomiarowy do określonej grupy zastosowań. Wyniki badań eksperymentalnego błędu pomiaru odchyłki falistości metodą

odniesieniową za pomocą zmodyfikowanego przyrządu ROL-2 przedstawiono w tabelicy.

TABLICA. Wyniki badań porównawczych

Liczność próbki	n_p	50
Względny błąd pomiaru	$\delta_{RONt_{max}}$	0,212 μm
	$\delta_{RONt_{min}}$	-0,138 μm
	$\bar{\delta}_{RONt}$	0,049 μm
Odchylenie średnie kwadratowe dla pojedynczego błędu pomiaru	s	0,081 μm
Odchylenie średnie kwadratowe dla średniej arytmetycznej błędu pomiaru	s_r	0,011 μm
Wariancja w próbce	s^2	0,007 μm
Przedział ufności dla pojedynczego błędu pomiaru	$P = 0,95$ ($u_p = 1,96$)	0,049 \pm 0,159 μm
Eksperymentalna dokładność metody odniesieniowej	DM	20,83%

Podsumowanie

Badania przedstawione w artykule miały na celu przeanalizowanie dokładności odniesieniowych pomiarów zarysów falistości. Bazując na wynikach badań symulacyjnych, tak zmodyfikowano konstrukcję przyrządu ROL-2, aby uzyskać kąt β równy 33° . Pozwoliło to na wykrycie wszystkich składowych harmonicznych w zakresie 16–50 fal/obrót. Badania porównawcze wykazały, że po zastosowaniu pary kątów $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 33^\circ$, eksperymentalna dokładność pomiarowa metody wyniosła $DM = 20,83\%$. Na podstawie wyników badań przedstawionych w niniejszym artykule można stwierdzić, że dokładność zmodyfikowanego przyrządu ROL-2 w stosunku do jego oryginalnego rozwiązania uległa poprawie.

W dalszych badaniach autorzy przeprowadzą kolejne zabiegi, które będą miały na celu zwiększenie dokładności rozpatrywanej metody pomiarowej. Zostaną podjęte prace mające na celu opracowanie systemu pomiarowego bazującego na metodzie odniesieniowej służącego do czynnej kontroli odchyłek falistości elementów cylindrycznych zamocowanych bezpośrednio na obrabiarce.

LITERATURA

- Chen M., Takahashi S., Takamasu K. "Development of high-precision micro-roundness measuring machine using a high-sensitivity and compact multi-beam angle sensor". *Precision Engineering*. Vol. 42 (2015): pp. 276–282.
- Mekid S., Vacharanukul K. "In-process out-of-roundness measurement probe for turned workpieces". *Measurement*. Vol. 44 (2011): pp. 762–766.
- PN-93/M-04261: Metody oceny odchyłek okrągłości. Pomiar metodami dwu- i trzypunktowymi.
- Yu H., Xu M., Zhao J. "In-situ roundness measurement and correction for pin journals in oscillating grinding machines". *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 50–51 (2015): pp. 548–562.
- Ma H., Zhuang C., Xiong Z. "Multipoint Recursive Sequential Three-point Method for On-machine Roundness Measurement". *Procedia CIRP*. Vol. 31 (2015): pp. 459–464.
- Nozdzykowski K. „System do pomiarów odchyłek geometrycznych zespołu czopów głównych wału korbowego”. *PAK*. R. 57, nr 12 (2011): s. 1592–1594.
- Stępień K. "In situ measurement of cylindricity – Problems and solutions". *Precision Engineering*. Vol. 38 (2014): pp. 697–701.
- Nyberg TR. "Dynamic macro topography of large slowly rotating cylinders". *Mechanical Engineering Series 108*. Helsinki, ActaPolytechnica Scandinavica, 1993.
- Adamczak S., Zmarzły P., Stępień K. "Theoretical and Practical Investigations of V-Block Waviness Measurement of Cylindrical Parts". *Metrology and Measurement Systems*. Vol. 22, No. 2 (2015): pp. 181–192.
- Adamczak S., Zmarzły P., Stępień K. "Identification and analysis of optimal method parameters of the V-block waviness measurements". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. Vol. 64, No. 2 (2016): pp. 325–332. ■