

Analiza możliwości zastosowania wielosensorowej CMM do pomiarów elementów łożysk tocznych

Analysis of multi-sensory CMM use for the measurement of rolling bearing elements

STANISŁAW ADAMCZAK
JERZY SŁADEK
JAKUB KULPA
JACEK ŚWIDERSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.169>
English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono możliwości zastosowania wielosensorowej współrzędnościowej techniki pomiarowej do pomiaru wybranych elementów łożysk tocznych. Zaprezentowano wyniki pomiarów promienia czaszy kulistej rolki stożkowej i kąta pomiędzy bieżnią zasadniczą a bieżnią pomocniczą pierścienia wewnętrznego łożyska stożkowego.

SŁOWA KLUCZOWE: wielosensorowa współrzędnościowa maszyna pomiarowa, łożyska toczne, sensor konfokalny

The possibility of using the multi-sensory coordinate technology for measuring the selected elements of rolling bearings is presented. The results of spherical cap of conical roller radius and angle between the main and auxiliary track of the conical bearing inner ring measurements are also presented.

KEYWORDS: multi-sensory coordinate measuring machine, roller bearings, confocal sensor

Pomiary elementów łożysk tocznych ze względu na swą specyfikę i tolerancje wykonania wymagają zastosowania odpowiednich przyrządów pomiarowych zapewniających osiągnięcie niepewności pomiarów umożliwiającej orzeczenie o zgodności wykonania mierzonych elementów ze specyfikacją lub braku tej zgodności.

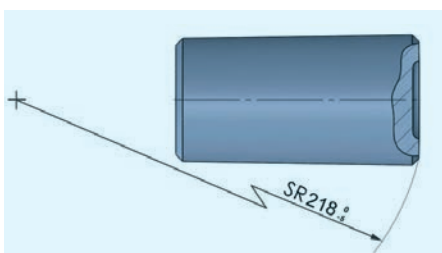
Rozwój w ostatnich latach wielosensorowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych stwarza możliwości wykorzystania ich do pomiaru elementów łożysk tocznych. Pomiar tych części dotychczas stosowanymi metodami jest utrudniony lub obciążony zbyt dużymi błędami [1, 3].

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania wielosensorowej współrzędnościowej techniki pomiarowej do pomiaru promienia czaszy kulistej rolki stożkowej oraz kąta pomiędzy bieżnią zasadniczą a bieżnią pomocniczą pierścienia wewnętrznego łożyska stożkowego.

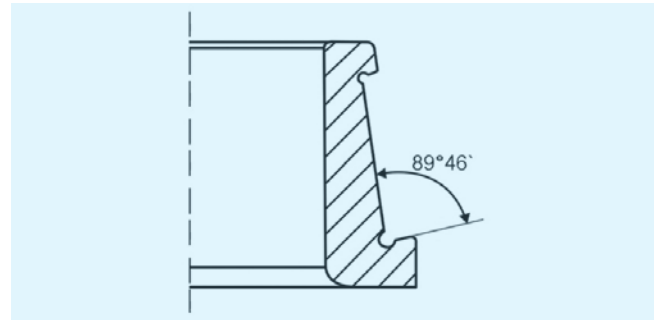
Badane elementy

Mierzono wybrane wielkości:

- rolki łożyska stożkowego (rys. 1),
- pierścienia wewnętrznego łożyska stożkowego (rys. 2).



Rys. 1. Rolka łożyska stożkowego



Rys. 2. Pierścień wewnętrzny łożyska stożkowego

Przyrządy pomiarowe

Pomiary przeprowadzono na wielosensorowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej O-Inspect 422 firmy ZEISS. Maszyna ta umożliwia wykonywanie pomiarów stykowych i optycznych, ponieważ jest wyposażona w 3 sensory:

- głowicę stykową VAST XXT,
- głowicę optyczną z obiektywem Discovery V12,
- konfokalny sensor światła białego.

W celu weryfikacji otrzymanych wyników przeprowadzono pomiary porównawcze:

- profilometrem stykowym FormTalysurf PGI 1230,
- skaningowym interferometrem koherentnym Talysurf CCI [2, 4].

Pomiar czaszy rolki stożkowej

Porównano wyniki pomiarów promienia czaszy kulistej rolki łożyska stożkowego wykonanych za pomocą profilometru stykowego FormTalysurf, skaningowego interferometru koherentnego Talysurf CCI oraz sensora światła białego wielosensorowej współrzędnościowej maszyny pomiarowej O-Inspect 422. W przypadku pomiaru profilometrem stykowym występuje niebezpieczeństwo wystąpienia kolizji ze względu na geometrię czaszy rolki (zagłębienie w środkowej części) oraz trudność w pozycjonowaniu elementu do pomiaru w taki sposób, aby pomiar był wykonywany po południku. Wpływ niedokładnego pozycjonowania rolki w czasie pomiarów na otrzymaną wartość promienia wynika z zależności:

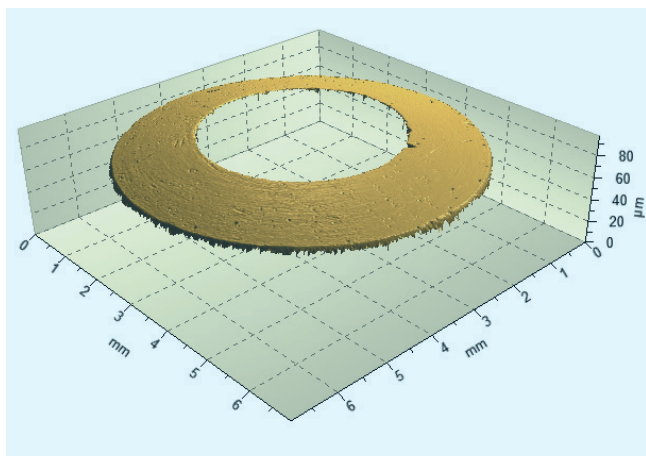
$$R_x = \sqrt[2]{R^2 - x^2}$$

gdzie: R_x , mm – zmierzony promień kuli; R , mm – promień kuli; x , mm – wartość przesunięcia zarysu pomiaru w stosunku do bieguna kuli.

Ponieważ $R \gg x$, wpływ niedokładnego pozycjonowania rolki w czasie pomiarów promienia czaszy na błąd pomiaru jest niewielki.

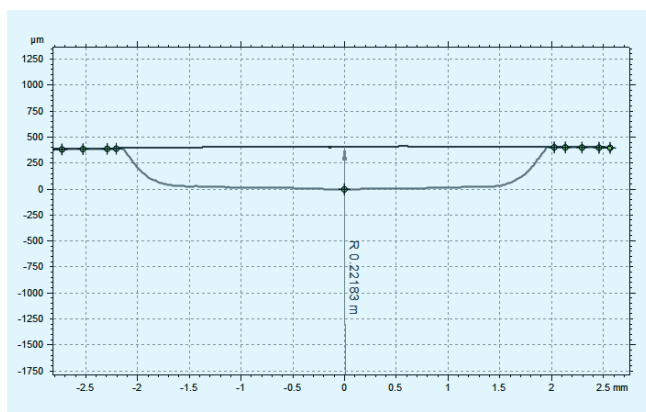
* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Jakub Kulpa (jkulpa@tu.kielce.pl), mgr inż. Jacek Świdorski (swiderski@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska; prof. dr hab. inż. Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Politechnika Krakowska

Do analizy zmierzonego zarysu wykorzystano oprogramowanie TalyMap Platinum. Na rys. 3 przedstawiono obraz izometryczny czaszy rolki stożkowej sporządzony w oparciu o pomiar na profilometrze optycznym Talysurf CCI [2, 4].



Rys. 3. Obraz izometryczny powierzchni czaszy rolki

Promień czaszy kuli wyznaczono w oparciu o różną liczbę losowo wybranych punktów oraz na podstawie wszystkich zmierzonych punktów [5]. Procedura wyznaczania promienia czaszy rolki została przedstawiona na rys. 4, a wyniki zestawiono w tabl. I.



Rys. 4. Procedura wyznaczania promienia czaszy rolki stożkowej

TABLICA I. Wyniki pomiarów promienia czaszy rolki stożkowej

Liczba pkt. do wyznaczenia promienia czaszy rolki	Promień czaszy rolki R, mm		
	FormTalsurf PGI	Talysurf CCI	O-Inspect
4	218,4	215,0	211,8
6	217,9	214,6	195,3
8	217,7	214,8	202,0
10	217,5	215,8	208,9
Wszystkie punkty	216,7	217,9	170,4
Wartość średnia	217,6	215,6	197,7
Odchylenie standardowe	0,6	1,4	16,5

Wyniki pomiarów otrzymane za pomocą sensora światła białego charakteryzują się znacznym rozproszeniem i różnią się od wyników uzyskanych za pomocą profilometru stykowego oraz przyrządu optycznego.

Aby przeanalizować wiarygodność pomiarów promienia czaszy rolki stożkowej za pomocą sensora konfokalnego, wykorzystano następujące wzorce:

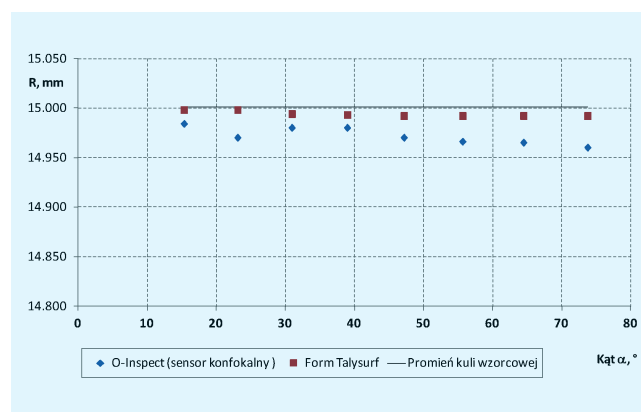
- wzorec schodkowy utworzony z 2 płytek wzorcowych klasy K o długości środkowej 3 i 4 mm, $U = 0,049 \mu\text{m}$ ($k = 2$), przywartych do szklanej płytki interferencyjnej klasy I o maksymalnej odchyłce płaskości poniżej 30 nm,
- ceramiczną matową kulę wzorcową o promieniu $R = 15,00125 \text{ mm}$ wyznaczonym z niepewnością $U = 0,3 \mu\text{m}$ ($k = 2$), odchyłką okrągłości $\text{RONt} = 0,074 \mu\text{m}$,
- wzorec walcowości – walec o promieniu podstawy $R = 40,1024 \text{ mm}$, wyznaczonym z niepewnością $U = 0,9 \mu\text{m}$ ($k = 2$), odchyłką okrągłości $\text{RONt} = 0,3 \mu\text{m}$.

TABLICA II. Wyniki pomiarów wzorca schodkowego konfokalnym sensorem światła białego

Wartość średnia, mm	0,9988
Odchylenie standardowe, μm	0,89
Błąd średni kwadratowy, μm	0,28

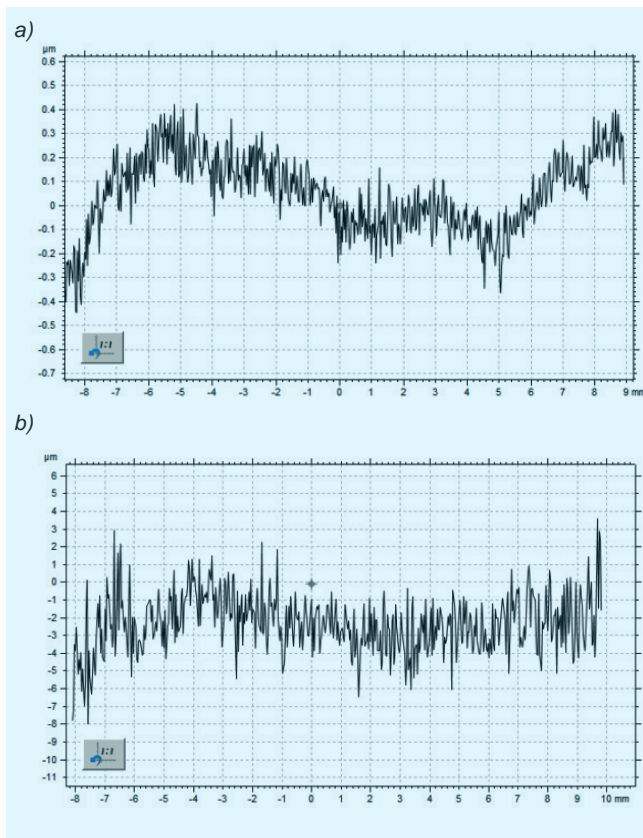
Z wykorzystaniem szkła interferencyjnego i płytek wzorcowych utworzono wzorec schodkowy o wysokości $h = 1 \text{ mm}$. Wykonano $n = 10$ pomiarów wzorca schodkowego za pomocą sensora światła białego. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabl. II.

Maksymalny dopuszczalny błąd pomiaru długości dla sensora światła białego według VDI/VDE 2617 6.2 wynosi $\text{MPE E(OT)} 3,90 + L/250 \mu\text{m}$. Uzyskane wyniki potwierdziły spełnienie wymagań specyfikacji dla sensora światła białego.

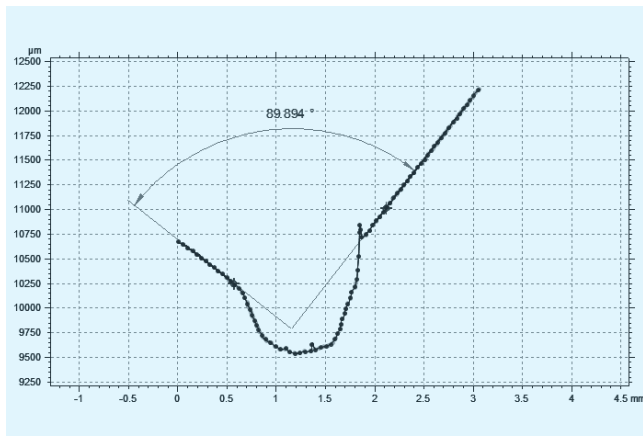


Rys. 5. Wyniki pomiarów wzorca schodkowego kuli wzorcowej

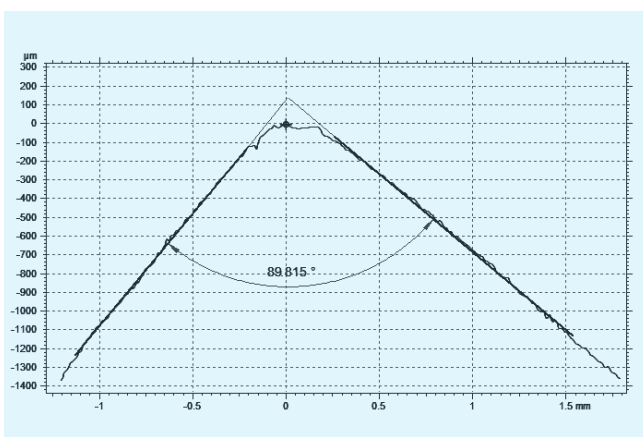
Pomiary profilu ceramicznej matowej kuli wzorcowej przeprowadzono w przekroju przechodzącym przez biegun. Długość zmierzonego łuku okręgu odpowiadała długości cięciwy $c = 18 \text{ mm}$ i kątowi środkowemu $\alpha = 73,7^\circ$. W pomiarach wykorzystano sensor światła białego oraz profilometr stykowy FormTalsurf PGI wyposażony w końcówkę pomiarową zakończoną kulką o średnicy 2 mm. Promień kuli wyznaczono na podstawie kilku długości łuku symetrycznego względem bieguna, z wykorzystaniem oprogramowania do zaawansowanej analizy konturu. Wyniki pomiarów zilustrowano na rys. 5.



Rys. 6. Profil kuli wyznaczony za pomocą: a) FormTalysurf PGI, b) konfokalnego sensora światła białego



Rys. 7. Profil pomiędzy bieżnią zasadniczą a bieżnią pomocniczą



Rys. 8. Profil wzorca kąta prostego

Wyniki pomiarów otrzymane za pomocą profilometru stykowego obarczone są mniejszym błędem. Dokładność pomiaru wykonanego sensorem światła białego maleje wraz ze zwiększaniem kąta środkowego łuku przyjętego do wyznaczenia promienia kuli.

Mniejsza dokładność pomiaru za pomocą sensora światła białego wynika z wielokrotnie większej wartości szumu dla tego pomiaru niż dla pomiaru za pomocą profilometru stykowego. Porównanie otrzymanych profili kuli po usunięciu nominalnego kształtu zostało przedstawione na rys. 6.

Pomiar kąta

Do pomiaru kąta pomiędzy bieżnią zasadniczą a bieżnią pomocniczą pierścienia wewnętrznego łożyska stożkowego wykorzystano konfokalny sensor światła białego. Trudność tego pomiaru wynika z tego, że szerokość bieżni pomocniczej wynosi ok. 2 mm, a dodatkowo pomiędzy bieżniami występuje podcięcie, które może być przyczyną uszkodzenia przyrządu podczas pomiarów stykowych.

Zmierzony profil pierścienia wewnętrznego łożyska stożkowego przedstawiono na rys. 7.

W celu analizy wiarygodności pomiaru wykonano pomiar wzorca kąta prostego, którego powierzchnie pomiarowe miały zbliżoną refleksyjność do powierzchni bieżni pierścienia łożyska. Wynik przestawiono na rys. 8.

Podsumowanie

Wyniki pomiarów nie uzasadniają jednoznacznie zastosowania wielosensorowej współrzędnościowej techniki pomiarowej do pomiarów wybranych elementów łożysk tocznych.

Wyniki pomiarów z wykorzystaniem sensora światła białego dla zastosowanych wzorców świadczą o dużej poprawności pomiarowej wyznaczania odległości w przypadku powierzchni prostopadłych do kierunku wiązki światła. W przypadku powierzchni kulistych i cylindrycznych o dużej refleksyjności dla punktów, dla których kąt padania wiązki światła nie jest prostopadły do mierzonej powierzchni, występuje szum o wartości mającej duży wpływ na wyniki. Zjawisko to potwierdziło się podczas pomiarów promienia czaszy rolki stożkowej i spowodowało znaczne rozproszenie wyników w zależności od liczby punktów przyjętych do wyznaczenia promienia czaszy.

Wyniki pomiarów kąta pomiędzy bieżnią zasadniczą a bieżnią pomocniczą pierścienia wewnętrznego łożyska uzyskane za pomocą sensora światła białego należy uznać za wiarygodne, biorąc pod uwagę wyniki uzyskane dla wzorca kąta.

LITERATURA

1. Śladek J. „Metrology Accuracy of Systems and Measurements”. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISSN 2195-9862 2016.
2. Miller T., Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B. „Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*. 65, 1 (luty 2017): s. 53–61 (data publikacji online: 17.02.2017).
3. Śladek J., Kulpa J. „Multisensory coordinate measuring technology”. *Proc. XIth International Scientific Conference on Coordinate Measuring Technique CMT*. 2014: s. 95–100.
4. Adamczak S., Miller T., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Łętocha A. „Założenia do wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. 3 (2015): s. 81–87.
5. Iwasińska-Kowalska O. „Dokładność wyznaczania promieni zaokrąglenia profilometrem stykowym”. *PAK*. 56, 1 (2010).