

System do pomiaru odchyłek wymiaru i okrągłości tulei cylindrycznych

Measurement system for motor cylinder tolerances and roundness assesment

JANUSZ DEREŻYŃSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.474

W artykule omówiony został prototyp systemu do pomiaru odchyłek wymiaru i okrągłości tulei cylindrycznych. W urządzeniu wykorzystano niestosowaną w szerokim zakresie odniesieniową metodę pomiaru odchyłki okrągłości. Wykorzystanie tej metody pozwala na ograniczenie czasu pomiaru przy zachowaniu wymaganej dokładności oraz redukcję kosztów systemu. W artykule zaprezentowano wyniki wstępnych badań odchyłki okrągłości.

SŁOWA KLUCZOWE: pomiary odchyłki okrągłości, automatyzacja, metrologia wielkości geometrycznych

The article discussed a prototype system to measure deviations in size and roundness of cylinder liners. The device is based on has not been applied in a wide range method for measuring roundness deviation. Using this method allows to reduce measurement time while maintaining the required accuracy and reducing system costs. The article presents the preliminary results.

KEYWORDS: measurement, roundness, automation

Pomiary wymiarów i błędów kształtu elementów silnika samochodowego są istotne z punktu widzenia wymagań przemysłu motoryzacyjnego [1]. Są one kluczowe ze względu na właściwy montaż i uzyskanie odpowiednich parametrów użytkowych [2]. Odpowiednie dobranie specjalistycznych metod pomiarowych jest istotne szczególnie przy pomiarach tulei cylindrycznych [3]. Przykładem może być wykorzystywanie modelowania przy użyciu algorytmów genetycznych [4]. Przy obecnie stosowanych rozwiązaniach silników spalinowych, w których główną parę współpracujących elementów stanowią tłok i cylinder, pomiary tulei cylindrycznych będą miały kluczowe znaczenie i muszą one być realizowane szybko, i z odpowiednią niepewnością pomiaru.

Do pomiarów odchyłek okrągłości stosowane są zróżnicowane metody [5]. Pośród nich wyróżnić można odniesieniową metodę trójpunktową [6]. Pozwała ona na precyzyjne pomiary odchyłki okrągłości i walcowości [7].

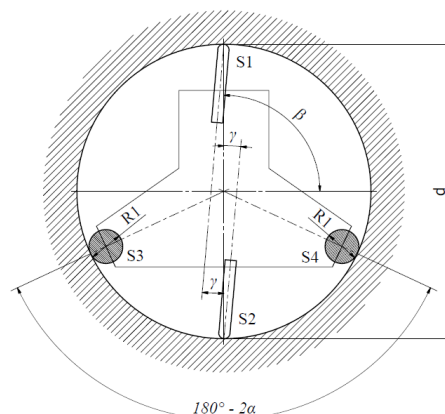
W prezentowanym przyrządzie zastosowano symetryczną trójpunktową metodę odniesieniową. Schemat pomiaru przedstawiono na rys. 1. Przedstawione rozwiązanie pozwala na jednoczesny pomiar odchyłki okrągłości i średnicy na danym poziomie, a poprzez wykorzystanie ruchomej głowicy – także pomiar walcowości tulei. Prezentowane rozwiązanie jest przedmiotem patentu [8].

Koncepcja systemu pomiarowego

Projekt urządzenia realizowany był w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych (Politechnika Poznańska). Jego konstrukcja bazowała na doświadczeniach zakładu związanych z realizacją przyrządów opartych na zbliżonych metodach pomiaru [9].

* Mgr inż. Janusz Dereżyński (j.derezynski@gmail.com) – Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych, Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej

Przyrząd ma charakter specjalizowany, co oznacza, że jego konstrukcja każdorazowo musi być dostosowywana do konkretnego modelu tulei cylindrycznej. Prototypowy egzemplarz zbudowany został do pomiaru tulei montowanej w silniku samochodu ciężarowego znanej europejskiej marki. Średnica nominalna tulei wynosiła 131 mm i pod ten wymiar zaprojektowano prototyp.



Rys. 1. Schemat pomiaru powierzchni wewnętrznej trójpunktową metodą odniesieniową symetryczną zastosowany w prezentowanym przyrządzie (S1, S2 – punkty pomiarowe; S3, S4 – punkty podporowe)

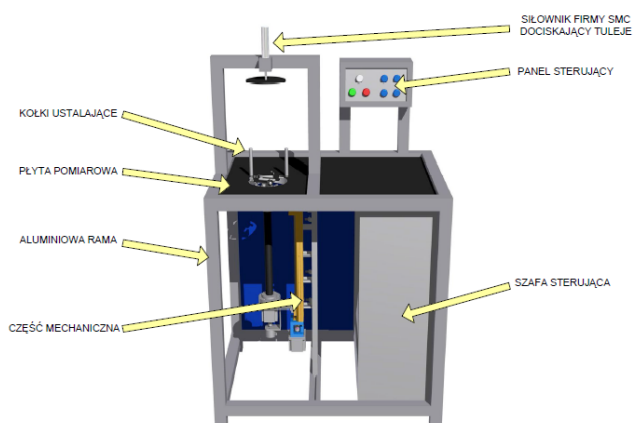
Na powierzchni wewnętrznej tulei wyznaczono trzy strefy o różnej tolerancji wymiaru i okrągłości. Sprawia to, że pomiar należy wykonać co najmniej na trzech poziomach wysokości tulei. Najwyższe wymagania stawia się przed wykonaniem strefy środkowej, której tolerancja wymiaru wynosi 0,02 mm, natomiast odchyłka okrągłości $RONt$ powinna mieścić się w zakresie 0,015 mm [10]. W praktyce metrologicznej przyjmuje się, że niepewność pomiaru powinna stanowić od 10 do 20% szerokości pola tolerancji. Stąd niepewność urządzenia $U_{0,95}$ [11] powinna wynosić co najmniej 0,0015 mm.

Ponadto urządzenie powinno być dostosowane do warunków przemysłowych. Pomiar powinien trwać poniżej jednej minuty, ponieważ co minutę produkowana jest jedna tuleja, a urządzenie ma być wykorzystane do stuprocentowej kontroli produkcji. Reasumując, główne założenia i wytyczne projektu to:

- pomiar na trzech poziomach,
- niepewność pomiaru 1,5 μm ($U_{0,95}$),
- proces pomiaru w pełni zautomatyzowany,
- czas pomiaru poniżej jednej minuty,
- cena istotnie niższa niż aktualnie stosowane rozwiązania.

Budowa systemu pomiarowego

System pomiarowy składa się z części mechanicznej, systemu sterowania oraz programu komputerowego, który zarządza pracą urządzenia. Sterowanie systemem odbywa się z wykorzystaniem komputera PC.



Rys. 2. Schemat budowy konstrukcji mechanicznej

Cześć mechaniczną stanowi aluminiowa rama nośna wyposażona w kółka, co zapewnia mobilność urządzenia, oraz zespół aktorów mechanicznych i pneumatycznych, pozwalających na realizację ruchów głowicy. Daje to możliwość pomiarów na różnych wysokościach oraz z różnymi prędkościami (rys. 2). System sterowania i pneumatyki zabudowano w szafce sterującej, a dla ułatwienia obsługi wykonano dodatkowy panel sterujący.

Program sterujący zarządza pracą urządzenia, a także pozwala na wyświetlanie i archiwizację wyników. Użytkownik może zobaczyć wyniki pomiaru odchyłki okrągłości i wymiaru na jednym z poziomów, a także zobaczyć wykres we współrzędnych biegunowych i kartezyjskich. Prezentowany jest także rozkład harmoniczny odchyłki.

Wyniki pomiarów

Po zmontowaniu urządzenia i stworzeniu aplikacji sterującej jego pracą przeprowadzono szereg testów funkcjonalnych. Pierwsza część testów dotyczyła sprawdzenia poprawności wykonywania wszystkich zaprogramowanych ruchów urządzenia i ich niezawodności.



Rys. 3. Pomiar jednego z pierścieni referencyjnych

W celu wstępnej oceny dokładności urządzenia przeprowadzono serię pomiarów odchyłki okrągłości dwóch pierścieni (pierścień 1 i pierścień 2) o wymiarze wewnętrznym równym średnicy tulei, czyli 131 mm (rys. 3). Pomiar przeprowadzono na jednym poziomie wysokości każdego z pierścieni. Wykonano po 30 serii pomiarowych, zbierając 8500 punktów na obrót głowicy. Następnie dokonano decymacji, po której ograniczono liczbę punktów do 3600, co

dało rozdzielczość kątową równą $0,1^\circ$. Tak przygotowane serie pomiarowe poddano algorytmowi obróbki danych. W wyniku przeprowadzonej analizy dla składowych harmonicznych od 2 do 15 uzyskano wartość i przebieg zmian odchyłki okrągłości mierzonego pierścienia. Częściowe wyniki zaprezentowano w tablicy.

TABLICA. Wyniki pomiarów uzyskane na wykonanym urządzeniu

Nazwa parametru:	Pierścień 1, μm	Pierścień 2, μm
Wartość średnia \times odchyłki okrągłości $RONt$	5,7	9,6
Mediana X_{med}	5,6	9,55
Rozstęp R	1,4	1,0
Odchylenie standardowe σ	0,4	0,3
Odchylenie standardowe od średniej σ	0,1	0,05
Niepewność $U_{0,95}$	0,2	0,1

Podsumowanie

Wykonane porównanie pomiarów stanowi jedynie wstęp do analizy zdolności metrologicznej zaprojektowanego urządzenia. Nie należy na ich podstawie określać ostatecznie niepewności pomiaru. Wyniki – chociaż w niewielkim stopniu odbiegają od pomiarów wykonanych na urządzeniu PIK-2 (urządzenie referencyjne) – wymagają kolejnych weryfikacji i testów. W ramach prac związanych z rozwojem prototypu należy zebrać więcej wyników pomiarów oraz zwiększyć liczbę analizowanych serii. Należy wyznaczyć niepewność pomiaru na różnych wysokościach zakresu pomiarowego oraz sprawdzić wpływ na wyniki siły dociskającej głowicy do płaszczyzny tulei. Ponadto należy zaznaczyć, że wykonane pomiary dotyczą tylko odchyłki okrągłości. Podobne testy należy wykonać także dla pomiarów odchyłki wymiaru.

Prezentowane wyniki badań, zrealizowanych w ramach zadania badawczego nr 02/22/DSMK/1330, zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

- Shim H.B. "Measurement of shape error for the optimal blank design of stamped part with 3 dimensional contour lines". *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* Vol. 16, No. 13 (2015): pp. 2665–2672.
- Wen X., Zhao Y., Wang D., Pan J. "Adaptive Monte Carlo and GUM methods for the evaluation of measurement uncertainty of cylindricity error". *Precis. Eng.* Vol. 37, No. 4 (2013): pp. 856–864.
- Osanna P.H., Durakbasa N.M., Cakmakci M., Oberländer R. "Cylindricity – a well known problem and new solutions". *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 32, No. 1–2, pp. 91–97.
- Hsin-Yi Lai, Wen-Yuh Jywe, Cha'o-Kuang Chen, Chien-Hong Liu. "Precision modeling of form errors for cylindricity evaluation using genetic algorithms". *Precis. Eng.* Vol. 24 (2000): pp. 310–319.
- Herrera-Navarro A.M., Jiménez-Hernández W.H., Terol-Villalobos I.R. "Framework for characterizing circularity based on a probability distribution". *Measurement.* Vol. 46 (2013): pp. 4232–4243.
- Shi S., et al. "A hybrid three-probe method for measuring the roundness error and the spindle error". *Precis. Eng.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.03.020>.
- Adamczak S., Janecki D., Stępień K. "Qualitative and quantitative evaluation of the accuracy of the V-block method of cylindrical measurements". *Precision Engineering.* 2010. Elsevier.
- Jermak Cz.J., Dereżyński J. "Device for measuring the diameter and the roundness deviation of internal cylindrical surfaces". Patent polski, PAT.221405, 20.05.2015.
- Jermak Cz.J., Rucki M., "Static Characteristics of Air Gauges Applied in the Roundness Assessment". *Metrol. Meas. Syst.* Vol. 23, No. 1 (2016): pp. 85–96.
- ISO/TS 12181-1:2003 Geometrical Product Specification (GPS) – Roundness – Part 1: Vocabulary and parameters of roundness.
- Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents. BIPM JCGM 104:2009.