

Tomasz GIESKO, Andrzej ZBROWSKI
 INSTYTUT TECHNOLOGII EKSPLOATACJI – PIB, RADOM

Metoda i urządzenie do pomiarów profili pierścieni tłokowych

Dr inż. Tomasz GIESKO

Jest adiunktem i kierownikiem Zakładu Mechatroniki w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym w Radomiu. Główny obszar jego zainteresowań i prac badawczych to systemy mechatroniczne, w szczególności systemy maszynowego widzenia i automatycznej inspekcji optycznej. Dotychczasowy dorobek obejmuje kilkadziesiąt publikacji oraz wdrożenia przemysłowe opracowanych rozwiązań.



e-mail: tomasz.giesko@itee.radom.pl

Dr inż. Andrzej ZBROWSKI

Adiunkt w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie badawczym w Radomiu. Pracuje na stanowisku Kierownika Zakładu Doświadczalnego. Specjalność budowa maszyn, mechatronika. Zajmuje się projektowaniem i wdrażaniem unikatowej aparatury naukowo-badawczej oraz urządzeń wspomagających procesy wytwarzania i eksploatacji. Autor lub współautor 57 artykułów naukowych i 14 patentów z tego zakresu.



e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano metodę i urządzenie do pomiarów profili pierścieni tłokowych w ramach kontroli międzyoperacyjnej lub końcowej. W mechatronicznej głowicy pomiarowej zastosowano precyzyjny jednoosiowy czujnik przemieszczeń do wyznaczania konturu w układzie współrzędnych X-Y. Program systemu umożliwia wyznaczenie parametrów profilu pierścienia, takich jak: wysokość baryłki, przemieszczenie wierzchołka baryłki, kąt pochylenia w pierścieniu trapezowym. Opracowane urządzenie zostało wdrożone i jest wykorzystywane w kontroli jakości w fabryce pierścieni tłokowych.

Słowa kluczowe: Pierścień tłokowy, kontrola jakości, pomiar profilu, pomiar stykowy.

The method and apparatus for measurements of piston ring profiles

Abstract

Portable testers for rapid measuring in product inspection can facilitate the manufacturing control and quality management processes in automotive industry. The paper presents the method and apparatus for measurements of piston ring profiles dedicated to the inter-operational and final inspection. The applied method is based on the contact technique. A mechatronic measurement head with the embedded uniaxial length gauge enables measurements of the piston ring profile in the X-Y coordinate system. The measuring head is moved vertically by a linear stepper motor. In order to protect the length gauge against radial forces, an intermediate setup with a linear bearing slide between the gauge and the piston ring has been applied. The correct positioning of the piston ring before measurements is realised by means of the hand-operated mechanism, while the developed software algorithms are used for the system calibration. Based on the measurement data, the piston ring face contour has been drawn. The implemented software enables the user to determine the piston profile parameters such as: barrel height, barrel top displacement and taper angle in the taper faced piston ring. These parameters are automatically calculated and shown on the chart. The measurement accuracy is 2 µm for the sampling step and 5 µm along the contour. All the pattern piston ring profiles and measurement results are stored in the computer database. The developed apparatus is implemented and used for the product inspection in the Polish, leading piston ring manufacture.

Keywords: Piston ring, quality inspection, profile measurement, contact technique.

1. Wprowadzenie

Przemysł samochodowy jest obszarem dynamicznego rozwoju wysokowydajnych technologii produkcji i zastosowań efektywnych metod kontroli jakości. Wymagania jakościowe dla realizowanych procesów wytwarzania wyrażane jako „zero braków” stają się standardem i zarazem koniecznością wynikającą z rosnącej konkurencyjności. Jednym z przykładów takich trendów jest kontrola jakości w produkcji pierścieni tłokowych do silników. Wymagania techniczne stawiane pierścieniom tłokowym w ostatnich latach znacznie wzrosły. Docieranie nowego silnika zostało

praktycznie wyeliminowane poprzez zastosowanie w procesie produkcji części o bardzo wysokiej dokładności wykonania, takich jak: cylindry, tłoki, pierścienie tłokowe. Osiągnięcie wysokich parametrów jakości wyrobów wymaga m.in. utrzymania stabilnych parametrów procesu produkcji. Międzyoperacyjna kontrola jakości wyrobów w trakcie ich wytwarzania umożliwia skrócenie czasu reakcji nadzoru w przypadku pojawienia się odchyżeń parametrów wymiarowych. Do kontroli międzyoperacyjnej stosowane są proste w obsłudze urządzenia warsztatowe, zapewniające jednocześnie wymaganą na tym etapie inspekcji dokładność pomiarową. W przypadku pierścieni tłokowych, oferta firm produkujących warsztatowe przyrządy pomiarowe jest ograniczona. Oferowane zaawansowane, wielozadaniowe kształtografy i profilometry są urządzeniami typowo laboratoryjnymi [1, 2]. Do pomiaru kształtu i chropowatości są wykorzystywane metody stykowe lub bezstykowe. Szerokie możliwości pomiarowe tych urządzeń wykraczają znacznie poza potrzeby kontroli międzyoperacyjnej. Problemem jest czasochłonna i skomplikowana obsługa takich zaawansowanych urządzeń, wymagająca wysokich kwalifikacji personelu. Zaprezentowane w artykule specjalizowane urządzenie zostało opracowane w celu realizacji ściśle zdefiniowanych zadań metrologicznych w warunkach przemysłowych [3]. Osiągnięcie zamierzonego celu było możliwe dzięki zastosowaniu niestandardowego rozwiązania mechatronicznego toru pomiarowego, przy relatywnie niskich kosztach opracowania urządzenia.

2. Metoda pomiaru

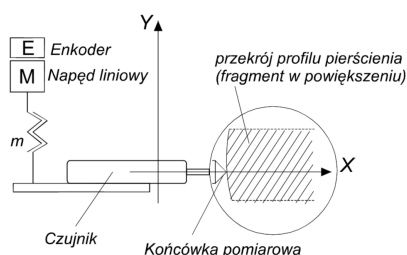
Producent pierścieni tłokowych określił podstawowe wymagania i parametry charakteryzujące system pomiarowy:

- zakres średnic badanych pierścieni: 50÷280 mm,
- długość profilu (wysokość pierścienia): 10mm,
- dokładność pomiarowa: 2 µm,
- automatyczne obliczanie wymiarów profilu,
- gotowość do pracy w ciągu kilku minut i prosta obsługa.

Prace badawcze zostały poprzedzone analizą technik stykowych i bezstykowych, które mogłyby zostać zastosowane do pomiaru kształtu zarysu pierścienia [3, 4]. W metodzie stykowej końcówka pomiarowa czujnika przesuwana się po powierzchni wyrobu, odtwarzając jej kształt. Dokładność pomiarowa zależy od geometrii końcówki pomiarowej i rozdzielczości przetwornika sygnałów. Możliwości pomiarowe są ograniczone przez kształt końcówki pomiarowej. W kraju opracowywano laboratoryjne przyrządy do kompleksowych pomiarów i analizy kształtu powierzchni metodą stykową [1, 5]. Delikatny mechanizm układu pomiarowego ogranicza jednak zastosowanie urządzenia w warunkach produkcji, przy narażeniu na szereg niekorzystnych czynników otoczenia. Biorąc pod uwagę metody bezstykowe, rozważano wykorzystanie techniki triangulacji laserowej [6]. Niewątpliwym walorem „bezkontaktowego pomiaru” w profilometrii laserowej był przedmiotem oceny w odniesieniu do kosztów i ograniczeń, takich jak mniejsza dokładność i wrażliwość na zmienne właściwości refleksyjne

powierzchni. Po analizie porównawczej obu technik pomiarowych zdecydowano o wykorzystaniu czujnika stykowego.

Do wyznaczenia profilu powierzchni czołowej pierścienia tłokowego zastosowano współrzędnościową technikę pomiarową (rys. 1). W dwuosiowym systemie współrzędnych kolejne punkty konturu, identyfikowane są przez współrzędne X i Y i przechowywane w pamięci systemu komputerowego. Współrzędna X jest cyfrowo przetworzonym sygnałem wyjściowym z czujnika przemieszczeń liniowych. Współrzędna Y określa pozycję pomiarową głowicy w odniesieniu do bazy pomiarowej (powierzchni stolika, na której jest mocowany pierścień). Profil pierścienia tłokowego jest wyznaczany z kolejnych punktów otrzymanych w czasie procesu pomiarowego. Dokładność odtworzenia konturu zależy od poziomu dyskretyzacji danych pomiarowych.



Rys. 1. Pomiar profilu pierścienia tłokowego metodą stykową
Fig. 1. Contact-based piston ring profilometry

Linia konturu jest określona jako zbiór punktów:

$$L = \{P_i(x, y) : x = H_i, y = V_i\}, \quad (1)$$

gdzie:

H_i – pozycja końcówki pomiarowej w i -kroku;

V_i – pozycja głowicy pomiarowej w i -kroku.

Liczba kroków w sekwencji zależy od długości ścieżki i rozdzielczości przetwarzania cyfrowego. Dane o pozycji H_i są otrzymywane z 12-bitowego przetwornika karty pomiarowej. Dokładność pozycjonowania wynosi $\pm 1 \mu\text{m}$ [7]. Pozycja pionowa V_i jest obliczana na podstawie liczby impulsów enkodera:

$$V_i = m \cdot \frac{E_i}{n_e}, \quad (2)$$

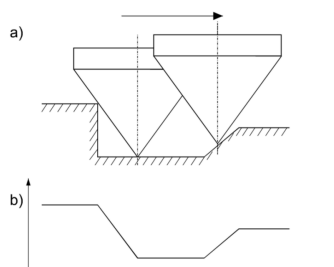
gdzie:

E_i – liczba impulsów;

n_e – rozdzielczość enkodera;

m – skok gwintu śruby napędowej.

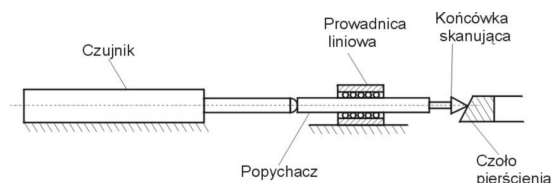
Dokładność pomiaru topografii powierzchni zależy od kąta wierzchołkowego i promienia zaokrąglenia końcówki pomiarowej (rys. 2).



Rys. 2. Błąd pomiaru w trakcie wykrywania krawędzi: a) zarys rzeczywisty, b) uzyskany profilogram
Fig. 2. Measuring error of edge detection: a) real topography, b) obtained graph

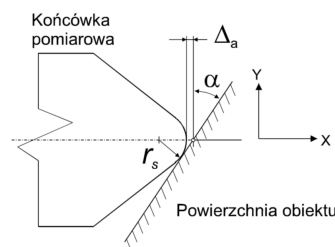
W opracowanym urządzeniu zastosowano końcówki pomiarowe, w których wartość kąta wierzchołkowego wynosi 90° lub 60° . Błąd pomiarowy jest mniejszy przy mniejszych wartościach kąta końcówki pomiarowej. Jednakże mała wartość kąta wierzchołkowego powoduje wzrost składowej poprzecznej siły oddziałującej na czujnik. Zastosowany czujnik ST 1288 firmy Heidenhain jest przeznaczony do pomiarów przemieszczeń liniowych przy sile obciążenia działającej poosiowo.

Dopuszczalna wartość składowej siły promieniowej jest niewielka, do $0,8 \text{ N}$ [7]. Aby umożliwić zastosowanie tego typu czujnika, opracowano prosty mechanizm przeniesienia siły nacisku na końcówkę czujnika ze strony powierzchni mierzonego pierścienia tłokowego, w którym wykorzystano miniaturową prowadnicę liniową (rys. 3). Układ pośredniczący z prowadnicą jest zdolny do przeniesienia obciążeń poprzecznych powstających w trakcie „najazdu” końcówki pomiarowej na krawędź pierścienia.



Rys. 3. Układ pośredniczący z prowadnicą liniową
Fig. 3. Intermediate setup with a linear bearing slide

Przeprowadzono analizę błędu pomiaru Δ_a podczas skanowania powierzchni nieprostopadłej do osi trzpienia pomiarowego wzdłuż osi X (rys. 4).

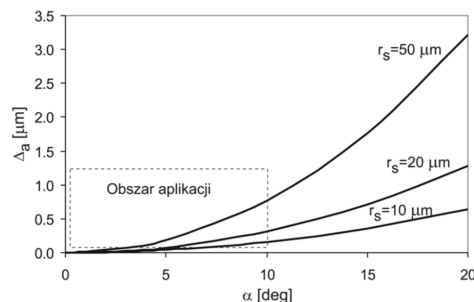


Rys. 4. Błąd osiowy w topografii powierzchni
Fig. 4. Axial error in the surface topography

Błąd osiowy wynika z nieprostopadłości powierzchni względem osi końcówki pomiarowej oraz zaokrąglenia końcówki określony znany równaniem [3]:

$$\Delta_a = r_s \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) \quad (3)$$

Wyznaczono błąd osiowy w pomiarze profilu pierścienia tłokowego (rys. 5). Dla lokalnej krzywizny konturu $\alpha \leq 5^\circ$ i promieni zaokrąglenia końcówki $r_s \leq 20 \mu\text{m}$, błąd Δ_a jest mniejszy niż $0,08 \mu\text{m}$. Uznano, że dla wartości błędu w tym zakresie jego kompensacja nie jest konieczna.

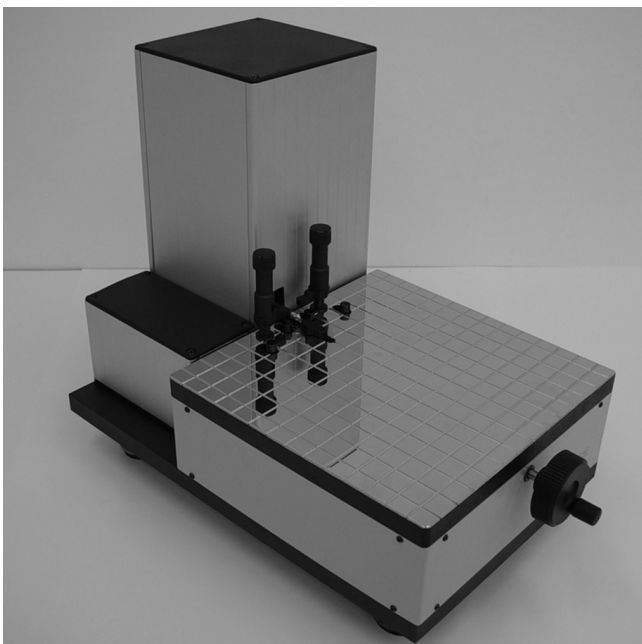


Rys. 5. Wykres błędu osiowego Δ_a
Fig. 5. Axial error diagram Δ_a

3. Opis urządzenia

Głównym modułem urządzenia jest głowica pomiarowa z inkrementalnym czujnikiem przemieszczeń. Czujnik przemieszczeń ST 1288 z optycznym enkoderm liniowym zapewnia wysoką dokładność pomiarową [7]. Nacisk pomiarowy jest wywierany poprzez wewnętrzną sprężynę oddziaływającą na ruchomy trzpień czujnika. W celu rejestracji danych i kontroli procesu pomiarowego zastosowano specjalizowane karty komputerowe:

- IK220 (Heidenhain) karta czujnika przemieszczeń;
- PCI-1750 (Advantech) cyfrowa karta I/O do pomiaru położenia głowicy i sterowania.



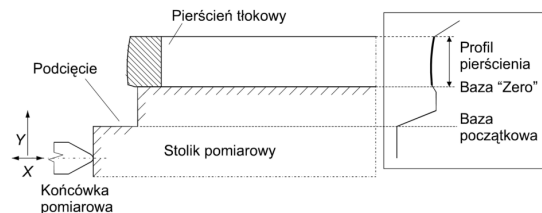
Rys. 6. Urządzenie do pomiarów profili pierścieni tłokowych
Fig. 6. Apparatus for measurements of piston ring profiles



Rys. 7. Widok strefy pomiarowej
Fig. 7. View of the measuring area

Ponieważ nie ma możliwości dokładnego wykrycia krawędzi w profilu pierścienia tłokowego w bezpośrednim pomiarze, w urządzeniu zastosowano specjalną procedurę zerowania. Dla wyznaczonego profilu, krawędź pierścienia stanowi jego bazę pomiarową (zero). Wykrycie tej bazy jest niemożliwe przy zastosowaniu pomiaru jednoosiowego, gdy występuje faza krawędzi pierścienia. Opracowano pośrednią metodę wykrywania „bazy zerowej” (rys. 8). W ścianie stolika pomiarowego wykonano

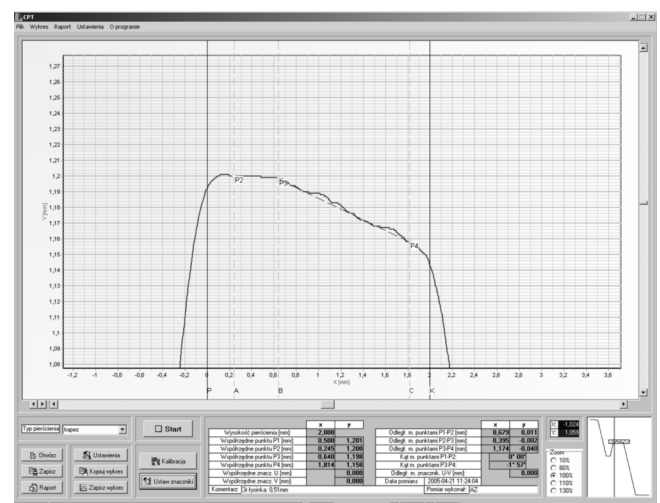
podcięcie, które stanowi „bazę początkową”. „Baza początkowa” jest wykrywana programowo podczas przesuwu końcówki pomiarowej wzdłuż ścianki stolika. Ponieważ położenie podcięcia jest znane, to baza pomiarowa pierścienia (baza zero) jest automatycznie ustawiana w programie. W opracowanym urządzeniu pozycja podcięcia była zmierzona za pomocą numerycznej maszyny pomiarowej CMM. Na profilogramie prezentowany jest jedynie zarys czola pierścienia. Pozostałe części zarejestrowanego konturu są ukrywane, ponieważ są wykorzystywane wyłącznie do określenia bazy pomiarowej.



Rys. 8. Ustawianie zera pomiarowego
Fig. 8. Measuring zero adjustment

Opracowane urządzenie umożliwia pomiary profili pierścieni tłokowych w zakresie średnic $50 \div 280$ mm i wysokości do 10 mm. Prędkość przesuwu liniowego czujnika w trakcie pomiaru wynosi ok. 0,5 mm/s. Ustawienie pierścienia tłokowego do pomiaru jest realizowane za pomocą ręcznego mechanizmu pozycjonującego i odpowiednich algorytmów kalibracji systemu pomiarowego. Procedura kalibracji jest przeprowadzana w celu ustawienia pierścienia tłokowego w zakresie pomiarowym czujnika. Kalibracja jest wymagana w przypadku zmiany typu badanego pierścienia. W celu ochrony urządzenia przed uszkodzeniem wywołanym błędami obsługi zastosowano specjalne procedury i algorytmy.

Oprogramowanie systemu pomiarowego umożliwia wyznaczenie parametrów profilu pierścienia, takich jak: wysokość baryłki, przemieszczenie wierzchołka baryłki, kąt pochylenia w pierścieniu trapezowym. Parametry te są automatycznie obliczane i prezentowane na ekranie (rys. 9).



Rys. 9. Okno z wyznaczonym konturem i obliczonymi parametrami profilu pierścienia

Fig. 9. Window with the drawn contour and calculated parameters of the piston ring profile

W bazie danych zamieszczone są dane wymiarowe pierścieni tłokowych znajdujących się w programie produkcyjnym. Oprogramowanie zawiera procedury: rejestrowania i analizy danych pomiarowych, rysowania profilu pierścienia, obliczania parametrów profilu pierścienia, drukowania raportu pomiarowego, dodawania nowego typu pierścienia do bazy danych.

Urządzenie do pomiarów profili pierścieni tłokowych zostało opracowane w ramach Programu Wieloletniego „Dokształcanie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008”.

4. Podsumowanie

Do wyznaczania profilu pierścieni tłokowych na potrzeby kontroli międzyoperacyjnej wykorzystano metodę stykową z zastosowaniem długościomierza inkrementalnego. Wykorzystanie czujnika ST 1288 charakteryzującego się bardzo małym dopuszczalnym obciążeniem promieniowym na końcówce długościomierza, było możliwe dzięki zastosowaniu miniaturowej prowadnicy liniowej pomiędzy czujnikiem a mierzonym pierścieniem. Uzyskana dokładność pomiarowa 2 μm dla kroku próbkowania 5 μm umożliwia bieżącą kontrolę procesu szlifowania pierścieni. Opracowane urządzenie warsztatowe umożliwia pomiary pierścieni w szerokim zakresie średnic bezpośrednio w fazie produkcji, w krótkim czasie. W przypadku pierścieni olejowych, ze względu na kształt końcówki pomiarowej możliwy jest pomiar profili o głębokości do 3 mm. Opracowane oprogramowanie umożliwia samodzielne przeprowadzenie kalibracji toru pomiarowego przez użytkownika bez konieczności angażowania serwisu producenta. Zaprezent-

wane rozwiązanie jest przykładem rozszerzenia zastosowań precyzyjnego czujnika przemieszczeń liniowych.

5. Literatura

- [1] Katalog urządzeń pomiarowych. Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie. <http://www.ios.krakow.pl/metrol/>
- [2] Katalog urządzeń pomiarowych. Taylor Hobson. <http://www.taylor-hobson.com/products.htm>
- [3] W. Jakubiec, J. Malinowski: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT Warszawa 1999.
- [4] E. Ratajczyk: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 1994.
- [5] T. Karpiński, Cz. Łukianowicz, T. Łukianowicz: Skomputeryzowane stanowisko do pomiaru i analizy profilu powierzchni. Pomiary Automatyka Kontrola 5/2000.
- [6] Bradshaw G.: Non-contact surface geometry measurement techniques. Trinity College, Dublin, 1999.
- [7] HEIDENHAIN catalogue. <http://www.heidenhain.com/>

Artykuł recenzowany

INFORMACJE





CONTROL-TECH

X Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej

29.09-1.10.2009, Kielce

Zakres branżowy targów:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Pomiary długości i kąta 2. Przyrządy pomiarowe 3. Maszyny pomiarowe 4. Urządzenia pomiarowe specjalnego zastosowania 5. Elementy do urządzeń pomiarowych i badawczych 6. Badanie materiału 7. Aparatura do prób nieniszczących 8. Aparatura analityczna 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Przyrządy do pomiaru wytrzymałości 10. Aparatura do określania innych wielkości fizycznych 11. Inne urządzenia 12. Oprogramowanie do komputerowego wspomaganie zapewnienia jakości 13. Analiza obrazu oraz systemy przetwarzania obrazu 14. Systemy optyczno-elektroniczne 15. Organizacje/ wydawnictwa/ usługi
---	--

CENY PROMOCYJNE DO 10 CZERWCA 2009

Targi Kielce, ul. Zakładowa 1, 25-672 Kielce
Menedżer Targów - **Joanna Adamczyk**, tel. 041 365 12 14
fax 041 365 13 13, e-mail: adamczyk.j@targikielce.pl
www.control-tech.pl

Patronat Internetowy:



