

Andrzej CELLARY, Czesław Janusz JERMAK, Radomir MAJCHROWSKI

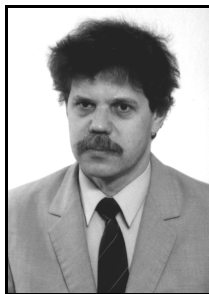
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Metody symulacyjne wyznaczenia błędów systemu do pomiaru odchyłki okrągłości metodą odniesieniową

Dr inż. Andrzej CELLARY

Adiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Uzyskał tytuł doktora nauk technicznych w roku 1987. Zainteresowania naukowe to Metrologia Wielkości Geometrycznych ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów odchyłek kształtu i topografii powierzchni oraz pomiarów pneumatycznych. Uczestniczy w pracach normalizacyjnych PKN oraz jest członkiem Sekcji Metrologii w Inżynierii Jakości i Diagnostyce KMİAN PAN.

e-mail: andrzej.cellary@put.poznan.pl



Dr inż. Radomir MAJCHROWSKI

W 2002 roku ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej na specjalizacji Mechatronika. Po ukończeniu studiów inżynierskich pracował przez okres trzech lat w Fabryce Silników Okrętowych HCP Cegielskiego, na stanowisku: technolog - programista obrabiarek CNC. Od 2002 roku jest doktorantem w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Współpracuje z The University of North Carolina at Charlotte USA.

e-mail: radomir.majchrowski@interia.pl



Dr inż. Czesław Janusz JERMAK

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Poznańskiej. Od początku działalności zawodowej zajmuje się problematyką pneumatycznych pomiarów długości. Twórca lub współtwórca 30 opatentowanych konstrukcji z dziedziny pneumatyki pomiarowej w tym przyrządu PNEUTRONIK produkowanego przez IZTW (IOS) w Krakowie. Autor ponad 60 publikacji z tego obszaru metrologii. Członek Sekcji Mikrosystemów i Czujników Pomiarowych KMİAN PAN.

e-mail: cz.jermak@interia.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych nowej koncepcji pomiaru odchyłki okrągłości wewnętrznych powierzchni cylindrycznych bazującą na metodzie odniesieniowej. Badania te miały na celu ustalenie wpływu cząstkowych błędów pomiaru, takich jak błąd pomiaru szczeliny pomiarowej oraz błąd związany ze zmianą położenia poprzecznego głowicy pomiarowej, na końcowy rezultat pomiaru odchyłki okrągłości. W trakcie badań testowano algorytm obliczeniowy pod kątem poprawności wykonywanych procedur obliczenia odchyłki okrągłości.

Słowa kluczowe: metoda odniesieniowa pomiaru okrągłości, pomiary pneumatyczne, symulacje.

Simulation methods for determining the errors of a reference roundness measurement system

Abstract

In the paper the results of simulation-based analysis of a new concept of the roundness measurement of inner cylindrical surfaces are presented. The method is based on the reference measurement. An innovative measuring device is equipped with 3 independent air gauges joined together into a special measuring head. The investigations were aimed at determining the influence of particular measurement errors such as the measuring slot error or the error caused by a non-orthodox position of the measuring head on the final result of the roundness measurement. The Gaussian distribution of the error values was assumed for those factors. In the investigations the calculation algorithm underwent the test to evaluate the calculation accuracy as well as the procedure for out-of-roundness measurements.

Keywords: out-of-roundness measurement, air gaging, simulations.

1. Wstęp

W artykule przedstawiono wyniki symulacji pomiarów odchyłki okrągłości metodą odniesieniową z zastosowaniem specjalnej głowicy pneumatycznej [2]. Symulacje pomiarów wykonano za pomocą algorytmów opracowanych w pakiecie Matlab [3].

Generowano 2 rodzaje błędów przypadkowych. Pierwszy związany z błędami przetworników pneumatycznych długości. Przyjęto

rozkład normalny błędu o parametrach $N(0; 0,5)$ μm . Drugi błąd związany był ze zmianą położenia poprzecznego głowicy pomiarowej co prowadziło do zmiany wskazań poszczególnych przetworników. Założono zmiany położenia środka głowicy w granicach ± 8 μm pod dowolnym kątem. Wartość ta wynikała z luzu pomiędzy płaszczem głowicy pomiarowej i wewnętrzną powierzchnią tulei. Dodatkowo założono, że pomiędzy sąsiednimi punktami pomiarowymi (720 pomiarów na 360°) przemieszczenie środka głowicy podlega rozkładowi normalnemu o odchyleniach standardowych równych $0,1$ μm w kierunku promieniowym i 2° w kierunku obwodowym. Oceniono również wpływ niedokładności katowej ustawienia przetworników w głowicy. W tym przypadku przyjęto wszystkie kombinacje względnych przesunięć katowych czujników o wartość $\pm 0,5^\circ$.

2. Opracowanie modelu wyjściowego testowania algorytmu

Na podstawie serii pomiarów 100 tulei cylindrycznych wykonanych przyrządem Tayrond 365 na trzech poziomach wysokości określono rozkłady harmonicznych zarysów. Analizę ograniczono do 15 harmonicznej. Wyznaczono przedział zmian amplitud poszczególnych harmonicznych i wygenerowano 10 profili okrągłości na których dokonano symulacji. Zbiorcze dane liczbowe pomiarów okrągłości tulei zawiera tablica 1.

Tab. 1. Zbiorcze wyniki pomiarów odchyłek okrągłości 100 tulei na 3 poziomach
Tab. 1. The results of roundness deviation measurements of 100 sleeves at 3 levels

Okrągłość	Poziom 1 [μm]	Poziom 2 [μm]	Poziom 3 [μm]
Średnia	2.93	1.88	2.08
Mediana	2.50	1.57	1.76
Odchylenie standardowe	1.40	1.17	1.33
Skośność	1.31	2.43	2.56
Minimum	0.79	0.54	0.65
Maksimum	8.51	6.94	9.45

Tab. 2. Zakresy amplitud harmonicznych użytych do generacji profili okrągłości
Tab. 2. Example of the histogram illustrating the distribution of the out-of-roundness differences in simulations of 100 measurements

Nr harmonicznej	Amplituda minimalna [μm]	Amplituda maksymalna [μm]	Nr harmonicznej	Amplituda minimalna [μm]	Amplituda maksymalna [μm]
2	0,050	1,40	9	0,001	0,13
3	0,005	0,40	10	0,002	0,15
4	0,004	0,22	11	0,002	0,12
5	0,004	0,20	12	0,001	0,12
6	0,002	0,20	13	0,001	0,13
7	0,001	0,18	14	0,002	0,10
8	0,001	0,15	15	0,001	0,11

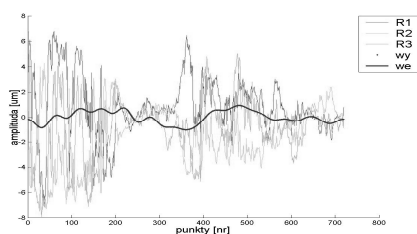
Amplitudy w założonych przedziałach miały rozkład równomierny i dowolnie zmieniające się fazy. Wartości odchyłek okrągłości wygenerowanych profili zamieszczono w tablicy 2.

3. Idea symulacji metody pomiaru

Podczas symulacji zastosowano trzy punkty pomiarowe i przeliczenie wartości z trzech przetworników długości w ten sposób, aby otrzymać wyniki takie jak z klasycznej metody pomiaru trójpunktowego.

4. Ocena wpływu niedokładności kąтового ustawienia czujników

Symulacyjnie przeanalizowano wpływ kąta α (pomiędzy przetwornikami R2, R3 symulującymi podpory) i γ (pomiędzy przetwornikiem R1 mierzącym zarys zaobserwowany a jedną z podpór) na błędy obliczenia odchyłek okrągłości. Zauważono, że wpływ kąta γ na wartość odchyłki okrągłości był minimalny i nie przekraczał $0,006 \mu\text{m}$. Wpływ kąta α w kombinacji z kątem γ był dużo większy, ale nie przekraczał $0,092 \mu\text{m}$. Dał się również zauważyć nierównomierny wpływ odchyłek amplitud harmonicznych na całkowitą odchyłkę okrągłości. W zależności od zarysu największe odchylenie wykazywały amplitudy 6 i 8 oraz 13 harmonicznej, odpowiednio ($0,026 \div 0,029 \mu\text{m}$) oraz ($0,017 \div 0,019 \mu\text{m}$), a odchyłki amplitud 2, 4, 11 oraz 15 były zbliżone do siebie i mniejsze o połowę. Przykładowy wykres dla symulacji wpływu przesunięcia kąta α i γ przedstawiono na rysunku 1.



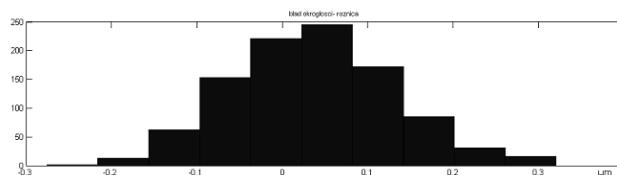
Rys. 1. Przykładowy wykres dla symulacji wpływu przesunięcia kąta α i γ oraz przebiegi zarysów wejściowego i wyjściowego

Fig. 1. Example of the graph illustrating the influence of displacement angle α and γ and the initial and resulting profiles

5. Ocena wpływ błędów przypadkowych na odchyłki okrągłości i amplitudy poszczególnych harmonicznych

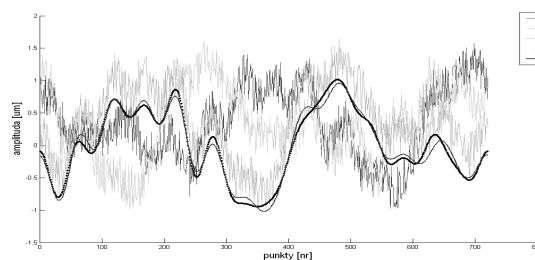
Symulując przypadkowe błędy pomiarów analizowano zarówno odchyłki okrągłości jak i zachowanie poszczególnych harmonicznych. Rozkłady tych różnic nie wykazywały asymetrii, a przykładowy histogram przedstawiono na rys. 2. Wartości średnie zmieniły się w granicach $0,026 \div 0,092 \mu\text{m}$; odchylenia średnie się w granicach $0,076 \div 0,100 \mu\text{m}$; wartość średnia + 2 odchylenia średnie nie przekraczały $0,27 \mu\text{m}$. Analizując wartości różnic poszczególnych harmonicznych można stwierdzić, że największe amplitudy występowały dla 8 i 6 harmonicznej i ich wartości były zbliżone do siebie, oraz 15 i 9 harmonicznej, (również zbliżone do siebie), lecz stanowiące około 50% wartości poprzednich. Aby sprawdzić jak układały się profile z błędami przypadkowymi w stosunku do profili wejściowych pokazano na przykładowym wykresie przebiegi wskaźników przetworników (R1, R2, R3) z wygenerowanymi błędami przypadkowymi oraz przebiegi zarysu wejściowego i wyjściowego (rys. 3). Z analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że maksymalne odchylenia zarysu wyjściowego od wejściowego mieszczą się w granicach $0,15 \div 0,20 \mu\text{m}$, dla błędów przypadkowych samych czujników. Dla sprawdzenia jak układają się profile z błędami przypadkowymi przetworników i położenia głowicy w stosunku do profili wejściowych analizowano przebiegi wygenerowanych sumarycznych błędów przypadkowych oraz przebiegi zarysu wejściowego i wyjściowego.

Przykład takiego przebiegu przedstawia rysunek 4. Dla wszystkich przebiegów, maksymalne odchylenia zarysu wyjściowego od wejściowego mieściły się w granicach $0,17 \div 0,25 \mu\text{m}$, dla sumarycznych błędów przypadkowych wyjściowego od wejściowego mieściły się w granicach $0,17 \div 0,25 \mu\text{m}$, dla sumarycznych błędów przypadkowych.



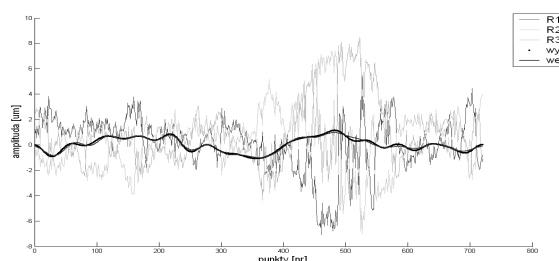
Rys. 2. Przykładowy histogram rozkładu różnic odchyłek okrągłości przy symulacji 1000 pomiarów

Fig. 2. Example of the histogram illustrating the distribution of the out-of-roundness differences in the simulations of 1000 measurements



Rys. 3. Przykładowy wykres przebiegów wskaźników przetworników (R1, R2, R3) z wygenerowanymi błędami przypadkowymi oraz przebiegi zarysu wejściowego i wyjściowego

Fig. 3. Exemplary graphs showing indications of gages R1, R2 and R3 with generated random errors, as well as graphs of the input and output profiles



Rys. 4. Wykres przebiegów wskaźników przetworników (R1, R2, R3) z wygenerowanymi błędami przypadkowymi wraz z błędami położenia głowicy oraz przebiegi zarysu wejściowego i wyjściowego

Fig. 4. The graph showing indications of gages R1, R2 and R3 with the generated random errors together with the measuring head position errors, as well as the input and output profile graphs

6. Wnioski

Badania symulacyjne pomiaru odchyłki okrągłości metodą odniesieniową, umożliwiły dokładną analizę opracowanych algorytmów obliczeniowych. Wyznaczono maksymalne odchylenia zarysu wyjściowego dla błędów przypadkowych przetworników pneumatycznych. Ustalono, że wzrost odchylenia zarysów na skutek dodania błędów położenia głowicy w stosunku do błędów przypadkowych samych przetworników nie przekraczało $0,05 \mu\text{m}$. Zaproponowana metoda pomiaru odchyłki okrągłości charakteryzuje się dużą dokładnością i wykazuje dużą „odporność” na wpływ przypadkowych błędów pomiaru przetworników długości oraz błędów wynikających z położenia osi głowicy pomiarowej.

7. Literatura

- [1] Adamczak S.: Odniesieniowe metody pomiaru zarysów okrągłości części maszyn. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998.
- [2] Cellary A., Jermak Cz.: Pomiar odchyłki okrągłości pneumatyczną metodą odniesieniową. Materiały 13 Konferencji Metrologia w Technicznych Wytwarzaniu, Poznań 2009.
- [3] Zalewski A., Cegła R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowania, Wydawnictwo Nakom, Poznań 1997.