

Dyfrakcyjna metoda pomiaru średnic wałków

Jerzy Mąkowski

Streszczenie: Znane teorie dyfrakcji uwzględniają punktowe źródło światła i tzw. ostrą krawędź. Potrzeba zastosowania tego zjawiska w procesie pomiarowym spowodowała podjęcie prac nad modyfikacją teorii najbliższej warunkom rzeczywistym. W artykule przedstawiono modyfikację równań dyfrakcyjnych Wojciecha Rubinowicza dla rozciągniętego źródła światła i przesłony w postaci walca. Zaprezentowano wyniki cyfrowych symulacji procesu dyfrakcji na wałku z wykorzystaniem wiązki laserowej. Określono zasady pomiarów oraz przedstawiono graficzne efekty symulacji i eksperymentu. Wykazano możliwość pomiarów bez stosowania wzorców, co pozwoli na zmniejszenie ich niepewności.

Słowa kluczowe: dyfrakcja, fala geometryczna, fala krawędziowa, rozciągnięte źródło światła

1. Wstęp

Zagadnienia omówione w [1, 2] stanowią podstawę do dalszych prac w zakresie analizy zjawiska dyfrakcji w warunkach rzeczywistych. Zastosowanie uznanej przez świat nauki teorii, wprowadzenie nowych warunków szczegółowych oraz skorzystanie z nowoczesnej techniki obliczeniowej pozwala na realizację dyfrakcyjnej metody pomiaru średnic wałków. Zjawisko dyfrakcji, opracowane matematycznie przez Rubinowicza [4], sprowadza pole falowe do uporządkowanego oddziaływania fal geometrycznych z falami krawędziowymi. Podstawą rozważań w tej teorii jest źródło punktowe i ostra krawędź. Elementy te nie istnieją w warunkach eksperymentu. Koniecznym jest rozważenie źródła rozciągniętego i przesłony przestrzennej. W opracowanej metodzie pomiarowej zastosowano przewężenie wiązki laserowej jako źródło przestrzenne. Poszczególne źródła punktowe wchodzące w jego skład promieniują w tej samej fazie. Przesłoną przestrzenną jest wałek, którego tworzące stanowią zbiór ostrych krawędzi. Zastosowanie wałka jako przesłony pozwala na dokładne określenie położenia poszczególnych krawędzi w stosunku do kolejnych punktów (źródeł cząstkowych) źródła rozciągniętego. Tak przyjęte założenia umożliwią rozpatrywanie wielu układów – źródeł punktowych i ostrych krawędzi. W wyniku zastosowania zasady superpozycji otrzymuje się rozkład dyfrakcyjny dla omówionego układu rzeczywistego. Przedstawione rozważania dyfrakcyjne nie uwzględniają rodzaju powierzchni wałka ani jej chropowatości. Zagadnienia te wymagają wielu dodatkowych badań. Mimo tych niedoskonałości zastosowane symulacje pokrywają się z wynikami eksperymentu dla polerowanych igiełek łożyskowych.

2. Modyfikacja równań dyfrakcyjnych do warunków rzeczywistych

Zgodnie z teorią Younga-Rubinowicza w procesie dyfrakcji uczestniczą dwie fale: **fala geometryczna i fala krawędziowa** [4]. Opisana poniżej modyfikacja teorii Rubinowicza prowadzona jest na podstawie geometrii układu dyfrakcyjnego omówionej w [2]. Podano tam nową (powtórzoną poniżej) postać wzorów na falę geometryczną i falę krawędziową. Przedstawione na rys. 1 obszary obserwacji oraz ich właściwości zostały omówione w [2]. Przyjęto następujące oznaczenia: M – średnica wałka, x_p – początkowy punkt źródła rozciągniętego (źródło punktowe), x_k – końcowy punkt źródła rozciągniętego (źródło punktowe), x_w – dowolny wewnętrzny punkt źródła rozciągniętego (źródło punktowe), z_0 – odległość źródła rozciągniętego od osi x , L – odległość płaszczyzny obserwacji od osi x , P_1 – punkt obserwacji leżący na przecięciu stycznej do wałka wychodzącej z punktu x_k z płaszczyzną obserwacji, P_2 – punkt obserwacji leżący na przecięciu stycznej do wałka wychodzącej z punktu x_p z płaszczyzną obserwacji, x_w – aktualnie rozpatrywane źródło punktowe.

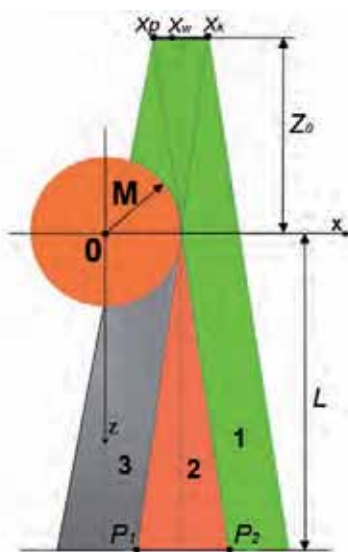
Fale, geometryczną (U_G) oraz krawędziową (U_B) określają wzory:

$$U_G = \frac{x_k e^{ikR}}{x_w R} dx, \quad (1)$$

$$U_B = \frac{x_w e^{\frac{ikR \pm}{4}}}{x_p R \sqrt{2}} + \sqrt{\frac{2k}{r+R}} e^{\frac{iv^2}{2}} dv dx, \quad (2)$$

gdzie

$$v = \sqrt{\frac{2k}{r} r - R}. \quad (3)$$



Rys. 1. Obszary obserwacji
Fig. 1. Area of observation

Obecnie wprowadzono pojęcie widocznej części źródła wyznaczając punkt x_w (rys. 1). W [2] punkt ten określany jest jako x_1 . Wprowadzona zmiana pozwala lepiej zrozumieć rozpatrywany obszar źródła światła. Wyznaczono w ten sposób dwa obszary – widoczny i niewidoczny – określane względem rozpatrywanego punktu obserwacji. Można wówczas określić obszary całkowania. Zastosowanie metody fazy stacjonarnej pozwala na ograniczenie całkowania tylko do elementów widocznych i niewidocznych źródła rozciągniętego. Na rozpatrywanej krawędzi uwzględnia się wówczas tylko punkty czynne [4].

Natężenie wypadkowe fali dyfrakcyjnej w punkcie obserwacji wyznaczane jest ze wzoru:

$$I = |U_G|^2 + |U_B|^2 + 2|U_G||U_B|\cos(\varphi_G - \varphi_B) \quad (4)$$

gdzie φ_G i φ_B określają fazy fal geometrycznej i krawędziowej. W [2] uzasadniono przyjęcie przewężenia wiązki światła laserowego jako źródła w rozważaniach dyfrakcji. Konsekwencją tego jest zastosowanie gaussowskiego rozkładu natężenia światła w źródle. W równaniach (1) i (2) należy więc wprowadzić czynnik zmienności amplitudy $A(P)$ na długości źródła. Dla zastosowanej wiązki laserowej jest to rozkład gaussowski.

$$U_G = \int_{x_w}^{x_k} A(P) \frac{e^{ikR}}{R} dx, \quad (5)$$

$$U_B = \int_{x_p}^{x_w} A(P) \frac{e^{i \frac{kR \pm}{4}}}{R\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2k}{r+R}} e^{i \frac{v^2}{2}} dv dx. \quad (6)$$

Parametry r , ρ , R określają drogę optyczną dla fali krawędziowej i zostały pokazane na rys. 3 [2]. Wzory powyższe przedstawiają zmodyfikowaną postać równań dyfrakcyjnych zbudowanych na założeniach Rubinowicza. Do każdego punktu obserwacji dociera fala geometryczna z poszczególnych niezastłoniętych punktów źródła. Analiza przedstawionych równań metodami tradycyjnymi prowadzi do bardzo skomplikowanych rozwiązań. Uzyskanie wyników pozwalających na wykreślenie przebiegu krzywych reprezentujących rozkład amplitudy w funkcji położenia na płaszczyźnie obserwacji możliwe jest po zastosowaniu metod cyfrowych. Obliczenie amplitudy i fazy fal geometrycznej i krawędziowej dla każdego punktu obserwacji od każdego punktu źródła oraz zastosowanie zasady superpozycji pozwala na uzyskanie rozkładu dyfrakcyjnego. Dla analizy cyfrowej przyjmujemy kolejne punkty obserwacji i sumujemy uzyskane wyniki. Zaburzenie w dowolnym punkcie obserwacji (P) pochodzące od dowolnego punktu źródła można zapisać jako

$$U_G = \frac{e^{ikR}}{R} A(P), \quad \varphi_G = kR.$$

Zaburzenie wypadkowe dla każdego punktu obserwacji od fali geometrycznej otrzymamy, obliczając całkę po niezastłoniętej części źródła. Zaburzenie wypadkowe dla każdego punktu obserwacji od fali krawędziowej oblicza się zgodnie z wzorem

$$U_B = \frac{e^{i\varphi_B}}{R\sqrt{2}} A(P) \quad (7)$$

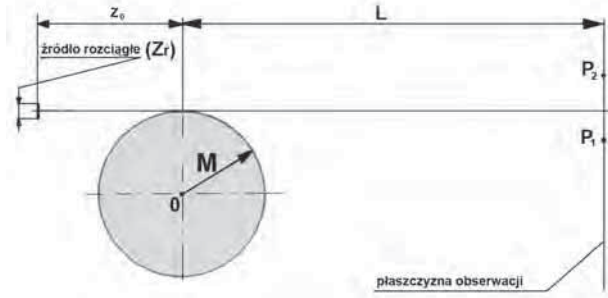
gdzie $e^{i\varphi_B}$ jest czynnikiem fazowym $e^{i\varphi_B} = C(x) + iS(x)$, natomiast $C(x)$ oraz $S(x)$ są całkami Fresnela. Wniosek ten wynika z [4].

$$C(x) = \int_0^x \cos \frac{x^2}{2} dx, \quad S(x) = \int_0^x \sin \frac{x^2}{2} dx.$$

Parametr x zgodnie z teorią Rubinowicza [4, 5] wyznacza się ze wzoru

$$x = \sqrt{\frac{4(r + \rho - R)}{\lambda}}.$$

Po uwzględnieniu warunków geometrycznych określających wzajemne położenie i wymiary źródła, wałka i obszaru obserwacji oraz wykonaniu całkowania metodą Simpsona z krokiem λ/n , gdzie n jest liczbą warunkującą dokładność obliczeń otrzymuje się wartości fal geometrycznej i kra-



Rys. 2. Schemat układu dyfrakcyjnego do analizy numerycznej
Fig. 2. Diagram of diffraction system for numerical analysis

wędziowej w poszczególnych punktach obserwacji. Natężenie fali wypadkowej określa wzór (4), gdzie φ_G i φ_B określają fazy fal geometrycznej i krawędziowej.

Po wprowadzeniu powyższych modyfikacji, przyjęto założenia co do szczegółowej geometrii badanego układu. Określono obszary zasłonięte przez wałek, w których nie występuje rejestrowane pole falowe. Programy opracowane w języku Fortran 90 pozwoliły na graficzne przedstawienie fal uczestniczących w procesie dyfrakcji. Znane metody eksperymentalne nie pozwalają na ich rejestrację. Schemat ideowy numerycznego badania omówionego przypadku dyfrakcji podany jest na rys. 2.

Obliczenia można przeprowadzać dla:

- różnych długości fal (λ),
- różnych promieni wałka (M),
- różnych wymiarów geometrycznych układu (Z_0 , L),
- różnych wymiarów źródła (Z_r),
- różnych obszarów obserwacji (P_1 do P_2),

W programie analizującym zjawisko dyfrakcji przyjęto następujące założenia:

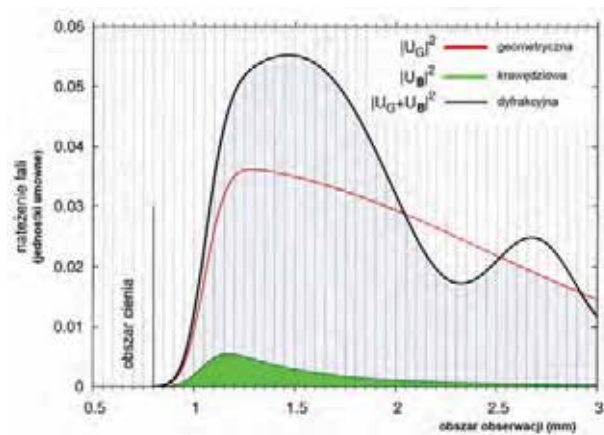
- stałe (dla danego badania) położenie źródła rozciągłego,
- stałe położenie przeszkody walcowej,
- badanie efektów dyfrakcyjnych w określonym obszarze obserwacji.

Środek źródła światła (rys. 2) jest umieszczany na stycznej do wałka i prostopadłej do płaszczyzny obserwacji. Istnieje możliwość zmian położenia źródła światła, co pozwala na analizowanie efektu dyfrakcyjnego dla różnych przypadków. Na rys. 3 podano przykład rozkładu fal uczestniczących w procesie dyfrakcji dla:

- wałka o średnicy 2 mm,
- $\lambda = 0,000633$ mm,
- położenia osi źródła światła w odległości 1 mm od osi wałka,
- odległości płaszczyzny źródła od osi wałka $Z_0 = 100$ mm,
- odległości płaszczyzny obserwacji od osi wałka $L = 410$ mm,
- średnicy źródła $Z_r = 0,07$ mm,
- obszaru obserwacji od $P_1 = 0,5$ mm do $P_2 = 3$ mm.

Na osi rzędnych (rys. 3) – amplituda fali U w jednostkach umownych jako odpowiednik rejestrowanego natężenia fali. Na osi odciętych położenie punktów obserwacji w milimetrach, wielkość oznaczona jako $|U_G + U_B|^2$ obliczana jest ze wzoru (4). Określenie „obszar cienia” oznacza obszar 3 na rys. 1.

W rozważanym przypadku mamy do czynienia z falą padającą na przeszkodę walcową pod kątem zbliżonym do $0,5\pi$.



Rys. 3. Przebieg fal: geometrycznej, krawędziowej, dyfrakcyjnej
Fig. 3. Course of waves: geometric, edge, diffraction ones

Pojawia się wówczas fala krawędziowa mająca charakter fali odbitej. Występujące oscylacje fali dyfrakcyjnej są wynikiem interferencji fal krawędziowych i fal geometrycznych. Do każdego punktu obserwacji dociera nieskończona liczba fal krawędziowych powstających w wyniku dyfrakcji fal geometrycznych na czynnych punktach walca (punkty Q , rys. 3 [2]). Fale ulegające dyfrakcji mają różną amplitudę i fazę (różne drogi optyczne dla poszczególnych tworzących wałka) oraz padają na poszczególne krawędzie pod różnym kątem. Do tego samego punktu obserwacji docierają fale geometryczne z różnych punktów źródła rozciągniętego, a więc również mają różne amplitudy i fazy. Ten sam wniosek wysnuł Rubinowicz [4, s. 98], stwierdzając: „fale krawędziowe nazywane falami ugięcia posiadają charakter odbicia” oraz że „w pierwszym przybliżeniu fala ugięcia powstaje przez odbijanie fali padającej na poszczególnych elementach krawędzi uginającej”. Wykresy amplitud fal krawędziowych i geometrycznych (rys. 3) wskazują na istnienie wyraźnych zmian ich faz, co powoduje oscylacje fali dyfrakcyjnej, a tym samym odstępstwo od teorii odbicia nie uwzględniających zjawiska dyfrakcji. Zagadnienie zostało wyjaśnione dzięki dokładnym obliczeniom przeprowadzonym z bardzo małym skokiem drogi optycznej ($r + \rho - R$). Nawet przy kącie padania zbliżonym do $0,5 \pi$ radianów mamy do czynienia z wyraźną zmianą fazy. Przebieg fali krawędziowej (rys. 3, linia zielona), wskazuje na bardzo małe jej natężenie w całym obszarze obserwacji. Cecha ta odróżnia falę krawędziową od typowych fal odbitych, zgodnie z przewidywaniami Rubinowicza. Widzimy jednak ogromny jej wpływ na falę dyfrakcyjną, co spowodowane jest różnicą faz tych fal. Osiągnięte rezultaty pozwalają na analizowanie wpływu średnicy wałka i parametrów geometrycznych układu dyfrakcyjnego na rozkład dyfrakcyjny. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły zgodność wyników teoretycznych z doświadczeniem. Wyniki eksperymentalne nie będą obecnie prezentowane.

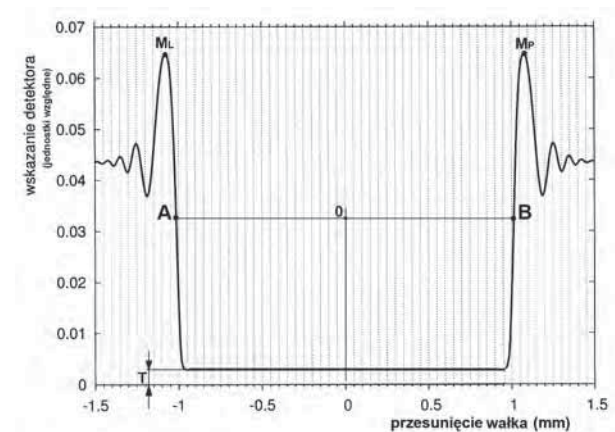
3. Dyfrakcyjna metoda pomiaru średnicy wałka

Nowa metoda pomiarowa oparta została na ściśle zdefiniowanym zjawisku fizycznym. Podane rozwiązanie modyfikujące teorię dyfrakcji Rubinowicza pozwala na opisanie podstawowych etapów budowy systemu pomiarowego [3]. Są to:

- **zasada pomiaru** – przeprowadzenie cyfrowej symulacji zjawiska dyfrakcji dla różnych średnic wałków,
 - **sposób pomiaru** – eksperymentalne wyznaczenie krzywych dyfrakcyjnych pojawiających się na płaszczyźnie obserwacji w przypadku przesuwania wałka prostopadle do osi laser-detektor,
 - **metoda pomiaru** – opisuje dokładnie metodę porównania eksperymentalnego rozkładu dyfrakcyjnego z rozkładem uzyskanym w procesie symulacji.
- Przedstawiony system pomiarowy nie korzysta z wzorców. Tym sposobem unika się błędów wynikających z:
- wykonania wzorca,
 - pomiaru wzorca,
 - mocowania wzorca w układzie pomiarowym,
 - odczytu wartości wzorca w trakcie wzorcowania przyrządu pomiarowego.

3.1. Zasada pomiaru

Korzystając z opracowanej modyfikacji teorii Rubinowicza oraz programu komputerowego uzyskuje się teoretyczny przebieg krzywej dyfrakcyjnej po obu stronach wałka przesuwanego prostopadle do osi laser detektor. W wyniku symulacji cyfrowej uzyskuje się rozkład dyfrakcyjny pokazany na rys. 4.



Rys. 4. Teoretyczny rozkład dyfrakcyjny dla wałka
Fig. 4. Theoretical diffraction composition for cylinder

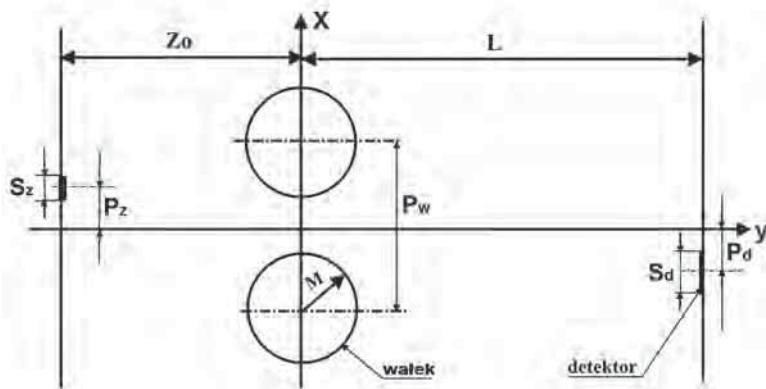
Zastosowano następujące oznaczenia (rys. 4): M_L – maksimum lewe, A – punkt pomiarowy lewy, T – poziom tła, O – umowny punkt środka, B – punkt pomiarowy prawy, M_P – maksimum prawe.

Przedstawiony wykres pokazuje wszystkie charakterystyczne punkty krzywej dyfrakcyjnej pozwalające na wyznaczenie wartości średnicy mierzonego wałka oraz na ocenę poprawności ustawienia przyrządu. Porównanie wskazań detektora w punktach M_L i M_P umożliwia określenie współosiowości położenia lasera i detektora. Przy założeniu $M_L = M_P$ punkty A i B położone są na poziomie $0,5(M_L - T)$. Odcinek między tymi punktami ($A0 + 0B$) nazywa się odcinkiem pomiarowym i reprezentuje wartość wymiaru określonego wałka.

3.2. Sposób pomiaru

Opisana zasada pomiaru umożliwia:

- minimalizację liczby elementów ruchomych (w opracowanej metodzie istnieje jeden element ruchomy),
- automatyczne określanie błędów położenia lasera lub detektora.

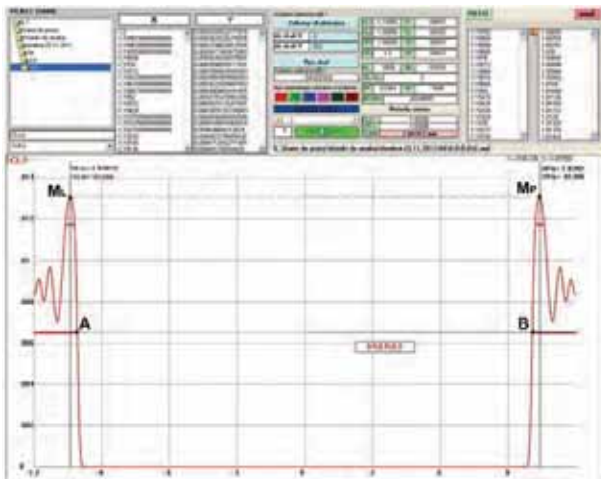


Rys. 5. Schemat sposobu pomiaru w dyfrakcyjnej metodzie pomiaru średnic wałków

Fig. 5. Diagram of the way of measuring in diffraction method of measuring of cylinder diameters

Układ pomiarowy zbudowany jest na bazie współosiowego położenia lasera i detektora. Sposób pomiaru pokazano schematycznie na rys. 5.

Oznaczenia na rys. 5. M – promień mierzonego wałka, z_0 – odległość płaszczyzny źródła światła od płaszczyzny transportu wałka, L – odległość płaszczyzny detektora od płaszczyzny transportu wałka, S_z – szerokość źródła światła, P_z – błąd współosiowości położenia źródła, S_d – średnica detektora, P_d – błąd współosiowości położenia detektora, P_w – odciłek przesunięcia wałka.

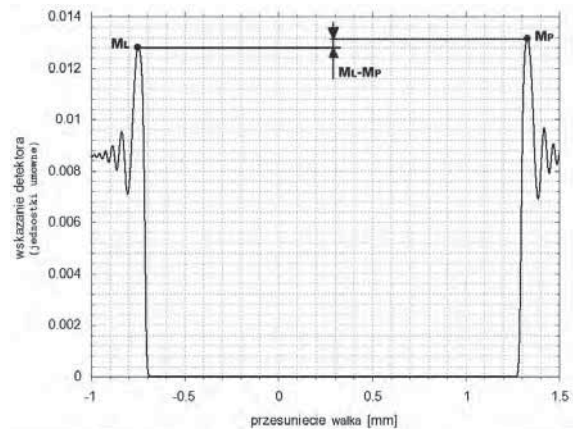


Rys. 6. Eksperyment pomiarowy dla przypadku osiowego ustawienia laser-detektor

Fig. 6. Measuring experiment for the case of axial placement of laser-detector

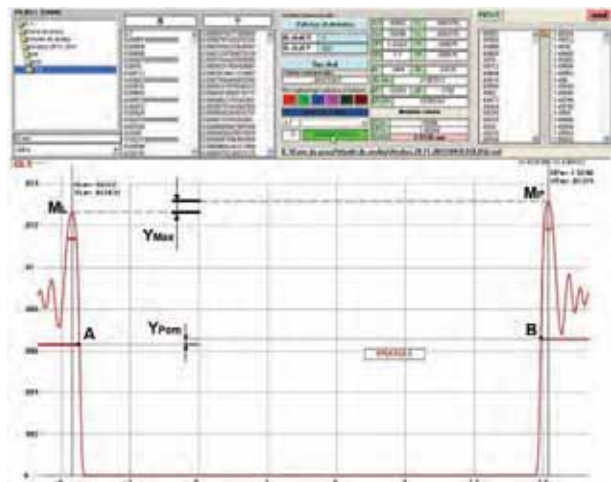
Płaszczyzna transportu wałka jest prostopadła do osi laser-detektor i równoległa do płaszczyzny obserwacji. Położenie wałka określane jest przez interferometr z rozdzielczością $0,002 \mu\text{m}$. Wartości położenia odczytywane przez interferometr są zsynchronizowane z odczytami detektora. Następuje wykreślanie przebiegów dyfrakcyjnych. Dla współosiowego położenia źródło-detektor otrzymuje się wykres pokazany na rys. 6.

Opracowany system pomiarowy wykrywa niewspółosiowość położenia laser-detektor. Określa jej dopuszczalny zakres i sygnalizuje wartość błędu. Rejestracja niewspółosiowości w procesie symulacji przedstawiono na rys. 7. Zjawisko to, powstałe w eksperymencie, pokazano na rys. 8. Opracowany system pozwala na określanie położenia punktów pomiarowych w zależności od wartości maksimów. Przyjęcie umownego punktu 0 jako środka odcinka pomiarowego 0 (rys. 4) umożliwia obliczenie sumy odcinków $A0$ i $0B$. Ustalana tą metodą wartość odcinka pomiarowego powoduje zmniejszenie niepewności pomiaru. Pełna tabela teoretycznych wartości odcinka pomiarowego dla całego zakresu pomiarowego (przewidzianego dla konkretnego typu przyrządu) wgrana będzie do pamięci systemu pomiarowego. W opisie podano tylko podstawowe elementy systemu pomiarowego objętego patentem.



Rys. 7. Teoretyczne położenie maksimów przy błędzie współosiowości laser-detektor

Fig. 7. Theoretical position of maximum in coaxial laser-detector



Rys. 8. Eksperyment pomiarowy dla przypadku błędu współosiowości laser-detektor

Fig. 8. Measuring experiment for the case of mistake of coaxial laser-detector

3.3. Metoda pomiaru

Metoda pomiaru stosowana w dyfrakcyjnym systemie pomiaru średnicy wałka polega na porównaniu odcinka pomiarowego uzyskanego w procesie symulacji z odcinkiem pomiarowym uzyskanym w eksperymencie. W procesie porównania występuje szereg punktów kontroli. Szczegółowe analizy symulacyjne umożliwiają ocenę wielu parametrów np.:

- dopuszczalnych niewspółosiowości laser-detektor oraz przyjęcie, wynikających z tego, poprawek wartości odcinka pomiarowego,
- wpływu wartości długości źródła rozciągniętego na wynik,
- wpływu wartości średnicy detektora na wynik,
- wpływu błędu położenia wałka, w procesie transportu, na wynik,
- optymalnego położenia odcinka pomiarowego.

Efekty symulacji pozwalają na wnioskowanie o dopuszczalnych odchyleniach od rozwiązań teoretycznych oraz na optymalizację konstrukcji i funkcjonowania systemu pomiarowego. Pomiary mogą być realizowane wielokrotnie, co pozwala na obliczenie wartości średniej i wykonania analizy wyników. Szczegółowy zakres analizy opracowywany jest dla oprogramowania prototypu produkcyjnego. Przyjęte rozwiązanie ma za zadanie minimalizację niepewności. Na uniwersalnym stanowisku badawczym przetestowano zaproponowaną metodę. Uzyskano około trzykrotne zmniejszenie rozrzutu rejestrowanych wartości w stosunku do pomiarów znanymi mikrometrami laserowymi. Obliczenia wskazują na możliwość uzyskania niepewności ok. 3,53 nm. Przedstawione rozwiązanie zostało opatentowane. Aktualnie trwają prace przy budowie prototypu urządzenia.

W rozwiązaniu docelowym, przewidzianym dla pomiarów wzorców, co wynika z oczekiwanej niepewności, projektuje się uzyskiwanie wyników wielokrotnych pomiarów wraz z analizą w czasie ok. 10 minut. Z uwagi na informacyjny charakter obecnego opracowania nie zamieszczono wyników pomiarów kontrolnych.

4. Podsumowanie

Przedstawione w [1, 2] i obecnym artykule spojrzenie na optyczne bezdotykowe metody pomiaru średnic wałków wskazuje na słuszność rozważań teoretycznych, prowadzących do określenia zasady pomiaru opartej na zjawisku fizycznym. Przykładem celowości przedstawionego postępowania jest stopniowe modyfikowanie definicji metra. Porównując definicję (z lat 1795–1889) określającą metr jako długość równą 10^{-7} odległości mierzonej wzdłuż południka paryskiego od równika do bieguna z definicją określającą metr jako 1 650 763,73 długości fali promieniowania w próżni odpowiadającego przejściu między poziomami $2p^{10}$ a $5d^5$ atomu kryptonu 86 widzimy systematyczne dążenie do oparcia jednostek miar, a co za tym idzie i metod pomiarowych na zjawiskach fizycznych. Teoria dyfrakcji Rubinowicza oparta na założeniach Younga dobrze przedstawiała problem dla tradycyjnie przyjmowanego źródła punktowego i ostrej krawędzi. Znalezienie zespołu źródeł punktowych traktowanych jako źródło rozciągnięte i posiadających podstawową własność – stałą fazę – oraz modyfikacja równań Rubinowicza stanowi znaczący krok w kierunku zastosowania zjawiska dyfrakcji w pomiarach. Przedstawione rozwiązanie pozwala zmniejszyć niepewność pomiarów o ok. 2

rzędy. Zrealizowany zestaw programów umożliwia analizę różnych układów dyfrakcyjnych, optymalizację elementów systemu pomiarowego oraz ustalanie najkorzystniejszego, z punktu widzenia niepewności pomiaru, położenia punktów pomiarowych. Zagadnienie to jest obecnie szczegółowo opracowywane.

Bibliografia

1. Mąkowski J., *Analiza wybranych właściwości metrologicznych mikrometrów laserowych*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 1/2013, 153–157.
2. Mąkowski J., *Określenie zasady pomiaru dla bezdotykowych optycznych pomiarów średnic wałków*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2/2013, 86–89.
3. Dusza J., Gortat G., Leśniewski A., *Podstawy miernictwa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
4. Rubinowicz W., *Teoria dyfrakcji Kirchhoffa i jej interpretacja na podstawie poglądów Younga*, Ossolineum, 1972.
5. Petykiewicz J., *Optyka falowa*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1986.
6. Józwicki R., *Optyka laserów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1981. ■

Diffraction method of the measurement of cylinder diameters

Abstract: Commonly known diffraction theories take into account a point light source and the so called, a sharp edge. The need of use of this phenomenon in the measuring process made it necessary to take up works on a modification of the theory closest to real measurement conditions. In the article, modifications of Wojciech Rubinowicz diffraction equations were introduced using an expended light source and a spatial aperture in the form of the cylinder. The results of the digital simulations of the diffraction process on the cylinder using laser beam were shown. The measurement principle and the graphic effects of the simulation process and the experiment were presented. The measurement possibility without the use of standards was demonstrated, what allows to reduce the measurement uncertainty.

Keywords: diffraction, geometric wave, edge wave, extensive source of light

mgr inż. Jerzy Mąkowski

Absolwent Politechniki Warszawskiej Wydziału Mechaniki Precyzyjnej (obecnie Mechatroniki), projektant systemów zarządzania w przemyśle. Obecnie bada bezdotykowe optyczne metody pomiarowe w Instytucie Metrologii i Systemów Biomedycznych Politechniki Warszawskiej.

e-mail: jurek.mako@wp.pl

