

Wojciech KAPŁONEK<sup>1</sup>, Czesław ŁUKIANOWICZ<sup>1</sup>, Krzysztof NADOLNY<sup>1</sup>, Rafał PAWLIKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

<sup>2</sup> POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, INSTYTUT MECHATRONIKI, NANOTECHNOLOGII I TECHNIKI PRÓŻNIOWEJ, ZAKŁAD MECHATRONIKI I MECHANIKI STOSOWANEJ, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

## Pomiary i analiza topografii powierzchni wzorców kontrolnych typu C przeznaczonych do sprawdzania profilometrów stykowych

Dr inż. Wojciech KAPŁONEK

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2003 r.). W 2010 r. obronił z wyróżnieniem rozprawę doktorską. Od 2007 r. jest pracownikiem Zakładu Metrologii i Jakości w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej, gdzie obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta. Jego zainteresowania naukowe skupiają się wokół zagadnień związanych z pomiarami struktury geometrycznej powierzchni metodami optycznymi oraz wykorzystaniem technik przetwarzania i analizy obrazu.

e-mail: wojciech.kaplonek@tu.koszalin.pl



Dr inż. Krzysztof NADOLNY

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2001 r.). W 2006 r. obronił z wyróżnieniem rozprawę doktorską. Od 2006 r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Specjalizuje się w badaniach nad innowacyjnymi narzędziami ściernymi oraz nowymi odmianami kinematycznymi procesu szlifowania. Opublikował z tego zakresu ponad 40 artykułów i referatów naukowych.

e-mail: krzysztof.nadolny@tu.koszalin.pl



Dr hab. inż. Czesław ŁUKIANOWICZ

Autor jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Od 2001 r. kieruje Zakładem Metrologii i Jakości w Katedrze Inżynierii Produkcji. Specjalizuje się w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni metodami stykowymi i optycznymi. Opublikował z tego zakresu ponad 100 artykułów i referatów naukowych.

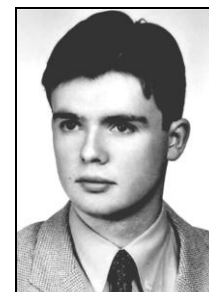
e-mail: czeslaw.lukianowicz@tu.koszalin.pl



Mgr inż. Rafał PAWLIKOWSKI

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2007 r.). W latach 2009-2011 był słuchaczem studiów doktoranckich. Od 2010 r. jest zatrudniony na stanowisku asystenta w Zakładzie Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej Instytutu Mechatroniki Nanotechnologii i Techniki Próżniowej Politechniki Koszalińskiej. Jego zainteresowania naukowe dotyczą metod sprawdzania urządzeń pomiarowych stosowanych do oceny struktury geometrycznej powierzchni.

e-mail: rafal.pawlikowski@tu.koszalin.pl



### Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z analizą topografii powierzchni wzorców kontrolnych typu C (w odmianach C2 i C3) przeznaczonych do sprawdzania profilometrów stykowych. Wykazano, iż wzorce tego typu mogą być sprawdzane za pomocą aparatury pomiarowej wykorzystującej nowoczesne metody optyczne – koherencyjną interferometrię korelacyjną oraz konfokalną laserową mikroskopię skaningową. Rozpatrzenie możliwości zastosowania różnych metod umożliwia opracowanie procedur kalibracyjnych stosowanych dla urządzeń stykowych.

**Słowa kluczowe:** wzorce kontrolne, topografia powierzchni, sprawdzanie profilometrów stykowych, pomiary optyczne.

### Measurements and analysis of surface topography of calibration specimens of type C for stylus profilometers

#### Abstract

In modern measurement technique there are used many groups of methods for assessment of geometrical structure of surface (GSS). The most important mechanical methods, which have played the predominant role for many years in this type of measurements, are the stylus methods. They are realized by stylus profilometers characterized by high accuracy and resolution as well as possibility of assessment of surface topography in 2D and 3D. To obtain a high accuracy and repeatability of measurements, the stylus profilometers should be periodically calibrated. The standard procedures include diagnostics of the general conditions of a measuring instrument as well as testing its metrological parameters. In most cases these procedures are realized by calibration specimens (material and programmable). In the paper issues related to measurements and analysis of the surface topography of calibration specimens of type C (variations C2 and C3) for calibrating the stylus profilometers are presented. It is shown that specimens of these types can be assessed by advanced measuring systems using optical methods e.g. CCI (Coherence Correlation Interferometry) and CLSM (Confocal Laser Scanning Microscopy). Consideration of the possibility of using different methods allows working out proper calibration procedures for the stylus instruments.

**Keywords:** calibration specimens, surface topography, calibration of the stylus profilometers, optical measurements.

### 1. Wprowadzenie

We współczesnej technice pomiarowej korzysta się z wielu grup metod służących do oceny struktury geometrycznej powierzchni (SGP) [1-2]. Najważniejszymi metodami mechanicznymi odgrywającymi od wielu lat dominującą rolę w tego typu pomiarach są stykowe metody profilometryczne, realizowane za pomocą profilometrów stykowych [3]. Te nowoczesne urządzenia pomiarowe charakteryzują się dużą dokładnością, znacznym zakresem pomiarowym i wysoką rozdzielczością. Umożliwiają one dokonywanie precyzyjnej oceny zarówno w układzie dwu-, jak i trójwymiarowym. Uzyskane w tych układach wartości parametrów SGP pozwalają analizować powierzchnie, wykonane z różnych materiałów lub obrobione za pomocą różnych technik obróbkowych, pod względem wielu ich różnorodnych cech i właściwości.

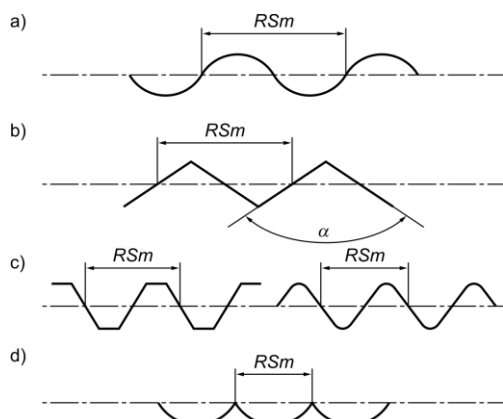
Aby uzyskać dużą dokładność i powtarzalność pomiarów profilometry stykowe powinny być okresowo sprawdzane. Standardowa procedura obejmuje badanie stanu ogólnego przyrządu pomiarowego oraz sprawdzanie jego parametrów metrologicznych [4-5]. W większości przypadków jest to realizowane za pomocą wzorców kontrolnych (materialnych i programowanych) [6-7]. Procedury wzorcowania profilometrów stykowych są określone w normie [8], natomiast norma [6] podaje charakterystykę 5 typów wzorców materialnych.

Ocena dokładności wykonania wzorców kontrolnych dokonywana jest na ogół metodami interferencyjnymi [3,9], przy czym podczas takiej oceny analizowane są dwuwymiarowe zarysy badanego wzorca bez dokładnej oceny przestrzennego ukształtowania jego powierzchni [10]. Taka ocena może być też przeprowadzana innymi metodami np. metodami mikroskopii konfokalnej [11]. Dotyczy to szczególnie tych wzorców, które wykonane są z materiałów o stosunkowo niewielkim współczynniku odbicia światła (np. powierzchnie wzorców szklanych) i z tego powodu ich ocena metodami interferencyjnymi może być utrudniona.

W niniejszej pracy Autorzy zaproponowali wykorzystanie dwóch nowoczesnych optycznych technik pomiarowych – koherencyjnej interferometrii korelacyjnej [12] oraz konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej [13] do oceny wzorców, przeznaczonych do sprawdzania profilometrów stykowych. Ocenie poddano wzorce kontrolne typu C [14] w odmianach C2 i C3, które analizowano pod względem parametrów topografii powierzchni. Uzyskane rezultaty pomiarów odnoszono do wyników otrzymanych za pomocą profilometrii stykowej. Przedstawiona propozycja może posłużyć do opracowania procedur sprawdzania dokładności wykonania wzorców kontrolnych, może również stanowić przykład wykorzystania zaawansowanych systemów pomiarowych w precyzyjnych pomiarach topografii powierzchni tego typu elementów.

## 2. Charakterystyka wzorców kontrolnych typu C

Jednym z najczęściej stosowanych typów materialnych wzorców kontrolnych, przeznaczonych do wzorcownia i okresowego sprawdzania profilometrów stykowych, są wzorce typu C, nazywane wzorcami odstępów nierówności. Profile teoretyczne tych wzorców przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Profile teoretyczne wzorców kontrolnych typu C: a) C1 – rowki o profilu sinusoidalnym, b) C2 – rowki o profilu trójkąta równoramiennego, c) C3 – rowki o profilu w przybliżeniu sinusoidalnym, d) C4 – rowki o profilu łukowym

Fig. 1. Theoretical profiles of calibration specimens of type C: a) C1 – grooves of a sine wave profile, b) C2 – grooves of an isosceles triangular profile, c) C3 – grooves with approximately sine wave profile, d) C4 – grooves with arcuate profile

Wzorce kontrolne typu C występują w czterech znormalizowanych odmianach [2, 15]:

- C1 – wzorce o rowkach o profilu sinusoidalnym,
- C2 – wzorce o rowkach o profilu trójkąta równoramiennego,
- C3 – wzorce o rowkach o profilu w przybliżeniu sinusoidalnym,
- C4 – wzorce o rowkach o profilu łukowym.

Wzorce typu C są stosowane do sprawdzania wskazań profilometrów stykowych, charakterystyk przenoszenia oraz powiększeń pionowych i poziomych. W tym ostatnim przypadku odstęp między rowkami powinien mieścić się w odpowiednich granicach. Sprawdzenie powiększenia poziomego jest szczególnie ważne w starszych rodzajach profilometrów. W przyrządach tych mamy często do czynienia z przetwarzaniem analogowym. Także wówczas, gdy są to starsze profilometry cyfrowe próbkowanie sygnału pomiarowego dokonywane jest w funkcji czasu, a nie w funkcji drogi przebytej przez ostrze odwzorowujące.

Wzorce kontrolne typu C1 są często stosowane do sprawdzania charakterystyk przenoszenia profilometrów stykowych. Służą one także do wzorcowania przyrządów pomiarowych przeznaczonych do pomiaru parametrów  $Ra$  (średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości) oraz  $RSm$  (średnia szerokość rowków elementarnych profilu chropowatości). Parametry te określone są następującymi zależnościami:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i|, \quad (1)$$

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i}, \quad (2)$$

gdzie:  $l$  – długość odcinka elementarnego,  $Z(x)$  – zarys powierzchni,  $n$  – liczba punktów podziału odcinka elementarnego,  $Z_i$  – współrzędna  $z$  zarysu w punkcie  $i$ ,  $m$  – liczba rowków profilu,  $X_{S_i}$  – szerokość  $i$ -tego rowka zarysu.

Wzorce kontrolne typu C2 określają wartości parametru  $Ra$  oraz kąta zarysu  $\alpha$ . Natomiast wzorce kontrolne typu C3 służą do wzorcowania profilometrów stykowych, które umożliwiają pomiary parametrów  $RSm$  i  $Ra$ . Profil rowków tych wzorców jest w przybliżeniu sinusoidalny. Wzorce te mogą mieć profile trójkątne z zaokrąglonymi lub ściętymi wierzchołkami wzniesień i wgłębien.

Wzorce kontrolne typu C4 są przeznaczone do sprawdzania profilometrów stykowych umożliwiających pomiary parametru  $Ra$  i charakteryzują się łukowym profilem rowków.

## 3. Badania doświadczalne

Głównym celem badań doświadczalnych było przeanalizowanie możliwości wykorzystania zaawansowanych metod optycznych w pomiarach topografii powierzchni wzorców kontrolnych. Dodatkowym celem było także przetestowanie wykorzystywanych systemów pomiarowych pod kątem zastosowania ich do oceny tego typu elementów oraz wstępne opracowanie metodyki takich badań.

Badania podzielono na kilka części, które odpowiadały kolejnym stosowanym metodom. Dokładny opis zastosowanych metod, oraz urządzeń pomiarowych zamieszczono w dalszej części pracy.

### 3.1. Charakterystyka wzorców kontrolnych typu C wykorzystywanych w badaniach doświadczalnych

Badaniom poddano pięć wzorców kontrolnych typu C, których parametry nominalne podano w tablicy 1.

Tab. 1. Nominalne parametry wzorców kontrolnych typu C wykorzystywanych w badaniach doświadczalnych

Tab. 1. Nominal parameters of calibration specimens of type C used for experimental investigations

Numer wzorca	Typ wzorca	Materiał wzorca	Profil powierzchni	$Ra$ , $\mu\text{m}$	$RSm$ , mm
1	C2	Stal	Trójkąt równoramienny	1	0,0008
2	C2			3	0,0025
3	C2			10	0,0025
4	C3	Szkło	W przybliżeniu sinusoidalny	0,064	0,06
5	C3			0,64	0,08

Na powierzchni każdego z badanych wzorców wybierano losowo pięć obszarów, dla których rejestrowano topografię powierzchni. W zależności od zastosowanej metody i systemu pomiarowego dobierano odpowiednie parametry pomiaru.

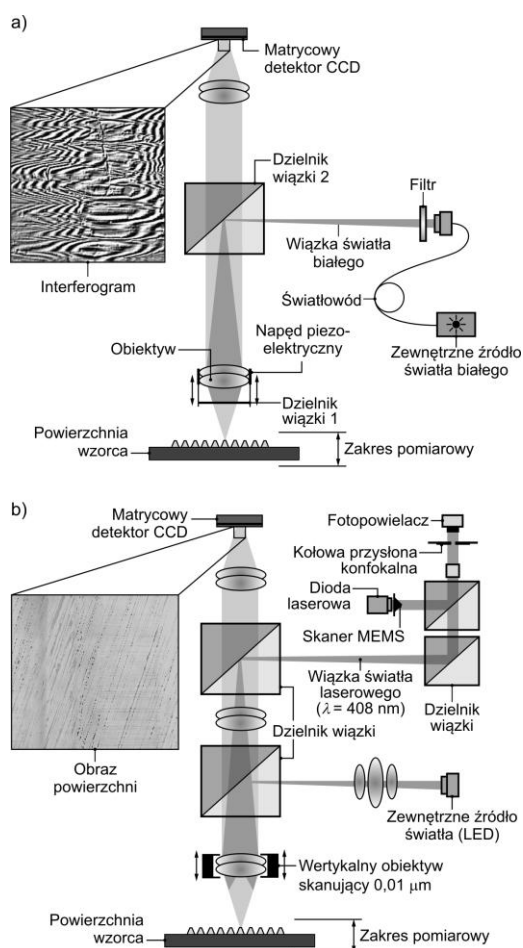
### 3.2. Metody i systemy pomiarowe stosowane w badaniach doświadczalnych

Topografię powierzchni wzorców kontrolnych typu C oceniano wykorzystując metodę stykową i dwie metody optyczne.

Pierwsza metoda – profilometria stykowa, polegała na pomiarach stykowych realizowanych za pomocą profilometru stykowego Hommel Tester T8000 firmy Hommelwerke (Niemcy). Urządzenie wyposażone jest w indukcyjny czujnik pomiarowy TKL 100 o zakresie pomiarowym  $\pm 100 \mu\text{m}$ , kącie wierzchołkowym ostrza  $90^\circ$  i nominalnym promieniu zaokrąglenia wierzchołka  $5 \mu\text{m}$ . W celu

uzyskania topografii powierzchni wzorców kontrolnych wykorzystywany jest zmotoryzowany stolik pomiarowy (Y-positioner) wyposażony w silnik krokowy. Stolik pozwala na realizację precyzyjnych przemieszczeń w osi y. Podczas badań korzystano z oprogramowania Turbo Roughness for Windows w wersji 3.1 (sterowanie elementami systemu, wykonywanie pomiarów) oraz Hommel Map Basic w wersji 3.1.0 (wizualizacja i zaawansowana analiza danych) wykorzystującego Mountain Technology™ firmy DigitalSurf.

Druga metoda oceny topografii powierzchni wzorców polegała na wykorzystaniu koherencyjnej interferometrii korelacyjnej. W badaniach zastosowano mikroskop interferencyjny światła białego Talysurf CCI 6000 firmy Taylor Hobson Ltd. (W. Brytania) [16-17], którego schemat przedstawiono na rysunku 2a.



Rys. 2. Schematy przedstawiające zasadę działania systemów pomiarowych wykorzystywanych w badaniach doświadczalnych: a) mikroskopu interferencyjnego światła białego Talysurf CCI 6000 firmy Taylor Hobson Ltd., b) konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS3100 firmy Olympus Corp.

Fig. 2. Diagrams showing the principle of operations of measurement systems used for experimental investigations: a) white-light interference microscope Talysurf CCI 6000 produced by Taylor Hobson Ltd., b) confocal laser scanning microscope LEXT OLS3100 produced by Olympus Corp.

Zasada działania urządzenia oparta jest na wykorzystaniu jednej z odmian interferometrii światła białego (ang. *WLI – White Light Interferometry*) [18] tzw. szerokopasmowej interferometrii skaningowej (ang. *SBI – Scanning Broadband Interferometry*) [19]. Światło białe generowane przez zewnętrzne źródło (lampa kwarcowa o mocy 150 W) doprowadzane jest do urządzenia światłowodem (oświetlacz światłowodowy Fiber-Lite® DC-950 firmy Dolan-Jenner Industries). Wewnątrz głowicy pomiarowej strumień światła padał na dzielnik wiązki, gdzie jest rozdzielany na dwie równoległe wiązki. Jedna z nich podążała w kierunku niewielkiej powierzchni odniesienia znajdującej się wewnątrz obiektywu, druga natomiast w kierunku powierzchni próbki. Wiązki rekombi-

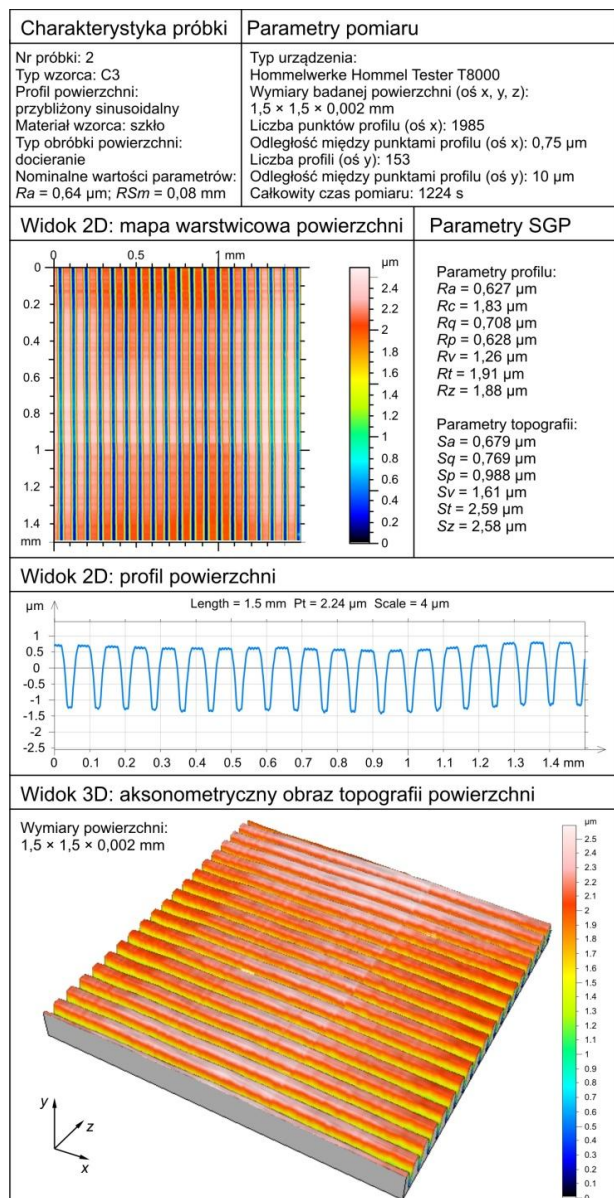
nują, dając w rezultacie miejscowy obraz interferencyjny. Głowica pomiarowa mikroskopu sprzężona jest z precyzyjnym napędem piezo-elektrycznym, który przemieszcza ją pionowo nad badaną próbką. Położenie poszczególnych punktów badanej powierzchni wyznaczone jest na podstawie analizy wzajemnej koherencji czasowej interferujących fal [20], oddzielnie dla każdego punktu powierzchni. Akwizycja dokonywana jest za pomocą kamery CCD. Rejestrowany obraz przetwarzany jest przez komputer z procesorem klasy Xeon. Na podstawie uzyskanych danych generowana jest przestrzenna topografia powierzchni o wysokiej rozdzielczości. Urządzenie pozwala na uzyskanie rozdzielczości pionowej do 10 pm (0,01 nm), przy zakresie pomiarowym (w osi z) do 10 mm. Niezależnie od zastosowanego powiększenia topografia powierzchni zawiera ponad jeden milion punktów pomiarowych (1024 × 1024 punkty). Wraz z urządzeniem producent dostarczył dedykowane oprogramowanie komputerowe. Są to dwie aplikacje: Talysurf CCI w wersji 2.0.7.3 (sterowanie elementami systemu, wykonywanie pomiarów) oraz TalyMap Platinum w wersji 4.0.5.3985 (wizualizacja i zaawansowana analiza danych).

Trzecia metoda oceny topografii powierzchni wzorców polegała na zastosowaniu konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej [13, 21]. W tym celu wykorzystano mikroskop konfokalny LEXT OLS3100 firmy Olympus Corp. (Japonia) [22-23]. Jego działanie opierał się na generowaniu obrazu światła odbitego z płaszczyzny ogniskowania. Światło odbijane poza tą płaszczyznę (generujące obraz o różnej głębokości ogniskowania) jest pomijane za pomocą kolowej przysłony konfokalnej. Głębokość ogniskowanego przekroju jest funkcją średnicy otworu i długości fali padającego światła (w tym przypadku o długości fali  $\lambda = 408$  nm). W celu uzyskania przestrzennego odwzorowania badanego obiektu urządzenie wykorzystuje mechanizm precyzyjnego skanowania powierzchni w osiach x-y. Skanowanie jest realizowane za pomocą miniaturowego elementu elektro-mechanicznego (ang. *MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems*). Urządzenie wyposażone jest w rewolwerową głowicę zawierającą zestaw 5 obiektywów mikroskopowych o powiększeniach 5×, 10×, 20×, 50×, 100×, przy czym maksymalne powiększenie może wynosić do 14400×. Zmotoryzowana kolumna, w której znajdowała się głowica rewolwerowa, pozwala na realizację precyzyjnych przemieszczeń w osi z w zakresie pomiarowym wynoszącym 70 mm. Umożliwia to rejestrację obrazu w kolejnych przekrojach. Ponieważ pozycja każdego zarejestrowanego punktu powierzchni jest znana, przekroje mogą zostać przetworzone w ten sposób aby, uzyskać przestrzenne odwzorowanie badanego obiektu lub jego dane w postaci chmury punktów. Przetwarzanie i zaawansowana analiza uzyskanych 3-wymiarowych obrazów dokonywana jest za pomocą dedykowanego oprogramowania firmy Olympus Corp. o nazwie LEXT OLS w wersji 5.0.

### 3.3. Wybrane wyniki badań doświadczalnych

Badania obejmowały pomiary i analizy wszystkich przedstawionych w tabelicy 1 wzorców kontrolnych typu C. Jako przykładowe rezultaty przeprowadzonych badań pokazano wyniki uzyskane dla wzorca kontrolnego typu C3 o nominalnej wartości parametru  $Ra = 0,64 \mu\text{m}$  i  $RSm = 0,08$  mm.

Na rysunku 3 przedstawiono zbiór wybranych wyników analiz otrzymanych za pomocą oprogramowania Hommel-Map Basic dla pomiarów prowadzonych profilometrem stykowym Hommel Tester T8000. Zbiór ten obejmował m.in. mapę warstwicową analizowanej powierzchni, dwuwymiarowy profil powierzchni oraz aksonometryczny obraz topografii powierzchni. Pomiary wykonano dla obszaru powierzchni wzorca kontrolnego o wymiarach  $1,5 \times 1,5 \times 0,002$  mm. Czas pomiaru wynosił 1224 s (ponad 20 min.). Był on dosyć krótki ze względu na stosunkowo małą liczbę profili (153) rejestrowanych w osi y. Pomimo niewielkiej rozdzielczości pomiaru z wykorzystaniem metody stykowej pozwoliły na poprawne odwzorowanie powierzchni badanego elementu.



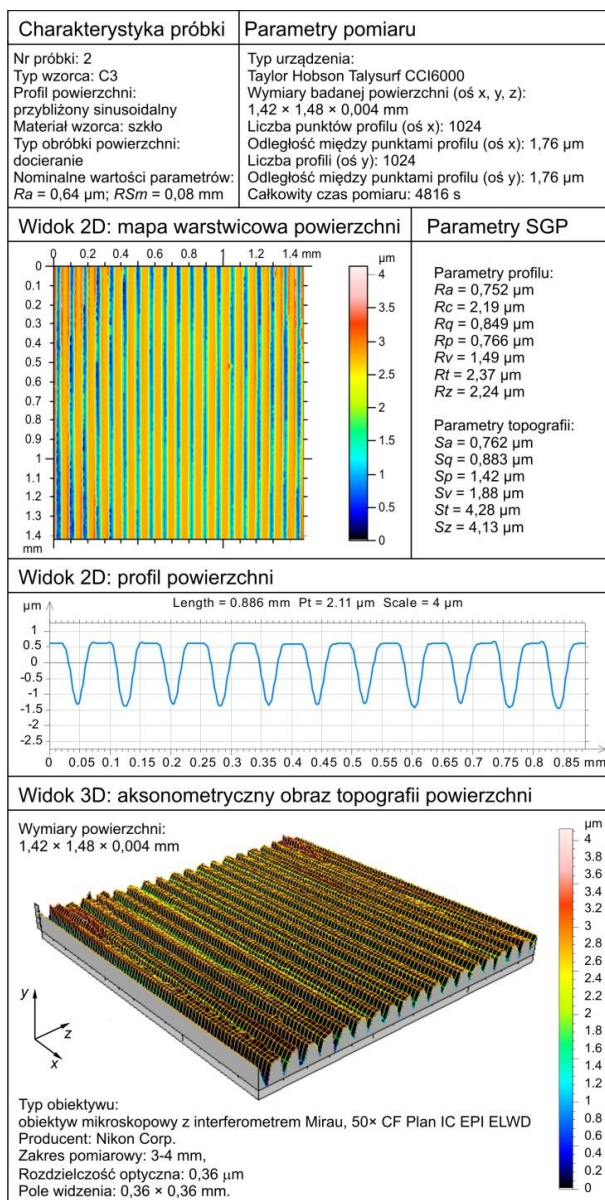
Rys. 3. Zbiór wyników analiz powierzchni wzorca kontrolnego typu C3, dla pomiarów uzyskanych profilometrem stykowym Hommel Tester T8000 firmy Hommelwerke

Fig. 3. Set of analysis results for the calibration specimen of type C3, for measurements obtained by stylus profilometer Hommel Tester T8000 produced by Hommelwerke

Analogiczny zbiór wyników analiz, uzyskanych za pomocą oprogramowania TalyMap Platinum dla pomiarów prowadzonych mikroskopem interferencyjnym CCI 6000 przedstawiono na rysunku 4. Pomiar wykonano na obszarze powierzchni wzorca kontrolnego o wymiarach  $1,42 \times 1,42 \times 0,004 \text{ mm}$ .

Czas pomiaru był niemal 4 razy dłuższy niż w przypadku pomiarów profilometrem stykowymi i wynosił 4816 s (ponad 80 min.). Wynikało to z większej liczby rejestrowanych profili w osi y (1024). Ponadto zastosowano tu jedną z funkcji oferowanych przez oprogramowanie TalyMap Platinum. Funkcja tzw. zszywania obrazów (ang. *Image Stitching*) pozwalała na tworzenie obrazów topografii dużych obszarów powierzchni przez łączenie i odpowiednio dopasowywanie fragmentów powierzchni o mniejszych wymiarach. W tym przypadku przyjęto, iż powierzchnia wynikowa będzie mozaiką złożoną z mniejszych obszarów rejestrowanych jako macierz  $4 \times 4$ . Wymiary pojedynczego obszaru wynosiły  $359 \times 359 \mu\text{m}$ . Podczas omawianych pomiarów uświadcznił się pewien problem. Polegał on na występowaniu zakłóceń optycznych o dużym natężeniu. Były one szczególnie widoczne na tych obszarach badanej powierzchni, które charakteryzowały się dużymi kątami nachylenia zboczy nierówności. Eliminacji

zakłóceń dokonano poprzez zastosowanie cyfrowych procedur filtracyjnych podczas analizy topografii powierzchni.

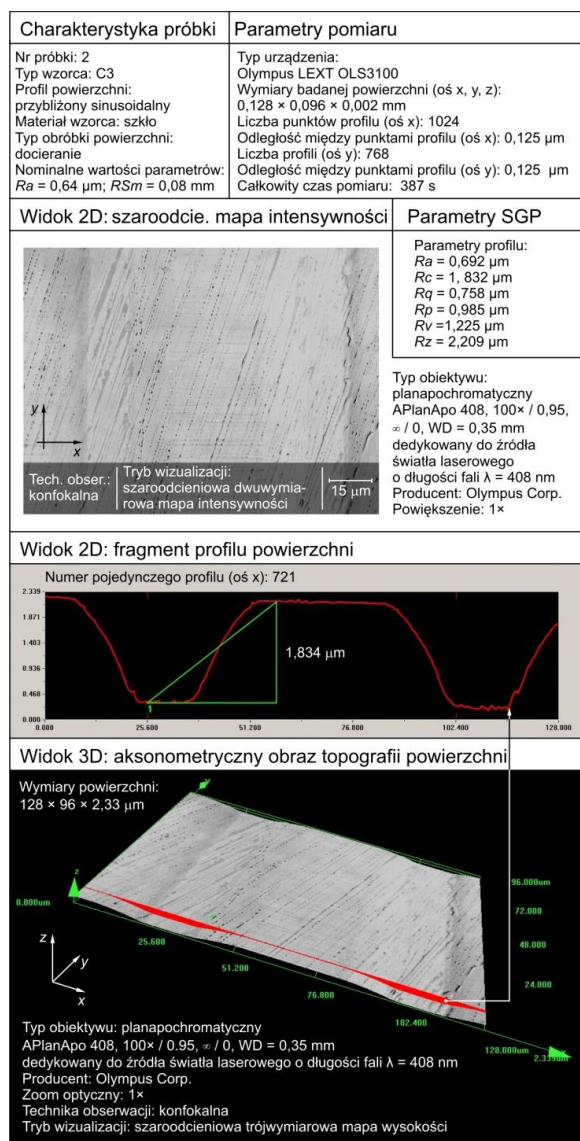


Rys. 4. Zbiór wyników analiz powierzchni wzorca kontrolnego typu C3, dla pomiarów uzyskanych mikroskopem interferencyjnym światła białego Talysurf CCI 6000 firmy Taylor Hobson Ltd

Fig. 4. Set of analysis results for the calibration specimen of type C3, for measurements obtained by white-light interference microscope Talysurf CCI 6000 produced by Taylor Hobson Ltd.,

Korzystając z oprogramowania LEXT OLS 5.0. przetworzono dane pomiarowe uzyskane z mikroskopu konfokalnego LEXT OLS3100. Uzyskano podobny zbiór wyników analiz, który pokazano na rysunku 5. Zawierał on między innymi dwuwymiarową mapę szarości oraz aksonometryczny obraz topografii, przedstawiający fragment powierzchni wzorca z charakterystycznymi rowkami o profilu w przybliżeniu sinusoidalnym.

W celu sprawdzenia możliwości pomiarowych systemu LEXT OLS3100, w tym przypadku dokonano oceny tylko niewielkiego obszaru powierzchni o wymiarach  $128 \times 96 \times 2,33 \mu\text{m}$ . Czas pomiaru był stosunkowo krótki i wynosił 387 s (ponad 6 min.). Pomimo tego, udało się uzyskać dość dobre odwzorowanie badanej powierzchni. Odwzorowana struktura pozbawiona była zakłóceń optycznych obserwowanych w przypadku mikroskopu interferencyjnego CCI 6000.



Rys. 5. Zbiór wyników analiz powierzchni wzorca kontrolnego typu C3, dla pomiarów uzyskanych konfokalnym laserowym mikroskopem skaningowym LEXT OLS3100 firmy Olympus Corp.

Fig. 5. Set of analysis results for the calibration specimen of type C3, for measurements obtained by confocal laser scanning microscope LEXT OLS3100 produced by Olympus Corp.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych wskazują, iż wykorzystywane systemy pomiarowe mogą być stosowane do oceny topografii powierzchni wzorców kontrolnych przeznaczonych do sprawdzania profilometrów stykowych. Tak sformułowany wniosek ogólny posiada jednak kilka zastrzeżeń. Po pierwsze, aby uzyskać wartości parametrów  $R_a$  i  $R_{Sm}$  zbliżone do nominalnych, należy dokonać odpowiedniego ustawienia każdego z systemów pomiarowych. Jak wykazały rezultaty badań np. dla mikroskopu interferencyjnego CCI 6000, zadanie to okazało się dość trudne i tylko częściowo zarejestrowany materiał badawczy był miarodajny. Wynikało to z faktu generowania silnych zakłóceń optycznych podczas pomiarów tych obszarów powierzchni, które charakteryzowały się dużymi kątami nachylenia zboczy nierówności badanej powierzchni. Zastosowanie procedur filtracyjnych pozwoliło na wyeliminowanie tego niekorzystnego efektu.

Po drugie należałoby dokładniej przeanalizować sam proces generowania zakłóceń występujących podczas pomiarów i bardziej szczegółowo rozpatrzyć sposoby jego eliminacji lub tłumienia. Do takich sposobów można zaliczyć m.in. zastosowanie procedur filtracyjnych oferowanych przez oprogramowanie kom-

puterowe. Należy jednak pamiętać o tym, że filtracja ma znaczny wpływ na końcowy wynik pomiaru.

#### 5. Literatura

- [1] Ocoś K. E., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni – podstawy klasyfikacji z atlasem charakterystycznych powierzchni kształtowanych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2003.
- [2] Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni – zarysy kształtu, falistość i chropowatość, WNT, Warszawa, 2008.
- [3] Whitehouse D. J.: Handbook of Surface and Nanometrology, Institute Of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.
- [4] Mainsah E., Dong W., Stout K. J.: Holistic Calibration of Three-Dimensional Micro-Topography Systems. International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol. 35, No. 2, 1995, 281-288.
- [5] Haitjema H.: Uncertainty Analysis of Roughness Standard Calibration using Stylus Instruments. Precision Engineering, Vol. 22, 1998, 110-119.
- [6] ISO 5436-1:2000: Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method. Measurement Standards – Part 1: Material. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2000.
- [7] ISO 5436-2:2003: Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method. Measurement Standards – Part 2: Programmable. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2003.
- [8] ISO 12179:2000: Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method - Calibration of Contact (Stylus) Instruments. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2000.
- [9] Hariharan P.: Basics of Interferometry (2nd Edition). Elsevier, 2007.
- [10] Łukianowicz Cz., Łukianowicz T., Karpiński T.: Three Dimensional Assessment of the Surface Roughness by Stylus and Interference Method. Proceedings of VIth International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique, Scientific Bulletin of University of Bielsko-Biala, nr.10, Bielsko Biala, 2004, 293-300.
- [11] Miller F. P. et al.: Confocal Laser Scanning Microscopy. Alphascript Publishing, Amsterdam, 2010.
- [12] Blunt R. T.: White Light Interferometry – A Production Worthy Technique for Measuring Surface Roughness on Semiconductor Wafers. Proceedings of the CS MANTECH Conference, British Columbia, Canada, 2006, 59–62.
- [13] Claxton N. S., Fellers T. J., Davidson M. W.: Laser Scanning Confocal Microscopy. [online] <http://www.olympusfluoview.com/theory/LSCM Intro.pdf>
- [14] Rubert P.: Some Problems with the Calibration of Surface Roughness Reference Specimens. International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol. 35, No. 2, 1995, 289-292.
- [15] Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych, WNT, Warszawa, 2004.
- [16] Cincio R., Kacalak W., Łukianowicz Cz.: System Talysurf CCI 6000 - metodyka analizy cech powierzchni z wykorzystaniem TalyMap Platinum. Pomiary Automatyka Kontrola, Vol. 54, Nr 4/2008, 187-191.
- [17] Kapłonek W., Tomkowski R.: Analiza topografii dyfrakcyjnych elementów optycznych z wykorzystaniem interferometrii światła białego, Pomiary Automatyka Kontrola, Vol. 55, Nr 4/2009, 272-275.
- [18] Kapłonek W., Łukianowicz Cz.: Zastosowanie koherencyjnej Interferometrii korelacyjnej do pomiarów topografii powierzchni, Przegląd Elektrotechniczny, R. 86, Nr 10/2010, 43-46.
- [19] Taylor Hobson Ltd.: Talysurf CCI 6000 – The World's Highest Resolution Automated Optical 3D profiler, Brochure, 2005.
- [20] Patorski K., Kujawińska M., Sałbut L.: Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu (K. Patorski Ed.), Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
- [21] Clarke A. R., Eberhardt C. N.: Microscopy Techniques for Material Science, CRC Press, Boca Raton, 2002.
- [22] Powers B. M., Ham M., Wilkinson M. G.: Small Data Set Analysis in Surface Metrology: An Investigation Using a Single Point Incremental Forming Case Study. Scanning, Vol. 32, 2010, 199-211.
- [23] Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Konfokalny laserowy mikroskop skaningowy w badaniach tribologicznych. Tribologia, R.41, Nr 1/2010, 157-165.