

**Wojciech KAPŁONEK<sup>1</sup>, Robert TOMKOWSKI<sup>2</sup>, Michał ZELENĄK<sup>3</sup>**<sup>1</sup> POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin,<sup>2</sup> POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA MECHANIKI PRECYZYJNEJ, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin,<sup>3</sup> UNIWERSYTET TECHNICZNY W OSTRAWIE, WYDZIAŁ GÓRNICZWA I GEOLOGII, INSTYTUT FIZYKI, ul. 17 Listopada 15/2172, Ostrava, Republika Czeska**Pomiary topografii czynnej powierzchni foliowych taśm mikrościernych z wykorzystaniem konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej****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

**Mgr inż. Robert TOMKOWSKI**

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2005 r.). Od 2008 roku jest pracownikiem Laboratorium Mikro- i Nanoinżynierii w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się modelowaniem i symulacją procesów obróbki, zastosowaniami sztucznej inteligencji oraz metrologią powierzchni.

e-mail: robert.tomkowski@tu.koszalin.pl

**Inż. Michał ZELENĄK**

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki w Ostrawie (2009 r.). Obecnie jest doktorem w Instytucie Fizyki na Wydziale Górnicztwa i Geologii Politechniki w Ostrawie. Pracuje także w Regionalnym Centrum Badań Materiałowych na stanowisku asystenta. Jego zainteresowania naukowe związane są z metrologią powierzchni wytwarzanych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii progresywnych (cięcie laserowe, cięcie strugą hydrościerną).

e-mail: michal.zelenak@vsb.cz



by a 3D measuring laser microscope LEXT OLS4000 produced by Olympus (Fig. 1.). Analysis of the obtained data was carried out in the dedicated LEXT 5.0. software provided by a system producer. The obtained results of investigations (Fig. 2.) confirmed the high usefulness and wide range of measurement of the used microscope in assessment of the surface topography of these types of abrasive tools.

**Keywords:** microfinishing film, microfinishing, surface topography, confocal laser scanning microscopy, 3D measuring laser microscope.

**1. Wprowadzenie**

We współczesnym przemyśle maszynowym zachodzi często potrzeba zwiększenia czystości oraz jakości wykończenia powierzchni wytwarzanych elementów. W tym celu stosuje się różne obróbki gładkościowe, takie jak np. mikrowygładzanie (ang. *microfinishing*) [1], umożliwiające uzyskanie wyższej jakości wykończenia powierzchni niż przy zastosowaniu innych konwencjonalnych technik obróbkowych. W wielu przypadkach proces mikrowygładzania realizowany jest za pomocą elastycznych foliowych taśm mikrościernych (ang. *microfinishing films*) [2]. Ich producenci niejednokrotnie udostępniają niepełne lub sprzeczne dane techniczne dotyczące cech stereometrycznych wytwarzanych przez siebie narzędzi. Stwarza to duże problemy związane z właściwym doborem najkorzystniejszych parametrów obróbki. Konieczne więc staje się przeprowadzenie odpowiednich badań powierzchni taśm mikrościernych, m.in. w celu analizy ich przestrzennego ukształtowania. W tym celu korzystne staje się zastosowanie precyzyjnych metod optycznych, takich jak m.in. mikroskopia interferencyjna [3] oraz mikroskopia konfokalna [4]. Jedną z odmian klasycznej mikroskopii konfokalnej jest konfokalna laserowa mikroskopia skaningowa (ang. *Confocal Laser Scanning Microscopy*) [5], opracowana pod koniec lat 80-tych XX wieku. Jej idea polega na wyeliminowaniu obrazów pochodzących spoza płaszczyzny ogniskowania, jak to mam miejsce w klasycznej mikroskopii optycznej. Dzięki temu uzyskuje się obrazy o lepszym odwzorowaniu szczegółów, charakteryzujące się bardziej ostrymi konturami, które można rejestrować bez utraty jakości nawet przy dużych powiększeniach. Największą jednak zaletą tej techniki jest możliwość rejestrowania obrazów warstwowych dla kolejnych przekrojów, poprzez zmianę położenia płaszczyzny ogniskowania. Na podstawie takiego zbioru obrazów uzyskuje się wysokiej jakości przestrzenne odwzorowanie powierzchni badanego obiektu.

W niniejszej pracy Autorzy zaproponowali wykorzystanie konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej do oceny powierzchni elastycznych foliowych taśm mikrościernych. W badaniach doświadczalnych zastosowano laserowy mikroskop pomiarowy LEXT OLS4000 firmy Olympus. Szczegółowy opis urządzenia, zastosowanej techniki obróbkowej oraz wybranych wyników badań doświadczalnych przedstawiono w dalszej części pracy.

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z pomiarami topografii powierzchni narzędzi ściernych stosowanych w procesach mikro- i nanoobróbki. Ocenie poddano zestaw elastycznych foliowych taśm mikrościernych z ziarnem diamentowym o nominalnym wymiarze od 0,5  $\mu\text{m}$  do 30  $\mu\text{m}$ . W badaniach wykorzystano zaawansowany laserowy mikroskop pomiarowy LEXT OLS4000 firmy Olympus. Analiza uzyskanych danych pomiarowych prowadzona była w dostarczonym przez producenta dedykowanym oprogramowaniu LEXT 5.0. Uzyskane rezultaty badań potwierdziły dużą użyteczność i szerokie możliwości pomiarowe wykorzystywanego mikroskopu w badaniach topografii powierzchni tego typu narzędzi ściernych.

**Słowa kluczowe:** foliowa taśma mikrościerna, mikrowygładzanie, topografia powierzchni, konfokalna laserowa mikroskopia skaningowa, laserowy mikroskop pomiarowy.

**Measurements of surface topography of microfinishing films with use of confocal laser scanning microscopy****Abstract**

In modern industry it is often required to improve the cleanliness and finish quality of surfaces of precise manufacturing parts. For this purpose, producers apply microfinishing [1], which permits to obtain the better quality than that obtained by different conventional finishing processes. This influences significantly the maintenance of proper operating parameters by manufactured parts. Microfinishing process is realized by means of various types of abrasive tools such as microfinishing films [2]. Manufacturers often make available incomplete or incorrect technical data concerning the stereometric characteristics of produced abrasive tools. This situation complicates the proper selection of the optimal machining parameters. In this case it is necessary to conduct investigations of the surface topography of the microfinishing film with use of precise measuring methods. This paper proves that such investigations can be carried out with use of advanced microscopy methods such as nonlocal laser scanning microscopy (CLSM) [4]. During experimental investigations a set of IDLF (Imperial® Diamond Lapping Film) films produced by 3M was assessed. IDLF combine diamond grains (nominal diameter from 0.5  $\mu\text{m}$  to 30  $\mu\text{m}$ ), a resin bonding system and a uniform polyester film. The measurement of films were taken

## 2. Charakterystyka procesu mikrowygładzania

Mikrowygładzanie jest obróbką gładkościową, którą opracowano w latach 80-tych XX w. do precyzyjnego kształtowania powierzchni dysków twardej. Obecnie jest ono wykorzystywane do obróbki gładkich i supergładkich powierzchni wykonanych z metalu lub jego stopów (aluminium, miedź, żeliwo, stal) oraz innych materiałów niemetalowych (szkło, ceramika, tworzywa sztuczne, guma). Proces mikrowygładzania polega na ciągłym wprowadzaniu w strefę obróbki nośnika pokrytego warstwą ścierną. Nośnikiem takim może być m.in. elastyczna foliowa taśma mikrościerna, której głównym zadaniem jest usunięcie ze strefy produktów obróbki skrawaniem. Nośnik jest przewijany z niewielką prędkością ruchem oscylacyjnym, przy jednoczesnym jego docisku do powierzchni obrabianej przemieszczającej się ze znacznie większą prędkością. Cechą charakterystyczną tego procesu jest jednokrotne wykorzystanie nośnika, co powoduje zoptymalizowanie doboru parametrów obróbki.

Mikrowygładzanie wykorzystywane jest do: zwiększenia powtarzalności i efektywności procesu obróbki, usunięcia warstw amorficznych oraz defektów po procesie szlifowania (np. wżerów, zarysowań), poprawienia geometrii wyrobu, redukcji tarcia i hałasu [6]. Zastosowanie tej obróbki pozwala na uzyskanie powierzchni o dużej gładkości, charakteryzujących się chropowatością powierzchni (określoną parametrem  $Ra$ ) w zakresie od  $0,25 \mu\text{m}$  do  $0,05 \mu\text{m}$  [7]. Mikrowygładzanie stosowane jest m.in. w przemyśle optycznym [8], maszynowym, samochodowym [9], lotniczym, jubilerskim - wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba uzyskania bardzo wysokiej jakości i czystości wykończenia powierzchni.

## 3. Badania doświadczalne

Głównym celem badań doświadczalnych było przeanalizowanie możliwości wykorzystania techniki konfokalnej laserowej mikroskopii skaningowej do oceny topografii czynnej powierzchni taśm mikrościernych. Badania prowadzono w dwóch etapach. W pierwszym obserwowano i oceniano wizualnie strukturę powierzchni taśm mikrościernych. W drugim analizowano, z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego, wybrane parametry geometryczne.

### 3.1. Próbkki

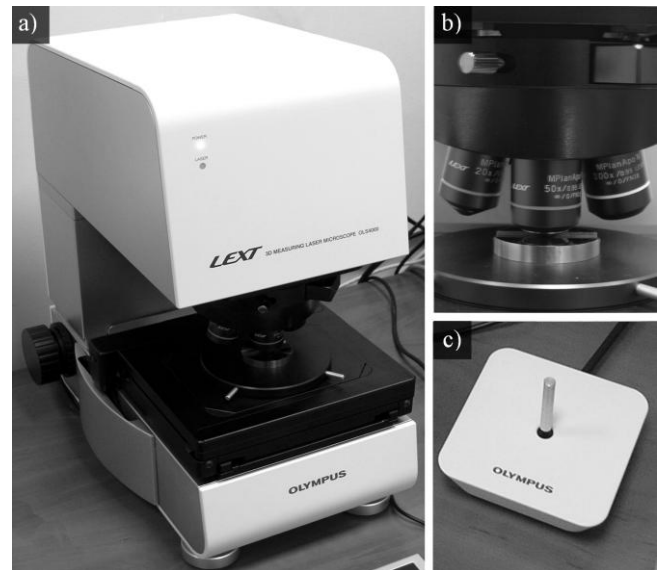
Do badań przeznaczono zestaw foliowych taśm mikrościernych, typu IDLF (ang. *Imperial® Diamond Lapping Film*) firmy 3M. Były to taśmy wykonane na nośniku poliestrowym, na którym osadzono ziarna diamentowe zatopione w żywicznym spoiwie. W prezentowanych badaniach wykorzystano folie o nominalnej wielkości ziaren od  $0,5 \mu\text{m}$  do  $30 \mu\text{m}$ .

### 3.2. Charakterystyka konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS4000

Podczas badań doświadczalnych korzystano z zaawansowanego laserowego mikroskopu pomiarowego LEXT OLS4000 [10-12] firmy Olympus, którego widok ogólny przedstawiono na rysunku 1.

Urządzenie umożliwiało prowadzenie pomiarów i rejestrację obrazów badanych powierzchni w dwóch trybach – mikroskopowym i konfokalnym. Działanie mikroskopu LEXT OLS4000 w trybie konfokalnym polegało na generowaniu obrazu na podstawie odbicia światła z płaszczyzny ogniskowania. Światło tworzące obraz o różnej głębokości ogniskowania było eliminowane za pomocą systemu podwójnej kołowej przysłony konfokalnej. W tym trybie mikroskop wykorzystywał wiązkę światła o długości fali  $\lambda = 405 \text{ nm}$  (barwa fioletowa), której źródłem była dioda laserowa o mocy  $120 \text{ mW}$ . Uzyskanie przestrzennego odwzorowania powierzchni badanego obiektu związane było z przeprowadzeniem jej precyzyjnego skanowania punkt po punkcie w osiach  $x$ - $y$ . Proces ten realizowany był przez specjalny skaner opatentowany przez firmę Olympus, wykorzystujący miniaturowy

element elektromechaniczny (ang. *MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems*). Rejestracja obrazów prowadzona była za pomocą dwóch fotopowielaczy o średniej i wysokiej czułości. Taki system pozwalał na odpowiednie wzmocnienie sygnału optycznego i umożliwiał pomiary powierzchni elementów o niskim współczynniku odbicia oraz o dużym kącie pochylenia powierzchni rzędu  $85^\circ$ . Zmotoryzowany uchwyt rewolwerowy mieścił zestaw 5 obiektywów mikroskopowych ( $5\times$ ,  $10\times$ ,  $20\times$ ,  $50\times$ ,  $100\times$ ). Maksymalne powiększenie, jakie można było uzyskać wynosiło do  $17280\times$ . Próbkki umieszczane były na zmotoryzowanym stoliku pomiarowym, pozwalającym na realizację przemieszczeń w osiach  $x$ - $y$  (zakres:  $100 \text{ mm}$ ) oraz osi  $z$  (zakres:  $10 \text{ mm}$ ). Niezależnie od trybu rejestracji obrazów, ich przetwarzanie i analiza dokonywane były za pomocą oprogramowania LEXT 5.0, dostarczonego przez producenta urządzenia. Oprogramowanie posiadało wiele użytecznych funkcji pomocnych przy analizowaniu powierzchni narzędzi ściernych. Były to m.in. funkcje związane z pomiarami parametrów geometrycznych, analizą ilościową, detekcją krawędzi oraz pomiarami chropowatości powierzchni. W ostatnim przypadku program umożliwiał wyznaczenie wartości ponad 80 parametrów m.in. chropowatości powierzchni, w tym parametrów amplitudowych, funkcjonalnych i objętościowych.

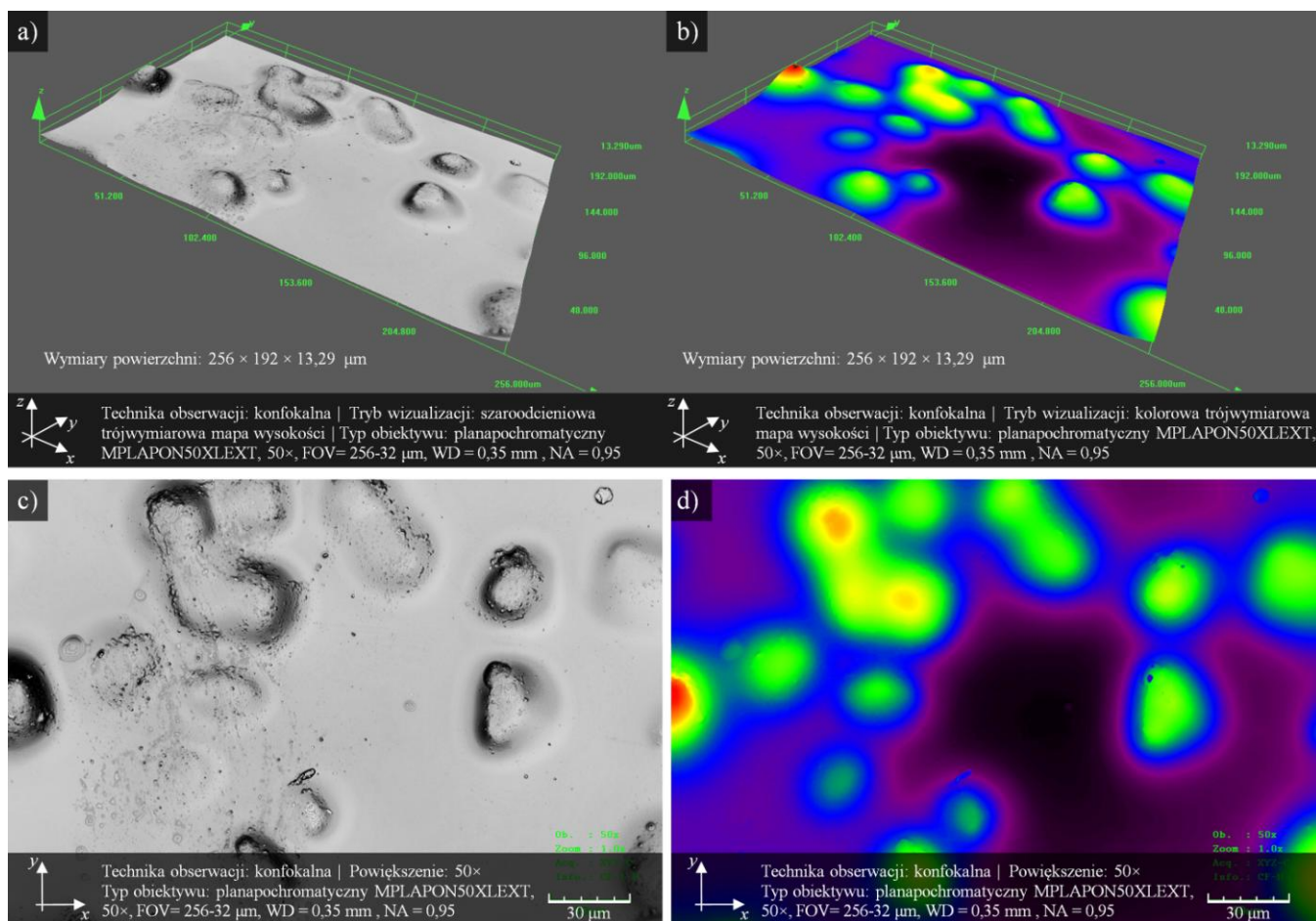


Rys. 1. Konfokalny laserowy mikroskop skaningowy LEXT OLS4000 firmy Olympus: a) widok ogólny urządzenia, b) zmotoryzowany uchwyt rewolwerowy obiektywów mikroskopowych, c) joystick

Fig. 1. Confocal laser scanning microscope LEXT OLS4000 produced by Olympus: a) general view of the microscope, b) microscope lenses revolving handle, c) joystick

### 3.3. Analiza rezultatów pomiarów

W niniejszym punkcie zaprezentowano wybrane wyniki badań topografii czynnej powierzchni foliowych taśm mikrościernych typu IDLF. Na rysunku 2 przedstawiono zestaw wyników analiz wykonanych za pomocą oprogramowania LEXT 5.0, dla danych pomiarowych uzyskanych podczas rejestracji obrazów w trybie konfokalnym. Analizę przeprowadzono dla taśmy IDLF o nominalnej wielkości ziarna  $30 \mu\text{m}$ . Pomiarom poddano fragment powierzchni o wymiarach  $256 \times 192 \times 13,29 \mu\text{m}$ . Przedstawiony zestaw wyników zawiera dwuwymiarowe oraz przestrzenne mapy wysokości w trybie szaroodcieniowym i kolorowym (kolory indeksowane). Taśma IDLF 30 charakteryzowała się największą (spośród wszystkich ocenianych taśm) wielkością ziaren. Zostały one prawidłowo odwzorowane podczas rejestracji w trybie konfokalnym. Dla tak relatywnie dużych ziaren można zaobserwować wiele szczegółów związanych z ich budową strukturalną. Oprócz obserwacji obrazów przeprowadzono również kilka użytecznych analiz. W tym celu wykorzystano wybrane funkcje oferowane przez oprogramowanie LEXT 5.0.



Wyznaczono m.in. niektóre wielkości geometryczne (odległości od ziaren, pola powierzchni pojedynczych ziaren i agregatów ściernych). Przeprowadzono również analizę ilościową na rozpatrywanym obszarze powierzchni.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych stwierdzono, że zastosowana technika pomiarowa jest niezwykle użyteczna do analizowania powierzchni foliowych taśm mikrościernych. Tego typu powierzchnie są bardzo specyficzne i generalnie trudne w pomiarach optycznych. Wykorzystany do oceny laserowy mikroskop konfokalny LEXT OLS4000 firmy Olympus prawidłowo odwzorował powierzchnie taśm o nominalnym wymiarze ziarna większym niż 1 μm (tj. taśm o nominalnej wielkości ziarna 3, 6, 9, 15 i 30 μm). Dla ziaren o wymiarach 0,5 i 1 μm nie udało się uzyskać zadowalających rezultatów. Tym niemniej, uzyskane wyniki pomiarów i analiz należy uznać za poprawne.

Konfokalna laserowa mikroskopia skaningowa jest jedną z metod, którą próbuje się adaptować do nowych zastosowań, także tych związanych z szeroko pojętą techniką pomiarową. Jest to obecnie metoda bardzo dynamicznie rozwijająca się. Pozwala ona na zaawansowaną analizę różnego rodzaju powierzchni technicznych, kształtowanych za pomocą wielu współczesnych technik obróbkowych. Przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości trójwymiarowa metrologia optyczna stanie się poważną alternatywą dla metod stykowych (głównie profilometrii stykowej) w zakresie precyzyjnych pomiarów topografii powierzchni.

*Część badań przedstawionych w tym artykule została wykonana w ramach Czesko-Polskiego projektu badawczego No. MEB 051021 (Republika Czeska) i 8071/2010 (Rzeczpospolita Polska). Autorzy składają podziękowania Panu dr inż. R. Ściegiencie z Katedry Transportu Politechniki Koszalińskiej za udostępnienie taśm mikrościernych do badań oraz Panu dr. S. Yatsunience i Panu S. Rybce z Działu Mikroskopów firmy Olympus Polska sp. z o.o. za umożliwienie przeprowadzenia pomiarów laserowym mikroskopem pomiarowym LEXT OLS4000.*

#### 5. Literatura

- [1] Troy S., Heurmann W.: Superfinishing and Microfinishing with Coated Abrasive Tapes. *Abrasives Magazine*, 1995, 6-19.
- [2] 3M: Roll Grinding, Superfinishing and Microfinishing Systems, (Brochure), 2004.
- [3] Hariharan P.: *Basics of interferometry*, Academic Press, 2007.
- [4] Claxton N. S., Fellers T. J., Davidson M. W.: *Laser Scanning Confocal Microscopy*. [online] <http://www.olympusfluoview.com/theory/LSCMIntro.pdf>
- [5] Miller F. P. et al.: *Confocal Laser Scanning Microscopy*. Alphascript Publishing, Amsterdam, 2010.
- [6] Davidson D. A.: Microfinishing and Surface Textures. *Metal Finishing*, Vol. 100, No. 7, 2002, 10-12.
- [7] Schrader G. F. et al.: *Manufacturing Processes and Materials*. Society of Manufacturing Engineering, Dearborn, 2000, 618-620.
- [8] Shevtsov S. E.: Diamond Microfinishing in the Production of Modern High-Accuracy Elements of IR Optical Systems. *Journal of Optical Technology*, No. 12, 2004, 819-821.
- [9] Craddock M.: From Automotive Crankshafts to Pumps. *World Pumps*, No. 370, 1997, 32-34.
- [10] Olympus Corporation: 3D Measuring Laser Microscope OLS4000, (Brochure M1669E-0109), 2009.
- [11] Olympus Corporation: 3D Laser Scanning Microscope LEXT OLS4000 Measured by the Electronic Measurement and 3D Surface Roughness. *JPCA News*, No. 490, 2009, 42-45. (in Japanese).
- [12] Fabich M.: Advancing Confocal Laser Scanning Microscopy. The Advantage of Optical Metrology. *Optik & Photonik*, No. 2, 2009, 40-43.

otrzymano / received: 16.10.2011

przyjęto do druku / accepted: 01.12.2011

artykuł recenzowany / revised paper