

**Maciej MATUSZEWSKI\*, Michał STYP-REKOWSKI\***

## **KONFOKALNY LASEROWY MIKROSKOP SKANINGOWY W BADANIACH TRIBOLOGICZNYCH**

### **CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPE IN TRIBOLOGY INVESTIGATIONS**

#### **Słowa kluczowe:**

analiza jakościowa, stereometria powierzchni, konfokalny laserowy mikroskop skaningowy

#### **Key words:**

quality analysis, surface stereometry, confocal laser scanning microscope.

#### **Streszczenie**

W niniejszej pracy przeanalizowano przydatność konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS3100 firmy OLYMPUS do oceny stereometrii powierzchni współpracujących elementów. Przedstawiono charakterystykę tego mikroskopu oraz dokonano analizy przykładowych struktur powierzchni po badaniach tribologicznych. Uzyskane obrazy powierzchni z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningo-

---

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, tel. (052) 340-86-56.

wego porównano z obrazami uzyskanymi z innych urządzeń umożliwiających rejestrowanie stereometrii powierzchni w postaci obrazów badanych powierzchni. Otrzymane obrazy struktur powierzchni z wykorzystaniem konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego okazały się przydatne w ocenie rzeźby powierzchni oraz w analizie zmian podczas transformacji warstwy wierzchniej.

## WPROWADZENIE

Cechy warstwy wierzchniej (WW) ukonstytuowanej w wyniku realizacji założonego procesu technologicznego wpływają na charakterystyki tribologiczne współpracujących elementów maszyn [L. 3, 6, 7]. O cechach warstwy wierzchniej w głównej mierze decyduje stereometria powierzchni, czyli zewnętrzna część warstwy wierzchniej. Ukształtowanie stereometryczne powierzchni określa się jako strukturę geometryczną powierzchni (SGP). Struktura stereometryczna powierzchni jest zbiorem mikronierówności powierzchni, będących śladami realizowanej obróbki lub skutkami procesu zużywania. Jako podstawowe wielkości opisujące SGP przyjmuje się: chropowatość, falistość, izotropowość powierzchni – kierunkowość śladów obróbki, odchyłki kształtu i wady powierzchni [L. 1].

Struktura geometryczna powierzchni elementów par kinematycznych ma istotny wpływ na zachodzące w parach procesy tarcia, a co jest z tym związane na intensywność zużywania.

Zgodnie z zaleceniami polskiej normy [L. 5] oraz informacjami literaturowymi [L. 2, 4] zaleca się, by ocenę stanu warstwy wierzchniej opracowywać także na podstawie fotografii badanej powierzchni. Powinny one być tak wykonane, aby umożliwiały dokonanie jakościowej oceny ogólnych cech SGP (chropowatości i kierunkowości). Widoczne i możliwe do zidentyfikowania powinny być także ślady zużywania i ewentualne uszkodzenia.

Ze względu na to, że stan powierzchni determinuje cechy użytkowe współpracujących powierzchni, istotny jest właściwy dobór metod i narzędzi do oceny cech stereometrycznych powierzchni. Zastosowane pomiary metrologiczne topografii powierzchni powinny w jak największym stopniu odzwierciedlać rzeczywistą rzeźbę struktury, co umożliwi z kolei właściwą ocenę cech eksploatacyjnych elementów par ciernych.

W niniejszej pracy do analizy jakościowej stanu struktury geometrycznej powierzchni zastosowano konfokalny laserowy mikroskop skaningowy LEXT OLS3100 firmy OLYMPUS. Otrzymane obrazy struktur powierzchni porównano z obrazami uzyskanymi z tradycyjnego mikroskopu optycznego w układzie płaskim (2D) oraz z obrazami uzyskanymi w układzie przestrzennym (3D) z pomiarów na maszynie pomiarowej Talyscan 150 firmy Taylor Hobson z wykorzystaniem programu TalyMap Expert.

Konfokalny laserowy mikroskop skaningowy LEXT OLS3100 firmy OLYMPUS, dzięki zastosowanym rozwiązaniom technicznym, które niestety nie wszystkie producent wyjaśnia i udostępnia, umożliwia bardzo dokładny i powtarzalny pomiar stereometrii powierzchni. Precyzyjny, trójwymiarowy pomiar wynika z rozdzielczości horyzontalnej wynoszącej dla tego typu 0,12  $\mu\text{m}$  i rozdzielczości wertykalnej wynoszącej 0,01  $\mu\text{m}$ , którą uzyskuje się z połączenia światła laserowego o długości fali 408 nm (fioletowy system optyczny) i konfokalnego układu optycznego [L. 8, 9].

Konfokalny system optyczny, składający się m.in. z soczewki apochromatycznej i okrągłej przysłony konfokalnej, zapobiega pojawianiu się aberracji związanych z zastosowaniem źródła światła emitującego krótkie fale (408 nm) i dzięki temu pozwala uzyskać bardzo dużą dokładność pomiarów mikroskopowych profili powierzchni. Poza tym mikroskop ten wyróżnia się zakresem powiększenia od 120 do 14 400 razy oraz możliwością dokonywania pomiarów bez wcześniejszego jakiegokolwiek przygotowania powierzchni do badań.

Konfokalny laserowy mikroskop skaningowy LEXT umożliwia zastosowanie następujących metod obserwacji badanych powierzchni [L. 8, 9]:

- a) metoda obserwacji jasnopolowej – informacje na temat koloru mogą być uzyskane z obserwacji jasnopolowych, mogą być one wówczas stosowane do obserwacji wad na kolorowych filtrach lub do lokalizowania miejsc korozji na metalu,
- b) metoda obserwacji DIC (*Kontrast Różnicowo-Interferencyjny*) – obserwacja z wykorzystaniem DIC umożliwia wykrycie bardzo małych rys lub wad, o wysokości kilku nanometrów, których nie dałoby się wykryć w obserwacji jasnopolowej,

- c) metoda obserwacji laserowej konfokalnej – obserwacja z bardzo dużą rozdzielczością nieosiągalną w konwencjonalnych mikroskopach, która jest możliwa dzięki zastosowaniu światła laserowego o długości fali 408 nm i konfokalnego systemu optycznego,
- d) metoda obserwacji laserowej konfokalnej DIC – która stanowi połączenie wcześniej opisanych metod b i c.

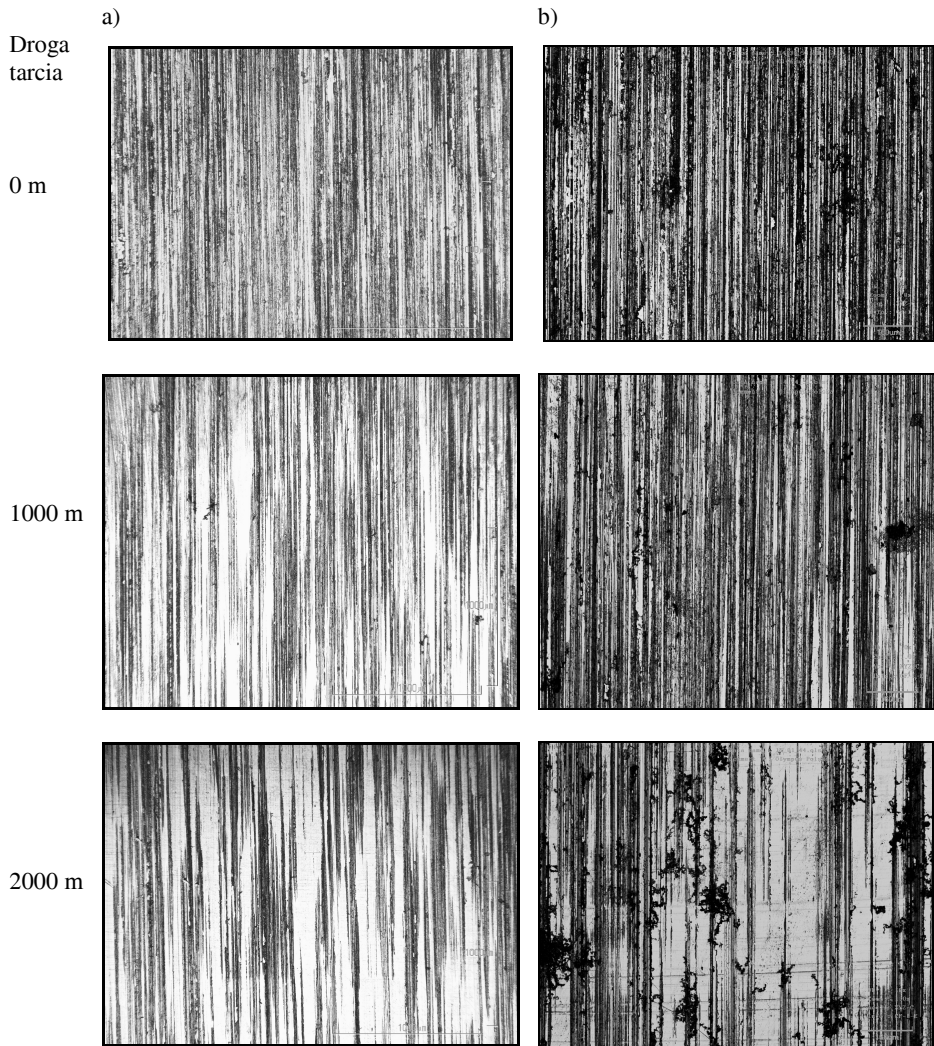
Możliwości omawianego mikroskopu są więc szersze niż tradycyjnego mikroskopu skaningowego, stąd też wydaje się celowe wykorzystywanie takiej aparatury w badaniach transformacji warstwy wierzchniej.

### **ANALIZA PRZYKŁADOWYCH STRUKTUR POWIERZCHNI**

W celu dokonania oceny możliwości metrologicznych konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego do analizy stereometrii powierzchni, przeprowadzono pomiary struktur geometrycznych powierzchni próbek. Dokonano oceny trzech struktur powierzchni próbek. Badane próbki poddane były badaniom tribologicznym, a styk współpracujących powierzchni w czasie badań był konforemny, tzn. był rozłożony na całej współpracującej powierzchni próbek. Jedna z analizowanych struktur pochodziła bezpośrednio z obróbki wykończeniowej, była to powierzchnia bez współpracy, natomiast dwie pozostałe były po badaniach tribologicznych: po drodze tarcia wynoszącej 1000 m oraz 2000 m. Warunki w czasie badań tribologicznych przyjęto jako stałe. Próbki z przeciwpróbką współpracowały w ośrodku smarującym, jakim był olej maszynowy, a wartości parametrów eksploatacyjnych były następujące: prędkość ruchu względnego: 2,9 m/min (0,05 m/s), obciążenie 600 N (teoretyczne naciski w strefie styku 2 MPa).

Na pierwszym etapie badań obrazy uzyskane z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego porównano w układzie płaskim z obrazami powierzchni uzyskanymi z konwencjonalnego mikroskopu optycznego – **Rys. 1.**

Kolejny etap analiz to porównanie obrazów struktur powierzchni w układzie trójwymiarowym, uzyskanych na maszynie pomiarowej Talyscan 150 firmy Taylor Hobson z wykorzystaniem programu TalyMap Expert oraz obrazu z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego – **Rys. 2.**

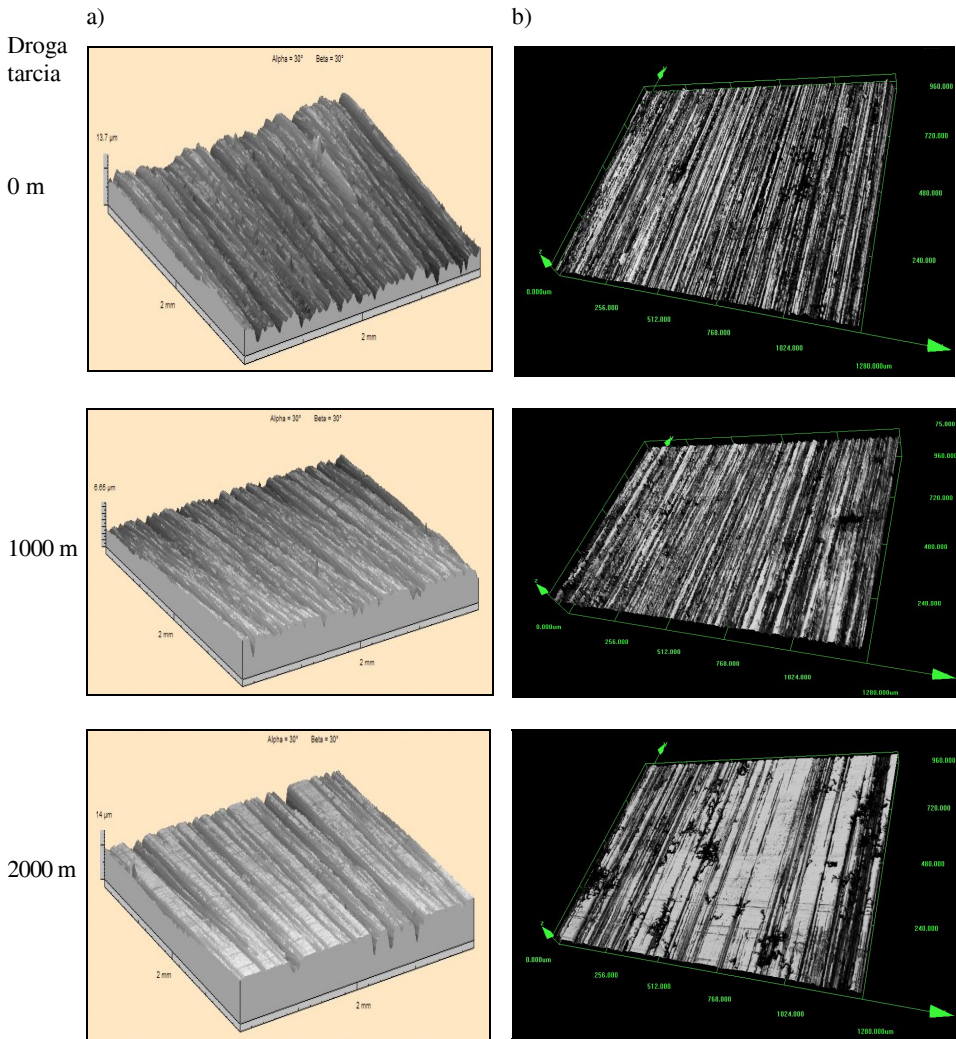


**Rys. 1. Obrazy SGP w układzie 2D po różnych drogach tarcia uzyskanych: a) z konwencjonalnego mikroskopu optycznego, b) z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego**

Fig. 1. 2D view for different friction distances recorded by: a) conventional microscop, b) confocal laser scanning microscope

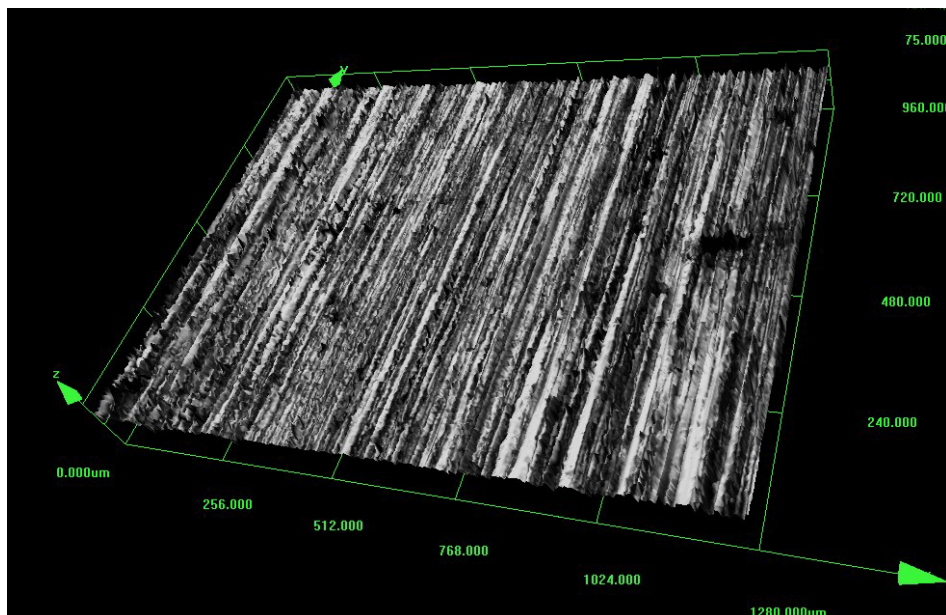
Ze względów edycyjnych na **Rys. 2** przedstawiono obrazy małych powierzchni. W celu przedstawienia dokładności obrazu stereometrii powierzchni konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego, na

**Rys. 3** przedstawiono strukturę o większym obszarze powierzchni (ok. 2-krotnym).



**Rys. 2.** Obrazy SGP w układzie 3D po różnych drogach tarcia uzyskanych: a) z maszyny pomiarowej, b) z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego

Fig. 2. 3D view for different friction distances recorded by: a) measuring device, b) confocal laser scanning microscope



**Rys. 3. SGP w układzie 3D uzyskana z konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego**

Fig. 3. 3D view recorded by confocal laser scanning microscope (multiplied)

Przedstawione na **Rys. 1 i 2** obrazy struktur powierzchni uzyskanych konfokalnym laserowym mikroskopem skaningowym są wyraźniejsze i bardziej kontrastowe niż porównywane obrazy uzyskane z pomiarów tradycyjnych. Charakter zmian, które można zaobserwować w SGP z porównywanych obrazów, jest zbliżony, ale obrazy uzyskane konfokalnym laserowym mikroskopem skaningowym dostarczają więcej informacji o szczegółach stereometrii, co wynika z dużej rozdzielczości mikroskopu. Dużą szczegółowość stereometrii powierzchni stwierdzić można na obrazie przedstawionym na **Rys. 3**.

Z przeprowadzonego porównania wynika wniosek, że przydatność mikroskopu w ocenie struktury jest przede wszystkim w przypadkach bardzo szczegółowych, mikro- czy wręcz nanometrycznych analiz powierzchni. W przypadkach, gdy ukształtowanie powierzchni w skali mikro nie jest ważne z punktu widzenia pożądanych cech tribologicznych, zastosowanie konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego nie jest konieczne, a do analiz wystarczą tradycyjne urządzenia metrologiczne.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz w niniejszej pracy stwierdzono dużą przydatność konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego w badaniach tribologicznych. Otrzymane obrazy struktur powierzchni z wykorzystaniem tego mikroskopu okazały się przydatne w ocenie jakościowej rzeźby powierzchni, a tym samym cech tribologicznych oraz w analizie zmian zachodzących podczas transformacji warstwy wierzchniej.

Tak szczegółowa możliwość odzwierciedlenia stereometrii powierzchni może być przydatna w metrologii powierzchni rastrowanych, czyli powierzchni, które celowo są mikrogeometrycznie kształtowane. W takich przypadkach istotne jest uzyskanie powtarzalności SGP, a przedmiotowy mikroskop do takich ocen byłby bardzo przydatny.

## LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa 1995.
2. Górecka R., Polański Z.: Metrologia warstwy wierzchniej. WNT, Warszawa 1983.
3. Matuszewski M.: Badanie wpływu wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni elementów par kinematycznych na proces ich zużycia. Praca doktorska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz 2008.
4. Pawlus P.: Topografia powierzchni: pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
5. PN-87/M-04250: Warstwa wierzchnia. Terminologia.
6. Styp-Rekowski M.: Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych. Wydawnictwo Uczelniane ATR, seria Rozprawy nr 103, Bydgoszcz 2001.
7. Żurowski W., Sadowski J.: Badania maksymalnej odporności układów ciał metalicznych na zużycie. Inżynieria Powierzchni nr 1/2001.
8. Folder firmy OLYMPUS dotyczący konfokalnego laserowego mikroskopu skaningowego LEXT OLS3100.
9. [www.olympus-global.com](http://www.olympus-global.com)



### **Summary**

**In presented paper usability of confocal laser scanning microscope LEPT OLS3100, made by OLYMPUS, to estimation of surface stereometry of cooperated elements is analysed. Characteristic of such microscope is presented, analyse of exemplary surface structures after tribologic tests was made too. Obtained from confocal laser scanning microscope pictures there were compared with others, obtained from measurement devices which are able to record of view of tested surfaces. It seems that recorded by confocal microscop pictures are useful in sculpture surface assessment and in analyse of changes during surface layer transformation.**