

Piotr Sęk, Bogdan Antoszewski <sup>1)</sup>

## POWIERZCHNIA Z TEKSTURĄ - TOPOGRAFIA I ENERGIA POWIERZCHNIOWA

**Streszczenie:** W nowoczesnych maszynach dla realizacji różnych celów m.in. takich jak intensyfikacja smarowana, intensyfikacja wymiany ciepła, stymulowanie mikroprzepływów, zwiększenie aktywności chemicznej powierzchni; coraz częściej stosuje się teksturowanie powierzchni. Stało się to możliwe dzięki rozwojowi technologii wykorzystujących skoncentrowany strumień energii do których należy mikroobróbka laserowa. Tematyka opracowania koncentruje się na identyfikacji cech topografii powierzchni z teksturą przy wykorzystaniu najnowocześniejszych profilometrów. Autorzy podejmują próbę powiązania wybranych parametrów topografii powierzchni teksturowanej z jej energią powierzchniową.

**Słowa kluczowe:** energia powierzchniowa, teksturowanie powierzchni, obróbka laserowa.

### WSTĘP

Laserowe teksturowanie powierzchni jest aktualnie najbardziej rozwiniętą techniką wytwarzania w sposób powtarzalny, szybki i ekonomiczny mikrowgłębień (rowki, dziurki, szewrony i inne) na powierzchni elementów maszyn. Głównym celem tworzenia tekstury powierzchniowej jest redukcja oporów tarcia oraz zużycia współpracujących części. Niezależnie od tego dzięki teksturze powierzchniowej możliwa jest praca przy wyższych prędkościach ślizgania i naciskach niż miało by to miejsce przy użyciu elementów bez tekstury. W wielu pracach wykazano, że teksturowanie powierzchni zwiększa odporność na zacieranie i przy zużywaniu poprzez fretting, a także jest stosowane wszędzie tam gdzie znaczenie mają właściwości adhezyjne warstw powierzchniowych (łączenie materiałów, nakładanie powłok, techniki drukarskie, aktywność biologiczna i chemiczna powierzchni, itp.) [5, 6, 7].

Teksturowanie laserowe należy do grupy technologii nazywanych mikroobróbką laserową. Są to procesy obróbki ubytkowej, przy której obszary usuwanego materiału mają wymiary w skali mikrometrów lub milimetrów, a do usuwania materiału używana jest energia wiązki laserowej. Mikroobróbka laserowa jest metodą, z powodzeniem stosowaną wówczas, gdy wymagana jest wysoka dokładność wymiarowa i w przypadku materiałów kłopotliwych dla technologii mechanicznych. Teksturowanie laserowe polega na nadawaniu powierzchni obrabianego materiału pożądanej struktury geometrycznej i/lub rozkładu właściwości.

---

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska, Centrum Laserowych Technologii Metali.

Wiązka laserowa, jako fala elektromagnetyczna wykazująca koherencję, czyli spójność czasową i przestrzenną, jest nośnikiem pozwalającym na uzyskiwanie wysokiej koncentracji energii pod względem obszaru i czasu oddziaływania na materiał obrabiany. W laserowej mikroobróbce obszar bieżącego oddziaływania na materiał jest określony wielkością plamki laserowej lub maski, która przepuszcza tylko pożądaną część wiązki. W przypadku, gdy do obróbki potrzebna jest wysoka powierzchniowa gęstość energii, stosuje się skupianie wiązki przy użyciu elementów optycznych. Wiązka laserowa o średnicy  $D$  i długości fali  $\lambda$  teoretycznie może być skupiona w ognisku, którego minimalna średnica jest zależna od występowania zjawiska dyfrakcji i jest opisywana wzorem:

$$d = 2,44 \frac{f}{D} \lambda \quad (1)$$

gdzie:  $f$  – ogniskowa zastosowanego elementu skupiającego (soczewki lub zwierciadła).

Długość  $\lambda$  fali promieniowania jest istotna nie tylko ze względu na możliwość osiągnięcia wysokiego skupienia wiązki, ale również ze względu na zdolność absorbowania energii promieniowania przez materiał. W mikroobróbce laserowej szczególnie istotny jest aspekt czasu impulsu wiązki, bowiem w zależności od intensywności promieniowania i czasu ekspozycji można wykorzystywać różne mechanizmy oddziaływania na materiał. Wynika to ze skończonych czasów reakcji elektronów i sieci atomowej materiału na fotony. Impulsy o długości większej o 1ns nazywane są impulsami długimi. W przypadku czasu od 1ps do 1ns impulsy nazywa się krótkimi, a przy czasie trwania mniejszym od 1ps mówi się o impulsach ultrakrótkich.

Przy wysokiej intensywności promieniowania, impulsach o krótkim czasie i dużej energii, występuje zjawisko absorpcji wielofotonowej, czyli jednoczesnego przekazania energii wielu fotonów jednemu elektronowi. Usuwanie materiału z obszaru oddziaływania wiązki występuje przed jego termicznym topnieniem i parowaniem. Proces taki jest nazywany topnieniem nietermicznym. Do jego uzyskania konieczna jest dostateczna gęstość powierzchniowa energii wiązki laserowej. W przypadku niedostatecznej gęstości powierzchniowej energii następuje relatywnie wolniejsze podnoszenie temperatury materiału i słabnięcie wiązań pod wpływem drgań cieplnych, które może doprowadzić do termicznego topnienia i odparowania materiału. Od długości trwania impulsów laserowych zależy wielkość strefy wpływu ciepła.

Obróbka impulsami długimi pozostawia wyraźne ślady przetopienia i zmiany na skutek oddziaływania ciepła. Natomiast ablacja wywoływana impulsami pikosekundowymi i femtosekundowymi jest nazywana ablacją zimną (ang. *the cold ablation*), ponieważ w materiale nie obserwuje się strefy wpływu ciepła, w jej tradycyjnym rozumieniu.

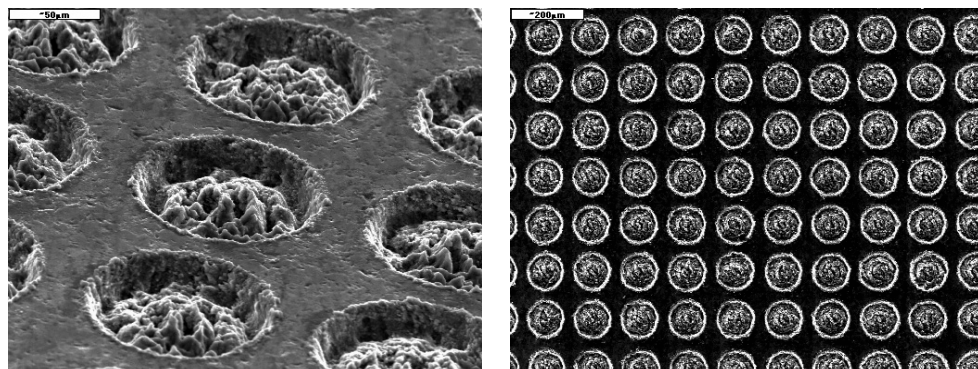
Z punktu widzenia zastosowania teksturowania powierzchni istotne znaczenie ma jednoznaczna identyfikacja wytworzonych tekstur oraz jej podstawowe właściwości fizyczne. W popracowaniu analizuje się metody badania topografii powierzchni oraz oceny właściwości fizycznych takich jak zwilżalność i napięcie powierzchniowe.

## BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przedmiotem badań były tekstury powierzchniowe wykonane technologią laserową na powierzchniach próbek w postaci pierścieni z SiC o wymiarach 35X25X7. Teksturowanie powierzchni pierścieni wykonano wykorzystując laser firmy ESI Model 5200  $\mu$ VIA DRILL. Jest to laser Nd:YAG pompowany diodowo o maksymalnej mocy wiązki 2 W, emitujący promieniowanie nadfioletowe o długości fali 355 nm. Pozostałe istotne parametry pracy lasera to szerokość impulsu 30 ns dla 3 kHz, częstotliwość 100 Hz  $\div$  20 kHz. Laser wyposażony jest w optykę skanerową o polu roboczym 533 mm x 635 mm. Wgłębienia wykonywano wykorzystując standardowe oprogramowanie skanera.

Tabela 1. Parametry tekstury powierzchni pierścieni

Nr próbki	Średnica wgłębienia d [ $\mu$ m]	Odległość między środkami osi symetrii wgłębień L [ $\mu$ m]	Głębokość zagłębień [ $\mu$ m]	Stopień zaczer-nienia [%]
1	78	162	13	18,2
2	134	279	13	17,9
3	78	106	13	42,5
4	134	183	13	41,8
5	150	256	13	27,4
6	70	119	13	27,1
7	102	128	13	49,9
8	102	233	13	15,1
9	102	174	13	26,9
10	102	174	13	26,9



Rys. 1. Widok powierzchni z teksturą na pierścieniu SiC: po lewej – pojedyncze wgłębienia na powierzchni pierścienia (pow. 500x), po prawej - zespół wgłębień tekstury na pierścieniu (stopień zaczer-nienia 42%, pow. 100x)

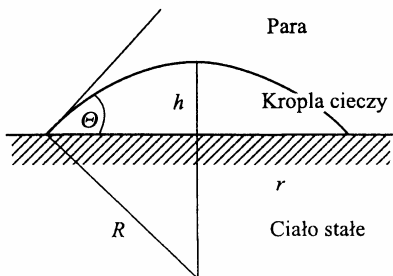
Procedura teksturowania obejmowała dwa etapy, pierwszy erodowanie punktowe po trajektorii spirali i drugi profilowanie otworu wiązką o średnicy odpowiadającej zadanej średnicy wgłębienia.

W tabeli 1 przedstawiono parametry uzyskanych tekstur, a na rysunku 1 ich przykładowy widok uzyskany za pomocą mikroskopu skaningowego.

### Badania właściwości adhezyjnych powierzchni z teksturą

Badania zwilżalności i swobodnej energii powierzchniowej są obiektem zainteresowań wielu dyscyplin naukowych: fizyki, chemii, inżynierii materiałowej oraz biotechnologii. Zwilżalność materiałów wykorzystywanych w przemyśle różnymi cieczami ma duże znaczenie praktyczne, w procesach przemysłowych, takich jak klejenie, uszczelnianie, malowanie, drukowanie oraz nanoszenie różnego rodzaju powłok ochronnych. Jedną z najczęściej stosowanych metod oznaczania kąta zwilżania powierzchni materiałów konstrukcyjnych jest metoda opierająca się na geometrii kropli (rys. 2). Powierzchnia kropli najczęściej ma kształt czaszy i wówczas kąt zwilżania obliczamy z pomiaru wysokości czaszy  $h$  i promienia powierzchni styku kropli  $r$ . Wysokość czaszy jest określona wzorem  $h=R(1-\cos\Theta)$ , a promień styku powierzchni  $r=R\sin\Theta$ . Z tych zależności otrzymujemy:

$$\Theta = \frac{2h}{r} \quad (2)$$

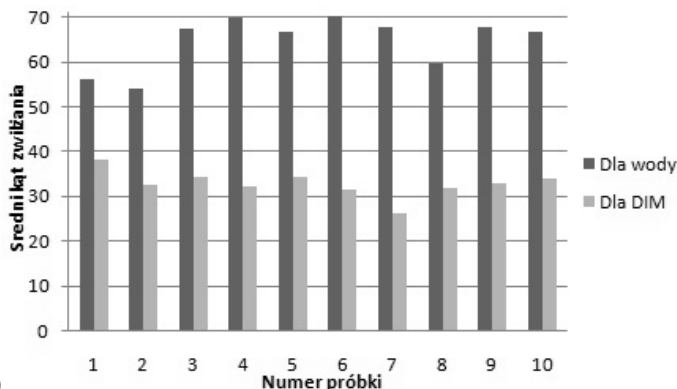


**Rys. 2.** Po lewej - pomiar kąta zwilżania z geometrii kropli, po prawej – widok naniesionej kropli cieczy pomiarowej

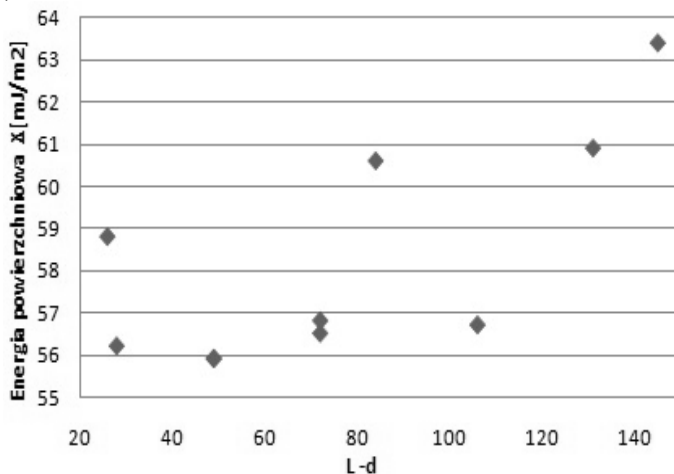
Wartość swobodnej energii powierzchniowej materiałów konstrukcyjnych określa się w sposób pośredni wykorzystując pomiar kątów zwilżania wybranymi cieczami pomiarowymi. Do pomiaru kąta zwilżania jako cieczy pomiarowych użyto wody destylowanej i diiodometanu (DIM). Do obserwacji kropli i pomiaru kąta zwilżania stosowano mikroskop stereoskopowy wraz z kamerą oraz oprogramowanie MicroScan v 1.3.

Stosowaną metodą do wyznaczania swobodnej energii powierzchniowej jest metoda Owensa – Wendta, [1, 2, 4] w której przyjęto że swobodna energia powierzchniowa jest sumą dwóch składowych: dyspersyjnej i polarnej. Odpowiednie wzory na energię dyspersyjną i polarną znajdują się w cytowanej literaturze [3, 4].

a)



b)



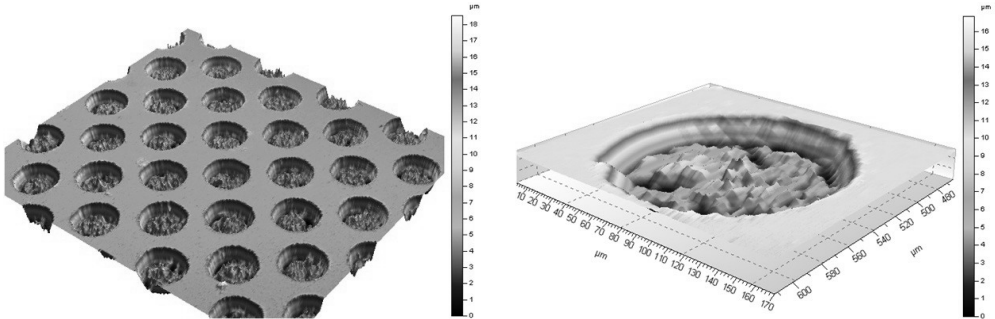
Rys. 3a. Wartości kątów zwilżania wodą i DIM dla próbek 1 do 10

Rys. 3b. Wartości swobodnej energii powierzchniowej w zależności od L-d

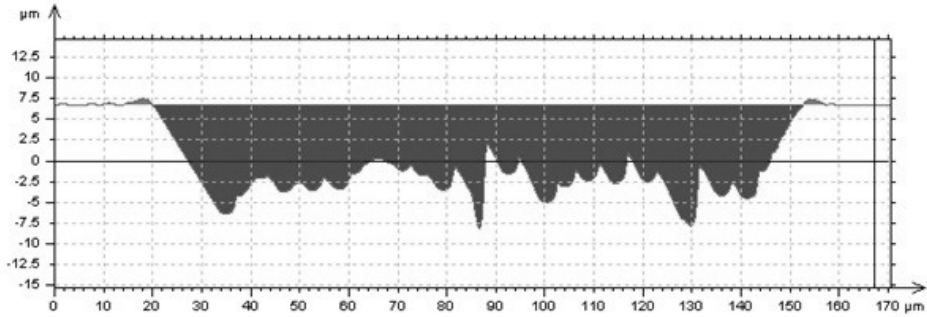
### Pomiary geometrii powierzchni

Badania miały charakter rozpoznawczy. Ich celem była identyfikacja możliwości nowoczesnych skomputeryzowanych profilografów. Wszystkich pomiarów dokonano w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, za pomocą profilografu optycznego Talysurf CCI - Lite Non-contact 3D Profiler z obiektywem 50mm oraz profilografu stykowego Form Talysurf PGI 1230. Pomiar metodą AFM za pomocą mikroskopu sił atomowych był niemożliwy z powodu zbyt dużej wielkości bada-

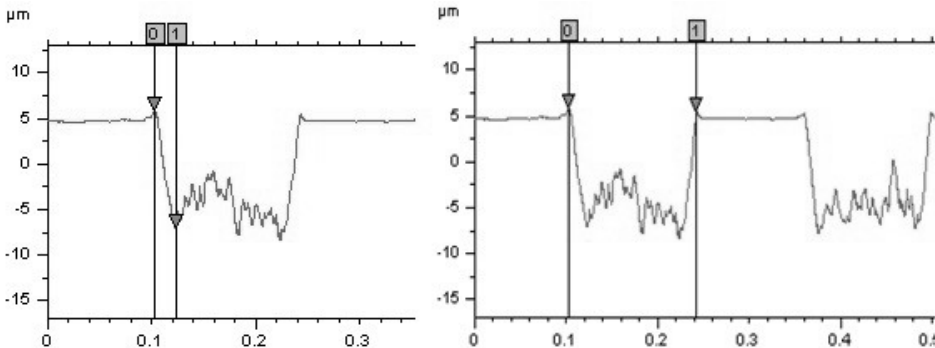
nej próbki oraz zbyt dużej chropowatości powierzchni wewnątrz pojedynczego mikroporu. Na rys. 4, rys. 5 oraz rys. 6 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów.



Rys. 4. a) widok powierzchni badanej, b) widok 3D pojedynczego mikrowgłębienia; próbki uzyskany za pomocą profilografu stykowego Form Talysurf PGI 1230



Rys. 5. Profil pojedynczego mikrowgłębienia uzyskany za pomocą profilografu stykowego Form Talysurf PGI 1230. Maksymalna głębokość mikrowgłębienia 14,9143µm, maksymalna wysokość wypłytki 0,7297µm, objętość mikrowgłębienia 122376,6µm<sup>3</sup>, objętość wypłytki 508,146µm<sup>3</sup>.



Rys. 6. Profil pojedynczego mikrowgłębienia uzyskany za pomocą profilografu stykowego Form Talysurf PGI 1230. Średnica mikrowgłębienia 140,001µm, kąt nachylenia zbocza mikrowgłębienia 31,6116°.

## PODSUMOWANIE

Analizowane metody pomiaru przy zastosowaniu profilometrów stykowego oraz optycznego wykazały przydatność do pomiaru parametrów tekstury

Stosując w/w urządzenia można mierzyć średnicę i głębokość mikrowgłębień, odległość pomiędzy wgłębieniami a także kąt nachylenia ściany wgłębienia, chropowatość dna wgłębienia, wysokość wypływki, stosunek objętości wypływki do objętości mikrowgłębienia.

Uzyskane tą drogą wyniki mogą być wykorzystane do optymalizacji geometrii tekstury.

Wraz ze zmianą parametrów tekstury następuje zmiana wartości kątów zwilżania powierzchni i powierzchniowej energii swobodnej

Wartości kątów zwilżania przy zwilżaniu DIM są mniejsze niż przy zwilżaniu wodą, przy czym niepewności pomiarowe dla pomiarów zwilżania wodą mają zdecydowanie wyższą wartość.

Badając korelacje pomiędzy parametrami tekstury a właściwościami adhezyjnymi powierzchni stwierdzono, że najbardziej istotny wpływ na wartość swobodnej energii powierzchniowej ma parametr  $L-d$  stanowiący wzajemną odległość krawędzi mikrowgłębień. Wraz ze wzrostem tej odległości wartość energii powierzchniowej maleje.

## PIŚMIENNICTWO

1. Rudawska A., Jacniacka E.: Analysis for determining surface free energy uncertainty by the Owen-Wendt method. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29 (2009) 451-457.
2. Rudawska A., Kuczmaszewski J.: Surface free energy of zinc coating after finishing treatment. *Material Science*, Vol 24, No. 4 (2006).
3. Kłonica M., Kuczmaszewski J.: Analiza energetyczna warstwy wierzchniej po ozonowaniu materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle lotniczym - Inżynieria powierzchni – wybrane zagadnienia pod redakcją B. Antoszewskiego – Wydawnictwo PŚk, Kielce 2011 (171-179).
4. Żenkiewicz M.: Porównawcza ocena niektórych metod obliczania swobodnej energii powierzchniowej aktywowanej folii polietylenowej. *Polimery* 33 (1988) 328-331.
5. Kovalchenko A., Ajayi A., Erdemir A., Fenske G., Etison I., 2005 The effect of laser surface texturing on transitions in lubrication regimes during unidirectional sliding contact” *Tribology International* 38 (2005) 219-225.
6. Manabu Wakuda, Yukihiko Yamauchi, Shuzo Kanazaki, Yoshireru Yasuda, 2003 Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact – *Wear*, 254, (2003), 356-363.
7. X.Q Yu., S.He., R.L.Cai., 2002 Frictional characteristics of mechanical seals with a laser textured seal face” - *Journal of Materials Processing Technology* 129 (2002), 463-466.

## TEXTURING SURFACE – TOPOGRAPHY AND SURFACE ENERGY

### Summary

In modern machines for realization of goals like lubrication intensification, heat flow intensification, microflow stimulation; more and more often surface texturing is used. It became possible due to development of technologies that use concentrated energy stream like microlasers. The article concentrates on identification of topographic parameters of surfaces using the most modern profilometers also attempts to find a correlation between surface energy and topography of surface with geometrical texture.

**Keywords:** surface energy, surface texturing, microlasers.