

*laser, warstwa wierzchnia, stal do nawęglania,  
wałek rozrządu, teksturowanie laserowe*

NAPADŁEK Wojciech<sup>1</sup>  
WOŹNIAK Adam<sup>2</sup>

### **TEKSTUROWANIE LASEROWE WAŁKA ROZRZĄDU SILNIKA SPALINOWEGO**

*W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań teksturowania laserowego warstwy wierzchniej wałka rozrządu tłokowego silnika spalinowego, wykonanego ze stali stopowej 41Cr4. Obróbkę laserową przeprowadzono za pomocą lasera Nd: YAG o długości fali promieniowania laserowego  $\lambda=1064$  nm. Zastosowanie ablacyjnej mikroobróbki laserowej w neuralgicznych strefach wałka rozrządu miało na celu wytworzenie odpowiedniej tekstury powierzchni z mikrozasobnikami olejowymi w kształcie półczasz kulistych. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów uzyskano bardzo regularną teksturę powierzchni, co prawdopodobnie korzystnie wpłynie na procesy tribologiczne i zmniejszenie zużycia skojarzenia czop wałka rozrządu–łożysko ślizgowe.*

### **TEXTURING OF LASER ROLL OF DISTRIBUTION EXPLOSION ENGINE**

*It the methodology and results of investigations of laser texturing top layer roll distribution explosion piston engine in article were introduced was, executed steel alloys 41Cr4. It laser processing was conducted was with the help of laser Nd:YAG about wavelength laser radiation  $\lambda = 1064$  nm. The use ablation of laser micromachining in neuralgic zones of roll of distribution had in view the producing from mikrozasobnikami the suitable texture of surface oil in shape the spherical oil microchannels. It the very regular texture of surface, what in result of conducted experiments was got was probably profitably the suppository of roll of distribution will influence on tribological processes the and decrease the waste of association - slide bearing.*

#### **1. TECHNOLOGIA ABLACYJNEJ MIKROOBRÓBKII LASEROWEJ**

Technologia ablacyjnej mikroobróbki laserowej umożliwia wytworzenie na elementach silnika zmodyfikowanych mikro- i nanostruktur w warstwie powierzchniowej, poprzez oddziaływanie plazmy laserowej i wysokiego ciśnienia. Szybkozmiennne impulsy laserowe

<sup>1</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49, tel.: (0-22) 683-73-57, kom.: 664494297, e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl

<sup>2</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49, tel.: (0-22) 683-70-97, e-mail: wozniaka@wat.edu.pl

o częstotliwości repetycji ok. 5-20 Hz wymuszają proces ablacji laserowej, rozdrobnienie struktury oraz ultraszybkie przemiany fazowe nie osiągalne innymi technologiami. Wyniki badań wskazują, że w warstwie wierzchniej mogą zostać wytworzone cienkie mikrowarstwy amorficzne (szkliste) – o bardzo wysokich walorach technologicznych, nieosiągalne dla innych nowoczesnych technologii stosowanych w inżynierii powierzchni. Procesy modyfikacji laserowej wpływają nie tylko jakościowo na strukturę, ale także pozwalają na precyzyjne kształtowanie mikrozasobników olejowych w newralgicznych strefach.

Obróbka ta może być stosowana jako ostateczna lub jako półwykańczająca. Jedną z zalet tej technologii jest bardzo mała strefa wpływu ciepła, a zatem mały wpływ obróbki na deformację wałka rozrządu, jak i na naprężenia własne. Również układ wytworzonych na powierzchni wybranych elementach silnika zasobników olejowych jest istotny ponieważ wpływa decydująco na procesy tribologiczne.

Zastosowanie technologii mikroobróbki laserowej pozwala na zwiększenie trwałości i niezawodności silników spalinowych, a także pozwala na polepszenie właściwości w zakresie emisji toksycznych związków oraz na zwiększenie sprawności ogólnej tłokowego silnika spalinowego.

## **2. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA SILNIKA SUBARU WYKORZYSTANEGO DO BADAŃ**

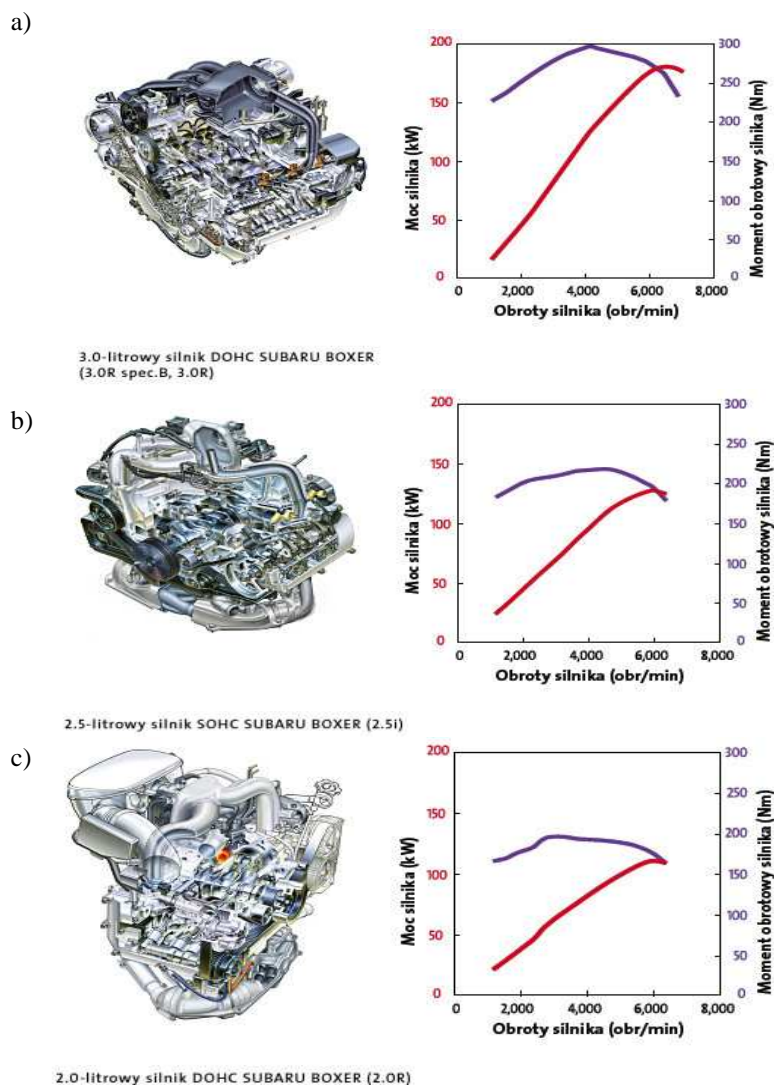
W artykule przedstawiono teksturowanie laserowe czopów wałka rozrządu silnika spalinowego SUBARU BOXER 2,5 DOHC o zapłonie iskrowym.

Silnik przeciwsobny SUBARU BOXER (rys. 1) jest konstrukcją zwartą i lekką. Charakteryzuje się nisko zlokalizowanym środkiem ciężkości, znakomitym wyrównowaniem i niskim poziomem wibracji.

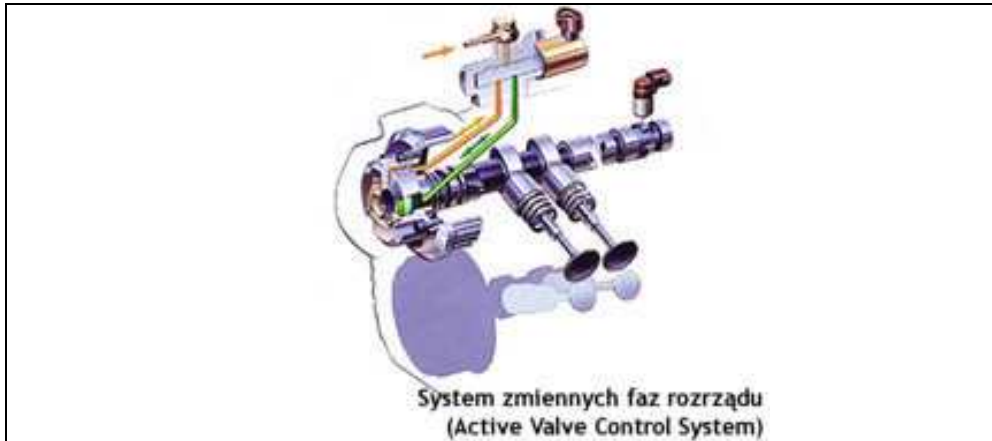
Silnik 2-litrowy (rys. 1c) posiada nowoczesny układ rozrządu wyposażony jest w system zmiennych faz rozrządu, który zapewnia zmienne sterowanie zaworami dolotowymi. Silnik 2.5-litrowy (rys. 1b) wyposażony jest w aktywny system regulacji skoku zaworów (i-Active Valve Lift System) (rys. 2), który w zależności od prędkości obrotowej silnika przełącza skok zaworu dolotowego oraz kąt otwarcia na wysoki lub niski. Oba systemy zapewniają wysoki moment obrotowy, a także wydajne zużycie paliwa i niski poziom emisji substancji szkodliwych do atmosfery. 3.0-litrowy silnik H6 obok systemu zmiennych faz rozrządu, wyposażony jest w układ regulacji skoku zaworów, co zapewnia wystarczającą wartość momentu obrotowego w całym zakresie mocy.

3.0-litrowy silnik typu BOXER DOHC wyposażony w 6 cylindrów (rys. 1a) jest doskonale wyrównany. Jego moc maksymalna to 180 kW (245 KM) i 297 Nm momentu obrotowego. Dodatkowo system SI-DRIVE pozwala na uzyskanie optymalnej wydajności silnika. Uniwersalny 2.5-litrowy silnik SOHC z aktywnym systemem regulacji skoku zaworów (i-Active Valve Lift System) posiada moc 127 kW (173 KM) i 227 Nm momentu obrotowego. W połączeniu z zaletami wysokowydajnego układu wydechowego z dwoma tłumikami, silnik ten wykazuje bardzo dobre osiągi przy niskich i średnich prędkościach obrotowych i dodatkową moc przy wyższych prędkościach obrotowych. 2.0-litrowy silnik DOHC wyposażony w optymalizację układu dolotowego i wylotowego, łączy w sobie prostotę obsługi z bardziej dynamicznym charakterem samochodu.

Podsumowując, należy stwierdzić, że z zalet ważne jest także dobre wyrównoważenie takiej jednostki oraz płaski kształt (choć sam silnik jest szeroki), który stwarza możliwość zastosowania tam, gdzie miejsca na montaż jest bardzo mało.

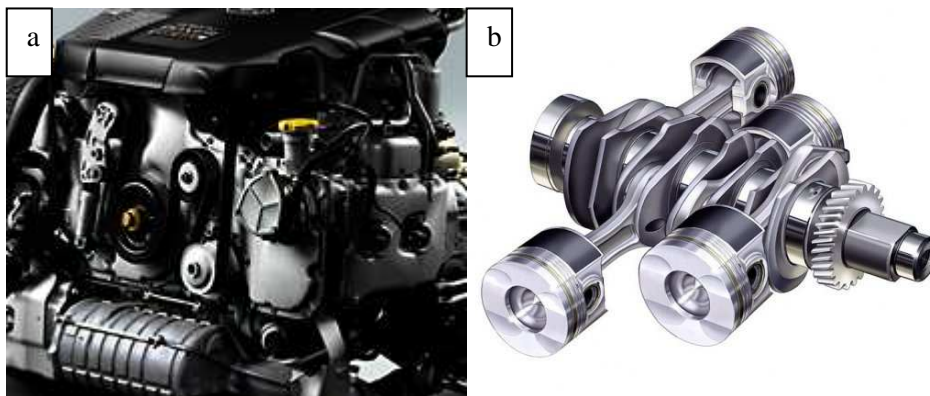


Rys. 1. Silniki SUBARU BOXER: 3-litrowy silnik DOHC – a), 2.5-litrowy silnik SOHC – b), 2.0-litrowy silnik DOHC - c) oraz wykresy mocy i momentów obrotowych w funkcji prędkości obrotowej [1]



Rys. 2. Schemat systemu zmiennych faz rozrządu zastosowany w silniku SUBARU BOXER [2]

Silniki SUBARU BOXER są lekkie i kompaktowe dlatego pracują bardziej równomiernie i efektywnie niż jednostki napędowe innego typu. Zrównoważenie mas tłoków pracujących naprzeciw siebie redukuje drgania i wibracje. Teraz, wszystkie te zalety pojawiają się po raz pierwszy w silniku SUBARU BOXER DIESEL (rys. 3). Zastosowanie przez Subaru silnika typu bokser o zapłonie samoczynnym zwiastuje nową erę w rozwiązaniach technologicznych.



Rys. 3 Silnik o ZS Subaru (a) oraz elementy układu korbowo-tłokowego [4]

### 3. OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Obiektem badań laboratoryjnych był wałek rozrządu silnika spalinowego SUBARU BOXER 2,5 DOHC.



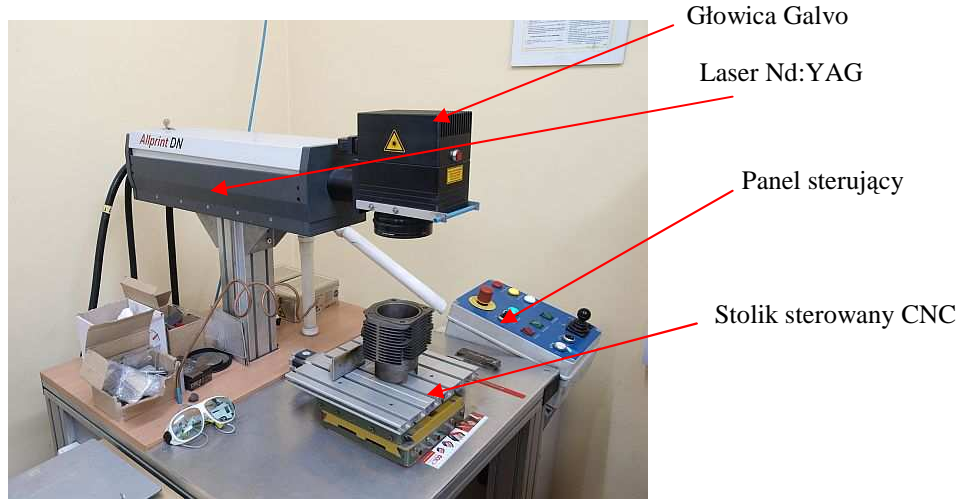
Rys. 4. Wałek rozrządu silnika spalinowego SUBARU BOXER 2,5 DOHC

W celu uzyskania dużej efektywności procesu wytwarzania mikrozasobników olejowych uwzględniono wcześniejsze wyniki badań własnych. W badaniach zastosowano laser Nd: YAG o długości fali promieniowania laserowego  $\lambda = 1064$  nm. Z analizy literatury oraz dotychczasowych doświadczeń autorów tej pracy wynika, że przy mniejszej długości fali promieniowania (np.  $\lambda = 532$  nm) efektywność procesów teksturowania laserowego materiałów konstrukcyjnych wielokrotnie obniża się. Oddziaływanie promieniowania laserowego występuje tylko w strefie przypowierzchniowej na bardzo małej głębokości (od setnych części mikrometra do pojedynczych mikrometrów). Nie zapewniłoby to uzyskania wymaganej głębokości wytwarzanych zasobników, a więc w zakresie  $5 \div 30$   $\mu\text{m}$ . Aby warstwa powierzchniowa po teksturowaniu laserowym cechowała się dużą odpornością na zużycie w warunkach tarcia, korzystne wydaje się wytworzenie zasobników olejowych o głębokości  $5 \div 15$   $\mu\text{m}$ , tj. z minimalnym naddatkiem na obróbkę mechaniczną wykańczającą, która usuwa powstałe wypłytki przyległe do zasobników.

Obiektem modyfikacji i badań laboratoryjnych był sworzeń tłokowy, stosowany jako element układu korbowo - tłokowego silnika spalinowego, który został wykonany ze stali stopowej 20MnCr5 (20HG), przeznaczonej do nawęglania.

#### 3.1. Stanowisko do ablacyjnej mikroobróbki laserowej

Ablacyjna mikroobróbka laserowa warstwy wierzchniej sworznia tłokowego wykonana została na stanowisku wyposażonym w laser Nd: YAG (rys. 5) o następujących parametrach: długość fali promieniowania  $\lambda = 1064$  nm, maksymalna gęstość mocy  $q = 1,3$   $\text{MW}/\text{cm}^2$ , częstotliwość repetycji  $f = (1 - 65)$  kHz.



Rys. 5. Stanowisko laserowe Nd: YAG

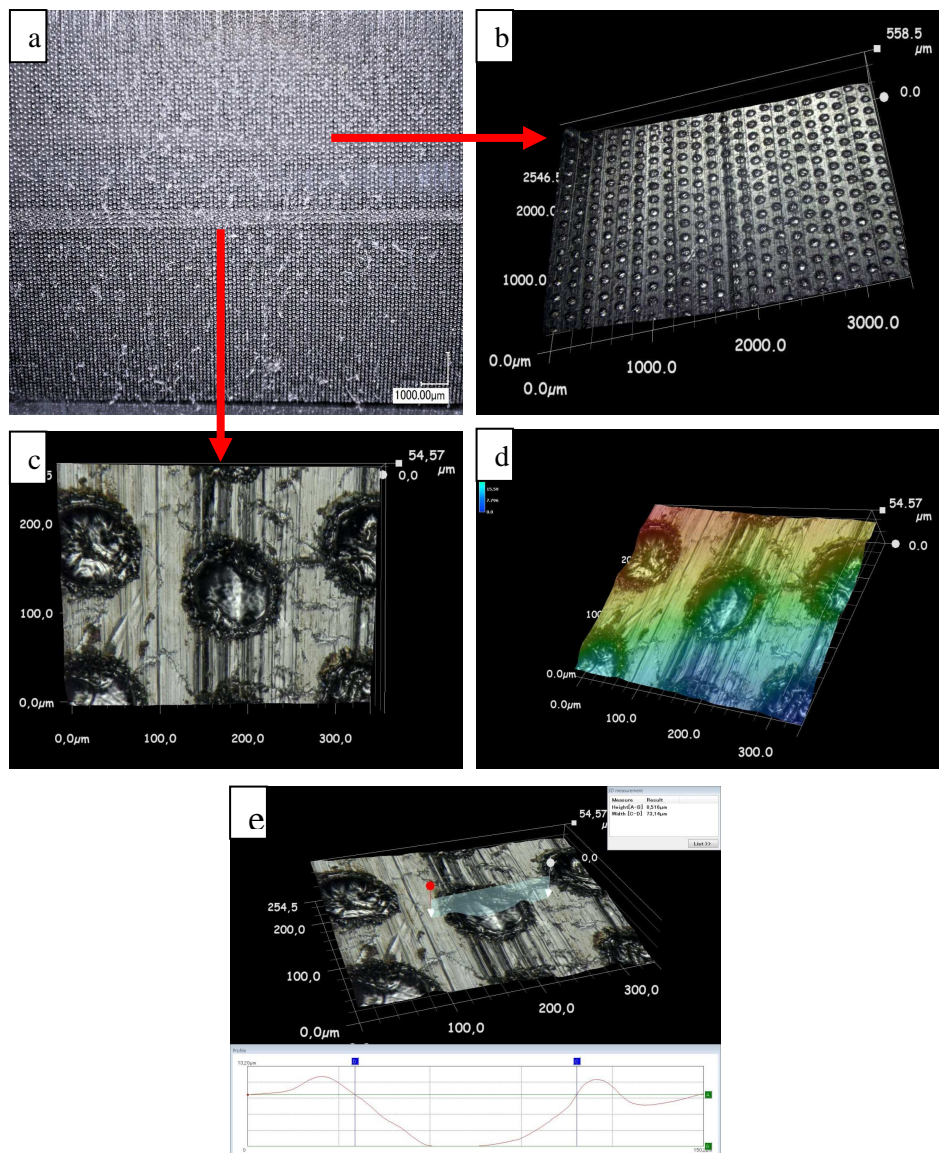
#### 4. WYNIKI BADAŃ

Realizując teksturowanie laserowe w strefie powierzchni roboczej czopów wałka rozrządu oczekuje się poprawy warunków smarowania w strefie współpracy z łożyskiem ślizgowym. Wytworzony w strefie mikrozasobników olejowych film olejowy ma na celu utrzymanie smarowania płynnego, co pozwoli skutecznie rozdzielić współpracujące elementy pary tribologicznej czop-łożysko ślizgowe. Powstałe w wyniku ablacji laserowej oraz ekstruzji ciekłego materiału wałka rozrządu mikrowypływkę należy usunąć przez szlifowanie.



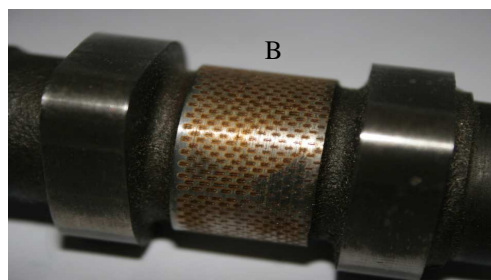
Rys. 6. Widok wałka rozrządu silnika Subaru BOXER 2,5 DOHC z czopami teksturowanymi laserowo: a) widok wału rozrządu po teksturowaniu, b) widok fragmentu wału rozrządu z czopem teksturowanym laserowo (mikrozasobniki olejowe w kształcie czasz); A – mikroczasze, B – mikrokanaty

Zastosowane dwa warianty mikroobróbki pozwoliły na wytworzenie mikroczasz (rys. 6) oraz mikrozasobników (rys. 8 i 9). Uzyskane efekty technologiczne należy uznać za pozytywne.

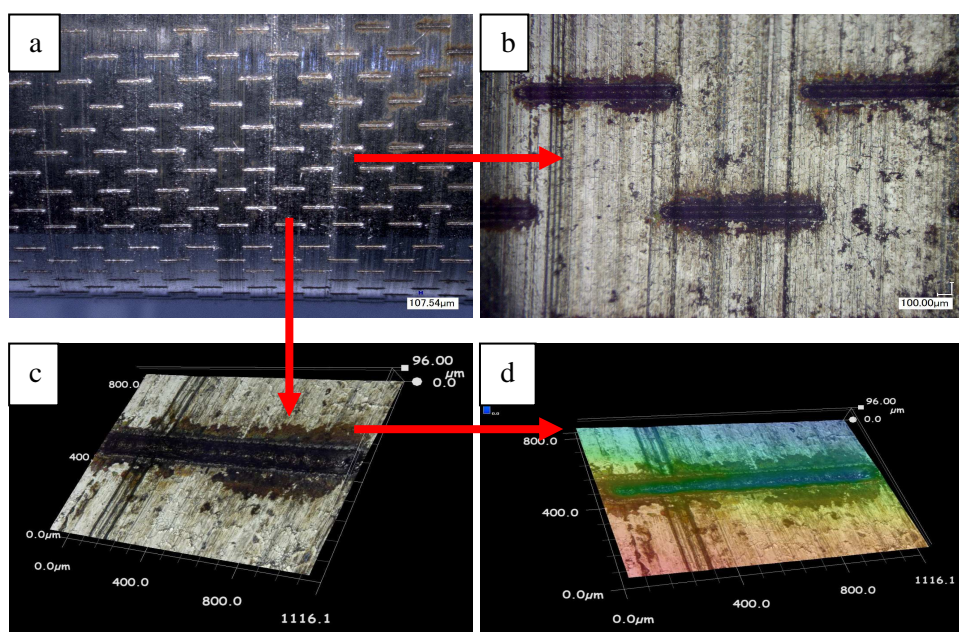


Rys. 6. Charakterystyczne układy geometryczne mikrozasobników olejowych w kształcie czasz wytworzonych na powierzchni roboczej sworznia z wykorzystaniem ablacyjnej mikroobróbki laserowej: długość fali promieniowania laserowego  $\lambda=1064$  nm, laser Nd:YAG, Moc 50W, 3 kHz, prędkość 500 mm/s, odległość między liniami 0,15 mm, ilość impulsów laserowych w tę samą strefę 15x, głębokość zasobników: ok. 9  $\mu$ m

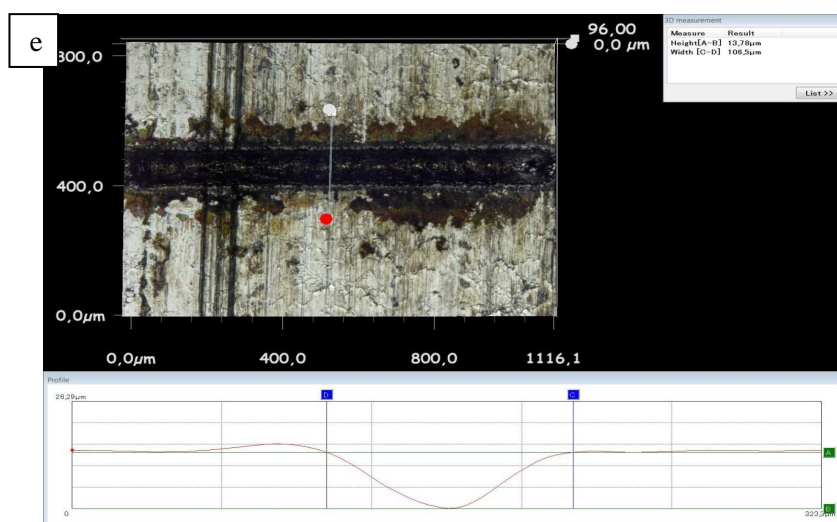
Na rys. 7 przedstawiono charakterystyczną topografię powierzchni czopa wałka rozrządu (A) z mikrozasobnikiem olejowym w kształcie rowków, wytworzonych techniką laserową.



Rys. 7. Widok fragmentu wałka rozrządu z czopem po teksturowaniu laserowym (mikrozasobniki w kształcie kanałów)







Rys. 8. Charakterystyczne układy geometryczne mikrozasobników olejowych w kształcie rowków wytworzonych na powierzchni roboczej czopa wałka rozrządu: długość fali promieniowania  $\lambda=1064$  nm, laser Nd:YAG, moc 50 W, 3 kHz, prędkość 25 mm/s, ilość impulsów laserowych w tę samą strefę 15x, głębokość zasobników: ok. 13  $\mu\text{m}$

## 5. WNIOSKI

- 1) W wyniku laboratoryjnych badań przeprowadzonych na próbkach oraz wycinkach z rzeczywistych wałka rozrządu silnika spalinowego Subaru BOHER 2,5 DOHC, uzyskano korzystne parametry geometryczne mikrozasobników olejowych na powierzchni czopa wału rozrządu:
  - głębokość mikrozasobników –  $8\div 9$   $\mu\text{m}$ ,
  - średnica zasobników –  $70\div 80$   $\mu\text{m}$ ,
  - wysokość wypływek –  $3\div 4$   $\mu\text{m}$ ,
  - maksymalna twardość w strefie wypływki –  $780\div 867$   $\mu\text{HV}_{100}$ .
- 2) Aby warstwa wierzchnia po teksturowaniu laserowym wałka rozrządu silnika Subaru BOXER 2,5 DOHC cechowała się dużą odpornością na zużycie w warunkach tarcia, optymalnym wydaje się wytworzenie zasobników olejowych w kształcie półczas kulistych o średnicy 70–80  $\mu\text{m}$ , o głębokości w przedziale od 5–15  $\mu\text{m}$ , z minimalnym naddatkiem na obróbkę wykańczającą, która usuwa powstałe wypływki przyległe do zasobników.
- 3) Wariant zasobników oleju w kształcie mikrokanalów wydaje się również technologicznie przydatny. Długość i rozstaw mikrorowków w układzie cegiełkowym wydaje się korzystna w wymiarze ok. 1 mm. Powstałe w procesie teksturowania mikrowypływki należy usunąć poprzez obróbkę mechaniczną wykańczającą (honowanie, szlifowanie).

- 4) Zweryfikowanie zaproponowanych układów geometrycznych mikrozasobników olejowych wymaga przeprowadzenia cyklu badań tribologicznych w warunkach laboratoryjnych oraz na rzeczywistych wałkach rozrządu z wytworzonymi mikrozasobnikami, zamontowanymi do silnika spalinowego w konwencjonalnej próbie hamownianej lub w próbie tzw. „zimnych rozruchów”, które rozstrzygną przydatność analizowanych wariantów technologicznych.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. WNT Warszawa 2005.
- [2] Luft S.: *Podstawy budowy silników*. Wydanie 2. WKiŁ, Warszawa 2006.
- [3] Napadłek W., Balicki P.: *Teksturowanie warstwy powierzchniowej gładzi tulei cylindrowej z wykorzystaniem ablacyjnej mikroobróbki laserowej*. Logistyka 2/2010, Poznań 2010.
- [4] Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. WNT, Warszawa 2005.
- [5] Marian Victor: *Lubrication of textured surface*. International Conference Universitaria Engineering, Petrosani 17-19 October (2002), vol.2.
- [6] Schreck S., Zum Gahr K.-H.: *Laser-assisted structuring of ceramic and steel surfaces for improving tribological properties*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institute for Materials Research I, P.O. Box 3640, 76021 Karlsruhe, Germany 13 March (2005).
- [7] Soveja A., Jouvard J. M, Grevey D. : *Metal surface laser texturing multiphysics modeling of a single impact effect*. Excerpt from the proceedings of the COMSOL Users Conference 2007 Grenoble.
- [8] Napadłek W., Burakowski T.: *Wybrane przykłady powierzchniowego teksturowania laserowego*. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 633 ÷ 636.
- [9] Napadłek W., Przetakiewicz W.: *Laserowe teksturowanie płaszcza tłoka silnika spalinowego*. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 637÷ 640.
- [10] Napadłek W.: *Kształtowanie technologicznej warstwy wierzchniej pierścieni tłokowych silnika spalinowego*. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 628 ÷ 632.