

**Wojciech NAPADŁEK, Adam WOŹNIAK**  
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,  
Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna

## **TEKSTUROWANIE LASEROWE WARSTWY WIERZCHNIEJ SWORZNIĄ TŁOKOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO W ASPEKCIE TRIBOLOGICZNYM**

### **Słowa kluczowe**

Laser, stal do nawęglania, sworzni tłokowy, teksturowanie laserowe, warstwa wierzchnia.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań teksturowania laserowego warstwy wierzchniej sworzni tłokowego silnika spalinowego. Obróbkę laserową przeprowadzono za pomocą lasera Nd:YAG o długości fali promieniowania laserowego  $\lambda = 1064$  nm. Zastosowanie ablacyjnej mikroobróbki laserowej w newralgicznych strefach sworzni tłokowego miało na celu wytworzenie odpowiedniej tekstury powierzchni z mikrozasobnikami olejowymi w kształcie zagłębień kulistych. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów uzyskano bardzo regularną teksturę powierzchni, co prawdopodobnie korzystnie wpłynie na procesy tribologiczne i zmniejszenie zużycia skojarzeń sworzni tłokowy–piasty tłoka, sworzni tłokowy–łożysko ślizgowe.

### **Wprowadzenie**

Sworznie tłokowe ze względu na występujące cykliczne duże obciążenia muszą być wykonane z materiałów, które charakteryzują się bardzo twardą warstwą wierzchnią, odporną na zużycie przez tarcie, a jednocześnie ze względu na

odporność na zmęczenie sprężystym i podatnym rdzeniem. Takie warunki spełniają stale stopowe, które powierzchniowo mogą być poddawane obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej zwiększającej ich twardość. Powierzchnie te podlegają następnie szlifowaniu, a nawet dalszemu polerowaniu. Sworzeń tłokowy może się swobodnie obracać i przesuwac w stosunku do główki korbowodu i/lub do piasty tłoka [1].

Projektując topografię powierzchni elementów maszyn z odpowiednią teksturą geometryczną powierzchni dąży się do poprawy smarowania elementów par tribologicznych. Wytworzone metodą ablacyjnej mikroobróbki laserowej mikrozasobniki olejowe mają za zadanie gromadzić czynnik smarny (olej, smar itp.) tak, aby nie doprowadzić do gwałtownego zaniku smarowania w węzle tribologicznym. Dzięki specyfice zjawiska ablacji oraz bardzo dużej precyzji tekstutowania laserowego (nowoczesne lasery z precyzyjną optyką sterowaną elektronicznie) można uzyskać bardzo dokładne i powtarzalne kształty geometryczne mikrozasobników smarowych (mikroczaśce, mikrokanały) [2–7].

W procesach czystej ablacji laserowej, w wyniku pobudzenia kwantami promieniowania (fotonami) warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych, przy stosowaniu bardzo krótkiego czasu oddziaływania impulsu promieniowania laserowego (impulsy piko- i femtosekundowe) zachodzi proces czystej ablacji (rozrywanie wiązań atomowych). Aby uzyskać oczekiwany, wydajny efekt ablacji mikroobróbki laserowej, należy ją wykonywać przy dużej gęstości mocy, tj. od kilku do kilkunastu MW/cm<sup>2</sup>. Przy takich wartościach gęstości mocy zachodzi proces sublimacji (przejście ze stanu stałego w stan par materii). Przy nieco dłuższym czasie, od kilku do kilkudziesięciu nanosekund, proces ablacji przebiega z efektem termicznym (w pierwszej fazie procesu zachodzi czysta ablacja, a w drugiej fazie procesy termiczne – nagrzewanie, topnienie, odparowanie oraz ekstruzja ciekłego materiału).

## 1. Metodyka badań

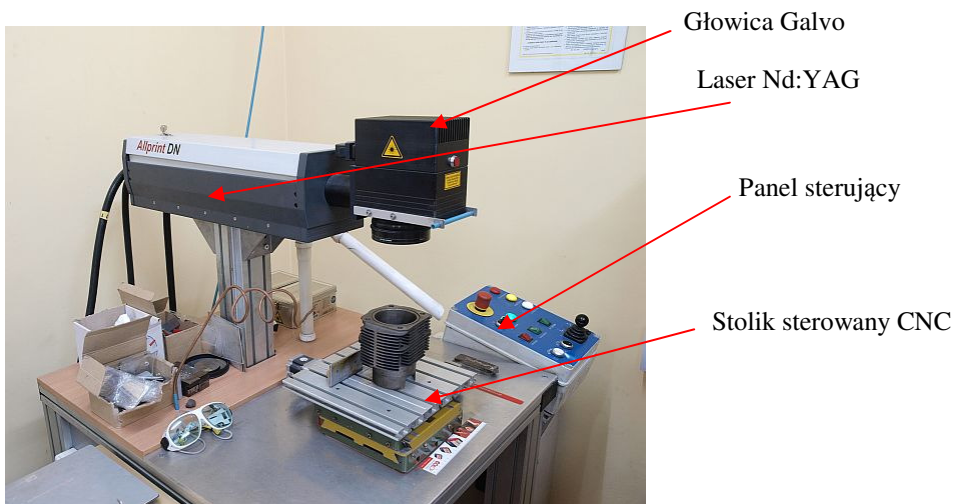
W celu uzyskania dużej efektywności procesu wytwarzania mikrozasobników olejowych uwzględniono wcześniejsze wyniki badań własnych. W badaniach zastosowano laser Nd: YAG o długości fali promieniowania laserowego  $\lambda = 1064$  nm. Z analizy literatury oraz dotychczasowych doświadczeń autorów tej pracy wynika, że przy mniejszej długości fali promieniowania (np.  $\lambda = 532$  nm) efektywność procesów tekstutowania laserowego materiałów konstrukcyjnych zmniejsza się wielokrotnie. 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 tekstutowaniu 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 sworzień tłokowy, stosowany jako element układu korbowo-tłokowego silnika spalinowego, który został wykonany ze stali stopowej 20MnCr5 (20HG), przeznaczonej do nawęglania.

### 1.1. Stanowisko do ablacyjnej mikroobróbki laserowej

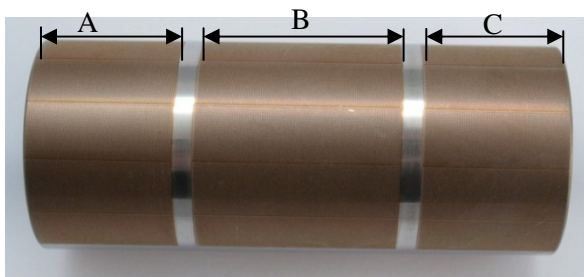
Ablacyjna mikroobróbka laserowa warstwy wierzchniej sworznia tłokowego wykonana została na stanowisku wyposażonym w laser Nd: YAG firmy Alltec – Allprint DN (rys. 1) o następujących parametrach: długość fali promieniowania  $\lambda = 1064\ \text{nm}$ , maksymalna gęstość mocy  $q = 1,3\ \text{MW}/\text{cm}^2$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



Rys. 1. Stanowisko laserowe Nd: YAG Allprint DN

## 2. Wyniki badań

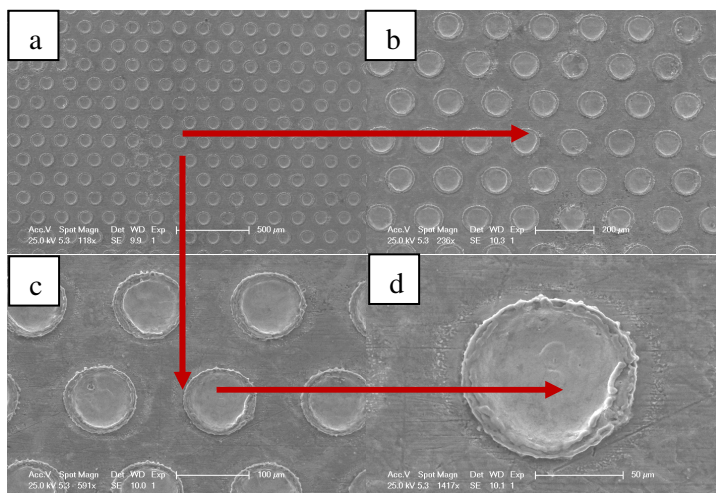
Mikroobróbka laserowa (teksturowanie) sworznia tłokowego dotyczyła stref współpracy z piastami tłoka (rys. 2 strefa A, C) oraz z panewką główki korbowodu (rys. 2 strefa B). Na pierwszym etapie badania przeprowadzono na próbkach, a na drugim etapie na rzeczywistym elemencie, tj. sworzniu tłokowym.



Rys. 2. Widok sworznia tłokowego ze strefami A, B, C po mikroobróbce laserowej: laser Nd: YAG, gęstość mocy  $q = 38,5 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ , czas trwania impulsu około 150 ns, częstota repetycji 3 kHz, stopień pokrycia 25%

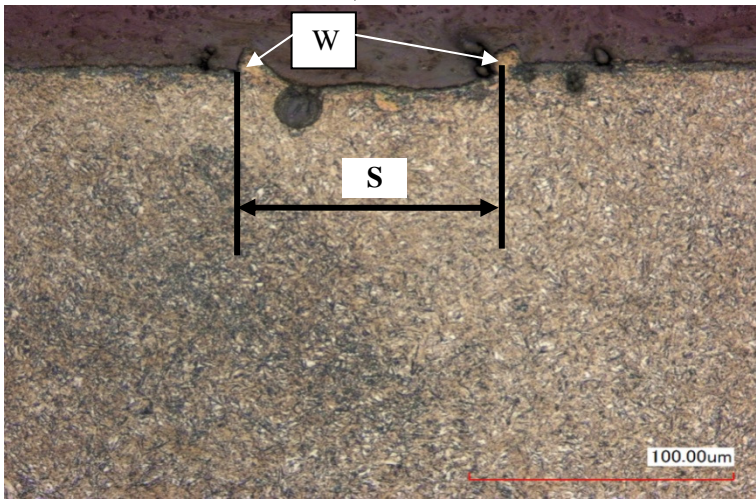
W badaniach laboratoryjnych zastosowano dwa warianty pokrycia (wypełnienia) powierzchni, tj. 25% i 50%. Zastosowano następujące parametry pracy lasera: W1 – wypełnienie 25%:  $P = 50 \text{ W}$ ,  $f = 3 \text{ kHz}$ ,  $v = 500 \text{ mm/s}$ , odległość między osiami zasobników 0,3 mm, pięć impulsów laserowych w tę samą strefę, W2 – wypełnienie 50%:  $P = 50 \text{ W}$ ,  $f = 3 \text{ kHz}$ ,  $v = 800 \text{ mm/s}$ , odległość między osiami zasobników 0,15 mm, pięć impulsów laserowych w tę samą strefę.

Charakterystyczną topografią powierzchni sworznia uzyskaną po obróbce laserowej zgodnej z parametrami odpowiadającymi wariantowi W2 przedstawiono na rys. 3.

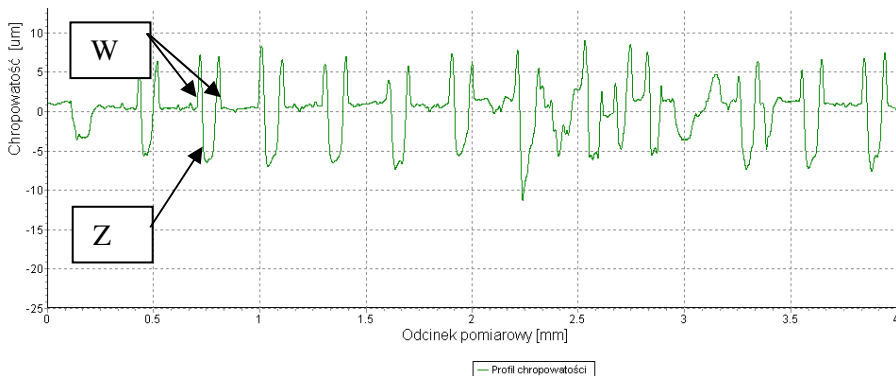


Rys. 3. Topografia powierzchni sworznia tłokowego z mikrozasobnikami olejowymi przy 50% pokryciu, laser Nd: YAG ( $q = 38,5 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ ,  $f = 3 \text{ kHz}$ ,  $\tau = 150 \text{ ns}$ ), elektronowy mikroskop skaningowy FEI XL 30

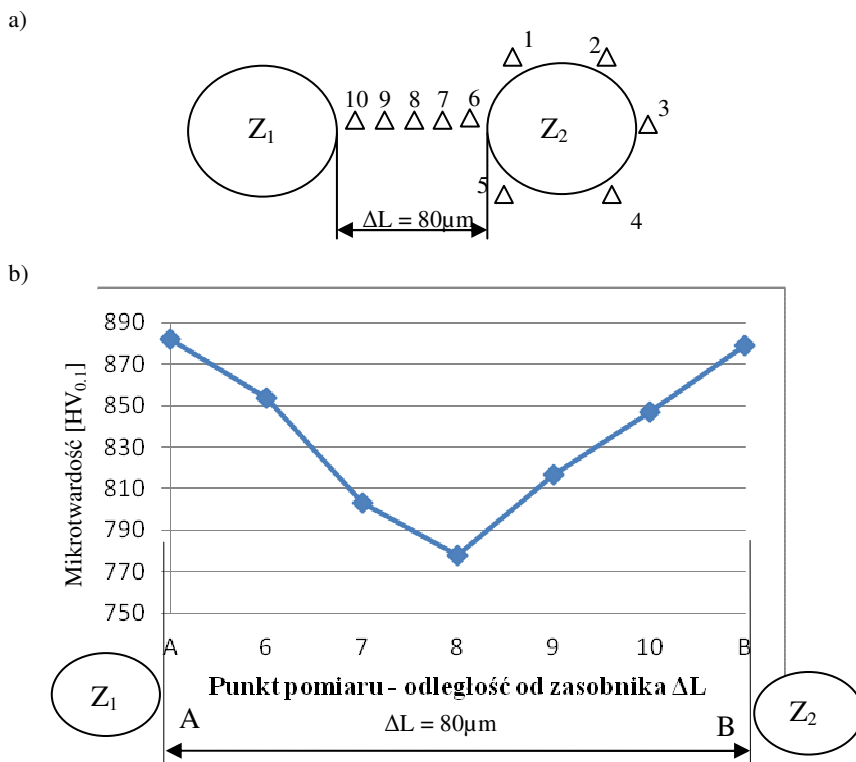
Mikrostrukturę wyjściową stali 20MnCr5 po nawęgleniu i hartowaniu indukcyjnym stanowi drobnopłytkowy martenzyt o mikrotwardości wyjściowej ok. 765 HV<sub>0,1</sub> (twardość 55÷59 HRC). W wyniku ablacyjnej mikroobróbki laserowej realizowanej na powierzchni sworznia utworzono układ zasobników olejowych o głębokości około 7÷8 μm i szerokości około 70 μm (rys. 3 i 4). Uzyskany profil chropowatości powierzchni sworznia pokazano przykładowo na rys. 5.



Rys. 4. Mikrostruktura materiału sworznia tłokowego (stal 20MnCr5) z widocznym mikrozasobnikiem olejowym – przekrój poprzeczny: W – wypływka, S – szerokość zasobnika



Rys. 5. Profil chropowatości powierzchni sworznia tłokowego po ablacyjnej mikroobróbce laserowej: W – wypływka, Z – zasobnik



Rys. 6. Schemat metodyki pomiaru oraz charakterystyczny rozkład mikrotwardości na powierzchni warstwy wierzchniej sworznia tłokowego w strefie między zasobnikami: a) schemat poglądowy pomiaru mikrotwardości, b) rozkład mikrotwardości

W strefie przetopionej i zahartowanej laserowo nastąpił wzrost mikrotwardości do ok. 850 HV<sub>0,1</sub> (rys. 6). W tej strefie obserwuje się lokalne, bardzo cienkie mikrostruktury z martenzytem skrytoiglastym (rys. 4). Tuż pod strefą przetopioną i zahartowaną występuje strefa odpuszczona z mikrostrukturą bainityczną.

## Wnioski

- 1) Sterowanie parametrami procesu ablacji laserowej umożliwia wytwarzanie na powierzchni stali 20MnCr5 mikrozasobników olejowych o kontrolowanej głębokości oraz o kontrolowanym stopniu wypełnienia powierzchni.
- 2) W wyniku laboratoryjnych badań przeprowadzonych na próbkach oraz wycinkach z rzeczywistego sworznia tłokowego uzyskano korzystne parametry geometryczne mikrozasobników olejowych dla dwóch wariantów przykrycia powierzchni sworznia tłokowego, tj. 25% i 50%: głębokość mikrozasobników 7÷8 μm, średnica zasobników 70÷80 μm, wysokość wypływek 5÷8 μm, maksymalna twardość w strefie wypływki 867 HV<sub>0,1</sub>.

- 3) Uzyskane wyniki badań wykazały, że opracowane parametry ablacji laserowej umożliwiają połączenie wytwarzania mikrozasobników olejowych z jednoczesnym utwardzaniem warstwy wierzchniej elementów ze stali stopowej 20MnCr5.
- 4) Zweryfikowanie zaproponowanych układów geometrycznych mikrozasobników olejowych wymaga przeprowadzenia cyklu badań tribologicznych w warunkach laboratoryjnych oraz na rzeczywistych sworzniach tłokowych z wytworzonymi zasobnikami, zamontowanymi do silnika spalinowego w konwencjonalnej próbie hamownianej lub w próbie tzw. „zimnych rozruchów”, które rozstrzygną przydatność analizowanych wariantów technologicznych.

### **Bibliografia**

1. Wajand J.A., Wajand J.T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 2005.
2. Marian Victor: Lubrication of textured surface. International Conference Universitaria Enngineering, Petrosani 17–19 October (2002) vol. 2.
3. 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).
4. 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.
5. Napadłek W., Burakowski T.: Wybrane przykłady powierzchniowego teksturowania laserowego. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 633÷636.
6. Napadłek W., Przetakiewicz W.: Laserowe teksturowanie płaszcza tłoka silnika spalinowego. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 637÷640.
7. Napadłek W.: Kształtowanie technologicznej warstwy wierzchniej pierścieni tłokowych silnika spalinowego. Inżynieria Materiałowa Nr 4 (182)/2011, s. 628÷632.

Recenzent:  
**Jerzy SMOLIK**

## **Laser texturing the piston pin combustion engine surface layer in the tribological aspect**

### **Key words**

Laser, surface layer, case- hardened steel, the piston pin, laser texturing.

### **Summary**

The article presents the methodology and results of laser texturing the surface layer parts of an internal combustion engine. Laser treatment was performed using Nd: YAG laser, wavelength of laser radiation  $\lambda = 1064$  nm. The application of laser ablation micro machining on critical areas of the piston pin was aimed at producing a suitable surface texture of an oil micro-tray of a spherical shape. As a result of the experiments, a very regular surface texture was obtained that positively affects the tribological processes and reduces the consumption of the associations between the piston pin-piston hub and the piston pin-slide bearing.