

ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR LASER PROCESSING OF UPPER LAYER TOPOGRAPHY SHAPING OF STEEL GLOW NITRIDED CYLINDER SLEEVES

Wojciech Napadlek

*Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu
Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

tel.: +48 22 6837357, tel./fax: +48 22 6837602, e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl

Abstract

Results of preliminary laboratory and technology tests of 38HMJ glow nitrided steel after laser modification are presented in the paper. In order to improve macro- and microgeometry of upper layer of cylinder sliding surface a laser processing has been used for its modification (hollowing of oil microreservoirs in the upper zone of the sleeve using Nd:YAG laser with special focusing system). A comparison of surface topographies modified using traditional mechanical methods with laser processed ones was made. Preliminary tests included: selection of optimum parameters of laser processing, investigations of surface topography, structural, hardness, and chemical composition in microvolumes. Results introductory laboratory-experiments will be practically put-upon fixable applicability and to work out of bases of the modern technology of the laser-micromachining. The use of this technology, especially in combustion engines strongly thermically loaden, will let on the enlargement of their durability and reliability, and will also contribute for decreasing emission of toxic chemical compounds for the atmosphere.

Keywords: cylinder sleeve, surface topography, laser microprocessing, oil reservoir

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MIKROOBRÓBK LASEROWEJ W PROCESIE KSZTAŁTOWANIA TOPOGRAFII WARSTWY WIERZCHNIEJ STALOWYCH TULEI CYLINDROWYCH AZOTOWANYCH JARZENIOWO

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań laboratoryjnych i technologicznych na stali 38HMJ azotowanej jarzeniowo poddanej modyfikacji laserowej. Do modyfikacji warstwy wierzchniej gładzi cylindrów wykorzystano mikroobróbkę laserową mającą na celu poprawę jej makro- i mikrogeometrii (mikrodrażenie zasobników olejowych w górnej strefie tulei laserem Nd: YAG ze specjalnym systemem ogniskowania). Badaniom porównawczym poddana została topografia powierzchni ukształtowana na drodze tradycyjnej obróbki mechanicznej oraz zmodyfikowanej w wyniku mikroobróbki laserowej. Badania wstępne zmodyfikowanych gładzi tulei cylindrowych obejmowały: dobór najlepszych parametrów mikroobróbki laserowej, badania topografii powierzchni, badania struktury, twardości oraz składu chemicznego w mikroobszarach.

Słowa kluczowe: tuleja cylindrowa, topografia powierzchni, mikroobróbka laserowa, zasobniki olejowe

1. Wprowadzenie

Z punktu widzenia funkcjonowania i trwałości silników gładzi (warstwa powierzchniowa) cylindrów monobloków oraz tulei cylindrowych jest najistotniejszą strefą i dlatego poświęca się jej najwięcej uwagi [2 –8, 9-12, 14, 15].

Stan powierzchni gładzi cylindrowej ma bardzo istotny wpływ na straty tarcia silnika, a więc zarówno na jego osiągi jak i na zużycie paliwa, tj. pośrednio również na emisję składników

toksycznych emitowanych w spalinach. Około 50 % strat tarcia w silniku spalinowym pochodzi od tarcia w układzie tłokowo-cylindrowym, z czego około 70÷80% są to straty tarcia pierścieni o gładź cylindrów. Istotę współpracy skojarzenia tłok – pierścienie – tuleja cylindrowa (T-P-C) podejmuje wielu autorów prac w kraju i na świecie [2-8, 12, 15].

Aby znacząco ograniczyć procesy zużycia gładzi tulei cylindrowych doskonalili się ich konstrukcję, stosuje się nowe materiały, wprowadza się nowoczesne metody obróbki mechanicznej, a także stosuje się systemy warstw wierzchnich nowej generacji [1,3-5,7,15].

Typowa obróbka mechaniczna cylindrów polega na wytaczaniu (lub wytaczaniu i szlifowaniu) oraz dwustopniowym honowaniu; wstępnym oraz wykańczającym lub powszechnie stosowanym systemie trzystopniowym (honowanie wstępne i wykańczające oraz następujące po nich honowanie metodą Plateau– inaczej zwane gładkościowym). Dzięki temu uzyskuje się charakterystyczną topografię powierzchni tworzącą siatkę wzajemnie przecinających się mikrorys stanowiących zasobniki dla filmu olejowego rozdzielającego elementy skojarzenia tłok – pierścien – tuleja cylindrowa (T-P-C) silnika spalinowego.

Prawidłowo ukonstytuowana topografia warstwy powierzchniowej gładzi cylindrów współpracującej z pierścieniami tłokowymi i tłokami powinna posiadać zupełnie inną makro- i mikrogeometrię niż uzyskiwana w tradycyjnie stosowanej technologii. Zamiast charakterystycznej siatki rys wytworzonych na drodze kilkuetapowego honowania mechanicznego, topografia powierzchni powinna posiadać charakterystyczne mikrozasobniki olejowe o kształcie wklęsłych czasz. Pozwoli to na wytworzenie charakterystycznych mikrokomór ciśnieniowych (zasobników olejowych), zdolnych do gromadzenia mikrofilmów olejowych skutecznie rozdzielających pierścien tłokowy i tłok od tulei cylindrowej. Zmniejszy to zdecydowanie opory tarcia elementów tego skojarzenia tribologicznego (T-P-C), jak również zużycie warstw powierzchniowych. Ze względu na korzystne istnienie filmu olejowego, zaletą tego układu będzie również znacznie podwyższona odporność na zacieranie elementów zespołu T-P-C, zwłaszcza w górnej strefie gładzi cylindra, w której występują najgorsze warunki pracy (m.in. smarowanie graniczne, a nawet brak smarowania, wysoka temperatura i ciśnienie, oddziaływanie gazów spalinowych).

Innowacyjnym pomysłem jest zastosowanie do kształtowania topografii powierzchni nowoczesnej i precyzyjnie sterowanej mikroobróbki laserowej (mikrodrażenie, mikroobróbka ubytkowa) głównie do warstwy powierzchniowej cylindrów monobloków i tulei cylindrowych. Jest to jednak proces czasochłonny i stosunkowo kosztowy, gdyż wymaga nowoczesnego oprzyrządowania (laser, odpowiednia optyka, precyzyjne sterowanie) [9, 13]. W nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych stosowanych w skali laboratoryjnej, a także przemysłowej stosuje się już zaawansowane technologie laserowe, w tym mikroobróbkę laserową (mikrodrażenie, oczyszczanie i rozwijanie powierzchni). Nowa metoda charakteryzuje się kombinacją honowania i techniki laserowej. Ta końcowa obróbka składa się z trzech operacji: konwencjonalnego honowania wstępnego, obróbki laserowej i honowania wykańczającego. Przy honowaniu wstępnym uzyskuje się formę w skali makro i bazę obróbkową dla obróbki laserowej otworu. Bazę obróbkową określamy w zależności od żądanej obróbki laserowej. Na powierzchni gładzi cylindrowej uzyskanej na drodze honowania wykańczającego z „plateau”, wykonuje się zogniskowaną wiązką promienia laserowego systemy zagłębień (mikrootworki nazywane również mikrokomorami ciśnieniowymi lub zasobnikami olejowymi), tworzące układy linii przecinających się pod odpowiednim kątem (analogia do honowania standardowego 30°–60°). Taką obróbkę wykonuje się przeważnie w odniesieniu jedynie do pewnych stref gładzi cylindra, tj. współpracującej z górnym pierścieniem uszczelniającym lub najczęściej ze strefą współpracy segmentów pierścienia uszczelniających i zgarniających w ich górnym martwym położeniu (GMP). Po naniesieniu systemu mikrokomór ciśnieniowych przy użyciu lasera, warstwa powierzchniowa (gładź) cylindra podlega honowaniu (superfinish) bardzo drobnoziarnistymi ośłkami w celu usunięcia wszelkich szczytów nierówności spowodowanych obróbką laserową [5,7,8].

2. Cel badań

Celem badań jest opracowanie systemów areologicznych*, tj. współpracujących warstw wierzchnich i powłok, w których:

- a) materiałem podłoża (elementy zespołu T-P-C) jest m.in. stal konstrukcyjna do azotowania (np. 38HMJ) stosowana w produkcji tulei cylindrowych;
- b) układ warstw wierzchnich i powłok (tzw. „systemy areologiczne”) będą tworzyły:
 - warstwy wierzchnie przeciwzużyciowe o dużym przewodnictwie cieplnym, twardości i najkorzystniejszych właściwościach tribologicznych;
 - warstwy wierzchnie o odpowiedniej mikrogeometrii i wysokiej odporności na zmęczenie cieplne;
- c) ablacyjna mikroobróbka laserowa zostanie wykorzystana jako nowoczesna technologia inżynierii powierzchni do kształtowania specyficznej topografii powierzchni w górnej strefie tulei cylindrowej do wytworzenia tzw. mikrozasobników olejowych.

Pod pojęciem ablacyjnej mikroobróbki laserowej autor artykułu ma na myśli: mikrodrażenie, oczyszczanie oraz modyfikację laserową w lokalnych mikrostrefach z wykorzystaniem zjawiska ablacji laserowej (usuwania materiału).

Aby zrealizować postawiony cel zaplanowano:

- dobór najlepszych parametrów mikroobróbki laserowej na systemach warstw wierzchnich gładzi cylindrów wykonanych ze stali 38HMJ w stanie ulepszonym cieplnie, jak również po azotowaniu jarzeniowym;
- przeprowadzenie badań właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budowie tulei cylindrowej z wytworzonymi warstwami wierzchnimi przy wykorzystaniu mikroobróbki laserowej w celu określenia ich przydatności technologicznej;
- opracowanie podstaw technologii wykorzystania mikroobróbki laserowej w procesie modyfikacji warstwy wierzchniej tulei cylindrowych mających potencjalne szanse zastosowania w konstrukcji ekologicznych silników spalinowych nowej generacji.

W artykule autor przedstawił tylko wybiórczą część badań wstępnych dotyczących doboru parametrów mikroobróbki laserowej oraz efektów rozwijania topografii powierzchni stalowej tulei cylindrowej azotowanej laserowo.

3. Metodyka badań

W ramach badań wstępnych podjęto próbę kształtowania specyficznej topografii powierzchni tulei cylindrowej wykonanej ze stali 38HMJ do azotowania z wykorzystaniem ablacyjnej mikroobróbki laserowej. Modyfikacja ta polegała na wytworzeniu tzw. mikrozasobników olejowych w górnej strefie tulei, wcześniej poddanej azotowaniu jarzeniowemu. Do wytwarzania mikrozasobników olejowych zastosowano laser Nd: YAG ze specjalnym systemem ogniskowania.

Realizacja postawionego celu badawczego w pierwszym etapie obejmowała dobór rodzaju i parametrów technologicznych procesów wytwarzania warstw wierzchnich (azotowanie jarzeniowe, mikroobróbka laserowa) na modyfikowanej stali.

W pierwszym etapie pracy, badaniom porównawczym poddana została topografia powierzchni tulei cylindrowej ukształtowana na drodze tradycyjnej obróbki mechanicznej tj. szlifowania oraz dwuetapowego honowania mechanicznego.

W ramach badań podstawowych, stosując różną długość fali, różną gęstość mocy oraz różny czas trwania impulsu promieniowania emitowanego przez laser Nd:YAG, zostały dobrane najlepsze parametry mikroobróbki laserowej (mikrodrażenia).

W badaniach zaplanowano wytworzenie na próbkach różnych układów systemów mikrokieszeni (różne głębokości, rozmieszczenie i położenie kątowe) oraz stref po modyfikacji

laserowej, które wykorzystane zostaną w badaniach tribologicznych. Pozwoli to na wytypowanie najlepszych wariantów technologicznych mikroobróbki laserowej.

Badania porównawcze obejmowały: analizę topografii powierzchni ww. materiałów konstrukcyjnych przed i po modyfikacjach warstwy wierzchniej, analizę struktury, pomiary twardości, składu fazowego, składu chemicznego oraz stanu naprężeń własnych w mikroobszarach umocnionej warstwy wierzchniej.

Analizie poddana została również topografia powierzchni tulei cylindrowej, tj. kształt i układ mikrorys pohonowniczych kształtowanych tradycyjną technologią szlifowania i honowania oraz mikrozasobników olejowych lub stref rozwiniętych mikroobróbką laserową.

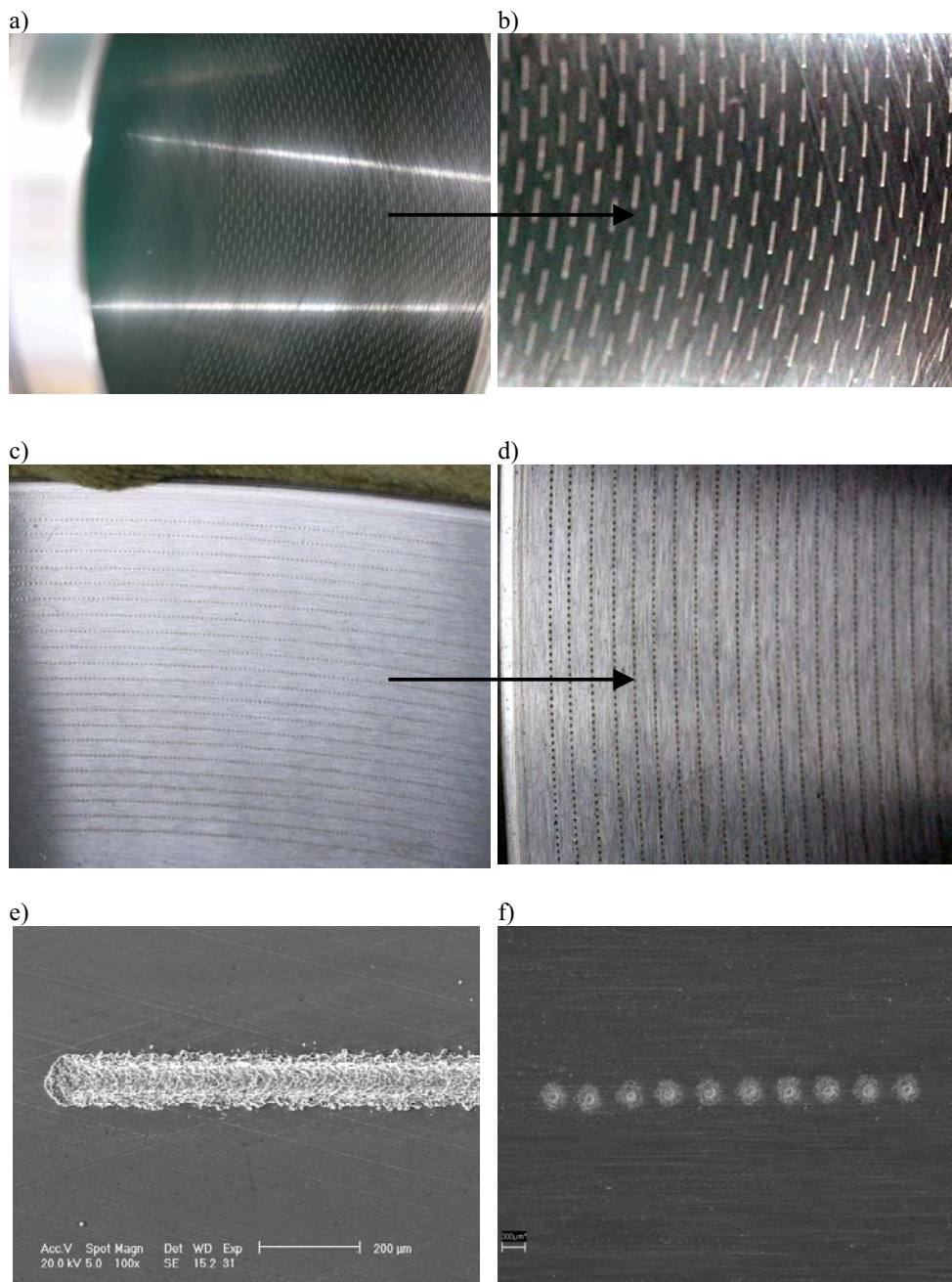
Analizę topografii powierzchni przeprowadzono przy użyciu profilografometrów oraz skaningowej mikroskopii elektronowej – SEM. Przeprowadzono również analizę składu chemicznego w mikroobszarach. W kolejnym etapie badań wstępnych zostanie przeprowadzona analiza mikrostruktury w zmodyfikowanej warstwie wierzchniej (mikroskopia optyczna, mikroskopia elektronowa skaningowa i transmisyjna), analiza zwilżalności na wytworzonych systemach areologicznych, badania twardości oraz stanu naprężeń własnych. Przeprowadzone zostaną również wielowariantowe badania tribologiczne. Eksperymenty te pozwolą na wytypowanie najlepszych wariantów technologicznych modyfikacji laserowej połączonej na badanym materiale - stali 38HMJ.

Warstwa wierzchnia zmodyfikowane m.in. poprzez mikroobróbkę laserową została wytworzona w firmie Gehring oraz laboratoriach Wojskowej Akademii Technicznej na nowoczesnej aparaturze badawczej i technologicznej (nowoczesne lasery Nd:YAG). Ta nowoczesna technologia laserowa ma na celu wytworzenie korzystnej mikrogeometrii (topografii powierzchni) gładzi tulei cylindrowej silnika spalinowego, uzyskanie specyficznego stanu materiału, wysokich właściwości mechanicznych i zmęczeniowych, dobrej odporności na zużycie przez tarcie oraz wysokiej odporności na szoki cieplne i erozję warstwy wierzchniej, ukonstytuowanej w badanej stali za pomocą mikroobróbki laserowej (mikrodrażenie modyfikacja laserowa) oraz obróbki mechanicznej (wieloetapowe honowanie). Analiza topografii powierzchni przeprowadzona została w WAT na profilografometrze PGM –1C oraz elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM).

4. Wyniki badań wstępnych

Badania wstępne przeprowadzono na próbkach oraz rzeczywistych tulejach cylindrowych wykonanych ze stali 38HMJ azotowanej jarzeniowo, a następnie szlifowanej. W pierwszym etapie badań próbki oraz tuleje wykonała firma Gehring, a w drugim etapie na specjalnie skonstruowanym stanowisku laboratoryjnym wykonano partie próbek oraz tulei cylindrowych w laboratoriach Wojskowej Akademii Technicznej.

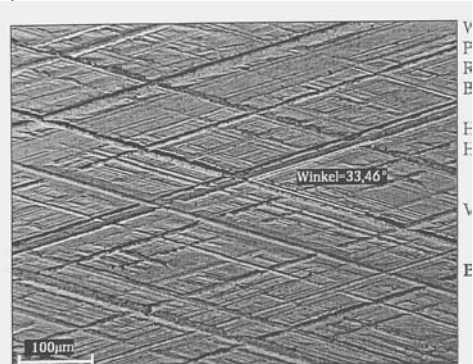
Dobór parametrów oraz technologiczne aspekty mikroobróbki laserowej ze względów komercyjnych zostały w artykule pominięte. W pierwszym wariancie mikroobróbki laserowej w górnej strefie tulei cylindrowej wykonano mikrozasobniki olejowe w układzie widocznym na rys. 1 a, b, e. Charakterystyczna topografia powierzchni gładzi cylindra wytworzona w drugim wariancie została przedstawiona na rys. 1 c, d, f. Różnią się one między sobą zasadniczo układem geometrycznym mikrozasobników olejowych. Charakterystyczną topografię powierzchni z jej profilogramami dla analizowanych wariantów obróbek przedstawiono na rys. 2. Widok charakterystycznej topografii powierzchni uzyskanej na drodze tradycyjnej obróbki mechanicznej wykańczającej (honowanie wstępne i gładkościowe) przedstawiono na rys. 2 a - d, a po modyfikacji laserowej, tj. mikrodrażeniu zasobników olejowych ale przed honowaniem gładkościowym plateau na rys. 2 e - h.



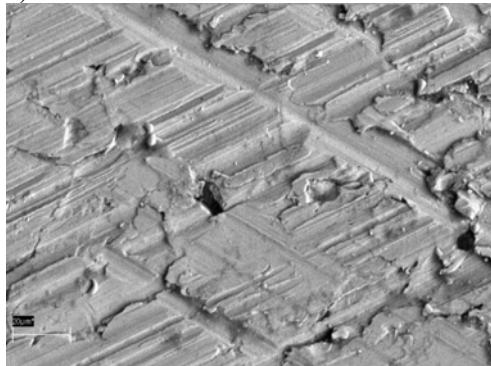
Rys.1. Charakterystyczna topografia powierzchni stalowej tulei cylindrowej azotowanej jarzeniowo po modyfikacji laserowej: a - d) charakterystyczny układ mikrozasobników olejowych, e, f) topografia powierzchni w strefie zasobnika olejowego; promieniowanie impulsowe lasera Nd: YAG 1064 nm , częstotliwość repetycji 50 Hz, mikrodrążenie realizowane na zautomatyzowanym stanowisku technologicznym

Fig.1. Characteristic topography of a surface of a glow nitrided cylinder sleeve after laser processing: a - d) characteristic set of oil microreservoirs, e - h) surface topography in the oil microreservoir zone Nd:YAG laser 1064 nm radiation, repetition frequency 50 Hz, microhollowing performed on automated workshop stand

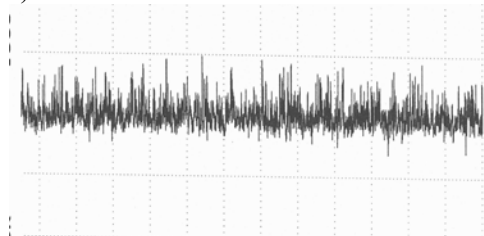
a)



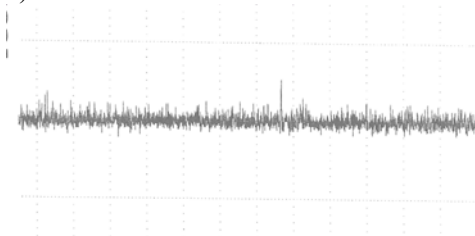
b)



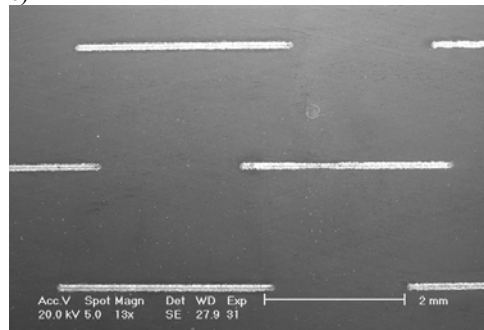
c)



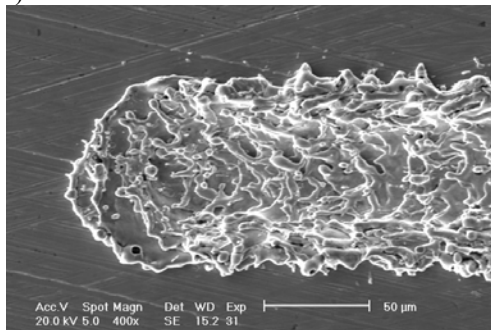
d)



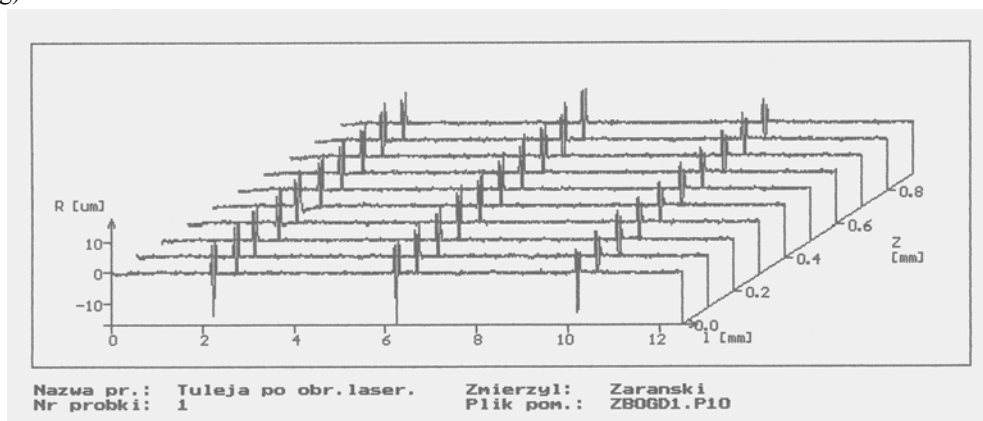
e)



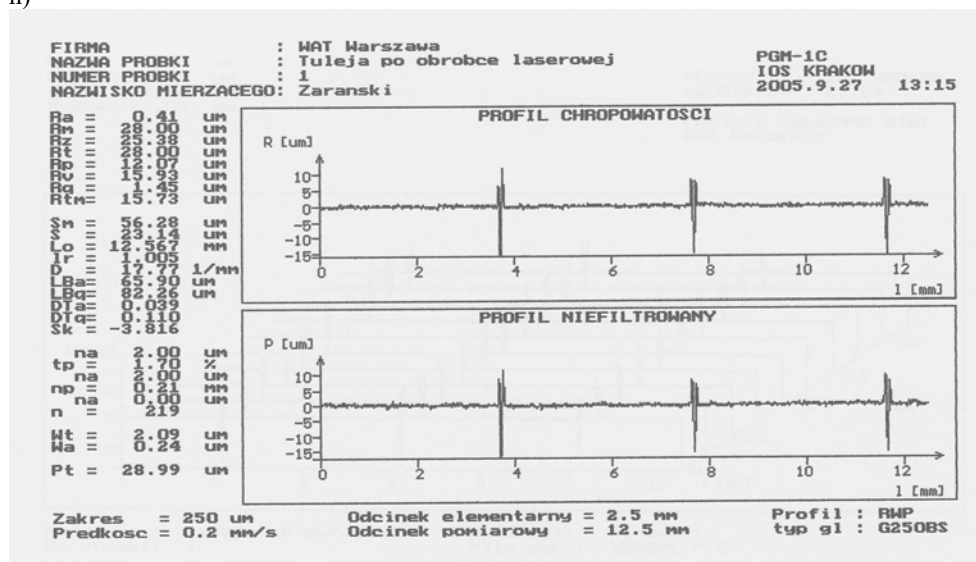
f)



g)



h)



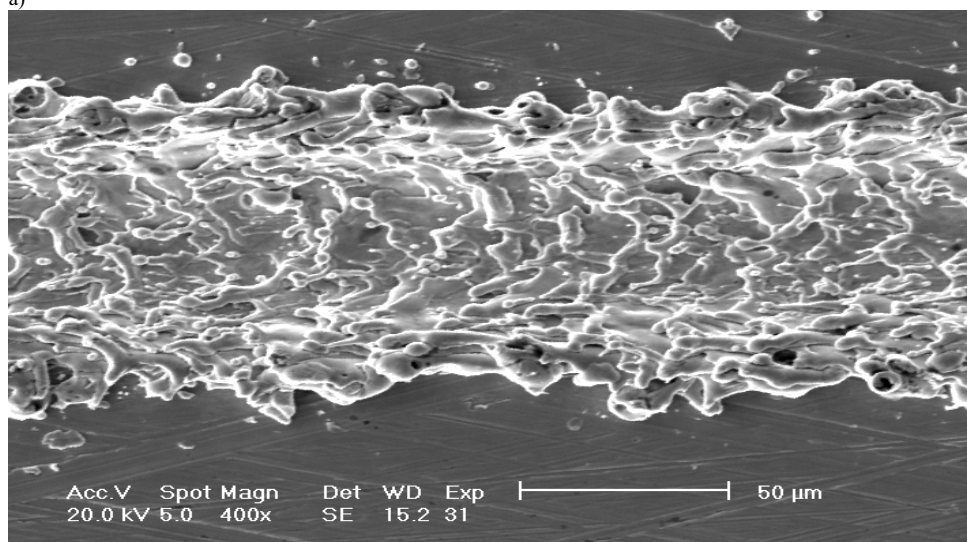
Rys. 2. Charakterystyczna zewnętrzna topografia z profilogramami i: a, b) po tradycyjnej obróbce mechanicznej wykańczającej (honowanie wstępne i gładkościowe), c, d) po modyfikacji laserowej i obróbce mechanicznej wykańczającej

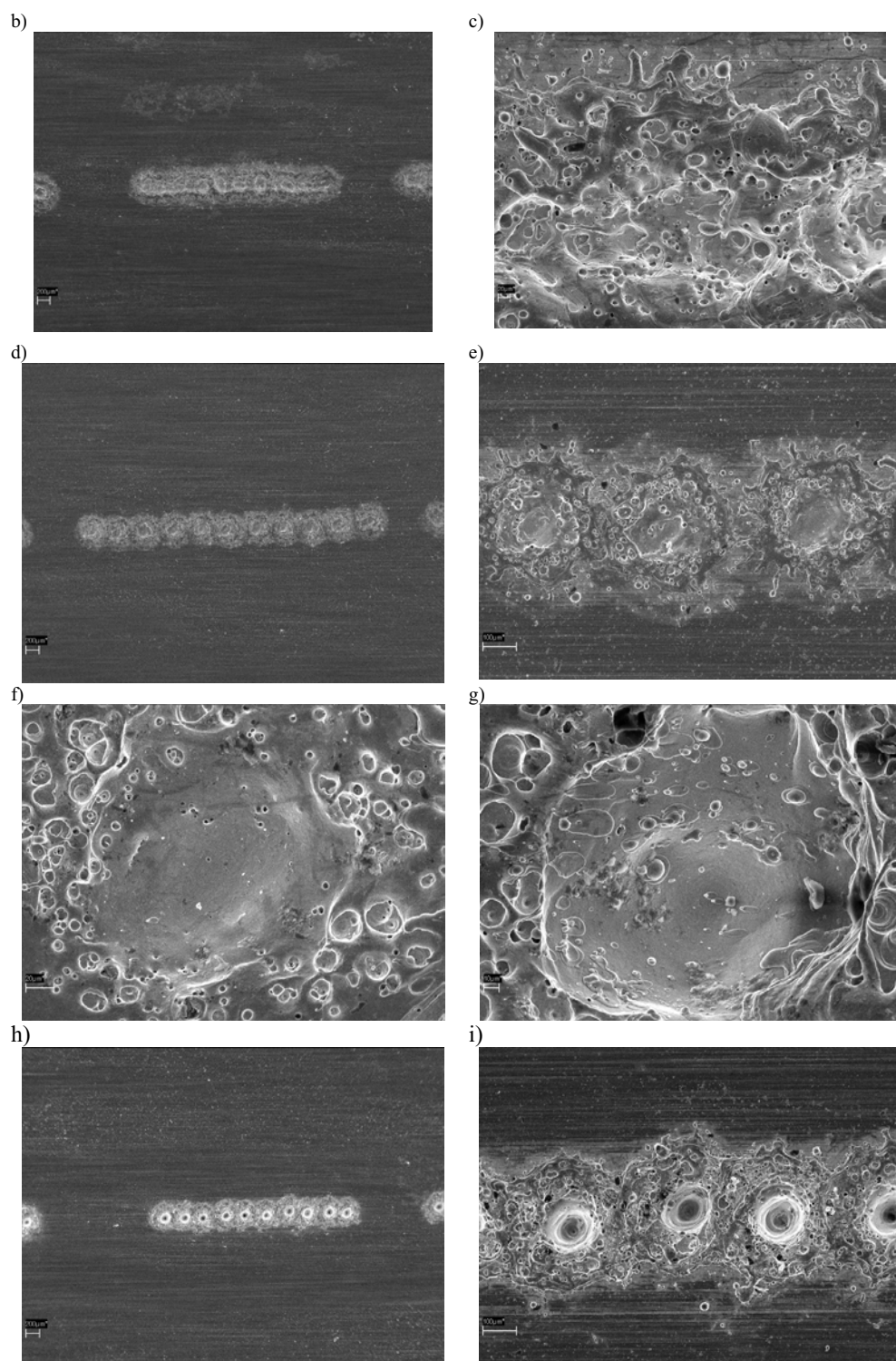
Fig.2 Characteristic surface topography with profilograms: a, b) after traditional finishing mechanical micromachining (preliminary and finishing honing), c, d) after laser modification and finishing honing

Widoczne wypływki technologiczne na zdjęciach (rys. 1e, 2f, 3a) oraz profilogramach (2g, h) w wyniku honowania wykańczającego jako obróbki ostatecznej zostaną usunięte.

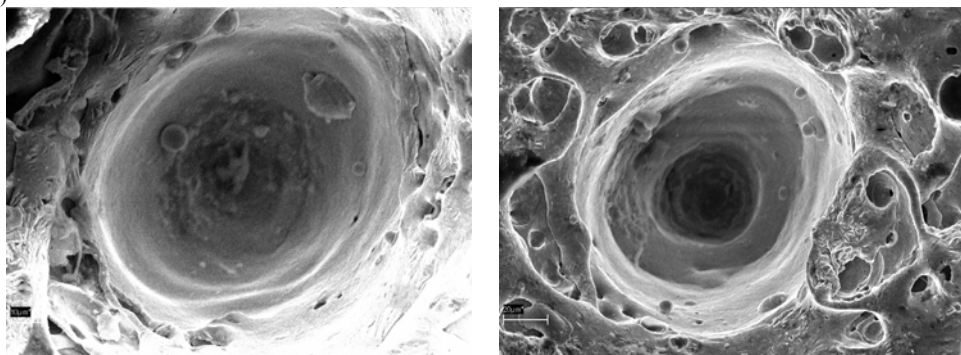
Stosując wariantowo różne parametry technologiczne wiązki laserowej oraz automatyki sterującej, uzyskano szereg wariantów mogących znaleźć zastosowanie technologiczne w rzeczywistym obiekcie – stalowej tulei cylindrowej azotowanej laserowo. Wybrane charakterystyczne efekty badań laboratoryjnych przedstawiono na rys. 3.

a)





j)



Rys. 3. Widok charakterystycznych mikrozasobników olejowych wytworzonych na drodze mikroobróbki laserowej dla różnych parametrów obróbki oraz przy różnych ich rozmieszczeniach

Fig. 3. A picture for characteristic laser made oil microresevoirs for various processing parameters and for various positioning

4. Podsumowanie

Ablacyjna mikroobróbka laserowa daje bardzo duże możliwości w zakresie wytworzenia w newralgicznej strefie (górną strefą tulei cylindrowej) zmodyfikowanych mikro- i nanostruktur w warstwie powierzchniowej, poprzez oddziaływania plazmy laserowej i wysokiego ciśnienia. Szybkozmiennne impulsy laserowe o częstotliwości repetycji ok. 5-20 Hz wymuszają proces ablacji laserowej, rozdrobnienie struktury oraz ultraszybkie przemiany fazowe nie osiągalne innymi technologiami. Wyniki badań wstępnych wskazują, że w warstwie wierzchniej mogą zostać wytworzone cienkie mikrowarstwy amorficzne (szkliste) – o bardzo wysokich walorach technologicznych, bardzo konkurencyjne 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.

Technologia ta może być stosowana jako ostateczna lub jako półwykańczająca np. przed honowaniem wykańczającym na plateau. Istotną zaletą tej nowatorskiej technologii jest bardzo mała strefa wpływu ciepła, co zapewne w minimalnym stopniu wpłynie na stan deformacji tulei, a zarazem na naprężenia własne. Z technologicznego punktu widzenia, równie istotny jest układ mikrozasobników olejowych wytworzonych na gładzi tulei cylindrowej, który wpływa decydująco na procesy tribologiczne.

Wyniki wstępnych eksperymentów laboratoryjnych zostaną praktycznie wykorzystane do ustalenia przydatności i opracowania podstaw nowoczesnej technologii mikroobróbki laserowej, mającej zastosowanie w wytwarzaniu nowej generacji systemów areologicznych* w górnej strefie warstwy powierzchniowej gładzi tulei cylindrowych.

Zastosowanie tej technologii, zwłaszcza w silnikach spalinowych mocno obciążonych cieplnie, pozwoli na zwiększenie ich trwałości i niezawodności, a także przyczyni się do zmniejszenia emisji toksycznych związków chemicznych do atmosfery. Może również nastąpić wzrost sprawności silnika spalinowego. Ma to szczególnie duże znaczenie technologiczne zwłaszcza w produkcji newralgicznych elementów silników trakcyjnych dużej mocy pracujących przy ich dużym wyciążeniu, w bardzo trudnych warunkach klimatycznych (np. stosowanych w silnikach spalinowych pojazdów samochodowych, pojazdów specjalnych oraz lotniczych silnikach tłokowych).

Literatura

- [1] Burakowski, T., Wierzchoń, T., *Inżynieria powierzchni metali*, WNT, Warszawa 1995.
- [2] Włodarski, J. K., *Tłokowe silniki spalinowe – procesy tribologiczne*, WKŁ, Warszawa 1982.
- [3] Fujimoto, H., Furuhashi, S., Goto, T., *Measurement of Cylinder Bore Deformation by means a Turning Piston with a Gap Sensor during Engine Operation*, ISME International Journal, Series II, Vol. 34, No.3, 1991.
- [4] Halsband, M., *Messung und Optimierung der Reibungsverluste der Kolbengruppe*, Teil 1 und 2. MTZ 1994, 55, 11, 56, MTZ 1995.
- [5] Klink, U., *Laserowe honowanie gładzi cylindrów*, Sympozjum Naukowo - Techniczne pt. „Technika laserowa w inżynierii powierzchni materiałów”, WAT, s. 55-59, Warszawa 1997.
- [6] Kozaczewski, W., *Konstrukcja złożów tłok- cylinder silników spalinowych*, WKiŁ, Warszawa 1987.
- [7] Kozaczewski, W., *Nowe metody obróbki gładzi cylindrów*, Mechanika z. 6-m/2004, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, KONMOT-AUTOPROGRES 2004, Silniki Spalinowe t.1., s. 383-394, Kraków 2004.
- [8] *MAHLE Recommendation for the Specification of Cast Iron Cylinder Bore Surface*, Informacja Techniczna MAHLE GmbH.
- [9] Marczak, J., *Analiza i usuwanie nawarstwień obcych z różnych materiałów metodą ablacji laserowej*, ISBN: 83-88442-945, Wydawnictwo BEL Studio Sp.z.oo, 2004.
- [10] Napadłek, W., Przetakiewicz, W., Bojar, Z., Raczkowski, D., Kalita, W., *Hartowanie laserowe wybranych części silnika wykonanych z żeliwa*, Przegląd Mechaniczny 7-8, s. 15-20, 1995.
- [11] Napadłek, W., Przetakiewicz, W., *Wpływ obróbki laserowej na właściwości wybranych elementów silnika spalinowego*, Inżynieria Materiałowa nr 5(130) s. 547 – 553, 2002.
- [12] Napadłek, W., Bogdanowicz, Z., Kowalczyk, S.: *Kształtowanie technologicznej warstwy wierzchniej tulei cylindrowych stosowanych w silnikach spalinowych*, Czasopismo Techniczne Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, z. 6-m/2004, KONMOT-AUTOPROGRES 2004, Silniki Spalinowe T.2, s. 582-592.
- [13] Napadłek, W., Marczak, Kubicki, Ostrowski, Szudrowicz, M., *Czyszczenie i umacnianie warstwy powierzchniowej materiałów konstrukcyjnych falą uderzeniową generowaną laserem impulsowym*, Materiały VII Międzynarodowego Sympozjum IPM pt.: „Doskonalenie konstrukcji oraz metod eksploatacji pojazdów mechanicznych”, Warszawa – Rynia, 11-13 grudzień, s. 194 – 203, 2002.
- [14] Niewczas, A., *Trwałość zespołu tłok – pierścienie tłokowe – cylinder silnika spalinowego*, WNT, Warszawa 1998.
- [15] Przetakiewicz, W., Napadłek, W., Bogdanowicz, Z., *Laserowe hartowanie tulei cylindrowych silnika spalinowego*, XX Jesienna Szkoła Tribologiczna pt. „Tribologia a inżynieria powierzchni”, Spała 12÷15 wrzesień, s. 9÷18, 1995.