

JÓŻEF GRUSZKA

Topografia powierzchni tulei cylindrowych kształtowanych techniką laserową

Artykuł zawiera opis metod obróbki powierzchni cylindrów i tulei cylindrowych silników spalinowych metodą tradycyjnego honowania oraz z wykorzystaniem lasera. Przedstawiono wyniki z badań i analiz struktur powierzchni gładzi cylindrów i tulei cylindrowych metodą profilometrii i mikroskopii w układzie 2D i 3D.

1. Wstęp

Tuleja cylindrowa jako element układu tłokowo-cylindrowego silnika spalinowego w swoich rozwiązaniach konstrukcyjno – materiałowych w ostatnim okresie czasu przechodzi bardzo intensywny rozwój. Rozwój głównie za sprawą powstających nowych konstrukcji silników spalinowych oraz prac związanych z zmniejszeniem zużycia oleju i emisją toksycznych składników w spalinach [1,3,14,20].

Wielkość zużycia oleju jest jednym z parametrów służącym do oceny stopnia nowoczesności konstrukcji silnika spalinowego. Parametr ten świadczy również o staranności z jaką wyprodukowany był silnik i jest wskaźnikiem jego prawidłowej pracy oraz prawidłowości i wielkości zużycia poszczególnych części. Ponadto małe zużycie oleju ma wpływ na ocenę silnika nie tylko pod względem ekonomicznym ze względu na wysokie ceny nowoczesnych syntetycznych olejów silnikowych, ale również na fakt wpływu zużycia oleju na ochronę środowiska. Wyniki przeprowadzonych badań w wielu ośrodkach (AVL,GM,FM,Ford,OBR SM BOSMAL) wykazały, że w najnowszych rozwiązaniach konstrukcyjnych silników spalinowych około 95% oleju zużytego w silniku ulega spaleni w cylindrze , co powoduje dodatkowy wzrost emisji cząstek stałych w spalinach rzędu 30 % [6,13,18,20,22].

Dlatego jednym z kierunków rozwoju i prac badawczych stała się struktura powierzchni gładzi tulei cylindrowej ,która wraz z pierścieniami tłokowymi i tłokiem tworzą bardzo złożony układ trybologiczny i jest jednocześnie źródłem zużycia oleju i emisji cząstek stałych.

Kierunki zmian w ukształtowaniu struktury powierzchni gładzi tulei cylindrowej są związane z procesem technologicznym kształtowania struktury warstwy wierzchniej i przejściem z honowania jedno, dwustopniowego na wielostopniowe z możliwością stosowania różnych narzędzi skrawających łącznie z możliwością wykorzystania lasera [8,11,12,19,22].

Wykorzystanie lasera ma na celu nacięcie na powierzchni gładzi cylindrowej dodatkowych kieszeni ,które stanowią zbiorniki oleju lub laser służą do oczyszczenia powierzchni gładzi po procesie honowania głównie pod kątem odsłonięcia wyjść grafitu ,które również stanowią źródło dodatkowych zasobników olejowych.

Użycie lasera powoduje powstanie nowego rodzaju struktur honowania i z tym związanych pomiarów i analiz głównie pod kątem możliwości praktycznego stosowania tego typu rozwiązań w bieżącej praktyce produkcyjnej .

2. Pojęcie topografii powierzchni gładzi tulei cylindrowej

Dotychczas pojęcie topografii było znane i stosowane w dziedzinie kartografii gdzie określa konfigurację powierzchni terenu uwzględniając jego kształt oraz obecność i wzajemne położenie punktów charakterystycznych.

Znajduje też coraz częściej zastosowanie w budowie maszyn głównie za sprawą wymagań jakie stawia się powierzchnią pod względem trybologicznym na przykład w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych tulei cylindrowych tłokowych silników spalinowych.

Ogólnie w budowie maszyn przyjmuje się, że zbiór wszystkich nierówności powierzchni rzeczywistej nazywany jest strukturą geometryczną powierzchni (SGP), składającą się z trzech składowych ;

- odchyłek kształtu,
- falistości
- chropowatości.

Pomiar i analiza struktury geometrycznej powierzchni jest najczęściej realizowany w przekrojach, czyli profilach powierzchni w układzie 2D, a faktycznie każda powierzchnia jest wytwarzana i pracuje w układzie 3D. Stąd też wzrastające zainteresowanie analizą trójwymiarową powierzchni a pomiary 3D określa się często pomiarami stereometrii lub topografii powierzchni [17]

Dla potrzeb niniejszej publikacji postanowiono połączyć pojęcia topografii i SGP celem objęcia nim następującego zakresu tematycznego powierzchni gładzi tulei cylindrowej:

- proces kształtowania struktury warstwy wierzchniej metodą honowania i z użyciem lasera
- obraz i ukształtowanie struktury warstwy wierzchniej przed i po użyciu lasera w układzie 2D i 3D
- dobór parametrów, pomiar i analiza parametrów struktury warstwy wierzchniej w układzie 2D

Tym samym pojęcie topografii powierzchni uwzględni nie tylko parametry chropowatości SGP ale również cechy charakterystyczne z ukształtowania powierzchni gładzi tulei cylindrowej, które są istotne z powodu funkcji trybologicznej jaką spełnia gładź cylindra w układzie tłokowo-cylindrowym silnika spalinowego w zakresie :

- okrągłości
- walcowości
- prostoliniowości
- obrazu ukształtowania rys honowniczych
- kąta honowania
- chropowatości powierzchni
- głębokości deformacji struktury warstwy wierzchniej [9,12].

3. Proces kształtowania struktury powierzchni warstwy wierzchniej gładzi cylindrowej i z tym związane parametry

3.1 Proces obróbki powierzchni gładzi tulei metodą honowania

Ukształtowanie topograficzne struktury warstwy wierzchniej powierzchni gładzi tulei cylindrowej następuje dwuetapowo w procesie jej wytwarzania w oparciu o wymagania konstrukcyjne zawarte w specyfikacji materiałowej - SMW (proces odlewania) i specyfikacji geometrycznej – (SGW) (proces obróbki mechanicznej) i jest ściśle związane z zastosowaną techniką wytwarzania [4,9].

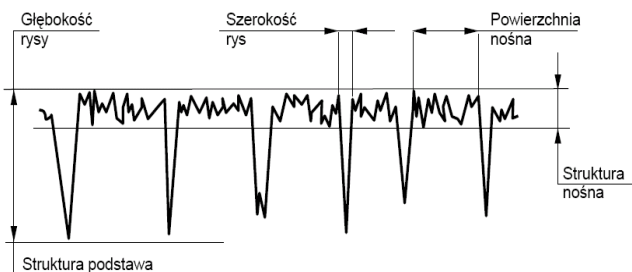
W pierwszym etapie w procesie odlewania odśrodkowego powstaje odlew tulei i następuje kształtowanie własności materiału w zakresie :

- składu chemicznego
- struktury
- twardości
- wytrzymałości.

W etapie drugim w procesie obróbki mechanicznej powstaje ostateczna postać geometryczna tulei (SGW). Topografia powierzchni gładzi jest kształtowana w operacji wytaczania i gładzenia (honowania) jedno lub wielozabiegowego w zależności od wymagań w zakresie :

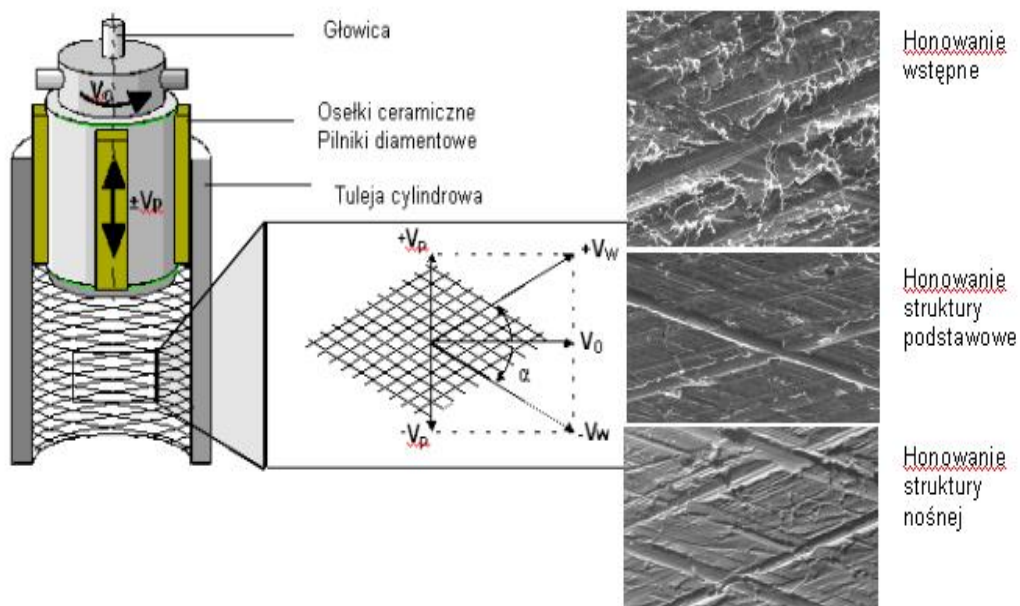
- Tolerancji geometrycznych kształtu otworu
 - okrągłości
 - prostoliniowości
 - walcowości
- Tolerancji parametrów powierzchni gładzi
 - chropowatości

W pierwszej fazie honowania wstępnej głowica honująca kształtuje formę otworu tulei opisaną tolerancją kształtu (prostoliniowości, okrągłości i walcowości). W drugiej fazie honowania powstaje struktura podstawowa z dużą ilością krzyżujących się rys pod kątem α , które tworzą strukturę wierzchołków i wgłębień. Z kolei w trzecim zabiegu kształtuje się powierzchnię nośną typu „plateau” (rys.1). W zależności od typu maszyn honujących i konstrukcji głowic honujących poszczególne fazy honowania mogą być łączone w jeden zabieg.



Rysunek 1. Schemat ukształtowania struktury warstwy wierzchniej w wyniku honowania
Scheme of surface layer configuration as a honing result

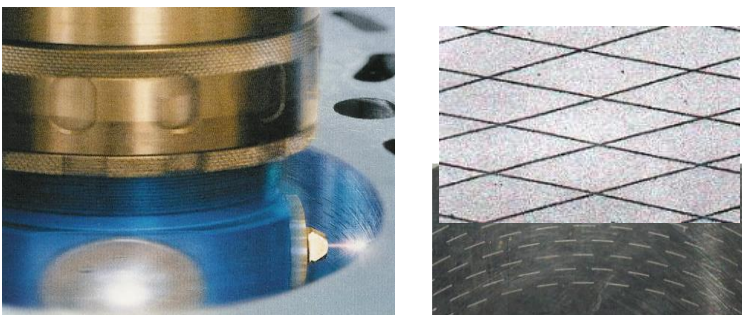
Wynikiem procesu honowania jest charakterystyczny obraz ukształtowania struktury powierzchni gładzi tulei cylindrowej ,który można opisać i analizować formie 2D i 3D (rys.1 i 2).



Rysunek 2. Schemat procesu honowania i z tym związany charakterystyczny obraz ukształtowania powierzchni gładzi tulei cylindrowej [4,22]
Honing process scheme and connected with it specific view of cylinder liner's running surface [4,22].

3.2. Proces obróbki powierzchni z wykorzystaniem lasera

Proces obróbki powierzchni gładzi tulei cylindrów z wykorzystaniem lasera jest połączeniem obróbki honowania z obróbką laserem. Wrzeciono z głowicą optyczną i laserową wykonuje ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny podobnie jak głowica honująca w zależności od kształtowanej promieniem lasera struktury (rys krzyżowych , poziomych lub otwartych wyjść grafitu) na powierzchni gładzi (rys.3,9)



Rysunek 3. Głowica laserowa w trakcie wykonywania zasobników oleju w górnej części powierzchni cylindra i z tym związane charakterystyczne obrazy ukształtowania nacięć [8,12].
Laser head during performing oil hoppers in upper part of cylinder surface and connected with that specific gash configuration images [8,12].

Głowica laserowa zostaje użyta z zasady po drugiej fazie honowania a trzecia faza honowania służy zdjęciu nadtopionych warstw materiału w miejscu oddziaływania promieni lasera [2,8,12]
Zarówno struktury krzyżowe jak i struktury poziomych nacięć laserowych stanowią w systemie uszczelnienia labiryntowego układu tłokowo-cylindrowego (TPC) system mikro komór (kieszenie olejowe), których głównym zadaniem jest dostarczenie w strefie GMP cylindra niezbędnej ilości oleju celem zapewnienia optymalnego filmu olejowego w tym newralgicznym punkcie (wysokie temperatury, maksymalne naciski-obciążenie) [8,12,21].

Inna forma ukształtowania struktury powierzchni gładzi tulei powstaje w procesie ablacji laserowej, w wyniku którego zostają otwarte pasemka wyjść grafitowych (rys.9),które tworzą strukturę mikrozasobników dla oleju [2,15]

Niezależnie od struktury jaką kształtuje laser na powierzchni gładzi bezpośrednio nad powierzchnią gładzi powstaje plazma oparów metalicznych, która oddziałuje na roztopioną powierzchnię warstwy wierzchniej wysokim ciśnieniem. W wyniku nagłego zastygnięcia tej warstwy powstaje nano- krystaliczna struktura utwardzonych warstw brzegowych ,która w stosunku do rdzenia materiału cylindra/tulei posiada wyższą twardość i tym samym zwiększa trwałość układu TPC [2,5,8,12,21].

3.2 Parametry i cechy struktury powierzchni warstwy wierzchniej gładzi tulei cylindrowej po procesie obróbki laserem

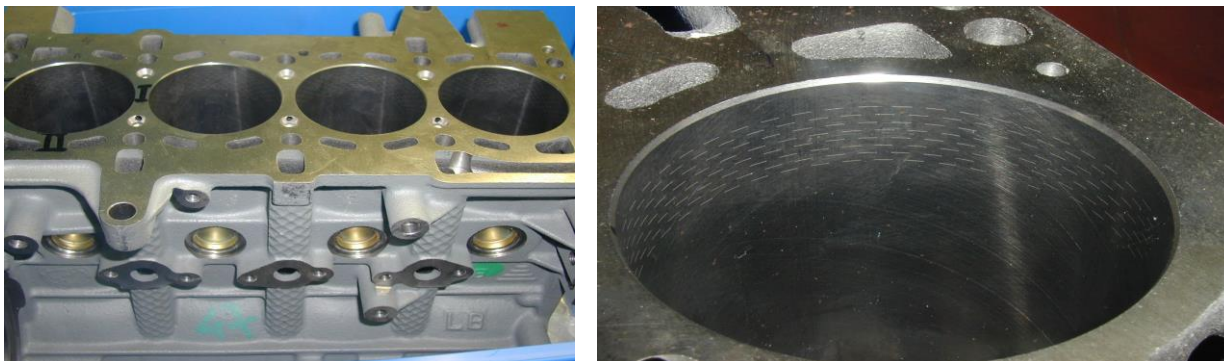
Dla scharakteryzowania topografii powierzchni gładzi cylindrów i tulei cylindrowych po procesie honowania z użyciem lasera przyjęto następujące parametry i cechy oraz z tym związane warunki pomiarów :

- parametry okrągłości
typ filtru Gauss, rodzaj filtru LSS, zakres filtru 1-50 upr, pomiar okrągłościomierzem Talyround 365,mięjsce pomiaru trzy poziomy GMP, pomiędzy GMP a DMP trzeci poziom DMP
- parametry prostoliniowości
typ filtru Gauss, rodzaj filtru LSS, zakres filtru 1-50 upr, pomiar okrągłościomierzem Talyround 365,mięjsce pomiaru wzdłuż tworzącej trzy pomiary co 120° w strefie GMP-DMP
- parametry walcowości
typ filtru Gauss,rodzaj filtru LSS, zakres filtru 1-50 upr, pomiar okrągłościomierzem Talyround 365,mięjsce pomiaru trzy płaszczyzny-GMP, pomiędzy GMP a DMP trzecia DMP
- parametry chropowatości 2D
parametry według wymagań normy ISO 13565-2 (Rk ,Rpk ,Rvk ,Mr1, Mr2), które opisują profil powierzchni na bazie krzywej udziału materiałowego tzw. krzywej Abbotta,pomiar profilometrem Taylor Hobson w strefie GMP oddziaływania promieni lasera i poza tą strefą, pomiar wzdłuż tworzącej co 120° ,długość odcinka pomiarowego 12,5 mm
- kąt przecięcia rys honowniczych
system wizyjny CCD
- obraz ukształtowania powierzchni gładzi a w szczególności geometria rozłożenie rys honowniczych i kieszeni olejowych naciętych laserem
system wizyjny CCD,mikroskop scanningowy

4. Pomiary i analiza powierzchni gładzi tulei cylindrowej kształtowanej laserem

4.1 Topografia powierzchni gładzi z strukturą kieszeni olejowych

Badania struktury powierzchni gładzi po procesie obróbki laserem według technologii f-my Gehring [8] przeprowadzono na bazie 4 cylindrowego żeliwnego bloku silnikowego o średnicy cylindra 70 mm, którego zdjęcie ilustruje rysunek 4.

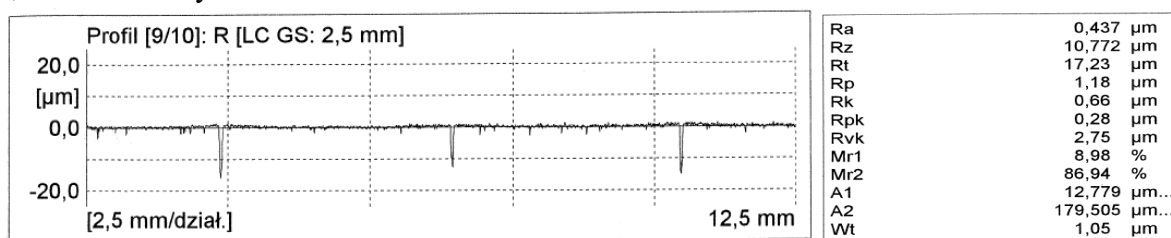


Rysunek 4. Zdjęcie 4 cylindrowego bloku silnikowego po obróbce laserem według technologii f-my Gehring [5,18]

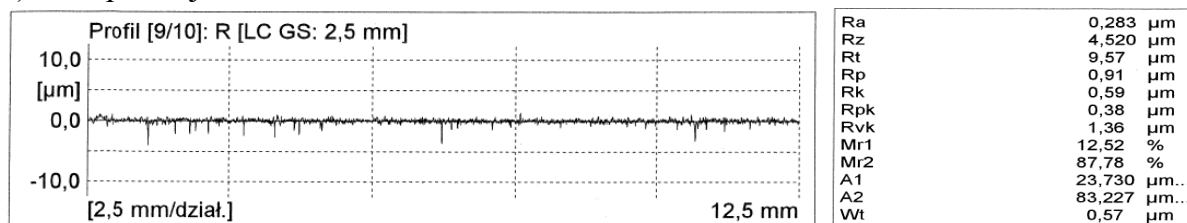
Picture of 4 cylinder engine block after laser machining according to technology of Gehring company [5,18]

Rysunek 5 przedstawia typowe przebiegi profilogramów struktury geometrycznej powierzchni wraz z parametrami chropowatości dla struktury kieszeni olejowych wykonanych laserem (rys.5a) oraz dla struktury honowania poza strefą obróbki laserem (rys.5b).

a)strefa oddziaływania lasera



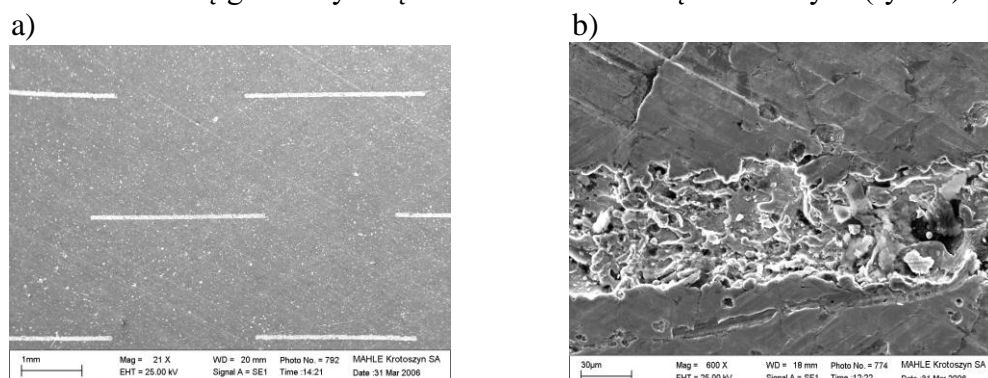
b)strefa poniżej działania lasera



Rysunek 5. Typowe przebiegi profilogramów struktury geometrycznej powierzchni w strefie oddziaływania lasera (a) i poniżej tej strefy (b)

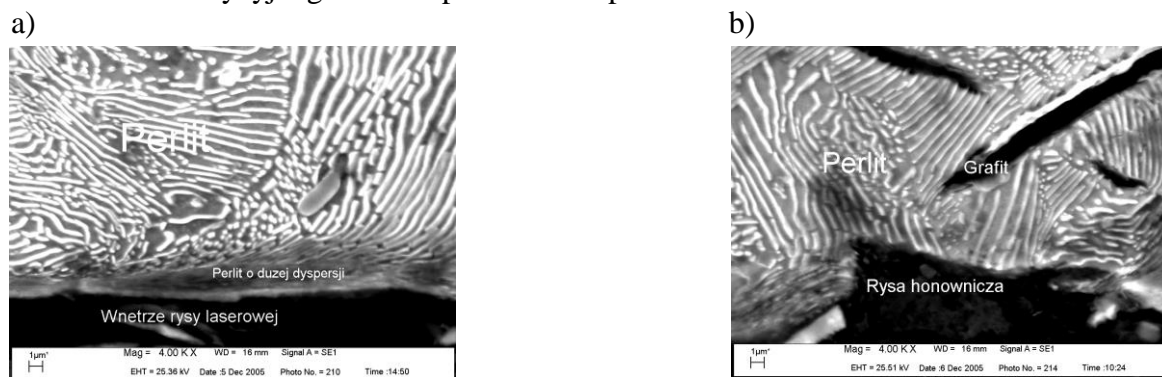
Typical profilogram flows of surface geometric structure in laser impact zone (a) and below of this zone (b).

Metodą mikroskopii elektronowej z zastosowaniem mikroskopu skaningowego wykonano analizy obrazu powierzchni cylindra w strefie oddziaływania lasera i poza tym obszarem. Pomiarom poddano strukturę geometryczną rozmieszczenia nacięć laserowych (rys.6a).



Rysunek 6. Obraz struktury powierzchni cylindrów w strefie oddziaływania lasera
 a) rozmieszczenie rys , b)wnętrze pojedynczej rysy
Image of cylinder surface structure in laser impact zone a) scratch distribution, b) single scratch interior

Rysunek 7 ilustruje typowe obrazy mikrostruktury w miejscu oddziaływania lasera na powierzchnię w stosunku do tradycyjnego obrazu powierzchni po honowaniu



Rysunek 7. Obraz mikrostruktury, a) w strefie oddziaływania lasera, b) poza strefa działania lasera
Microstructure image, a) in laser impact zone, b) beyond laser impact zone

W wyniku przeprowadzonych pomiarów i analiz mikroskopowych można scharakteryzować, strukturę geometryczną powierzchni wykonanej laserem następującymi cechami:

- występuje w górnej strefie cylindra na długości 12,2.mm co odpowiada polu współpracy pakietu pierścieni tłokowych z gładzią cylindra w strefie GMP,
- pojedyncze poziome rysy nacięte laserem posiadają następujące parametry:
 - długość 3 mm,
 - szerokość 80 μm
 - głębokość 15-20 μm
- odstęp pomiędzy rysami zarówno po obwodzie jak i na poszczególnych poziomach jest taki sam i wynosi 2 mm,
- parametry chropowatości powierzchni w strefie oddziaływania laserem i strefie konwencjonalnego honowania są porównywalne w zakresie parametru R_{pk} , R_k i Mr_2 różnice występują w parametrach R_k , Mr_1 i A_2 co jest wynikiem geometrii rys naciętych laserem.

Analiza obrazu mikrostruktury otoczna rysy naciętej laserem charakteryzuje się zmienioną strukturą w stosunku do mikrostruktury poza strefą działania lasera. Zmianie uległa dyspersja perlitu, zaobserwowano wzrost mikrotwardości [5,20].

4.2 Topografia powierzchni gładzi z strukturą otwartych wyjść grafitu

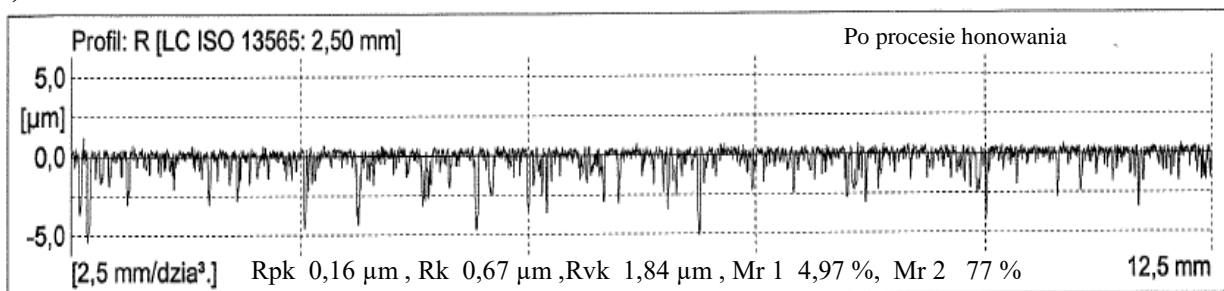
Badania struktury powierzchni gładzi po procesie ablacji laserowej w WAT przeprowadzono na bazie tulei cylindrowych o średnicy 130 mm, które wcześniej poddano operacji honowania trzystopniowego łącznie z operacją ukształtowania struktury nośnej typu „plateau”.

Pomiary geometrii kształtu otworu tulei przed i po procesie ablacji laserowej wykazały w zakresie parametrów :

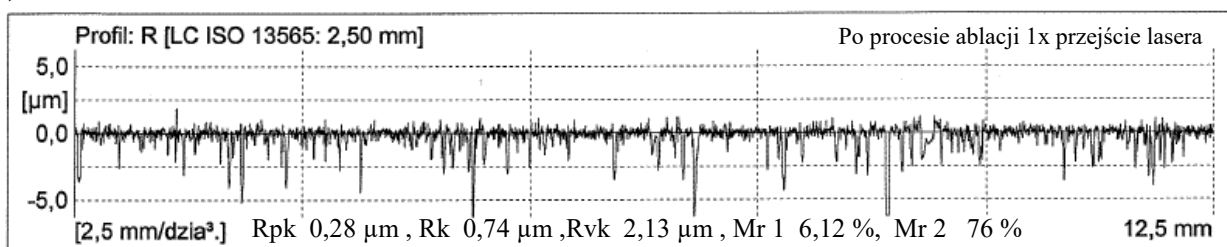
- kołowości – wartości na poziomie 0,72 – 5,47 μm po procesie honowania a po procesie ablacji na poziomie 0,75 – 6,63 μm
- prostoliniowości – wartości od 2,1 do 9,29 μm po procesie honowania i po ablacji laserowej 2,23 - 10,34 μm
- walcowości – wartości 5,9 – 9,95 μm po honowaniu i po ablacji w zakresie 6,35–13,86 μm

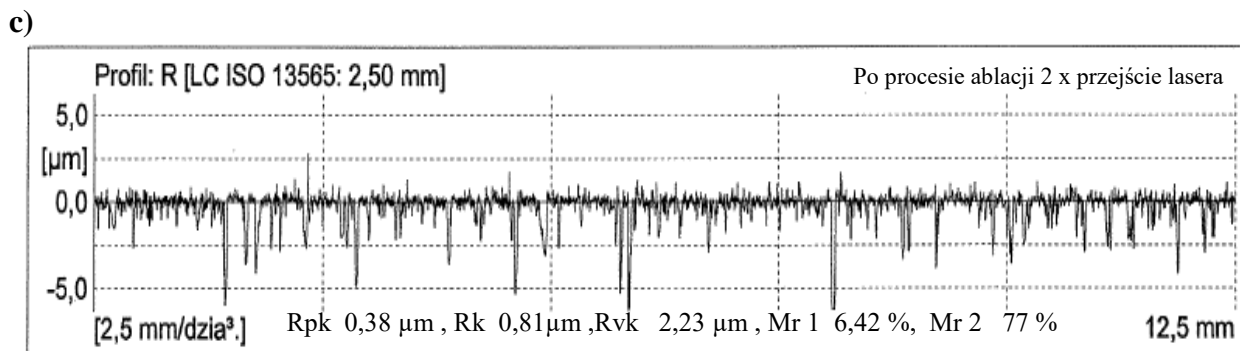
Rysunek 8 przedstawia typowe przebiegi profilogramów struktury geometrycznej powierzchni wraz z parametrami chropowatości dla struktury po procesie honowania wielostopniowego typu „plateau” (rys.8a) oraz po przejściu lasera (rys.8b,c)

a)



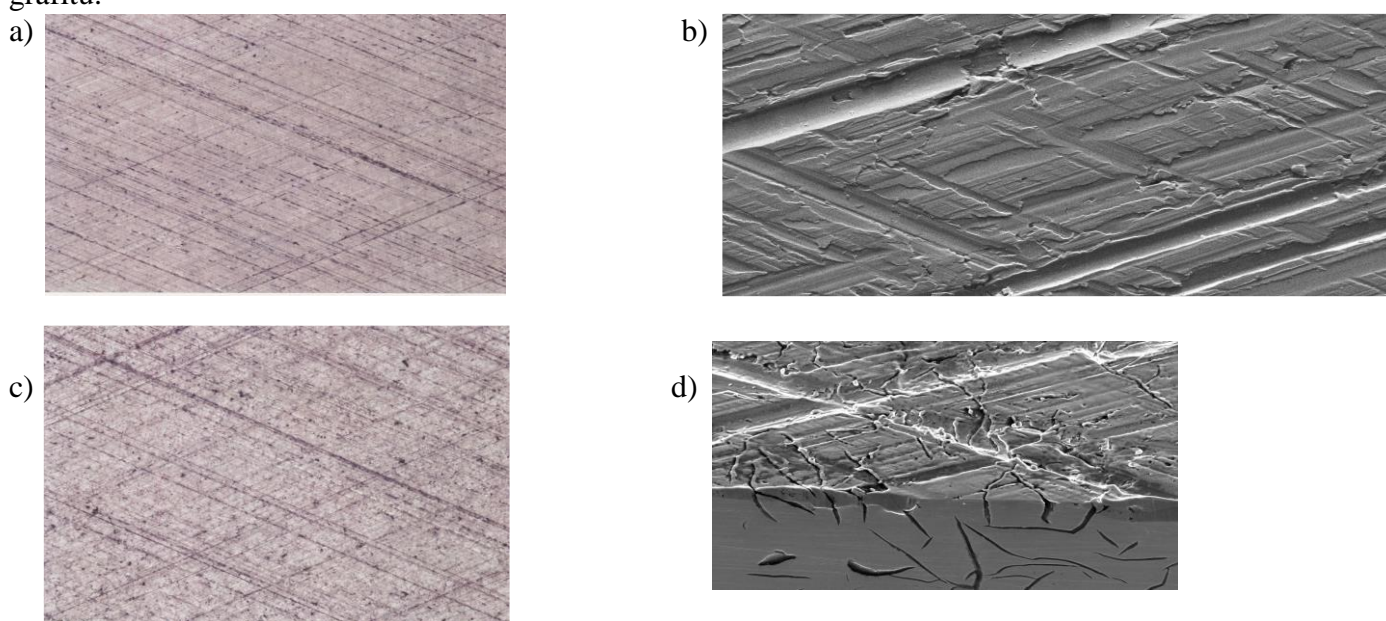
b)





Rysunek 8. Typowe przebiegi profilogramów struktury geometrycznej powierzchni po procesie honowania typu „plateau”(a) i po procesie ablacji laserowej (b-1x przejście lasera,c-2x przejście lasera)
Typical profilograms flows of surface geometrical structure after “plateau” honing process (a) and after laser ablation process (b – 1x laser pass, c – 2x laser pass)

Analizy obrazu ukształtowania powierzchni gładzi tulei po procesie honowania i po procesie ablacji laserowej przeprowadzono przy pomocy systemu wizyjnego z zastosowaniem kamery CCD (badania nieniszczące) oraz mikroskopu skaningowego (badania niszczące). Uzyskane wyniki najlepiej ilustruje obraz skaningowy (rys.9 b,d),który pokazuje otwartą i czystą strukturę wyjść grafitu.



Rysunek 9. Obraz ukształtowania struktury powierzchni tulei cylindrowych po procesie honowania typu „plateau” a) 2D z kamery CCD pow.50x b) 3D z mikroskopu skaningowego pow.500x i po procesie ablacji laserowej c) 2D z kamery CCD pow. 50x oraz d) 3D z mikroskopu skaningowego pow.500x
Image of cylinder liner’s surface structure configuration after „plateau” honing process a) 2D from CCD camera 50x zoom, b) 3D from scanning microscope 500x zoom and after laser ablation process, c) 2D from CCD camera 50x zoom, d) 3D from scanning microscope 500x zoom

5. Podsumowanie

Przedstawione nowe kierunki kształtowania powierzchni gładzi cylindrów i tulei cylindrowych poprzez powiązanie konwencjonalnego honowania wielostopniowego z obróbką laserem są wynikiem prac badawczych konstruktorów silników, producentów tulei oraz producentów maszyn honujących (f-ma Gehring, Nagel) w kierunku spełnienia przez silniki nowych przepisów EURO w zakresie wymogów zużycia oleju i zawartości składników toksycznych w spalinach.

Przeprowadzone badania i pomiary topografii powierzchni cylindrów z dodatkową obróbką laserem potwierdza, że można w praktyce uzyskać struktury powierzchni z bardzo precyzyjnie ukształtowaną i powtarzalną strukturą dodatkowych kieszeni olejowych w formie tzw. mikrokomór olejowych w strefie GMP. Nacięcia laserowe które pozwalają nie tylko na dodatkowe ukształtowanie filmu olejowego ale również zmniejszają zużycie cylindra i pierścieni tłokowych czego potwierdzeniem są przeprowadzone próby silnikowe z kadłubami silników, które poddano pomiarom i analizie w zakresie topografii powierzchni gładzi [21].

Procesy obróbki powierzchni tulei cylindrowych po procesie honowania metodą ablacji laserowej dają również nowe możliwości rozwoju topografii powierzchni gładzi w układzie TPC silników spalinowych. Pomiary geometrii kształtu otworu tulei po procesie ablacji utrzymały się w wymaganej tolerancji (max 10 μm) dla parametru prostoliniowości, kołowości i częściowo w walcowości. W jednej z tulei nastąpiło przekroczenie tego parametru z początkowej wartości 9,29 μm na 13,86 μm . Główny efektem tego procesu to struktura otwartych wyjść grafitu, które jest bardzo pożądane po procesie honowania (bez udziału lasera) w szczególności w współpracy z pierścieniami tłokowymi.

Ten typ ukształtowania struktury powierzchni gładzi wymaga kontynuowania dalszych prac badawczych nie tylko w zakresie doboru parametrów ablacji ale również prób silnikowych celem potwierdzenia skuteczności rozwiązania.

Niezależnie od typu kształtowanych struktur na powierzchni gładzi z użyciem lasera zawsze pozostanie pytanie na temat kosztów wdrożenia tego typu rozwiązań do bezpośredniej produkcji seryjnej bloków czy tulei cylindrowych

Skróty i oznaczenia

TPC - Układ tłok-pierścienie tłokowe –cylinder

2D - analiza w dwóch wymiarach (profil)

3D - analiza w trzech wymiarach (powierzchnia)

SGP – struktura geometryczna powierzchni

SMW – specyfikacja materiałowa wyrobu

SGW – specyfikacja geometryczna wyrobu

GMP – górny zwrotny punkt

DMP – dolny zwrotny punkt

WAT- Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

LITERATURA

- [1] Amending Directive 72/306/EEC *Proposal for a Regulation of European Parliament and of the council*. SEC(200) 1745.
- [2] Bergmann H.W., Brandenstein C., Lang A., Lindner H., Queitsch R., Stengel E., UV-Laserbelichtung von Grauguss Zylinderlaufbahnen von Verbrennungskraftmaschinen, VDI-Berichte nr1764,2003
- [3] Dyrektywa 2005/55/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 28.09.2005.
- [4] Gruszka J., Suchecki A.: Nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów silników spalinowych.. Silniki spalinowe nr 2-3/2007
- [5] Gruszka J.: Sprawozdanie wewnętrzne Mahle Polska Sp z o.o. Pomiar i analiza topograficzna powierzchni cylindrów po procesie obróbki laserem. Materiały wewnętrzne nie publikowane
- [6] Hill S.H., Cylinder Bore Finishes and Their Effect on Oil Consumption, Perfect Circle Div. of Dana Corp., 2001-01-33550
- [7] Informacja techniczna MAHLE GmbH 2000
- [8] Klink U., Laserhonen für Zylinderlaufbahnen, MTZ 58(1997)9
- [9] Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2004
- [10] ISO 13565-2 Struktura geometryczna powierzchni; metoda profilowa powierzchni o warstwowych właściwościach funkcjonalnych, PKN 1999.
- [11] Lenthal J.S., Cylinder Bore Surface Finish, its Evolution and Specification. The Tribology of Internal Combustion Engines, University of Birmingham, 1996.
- [12] Materiały firmy Gehring GmbH & Co. KG. Homepage: www.gehring.de.
- [13] Merksisz J.: *Zużycie oleju w szybkoobrotowych silnikach spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1994.
- [14] Merksisz J.: Uwarunkowania rozwoju przemysłu silnikowego. Silniki Spalinowe nr 2/2007
- [15] Napadłek W.: Analiza możliwości wykorzystania mikroobróbki laserowej w procesie kształtowania topografii warstwy wierzchniej stalowych tulei cylindrowych azotowanych jarzeniowo. Czasopismo Techniczne Z.6-M/2006. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej
- [16] Napadłek W., Przytakiewicz W.: Wpływ obróbki laserowej na właściwości wybranych elementów silnika spalinowego. Inżynieria materiałowa Nr 5/2002
- [17] Pawlus P.: Topografia powierzchni pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej .Rzeszów 2005
- [18] Robota A, Zwein F.: *Einfluss der Zylinderlaufflächentopografie auf den Ölverbrauch und die Partikelemissionen eines DI-Dieselmotors*. MTZ 60 (1999) 4
- [19] Schmid J., Übersicht zu Honverfahren an GG-Zylinderlaufflächen, 2. NURTINGER HONSYMPOSIUM NAGEL, 2005
- [20] Suchecki A, Sordyl A, Bielaczyc P.: *Analysis of the oil consumption in the modern, EURO 4, direct-injection, turbocharger compression-ignition automobile engines*. PTNSS Kongres 2005, Paper P05-C030.
- [21] Suchecki A.: Wpływ obróbki powierzchni tulei cylindrowej na parametry eksploatacyjne i ekologiczne doładowanego silnika o zapłonie samoczynnym. Praca doktorska. Politechnika Poznańska .Poznań 2009
- [22] Weigmann U.P., Grundlagen des Honens und aktuelle Entwicklungen, 2. NURTINGER HONSYMPOSIUM NAGEL, 2005

Cylinder liner surface topography formed with laser technology

This article includes description of methods of combustion engines cylinders and cylinder liners machining by traditional honing method and with laser. Results from tests and structure analysis of cylinders and cylinder liners running surface with profile measurements and microscopy in 2D and 3D has been shown.