

Nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów silników spalinowych

Artykuł zawiera opis metod obróbki powierzchni cylindrów silników spalinowych, w tym opis obróbki metodą tradycyjną oraz opis nowych metod obróbki stosowanych aktualnie w przemyśle samochodowym. Szczególną uwagę poświęcono metodzie obróbki z użyciem lasera. Przedstawiono również wyniki badań struktury powierzchni cylindrów po obróbce laserem, metodą mikroskopii elektronowej z zastosowaniem mikroskopu skaningowego.

Słowa kluczowe: powierzchnia cylindrów, honowanie, obróbka konwencjonalna, obróbka laserem

New methods of internal combustion engine cylinder surface forming

This article comprises a description of methods of internal combustion engine cylinder machining including a description of traditional machining method and a description of some new machining methods – being in use in the motor industry. Special attention has been given to a laser beam treatment method. Results of cylinder surface structure examination after laser-beam treatment with an electron microscopy method and with the use of a scanning microscope have been always presented.

Key words: cylinder surface, honing, conventional working, laser working

1. Wstęp

Główne kierunki zmian w konstrukcji silników są wyznaczane w ostatnich latach przez wymagania przepisów prawnych dotyczących emisji toksycznych składników w spalinach, jak również emisji CO₂. W związku z tym producenci silników spalinowych, jak i dostawcy elementów silnikowych wprowadzają i doskonalą rozwiązania techniczne. Jednym z podstawowych obszarów, który podlega bardzo intensywnym pracom rozwojowym jest węzeł tłok–pierścienie tłokowe–cylinder (TPC), głównie w celu zmniejszenia zużycia oleju przez silnik i dalej z tym związanej emisji toksycznych składników.

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. Badania przeprowadzone w OBR SM BOSMAL wykazały, że w nowoczesnych silnikach samochodowych około 95% oleju zużytego w silniku ulega spaleni w cylindrze [14], co powoduje dodatkowy wzrost emisji cząstek stałych w spalinach rzędu 30% [10].

Norma Euro 4 dla samochodowych osobowych (PC) ograniczyła emisję cząstek stałych (PM) do poziomu 0,025 g/km [3]. Natomiast wymagania proponowane w normie Euro 5 (które będą wprowadzone prawdopodobnie w roku 2008), ograniczą jeszcze emisję PM do bardzo niskiego poziomu 0,005 g/km [1].

W celu spełnienia tych ostrych wymagań producenci silników spalinowych dążą do uzyskania zużycia oleju w

1. Introduction

Lately, main directions of changes in construction of engines have been determined by the requirements of the legal regulations relating emission of toxic components of exhaust gases and emission of CO₂ as well. In this connection the manufacturer of internal combustion engines, as well as the engine components suppliers implement and improve their technical designs. A piston–piston rings–cylinder joint (PPC) is one of the main area which is subject to very intensive development activities in order to reduce oil consumption by an engine and further connected with this an emission of toxic components.

The oil consumption value is one of the parameter used for evaluation of internal combustion engine design up-to-dateness factor. This parameter always evidences about an engine manufacturing accuracy and is an indicator of its proper work and correctness and consumption value for its particular parts. Additionally, low oil consumption has an influence over an engine appraisal, not only in economical aspect in respect to the high price of the new synthetic engine oils but for the fact of effect of oil consumption on the environment protection as well. The examinations carried out in OBR SM BOSMAL have proved that in the modern car engines about 95% of oil consumed by an engine is burnt inside a cylinder [14] which results in additional increase of solid particles emission in exhaust gases by 30% [10].

The Euro 4 standard for passenger cars (PC) has limited emission of particles of matter (PM) up to the level of 0.025 g/km [3]. On the other hand, requirements proposed in the Euro 5 standard (which will be implemented probably in 2008), will further limit the PM emission up to the very low level of 0.005 g/km [1].

In order to meet these rigorous requirements engine manufacturers seek to obtain an oil consumption in an engine

silnika na poziomie poniżej $0,07 \text{ dm}^3/1000 \text{ km}$ [11], lub jednostkowego zużycia oleju wynoszącym poniżej $0,4 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$ [14].

Producenci silników spalinowych prowadzą również ciągły nadzór w trakcie produkcji silnika w zakresie:

- prawidłowości wykonania części silnika zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną,
- wysokiej czystości montowanych części i całego procesu montażu silnika,
- prawidłowej selekcji części i ich odpowiedniego doboru podczas montażu silnika, w celu uzyskania prawidłowych luzów współpracujących części,
- odpowiedniej jakości uszczelnień, zaślepek, korków w celu prawidłowego i trwałego zabezpieczenia przed przedostawaniem się oleju na zewnątrz silnika.

Wycieki oleju na zewnątrz silnika spowodowane wadliwym uszczelnieniem są łatwe do wychwycenia i zdiagnozowania. W przypadku stosowania uszczelnień renomowanych firm wycieki oleju na zewnątrz silnika nie występują lub występują bardzo rzadko po dużych przebiegach.

Jednak nawet w bardzo dobrze skonstruowanym i wyprodukowanym silniku straty oleju są nieuniknione, jak również nieuniknione jest spalanie tego oleju w komorze silnika.

Z badań przeprowadzonych w OBR SM BOSMAL wynika, że węzeł TPC odpowiedzialny jest w największym stopniu za przedostawanie się oleju do komory spalania. W nowoczesnym silniku o zapłonie samoczynnym z turbodoładowaniem węzeł ten może być odpowiedzialny za straty oleju nawet w 97% [14]. Z tego względu przemysł motoryzacyjny stale udoskonala technologie obróbkowe oraz wprowadza nowe metody obróbki powierzchni cylindrów.

2. Opis metod obróbki powierzchni cylindrów

2.1. Proces obróbki powierzchni cylindrów metodą tradycyjną

Tradycyjna mechaniczna obróbka powierzchni cylindrów odbywa się w kilku operacjach: toczenia, wytaczania, gładzenia (honowania) i mycia. Operacje końcowe wytaczania, honowania i mycia są decydujące w jakości eksploatacyjnej powierzchni w układzie TPC.

Proces wytaczania otworu cylindrów odbywa się na precyzyjnych wytaczarkach pozwalających na uzyskanie właściwej tolerancji wymiaru średnicy wewnętrznej i tolerancji geometrycznych kształtu otworu cylindra z pozostawieniem naddatku technologicznego na proces honowania.

Proces honowania jest typową obróbką powierzchniową ścierną stosowaną do obróbki wykańczającej powierzchni cylindrów silników spalinowych. Proces ten polega na działaniu ściernym osełek ceramicznych lub diamentowych umieszczonych osiowo na obwodzie głowicy honującej co przedstawia schemat procesu zawarty na rys. 1.

Głowica honująca wykonuje ruch obrotowy z prędkością obrotową V_o i równocześnie ruch posuwisto-zwrotny z prędkością V_h a przedmiot blok cylindrowy-tuleja cylindrowa jest w spoczynku. Osełki ściernie w trakcie procesu obróbki są dociskane do powierzchni otworu cylindra nadając powierzchni charakterystyczny obraz i kierunkowość rys.

on the level of lower than $0.07 \text{ dm}^3/1000 \text{ km}$ [11], or unit oil consumption lower than $0.4 \text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$ [14].

The engine manufacturers also carry out continuous inspection in the course of the engine manufacturing within the range of:

- correctness of manufacturing of the engine parts in accordance with the constructional documentation,
- high cleanliness of the assembled parts and the entire engine assembly process,
- correct selection of parts and their proper choice during engine assembly in order to obtain correct clearances of the co-acting parts,
- appropriate quality of seals, plugs, stoppers in order to obtain proper and durable protection against oil leakage outside an engine.

The oil leakage outside an engine, caused by a defective seal is easy to find, repair and diagnosing. In case of use of seals from any renowned companies there are no oil leakage outside an engine or they occur very rarely after a long mileage.

However, even in an engine of a very good design and manufacturing some oil loss is inevitable and combustion of this oil in an engine chamber is inevitable as well.

The examinations carried out in OBR SM BOSMAL have revealed that the PPC joint is extremely responsible for oil penetration to a combustion chamber. In an up-to date diesel turbocharged engine this joint can be responsible for the oil loss even in the amount of 97% [14]. For this reason the motor industry permanently improves machining processes and implements new methods of the cylinder surface treatment.

2. Description of methods of cylinder treatment

2.1. Cylinder surface treatment process with traditional method

The traditional cylinder surface treatment is performed in a few operations: A turning, boring, smoothing (honing) and washing, however, final operations of boring, honing and washing are the vital ones for the quality of the operational surface in the PPC system.

The process of boring of the cylinder holes is performed with the fine borers enabling to obtain a proper inside diameter dimension tolerance and geometric tolerances of the cylinder hole profile with leaving a proper allowance for the honing process.

The honing process is a typical surfacing-abrasive treatment being in use for final surface treatment of the combustion engine cylinders. This process is based on the work of ceramic or diamond abrasive hone-stones, positioned axially on a honing head circumference what is shown in the process scheme – see Fig. 1.

The honing head makes rotary motion with the speed of V_o and simultaneously reciprocating motion with the speed of V_h and the work piece – cylinder block–cylinder liner is at rest. The hone stones are pressed against the cylinder hole surface and they give the surface a characteristic appearance and the scratch lay. The traces of the resultant motion V_c give

Ślady ruchu wypadkowego V_c tworzą na obrabianej powierzchni układ pętli śrubowych krzyżujących się wzajemnie. Rozwinięcie śladów obróbki na płaszczyźnie przedstawia układ prostych linii krzyżujących się pod kątem α , którego wielkość zależy od stosunku obu prędkości V_o/V_h .

Proces honowania jest wykonywany w kilku etapach w zależności od wymagań stawianych strukturze geometrycznej powierzchni cylindra:

- honowanie wstępne – w wyniku którego otrzymuje się właściwą formę otworu opisaną tolerancją kształtu (prostoliniowości, okrągłości i walcowości). Na tym etapie procesu honowania używa się oselek diamentowych o ziarnistości D 150–350 i spoiwie brązowym,
- honowanie bazowe – w wyniku którego otrzymuje się powierzchnię z dużą ilością głębokich rys. Do nacinania głębokich rys stosowane są oselki z węglika krzemu o ziarnistości 100–150, miękkim spoiwie i otwartej porowatej strukturze,
- honowanie końcowe – wykańczające typu płasko wierzchołkowego „plateau”. Ten etap honowania wymaga stosowania oselek ceramicznych drobnoziarnistych o ziarnistości 320–500 wyjątkowo nawet i 1000. Ta operacja honowania ma na celu ścięcie ostrych wierzchołków chropowatości z operacji honowania bazowego z jednoczesnym pozostawieniem wcześniej ukształtowanej bazy głębokich rys–dolin, które stanowią zasobniki dla oleju smarującego w trakcie współpracy z pierścieniami i tłokiem.

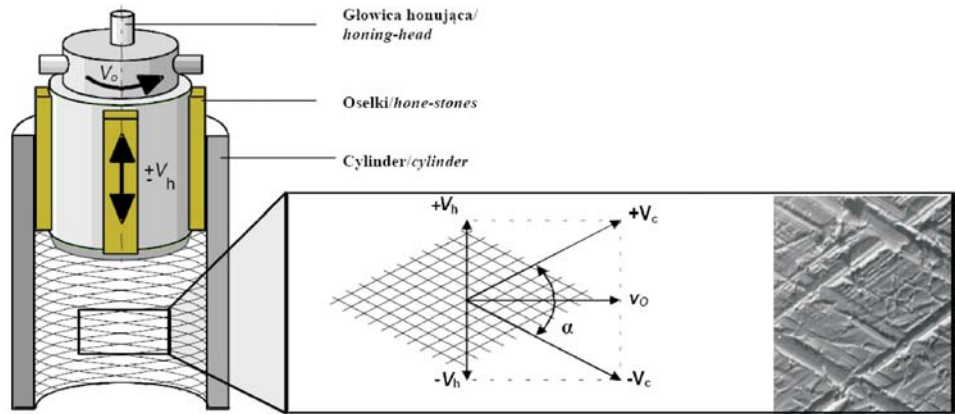
Dla scharakteryzowania obrazu struktury geometrycznej powierzchni cylindra po procesie honowania a w szczególności po honowaniu typu płasko wierzchołkowego „plateau” zarówno dla potrzeb produkcyjnych jak i również analiz i badań trybologicznych przyjmuje się następujące wymagania:

- parametry chropowatości,
- kąt przecięcia rys honowniczych,
- udział powierzchni nośnej,
- opis stanu powierzchni a w szczególności geometria rozłożenie rys honowniczych,
- odkształcenie plastyczne warstwy wierzchniej.

Wymagania te bardzo często są różnicowane zarówno co do samych wartości, przyjmowanych parametrów chropowatości jaki i również opisu struktury. Można przyjąć, że są indywidualnymi wymaganiami danego producenta silników spalinowych [8, 12].

2.2. Nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów

Nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów wynikają ze zmian w konstrukcjach silników, które wyzna-



Rys. 1. Schemat procesu honowania i z tym związany charakterystyczny obraz powierzchni cylindra [15]

Fig. 1. The honing process scheme and associated characteristic cylinder surface image [15]

on the processed surface a system of crossing spiral loops. Development of the processing traces on the plane shows a system of straight lines crossing at an angle of α which value depends on the ratio both of the speeds V_o/V_h .

The honing process is performed in a few stages, depending on the requirements for geometrical cylinder surface structure:

- a pre-honing – results in obtaining a proper form of a hole described with a profile tolerance (straightness, roundness, cylindricity). On this stage diamond hone-stones are in use,
- a basic honing – results in obtaining a surface with big amount of deep scratches. The silicon carbide or diamond hone-stones are in use for cutting these deep scratches,
- a final honing – finishing flat-top land „plateau”. This type of honing requires the use of ceramic fine-grained hone-stones. This honing operation purposes to cut the sharp roughness tops from the basic honing with simultaneous leaving the earlier formed basis of the deep scratches-valleys which create magazines of the lubricating oil in the course of co-acting with piston-rings and a piston.

The requirements as follows are taken in order to characterize the geometric structure image of the cylinder surface after honing process, especially after flat-top land „plateau” type honing for the production needs and for the analyses and tribology examinations and research as well:

- roughness parameters,
- an angle of intersection of honing scratches,
- a bearing surface fraction,
- a surface state description, especially honing scratches distribution geometry of the honing scratches,
- plastic strains of surface layer.

These requirements are very often differentiated for values themselves, taken roughness parameters and for the structure image description as well. It can be assumed that they set the individual requirements of the given combustion engine manufacturer [8, 12].

2.2. New methods of cylinder surface forming

The new methods of the cylinder surface forming result from changes in engine design which lay down main require-

czają głównie wymagania dotyczące zmniejszenia zużycia oleju oraz przepisów prawnych dotyczących zawartości toksycznych składników w spalinach jak i również emisji CO₂ [1, 14].

Aktualnie w procesach produkcyjnych obróbki powierzchni cylindrów dominuje kierunek procesu honowania konwencjonalnego wielostopniowego ze strukturą geometryczną powierzchni typu płasko wierzchołkowego „plateau”, zbliżonej swoim obrazem jak i parametrami chropowatości do powierzchni po okresie docierania silnika [4, 8].

Dla opisanie obrazu takiej struktury powierzchni cylindra przyjmuje się parametry chropowatości według wymagań normy ISO 13565-2 [7].

Są to parametry, które opisują profil powierzchni na bazie krzywej udziału materiałowego tzw. krzywej Abbotta (rys. 2):

- Rk [μm] – głębokość rdzenia chropowatości,
- Mr1 [%] – udział materiałowy w procentach, wyznaczony przez linię przecięcia oddzielającą wystające wzniesienia od profilu rdzenia chropowatości,
- Mr2 [%] – udział materiałowy w procentach, wyznaczony przez linię przecięcia oddzielającą głębokie wgłębienie od profilu rdzenia chropowatości,
- Rpk [μm] – średnia wysokość wzniesień wystających ponad profil rdzenia chropowatości,
- Rvk [μm] – średnia głębokość wgłębień wystających poniżej profilu rdzenia chropowatości.

Zmiana chropowatości w kierunku powierzchni gładziej w strukturze geometrycznej powierzchni cylindrów oznacza powierzchnie charakteryzujące się mniejszymi parametrami chropowatości zarówno w strefie „plateau”

(Rpk < 0,3 μm) jak i również w strefie struktury bazowej (Rk < 0,8 μm) i w strefie zasobników olejowych (Rvk < 1,5 μm) [4, 8, 12].

Przykładem takiej powierzchni są zawarte na rysunku 3 profilogramy powierzchni struktury geometrycznej po honowaniu płasko wierzchołkowego „plateau” typu gładkiego oraz typu tradycyjnego „plateau”. W obu tych typach powierzchni występują różnice zarówno w wartościach parametrów chropowatości jak również w ich udziale nośnym.

Również inne nowe metody obróbki powierzchni cylindrów oparte są na bazie honowania konwencjonalnego wielostopniowego ze strukturą geometryczną powierzchni typu płasko-wierzchołkowego „plateau”.

Są to procesy typu:

- honowania ślizgowo-spiralnego (ang. slide honing) polegający na zmianie kąta honowania $\alpha > 90^\circ$ (ok. 135°) [6, 11, 12],

ments concerning of:

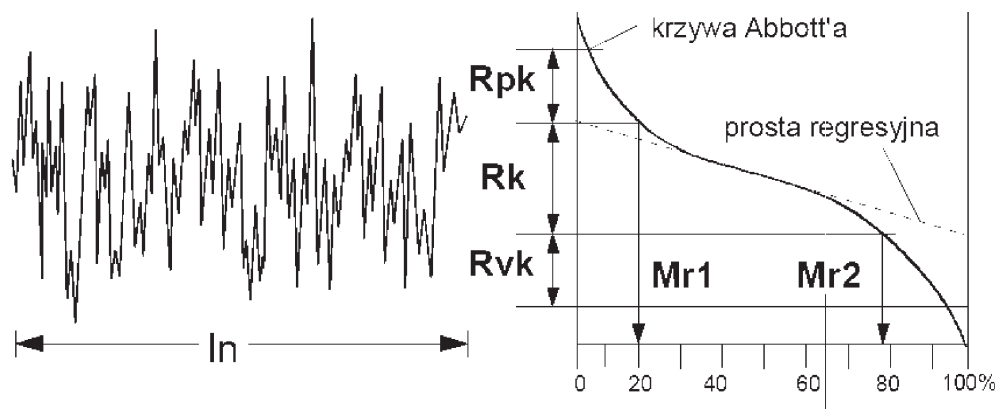
- an oil consumption decrease,
- legal regulations relating content of toxic components in exhaust gases and also CO₂ emission [1, 14].

Currently, a multistage conventional honing process with a geometrical surface structure of flat top-land „plateau” near with its image and roughness parameters to the surface after an engine running-in period are the dominating directions in manufacturing processes of the cylinder surface treatment [4, 8].

In order to describe the image of such a cylinder surface structure the roughness parameters in accordance with the ISO 13565-2 requirements are assumed [7].

These parameters describe the surface profile on the grounds of the material fraction curve, so called Abbott's curve (Fig. 2):

- Rk [μm] – a roughness core depth,
- Mr1 [%] – a percentage material fraction determined by the intersection line, separating the protruding hillocks from the roughness core profile,
- Mr2 [%] – a percentage material fraction determined by



Rys. 2. Parametry chropowatości Rpk, Rk, Rvk, Mr1, Mr2 według normy ISO 13565-2 oparte na wykorzystaniu krzywej udziału materiałowego Abbotta [7]

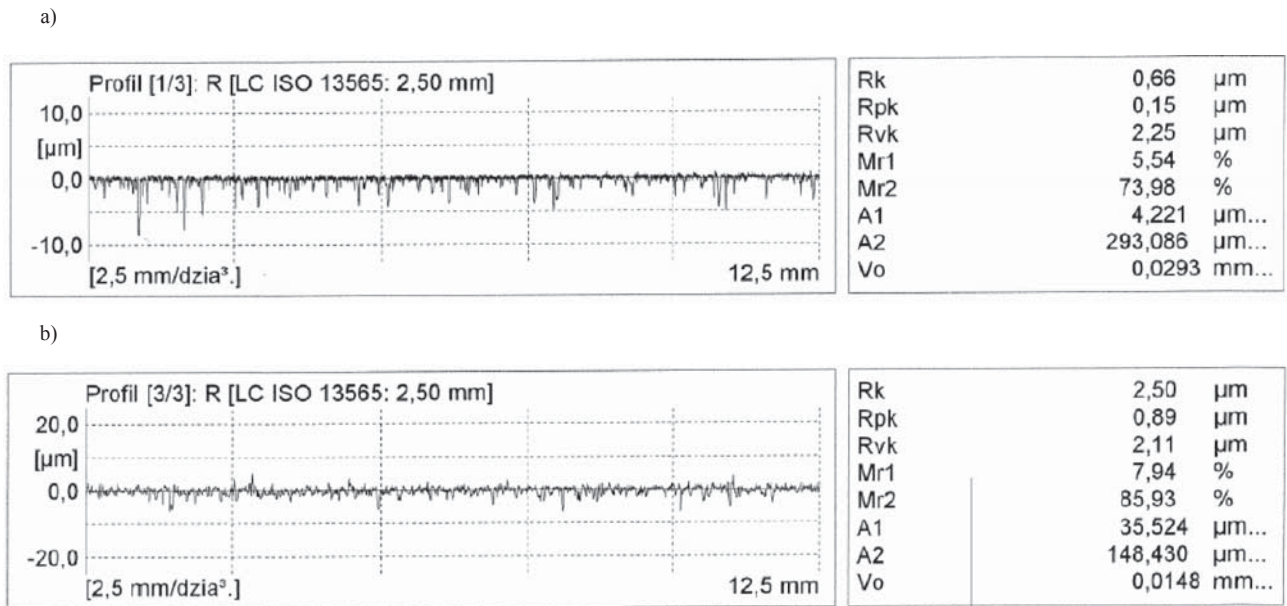
Fig. 2. The roughness parameters Rpk, Rk, Rvk, Mr1 and Mr2 according to the ISO 13565-2 standard based on the use of the Abbott's material fraction curve [7]

the intersection line, separating the deep cavities from the roughness core profile,

- Rpk [μm] – an average height of hillocks protruding above the roughness core profile,
- Rvk [μm] – an average depth of cavities protruding beneath the roughness core profile.

The change of the roughness profile in direction of smoother surfaces in the geometrical cylinder surface structure spells the surfaces bearing the stamp of smaller roughness parameters both in the „plateau” zone (Rpk < 0.3 μm) and in the basic structure zone as well (Rk < 0.8 μm) and in the zone of the oil magazines (Rvk < 1.5 μm) [4, 8, 12].

The profilograms of the geometric structure after flat top-land honing of smooth „plateau” type and of traditional type „plateau” honing from the Fig. 3 are the example of such a surface. The differences, both to the roughness parameter values and in their bearing surface as well exist for both the surface types.



Rys. 3. Przykłady profilogramów struktury geometrycznej powierzchni po honowaniu płasko-wierzchołkowym „plateau” a) typu gładkiego i b) typu tradycyjnego

Fig. 3. The examples of the profilograms of the geometrical surface structure after flat top-land „plateau” honing a) of smooth type and b) of traditional type

- honowania strumieniowego (ang. *fluid-jet honing*) polegające na zastosowaniu czwartego etapu honowania w postaci obróbki powierzchni cylindra cieczą wysokim ciśnieniem [6, 11, 12, 13],
- honowania laserowego zapewniające nacięcie głębokich rys lub wykonanie laserem kieszeni olejowych w formie systemu mikro-komór (pkt. 2.3, 3), względnie poddanie obróbce laserem powierzchni po procesie honowania metodą tzw. „abłacji” [2, 6, 12].

2.3. Metoda obróbki powierzchni cylindrów z wykorzystaniem lasera

Najnowsze technologie obróbki powierzchni cylindrowych firmy Gehring [9, 11, 12] są połączeniem obróbki konwencjonalnej honowania z obróbką laserem i obejmują następujące operacje:

- honowanie konwencjonalne-wstępne i bazowe według zasad opisanych w punkcie 2.1,
- obróbka laserowa polegająca na wypalaniu wąskich, głębokich rowków lub kieszeni w górnej części tulei cylindrowej (rys. 4, 5),
- honowanie końcowe-wykańczające mające na celu usunięcie nadtopionych warstw materiału (osadów i wypływek) powstałych w wyniku wypalania laserem rys/kieszeni olejowych oraz utworzenie płaskiej powierzchni typu „plateau”.

Zasada honowania laserowego jest taka sama jak w honowaniu konwencjonalnym. Wrzeczono z głowicą optyczną i laserową wykonuje w zależności od kształtu struktury (krzyżowa, kieszeni olejowych) ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny. Znaczącymi elementami głowicy laserowej (rys. 4) jest:

- źródło światła laserowego,
- system prowadzenia promienia,
- głowica optyczna.

Also other new methods of cylinder surface treatment are based on the multistage conventional honing with the geometrical surface structure of the flat top-land “plateau” type.

Types of these processes:

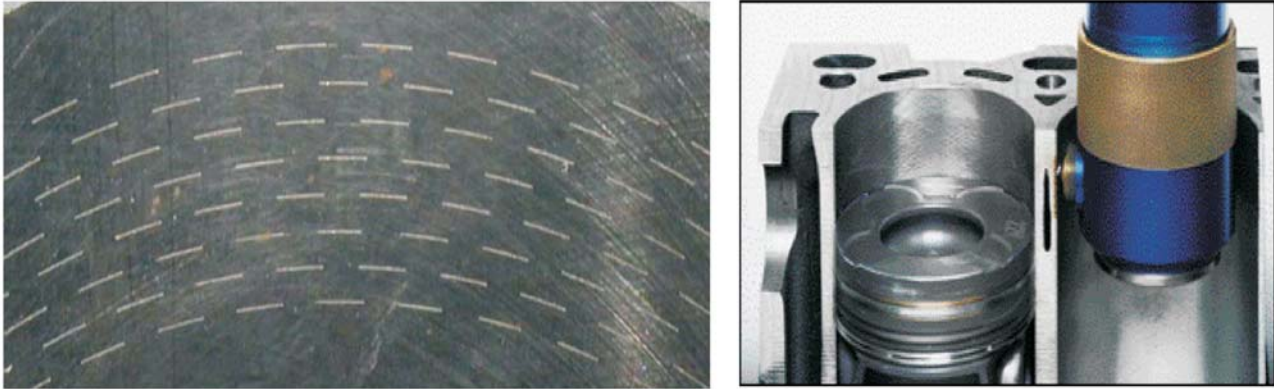
- a slide honing based on the change of the honing angle $\alpha > 90^\circ$ (approx. 135°) [6, 11, 12],
- fluid-jet honing base on the use of the fourth honing stage with treatment of the cylinder surface with liquid under the high pressure [6, 11, 12, 13],
- a laser-beam honing ensuring cutting of deep scratches or oil pockets in the form of micro-chambers (items 2.3, 3), or laser-beam treatment of the surfaces after honing process with so called “ablation” method [2, 6, 12].

2.3. Cylinder surface treatment method with the use of laser

The latest cylinder surface treatment processes of Gehring company [9, 11, 12] compose a combination of the conventional honing treatment with the laser-beam treatment and comprise the following operations:

- a conventional pre-honing and basic honing in accordance with the rules described in the item 2.1,
- a laser-beam treatment consists in burning of narrow, deep grooves or oil pockets in the top part of the cylinder liner (Fig. 4, 5),
- a finish honing in order to remove of partial melted layers of material (deposit and fin), resulted from a laser-beam burning of scratches/oil pockets and forming the flat “plateau” type surface.

The laser-beam honing is based on the same rule as the conventional honing. A spindle with an optical and laser head makes the rotary and reciprocating motions according to a structure profile (cruciform, oil pockets). The laser head has got the following significant elements (Fig. 4):



Rys. 4. Głowica laserowa w trakcie wykonywania zasobników oleju w górnej części powierzchni cylindra [9]

Fig. 4. The laser head in the course of making the oil magazines in the top part of the cylinder surface [9]

W czasie procesu wysoka energia promieniowania laserowego kierowana jest na obrabianą powierzchnię, częściowo jest odbijana i pochłaniana przez materiał cylindra. Energia pochłonięta jest tak duża, że powoduje podgrzanie materiału do stanu lotnego i następuje wypalenie określonego rowka lub kieszeni. Kształt struktury laserowej jest zapewniany w cyklu sterowanym numerycznie.

Ilość wypalanego materiału uzależniona jest od parametrów promieniowania takich jak:

- częstotliwość impulsów,
- moc,
- rodzaj promieniowania,
- szybkość posuwu głowicy laserowej.

W wyniku dużego gradientu temperatury oraz bardzo skupionej wiązki promieniowania o dużej mocy, oddziaływanie promieniowania na materiał cylindra jest ograniczone do niewielkiej powierzchni, a całkowity wzrost temperatury obrabianej powierzchni jest nieznaczny. Dzięki temu następuje zahartowanie materiału w okolicy wypalanego rowka i wzrost twardości.

2.4. Badania struktury powierzchni cylindrów po obróbce laserem

Badania struktury powierzchni cylindrów po procesie obróbki laserem według technologii firmy Gehring przeprowadzono na bazie 4-cylindrowego żeliwnego bloku silnikowego o średnicy cylindra 70 mm (rys. 5).

Na rysunku 5 widoczna jest ukształtowana laserem struktura typu kieszeniowego na bazie struktury honowanej w górnej strefie powierzchni cylindra.

Badaniom poddano strukturę geometryczną powierzchni metodą profilometrii stykowej, strukturę warstwy wierzchniej metodą mikroskopii elektronowej oraz przeprowadzono badania składu chemicznego materiału bloku silnikowego metodą spektrometrii (rys. 6a i 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. 7, 8).

Na rysunku 7 przedstawiono geometrię rozmieszczenia kieszeni olejowych, a na rys. 8 zilustrowano typowe obrazy

- a laser light source,
- a ray guidance system,
- an optical head.

During the process the high laser rays energy is guided on the treated surface and it is partially reflected and absorbed by the cylinder material. The absorbed energy is so large that it causes overheating of the material to the volatile state in which the burning of a specific groove or a pocket takes place. The laser structure profile is assured by the numerical control cycle.

The amount of the burnt out material depends on the rays parameters, such as:

- impulse frequency,
- power,
- type of rays,
- laser head feed rate.

Because of large temperature gradient and very concentrated high power rays beam the influence of the rays on the cylinder material is constrained to the little surface and the entire increase of the treated surface temperature is inconsiderable. By dint of it the hardening of the material in the area of the burnt groove and also increase of hardness take place.

2.4. Cylinder surface structure examination after the laser treatment

The cylinder surface structure examination after the laser treatment under the Gehring company process was carried out on the basis of a 4-cylinder cast iron engine block with the cylinder ID of 70 mm (Fig. 5).

The laser-formed pocket type structure on the grounds of the honed structure in the cylinder surface top area can be seen in the Fig. 5.

The examination was carried out for the geometrical surface structure with the contact profilometry method, for the outer layer structure with the electron microscopy method and for the chemical composition of the engine block with the spectrometry method (Fig. 6a, b).

The cylinder surface picture analyses in the area of laser influence and beyond the limits of this area was carried out with the electron microscopy method with the use of the scanning microscope. The measurements were made for the geo-



Rys. 5. Zdjęcie 4-cylindrowego bloku silnikowego po obróbce laserem według technologii firmy Gehring
 Fig. 5. The picture of the 4-cylinder engine block after the laser treatment under the Gehring company technology

mikrostruktury w miejscu oddziaływania lasera na powierzchnię w stosunku do tradycyjnego obrazu powierzchni po honowaniu poza strefą oddziaływania lasera.

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

- wykonana jest 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 geometryczne: długość 3 mm, szerokość 80 μm, głębokość 15–20 μm,
- odstęp pomiędzy rysami zarówno po obwodzie jak i na długości jest taki sam i wynosi 2 mm,
- parametry chropowatości powierzchni w strefie oddzia-

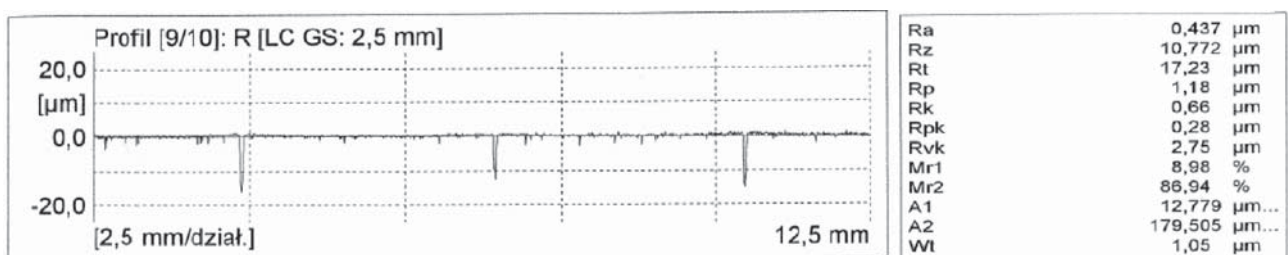
metrical structure of the laser cuts distribution (Fig. 7, 8).

The Fig. 7 shows the oil pockets distribution geometry while the Fig. 8 illustrates the typical microstructure images in the place of laser influence on the surface in relation to the traditional surface image after honing beyond the limits of the laser influence zone.

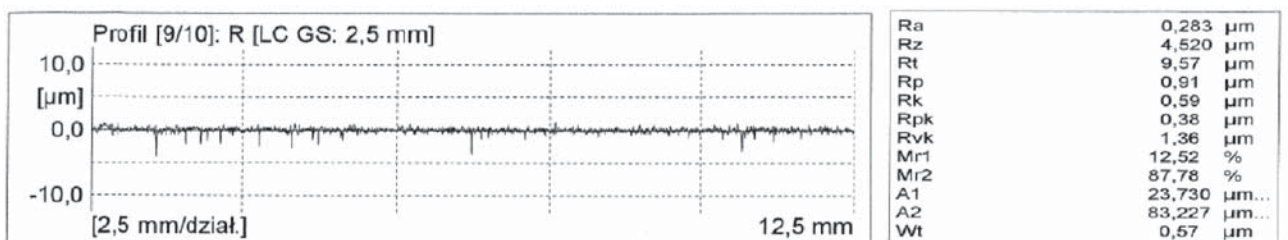
The measurements and microscopic examinations carried out allowed to characterize the geometrical structure of the surface made with laser-beam treatment by the following features:

- it is made in the top area of the cylinder at a length of 12,2 mm which corresponds with the co-acting of the piston ring package with the cylinder bearing surface in the GMP zone,
- the single horizontal scratches made with laser have got

a)

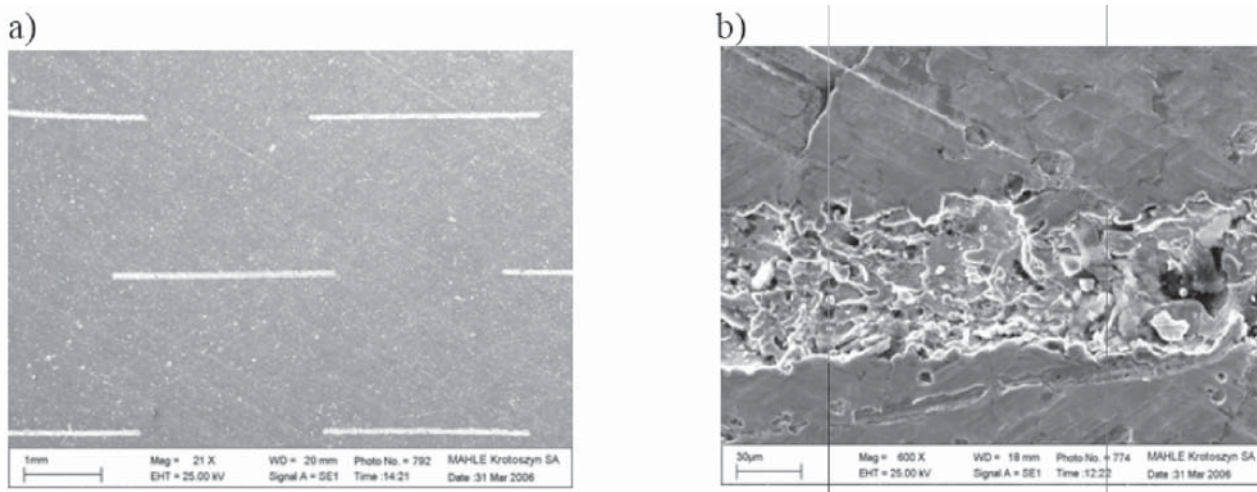


b)



Rys. 6. Typowe przebiegi profilogramów struktury geometrycznej powierzchni w strefie oddziaływania lasera (a) i poniżej tej strefy (b)

Fig. 6. The typical geometrical surface structure profilogram patterns in the zone of laser influence (a) and beneath this zone (b)



Rys. 7. Obraz struktury powierzchni cylindrów w strefie oddziaływania lasera: a) rozmieszczenie rys, b) wnętrze pojedynczej rysy

Fig. 7. The images of the cylinder surface structure in the zone of laser influence: a) distribution of scratches, b) inside of the single scratch

ływania laserem i strefie konwencjonalnego honowania są porównywalne w zakresie parametru R_{pk} , R_k i Mr_2 . Różnice występują w parametrach R_{vk} i Mr_1 , co jest wynikiem geometrii rys naciętych laserem.

Analiza obrazu mikrostruktury otocznia rysy naciętej laserem charakteryzuje się zmienioną strukturą w stosunku do mikrostruktury poza strefą działania lasera. Zmianie uległa dyspersja perlitu, oraz zaobserwowano wyraźny wzrost mikrotwardości rzędu 60 HV.

3. Podsumowanie

Przedstawione nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów poprzez powiązanie procesu konwencjonalnego honowania cylindrów typu płasko-wierzchołkowego „plateau” ze strukturą powierzchni gładkiej lub z udziałem dodatkowej obróbki laserem są wynikiem prac badawczych konstruktorów silników w kierunku spełnienia wymogów zużycia oleju i zawartości składników toksycznych w spalinach.

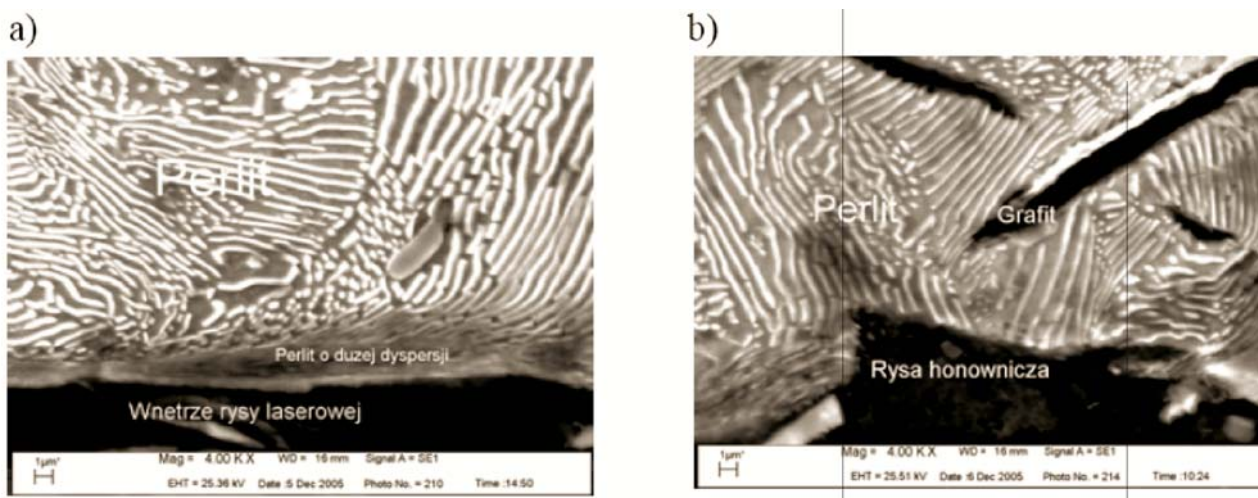
the following geometrical parameters: length 3 mm, width 80 μm , depth 15–20 μm ,

- the distance between the scratches both at a circumference and at a length as well is the same and amounts to 2 mm,
- the surface roughness parameters in the laser influence zone and in the conventional honing zone are comparable within the range of the parameters R_{pk} , R_k and Mr_2 . Some differences between the parameters R_{vk} and Mr_1 , resulting from the geometry of scratches cut by laser exist.

Analysis of the image microstructure surroundings of the scratch made by laser is characterized by change of the structure in relation to the microstructure beyond the limits of the laser influence zone. The pearlite dispersion changed and the tangible increase of micro-hardness by about 60 HV was noticed.

3. Recapitulation

The presented new methods of the cylinder surface forming by connection of the conventional flat top-land „plateau” honing process with the smooth surface structure or with



Rys. 8. Obraz mikrostruktury: a) w strefie oddziaływania lasera, b) poza strefa działania lasera

Fig. 8. The image of microstructure: a) in the laser influence zone, b) beyond the limits of the laser influence zone

Przeprowadzone badania i pomiary struktur powierzchni cylindrów po procesie honowania płasko-wierzchołkowego „plateau” typu gładkiego oraz powierzchni honowanych typu płasko-wierzchołkowego „plateau” z dodatkową obróbką laserem, która kształtuje kieszenie olejowe w formie tzw. mikrokomór w strefie GMP są potwierdzeniem dużych możliwości technologicznych w przemyśle samochodowym.

Procesy dodatkowej obróbki powierzchni cylindrów po procesie honowania z użyciem lasera dają możliwości dalszego rozwoju dla tego typu powierzchni. Natomiast zalety powierzchni uzyskanej podczas obróbki z wykorzystaniem lasera dają również możliwość prowadzenia dalszych prac nad wykorzystaniem tej metody do obróbki innych powierzchni szczególnie narażonych na zużycie.

Artykuł recenzowany

additional laser-beam treatment result from research work of engine designers towards fulfillment of requirements relating to oil consumption and content of toxic components in the exhaust gases.

The carried out research work and measurements of the cylinder surface structures after the flat top-land „plateau” of smooth type honing process and the honed surfaces of the flat top-land „plateau” type with the additional laser treatment which forms the oil pockets in a form of so called micro-chambers in the GMP zone testify broad technological abilities in the motor industry.

The additional cylinder surface treatments after the honing process with use of laser offer possibilities of broad development for the surfaces such of these. On the other hand, the qualities of the surface obtained during the process with the use of laser give also possibility to conduct further work on utilization of this method for the treatment of other surfaces which are above all exposed for wear.

Literatura/Bibliography

- [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] Hill S.H.: Cylinder Bore Finishes and Their Effect on Oil Consumption. Perfect Circle Div. of Dana Corp., 2001-01-33550.
- [5] Klink U.: Laserhonen für Zylinderlaufbahnen, MTZ 58 (1997) 9.
- [6] Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych. WKŁ, Warszawa 2004.
- [7] ISO 13565-2: Struktura geometryczna powierzchni; metoda profilowa powierzchnie o warstwowych właściwościach funkcjonalnych. PKN 1999.
- [8] Lenthal J.S.: Cylinder Bore Surface Finish, its Evolution and Specification. The Tribology of Internal Combustion Engines, University of Birmingham, 1996.
- [9] Materiały firmy Gehrting GmbH&Co. KG. Laserstrukturierung-Vebesserung der tribologischen Eigenschaften von Oberflächen, 2004.
- [10] Merkisz J.: Zużycie oleju w szybkoobrotowych silnikach spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1994.
- [11] Robota A., Zwein F.: Einfluss der Zylinderlaufflächentopografie auf den Ölverbrauch und die Partikelemissionen eines DI-Dieselmotors. MTZ 60 (1999) 4.
- [12] Schmid J.: Übersicht zu Honverfahren an GG-Zylinderlaufflächen. 2. Nürtinger Honsymposium Nagel, 2005.
- [13] Seck E., Strobel J.: Diamant-Fluidstrahl-Glätthonung. Ein neues Verfahren zur Bearbeitung der Zylinderlaufbahnen von Kurbelgehäusen aus Grauguss. MTZ 62 (2001) 2.
- [14] 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, Bielsko-Biała-Szczyrk 2005.
- [15] Weigmann U.P.: Grundlagen des Honens und aktuelle Entwicklungen. 2. Nürtinger Honsymposium Nagel, 2005.

Dr inż. Józef Gruszka – Kierownik Działu Zarządzania Jakością, MAHLE Polska Sp. z o.o. Krotoszyn.

Mr Józef Gruszka, DEng. – Head of Quality Management, MAHLE Polska Sp. z o.o. Krotoszyn.



Mgr inż. Andrzej Suchecki – Kierownik Pracowni Badań Stanowiskowych Silników, OBR SM BOSMAL Bielsko-Biała.

Mr Andrzej Suchecki, MSc. Eng. – Manager Engine Bench Tests Laboratory, Automotive Research and Development Center BOSMAL.

