

Emil WRÓBLEWSKI, Antoni ISKRA, Maciej BABIAK

KSZTAŁTOWANIE I OCENA MIKROGEOMETRII EKSPERYMENTALNYCH TŁOKÓW O SCHODKOWYM PROFILU POWIERZCHNI NOŚNEJ

Kształt mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka jest bezpośrednio połączony ze zjawiskami rozszerzalności cieplnej, ruchów poprzecznych tłoka oraz procesu tarcia pomiędzy tłokiem a gładzią cylindra. Podczas badań schodkowego profilu powierzchni nośnej tłoka należy więc ocenić jego wpływ na straty tarcia oraz sprawność mechaniczną silnika spalinowego. W celu uzyskania najlepszego możliwego wyniku procesu modyfikacji mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka, wymaga to oceny dokładności jego wykonania. W artykule przedstawiona została metodyka przeprowadzonych pomiarów za pomocą maszyny współrzędnościowej. Uzyskane wyniki pozwolą ocenić stopień zużycia powłoki grafitu.

WSTĘP

Na przestrzeni dziesięcioleci elementem, który najbardziej zmieniał proporcje geometryczne jest tłok silnika spalinowego. Z drugiej strony tłok ciągle pełni tę samą zasadniczą rolę w silniku, polegającą na tworzeniu ścianki komory spalania o zmiennej objętości. Dzieje się tak dlatego, ponieważ obok funkcjonalnej roli, tłok może wywoływać szereg niepożądanych skutków jak [1-4]:

- generuje największe straty w wyniku tarcia,
- prowadzi do zużycia ilościowego oleju smarującego o największym udziale w całości ubytku oleju w trakcie pracy silnika,
- generuje siły i momenty bezwładności przenoszone na zawieszenie silnika,
- jest najistotniejszym źródłem hałasu generowanego przez silnik spalinowy,
- określa granice mechanicznego i cieplnego obciążenia silnika.

Są to tylko najważniejsze efekty realizacji funkcji tłoka, rzutuające na parametry całego silnika. Część niekorzystnych zjawisk jest efektem właściwości tłoka w powiązaniu z pakietem pierścieni [5]. Najważniejsze tendencje w konstrukcji tłoka to zmniejszanie jego wymiarów, w tym przede wszystkim: wysokości powierzchni bocznej tłoka. W efekcie tłoki są lżejsze oraz powodują mniejsze straty tarcia, ponieważ mniejsza jest powierzchnia, gdzie to zjawisko zachodzi.

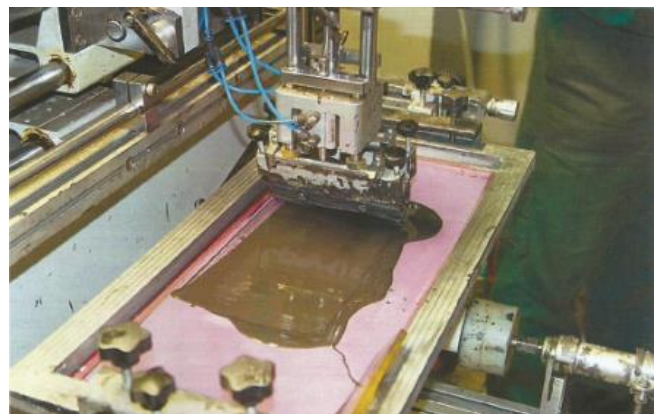
Geometria szczeliny między powierzchnią nośną tłoka a cylindrem w bardzo dużym stopniu wpływa na straty tarcia w silniku spalinowym. Okazuje się, że na wymienione straty tarcia w większym stopniu wpływa obszar pokryty filmem olejowym niż grubość filmu olejowego rozdzielające dwie współpracujące powierzchnie. Zabiegiem zmniejszającym obszar pokrycia filmem olejowym jest barytkowy lub schodkowy kształt powierzchni nośnej tłoka [6-7].

W artykule przedstawiona została procedura kształtowania i ocena mikrogeometrii eksperymentalnych tłoków o schodkowym profilu powierzchni nośnej, stanowiących materiał do późniejszych badań strat tarcia w węzle tłok-cylinder.

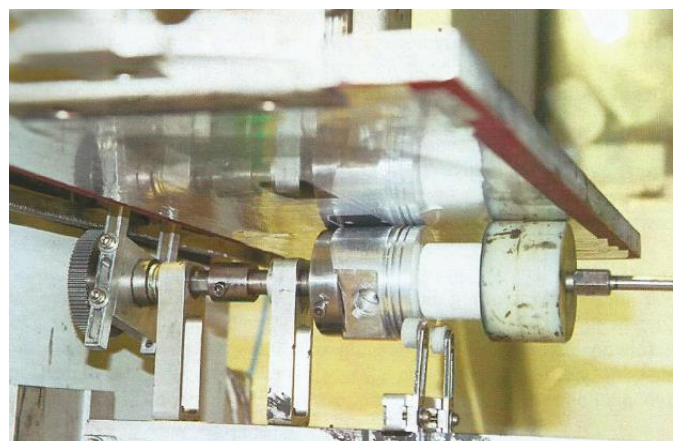
1. KSZTAŁTOWANIE PROFILU MIKROGEOMETRII POWIERZCHNI NOŚNEJ TŁOKA

We współczesnych silnikach najczęściej stosowane są powłoki na bazie grafitu i dwusiarczku molibdenu, przy tym te pierwsze są

znacznie popularniejsze m. in. dzięki niższej cenie przy tylko nieznacznie gorszych cechach funkcjonalnych. Jedną z metod nanoszenia tego rodzaju powłok jest metoda sitodruku, która charakteryzuje się prostotą, niskimi kosztami produkcji oraz dużą wydajnością przy zachowaniu wystarczającej dokładności grubości nanoszonej warstwy. Przykładowy widok przemysłowego nanoszenia grafitowej powłoki na powierzchni nośnej tłoka za pomocą metody sitodruku przedstawiono na rys. 1-2.



Rys. 1. Nanoszenie powłoki na bazie grafitu metodą sitodruku



Rys. 2. Nanoszenie powłoki na bazie grafitu metodą sitodruku z widocznym tłokiem

Poza prostotą wykonania powłoki na bazie grafitu nakładanej na powierzchni nośnej tłoka, który najczęściej wykonany jest ze stopu aluminium, charakteryzuje się dużą adhezją oraz elastycznością. Powoduje to, że takie powłoki odporne są na łuszczenie w wyniku działania sił normalnych i stycznych, a także nie ulegają pękaniu w wyniku zmieniających się wymiarów geometrycznych tłoka pod wpływem zmian temperatury jakim poddawany jest tłok np. w czasie fazy rozgrzewania silnika.

Dodatkowo ważnym czynnikiem kształtowania powierzchni nośnej tłoka jest wyeliminowanie zużycia tłoka w wyniku ścierania powierzchni bocznej na skutek bezpośredniego kontaktu z gładzią cylindra. Drogą do uzyskania tego faktu jest optymalizacja grubości filmu olejowego w trakcie pracy, a w fazie uruchamiania silnika gładź cylindra styka się z powierzchnią utworzoną z powłok naniesionych na powierzchni nośnej tłoka a nie bezpośrednio z mikronierównościami powierzchni nośnej tłoka.

Kształt schodkowy szczeliny można uzyskać poprzez naniesienie na powierzchni nośnej tłoka warstwy grafitu w kształcie litery H, rys. 3. Współcześnie stosowane powłoki zakładają równomierne pokrycie całej powierzchni nośnej tłoka. Taki zabieg ma na celu modyfikację warunków tarcia granicznego, natomiast nie wpływa w znaczący sposób na warunki tworzenia tarcia płynnego w filmie olejowym.



Rys. 3. Tłok z naniesioną warstwą grafitu na powierzchni nośnej w kształcie litery H

2. POMIARY KSZTAŁTU MIKROGEOMETRII POWIERZCHNI NOŚNEJ TŁOKA

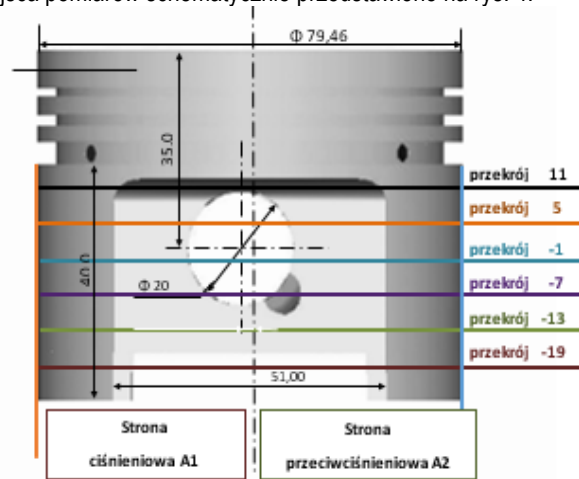
Pomiar odchyłek kształtu eksperymentalnych tłoków wykonywano po zamontowaniu w maszynie współrzędnościowej i wyznaczeniu związanego z tłokiem układu współrzędnych. Oś tłoka wyznaczono prowadząc prostą przez punkty stanowiące środki prostopadłych do niej przekrojów. Wybrano przy tym przekrój usytuowany na półce ogniowej, blisko denka tłoka, i przekrój pomiędzy półkami pierścienia zgarniającego i uszczelniająco-zgarniającego. O wyborze tych przekrojów zadecydowały następujące przesłanki:

- zeskanowane punkty powierzchni tłoka tworzą zamknięty pełny obwód elipsy, co umożliwia precyzyjne wyznaczenie środka przekroju,
- skanowana powierzchnia w zasadzie nie ulega zużyciu w czasie pracy silnika, szczególnie w warunkach zbudowanego stanowiska,
- skanowane punkty znajdują się na powierzchni o dużej sztywności, odpornej na przypadkowe odkształcenia w czasie montażu tłoków i pracy silnika.

Drugą oś przestrzennego układu współrzędnych stanowi oś sworznia tłokowego, a oś trzecia jest prostopadła do obu wyznaczonych osi.

Po wykonaniu układu współrzędnych wykonano zasadnicze pomiary według zdefiniowanej procedury pomiarowej. Procedura

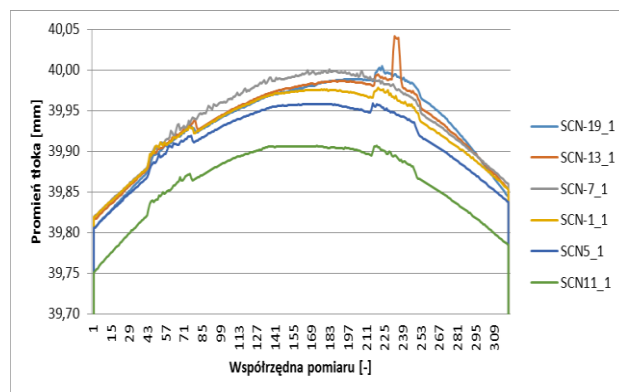
obejmowała dwie niezależne przedstawione niżej serie pomiarowe, miejsca pomiarów schematycznie przedstawiono na rys. 4.



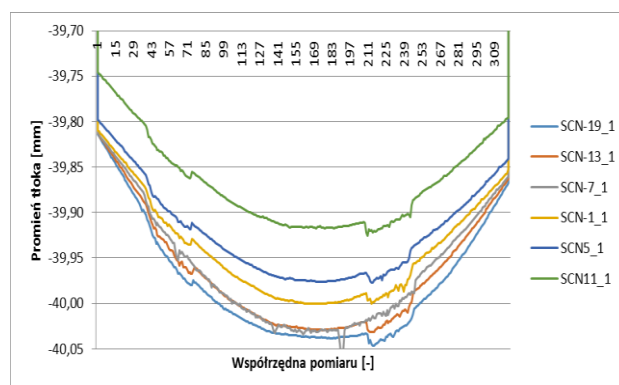
Rys. 4. Prezentacja graficzna położenia wybranych przekrojów i tworzących, których kształt ustalono w pomiarach i poddano analizie

Wybrano płaszczyzny leżące części pierścieniowej tłoka, odległe od osi sworznia o 19,4 mm, 24,2 mm, 29 mm i 32 mm oraz płaszczyzny przecinające część nośną odpowiednio w odległości równej 11, 5 -1, -7, -13 i -19 mm. Ujemne wartości liczb określających odległość przekroju od osi sworzni wskazują na ich położenie poniżej osi tłoka przy jego pionowym ustawieniu. Część pomiarów wykonywanych na powierzchni nośnej tłoka ograniczono w zakresie kątowym uwzględniając wybrania materiału na powierzchni tłoka w osi sworznia.

Najistotniejsze wyniki pomiarów mikrogeometrii powierzchni nośnej eksperymentalnego tłoka przedstawiono na rys. 5-6.

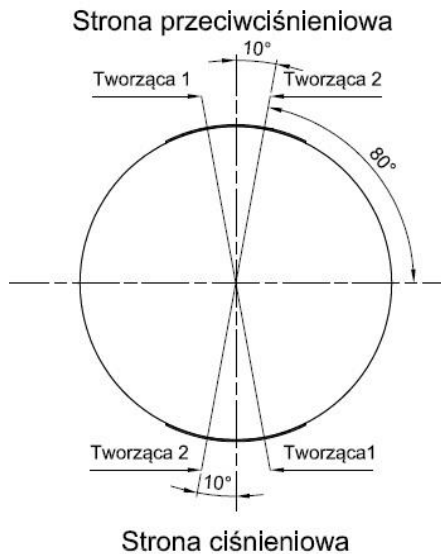


Rys. 5. Profil powierzchni nośnej tłoka wykonany od strony ciśnieniowej

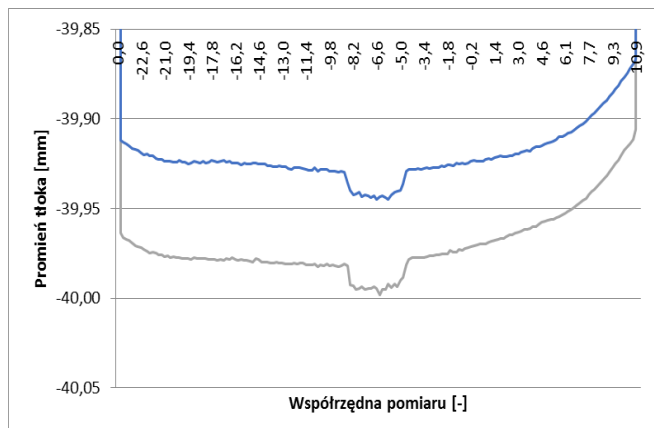


Rys. 6. Profil powierzchni nośnej tłoka wykonany od strony przeciwcisnieniowej

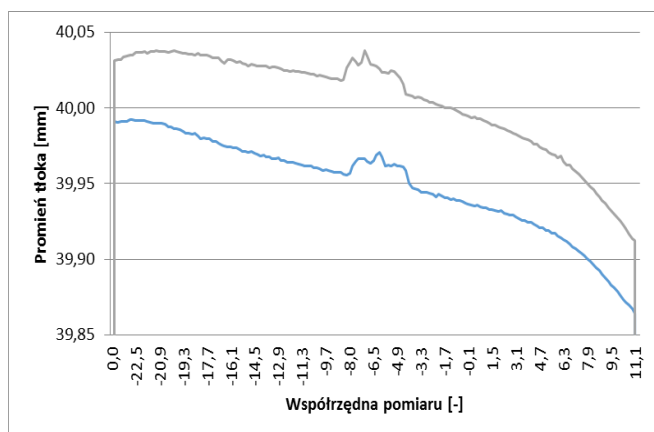
Dodatkowo zostały przeprowadzone pomiary profilu wykonywane wzdłuż tworzącej powierzchni nośnej tłoka rozpoczynającej się na wysokości ok. 12 mm od dolnej krawędzi tłoka. Oś prostopadła do sworznia tłokowego wyznacza dwie tworzące, pozostałe tworzące są przesunięte na obwodzie tłoka o kąt ok. 80°, rys. 7. Otrzymane wyniki przedstawione zostały na rys. 8-9.



Rys. 7. Prezentacja tworzących, których kształt ustalono w pomiarach i poddano analizie – kierunek pionowy



Rys. 8. Profil powierzchni nośnej tłoka strony ciśnieniowej – kierunek pionowy



Rys. 9. Profil powierzchni nośnej tłoka strony przeciwcisnieniowej – kierunek pionowy

Na górnych wykresach na rys. 5-6 oraz 8-9 przedstawiono długości promieni od wyznaczonej osi przekroju tłoka dla różnych kątów względem osi sworznia. Na obu tych wykresach ujęto wyniki dla płaszczyzn pomiarowych w części nośnej tłoka, oznaczone liniami spójnymi kolorystycznie ze schematem przedstawionym na rys. 4 i 6. Ze względu na czytelność wykresów wyniki ze wspólnego pomiaru rozdzielono na część ciśnieniową i przeciwcisnieniową tłoka. Na podstawie omawianych wykresów można ocenić owalizację części nośnej tłoka i lokalne odchyłki kształtu powierzchni. Uzyskane wyniki serii pomiarów, stanowią więc podstawę oceny kształtu tworzących mikrogeometrię powierzchni nośnej tłoka.

PODSUMOWANIE

Analiza wyników badań prowadzi do sformułowania przedstawionych poniżej wniosków:

- spośród wszystkich przekrojów tylko najwyższy znajdujący się na 11 mm powyżej osi sworznia tłokowego, znajduje się całkowicie w obszarze niepokrytym grafitem. Przekrój niższy znajduje się na 19 mm poniżej osi tłoka znajduje się na granicy obszaru pokrytego grafitem,
- widoczny na wykresach kształt powierzchni nośnej tłoka cechuje się wyraźną skutecznością otrzymania z naniesionej warstwy grafitu schodkowego profilu,
- można oczekiwać, że wierzchołki nierówności na powierzchni warstwy grafitu ulegną starciu w stosunkowo krótkim czasie po uruchomieniu silnika,
- lokalny, ograniczony do pojedynczych punktów pomiar średnicy tłoka nie może być miarodajną podstawą oceny luzu tłoka w cylindrze,
- na uzyskanych profilach obszar pokrycia tłoka grafitem jest wyraźnie widoczny jednak profil zasadniczo zachowując kształt wynikający z baryłkowości i stożkowości tłoka,
- precyzyjne określenie grubości warstwy grafitu jest możliwe, ze względu na kształt profilu i falistość powierzchni, można jednak grubość tę oszacować jako równą około 20 μm na każdej ściance tłoka.

BIBLIOGRAFIA

1. Baberg, A., Freidhager, M., Mergel, H., Schmidt K., Aspekte der Kolbenmaterialwahl bei Dieselmotoren, MTZ, 12/2012.
2. Blümm, M., Baberg, A., Dörnenburg, F., Leitzmann, D., Innovative Schaftbeschichtungen für Otto- und Dieselmotorkolben, MTZ, 02/2016.
3. Deuss, T., Ehnis, H., Rose, R., Künzel, R., Reibleistungsmessungen am Befeuertem Dieselmotor-Potenziale der Kolbengruppe, MTZ, 5/2010.
4. Deuss, T., Ehnis, H., Rose, R., Künzel, R., Reibleistungsmessungen am Befeuertem Dieselmotor-Einfluss von Kolbenschaftbeschichtungen, MTZ, 4/2011.
5. Fahr M., Hanke W., Klimesch Ch., Rehl A., Reibungsreduzierung bei Kolbensystemen im Ottomotor, MTZ 07-08/2011
6. Iskra A., Krzymień P., Wróblewski E., Geometry of the improved layer over a piston skirt, Combustion Engines, 162(3), pp. 192-196, PTNSS, Bielsko - Biala 2015.
7. Iskra A., Wróblewski E., Babiak M., Geometric shape of the support surface of the piston, Journal of Kones Powertrain and Transport Vol. 22 No. 4, 2015, pp. 95-101.

Shaping and evaluation of experimental pistons microgeometry with a stepped profile bearing surface

The shape of the microgeometry of the piston bearing surface is directly connected to the phenomena of thermal expansion, lateral movements of the piston and the friction process between the piston and cylinder. During the research the stepped profile of the bearing surface of the piston should be appraised of influence on the friction loss and the mechanical efficiency in internal combustion engine. In order to achieve best possible result of the modification process microgeometry bearing surface of the piston, this requires assessing the accuracy of implementation. The paper presents the methodology of measurements using CMM. The results will determine the degree of wear coating graphite.

Autorzy:

mgr inż. **Emil Wróblewski** – Politechnika Poznańska,
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
emil.z.wroblewski@doctorate.put.poznan.pl
prof. dr hab. inż. **Antoni Iskra** – Politechnika Poznańska,
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
antoni.iskra@put.poznan.pl
dr inż. **Maciej Babiak** – Politechnika Poznańska,
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
maciej.babiak@put.poznan.pl