GEOMETRIC STABILITY MEASUREMENTS' OF VEHICLES' PISTONS IN SELF-COOLING PROCESS FOR DEFINE ITS WEAR

WSPÓLRZĘDNOŚCIOWE POMIARY STABILNOŚCI GEOMETRYCZNEJ TŁOKÓW W PROCESIE STYGNIĘCIA DLA OKREŚLENIA STOPNIA ICH ZUŻYCIA

**Marek Idzior, Mirosław Grzelka, Wojciech Karpiuk,
Lidia Marciniak-Podsadna, Maciej Bieliński, Tomasz Borowczyk**

Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Instytut
Technologii Mechanicznej

e-mail: marek.idzior@put.poznan.pl, miroslaw.grzelka@put.poznan.pl
wojciech.karpiuk@put.poznan.pl, lidia.marciniakpodsadna@gmail.com,
maciej.bielinski@doctorate.put.poznan.pl, tomasz.borowczyk@doctorate.put.poznan.pl

Abstract: *The paper presents the investigation method allows for an analysis of failure of combustion engines piston surface. The essence of method is realization of precise measurement in various piston temperature and after that comparison of obtained results to reference piston – new one. Method has been presented on the basis of two pistons measurements.*

Keywords: *pistons investigations, diagnostic, measurement method, engine failure, coordinate measurement technic*

Streszczenie: *W pracy przedstawiono metodę badawczą pozwalającą na analizę uszkodzenia powierzchni tłoków wykorzystywanych w silnikach spalinowych. Istotą metody jest prowadzenie precyzyjnych pomiarów w różnych temperaturach tłoka uszkodzonego oraz odniesienie uzyskanych wyników do tłoka referencyjnego – nowego. Sposób prowadzenia badań z wykorzystaniem zaproponowanej metody przedstawiono na podstawie przeprowadzonych pomiarów z wykorzystaniem dwóch tłoków.*

Słowa kluczowe: *badania tłoków, diagnostyka, metoda pomiarowa, uszkodzenia silnika, współrzędnościowa technika pomiarowa*

1. Wstęp

Otrzymany do analizy tłok pochodził z silnika Waukesha P9390GL – jest to szesnastocylindrowy silnik gazowy w układzie widlastym. Silnik ten uległ awarii, skutkiem której było jego całkowite zatrzymanie. Badany tłok posiada wybliszczenia materiału na powierzchni części prowadzącej. Wybliszczenia te zlokalizowane są na wysokości otworu sworznia tłokowego oraz pod dolnym pierścieniem tłokowym (rys. 1). Opisywane ślady są intensywniejsze po stronie, na której tłok się „opiera” w tulei, w stosunku do przeciwległej strony. Również w tej części tłoka stwierdzono na denku większe ślady nagaru. Gładź tulei cylindrowej współpracująca z tłokiem posiada delikatne zarysowania, nie odbiegające od efektów prawidłowo pracującego tłoka [1].

Rys. 1. Porównanie wybliszczeń części prowadzącej otrzymanego do analizy tłoka

Dla zaprezentowania w praktyce metody badawczej uszkodzonych tłoków wykorzystano również tłok fabrycznie nowy stanowiący „tło” pomiarów.

2. Istota metody badawczej

W ramach zaproponowanej metody badawczej tłoków wykorzystywany jest wysoko zaawansowany optyczny system pomiarowy ATOS II firmy GOM. Układ ten składa się z projektora oraz dwóch kamer cyfrowych, mogących dostarczać 1,4 milionów punktów pomiarowych. Zakres pomiarowy wynosi od 175 x 140 do 2000 x 1600 mm². Zastosowanie specjalnego typu soczewek oraz wysokiej jakości projektora zapewnia bardzo dużą rozdzielczość budowanej chmury punktów przy wyeliminowaniu większości szumów podczas badania obiektów o gabarytach do 2000 mm [2, 3, 4].

Pomiar polega na projekcji prążków za pomocą światła białego i rejestrowaniu ich przez dwie kamery. Dzięki temu system określa pozycje sensora, po czym analizuje wartości punktów pomiarowych w układzie współrzędnych obiektu mierzonego.

Rezultatem pomiarów skanerem ATOS jest przestrzenna prezentacja powierzchni w postaci chmury punktów mającej wspólny układ współrzędnych. System porównuje dane zebrane z mierzonego obiektu z modelem CAD. Wyniki mogą być przedstawiane w postaci map z odchyłkami w stosunku do modelu CAD lub w postaci tablic.

3. Przykładowe pomiary

Pomiary, badania i analiza polegały na:

- pomiarze geometrii tłoka nowego i zużytego z wykorzystaniem optycznego skanera współrzędnościowego ATOS II w temperaturze 21⁰C,
- pomiarze geometrii tłoków współrzędnościowym skanerem optycznym w trakcie procesu chłodzenia z temperatury 250⁰C,
- analizie wyników pomiarów geometrii tłoków,
- badaniu porównawczym tłoków,
- analizie wyników pomiarów geometrycznych w trakcie procesu chłodzenia.

Algorytm postępowania w ramach proponowanej metody badawczej opiera się na dwóch podstawowych etapach pomiarów. W pierwszym etapie prowadzone są badania geometryczne tłoków w temperaturze odniesienia 21⁰C, w etapie drugim natomiast badania geometryczne prowadzone są w trakcie stygnięcia rozgrzanych tłoków. Badania obejmowały wyznaczenie średnic poszczególnych stopni walcowych tłoków oraz rzeczywistych odchyłek w punktach inspekcyjnych. Wykorzystane algorytmy do obliczenia elementów zastępczych oparte były na elementach przylegających czyli minimalnym walcu opisanym na wszystkich punktach pomiarowych (rys. 2, rys. 3, tab. 1).

Rys. 2. Miejsca pomiaru średnic na poszczególnych stopniach tłoków (wyniki zawarto w tabeli 1)

Rys. 3. Wartości odchyłek od elementu zastępczego średnic tłoków

Średnice mierzone były na czterech różnych obwodach pokazanych na rysunku 2 – różnice w wymiarach poszczególnych obwodów tłoków zostały przedstawione w tabeli 1. Bazowymi wymiarami są średnice tłoka nowego.

Tabela. 1. Różnica w wymiarach poszczególnych obwodów tłoka nowego i zużytego

Miejsce pomiaru	Średnica nowego tłoka [mm]	Średnica zużytego tłoka [mm]	Różnica [mm]
1	237.7184	237.7909	0.0725
2	235.3871	235.5206	0.1335
3	236.1349	235.6924	-0.4425
4	235.7923	236.0422	0.2499

Jak wspomniano, badania obejmowały analizę odchyłek w punktach inspekcyjnych tłoków. Na podstawie przeprowadzonych badań geometrii można wnioskować, że średnica tłoka nowego jest mniejsza od średnicy tłoka zużytego przy większej wartości odchyłki owalności na średnicy prowadzącej tłoka. Analiza odchyłek w poszczególnych punktach inspekcyjnych do zastępczych walców wyznaczonych ze wszystkich punktów pomiarowych zgodnie z algorytmem elementu opisanego (najmniejszy walec opisany) dla każdego tłoka oddzielnie wykazuje również większą średnicę w obwodzie dla tłoka zużytego. Różnica wynosząca 0,0725 mm może mieć istotny wpływ na pracę tłoka. Świadczy o tym porównanie ww. wartości z luzami montażowymi tłoka. Przyjmując, że luz taki powinien wynosić ok. 0,5 – 0,7‰ [5] średnicy (238 mm) teoretycznie można uznać, że wartość ta powinna wynosić 0,142 mm.

Kolejnym etapem proponowanej metody badań tłoków są badania cieplne obejmujące analizę odchyłek w punktach inspekcyjnych tłoków w trakcie ich stygnięcia. Tłok zużyty stygł z temperatury 240°C a tłok nowy z temperatury 250°C, co było spowodowane techniką grzania.

Pewną trudność, niebezpośrednio związaną z metodą pomiarową, stanowiło oszacowanie temperatury powierzchni prowadzącej tłoka w normalnych warunkach pracy. Związane to było między innymi z brakiem informacji o składzie chemicznym stopu aluminium. Temperatura spalin silnika wykorzystującego badane tłoki, przy temperaturze zewnętrznej równej 5 C wynosi około 40 C. Wiadomym jest, że temperatura powierzchni tłoka będzie niższa. Na podstawie analizy literaturowej [6] określono, że dla tłoków o podobnych wymiarach i podobnym przeznaczeniu maksymalna temperatura może zawierać się w zakresie 230 – 280°C. W związku z tym przyjęto wartości jak we wstępie. Przemawia za tym dodatkowo wynosząca 238°C wartość zapłonu oleju smarującego Mobil Pegasus 1 użytego podczas pracy tłoków na silniku [7].

Prezentacja deformacji w przypadku tłoka nowego w temperaturze 250°C i 56°C przedstawiona została na odpowiednio – rys. 4 i 5. Przykładowe wyniki pomiarów dla deformacji tłoka nowego i zużytego zawarto w tabeli 2.

Rys. 4. Deformacja geometryczna tłoka nowego w temperaturze 250°C (tabela 2)

Rys. 5. Deformacja geometryczna tłoka nowego w temperaturze 56°C (tabela 2)

Tabela. 2. Przykładowe wyniki dla deformacji tłoka nowego i zużytego w trakcie procesu stygnięcia (NaN – oznacza brak danych (nie wyznaczono odchyłek) – spowodowane refleksami i promieniowaniem cieplnym powodującym szumy niekorzystne dla optycznych systemów pomiarowych)

Tłok nowy (250°C)		Tłok nowy (56°C)		Tłok zużyty (240°C)		Tłok zużyty (56°C)	
Nr punktu inspekcyjnego	Wartość odchyłki [mm]	Nr punktu inspekcyjnego	Wartość odchyłki [mm]	Nr punktu inspekcyjnego	Wartość odchyłki [mm]	Nr punktu inspekcyjnego	Wartość odchyłki [mm]
Pkt 1	-0.0207	Pkt 1	NaN	Pkt 1	-0.0769	Pkt 1	-0.0900
Pkt 2	+0.0131	Pkt 2	+0.0007	Pkt 2	-0.0935	Pkt 2	-0.1395
Pkt 3	+0.0106	Pkt 3	NaN	Pkt 3	-0.0484	Pkt 3	-0.0249
Pkt 4	-0.0091	Pkt 4	NaN	Pkt 4	-0.1282	Pkt 4	-0.1230
Pkt 5	+0.0132	Pkt 5	+0.0145	Pkt 5	-0.1464	Pkt 5	-0.1242
Pkt 6	+0.0796	Pkt 6	+0.0246	Pkt 6	-0.2221	Pkt 6	-0.0624
Pkt 7	+0.0059	Pkt 7	-0.0304	Pkt 7	-0.1058	Pkt 7	-0.0476
Pkt 8	-0.0100	Pkt 8	-0.0017	Pkt 8	-0.1470	Pkt 8	-0.0937
Pkt 9	NaN	Pkt 9	-0.0057	Pkt 9	-0.1160	Pkt 9	-0.1098
Pkt 10	+0.0125	Pkt 10	NaN	Pkt 10	+0.0903	Pkt 10	-0.0649

Wykorzystując opisywaną metodę na podstawie otrzymanych wyników można wysunąć następujące wnioski:

- cylindry opisane jako obwód 1 dla tłoka nowego i zużytego mają kształt owalu,
- cylinder 1 dla tłoka zużytego ma większą średnicę niż nowego przy zastosowaniu algorytmu elementu opisanego (najmniejszy walec opisany),
- odchyłki poszczególnych punktów inspekcyjnych od elementu zastępczego potwierdzają większą średnicę tłoka zużytego,
- analiza i badania wykonane zostały na tłoku zużytym, w którym widoczne są ślady zatarcia, co może świadczyć o tym, że średnica nominalna była większa niż zmierzona (ubytek materiału na skutek zatarcia).

Na podstawie uzyskanych pomiarów możliwe jest wykonanie charakterystyki, której przykład stanowią rysunki 6 i 7. Uwzględniając zmianę temperatury badanych tłoków dla różnych punktów pomiarowych wyznaczono odchyłki, przy czym pomiarem referencyjnym był w tym przypadku pomiar w temperaturze pokojowej (21°C). Otrzymane wykresy pokazują skuteczność wykorzystanej metody – widoczny jest duży rozrzut odchyłek od pomiaru referencyjnego (w temperaturze 21°C) w poszczególnych punktach pomiarowych tłoka zużytego. Analiza geometrii na podstawie wyników badań geometrycznych w trakcie procesu stygnięcia obu tłoków pozwala na wysunięcie następujących wniosków. W strefie cylindra komory spalania rozrzut deformacji jest mniejszy i stabilniejszy dla tłoka nowego, widać charakterystyczny „pik” przy temperaturze 100°C, dla tłoka zużytego deformacje w poszczególnych punktach są rozbieżne, co może być spowodowane zachowaniem się materiału (deformacje) poddanemu wpływom wysokich temperatur – materiał puchnie i się kurczy nierównomiernie na objętości i powierzchni. Ponadto w strefie cylindra z deformacją zauważyć można w trakcie stygnięcia inne rozkłady odchyłek dla tłoka nowego i zużytego.

Rys. 6. Odchyłki od pomiaru referencyjnego (w temperaturze 21°C) w poszczególnych punktach pomiarowych tłoka nowego

Rys. 7. Odchyłki od pomiaru referencyjnego (w temperaturze 21°C) w poszczególnych punktach pomiarowych tłoka zużytego

Dla tłoka nowego rozrzuty deformacji poszczególnych punktów mają w miarę stabilny rozkład oraz charakterystyczny „pik” dla temperatury 100°C, natomiast dla

tłoka zużytego rozkład odchylek jest niestabilny – rozstrzelony dla poszczególnych punktów pomiarowych zlokalizowanych w tych samych rejonach tłoczyska, nie jest zauważalny charakterystyczny „pik” dla temperatury 100°C. Zużyty tłok wykazuje w trakcie chłodzenia odchylki na poziomie większych wartości dodatnich niż tłok nowy.

4. Podsumowanie

Zaproponowana metoda badawcza pozwala na bardzo precyzyjne i stosunkowo szybkie określenie stopnia uszkodzenia powierzchni tłoków silnikowych. Na podstawie przedstawionych przykładowych pomiarów wykazano pozytywne efekty jej zastosowania. Niewątpliwą zaletą metody jest możliwość wnioskowania na podstawie wyników badań o przyczynach awarii silników spalinowych. Stwierdzić należy bowiem, że sam tłok jest obecnie rzadko pierwotną przyczyną uszkodzenia silnika, jednak to właśnie na tym elemencie widoczne są pierwsze symptomy uszkodzenia podzespołów/układów silnikowych. Do wad metody zaliczyć należy konieczność zastosowania tłoka referencyjnego. Najkorzystniejszą sytuacją jest użycie tłoka nowego stanowiącego tym samym nominal dla wykonywanych pomiarów, dzięki czemu można porównać oba tłoki i na tej podstawie wnioskować.

Przedstawione wyniki dzięki opracowanej innowacyjnej metodyce wykorzystującej współrzędnościowe systemy optyczne do pomiarów geometrii elementów o wysokiej temperaturze oraz ich deformacji w wyniku procesu stygnięcia pozwalają na dalszy rozwój i stosowanie jej w badaniach.

5. Literatura

- [1] Części do silników i filtry: zdjęcia wad, przyczyny i ich unikanie, Informacje techniczne firmy MAHLE Aftermarket Polska
- [2] Grzelka M., Budzik G., Marciniak L., Gapiński B.: Accuracy of the photogrammetric measuring system for large size elements. Archiwum Odlewnictwa Polish Academy of Science, The Katowice Branch Commission of Foundry Engineering „Archives of Foundry Engineering”, Vol. 11, Issue 2/2011; ISSN 1897-3310, s. 75-80
- [3] Marciniak A., Budzik G., Dziubek T., Grzelka M.: Quality control and inspection of bevel gears of the aircraft gearbox utilizing the Atos 3D scanner, Journal of KONES Powertrain and Transport. European Science Society of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2012, ISSN 1231-4005, Vol. 19 No. 1, s. 261-266
- [4] www.gom.com
- [5] Kozaczewski W. Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych, WKŁ, 2004, Warszawa
- [6] www.swiatmotoryzacji.com.pl
- [7] www.mobil.pl

prof. dr hab. inż. Marek Idzior Pracownik Instytutu Silników Spalinowych i Transportu. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji silników spalinowych

dr inż. Mirosław Grzelka Pracownik Instytutu Technologii Mechanicznej. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji maszyn.

dr inż. Wojciech Karpiuk Pracownik Instytutu Silników Spalinowych i Transportu. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji silników spalinowych

mgr inż. Lidia Marciniak-Podsadna Doktorantka w Instytucie Technologii Mechanicznej. Specjalistka z zakresu budowy i eksploatacji maszyn.

mgr inż. Maciej Bieliński, doktorant w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji silników spalinowych.

mgr inż. Tomasz Borowczyk, doktorant w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji silników spalinowych.