

Karol F. ABRAMEK

OCENA ZUŻYCIA ELEMENTÓW SILNIKA W PRZESTRZENI ROBOCZEJ PRZY ZASILANIU GAZEM LPG

Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ zasilania gazem LPG na proces zużycia elementów układu tłok-pierścienie-cylinder (TPC). Przy zasilaniu paliwem gazowym występują większe ciśnienia i temperatury w przestrzeni roboczej silnika, co sprzyja zwiększonemu zużyciu elementów silnika, a w szczególności układu TPC. Utrudnione warunki smarowania, także w fazie rozruchu silnika, powodują intensywniejsze zużycia powierzchni tłoka, pierścieni i gładzi cylindrowej.

WSTĘP

Tłokowy silnik spalinowy nadal stanowi główne źródło napędu pojazdów samochodowych, pomimo podjętych wielu prób znalezienia innych. Zarówno rozwój różnych paliw, jak i różnych konstrukcji napędów alternatywnych: silniki hybrydowe (spalinowy i elektryczny), elektryczne, zapewne nie zmieni tego, że tłokowy silnik spalinowy wykorzystywany będzie jeszcze przez wiele lat. Alternatywa zasilania gazem LPG (z ang. Liquefied Petroleum Gas), silników spalinowych dla paliw ropopochodnych (benzyny, w niewielu przypadkach także i oleju napędowego) wykorzystywana jest w Polsce z dużym skutkiem i powodzeniem od wielu lat. Rozwój instalacji zasilania gazem, a w zasadzie ich niski koszt zakupu oraz montażu w pojeździe, niska awaryjność, dostępność dużej liczby stacji z mieszaniną gazu płynnego propanu i butanu (LPG) oraz określany niewielki wpływ na wzrost intensywności przebiegu procesu zużycia wielu elementów silnika stanowią o wielkim sukcesie tego typu paliwa w naszym kraju. W dobie uzależniania się od jednego źródła energii, ten rodzaj paliwa może być także pewnym uzupełnieniem, a nawet pewną alternatywą. Obecne kłopoty z paliwami ropopochodnymi, na które wpływ mają kończące się zasoby surowca, przyczyniają się m.in. do popularności paliwa, jakim jest mieszanina gazów propanu i butanu. Nie pozostają bez echa również opinie wielu zadowolonych użytkowników tego typu źródła zasilania silnika oraz działania ugrupowań ekologicznych wywierających nacisk na stosowanie tego paliwa. Na ciągły wzrost zainteresowania tego typu paliwem gazowym, przyczynia się jego korzystna relacja ceny w stosunku do benzyny. Dlatego wielu autorów różnych prac poświęciło uwagę i realizowało badania dotyczące stosowania paliw gazowych [1-14].

1. PRZYDATNOŚĆ MIESZANINY PROPANU I BUTANU DO ZASILANIA SILNIKÓW

Wymagania jakościowe i metody badań paliw zostały określone w normie PN-EN 589:2003: Paliwa do pojazdów samochodowych. Skroplone gazy węglowodorowe LPG – wymagania i metody badań [15]. Przydatność tego rodzaju paliwa, z punktu widzenia możliwości zasilania silników spalinowych, może wynikać z [3]:

- wysokiej liczby oktanowej badawczej w granicach 89-110 jednostek, w przypadku gdy LPG spełnia wymagania normy [15],
- dużej jednorodności mieszanki, dzięki łatwemu mieszanemu się paliwa gazowego z powietrzem, a tym samym równomiernemu obciążeniu cieplnemu wszystkich cylindrów,
- mniejszego wpływu na zanieczyszczenie powietrza poprzez niższą emisję substancji szkodliwych w gazach wylotowych,
- spalanie mieszaniny gazu propanu i butanu nie powoduje powstawania osadów w przestrzeni roboczej,
- nie powoduje rozcieńczania oleju smarującego w silniku,
- w przypadku spalania w silniku o zapłonie iskrowym tylko jednego rodzaju paliwa tzn. mieszaniny propanu i butanu, istnieje możliwość zwiększenia stopnia sprężania.

Do wad paliwa LPG do zasilania silników spalinowych można zaliczyć [3, 4]:

- znacznie mniejszą gęstość LPG w stosunku do ciekłych paliw węglowodorowych,
- ze względu na szybkie odparowanie mieszaniny gazu propanu i butanu, brak efektu chłodzenia zaworów ssących (stąd przypadki wypalania gniazd zaworowych oraz prowadnic i uszczelnień zaworów),
- wyższą temperaturę spalania w przestrzeni roboczej, wynikającą z niższej prędkości spalania mieszanki paliwowo-powietrznej, co przyczynia się do niższej temperatury maksymalnej, ale ponieważ proces spalania trwa dłużej i dzięki temu średnia temperatura w komorze spalania jest wyższa, powoduje to większe obciążenie cieplne elementów układu tłok-pierścienie-cylinder (TPC), zaworów, dzięki temu także wyższą temperaturę spalin, czynnika chłodzącego, a tym samym większe obciążenie cieplne elementów układu wydechowego. Stąd mniejsza trwałość tych elementów,
- zmniejszenie mocy użytecznej i momentu obrotowego silnika o zapłonie iskrowym o około 10-15%, w przypadku niezmiennego stopnia sprężania (jak dla zasilania benzyną),
- łatwe zanieczyszczenie gazu LPG podczas magazynowania i dystrybucji (np. ciężkimi frakcjami oleju mineralnego przedostającymi się do mieszaniny propanu i butanu podczas przetłaczania ze sprężarek),
- obecność wody w paliwie LPG, która sprzyja powstawaniu procesów korozji, a w niskich temperaturach może powodować unieruchomienie zaworów i innych elementów instalacji gazowej w silniku,
- obecność siarkowodoru, który intensyfikuje procesy korozyjne w silniku.

2. OBCIĄŻENIA MECHANICZNE I CIEPLNE ELEMENTÓW UKŁADU TPC

Warunki pracy elementów układu tłok-pierścienie-cylinder przy zmienionym rodzaju paliwa, są inne. Zmienione paliwo wpływa na zmianę przebiegu procesu spalania i wywiązywania się ciepła, a co za tym idzie na obciążenia cieplne i mechaniczne tego układu. To z kolei wpływa na trwałość grupy TPC. Obciążenia mechaniczne wywierają bardzo duży wpływ na zużycie pierścieni tłokowych, gładzi tulei cylindrowej, jak i tłoka. Wartości obciążeń mechanicznych zmieniają się w czasie i wynikają z zasady pracy silnika spalinowego. Pochodzą od zmiennych w czasie sił gazowych, sił bezwładności, sił tarcia, odkształceń montażowych.

Przebiegi obciążeń mechanicznych w funkcji kąta obrotu wału korbowego oraz ich maksymalne wartości zależne są od parametrów pracy silnika [7]:

- szybkości narastania i maksymalnej wartości ciśnienia w przestrzeni roboczej silnika,
- wartości momentu obrotowego,
- prędkości obrotowej wału korbowego silnika.

Badania przeprowadzone przez autorów [8] wykazały, że maksymalne ciśnienie obiegu w silniku zasilanym dwupaliwowo (olej napędowy i gaz LPG) jest o około 0,8 MPa większe niż dla silnika zasilanego samym olejem napędowym i osiąga wartość 9 MPa. Średnia szybkość narastania ciśnienia także jest zwiększona średnio o około 0,08 MPa/°OWK, natomiast przy największym osiąganym obciążeniu jej wartość narastania jest największa i wynosi 0,4 MPa/°OWK. Zwiększona prędkość narastania ciśnienia i wyższe wartości maksymalnych ciśnień powodują wzrost obciążeń mechanicznych w układzie TPC.

Na wzrost sił bezwładności ma wpływ także stan techniczny silnika, a w szczególności układu TPC. Nadmierne luzy w tym układzie powodują zwiększone poprzeczne i skośne ruchy tłoka i pierścieni (szczególnie uszczelniających). To z kolei prowadzi do nadmiernych i intensywniejszych procesów zużycia w tej grupie elementów silnika.

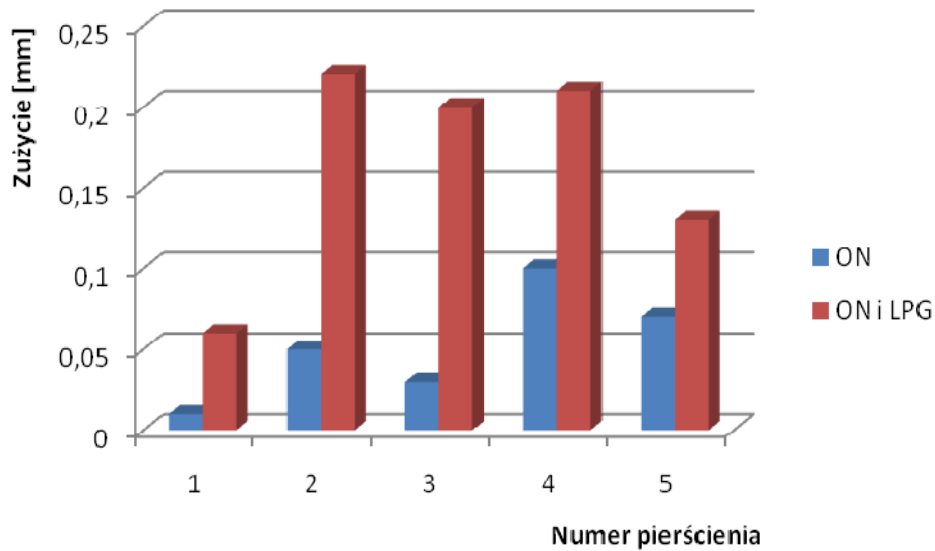
Obciążenia cieplne tłoka, pierścieni i cylindra wynikają z przyjmowania ciepła wydzielanego podczas przebiegu procesu spalania paliwa oraz ciepła pochodzącego od sił tarcia. Stąd konieczność stosowania wysokiej jakości olejów smarujących. Najintensywniej wymiana ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym, a układem TPC zachodzi podczas procesu spalania i suwu rozprężania [7]. Szybsze starzenie oleju smarującego wywołane szczególnymi warunkami pracy przy zasilaniu gazowym jest przyczyną przyspieszonego zużycia elementów układu tłok-pierścienie-cylinder. Przy zasilaniu gazem LPG, jeżeli rozruch silnika następuje za pomocą paliwa gazowego, występuje brak odpowiedniego filmu olejowego, który jest przyczyną przyspieszonego zużycia się powierzchni tłoka, pierścieni i tulei cylindrowej szczególnie tulei cylindrowej w GMP (górnym martwym punkcie).

Warunki pracy silnika o zapłonie iskrowym zasilanego gazem LPG powodują istotną różnicę w przebiegu procesu spalania. Zmienia się proces smarowania elementów silnika i tym samym wpływ na jego stan techniczny. Konieczne jest zatem zastosowanie takiego oleju smarującego, który zagwarantuje smarowanie, uwzględniając specyfikę spalania zarówno gazu, jak i benzyny. Olej smarowy przeznaczony do silników zasilanych gazem LPG wymaga nowej bazy o podwyższonej odporności na utlenianie i nitrowanie. Kontakt gazów spalinowych z olejem silnikowym powoduje niepożądane zmiany właściwości fizyko-chemicznych oleju, tworzą się kwaśne substancje przyspieszające proces korozji elementów silnika, a w szczególności układu TPC i łożysk ślizgowych.

3. ZUŻYCIE UKŁADU TŁOK, PIERŚCIENIE, CYLINDER

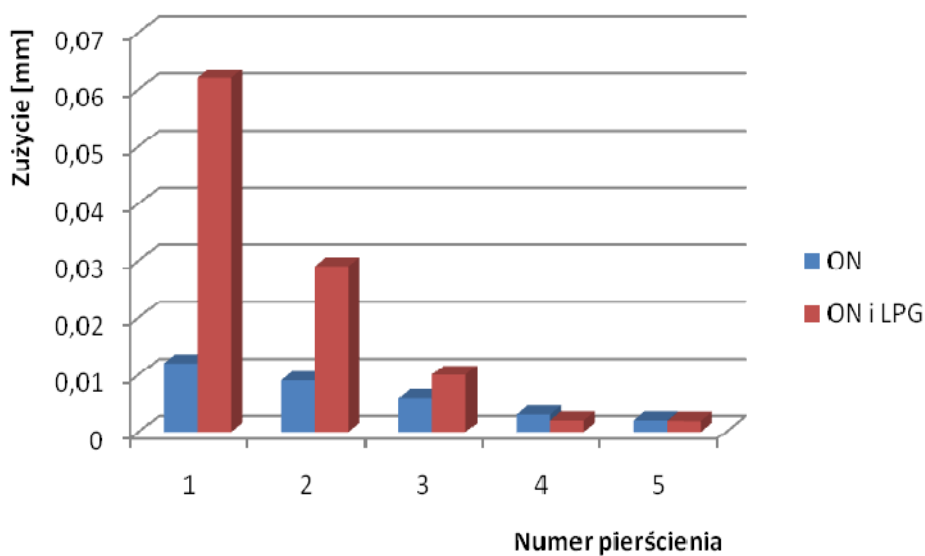
W badaniach przeprowadzonych przez autorów [5] na silniku 1HC102 wynika, że średnica wewnętrzna tulei cylindrowej w wyniku zużycia eksploatacyjnego w odległości 20 mm od górnej krawędzi tulei (co odpowiada GMP) maksymalnie wzrosła o 20 μm po przebiegu 800 godzin pracy na hamowni silnikowej i przy zasilaniu olejem napędowym. Natomiast przy zasilaniu dwupaliwowym (olej napędowy i gaz LPG) maksymalne zużycie tulei cylindrowej w GMP wynosiło 107 μm . Tłok silnika 1HC102 wyposażony był w pięć pierścieni: pierwszy, górny pierścień uszczelniający wykonany z żeliwa i pokryty chromową warstwą przeciwdrobnocząsteczkową (na powierzchni współpracującej z tuleją cylindrową), drugi i trzeci pierścień uszczelniający, oba wykonane z żeliwa oraz czwarty i piąty pierścień zgarniający (także wykonane z żeliwa). Analizując ubytki masy pierścieni, największemu zużyciu uległy pierścienie: drugi i trzeci. Zużycie drugiego pierścienia przy zasilaniu olejem napędowym wynosiło 0,28 g, natomiast przy zasilaniu olejem napędowym i gazem LPG – 1,34 g. Zużycie masy trzeciego pierścienia wyniosło: przy zasilaniu olejem napędowym 0,19 g, a przy zasilaniu

olejem napędowym i gazem LPG – 1,18 g. Pierwszy pierścień uległ mniejszemu zużyciu, ponieważ pokryty był powierzchnią przeciwzużyciową w postaci warstwy chromu i przy zasilaniu olejem napędowym jego zużycie wynosiło 0,19 g, a przy zasilaniu olejem napędowym i gazem LPG – 0,82 g. Podobnie sytuacja przedstawia się, jeśli chodzi o zużycia szerokości pierścieni tłokowych, co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Średni ubytek szerokości pierścieni tłokowych silnika zasilanego ON i dwupaliwowo LPG i ON
Źródło: [5].

Analizując zużycia wysokości pierścieni, zauważyć można, że występowanie znacznych obciążeń od sił gazowych dla zasilania dwupaliwowego (olej napędowy i gaz LPG) spowodowało znaczne różnice ubytku wysokości. Dla pierwszego pierścienia uszczelniającego przy zasilaniu olejem napędowym zużycie wysokości wynosiło 0,013 mm, natomiast dla zasilania olejem napędowym i LPG – 0,061 mm. Średni ubytek wysokości pierścieni tłokowych dla silnika 1HC102 przedstawiono na rys. 2 [5].



Rys. 2. Średni ubytek wysokości pierścieni tłokowych silnika zasilanego ON i dwupaliwowo LPG i ON
Źródło: [5].

PODSUMOWANIE

Oceniając wpływ paliwa LPG na zużycie elementów układu tłok-pierścienie-cylinder (TPC) należy pamiętać, że przyczyną przyspieszonego niszczenia może być także inny przebieg procesu starzenia oleju smarującego, co ma wpływ na smarowanie tego układu. Paliwo LPG jest nazywane paliwem „suchym”, ponieważ nie ma takich właściwości smarnych jak olej napędowy, czy benzyna. Szczególnie jest to ważne w okresach uruchamiania silnika w niskich temperaturach otoczenia (układy zasilania w LPG umożliwiają rozruch na tym paliwie). Zauważono, że w początkowej fazie rozruchu, jeśli nie ma jeszcze oleju smarującego na gładzi cylindra, funkcję „częściowego” smarowania i doszczelniania przestrzeni roboczej spełnia nadmiar niespalonego paliwa (olej napędowy, benzyna). Stąd w celu ograniczenia zużycia elementów TPC należy silnik uruchamiać na benzynie (silniki ZI) lub na oleju napędowym (silniki ZS).

Na zużycie elementów TPC duży wpływ ma wyższa temperatura w przestrzeni roboczej, która bezpośrednio oddziałuje na powierzchnie tłoka, pierścieni i cylindra. Wyższa temperatura tych elementów powoduje zmniejszenie lepkości oleju smarującego, pogorszenie warunków smarowych współpracujących elementów oraz wypalanie oleju. Zjawisko takie sprzyja powstawaniu nagarów, które utrudniają ruchy pierścieni na tłoku lub nawet mogą powodować unieruchomienie pierścienia. To w znacznym stopniu może wpłynąć na szczelność układu TPC, a tym samym na zjawisko strat ładunku w postaci przedmuchów gazów do skrzyni korbowej. Stąd istotnym staje się wykonanie pomiarów przedmuchów dla zasilania gazem LPG w dalszych etapach badań.

BIBLIOGRAFIA

1. Abramek K. F.: *Koszty eksploatacji pojazdów zasilanych gazem LPG*, Transport i Komunikacja, 2004, nr 5-6.
2. Abramek K. F.: *Wpływ zasilania gazem LPG na zużycie wybranych elementów tłokowego silnika spalinowego*, Transport i Komunikacja, 2005, nr 2.
3. Jakóbiec J.: *Gaz płynny propan-butan jako paliwo do zasilania silników samochodowych*, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji, 1997, nr 2.
4. Jakóbiec J., Janik R., Ambrozik A., Budzik G.: *Ocena przydatności gazu propan-butan do samochodowych silników spalinowych ZI, a problemy eksploatacyjne silników zasilanych tym paliwem*, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Silniki Gazowe 2006*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2006.
5. Kozioł S., Luft S.: *Ocena trwałości elementów układu tłokowo-korbowego silnika o ZS zasilanego głównie LPG*. Journal of KONES Internal Combustion Engines, Vol. 9, No. 3-4. Warszawa-Gdańsk, 2002.
6. Kozioł S.: *Wymuszenia oddziałujące na układ tribologiczny tłok-pierścień-cylinder w silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym dwupaliwowo*, Tribologia, 2007, nr 5.
7. Kozioł S.: *Zużycie pierścieni tłokowych i cylindra w silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym dwupaliwowo, głównie LPG*. Problemy Eksploatacji, nr 2, Zeszyty Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom, 2004.
8. Luft S., Kozioł S.: *Wybrane wyniki badań dwupaliwowego silnika o ZS zasilanego głównie LPG*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, 2003, vol. 10, No 1-2.
9. Luft S., Michalczewski A.: *Próba wyjaśnienia poprawy sprawności ogólnej silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego dwupaliwowo głównie LPG*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, 2002, No. 1-2.
10. Luft S., Michalczewski A.: *Próba oceny wpływu kąta początku wtrysku inicjującej zapłon dawki oleju napędowego na podstawowe parametry pracy dwupaliwowego silnika o ZS zasilanego głównie mieszaniną butanu i powietrza*, Journal of KONES, 2000.

11. Merkisz J., Radziwiński S.: *Czy gaz propan-butan jest paliwem ekologicznym?* Silniki Spalinowe, 2006, nr 2.
12. Romaniszyn K. M.: *Przebiegi charakterystyk szybkościowych silników ZI dla zasilania benzyną i gazem LPG w dynamicznych warunkach ruchu samochodu*, Journal of KONES Powertrain and Transport, 2002, Vol. 13, No. 1.
13. Serdecki W.: *Straty tarcia w układzie tłokowo-cylindrowym silnika spalinowego*, Journal of KONES, 1995, Vol. 2, Warszawa-Poznań.
14. Wołoszyn R.: *Analiza porównawcza parametrów efektywnych pojazdu przystosowanego do zasilania gazem ziemnym*, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa Silniki gazowe, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2006.
15. PN-EN 589:2003: Paliwa do pojazdów samochodowych. Skroplone gazy węglowodorowe LPG – wymagania i metody badań.

EVALUATION OF ENGINE WEAR IN WORKING SPACE FOR SUPPLY LPG GAS

Abstract

The paper presents the effect of use Liquefied Petroleum Gas (LPG) on the process of wear of piston-rings-cylinder (PRC). When the gas fuel supply are higher pressure and temperature in the working space of the engine, which promotes the increased consumption of engine components, particularly of PRC. Difficult lubrication conditions, including start-up phase of the engine, causing intense wear surface of the piston, rings and cylinder bearing.

Autor:

dr inż. **Karol F. ABRAMEK** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie