

mgr inż. Filip Sz wajca

Ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania ubogich mieszanek gazowych w szybkoobrotowym silniku o ZI

Streszczenie

Niniejsza praca doktorska została zrealizowana w obszarze szybkoobrotowych silników gazowych zasilanych sprężonym gazem ziemnym o zapłonie iskrowym. Celem badawczym pracy była ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania o zaproponowanej konstrukcji, względem rozwiązania konwencjonalnego w aspekcie spalania mieszanek ubogich. Podjęcie takiego problemu wynikało z braku rozwiązania systemu spalania o analizowanej konstrukcji będącego w fazie badań lub wdrożonego w produkcji.

Metodologia pracy obejmuje badania eksperymentalne – modelowe, które zmierzały do ustalenia cech konstrukcyjnych dwustopniowego systemu spalania oraz badania prowadzone z użyciem jednocylindrowego silnika badawczego, pozwalające ocenić zmianę wskaźników pracy silnika z różnymi systemami spalania konwencjonalnego oraz dwustopniowego.

Z użyciem technik szybkiego filmowania oraz pomiarów elektrycznych wykazano przewagę świecy zapłonowej z płaską elektrodą masową względem szeroko stosowanej świecy z boczną elektrodą masową typu „J”. Uzyskano większy obszar objęty łukiem elektrycznym bez znacznej redukcji intensywności świecenia. Wskazano na zwiększenie koncentracji energii w łuku elektrycznym spowodowane krótszym czasem trwania wyładowania. Badania przeprowadzono w komorze stałej objętości regulując przeciwnie w zakresie 0–0,8 MPa. Wykorzystując maszynę pojedynczego cyklu porównano efekty zastosowania dwóch różnych sześciotworowych komór zapłonowych o objętości 1,4 cm³ i 2,1 cm³. Do porównania użyto również technikę optycznej rejestracji rozwoju płomienia w cylindrze oraz pomiarów indykatorowych. Badania realizowano dla różnej dawki paliwa dostarczanego do cylindra oraz chwili wyprzedzenia zapłonu. W efekcie stwierdzono, że dwustopniowy system spalania, którego efektywność zastosowania oceniano, składał się ze świecy bez bocznej elektrody masowej oraz komory zapłonowej o objętości 2,1 cm³, co w literaturze przedmiotu do tej pory nie było opisywane.

Ostatni etap prac badawczych został zrealizowany z użyciem jednocylindrowego silnika badawczego AVL 5804 w konfiguracji początkowo z jednostopniowym systemem spalania, który następnie przebudowano do spalania dwustopniowego. Określono wartość centrum spalania jako parametr sterujący 9°OWK według której prowadzone były badania oraz w przypadku systemu dwustopniowego strategię podziału dawki pomiędzy główną i wstępną komorę

spalania. Badania główne służące do porównania wyników procesu spalania przeprowadzono w zakresie trzech prędkości obrotowych wału korbowego, trzech różnych wielkości całkowitej dawki paliwa oraz współczynnika nadmiaru powietrza zwiększającego od wartości $\lambda = 1,0$ do osiągnięcia granicy stabilnej pracy silnika.

Wykazano, że zastosowanie dwustopniowego systemu spalania w sposób znaczny rozszerza zakres palności mieszanek ubogich oraz zwiększa dynamikę spalania. Wraz z rozszerzeniem granic palności osiągnięta jest znaczna redukcja emisji jednostkowej $ISNO_x$, w zakresie którym system spalania jednostopniowego jest niewystarczający. W zakresie spalania mieszanek o $\lambda = 1$ do 1,4 zaobserwowano znaczne pogorszenie sprawności indykowanej względem systemu konwencjonalnego. Dla analizowanego najmniejszego i średniego obciążenia silnika maksymalna wartość sprawności indykowanej była porównywalna.

Ostatecznie wyniki badań i analiz pozwalają ocenić efektywność zastosowania dwustopniowego systemu spalania względem wielu zmiennych. Wskazano zakresy pracy silnika, w których efektywność ulega polepszeniu oraz takie, w których uzyskano gorsze wskaźniki względem konwencjonalnego systemu spalania. Dla obciążeń częściowych oraz współczynnika nadmiaru powietrza λ powyżej 1,5 lepsze wskaźniki pracy uzyskano dla silnika z dwustopniowym systemem spalania natomiast przy spalaniu ładunków okołostechiometrycznych szczególnie z dużym obciążeniem silnika polepszenia wskaźników pracy silnika należy poszukiwać w zoptymalizowanej konfiguracji jednostopniowego systemu spalania.

Evaluation of the effectiveness of using a two-stage lean gas mixture combustion system in a high-speed SI engine

Abstract

This doctoral thesis was carried out in the area of high-speed gas engines fuelled with compressed natural gas with spark ignition. The research objective of the work was to assess the effectiveness of using a two-stage combustion system with the proposed design compared to a conventional solution in terms of burning lean mixtures. Taking up such a problem resulted from the lack of a solution for a combustion system with the analyzed design that is in the research phase or implemented in production.

The methodology of the work includes experimental – model studies, which aimed to determine the design features of the two-stage combustion system and studies conducted using a single-cylinder research engine, allowing for the assessment of the change in engine performance indicators with various conventional and two-stage combustion systems.

Using high-speed filming techniques and electrical measurements, the advantage of a spark plug with a flat ground electrode was demonstrated over the widely used spark plug with a lateral ground electrode. A larger area covered by the electric arc was obtained without a significant reduction in the intensity of light due to the increased energy concentration caused by the shorter duration of the discharge. The tests were carried out in a constant volume chamber by regulating the back pressure of 0–10 bar. Using a single cycle machine, the effects of using two six-hole ignition chambers with a volume of 1.4 cm³ and 2.1 cm³ were compared. The technique of optical recording of flame development in the cylinder and indicator measurements were also used for the comparison. The tests were carried out for different fuel doses supplied to the cylinder and the moment of ignition advance. As a result, it was found that the two-stage combustion system, the efficiency of which was assessed, consisted of a spark plug without a side ground electrode and an ignition chamber with a volume of 2.1 cm³, which has not been described in the literature so far.

The last stage of the research work was carried out using a single-cylinder AVL 5804 research engine in a configuration initially with a single-stage combustion system, which was then rebuilt to two-stage combustion. The combustion centre value was determined as a control parameter of 9°CA, according to which the research was conducted, and in the case of a two-stage system, the strategy of dividing the dose between the main preliminary combustion chamber. The main research leading to the comparative results of the combustion process was carried

out in the range of three engine speeds, three different values of the total fuel dose and the excess air coefficient increased from $\lambda = 1$ to the limit of stable engine operation.

It was shown that the use of a two-stage combustion system significantly extends the range of flammability of lean mixtures and increases the combustion dynamics. Along with the extension of the flammability limits, a significant reduction in ISNO_x emissions is achieved in the range in which the single-stage combustion system is insufficient. In the range of combustion of mixtures with $\lambda = 1.0$ to 1.4, a significant deterioration of the indicated efficiency was observed in relation to the conventional system. For the analyzed lowest and average engine loads, the maximum value of the indicated efficiency was comparable.

Finally, the results of the tests and analysis make it possible to assess the effectiveness of using a two-stage combustion system relative to a wide range of variables. The ranges of engine operation in which efficiency is improved and those in which inferior indicators are obtained relative to the conventional combustion system are indicated. For part loads and excess air ratio λ above 1.5, better performance indicators are obtained by the engine with a two-stage combustion system, while for the combustion of peri stoichiometric loads, especially in high load operation, the improvement of engine performance indicators should be searched for in the optimized configuration of a conventional open chamber combustion system.