

THE IDEA OF QUASI-FLUIDAL ENGINE WITH EXTERNAL CATALYTIC COMBUSTION CHAMBER

Adam Jaroszewski, Szymon Kobiałka
Przedsiębiorstwo Konstrukcyjno-Badawcze „PRO-MO”
30-528 Kraków, ul. Hetmańska 10
tel. ++48 12 4236248, e-mail: pkbpromo@pro.onet.pl

Adam Kobiałka
Politechnika Krakowska
Instytut Pojazdów Samochodowych
31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

Abstract

This article shows the used of experiments associated with catalytic combustion chambers as well as problem of external combustion in the piston engines and fluidal combustion, to try to construct the quasi-fluidal engine with external catalytic combustion chamber and make investigations and analysis of this engine.

IDEA SILNIKA QUASI-FLUIDALNEGO Z KATALITYCZNĄ KOMORĄ SPALANIA

Streszczenie

Niniejszy artykuł przedstawia wykorzystanie doświadczeń związanych ze zastosowaniem katalitycznych komór spalania, jak również problemu spalania zewnętrznego oraz fluidalnego, w celu podjęcia próby konstrukcji oraz przeprowadzenia badań na quasi-fluidalnym silniku z katalityczną zewnętrzną komorą spalania.

I. Wstęp

Jednym z najważniejszych zadań, przed jakimi stoi obecnie człowiek XXI wieku, jest z pewnością ochrona środowiska naturalnego. Emisja szkodliwych związków chemicznych do atmosfery, gleby oraz wody, w poważny sposób ograniczyła zasoby naturalne Ziemi. Do grona ważnych źródeł emisji zaliczyć należy silniki spalinowe, napędzające różne urządzenia techniczne. Przewiduje się, iż tłokowy silnik spalinowy w ciągu najbliższego półwiecza będzie nadal podstawowym źródłem energii, nie tylko dla pojazdów spalinowych. Co za tym idzie, poziom emisji składników toksycznych jak również hałasu oraz zużycie paliw wysuwają się zdecydowanie na plan pierwszy i to te czynniki właśnie decydują obecnie o kierunkach rozwoju silnika spalinowego.

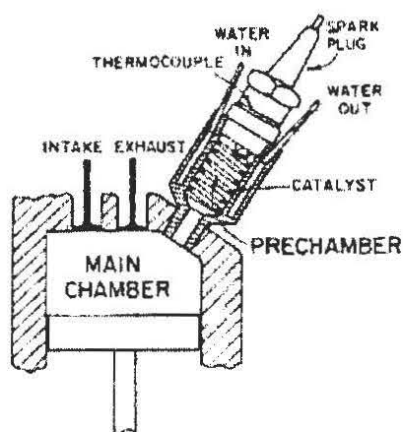
Wysokie tempo rozwoju cywilizacyjnego jak również wysoki standard życia spowodowały, iż silnik spalinowy stał i nadal staje się podstawowym narzędziem wykorzystywanym przez człowieka. Pomimo, iż znacząca większość konstruowanych coraz to nowych egzemplarzy znajduje swoje miejsce w dziedzinie motoryzacji, musimy zdawać sobie sprawę z faktu innych, równie ważnych zastosowań.

Jedną z dróg, która może doprowadzić do udoskonalenia ekonomiczności oraz użyteczności jest zoptymalizowanie procesu spalania. Najważniejszym jednak problemem, z którym boryka się wielu naukowców jest opracowanie silnika ekologicznie czystego, który nie emitowałby składników toksycznych do atmosfery. W obecnej dobie wdrożonych systemów, główne kierunki rozwoju skierowane są na ograniczenie wydzielania składników

toksycznych w cylindrze a w dalszej kolejności eliminowanie powyższych składników poprzez zastosowanie złożonych i bardzo kosztownych katalizatorów jak również ich systemów wspomagających w układzie wylotowym silnika. W wielu pozycjach literatury można znaleźć opisy oraz badania systemów wspomagających efektywniejszą pracę katalizatora, jednakże większość tych systemów nie została wdrożona do produkcji ze względu na ich skomplikowaną budowę, wysokie koszty wytwarzania oraz dodatkowe, niemałe zużycie energii podczas ich użytkowania, co w bezpośredni sposób wiąże się ze spadkiem ekonomiczności silnika wyposażonego w taki właśnie system.

2. Wkład katalityczny w komorze spalania lub w komorze wstępnej

Przeprowadzone w wielu laboratoriach badania potwierdzają, iż zastosowanie wkładu katalitycznego ma niebagatelny wpływ na spalanie ubogich mieszanek w silniku, pomimo braku zastosowania drogich, niekonwencjonalnych systemów zapłonowych o wysokiej energii zapłonu. Jedną z metod realizacji przedmiotowego systemu w praktyce polega na zainstalowaniu w głowicy silnika wstępnej komory spalania. Komora ta posiada podwójny płaszcz wewnątrz którego przepływa czynnik chłodzący ją podczas pracy silnika, chłodzenie takie można zrealizować również w inny sposób. Komora taka wyposażona jest w świecę zapłonową oraz co najważniejsze, zawiera wkład katalityczny wspomagający proces spalania w silniku. Zwykle wkład taki ma postać zwoju drutu o odpowiedniej grubości oraz średnicy, przylegającego do ścianek komory wstępnej.



Rys. 1. Zastosowanie komory wstępnej z wkładem katalitycznym w spalinowym silniku czterosuwowym
Fig. 1. Scheme of the test engine with the catalytic prechamber

Innym rozwiązaniem jest zastąpienie zwoju drutu siatką wykonaną z materiału katalitycznego, którą można umieścić bezpośrednio w komorze spalania, jak również zastosować ją w komorze wstępnej. System taki zastosowano w silniku zwanym Ricardo Komet. Jest to system w którym paliwo zamiast być wtryskiwane bezpośrednio do komory spalania ponad tłokiem, jest wtryskiwane do komory wstępnej umiejscowionej w głowicy silnika i połączonej z komorą spalania wąskim korytarzem. Standardowy stopień sprężania tego silnika wynosi 22:1, jednak po wprowadzeniu komory wstępnej został on obniżony do 12:1. w komorze wstępnej umieszczono siatkę katalityczną przez którą podczas procesu spalania przechodzi mieszanka. Rezultaty działania tego systemu udowodniły, że jest on dużo lepszy od silnika z wtryskiem bezpośrednim. Powyższy system spalania katalitycznego z użyciem siatki katalitycznej spowodował dla tego konkretnego silnika, tak samo dobrą ekonomiczność spalania jak w silnikach wysokoprężnych, niższą wielkość emitowanych tlenków azotu, niższą emisję węglowodorów, niż w porównywalnych silnikach benzynowych

oraz dieslowskich, możliwość pracy na różnych rodzajach paliw (zarówno benzyna, jak i metanol) jak również dużo wyższą kulturę pracy w porównaniu z silnikiem wysokoprężnym.

Wracając jednak do silników z uzwojonym wkładem katalitycznym i w tym przypadku potwierdzono zasadność badań oraz uzyskano zadawalające efekty. Chemiczna aktywacja ładunku w związku z obecnością wkładu katalitycznego ułatwia zapłon ubogiej mieszanki, wzmacnia jądro płomienia w fazie rozwoju zapłonu. Obecność katalizatora w komorze wstępnej silnika wpływa na rozszerzenie granic zapłonu ubogiej mieszanki, jak również niweluje różnice przebiegu ciśnienia w poszczególnych cyklach pracy co w bezpośredni sposób wpływa na równomierność pracy silnika.

Badania te potwierdzają więc, że jest możliwa poprawa w procesie spalania w chwili zmiany procesów chemicznych podczas zapłonu. Użycie komory wstępnej zwiększa intensywność zapłonu w głównej komorze spalania, jak również zwiększa działanie katalizatora, ułatwia zapłon, inicjując płomienia oraz pomaga utrzymać większą jego stabilność. Komora wstępna jest jednocześnie bardzo dobrym generatorem turbulencji oraz wspomaga w tworzeniu wielokrotnych ośrodków zapłonu w głównej komorze spalania.

Większość badań została przeprowadzona przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda=1,3$. Okazało się nawet iż dla silnika ze stopniem sprężania 16:1 przy zastosowaniu komory wstępnej z wkładem katalitycznym o pojemności 24% komory spalania silnik pracował stabilnie przy $\lambda=1,55$. Porównanie charakterystyk obciążeniowych przy stałej prędkości obrotowej $n=3000$ rpm, pokazało, że zużycie paliwa zmniejszyło się o około 15% dla zakresu częściowych momentów obciążenia 50 – 75% (pełne obciążenie). Stężenie nie spalonych węglowodorów zostało zredukowane od 30 do 50%. Znamiennym jest tutaj fakt iż przy zastosowaniu powyższego systemu, jednakże bez wkładu katalitycznego działanie silnika przy $\lambda=1,4$ było praktycznie niemożliwe.

3. Katalizatory

Większość proponowanych rozwiązań bazuje na wkładach katalitycznych wykonanych z miedzi, platyny, lub też ze związków platyny. W tym miejscu nie sposób nie wspomnieć, iż w USA i Japonii katalizatory platynowe były używane do kontroli emisji spalin już od 1975r. Natomiast sama koncepcja silnika katalitycznego nie jest nowa. Są udokumentowane patenty datowane już na rok około 1920, ale wznowienie zainteresowania powstało dopiero w naszych czasach ze względu na wprowadzenie ustawodawstwa regulującego poziom emisji toksycznych składników spalin. Jak zatem widać platyna była używana w katalizatorach przez wiele lat, jako znaczący czynnik w procesie spalania. Z przeprowadzonych badań ustalono, iż w wyniku obecności w komorze wstępnej wkładu platynowego czas zapłonu był stosunkowo krótszy, a tempo wzrostu ciśnienia większe. Gorsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu katalizatora miedzianego. W przypadku braku katalizatora (zastąpienie wkładu drutem aluminiowym) czasy zapłonu były o wiele dłuższe. Powyższe różnice przekładały się również na różnice w przyrostach ciśnień. Dane te zamieszczono w tabeli.

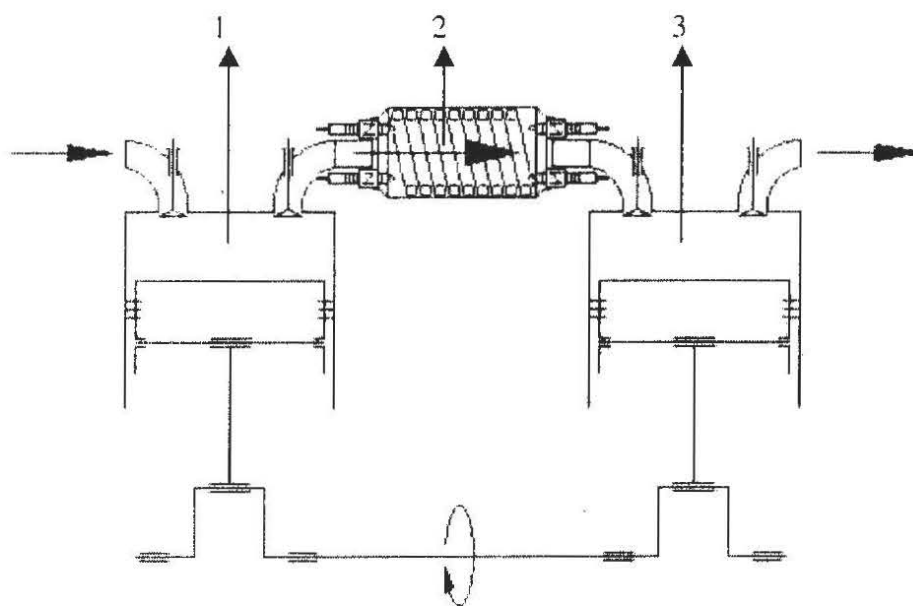
Tab. 1. Wielkości czasów zapłonu oraz wzrostu ciśnienia w zależności od zastosowanych wkładów katalitycznych, bądź niekatalitycznych.

Tab. 1. Ignition delays and pressure rise rates obtained with various prechamber inserts.

	Pt	Cu	Al
Czas zapłonu τ [ms]	8,35	16,50	20,00
Przyrost ciśnienia dp/dt [MPa/ms]	0,220	0,163	0,110

4. Spalanie zewnętrzne

Analizując opracowania naukowe dotyczące silników katalitycznych jak również badania ich parametrów pracy można stwierdzić, iż zjawisko spalania katalitycznego jest jednym z kierunków, na który warto zwrócić szczególną uwagę. W tym jednak miejscu pojawia się wiele problemów związanych z ograniczeniami konstrukcyjnymi przy modyfikacji konwencjonalnych silników tłokowych, co w rezultacie nie pozwala na osiągnięcie optymalnych parametrów pracy. Wynika to z faktu iż w konwencjonalnym silniku tłokowym jest prawie niemożliwe wprowadzenie katalizatora do komory spalania. Wiąże się to z obecnością wielu ruchomych części w komorze spalania /tłoki, zawory/, a ich ruch i związany z nim proces tarcia stwarza bardzo wiele trudności w umiejscowieniu katalizatora wewnątrz komory spalania. Próby poradzenia sobie z tym problemem polegały zazwyczaj na zamontowaniu z silniku tłokowym katalitycznej komory wstępnej, co jednak powodowało zwiększenie pojemności skokowej silnika oraz zmniejszenie stopnia sprężania. Wyprowadzenie natomiast katalizatora poza komorę spalania spowoduje, iż proces spalania katalitycznego przestanie mieć miejsce, a sam katalizator będzie pełnił funkcję oczyszczania spalin wyprodukowanych w procesie spalania lub co najwyżej będzie miało miejsce katalityczne dopalanie. Rozwiązaniem tego problemu może stać się wyprowadzenie komory spalania wraz z katalizatorem poza obszar roboczy silnika. Schemat takiego silnika przedstawiono na rysunku.



Rys. 2. Schemat silnika tłokowego ze spalaniem zewnętrznym.
Fig. 2. Scheme of the piston engine with external combustion chamber.

Powyższy schemat obrazuje koncepcję działania takiego silnika. Można powiedzieć, iż składa się on z trzech podstawowych bloków. Blok pierwszy można by nazwać blokiem sprężania. Jak widać na powyższym schemacie w bloku tym pracujący tłok spełnia taką samą funkcję jak tłok sprężarki tłokowej. Wykonuje on dwa suwy: suw napełniania oraz suw sprężania. Blok drugi tworzy komora w której zachodzi proces spalania ładunku przygotowanego uprzednio w bloku pierwszym. Blok trzeci jest elementem odbierającym energię gazów spalinowych i zamieniającą ją na pracę. Tłok pracujący w tym bloku również wykonuje dwa suwy. Są to suw pracy oraz wydechu. Działania bloków pierwszego i trzeciego są ściśle zsynchronizowane, a ze względu na charakter funkcjonowania takiego

silnika można uznać go za silnik dwusuwowy z zewnętrzną komorą spalania oraz odseparowaną sprężarką.

Ponieważ powyższy rysunek można traktować wyłącznie jako schemat, przekształcenie go w funkcjonujące stanowisko wymaga dokonania wielu modyfikacji konstrukcyjnych.

Umieszczenie komory spalania poza obszarem w którym znajdują się elementy ruchome daje wiele możliwości wynikających z takiego właśnie usytuowania. W pierwszej kolejności można dowolnie formować wielkość jak również kształt takiej komory, co w bezpośredni sposób wpływać będzie na takie parametry jak temperatura oraz czas reakcji spalania ładunku dostarczanego do komory.

Takie właśnie usytuowanie komory spalania daje dodatkową możliwość próby zastosowania technik spalania związanych ze spalaniem fluidalnym.

5. Spalanie fluidalne

Spalanie fluidalne zwane fluidyzacją to specjalna metoda zetknięcia się fazy stałej z fazą gazową. Polega na zawieszeniu rozdrobnionego ciała stałego w płynącym do góry strumieniu gazu. Stosując odpowiednie wymiary ziaren oraz właściwą prędkość gazu można uzyskać duże stężenie ciała stałego w układzie ciało stałe-gaz. W tych warunkach można stwierdzić intensywne mieszanie ciała stałego, co w połączeniu z bardzo rozwiniętą powierzchnią tego ciała, stwarza doskonałe warunki dla przenikania ciepła oraz ruchu masy. Na skutek szybkiej cyrkulacji ziarna, utrzymują się w układzie warunki niemal stałej temperatury, chociaż wydzielanie i pochłanianie ciepła przebiega bardzo nieregularnie. Dzięki temu proces fluidyzacji stwarza bardzo korzystne warunki dla przebiegu reakcji chemicznych połączonych z dużymi efektami cieplnymi. Ponadto układ fluidalny posiada niektóre własności podobne do cieczy, pozwalające na szybkie usuwanie ciała stałego z tego układu.

Doświadczenia wykazały doskonałe warunki spalania przy wykorzystaniu zjawiska fluidyzacji. Biorąc pod uwagę powyższe względy, można zastosować w komorze spalania warstwę fluidalną. Rozwiązanie to umożliwi ograniczenie emisji tlenków siarki i azotu już w trakcie procesu spalania. Charakterystycznym dla spalania fluidalnego jest to, że można uzyskać niską temperaturę spalania wynoszącą ok. 850 °C. Wpływa to na wielkość emisji tlenków azotu (NO_x) (im niższa temperatura tym tworzenie tlenków azotu (NO_x) jest mniejsze). Dodatkową zaletą spalania fluidalnego jest intensywna wymiana ciepła umożliwiająca zmniejszenie powierzchni komory spalania.

Co prawda proces spalania fluidalnego odbywa się przy udziale paliwa stałego (głównie węgla), co powoduje, iż technologia ta wykorzystywana jest w kotłach posiadających paleniska z warstwą fluidalną, jednak doskonałe efekty w postaci znaczącej redukcji emisji toksycznych składników spalin, dają możliwości podjęcia próby wdrożenia procesu spalania fluidalnego przy zachowaniu odpowiednich parametrów do silnika ze spalaniem zewnętrznym, uznając go za silnik quazi-fluidalny z katalityczną komorą spalania.

Pozostałymi, aczkolwiek równie znaczącymi składnikami toksycznymi spalin są: tlenek węgla CO, węglowodory HC.

Tlenek węgla powstaje zazwyczaj przy niedoborze tlenu w czasie spalania. Zjawisko takie ma zazwyczaj miejsce w silniku dwusuwowym, gdzie współczynnik nadmiaru powietrza jest zazwyczaj mniejszy od 1. Formowanie się CO przebiega bardzo szybko. Przyjmuje się, że stężenia CO są stężeniami równowagowymi.

Węglowodory powstają głównie z nie spalonego paliwa, choć jeszcze nie dostatecznie został opracowany i zweryfikowany model ich emisji. Powstają one głównie w czasie wygaszania gorącego płomienia na chłodniejszych ściankach cylindra oraz w szczelinach i zagłębieniach komory spalania. Węglowodory ulegają częściowemu spalaniu w przewodzie wylotowym.

Zatem ogólna charakterystyka powstawania poszczególnych związków w bezpośredni sposób rzutuje na określenie rodzaju spalania w konstruowanym silniku, jak również na wstępny dobór parametrów powyższego spalania.

6. Uwagi końcowe

Przedstawione w niniejszym artykule założenia budowy quasi-fluidalnego silnika z katalityczną (zewnętrzną) komorą spalania dały podstawy do skonstruowania stanowiska doświadczalnego, które zostało poddane wstępnym badaniom oraz w dalszym ciągu wprowadzane są jego modyfikacje, mające na celu ustabilizowanie parametrów pracy silnika.

Badania w dalszym ciągu są kontynuowane, co dostarcza coraz to nowych informacji na temat założeń konstrukcyjnych oraz parametrów pracy quasi-fluidalnego silnika z katalityczną (zewnętrzną) komorą spalania.

Literatura

- [1] J. Merkisz – „*Ekologiczne aspekty stosowania silników spalinowych*” – 1995,
- [2] P. Bielaczyc, J. Merkisz – „*Kierunki rozwoju przepisów dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe*” – 1996,
- [3] Ricardo and Company Engineers LTD – „*A study of Stratified Charge for Light Duty Power Plants*” – 1975,
- [4] T. Rychter, R. Saragih, T. Leżański, S. Wójcicki – „*Catalytic Activation of a Charge in a Prechamber of a SI Lean-Burn Engine*” – Eighteen Symposium (International) on Combustion, pp. 1815-1824, 1981,
- [5] J. Jarosiński, R. Łapucha, J. Mazurkiewicz – „*Catalytic Assistance of Ignition and Combustion in Internal Combustion Engine*” – 3rd Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization – 1995,
- [6] R. Thring – “*The Catalytic Engine-Platinum Improves Economy and Reduces Pollutants from a Range of Fuels*” – Platinum Metals Review, Vol 27, No 4, p 126 – 1980,
- [7] W. Gajewski – „*Mechanizm spalania paliw stałych w warstwie fluidalnej*” – Gospodarka paliwami i energią Nr 9, 1969,
- [8] A. Mazurkiewicz – „*Kotły z paleniskiem fluidalnym i spalaniem w złożu fluidalnym*” – Energetyka Nr 3, 1988,
- [9] D. W. James – „*Coping with NOx a Growing Problem*” – Electrical World No 3, 1971,
- [10] D. Laudyn, M. Pawlik, F. Strzelczyk – „*Elektrownie*” – 2000,