

NEKONWENCJONALNE SYSTEMY ROZRZĄDU SILNIKÓW SPALINOWYCH

Kazimierz LEJDA, Tomasz KUŚNIERZ

W artykule przedstawiono niekonwencjonalne rozwiązania konstrukcyjne systemów rozrządu czterosurowych tłokowych silników spalinowych z zapłonem iskrowym. Scharakteryzowano również ich funkcjonalność w aspekcie wad i zalet. Zaprezentowano rozwiązania głowicy z zaworem obrotowym.

1. WSTĘP

Obecnie powszechnie stosowanym układem rozrządu w tłokowych silnikach czterosurowych jest rozrząd z zaworami grzybkowymi, uruchamianymi poprzez odpowiednio wyprofilowane wałki krzywkowe, zwane wałkami rozrządu. System ten, pomimo wielu niedoskonałości, został już dawno doprowadzony do rozwiązania optymalnego pod względem złożenia mechanicznego. Silniki benzynowe z takim typem rozrządu pracują cicho, a przebiegi międzynaprawcze sięgające miliona kilometrów nie są już niemożliwe. Działania udoskonalające silniki spalinowe, a w tym także układy rozrządu, nie pozostają jednak bez wpływu na ostateczną cenę produktu. Silniki, jak i układy rozrządu są coraz bardziej skomplikowane, tak w materiałach użytych do ich budowy, jak i w rozwiązaniach konstrukcyjnych oraz w samej technologii produkcji. Wszystko to składa się na ostateczną cenę produktu finalnego, a zatem i na znaczną energochłonność produkcji, nawet przy wytwarzaniu seryjnym. Jednocześnie mechanicznie sterowany klasyczny rozrząd zaworowy nie jest optymalnym rozwiązaniem pod względem wymiany ładunku termodynamicznego. Znacznie lepsze napełnianie silnika zapewniają zawory obrotowe, które dotychczas, z powodu szeregu trudności w ich wykonaniu i eksploatacji, nie znalazły szerszego zastosowania. Historia techniki zna wiele, bardziej lub mniej udanych, niekonwencjonalnych rozwiązań silników spalinowych. Przy wykorzystaniu osiągnięć współczesnej inżynierii materiałowej oraz wyrafinowanej technologii produkcji niemożliwe wczoraj, stają się dzisiaj bardzo realne [4].

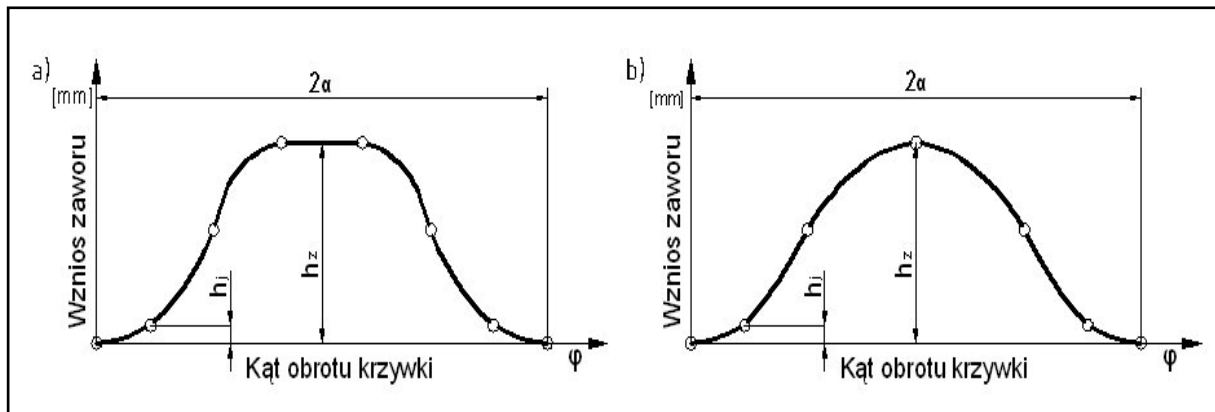
2. RODZAJE ROZWIĄZAŃ MECHANIZMÓW ROZRZĄDU

Rozrząd jest charakterystycznym dla silnika czterosurowego zespołem mechanizmów sterujących dolotem ładunku i wylotem spalin. Istnieją dwa podstawowe rodzaje rozrządu: zaworowy i suwakowy. W rozrządzie suwakowym sterowanie wymiany ładunku cylindra dokonywane jest suwakiem walcowym, stożkowym, kulistym lub przesuwными tulejami umieszczonymi między tłokiem a cylindrem. Pomimo wielu zalet, takich jak: lepsze napełnienie, zwarta budowa silnika, cicha praca — trudności konstrukcyjne, zwłaszcza uszczelnienie elementów suwaka, spowodowały zaniechanie stosowania tego rozwiązania. Aktualnie produkowane silniki czterosurowe wyposażone są zazwyczaj w rozrząd zaworowy [2].

2.1. Rozrząd krzywkowy

W klasycznym systemie rozrządu zawory grzybkowe poruszane są przez krzywki, które wymuszają liniowy ruch zaworu. Ruch powrotny zaworu zapewniają sprężyny zaworowe lub odpowiednio wyprofilowane dodatkowe krzywki (układ desmodromiczny).

W celu przeprowadzenia ogólnej analizy pracy krzywki i ruchu zaworu sporządza się teoretyczny wykres wzniosów zaworu (lub popychacza) w zależności od kąta obrotu wału korbowego (rys.1).



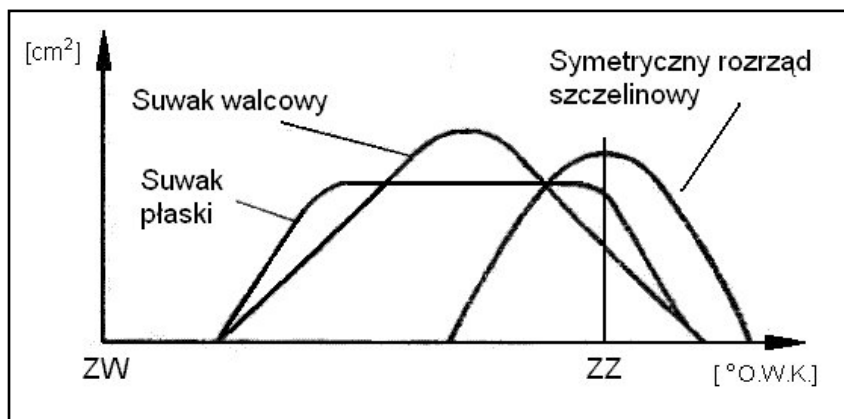
Rys. 1. Wykresy wzniosów zaworu w funkcji kąta obrotu krzywki. a) wykres teoretyczny (pożyczony)
b) wykres rzeczywisty dla krzywek o dowolnym promieniu wierzchołkowym
 h_z - wznios zaworu
 h_j - wznios popychacza większy od maksymalnego luzu zaworowego [5]

Teoretyczna, najbardziej optymalna pod względem sprawności wolumetrycznej, charakterystyka wzniosu zaworu nie jest możliwa do osiągnięcia przez krzywkowy układ rozrządu, niezależnie od zastosowanych, nawet najbardziej zaawansowanych technicznie, mechanizmów wspomagających.

2.2. Rozrząd z zaworem obrotowym

Zawór obrotowy występuje w różnych postaciach, tj. tarczy, walca, stożka czy kuli. Jest różnie usytuowany w silniku: na szczycie głowicy, z boku, na ścianie głowicy oraz równoległe bądź prostopadle w stosunku do osi cylindra. Napędzany jest on od wału korbowego przekładniami łańcuchowymi, pasowymi czy wałkami królewskimi. Rotor najczęściej obraca się z prędkością dwukrotnie mniejszą w stosunku do obrotów wału korbowego – analogicznie do klasycznego wałka krzywkowego rozrządu zaworowego. Spotykane są też koncepcje, w których element otwierający i zamykający okna w głowicy wykonuje ruch wahadłowy oraz okresowo zmienny.

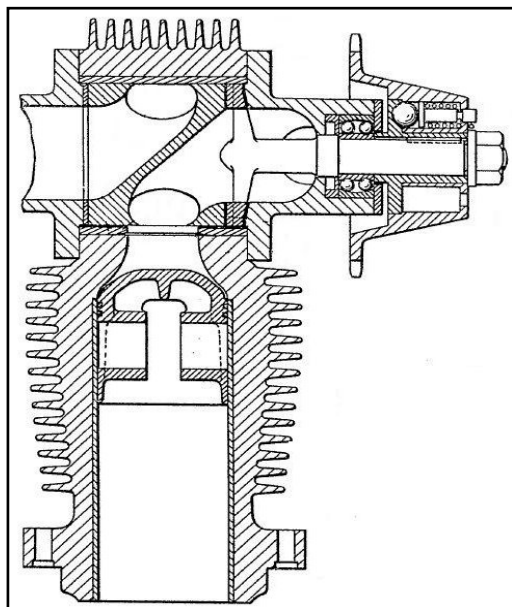
Suwak talerzowy, podobnie jak rotor w kształcie stożka czy sfery, zapewnia najbliższą optymalnej charakterystykę otwarcia kanałów w głowicy (rys.2.). Zawór obrotowy dynamicznie otwiera kanały ssący i wydechowy, zapewniając maksymalne pole przekroju poprzecznego gniazda przez długi okres czasu w funkcji obrotu wału korbowego. Ponadto, zawór obrotowy nie stawia na drodze ładunkowi termodynamicznemu takich oporów jak w przypadku rozrządu konwencjonalnego, w którym przekrój poprzeczny gniazda zaworowego ograniczany jest zaworem grzybowym. Jest to równoznaczne ze znakomitą sprawnością wolumetryczną tego typu zaworu, przewyższającą nawet najbardziej wyrafinowane konstrukcje klasycznego układu krzywkowego.



Rys.2. Przekroje czasowe kanałów dolotowych w zależności od sposobu sterowania dopływu mieszanki na przykładzie silnika dwusuwowego [3]

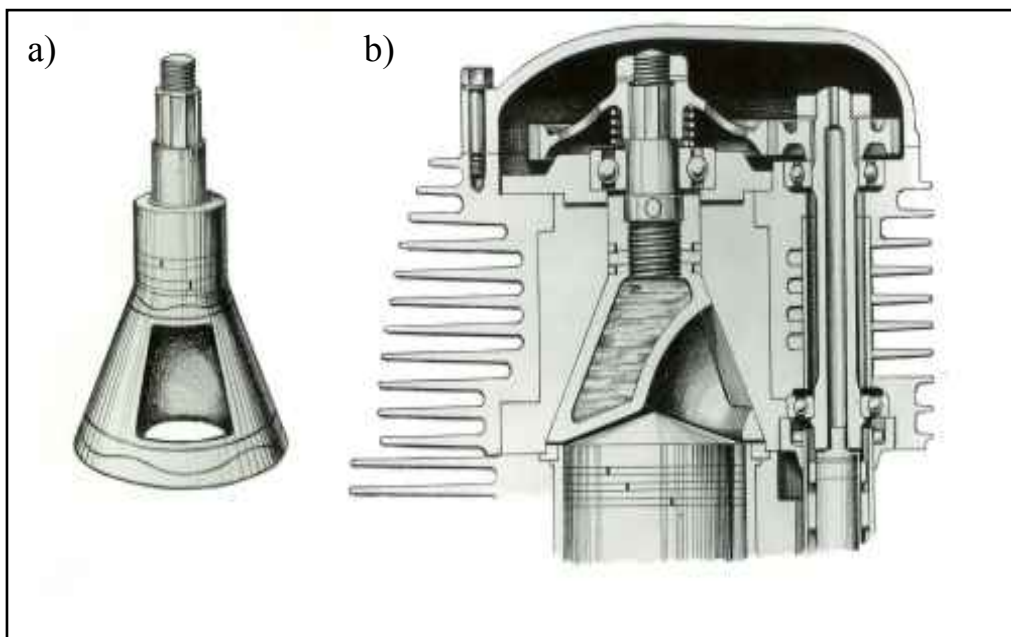
Jedną z poważniejszych wad rozrządu zaworowego są masy poruszające się w ruchu postępowo – zwrotnym, wywierające znaczne obciążenia na podzespoły silnika. Wynikające z tego znaczne siły bezwładności ograniczają możliwości dynamiczne silnika. Wszelkie próby zmniejszania mas w ruchu postępowo-zwrotnym okupione są znacznymi nakładami kosztów, nie eliminując jednoznacznie powyższego problemu.

Najbardziej znanymi produkowanymi małoseryjnie silnikami ze stawidłem obrotowym w systemie rozrządu były jednostki napędowe firm Cross i Aspin. Firma Cross produkowała kilka odmian najczęściej motocyklowych jednocylindrowych czterosuwowych silników spalinowych z walcowym zaworem obrotowym o przepływie osiowo-promieniowym. Zawór obrotowy umieszczony był na szczycie głowicy i napędzany od wału korbowego przekładnią łańcuchową (rys.3.).



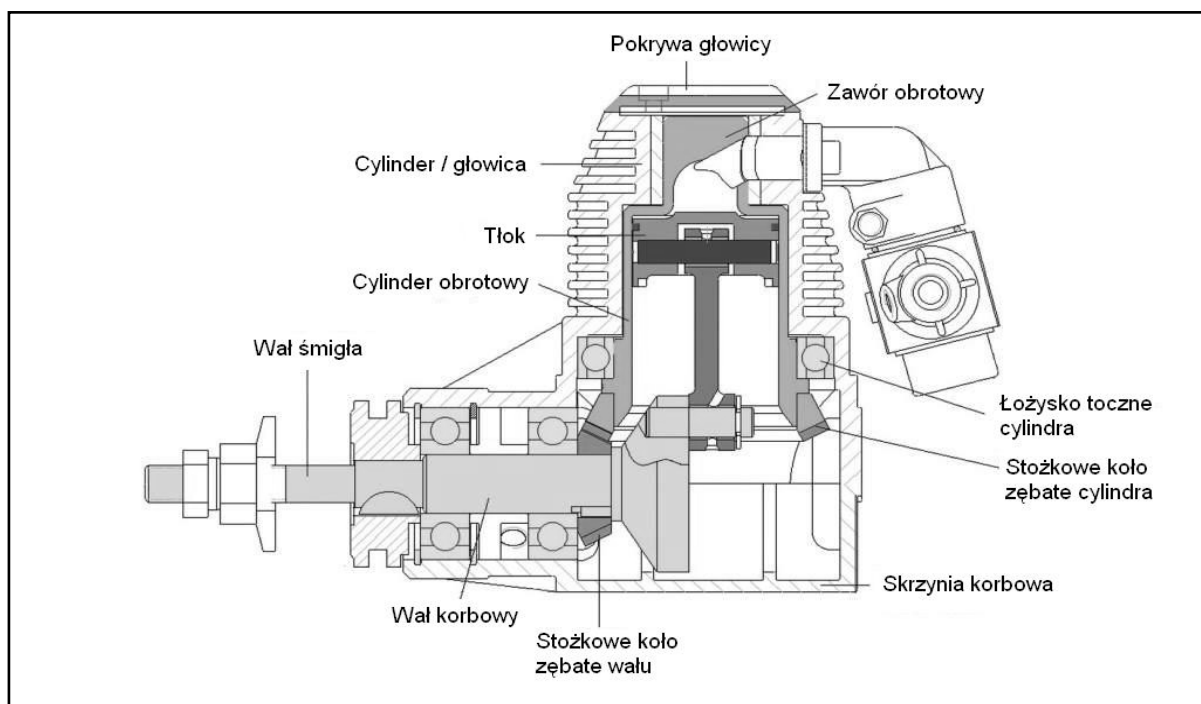
Rys.3. Jednocylindrowy silnik Cross [6]

Silniki Aspin wykorzystywały zawór obrotowy w postaci stożkowej, umieszczony pionowo w głowicy, zamykający od góry komorę spalania. Zawór tego typu występował także w wersji wydrążonej i chłodzonej cieczą (rys.4). Napęd rotora realizowany był najczęściej wałkiem królewskim. Silniki z tym typem zaworu obrotowego produkowane były seryjnie w wersjach motocyklowych, w jednostkach przeznaczonych do samochodów osobowych i ciężarowych oraz lekkich samolotów.



Rys. 4. Głowica silnika Aspin : a) zawór obrotowy chłodzony cieczą, b) układ smarowania i uszczelnienia zaworu obrotowego [1]

Interesującą koncepcję zaworu obrotowego wdrożyła do seryjnej produkcji firma RCV, specjalizująca się w miniaturowych silnikach modelarskich. W tej konstrukcji zawór obrotowy to jednocześnie tuleja cylindrowa, napędzana przekładnią kątową bezpośrednio od wału korbowego w stosunku 1:2 (rys.5).



Rys.5. Przekrój modelarskiego silnika ZI marki RCV [7]

Firma Coates produkuje zaawansowaną technologicznie głowicę ze sferycznymi zaworami obrotowymi umieszczonymi prostopadle do osi cylindra. Układ zaworowy zbudowany został z wykorzystaniem pokryć ceramicznych. Producent podaje, że ta głowica w ogóle nie potrzebuje smarowania (rys.6).

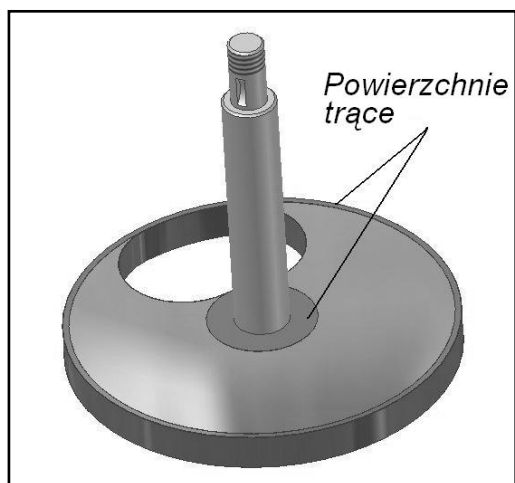


Rys.6. Głowica 4-suwowego 4 cylindrowego rzędownego silnika ZI ze sferycznymi zaworami obrotowymi firmy Coates [8]

Coates wyposaża swoje głowice w dwa sferyczne zawory obrotowe na każdy cylinder, umieszczone na osobnych wałkach i napędzane od wału korbowego przekładnią 1:2. Kanały dolotowe znajdują się w górnej części poziomo i symetrycznie zarazem dzielonej głowicy, natomiast kanały wylotowe w dolnej części głowicy. Całość stanowi bardzo zwarty zespół z małą ilością części. Dodatkowym atutem jest minimalna tylko potrzeba przeróbek tradycyjnych silników z rozrzędem OHC i DOHC w celu zamontowania głowicy Coates.

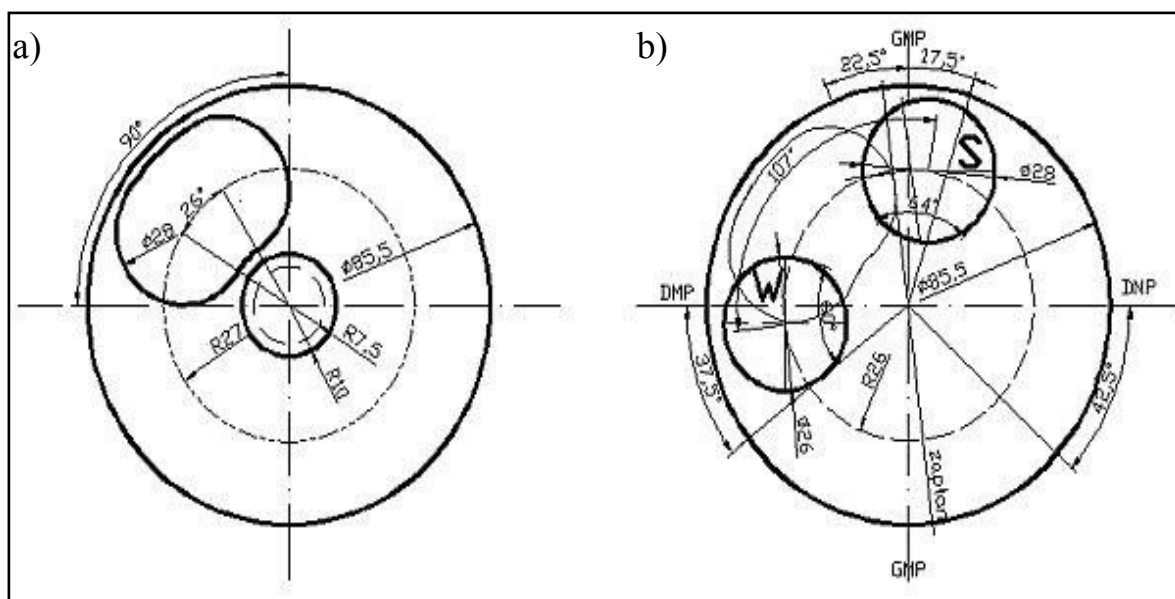
3. KONCEPCJA AUTORSKA GŁOWICY Z ZAWOREM OBROTOWYM

W tym rozwiązaniu zawór ma postać talerza z otworem, który steruje otwarciem i zamknięciem kanałów w głowicy oraz odsłania w odpowiednim momencie świecę zapłonową (rys.7). Rotor napędzany jest od wału korbowego przekładnią łańcuchową i stożkową.



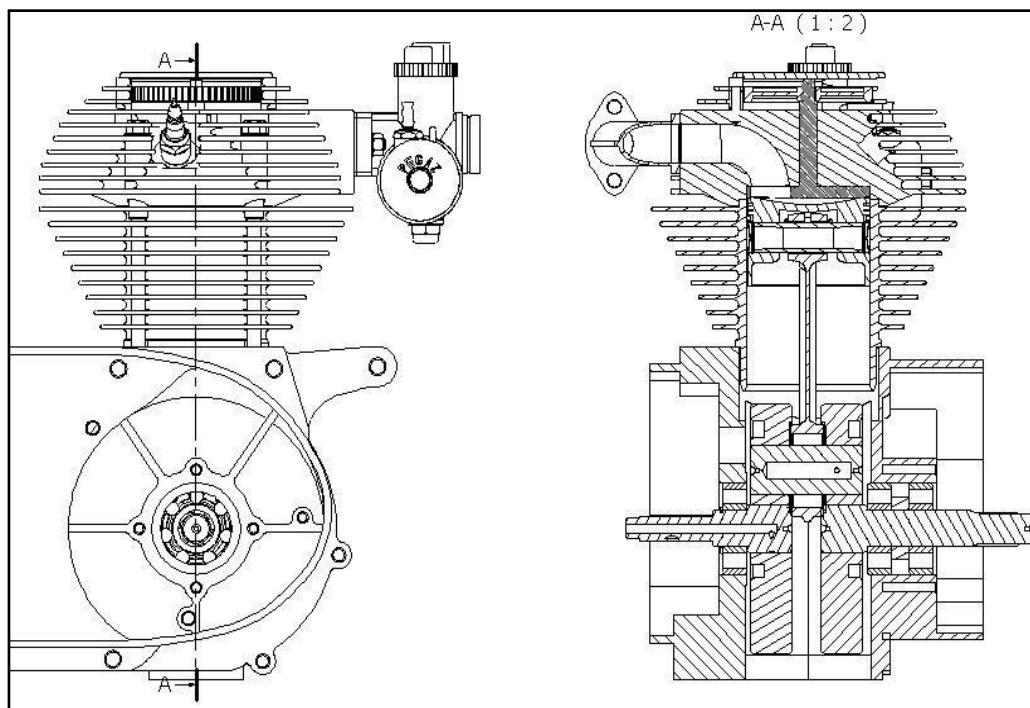
Rys.7. Zawór obrotowy [4]

Głowica jest odlana z materiału AK52. Gniazdo zaworu obrotowego pokryte jest warstwą zmniejszającą współczynnik tarcia (na bazie dwusiarczku molibdenu). Rotor został wykonany ze stali stopowej, ulepszany cieplnie, łożyskowany w głowicy na tulejach brązowych, smarowany ciśnieniowo olejem silnikowym w układzie zamkniętym.



Rys.8. Zawór płaski silnika 4-suwowego. a) wymiary rotora; b) wymiary komory spalania [4]

Powierzchnia trąca zaworu zmniejszona jest do minimum (rys.8). Od strony współpracującej z głowicą zawór nie jest idealnie płaski – posiada kształt stożkowy o bardzo dużym kącie pomiędzy tworzącymi. Komora spalania znajduje się we wklęsłym denku tłoka (rys. 9). Średnica cylindra wynosi 85,5 mm, skok tłoka 79mm. Średnica gniazda ssącego ma wymiar 28mm, wydechowego 26mm. Zasilanie: gaźnik, benzyna 95LO. Dynamiczny stopień sprężania wynosi 14:1 [4].



Rys.9. Przekrój poprzeczny silnika czterosuwowego z płaskim zaworem obrotowym umieszczonym w głowicy, w osi cylindra

4. ZALETY I WADY ROZRZĄDU Z ZAWOREM OBROTOWYM

Zastosowanie zaworów obrotowych do sterowania wymiany ładunku w silnikach czterosurowych nastrocza niewątpliwie liczne trudności konstrukcyjne, ale umożliwia uzyskanie znacznych korzyści. Układy takie wymagają bardzo dokładnego uszczelnienia części obrotowych, opanowania zagadnień pasowań (zwłaszcza w przypadku rotorów stożkowych) oraz rozszerzalności cieplnej, chłodzenia i smarowania. Poprawna konstrukcja umożliwia jednak uzyskanie wysokich osiągnięć [3].

Konstrukcje takie z powodzeniem wykorzystywane były w próbach bicia rekordów prędkości oraz, w małych seriach, w pojazdach użytkowych. Użycie zaworów obrotowych umożliwia stosowanie dużych i bardzo dużych prędkości obrotowych silników (> 16 000 obr/min). Uniknięcie detonacji przy dużych stopniach sprężania ułatwia szczególna właściwość układu: mieszanka podczas spalania nie ulega samozapłonowi detonacyjnemu, gdyż w komorze spalania nie ma kontaktu z takimi, znacznie nagrzewającymi się elementami, jak zawór wylotowy lub świeca zapłonowa. Niezaprzeczalną zaletą tego systemu rozrządu jest również możliwość uzyskania znacznych stopni napełniania cylindra świeżą mieszanką, cichobieżność mechanizmu wykonującego zazwyczaj tylko ruch obrotowy oraz zwartość całej konstrukcji. Ponadto, w przypadku awarii układu napędu rozrządu, głowica z zaworem obrotowym w znakomitej części eliminuje ryzyko poważnej awarii silnika, z racji swej bezkolizyjności z układem korbowo-tłokowym [3]. Rozrząd z zaworem obrotowym nie posiada części będących w ruchu posuwisto-zwrotnym, które są przyczyną powstawania znacznych obciążeń mechanicznych dla silnika, generujących hałas, dlatego szybkobieżność i cichobieżność to dodatkowe atuty tego rozwiązania.

Ten system rozrządu, pomimo swoich niezaprzeczalnych zalet, jak do tej pory nie zaistniał znacząco na rynku motoryzacyjnym. Kłopoty z właściwym smarowaniem i uszczelnieniem rotorów spowodowały zaniechanie produkcji wielu teoretycznie dobrych projektów. Konstruktorzy potrafili zbudować niezawodny silnik czterosurowy, wyposażony w głowicę z zaworem obrotowym, który jednak cechował się dosyć dużym zużyciem oleju. Ta wada była nie do przyjęcia przez przemysł motoryzacyjny.

Korzystając z najnowszych osiągnięć materiałoznawstwa, tribologii i inżynierii powierzchni, coraz realniejszym staje się opracowanie seryjnej głowicy z wirującym zaworem dla silnika realizującego obieg czterosurowy.

Należy wspomnieć o jeszcze jednej, bardzo istotnej rzeczy. Stosowane obecnie układy rozrządu doprowadzone zostały nieomal do doskonałości technicznej, zapewniając realizację wymaganego, w chwili obecnej, procesu wymiany ładunku. Nastąpiło to, niestety, kosztem ich znacznego rozbudowania. Zawierają one bowiem wiele ruchomych części, które biorąc udział w przenoszeniu napędu od wału korbowego do zaworów znacznie komplikują konstrukcję silnika i powodują straty energii oraz duże obciążenia mechaniczne.

Głowica z zaworem obrotowym posiada zdecydowanie mniej części składowych od głowicy klasycznej z zaworami grzybkowymi i krzywkami rozrządu. Dzięki temu jest realnie tańsza w produkcji, co rzutuje bezpośrednio na cenę gotowego wyrobu i niską energochłonność jego wykonania [4].

LITERATURA

- [1] Hunter M.C.I.: Rotary Valve Engines. Mechanical Engineering Publications, New York, 1975.
- [2] Klimecki Z.: Motocykle. WKiŁ, Warszawa 1974.
- [3] Kordziński Cz., Pogorzelski J.: Małe silniki spalinowe. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [4] Kuśnierz T.: Praca Magisterska: Niekonwencjonalny rozrząd silników spalinowych. Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2007.
- [5] Wajand A., Wajand T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe. WN-T, Warszawa 1993.
- [6] <http://www.isdm.co.uk/aspin/index.htm>
- [7] <http://www.rcvengines.com/>
- [7] <http://www.coatesengine.com/index.html>

UNUSUAL VALVE SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

In this paper are presented some unusual solutions of valve system for spark ignition reciprocating internal combustion engines. Their functionality was also characterized in the aspect of disadvantages and advantages, and presented the solutions of the head with the rotary valve.