

Optymalna regulacja silników żarowych

MARCIN KRUGŁY

Niniejszy artykuł jest próbą ujęcia podstawowych pojęć i zasad dotyczących ustawień silnika żarowego. Z racji faktu, iż moje zainteresowania koncentrują się wokół modeli śmigłowców, przytaczane przykłady regulacji będą ich w szczególności dotyczyć. Ogólne zasady są jednak identyczne niezależnie od zastosowania. Postaram się zatem, aby każdy znalazł coś dla siebie.

Podstawowe definicje

Jakkolwiek istnieje wiele marek, rozmiarów i typów silników, każdy z własnym gaźnikiem, procedury ich regulacji są bardzo zbliżone. Spalanie w silniku tłokowym nie jest natychmiastowym, wybuchowym procesem. Spalanie mieszanki wymaga czasu. Maksymalne osiągi uzyskiwane są, gdy mieszanka paliwowo-powietrzna zapalana jest przed górnym punktem zwrotnym (GPZ) (z ang. „Top Dead Centre” (TDC)), a maksymalne ciśnienie w cylindrze występuje tuż po GPZ. Jest to ustawienie optymalne (rys. 1). Regulacja punktu (momentu) zapłonu ma na celu eksperymentalne uzyskanie tej optymalnej konfiguracji. W modelach samolotów definiuje się ją jako najwyższe osiągalne, stabilne obroty dla danego rozmiaru śmigła. W śmigłowcach sprawa nie jest taka oczywista, ale sprowadza się do tego samego zadania – uzyskania maksymalnej mocy bez przegrzewania i mechanicznego obciążania silnika.

Mieszanka bogata – odpowiednia lub nadmierna ilość paliwa. Mieszanke „wzbogaca” się przez odkręcanie iglicy w lewo (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara).

Mieszanka uboga – mała ilość paliwa. Mieszanke „zubaża” się przez dokręcanie iglicy w prawo (zgodnie z ruchem wskazówek zegara).

Punkt zapłonu – zapłon pojawia się pod koniec suwu sprężania. Przyjmuje się, że gdy zaczyna się zapłon, kończy się sprężanie (rys. 1). Jest kilka zmiennych, które mają wpływ na to, czy punkt zapłonu pojawia się wcześniej (przyspiesza), czy też później (opóźnia się). Na przykład mieszanka uboga zapala się wcześniej od mieszanki bogatej, co prowadzi do przyspieszenia zapłonu. Przez przyspieszenie/opóźnienie punktu zapłonu w silniku żarowym określa się ustawienie optymalne! Punkt zapłonu został przedstawiony graficznie na rys. 2.

Regulacja punktu zapłonu

W przeciwieństwie do silników iskrowych dokładne określenie punktu zapłonu silnika żarowego jest trudne bez wyrafinowanych i drogiej urządzeń pomiarowych. Na szczęście dla użytkowników można to zrobić w sposób pośredni. Podstawowymi narzędziami są w tym przypadku obrotomierz i termometr. Jak wspomniałem wcześniej, sprawa jest zdecydowanie bardziej oczywista przy regulacji silnika w modelu samolotu niż w śmigłowcu. Wynika to z faktu, że regulację mieszanki za pomocą iglicy wysokich obrotów przeprowadza się dla pełnego otwarcia przepustnicy. W samolocie, który można zaprzec na przykład za sterami, uzyskanie obrotów dla pełnego otwarcia przepustnicy jest proste. W śmigłowcu to jednak operacja ryzykowna, wymagająca utwierdzenia go do podłoża i to najlepiej na stanowisku znajdującym się na tyle wysoko, aby wyeliminować tzw. „efekt ziemi”. Z tego powodu procedura regulacji śmigłowca będzie odmienna, jakkolwiek cel ten sam.

Poniżej wymienione zostały według przybliżonej wagi parametry wpływające na punkt zapłonu silnika żarowego:

- ustawienie iglicy wysokich obrotów
- chłodzenie
- stopień sprężania

- zawartość nitrometanu (paliwo)
- obciążenie (od śmigła lub wirnika)
- ciepota świecy żarowej
- typ i zawartość oleju (paliwo)

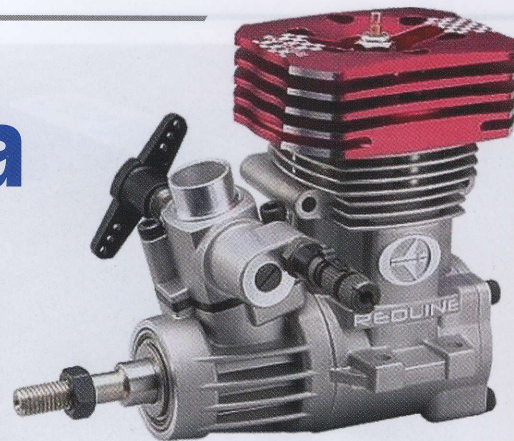
Ustawienie iglicy wysokich obrotów

Regulacja położenia iglicy wysokich obrotów (z ang. „Needle valve”) jest najważniejszym z przeprowadzanych ustawień. Celem jest osiągnięcie stanu, w którym silnik pracuje nieco „bogato”. Ponownie odwołam się do przykładu samolotowego. Standardowa procedura to ustawienie maksymalnych obrotów dla pełnego otwarcia przepustnicy, a następnie odkręcenie iglicy (wzbogacenie mieszanki) tak, aby spadek obrotów znalazł się w przedziale 100-200 obr./min (fot. 1). Zbyt ubogie ustawienie mieszanki doprowadzi do wzrostu temperatury spalania, a w efekcie do przyspieszenia punktu zapłonu. Konsekwencją będzie przegrzanie, defekty spalania i związane z nimi obciążenie mechaniczne silnika. Z kolei ustawienie za bogate opóźni zapłon powodując nieefektywne spalanie i zbyt późne występowanie wzrostu ciśnienia, prowadząc do obniżenia uzyskiwanej z silnika mocy.

Zrozumienie spadku mocy i wzrostu obciążenia mechanicznego ułatwia rys. 1: im bardziej zapłon przyspieszy względem ustawienia optymalnego, tym bardziej na lewo będzie przesuwany się maksymalny wzrost ciśnienia. Przesunięcie pik ciśnienia poza linię GPZ tłoka oznacza, że tłok musi nie tylko sprężyć powietrze, ale również pokonać występujące przedwcześnie ciśnienie gazów powstających w wyniku spalania mieszanki. Taka sytuacja prowadzi do spadku mocy oraz dodatkowo obciąża układ korbowy, a w konsekwencji skracając żywotność silnika. Jeśli pik ciśnienia odsuwa się zbyt na prawo od GPZ tłoka, praca gazów nad tłokiem wykonywana jest na skróconej drodze, co również skutkuje spadkiem mocy oraz wzrostem temperatury wynikającym z wydalania palącej się mieszanki do wydechu.

Chłodzenie

Silniki żarowe chłodzone są nie tylko powietrzem, ale również przepływającym przez nie



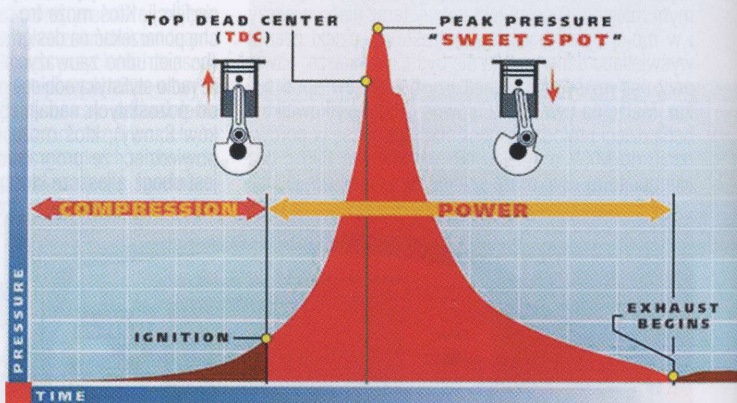
paliwem. Paliwo odparowujące w komorze korbowej i komorze sprężania pomaga utrzymać temperaturę silnika w odpowiednim zakresie. Bardzo bogate ustawienie mieszanki zapewni, że silnik nie będzie się przegrzewał, ale, jak wspomniałem wyżej, kosztem efektywnego spalania. Jednak, gdy iglica wysokich obrotów zostanie ustawiona w celu otrzymania maksymalnych osiągnięć, przepływ powietrza przez uźebrowanie silnika jest konieczny.

Jeśli chłodzenie jest niewystarczające, temperatura przekracza dopuszczalny zakres, a zapłon i spalanie rozpoczynają się wcześniej (przyspieszają). Prowadzi to do przegrzania i związanego z nim spadku mocy.

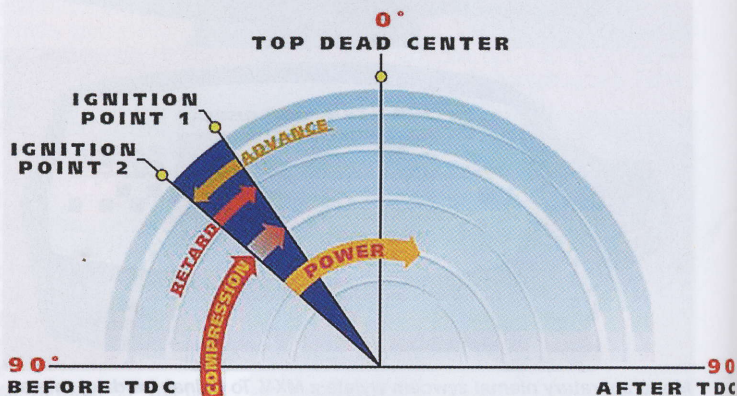
Jeśli temperatura głowicy cylindra jest zbyt niska, co ma często miejsce w warunkach zimowych, punkt zapłonu i spalanie opóźniają się, prowadząc do pogorszenia spalania i spadku mocy. Sytuacja taka jest również niebezpieczna dla silników bezpierscieniowych (uzyskujących szczelność pomiędzy tłokiem a cylindrem po osiągnięciu przez silnik odpowiedniej temperatury pracy) i może doprowadzić do ich przedwczesnego zużycia.

Stopień sprężania

Stopień sprężania silnika definiowany jest jako stosunek objętości cylindra przed rozpoczęciem sprężania do objętości po osiągnięciu przez tłok GPZ. Gdy stopień sprężania jest podnoszony, mieszanka paliwowo-



Rys. 1. Krzywa ciśnienia działającego w cylindrze. Punkt zapłonu występuje przed GPZ tłoka, podczas gdy najwyższa wartość ciśnienia osiąga maksimum tuż za GPZ.



Rys. 2. Gdy punkt zapłonu oddala się od GPZ, mówi się o przyspieszeniu zapłonu. Gdy punkt zapłonu zbliża się do GPZ, występuje opóźnienie zapłonu.



1
W samolotach, posługując się obrotomierzem, iglicę należy ustawić tak, aby przy pełnym otwarciu przepustnicy obroty spadły o 100-200 obr./min względem wartości maksymalnej

-powietrzna jest ściskana przed zapłonem do mniejszej objętości, co prowadzi do zwiększonego wydzielania ciepła przy spalaniu. Wyższe stopnie sprężania (w pewnych granicach) pozwalają podnieść ciśnienie wewnątrz cylindra, co przekłada się na polepszenie uzyskiwanego momentu i mocy.

Podniesienie stopnia sprężania przyspiesza punkt zapłonu; obniżenie go powoduje, że zapłon następuje później. Typową metodą zwiększania bądź obniżania stopnia sprężania jest wymiana podkładek znajdujących się pod głowicą cylindra (fot. 2). Usunięcie podkładki powoduje zwiększenie stopnia sprężania. Po dodaniu podkładki stopień sprężania zostaje obniżony.

Zmiana stopnia sprężania silnika jest rozwiązaniem dość radykalnym. Z tego względu należy ją stosować wyłącznie przy znacznych zmianach w wysokości, warunkach atmosferycznych lub udziale nitrometanu w paliwie.

Zawartość nitrometanu

Nitrometan jest dodatkiem zwiększającym moc i stabilność pracy silnika. Może on pomóc zrekompensować spadek mocy wynikający ze zmiany w wysokości, gdyż zawiera własne molekuly tlenu, które są uwalniane podczas spalania. Z drugiej strony ten dodatkowy tlen wprowadzany przez nitrometan powoduje zubożenie mieszanki dla danego ustawienia iglicy, gdy przechodzimy na zastosowanie w naszym silniku paliwa o większej zawartości „nitro”. Dlatego właśnie przy zmianie udziału „nitro” w paliwie trzeba wzbogacać mieszankę, zyskując polepszone smarowanie i często obniżenie temperatury pracy silnika. Warto zwrócić uwagę, że zwiększanie ilości nitrometanu w paliwie skraca czas lotu możliwy do uzyskania na zbiorniku paliwa.

W modelach latających najczęściej stosuje się paliwa z dodatkiem do 30% nitrometanu. Ponieważ nitrometan spala się bardzo wolno spalanie musi zostać przyspieszone, aby otrzymać optymalny wzrost ciśnienia tuż za GPZ tłoka. Z jednej strony samo zwiększenie udziału „nitro” w paliwie powoduje przyspieszenie punktu zapłonu. Z drugiej zmiana udziału nitro często wymusza konieczność dostosowania innych zmiennych, jak stopień sprężania czy ciepłota świecy

żarowej. Przykładowo, chcąc zastosować w silniku paliwo z większą ilością nitrometanu może okazać się konieczne obniżenie jego stopnia sprężania, w celu uniknięcia spalania detonacyjnego. Jeśli jednak stopień sprężania silnika jest zbyt niski dla paliwa aktualnie stosowanego, zastosowanie paliwa z większym udziałem „nitro” przyspieszy proces spalania i może pomóc w uzyskaniu większej mocy przy jednoczesnym obniżeniu temperatury silnika.

Obciążenie

Duża średnica i/lub skok śmigła w samolocie oraz większa długość i/lub skok łopaty w śmigłowcu powodują zwiększenie obciążenia silnika, który uzyskuje niższe obroty dla danego otwarcia przepustnicy. Mniejsza prędkość obrotowa pozwala z kolei na efektywniejsze sprężanie i zwiększone wydzielanie ciepła z mieszanki. Przy zmniejszaniu obciążenia zachodzi zależność odwrotna – silnik obraca się szybciej, co powoduje zmniejszenie stopnia sprężania i wydzielania ciepła.

Zwiększanie obciążenia (np. rozmiaru śmigła w samolocie lub skoku w śmigłowcu) powoduje przyspieszenie zapłonu. Zmniejszenie obciążenia powoduje, że zapłon opóźnia się. Gdy silnik znajduje się blisko ustawienia optymalnego, wystarczająca może okazać się szybka wymiana śmigła (samolot) lub korekta skoku (śmigłowiec).

Ciepłota świecy żarowej

Jak wspomniałem we wstępie, świece żarowe zostały bardzo dokładnie omówione w numerach 10-11/2008 w artykule zatytułowanym „Wszystko (prawie) o świecach żarowych”. Tutaj pokrótce przypomnę tylko ich funkcje i podstawowe pojęcia z nimi związane.

Świeca żarowa spełnia dwa zasadnicze zadania – umożliwia uruchomienie silnika i podtrzymuje jego pracę. Przepływ prądu elektrycznego o niskim napięciu przez żarnik świecy powoduje jego znaczne rozgrzanie i świecenie na biało-pomarańczowy kolor. Przy obecności w komorze spalania mieszanki paliwowo-powietrznej o właściwym składzie, żarząca się świeca umożliwia uruchomienie silnika. Po usunięciu źródła prądu żarzenie jest podtrzymywane przez pracujący silnik, co zapewnia zapłon kolejnych porcji mieszanki.

Świeca żarowa działa w efekcie połączenia reakcji katalitycznej, wydzielania ciepła przy sprężaniu i zdolności przenoszenia porcji ciepła z cyklu do cyklu. Gdy rozgrzany, spiralny żarnik świecy wykonany ze stopu platyny wchodzi w kontakt z oparami zawartego w paliwie alkoholu metylowego, zachodzi reakcja katalityczna, w wyniku której wydzielane jest ciepło. Następnie temperatura żarnika jest podnoszona poprzez sprężanie mieszanki paliwowo-powietrznej. Po zapłonie mieszanki porcja powstałego w wyniku spalania ciepła przenoszona jest przez żarnik do następnego cyklu i opisany proces zachodzi ponownie.

Świece żarowe są produkowane w różnych ciepłotach – od „gorących”, przez „średnie” do „zimnych”. Czynniki wpływające na ciepłotę świecy jest bardzo wiele. Najważniejsze jest jednak, aby zapamiętać, że świece „gorące” przyspieszają punkt zapłonu, podczas gdy „zimne” powodują jego opóźnienie.

Typ i zawartość oleju

Jak wspomniałem wyżej, zawartość nitrometanu w paliwie odgrywa znaczącą rolę w osiąganiu optymalnego ustawienia silnika. Nie jest to jednak jedyny czynnik związany z paliwem – drugim jest zawartość i rodzaj oleju w paliwie.

W większości zastosowań objętościowa zawartość oleju w paliwie waha się w przedziale 15-22%. Ponieważ olej musi być ogrzewany wraz z innymi składnikami paliwa, to ma wpływ na punkt zapłonu. Paliwo z większą procentową zawartością oleju wymaga więcej ciepła/ czasu do ogrzania, co opóźnia zapłon. Mniejsza zawartość oleju wywołuje oczywiście efekt przeciwny, przyspieszając punkt zapłonu.

Na punkt zapłonu ma również wpływ typ stosowanego oleju. Oleje syntetyczne są zwykle łatwiejsze do ogrzania od olejów naturalnych,

UWAGA SPALANIE DETONACYJNE!

Wysokie stopnie sprężania są bezpośrednio związane ze spalaniem detonacyjnym – prowadzącym do uszkodzenia silnika defektem spalania, którego należy unikać. Prowadzi ono do wybuchowego spalania mieszanki, często przed osiągnięciem przez tłok GPZ, co obciąża układ korbowy. Spalanie detonacyjne wywołuje również bardzo dużą prędkość przemieszczania się płomienia powodując lokalne piki ciśnienia i temperatury prowadzące do uszkodzeń tłoka i/lub głowicy cylindra.



4
Przyłożenie do żarnika świecy prądu elektrycznego o niskim napięciu powoduje jego żarzenie na pomarańczowo-biały kolor



3
Oferowane na rynku paliwa mają różną zawartość nitrometanu i proporcji/rodzaju oleju. Więcej „nitro” w paliwie zawsze oznacza jednak wyższą cenę!

takich jak olej rycynowy. Dla paliw zawierających równy udział procentowy oleju, paliwo z olejem syntetycznym będzie zapalać się szybciej od tego z olejem rycynowym.

PS. Przy pisaniu tego artykułu wykorzystywałem tekst „How to tune your engine” autorstwa Dave’a Gierke.

Słowniczek pojęć:

- advance – przyspieszać
- before/after – przed/za
- compression – sprężanie
- exhaust begins – początek wydechu
- ignition – zapłon
- needle valve – iglica wysokich obrotów
- peak pressure – maksymalne ciśnienie
- power – moc
- retard – opóźniać
- sweet spot – ustawienie optymalne
- Top Dead Centre (TDC) – Górny Punkt Zwrotny (GPZ)



2
Usunięcie podkładki pod głowicą zwiększa stopień sprężania. Dodanie podkładki zmniejsza stopień sprężania.