

Int. STANISŁAW OLSZEWSKI
i inż, CEZARY JUNOSZA-STĘPOWSKI

SILNIKI LOTNICZE

TERMODYNAMIKA
POMIARY MOCY
I ZUŻYCIA PALIWA

ODBITKA Z „PRZEGLĄDU LOTNICZEGO” N2 JTB 9, 10 i 11

W A R S Z A W A
WYDANE NAKŁADEM ZARZĄDU GŁÓWNEGO
LIGI OBRONY POWIETRZNEJ I PRZECIWGAZOWEJ
19 3 0



01887

Drukarnia Mazowiecka, Warszawa, Szpitalna L

Brak w polskiej literaturze technicznej książki o termodynamicznych warunkach pracy silnika lotniczego i o pomiarach jego mocy skłonił nas do niewyczerpującego wprowadzie, lecz możliwie zwięzłego i przystępnego opracowania tego tematu.

Ukazanie się naszej skromnej pracy w postaci książkowej całkowicie zawdzięczamy zajęciu się i poparciu tej sprawy przez Zarząd Główny L. O. P. P. oraz Redakcję i Administrację „Przeglądu Lotniczego”, którym na tem miejscu wyrażamy nasze podziękowanie za ich obywatelskie i przychylne stanowisko.

Panom profesorom K. Taylorowi i B. Stefanowskiemu za łaskawe i życzliwe przejrzanie książki oraz cenne uwagi również serdeczne składamy podziękowanie, stanowiące miły dla nas, jako Ich byłych uczniów, obowiązek.

O ile praca nasza choć trochę zdoła przyczynić się do krzewienia wiedzy lotniczej, będzie to dla nas wyczerpującem moralnem zadośćuczynieniem.

AUTOROWIE.

Warszawa, w grudniu 1929 r.

L ISTOTA SILNIKA. ZASADA 4-ro SUWU,

Silnikiem nazywamy maszynę do przetwarzania dowolnego rodzaju energii na energię kinetyczną, inaczej energię ruchu.

Silnik lotniczy należy do rzędu silników spalinowych, w których energia cieplna, otrzymana po spaleniu mieszanki pary benzyny z powietrzem, przygotowanej w specjalnym przyrządzie, zwanym gaźnikiem, zamienia się za pośrednictwem rozszerzających się w cylindrze silnika gazów spalinowych na energię obracającego się wału.

Schemat budowy i działania silnika przedstawiony jest na rys. 1—4.

Istotną część silnika stanowi stalowy cylinder, w którym znajduje się poruszający się w nim tłok, uszczelniony do gładzi cylindrowej, i zapomocą korbowodu połączony z korbą wału. W najwyższym swem położeniu tłok nie dochodzi do denka cylindra, pozostawiając pewną wolną przestrzeń, zwaną przestrzenią dawkową i przeznaczoną do sprężania oraz spalania "w niej dawki mieszanki. Kształt tej przestrzeni bywa rozmaity i ma ogromny wpływ na dobre i dokładne spalanie się sprężonej dawki, a zatem i na wydajność pracy silnika.

Najwyższe i najniższe skrajne położenia tłoka w cylindrze — nazywają się odpowiednio górnym i dolnym zwrotnym punktem (w skrócie G, Z. P, i D. Z. P.), Objętość, zakreślona przez tłok w drodze pomiędzy temi punktami, nosi miano objętości skokowej, zaś długość samej drogi zowie się skokiem tłoka, równym, oczywiście, podwójnemu promieniowi korby.

W komorze dawkowej cylindra znajdują się conajmniej dwa otwory, zamykane i otwierane w odpowiednich momentach przez zawory, a których jeden t, zw, „wlotowy** łączy przestrzeń dawkową z gaźnikiem, drugi zaś „wydechowy” służy do wypuszczania z cylindra gazów spalinyowych po wykonaniu przez nich pracy. Prócz tego w komorze dawkowej znajdują się dwie t zw. „świece”, czyli przyrządy, zaopatrzone w metalowe końcówki, inaczej elektrody, między którymi w odpowiedniej chwili przeskakują iskry prądu elektrycznego o bardzo wysokiem napięciu (do 15.000 volt) — w celu zapalenia sprężonej mieszanki.

Większość nowoczesnych silników lotniczych pracuje według zasady czterosuwu, to znaczy, że obieg termiczny takiego silnika zamyka się podczas czterech skoków, inaczej — suwów tłoka, czyli dwóch obrotów wału korbowego. Rozważmy kolejno poszczególne okresy pracy.

I-szy suw. Zasysanie (rys. 1).

W chwili, gdy tłok zaczyna odchodzić od górnego zwrotnego punktu, otwiera się zawór wlotowy, a wytworzony nad uszczelnionym do cylindra tłokiem spadek ciśnienia wywołuje zasysanie otaczającego powietrza, które, przechodząc przez gaźnik, powoduje rozpylanie się benzyny, miesza się z nią dokładnie i przez rurę

ssącą wypełnia przestrzeń nad tłokiem. Okres ten zwiemy „suwem zasysania” i trwa on, biorąc rzecz teoretycznie, aż do końca suwu, *t* j. do chwili osiągnięcia przez tłok dolnego zwrotnego punktu, a w silnikach rzeczywistych zwykle nieco dłużej.

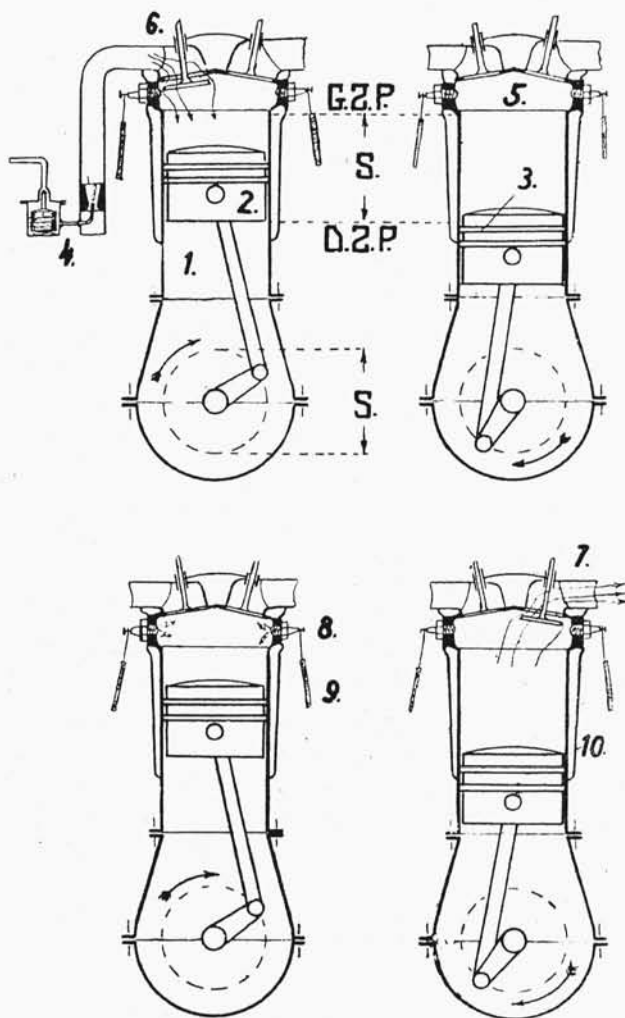
2-gi suw. Sprężanie (rys. 2).

Przy powrotnej drodze tłoka, t. j., od D. Z. P. do dna cylindra, wszystkie zawory są zamknięte, a więc mieszanka, wypełniająca cylinder w postaci t, zw. mgły mieszkankowej, zostaje sprężona przez tłok, zdążający do dna cylindra, Energia mechaniczna, zużyta przez tłok na sprężanie mieszanki, a czerpana z bezwładności obracającego się wału i mas z nim związanych, zamienia się na ciepło, znacznie podnosząc temperaturę wewnątrz cylindra.

Sprężanie mieszanki ma na celu ułatwienie zapłonu, sprzyja dokładnemu i szybkiemu spalaniu mieszanki, oraz łagodzi bieg silnika, amortyzując szarpnięcia wskutek sił bezwładności, występujących w punktach zwrotnych, a szczególnie w chwili mającego zaraz nastąpić „wybuchu” zapalanej mieszanki.

3-ci suw. Zapłon, wybuch, rozprężanie (rys. 3).

W chwili dojścia tłoka do D. Z. P., a w silniku rzeczywistym zwykle nieco wcześniej, następuje zapomocą iskry elektrycznej zapłon sprężonej i gorącej mieszanki, skutkiem czego zachodzi bardzo szybkie spalanie się jej. Teoretycznie przyjmujemy, że zapłon i spalanie się mieszanki zachodzą tak szybko, iż tłok w tym czasie nie zdąży zmienić swego położenia, a zatem cały proces spalania się przebiega w całej objętości, a mianowicie w objętości dawkowej. W rzeczywistości przebieg spalania się zachodzi w pe-



Rys. 1 — 4. Schemat budowy i działania 4-ro suwowego silnika lotniczego.

I suw — ssanie, II suw sprężanie, III suw — rozprężanie, IV suw — wydech. Oznaczenia: 1 — cylinder, 2 — tłok, 3 — pierścień uszczelniający, 4 — gaźnik, 5 — komora dawfoowa, 6 — zawór i rura wlotowa (ssąca), 7 — zawór i rura wydechowa, 8 — świeca, 9 — kabel, 10 — koszulka wodna, S — skok tłoka.

wnym okresie czasu, a więc przy objętości zmiennej.

Skutkiem spalania mieszanki wytwarza się wielka ilość gazów o bardzo wysokiej temperaturze (do $2,000^{\circ}\text{C}$) i w związku z tem następuje gwałtowny wzrost prężności (do około 30 atm.), niezbyt ściśle i dla krótkości zwany „wybuchem”.

Sprężone i gorące gazy, usiłując zwiększyć swoją objętość, wywierają znaczne ciśnienie na tłok i odrzucają go ku korbie. Ten ruch tłoka zamienia się zapomocą korbowodu na obrotowy ruch wału silnika.

W miarę przesuwania się tłoka ku korbie, czyli zwiększania się objętości, zajętej przez gorące gazy, ciśnienie ich i temperatura maleją, czyli, jak mówią, następuje okres „rozprężania” lub „suw pracy”, ponieważ tylko podczas tego skoku tłoka energię cieplną, wytworzoną przez spalanie mieszanki, zamieniamy na energię mechaniczną obracającego się wału silnika. Podczas tego okresu panują w cylindrze największe temperatury, i to tak znaczne, że ze względu na smarowanie tłoka, które zaczyna szwankować przy zbyt wielkich temperaturach, oraz na wytrzymałość i zużycie narażonych na gorąco części metalowych, musimy chłodzić ścianki cylindra wodą, przepływającą w koszulce, okalającej cylinder.

Ciepło, odprowadzone od gorących gazów przez ścianki cylindra do wody chłodzącej, jest potem oddane zapomocą chłodnicy nazewnątrz, otaczającej atmosferze, a zatem całkowicie stracone.

Okres rozprężania się teoretycznie trwać winien aż do końca skoku, ponieważ w okresie tym otrzymujemy istotną pracę mechaniczną, uzyskaną drogą ekspansji gazów, jednakże ze względów praktyki na krótko przed D. Z. P. ot-



wiera się zawór wydechowy i następuje ostatni suw, zwany „wydechem”,

4-ty suw. Wydech (rys. 4).

W chwili otwarcia się zaworu wydechowego następuje nagły spadek prężności w cylindrze silnika i, po osiągnięciu przez tłok D, Z. P_m prężność gazów w cylindrze spada (teoretycznie) do ciśnienia zewnętrznego otoczenia, praktycznie zaś jest tylko nieznacznie większą ponad nie.

Następuje teraz powrotny „wydechowy” suw tłoka, gdy odpracowane już gazy spalinowe są usuwane nazewnątrz (do otoczenia) przez rurę wydechową.

Tutaj, podobnie jak w suwach 1-ym i 2-gim, praca potrzebna do usunięcia spalin czerpana jest z energii obracającego się wału i mas z nim połączonych.

Oczywiście, usunięte nazewnątrz wydyszyri, mające dość znaczną temperaturę (średnio ok. 400° C), unoszą ze sobą sporo ciepła, stanowiąc choć dotkliwą ale nieuniknioną stratę (ok. 40% całej ilości ciepła zawartej w dawce mieszanki),

Po ukończeniu w G. Z, P. suwu wydechowego, a w rzeczywistości nieco wcześniej, otwiera się zawór wlotowy i, gdy tłok rozpoczyna ruch powrotny, mamy znowu suw 1-szy — zasysanie, a za nim kolejno następne, jak to już było opisane wyżej.

Widzimy zatem, że z 4-ch suwów, składających się na cykl pracy silnika, tylko jeden suw, 3-ci (rozprężanie), jest suwem roboczym, trzy pozostałe natomiast — są pomocniczymi, przygotowawczymi, i jako takie efektywnej pracy nie dają, odwrotnie, na ich wykonanie czerpana jest energia z rozprężonego przez poprzednie wybuchy wału silnika.

Zaznaczyć należy, jak to już zresztą było wspomniane, że początki i końce poszczególnych suwów zgadzają się z punktami zwrotnymi tylko w teoretycznym obiegu silnika, w rzeczywistości zaś momenty te, zarówno jak i chwila zapłonu, odchylają się nieco od tych punktów, stanowiąc t. zw. „punkty rozrządu”, odmienne dla różnych silników, a uzależnione w pierwszym rzędzie od ilości obrotów silnika.

Ażeby dokładnie zdać sobie sprawę z temperatur, panujących w cylindrze silnika, oraz ze zjawisk cieplnych, zachodzących w czasie obiegu, jakoteż z podziału ciepła wytworzonego przez spalanie mieszanki, użyjemy graficznego przedstawienia we współrzędnych ciśnienia p — na osi rzędnych i objętości v — na osi odciętych, czyli t. zw. „wykresu indykatorowego” ($p \cdot v$).

II. OBIEG TEORETYCZNY.

Na rys. 5 pokazany jest właśnie taki wykres indykatorowy dla teoretycznego obiegu.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

p — ciśnienie panujące w cylindrze w kg/cm^2 ,

v — objętość zajmowana przez mieszankę względnie spaliny w m^3 ,

V_s — objętość skokowa cylindra w m^3 ,

V_c — objętość dawkowa cylindra w m^3

$V_a = V_c + V_s$ — całkowita objętość cylindra w m^3 (w końcu suwu zasysania i na początku sprężania).

Oczywiście, że odcinek V_s wykresu przedstawia także w pewnej skali skok tłoka.

Po linii „oa” przez zawór wlotowy odbywa się zasysanie mieszanki przy ciśnieniu atmosferycznym, linia ta zatem jest pozioma. W punk-