

621.43

Dr. inż. WIESŁAW CHRZANOWSKI

PROFESOR POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ.



CYLINDRY

SILNIKÓW SPALINOWYCH.

WYDANIE DRUGIE.



D-26
1276

WARSZAWA 1922.

Nakładem Księgarni i Składu Nut

KUNCEWICZA i HOFMANA

Marszałkowska 91.





~~C. 7419~~

Wszelkie prawa przedruku i tłumaczeń zastrzeżone.



NP. 524

Druk Synów St. Niemiry Warszawa, Pl. Napoleona 4.

395/19, 54, D

BG03P/339-18



Praca niniejsza jest poświęcona **budowie cylindrów stałych lądowych maszyn spalinowych**. Została ona ujęta w formę podręcznika, aby z niej korzystać mogli zarówno słuchacze budowy maszyn, jak inżynierowie praktycy.

Rysunki zaprojektowałem na podstawie własnych doświadczeń z uwzględnieniem literatury nowszej. Poszczególne konstrukcje nie odpowiadają projektom, sporządzanym w fabrykach, wymienionych w pracy niniejszej, lecz tylko uwzględniają typowe zasady, stworzone w pewnej formie, o ile ona została wymieniona przy rozważaniu odnośnego rysunku.

Przy wykonaniu rysunków oddał mi cenną przysługę p. inż. Zygmunt Krayewski, asystent Politechniki lwowskiej przy katedrze budowy motorów cieplikowych, za co mu najserdeczniejsze składam podziękowanie.

Lwów, w marcu 1917.

Autor.

W wydaniu drugim niniejszej książki zmieniłem tytuł poprzedni „Cylindry maszyn spalinowych” na „Cylindry silników spalinowych”, ponieważ wyraz silnik jest obecnie najwięcej rozpowszechniony. Równocześnie wprowadziłem drobne zmiany, których zaznaczenie uznałem za wskazane.

Warszawa, w marcu 1922.

Autor.

TREŚĆ

ROZDZIAŁ I.		Str.
		5—11
Uwagi ogólne i oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej:		
1. Uwagi ogólne		5
2. Oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej		9
ROZDZIAŁ II.		12—75
Cylindry silników działających jednostronnie:		
A. Silniki czterosuwowe:		13—39
1. Cylindry dwusłankowe:		
a) Cylinder i rama z jednej części		13
b) Cylinder przyśrubowany do ramy		16
c) Cylinder z przylanymi skrzynkami wentylowemi, przyśrubowany do ramy		19
2. Cylindry z oddzielną tuleją roboczą:		
a) Cylindry z gładką tuleją roboczą oddzielną		26
b) Cylindry z oddzielną tuleją roboczą, tworzącą jedną całość ze skrzynkami wentylowemi		34
B. Silniki dwusuwowe:		39—54
1. Cylindry motorów ropowych z łbicą żarzącą		39
2. Cylindry motorów Diesela:		45
a) Cylindry dwusłankowe		46
b) Cylindry z oddzielną tuleją roboczą		49
C. Szczegóły konstrukcyjne:		55—69
1. Uszczelnienie tulei roboczej po stronie łbicy		55
2. Uszczelnienie tulei roboczej po stronie ramy		61
3. Smarowanie cylindra		64
D. Grubość ścianek i obliczanie na wytrzymałość cylindra		69—75
ROZDZIAŁ III.		76—104
Cylindry silników działających obustronnie:		
A. Czterosuwowe maszyny gazowe:		75—98
1. Cylindry dwusłankowe		76
2. Cylindry, składające się z kilku części		91
3. Rozmieszczenie zapalniczek		97
B. Dwusuwowe maszyny gazowe		98—104
1. Cylinder maszyny Koertinga		99
2. Cylinder maszyny Chorltona		102
C. Silniki, pędzone paliwami płynnymi		104
ROZDZIAŁ IV.		105—107
Chłodzenie cylindrów wodą.		

ROZDZIAŁ I.

Uwagi ogólne i oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej.

1. Uwagi ogólne.

Cylindry silników tłokowych tworzą jedną z najważniejszych ich części składowych. Praca niezawodna motoru tłokowego zależy bowiem w wielkiej mierze od racjonalnej konstrukcji i umiejętnego wykonania cylindra.

Budowa cylindrów spalinowych, odlewanych zwykle z żelaza lanego, wymaga tak pod względem konstrukcji jak i wykonania warsztatowego dużego doświadczenia praktycznego, ponieważ działają tutaj wielkie ciśnienia i wysokie temperatury procesu spalinowego. Przy konstrukcji cylindrów należy przedewszystkiem uwzględnić:

- 1) wytrzymałość materiału,
- 2) taniość i łatwość wykonania warsztatowego,
- 3) wymagania niezawodnego biegu maszyny.

Grubość ścianek cylindra muszą odpowiadać z zupełną pewnością siłom działającym w czasie ruchu motoru. Obliczenia wytrzymałości zawodzą jednakże często, ponieważ nie uwzględniają nieobliczalnych, lecz nieuniknionych naprężeń odlewniczych, a drugostronnie opierają się na zbyt niepewnych danych przy obliczaniu naprężeń, powstałych przez odkształcenia. Przyczyną ostatnich są częściowo siły działające, częściowo i to w daleko większej mierze nierówne wydłużanie się poszczególnych części cylindra pod wpływem wysokich temperatur. Tem tłumaczyć można sobie wypadki, że cylindry, w których grubość ścianek oznaczono na podstawie zwykle używanych obliczeń wytrzymałości, pękały podczas ruchu maszyn, mimo że materiał ich nie wykazywał żadnych wad.

Stosowanie przesadnie grubych ścianek nie daje także dobrych wyników, ponieważ wtedy utrudnione jest chłodzenie dostateczne cylindra.

Brak wybitnych typów w konstrukcji cylindrów jednego rodzaju maszyn, zwłaszcza o wielkim skutku (mocy), wykazuje najlepiej, że nie znaleziono jeszcze rozwiązania najracjonalniejszego. Każda z fabryk budujących motory stara się na podstawie własnych doświadczeń praktycznych opanować trudności w sposób odmienny. W cylindrach natomiast o małych średnicach wykonywa się grubość ścianek o takich wymiarach, jakich wymagają technologiczne warunki odlewnicze.

Oprócz wytrzymałości konstrukcja powinna uwzględnić celowość poszczególnych kształtów. Taniać wykonania warsztatowego zależy bowiem nie tylko od zaoszczędzenia materiału, lecz także, w daleko większej mierze, od zmniejszenia kosztów obróbki, zwłaszcza u dużych cylindrów. Konstrukcja winna być możliwie prosta, aby uzyskać odlew z małymi stosunkowo naprężeniami odlewniczymi i bez wad w materiale. Odlew zostaje uproszczony przez stosowanie możliwie tej samej grubości ścianek we wszystkich częściach cylindra, przez stopniowe przejście jednej grubości ścianki w drugą, przez staranne unikanie nagromadzenia materiału jak również i niepotrzebnych żeber, oraz przez zachowanie dostatecznej grubości rdzeni odlewniczych. Niekiedy jednakże dodanie na obróbkę niektórych powierzchni może wpłynąć ujemnie na dobry rozkład materiału w odlewie, o czym również nie wolno zapominać konstruktorowi.

Rdzenie odlewnicze powinny być dostatecznie podparte, aby ułatwić uzyskanie grubości ścianek, oznaczonej na rysunku, a w miejscach stosownych należy umieścić otwory, które służą do całkowitego usunięcia rdzeni z odlewu. Pozostawienie rdzenia przypiezonego w odlewie może bowiem łatwo przyczynić się do pęknięcia cylindra z powodu niedostatecznego chłodzenia odnośnych ścianek.

Umiejętny podział cylindra na kilka części jest w wielu wypadkach bardzo korzystny. Odlew zostaje znacznie ułatwiony, poszczególne części mogą być wykonane z materiału najodpowiedniejszego dla każdej z nich, a koszt w razie nieudania się odlewu są znacznie mniejsze.

Przy ocenie kosztów obróbki cylindra projektowanego konstruktor musi przede wszystkim zaznajomić się ze stanem posiadania obrabiarek, oraz ze sposobami obróbki, stosowanymi w odnośnej fabryce. Jest to równie ważne u maszyn o skutku małym, jak wielkim. W celu sprostanania konkurencji pierwsze powinny być wyrabiane równocześnie w większej ilości, a racjonalna fabrykacja masowa wymaga posiadania stosownych obrabiarek, których wyzyskanie umiejętnie zależy także od odpowiedniej konstrukcji części obrabianej. Na podstawie tych danych konstruktor winien starać się o stworzenie typów normalnych, których wykonanie byłoby tanie dla fabryki, a które byłyby również korzystne dla odbiorcy. Poszczególne części motoru winny być tak zaprojektowane, aby kupujący (odbiorca) mógł otrzymać w każdej chwili cylinder zapasowy do wymiany. Przy budowie wielkich cylindrów trzeba umożli-

wieć obróbkę poszczególnych powierzchni w sposób dogodny i tani, choć i w tej dziedzinie fabryki dążą słusznie do ograniczenia wykonywanych typów i do równoczesnej fabrykacji większej liczby maszyn jednego typu. Na zmniejszenie natomiast kosztów montażu oraz na zapewnienie beznagannego zmontowania maszyny wpływa przede wszystkim umiejętnie centrowanie cylindra w ramie, względnie w przełęczy.

Wymagania inżyniera ruchu względem budowy cylindra spalinowego można streścić w słowach następujących:

Cylinder nie powinien pękać w czasie ruchu maszyny, — ścieranie się tulei roboczej, na której pracuje tłok, winno być możliwie małe, a w motorach, w których zachodzi stosunkowo większe ścieranie się tulei roboczej, należy dbać o możliwość wytoczenia jej na większą średnicę tłoka, względnie o łatwą i taną wymianę tulei; — obsługa i dozór części, wymagających obserwacji, muszą być dogodne, wszystkie uszczelnienia powinny być bezwarunkowo pewne, a wymiana ich oraz kontrola szczelności łatwa.

Rzeczą nie mniej ważną niż konstrukcja jest umiejętne wykonanie cylindra, bo decyduje ono w wielkiej mierze również o użyteczności danej części w praktyce, przy pracy silnika. Najważniejszą rolę odgrywa tutaj dobór stosownego materiału i należyty sposób odlewania. Cylindry silników spalinowych wykonywa się zwykle z żelaza lanego, drobnoziarnistego, możliwie ścisłego, posiadającego dużą wytrzymałość. Materiał nie powinien być za kruchy, aby mógł opierać się z zupełną pewnością naprężenia, wywołane działaniem wysokich ciśnień i temperatur.

Skład chemiczny odlewu cylindrowego może być mniej więcej następujący:

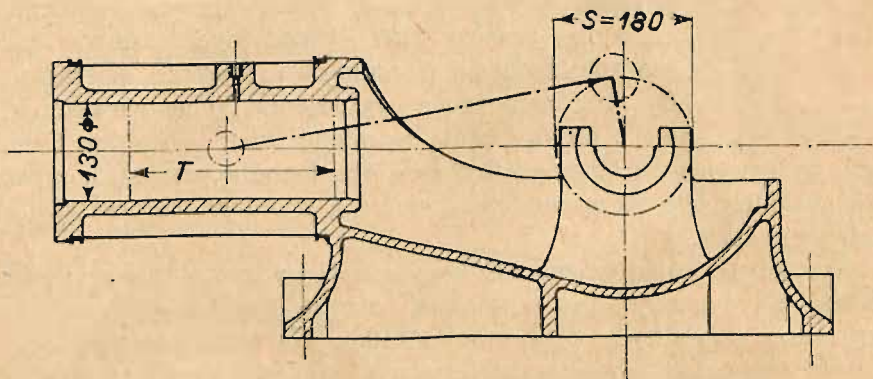
całkowity węgiel	3	do 3,24 %
z tego jako grafit	2	„ 2,13 „
z tego jako węgla chemicznie połączony	1	„ 1,11 „
krzem (silicium)	1,2	„ 1,3 „
mangan	0,65	„ 0,75 „
fosfor	0,25	„ 0,3 „
siarka	0,075	„ 0,15 „
miedź	0,08	„ 0,1 „

Ze względu na wytrzymałość odlewu, umożliwienie dobrego smarowania tłoka, jak również zapobieganie samoczynnemu przedwczesnemu zapaleniu się sprężanej mieszanki palnej, chłodzi się cylindry wszystkich stałych silników spalinowych wodą. Wobec tego posiadają one dwie tuleje, między którymi przepływa woda chłodząca.

Tuleję wewnętrzną można nazwać roboczą, tuleję zewnętrzną — płaszczem. Wykonywanie płaszcza z blachy według rys. 1 dopuszczalne jest jedynie w motorach małych. Konstrukcji tej nie można

w ogólności polecać, ponieważ uszczelnienie płaszcza względem cylindra jest niedogodne i sprawiać może trudności w czasie ruchu motoru.

Z tej przyczyny płaszcz wykonywa się zwykle z żelaza lanego. Płaszcz może tworzyć jedną całość z tuleją roboczą, a otrzymujemy wtedy t. zw. cylinder dwuściankowy, lub też może być zaopatrzony w oddzielną tuleję roboczą, odlaną z materiału twardszego niż tuleja zewnętrzna.



Rys. 1.

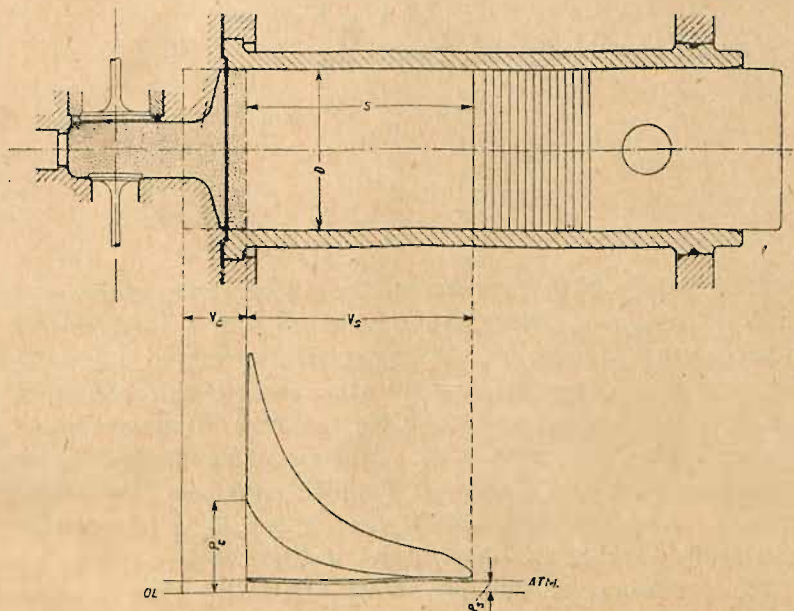
Zasadniczą zaletą cylindrów dwuściankowych jest oporowanie sił, działających w kierunku podłużnej osi maszyny, przez dwie tuleje i zbędność wszelkich uszczelnień pomiędzy obiedwoma tulejami. Natomiast wadę niemałą tej budowy stanowi nierówne wydłużanie się tulei roboczej i płaszcza pod wpływem ciepła procesu spalinyowego. W małych cylindrach nie powoduje ono zwykle skutków ujemnych, w wielkich zaś może być jednakże łatwo przyczyną pęknięcia cylindra. Również w razie uszkodzenia tulei roboczej wymiana jest połączona zwykle z kosztami znacznymi i dłuższym postojem motoru.

Konstrukcje cylindrów maszyn spalinowych są jeszcze więcej różnorodne niż parowych. Tłumaczy się to dużą liczbą i różnorodnością paliw używanych, stosowaniem różnych procesów pracy, dotychczasowym brakiem należytego rozwiązania budowy cylindra dla niektórych rodzajów maszyn, wykonywaniem silników jednostronnie i obustronnie działających.

Z wyjątkiem niektórych większych typów, silniki jednostronnie działające nie posiadają osobnych wodzików (krzyżulców), aby zmniejszyć koszt ich wykonania i zapotrzebowanie miejsca. Ponieważ tłok spełnia tutaj zarazem funkcję wodzika, otrzymuje on kształt długiego tłoka nurnikowego. Skutkiem tego powstaje już dość znaczna różnica konstrukcyjna pomiędzy cylindrem jednostronnie a obustronnie działającym.

2. Oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej.

We wszystkich cylindrach maszyn spalinowych oznacza się wielkość przestrzeni kompresyjnej w sposób jednakowy. Przez ostatnią rozumieć należy objętość, znajdującą się pomiędzy tłokiem, ustawionym w martwym położeniu, a pokrywą cylindra (łbicą) przy zamkniętych wentylach;



Rys. 2.

w rys. 2 przestrzeń tę zaznaczono kropkami. Na wielkość ciśnienia, panującego przy końcu skoku kompresyjnego, wpływa przeważnie wielkość przestrzeni kompresyjnej, a częściowo także wydajność chłodzenia cylindra i łbicy.

Niechaj oznacza (rys. 2):

D = średnicę cylindra w m ,

s = skok maszyny w m ,

$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot s$ = objętość skokową w m^3 ,

V_c = objętość przestrzeni kompresyjnej w m^3 ,

$V = V_s + V_c$ = całkowitą objętość napełnienia w m^3 ,

$\varepsilon = \frac{V}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c}$ = stopień sprężania,

p_s = ciśnienie, panujące w cylindrze przy początku kompresji, w atm. abs.,

p_c = ciśnienie, panujące w cylindrze przy końcu skoku kompresyjnego, w atm. abs.,

k = wykładnik krzywej kompresyjnej.

Ponieważ kompresja odbywa się według politropy, można dla pewnego zamierzonego ciśnienia p_c obliczyć objętość V_c zapomocą znanych wzorów dla politropy:

$$V_c^k \cdot p_c = V_s^k \cdot p_s, \text{ czyli}$$

$$V_c = V_s \left(\frac{p_s}{p_c} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (1)$$

Ze wzoru powyższego otrzymuje się:

$$\frac{V_s}{V_c} = \left(\frac{p_c}{p_s} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 = \varepsilon - 1, \text{ czyli}$$

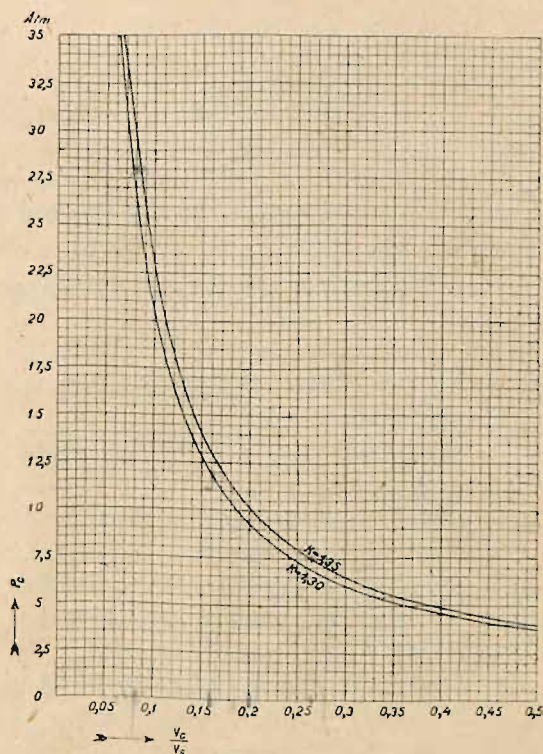
$$\frac{V_c}{V_s} = \frac{1}{\left(\frac{p_c}{p_s} \right)^{\frac{1}{k}} - 1} \quad (2).$$

Wzór (2) służy do wyliczenia wielkości przestrzeni kompresyjnej V_c . Wysokość ciśnienia p_s zależy od rodzaju motoru i od liczby obrotów; w silnikach czterosuwowych, pracujących z normalną (średnią) liczbą obrotów, wynosi najczęściej $p_s = 0,9$ atm. abs. Dopuszczalne ciśnienie przy końcu kompresji p_c przyjmuje się zależnie od stosowanego paliwa i od rodzaju pracy danego motoru. Natomiast na wielkość wykładnika k ma przede wszystkim wpływ wydajność chłodzenia cylindra i łożysk. Przy bardzo dobrem chłodzeniu wynosi $k \cong 1,25$, a przy niedostatecznym zbliża się do $k \cong 1,4$. Najczęściej wykładnik k waha się pomiędzy 1,3 a 1,35, a przeważnie nie jest stały dla całej linii kompresyjnej. Znajac warunki pracy motoru, konstruktor musi się zdecydować na pewną liczbę; obecnie najczęściej używa się $k = 1,3$.

Tabelka, umieszczona poniżej, oraz wykresy, przedstawione na rys. 3, dają pogląd na wielkość przestrzeni kompresyjnej V_c , a mogą służyć do pomocy przy konstrukcji maszyny. W obydwóch przypadkach przyjęto $p_s = 0,9$ atm. abs., oraz p_c w atm. absol.

p_c w atm. abs.		4	5,5	7	8,5	10	12	14	30	32	35
$k = 1,3$	$\varepsilon \cong$	3,15	4,024	4,844	5,624	6,374	7,332	8,254	14,84	15,59	16,7
	$V_c : V_s \cong$	0,465	0,33	0,26	0,216	0,186	0,158	0,138	0,072	0,0685	0,0637
$k = 1,35$	$\varepsilon \cong$	3,019	3,822	4,569	5,276	5,95	6,81	7,633	13,42	14,08	15,05
	$V_c : V_s \cong$	0,495	0,354	0,28	0,234	0,202	0,172	0,15	0,08	0,076	0,066

Przy budowie cylindra spalinowego należy zwrócić baczną uwagę na racjonalny kształt przestrzeni kompresyjnej. Chcąc uzyskać dobre spalanie, kształt ostatniej powinien umożliwić szybkie zapalenie i spalanie się mieszanki oraz zapewnić krótką drogę, którą płomień przebiega. Teoretycznie najlepszy byłby w tym względzie kształt kuli. Ponieważ tego rodzaju budowa napotyka na trudności, należy starać się przestrzeni kompresyjnej nadawać kształt cylindra, znajdującego się w przedłużeniu tulei roboczej, a unikać kanałów wgłębionych, bocznych. Zwłaszcza w motorach ropowych, np. Diesela lub Lietzenmayera, umiejętne wykształcenie przestrzeni kompresyjnej jest bardzo ważne, bo proces spalinowy odbywa się tutaj w warunkach trudniejszych niż w maszynach gazowych. Prosty kształt przestrzeni kompresyjnej, ze względu na dobre usunięcie spalin z cylindra, jest również bardzo pożądany.



Rys. 3.