

10. 22

*Notu Mechaniki
Politechniki Warszawskiej*

BIBLIOTEKA DZIEŁ TECHNICZNYCH. TOM III.

KOMITET REDAKCYJNY P. P.: H. CZOPOWSKI, K. DREWNOWSKI,
H. KORWIN-KRUKOWSKI, F. KUCHARZEWSKI, S. MANDUK,
— — S. TWARDOWSKI i C. WITOSZYŃSKI. — —

1020.

Dr. inż. WIESŁAW CHRZANOWSKI
PROFESOR POLITECHNIKI LWOWSKIEJ.

A. 109

CYLINDRY

MASZYN SPALINOWYCH.



Z ZAPOMOGI KASY POMOCY DLA OSÓB PRACUJĄCYCH
NA POLU NAUKOWYM IM. D-ra JÓZEFA MIANOWSKIEGO,
WYDALI W IM. KOMITETU S. MANDUK i S. TWARDOWSKI.

WARSZAWA

SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI GEBETHNERA i WOLFFA

1918.

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Warszawa, Pl. Jedności Robotniczej 1

B. 3311

Wszelkie prawa przedruku i tłumaczeń zastrzeżone.

Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego w Warszawie, ul. Czackiego 3/5.

~~395/14, 3.4, D~~

BZ06PK/003-35

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 firmie, 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

TREŚĆ

	Str.
ROZDZIAŁ I.	
1—6	
UWAGI OGÓLNE I OZNACZENIE WIELKOŚCI PRZESTRZENI KOMPRESYJNEJ:	
1. Uwagi ogólne	1
2. Oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej	4
ROZDZIAŁ II.	
7—61	
CYLINDRY MASZYN DZIAŁAJĄCYCH JEDNOSTRONNIE:	
A. Motory czterosurowe:	8—30
1. Cylindry dwuściankowe:	
a) Cylinder i rama z jednej części	8
b) Cylinder przyśrubowany do ramy	10
c) Cylinder z przylanymi skrzynkami wentylowymi, przyśrubowany do ramy	13
2. Cylindry z oddzielną tuleją roboczą:	
a) Cylindry z gładką tuleją roboczą, oddzielną	19
b) Cylindry z oddzielną tuleją roboczą, tworzącą jedną całość ze skrzynkami wentylowymi	26
B. Motory dwusurowe:	30—43
1. Cylindry motorów ropowych z łbicą żarzącą	30
2. Cylindry motorów Diesela:	36
a) Cylindry dwuściankowe	37
b) Cylindry z oddzielną tuleją roboczą	39
C. Szczegóły konstrukcyjne:	43—56
1. Uszczelnienie tulei roboczej po stronie łbicy	43
2. Uszczelnienie tulei roboczej po stronie ramy	49
3. Smarowanie cylindra	52
D. Grubość ścianek i obliczenie wytrzymałości cylindra	56—61
ROZDZIAŁ III.	
62—86	
CYLINDRY MASZYN DZIAŁAJĄCYCH OBUSTRONNIE:	
A. Czterosurowe maszyny gazowe:	62—81
1. Cylindry dwuściankowe	62
2. Cylindry, składające się z kilku części	74
3. Rozmieszczenie zapalniczek	80
B. Dwusurowe maszyny gazowe:	81—85
1. Cylinder maszyny Koertinga	81
2. Cylinder maszyny Chorltona	84
C. Maszyny, pędzone paliwami płynnymi	85—86
ROZDZIAŁ IV.	
CHŁODZENIE CYLINDRÓW WODĄ.	
87—89	

SPRÓSTOWANIA.

Strona	Wiersz	Z A M I A S T:	M A B Y Ć:
2	17 od dołu	opracowywanej	obrabianej
2	12 „	opracowanie	obróbkę
10	8 od góry	płaszczyzn	powierzchni
13	1 „	miejsca, do	miejsca dla
13	2 „	celem	do
14	14 „	w <i>F</i> i <i>C</i>	w tulei <i>F</i> i w tulei pokrywy <i>C</i>
16	1 „	dla odlewu niewadliwego	z powodu możliwości odlewu wadliwego
16	8 od dołu	całość, i	całość i
17	4 od góry	konstrukcyja tego rodzaju odbiorey	odbiorey konstrukcyja tego rodzaju
25	20 „	staranne opracowanie	staranna obróbka
25	1 od dołu	ednakże	jednakże
32	7 „	wymaga	konieczność wykonywania
35	1 od góry	płaszczyzn	powierzchni
41	2 „	Płaszczyzny	Powierzchnie
41	14 od dołu	płaszczyzn	powierzchni
48	2 „	jest wykonany	jest na rys. 90 wykonany
49	3 „	płaszczyzny	powierzchnie
53	16 od góry	płaszczyzn	powierzchni
54	2 „	rys. 103	rys. 103 i 104
63	15 od dołu	tuleje: wewnętrzna	tuleje, wewnętrzna
66	22 „	<i>I</i>	<i>J</i>

ROZDZIAŁ I.

Uwagi ogólne i oznaczanie wielkości przestrzeni kompresyjnej.

1. Uwagi ogólne.

Cylindry maszyn 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 przede wszystkim uwzględnić:

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

Grubości 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 do-

świadczeń praktycznych opanować trudności w sposób odmienny. U cylindrów natomiast o małych średnicach wykonywa się grubość ścianek o takich wymiarach, jakich wymagają technologiczne warunki odlewnicze.

Oprócz wytrzymałości konstrukcyja 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. Konstrukcyja winna być możliwie prosta, aby uzyskać odlew z małemi stosunkowo naprężeniami odlewniczemi 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 obrobienie niektórych płaszczyzn może wpłynąć ujemnie na dobry rozkład materiału w odlewie, o czem 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 przypieczonego 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, jako i ze sposobami obróbki, stosowanymi w odnośnej fabryce. Jest to równie ważne u maszyn o skutku małym, jak wielkim. W celu sprostania konkurencyi pierwsze powinny być wyrabiane równocześnie w większej ilości, a racjonalna fabrykacya masowa wymaga posiadania stosownych obrabiarek, których wyzyskanie umiejętne zależy także od odpowiedniej konstrukcyi części opracowywanej. Na podstawie tych danych konstruktor winien starać się o stworzenie typów normalnych, których wykonanie byłoby tańsze 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 umożliwić opracowanie poszczególnych płaszczyzn w sposób dogodny i tani, choć i w tej dziedzinie fabryki dążą słusznie do ograniczenia wykonywanych typów i do równoczesnej fabrykacyi większej liczby maszyn jednego typu. Na zmniejszenie natomiast kosztów montażu jako i na zapewnienie beznagannego zmontowania maszyny wpływa przede wszystkim umiejętne centrowanie cylindra w ramie, względnie w przełączcy.

Wymagania inżyniera ruchu względem budowy cylindra spalinowego można by 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 u motorów, u których zachodzi stosunkowo większe ścieranie się tulei roboczej, należy dbać o możność 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 jako i kontrola szczelności łatwa.

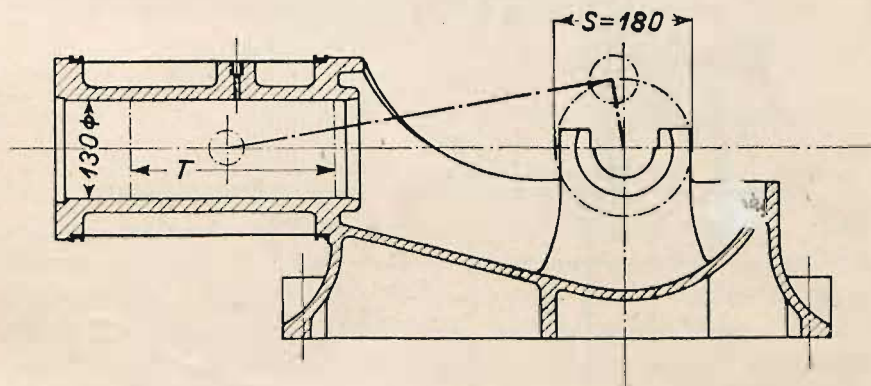
Rzeczą nie mniej ważną niż konstrukcja jest umiejętne wykonanie cylindra, bo decyduje ono w wielkiej mierze również o użyteczności danej części w praktyce, przy pracy maszyny. Najważniejszą rolę odgrywa tutaj dobór stosownego materiału i należyty sposób odlewania. Cylindry spalinowe wykonywa się zwykle z żelaza lanego, drobnoziarnistego, możliwie ścisłego, posiadającego dużą wytrzymałość. Materiał nie powinien być za kruchy, aby mógł opanować 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 węgiel 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 maszyn 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



Rys. 1.

jedynie u motorów 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.

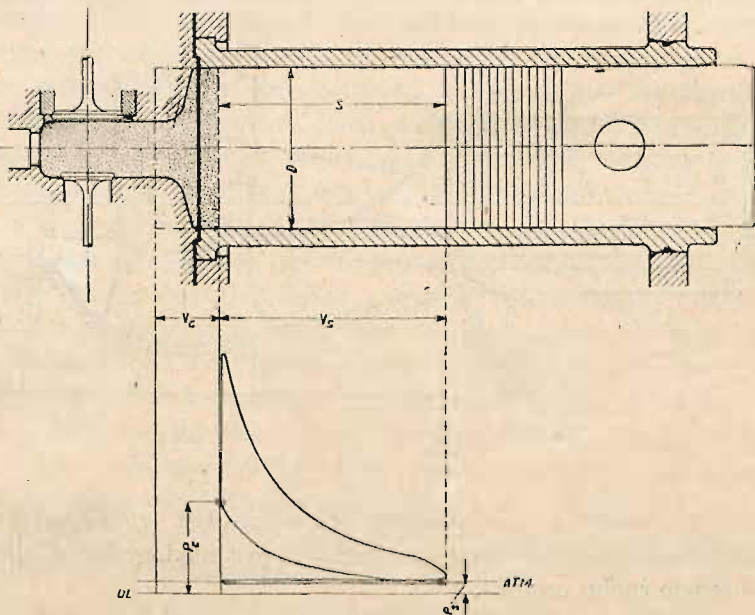
Zasadniczą zaletą cylindrów dwuściankowych jest opanowanie sił, działających w kierunku podłużnej osi maszyny, przez dwie tuleje i zbędność wszelkich uszczelnień pomiędzy obiema tulejami. Natomiast wadę niemałą tej konstrukcji stanowi nierówne wydłużanie się tulei roboczej i płaszcza pod wpływem ciepła procesu spalinyowego. U małych cylindrów nie powoduje ono zwykle skutków ujemnych, u wielkich zaś może być jednakże łatwo przyczyną pęknięcia cylindra. Również w razie uszkodzenia tulei roboczej wymiana połączona jest 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 motorów jednostronnie i obustronnie działających.

Z wyjątkiem niektórych większych typów, motory jednostronnie działające nie posiadają osobnych wodzików (krzyżulców), aby zmniejszyć koszt ich wykonania i zapotrzebowanie miejsca. Ponieważ tłok spełnia tutaj zarazem funkcję wadzika, 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.

Dla wszystkich cylindrów maszyn spalinowych oznacza się wielkość przestrzeni kompresyjnej w sposób jednakowy. Przez ostatnią rozumieć należy objętość,



Rys. 2.

znajdącą się pomiędzy tłokiem, ustawionym w martwym położeniu, a pokrywą cylindra (łbicą) przy zamkniętych wentylach; na rys. 2 przestrzeń tę zaznaczono krop-

kami. Na wielkość ciśnienia, panującego przy końcu skoku kompresyjnego, wpływa przeważnie wielkość przestrzeni kompresyjnej, a częściowo także wydajność chłodzenia cylindra i łożycy.

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:

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

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

Ze wzoru powyższego otrzymuje się:

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

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

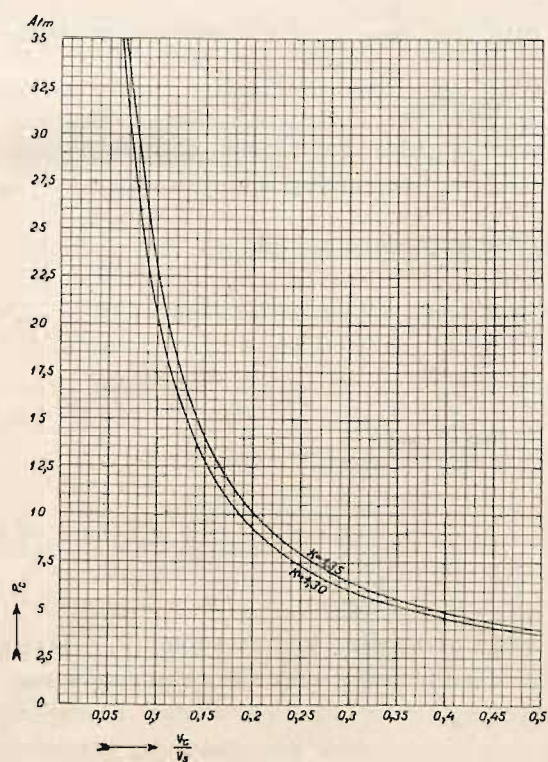
Wzór (2) służy do wyliczenia wielkości przestrzeni kompresyjnej V_c . Wysokość ciśnienia p_s zależy od rodzaju motoru i od liczby obrotów; u motorów czterokrotnych, pracujących z normalną (średnią) liczbą obrotów wynosi najczęściej $p_s = 0,9$ atm. abs. Dopuszczalne ciśnienie przy końcu kompresji p_c przyjmuje się zależnie od stosowanego paliwa i od rodzaju pracy danego motoru. Natomiast na wielkość wykładnika k ma przedewszystkiem wpływ wydajność chłodzenia cylindra i łożycy. 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 $k = 1,3$.

Tabela umieszczona na stronie następnej, jako i wykresy, przedstawione na rys. 3, dają pogląd na wielkość przestrzeni kompresyjnej V_c , a mogą służyć do pomocy przy konstrukcyi maszyny. W obydwóch przypadkach przyjęto $p_s = 0,9$ atm. abs., jako i p_c w atm. absol.

p_c w atm. abs. =		4	5,5	7	8,5	10	12	14	30	32	35
$k = 1,3$	$\epsilon \cong$	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
$k = 1,35$	$\epsilon \cong$	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 jako i zapewnić krótką drogę, którą płomień przebiega. Teoretycznie najlepszy byłby w tym względzie kształt kuli. Ponieważ tego rodzaju wykonanie napotyka na trudności, należy starać się przestrzeni kompresyjnej nadawać kształt cylindra, znajdującego się w przedłużeniu tulei roboczej, a unikać kanałów wgłębionych, bocznych. Zwłaszcza u motorów ropowych, np. Diesela lub Lietzenmayera umiejętne wykształcenie przestrzeni kompresyjnej jest bardzo ważne, bo proces spalinyowy odbywa się tutaj w warunkach trudniejszych niż u maszyn gazowych. Prosty kształt przestrzeni kompresyjnej, ze względu na dobre usunięcie spalin z cylindra, jest również bardzo pożądany.



Rys. 3.