

SILNIKI SPALINOWE

LABORATORIUM 1

BUDOWA UKŁADU TŁOKOWO-KORBOWEGO

1. Wprowadzenie

Do głównych elementów silnika spalinowego należą [1]:

- kadłub – spełnia rolę obudowy, osłania układ korbowy,
- głowica – przykrywa kadłub, w niej zamontowane są takie elementy silnika, jak: zawory, prowadnice zaworowe, świece zapłonowe, wtryskiwacze, itp., w większości silników o zapłonie iskrowym w głowicy znajduje się również komora spalania,
- tłok,
- korbówód,
- wał korbowy,
- koło zamachowe,
- miska olejowa.

Podstawową funkcją układu korbowo-tłokowego jest zamiana ruchu posuwisto-zwrotnego wykonywanego przez tłok na ruch obrotowy wału korbowego. Układ korbowo-tłokowy składa się z następujących elementów, tj. tłoka i pierścieni tłokowych, korbowodu, wału korbowego oraz sworznia.

1.1. Tłok

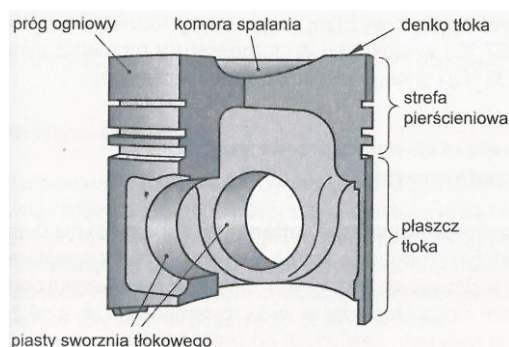
1.1.1. Budowa

Tłok jest jednym z najbardziej obciążonych cieplnie elementów w komorze spalania, dlatego od jego konstrukcji zależy wiele właściwości charakteryzujących spalanie.

Tłok składa się z następujących elementów [1-2]:

- denko,
- część pierścieniowa z progiem ogniowym,
- płaszcz tłoka (część prowadząca),
- piasty sworznia tłokowego,
- ożebrowanie wzmacniające.

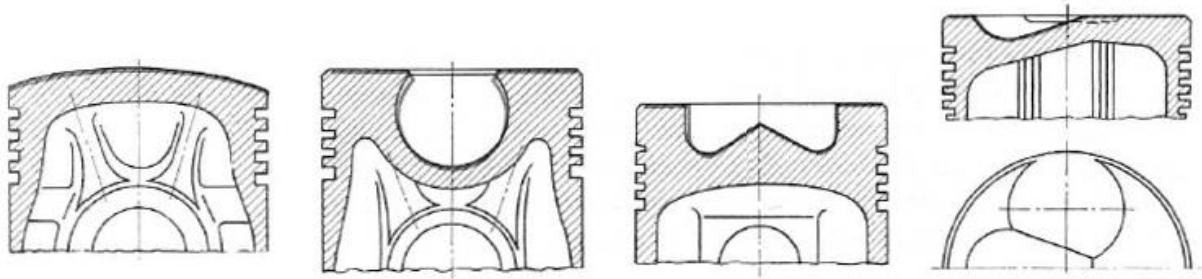
Elementy budowy tłoka przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Budowa tłoka [2]

Denko tłoka ma zazwyczaj nieznaczne wybrzuszenie do góry lub do dołu. Kształt denka tłoka jest uzależniony przede wszystkim od typu komory spalania oraz umiejscowienia zaworów, a odpowiednie zagłębienie w denku, w przypadku komory z wtryskiem

bezpośrednim, umożliwia częściowe umiejscowienie w nim komory spalania. W przypadku dzielonej komory spalania lekkie wybrzuszenie denka tłoka zwiększa jego wytrzymałość. Przykładowe kształty denka tłoka przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe kształty denka tłoka [3]

W części pierścieniowej znajdują się pierścienie uszczelniające oraz próg ogniowy. Pierścienie mają za zadanie przede wszystkim uszczelnić tłok w cylindrze, ale również odprowadzają ciepło z tłoka do ścianek cylindra. Pierścienie tłokowe Szerzej omówiono w punkcie 1.2. W strefie pierścieniowej ważnym elementem jest też próg ogniowy, który chroni pierwszy pierścień uszczelniający przed przegrzaniem. Przejście ze strefy denka tłoka do części pierścieniowej wewnątrz tłoka jest silnie zaokrąglone, dzięki czemu denko tłoka jest wzmocnione i łatwiejsze jest odprowadzanie ciepła z tłoka.

Płaszcz tłoka (tzw. część prowadząca) prowadzi tłok w cylindrze oraz przenosi siły boczne pochodzące od tłoka na ścianki cylindra. Ważna jest tutaj rozszerzalność cieplna tłoka, ponieważ w głównej mierze od tej cechy zależy prawidłowa praca zarówno części prowadzącej, jak i całego tłoka ze względu na luzy występujące pomiędzy tłokiem a cylindrem. Zbyt mały luz może doprowadzić do zakleszczenia tłoka, natomiast zbyt duży luz spowoduje występowanie nieszczelności. W związku z tym czasem stosuje się specjalne wstawki wykonane z trudno rozszerzalnego materiału, które umożliwiają sterowanie rozszerzalnością cieplną płaszcza tłoka [2]. Odpowiednia długość płaszcza tłoka zmniejsza tendencję tłoka do ruchów bocznych podczas nawrotów w położeniach zwrotnych.

Piasty tłoka pełnią rolę podparcia dla sworznia tłoka, który łączy tłok z korbowodem oraz przenoszą na sworzeń siłę gazową. Sworzeń zazwyczaj obraca się zarówno w piąście, jak i w korbowodzie, chociaż zdarzają się konstrukcje, w których sworzeń w jednym z tych elementów jest unieruchomiony. Aby sworzeń nie wysunął się z piasty zazwyczaj zabezpieczają go pierścienie sprężyste.

1.1.2. Zadania

Do zadań tłoka należą przede wszystkim [2]:

- uszczelnienie komory spalania,
- przejście ciśnienia gazów powstałego w trakcie spalania i przeniesienie go za pośrednictwem korbowodu na wał korbowy,
- odprowadzenie ciepła powstałego podczas spalania na ścianki cylindra,
- wytworzenie w cylindrze podciśnienia powodującego napełnienie cylindra mieszanką paliwową lub powietrzem,

- prowadzenie korbowodu w górnej części.

1.1.3. Materiały

Tłok powinien być lekki, jednak jednocześnie być odporny na ścieranie i wytrzymały. Stąd bardzo ważny jest dobór materiału tłoka. Tłok wykonany z odpowiedniego materiału charakteryzuje się właściwą rozszerzalnością cieplną oraz korzystnymi warunkami przewodzenia ciepła.

Z uwagi na bardzo niekorzystne warunki pracy tłoka (wysokie temperatury i duże obciążenia mechaniczne), materiał, z którego tłok jest wykonany musi spełniać odpowiednie wymagania, między innymi cechować się [2]:

- małą gęstością (małe siły odśrodkowe),
- dużą wytrzymałością, również w warunkach podwyższonej temperatury,
- dużą przewodnością cieplną,
- małymi odkształceniami cieplnymi,
- małymi oporami tarcia,
- dużą odpornością na zużycie.

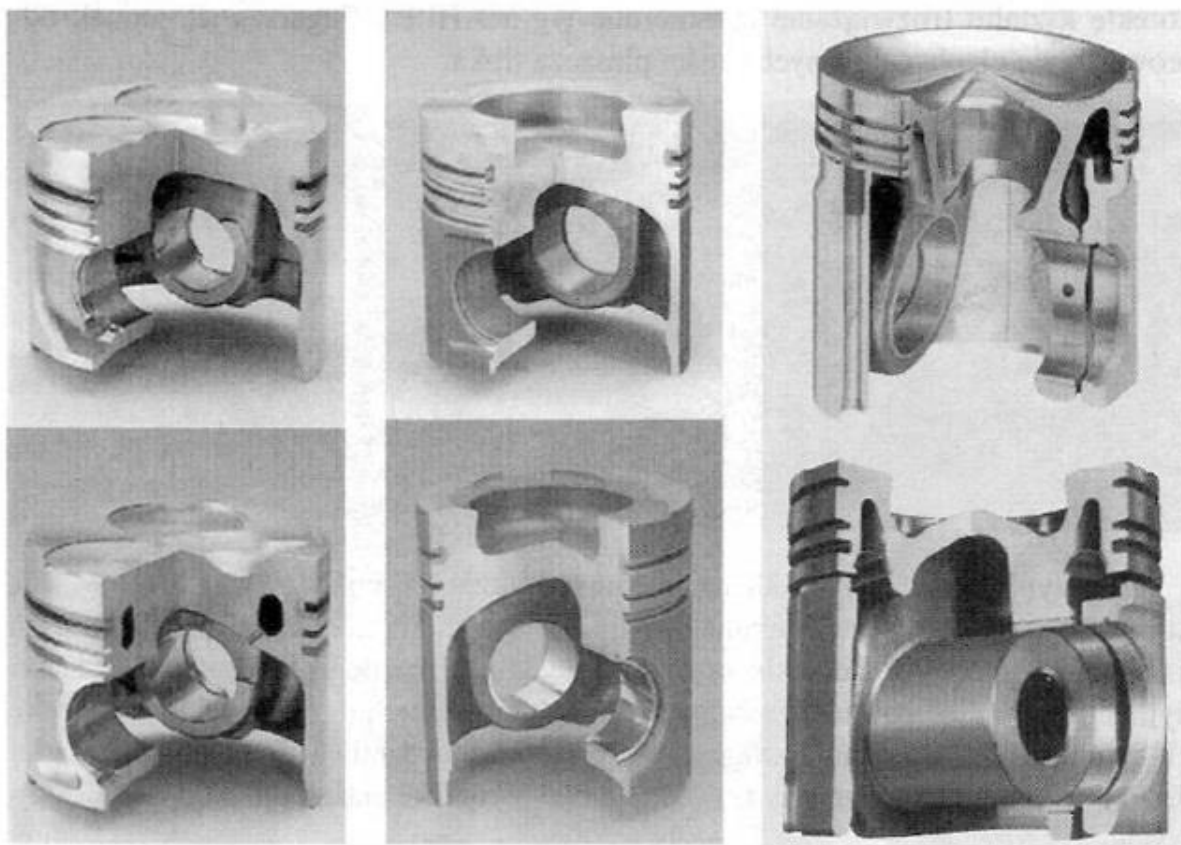
Dodatkowo materiały powinny być łatwe w formowaniu w wyniku odlewania lub kucia oraz łatwe w obróbce mechanicznej (skrawaniu).

Materiałami stosowanymi na tłoki są [4]:

- stopy aluminium,
- stale stopowe,
- żeliwa.

1.1.4. Rodzaje tłoków

Pod względem konstrukcyjnym można wyróżnić wiele rodzajów tłoków. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych tłoków stosowanych w silnikach wysokoprężnych przedstawiono na rysunku 3.



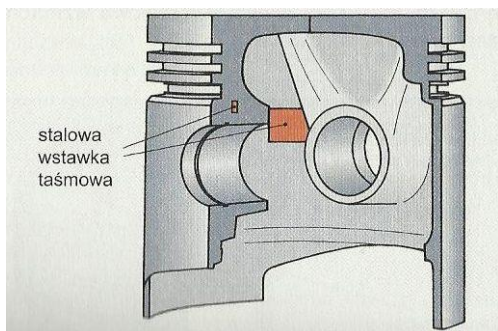
Tłoki z zalanymi stalowymi rowkami pierścieniowymi oraz z kanałem oleju chłodzącego

Tłok stosowany w silnikach o zapłonie samoczynnym samochodów ciężarowych

Tłoki z otwartym i zamkniętym kanałem oleju chłodzącego

Rys. 3. Przykładowe konstrukcje tłoków stosowanych w silnikach o zapłonie samoczynnym [wg 4]

Tłoki ze wstawkami kompensującymi wyposażone są w specjalne wstawki ze stali w kształcie pierścienia, taśmy lub segmentu stalowego, które są zaplatane podczas odlewania w materiale stopu odlewniczego. Zadaniem wstawek jest zapobieganie odkształcaniu się tłoka podczas ogrzewania lub ukierunkowanie tłoka w odpowiednią stronę. Dzięki konstrukcji ze wstawkami możliwe jest lepsze dopasowanie tłoka do cylindra, a co za tym idzie zmniejszenie luzu montażowego i ograniczenie hałasu oraz ruchów roboczych. Wadą stosowania wkładek może być jednak pogorszenie odprowadzania ciepła do dolnych części płaszczu [2]. Przykład konstrukcji tłoka ze wstawkami przedstawiono na rysunku 4.



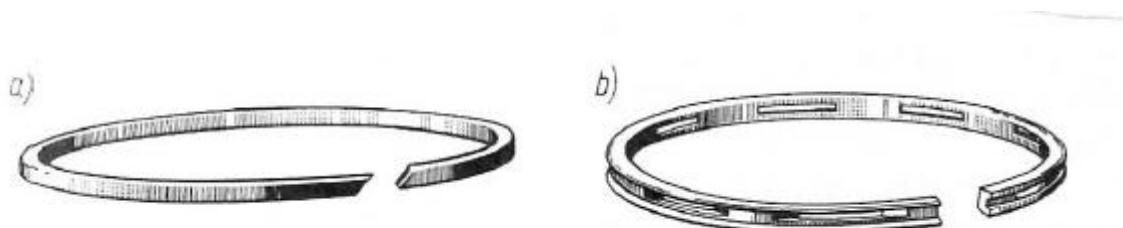
Rys. 4. Tłok ze wstawkami kompensującymi [2]

Oprócz wstawek spotykane są również kanały chłodzone natrykiwanym olejem silnikowym, polepszające odprowadzanie ciepła od denka tłoka lub zamknięte, wypełnione sodem kanały podwyższające współczynnik przewodzenia ciepła od denka do części pierścieniowej oraz płaszczu tłoka. W silnikach do pojazdów ciężarowych stosowane standardowo stalowe rowki pierścieniowe zwiększają trwałość aluminiowych tłoków. Można zastosować dodatkowo wkładki ceramiczne w celu podniesienia trwałości elementów tłoka [4].

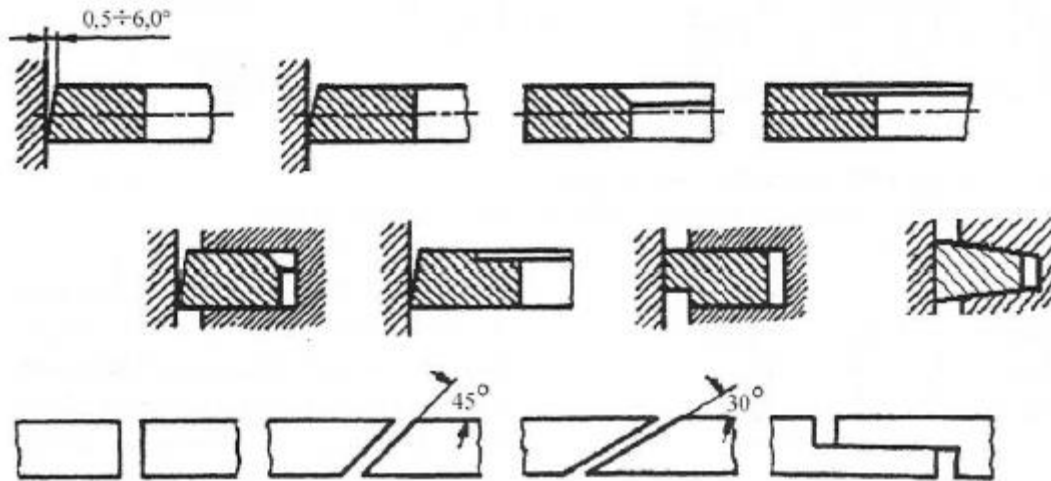
1.2. Pierścienie tłokowe

1.2.1. Podział i zadania pierścieni tłokowych

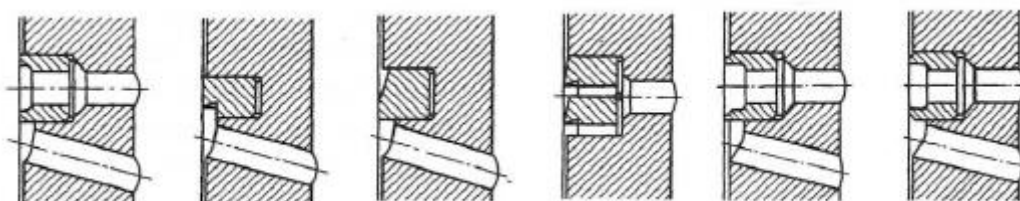
Wśród pierścieni tłokowych wyróżnia się pierścienie uszczelniające oraz pierścienie olejowe, zwane również pierścieniami zgarniającymi (rysunek 5). Zadaniem pierścieni uszczelniających są przede wszystkim uszczelnienie tłoka w cylindrze, oddzielanie przestrzeni spalania od komory korbowej oraz przenoszenie ciepła z tłoka do ściany chłodzonego cylindra. Pierścienie olejowe natomiast zbierają nadmierną ilość oleju smarującego ze ściany cylindra oraz odprowadzają nadmiar oleju do miski olejowej [2]. Pierścienie uszczelniające różnią się kształtem od pierścieni olejowych ze względu na różne role, jakie pełnią na tłoku. Podstawowe przekroje pierścieni uszczelniających i olejowych przedstawiono odpowiednio na rysunkach 6 i 7.



Rys. 5. Pierścienie tłokowe: a) uszczelniający, b) olejowy [3]



Rys. 6. Typowe przekroje pierścieni tłokowych uszczelniających [4]



Rys. 7. Typowe przekroje pierścieni tłokowych olejowych [4]

1.2.2. Materiały

Pierścienie tłokowe muszą być sprężyste i zachowywać swoje właściwości podczas zakładania na tłok oraz podczas pracy silnika przy całkowitym obciążeniu. Materiałami stosowanymi do wytwarzania pierścieni tłokowych są żeliwa i żeliwa ulepszone. W przypadku pierścieni wysoko obciążonych, wytwarza się je z żeliwa sferoidalnego lub stali wysokostopowej [2].

Dla poprawienia niektórych właściwości pierścieni stosuje się odpowiednie powłoki ochronne: fosforanowe, cynowe, molibdenowe, czy chromowe. Powłoki fosforanowe i cynowe ułatwiają proces docierania oraz poprawiają własności ślizgowe. Powłoki molibdenowe zapobiegają zacieraniu się pierścieni w sytuacjach awaryjnych. Powłoki chromowe natomiast zapobiegają korozji i zużyciu. Stosuje się do pokrywania pierwszego pierścienia uszczelniającego ze względu na najtrudniejsze warunki smarne, w jakich on pracuje.

1.3. Sworzeń tłokowy

1.3.1. Budowa, rodzaje sworzni tłokowych i sposoby osadzania

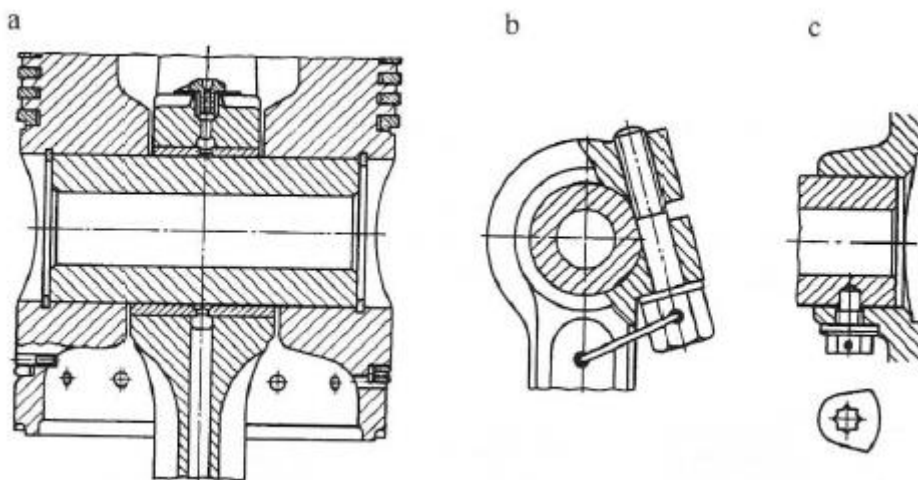
Głównym zadaniem sworznia tłokowego jest połączenie tłoka z korbowodem. Jak napisano powyżej, sworzeń osadzony jest w piąście tłoka. Ponieważ sworzeń wykonuje razem z tłokiem ruch posuwisto-zwrotny, jego masa powinna być możliwie jak najmniejsza. W celu minimalizacji działania sił bezwładności wykonuje się sworznie drążone. Wymagana jest duża dokładność wykonania powierzchni oraz duża dokładność kształtu sworznia, ze względu

na występujący w piastach tłoka i głowce korbowodu nieznaczny luz. Aby zapobiec nadmiernemu zużyciu sworzni w występujących złych warunkach smarowania, sworznie muszą charakteryzować się dużą twardością warstwy wierzchniej [2].

Wyróżnić można następujące rodzaje sworzni tłokowych:

- sworznie drażone na wskroś z otworem o przekroju kołowym na całej długości (kształt podstawowy),
- sworznie z drażeniem o kształcie stożkowym – redukcja masy,
- sworznie z otworem nieprzelotowym w środku długości lub na jednym z końców.

Wyróżnić można trzy podstawowe sposoby osadzania sworzni tłokowego, które zostały przedstawione na rysunku 8.



Rys. 8. Sposoby osadzania sworzni tłokowych: a) pływający, b) ustalony w głowce korbowodu, c) ustalony w piastach tłoka [4]

W przypadku osadzenia pływającego, czyli osadzenia, w którym sworznie może się obracać zarówno w piastach tłoka, jak i w korbowodzie, konieczne jest zabezpieczenie sworzni przed przesuwaniem osiowym, ponieważ może to prowadzić do rysowania tulei cylindra [4].

1.3.2. Materiały

Ze względu na szybkozmienne obciążenia o charakterze zmęczeniowym, wymagana jest duża wytrzymałość sworzni i odporność na obciążenia dynamiczne. Jednocześnie sworznie powinny charakteryzować się sprężystym i podatnym rdzeniem ze względu na odporność na zmęczenie. Warunki takie spełniają stale stopowe, które powierzchniowo mogą być poddawane obróbce cieplnej lub chemicznej, dzięki czemu zwiększa się ich twardość [2, 4].

1.4. Korbowód

1.4.1. Zadania

Podstawowym zadaniem korbowodu jest połączenie tłoka z wałem korbowym. Oprócz tego do zadań korbowodu należą [2, 4]:

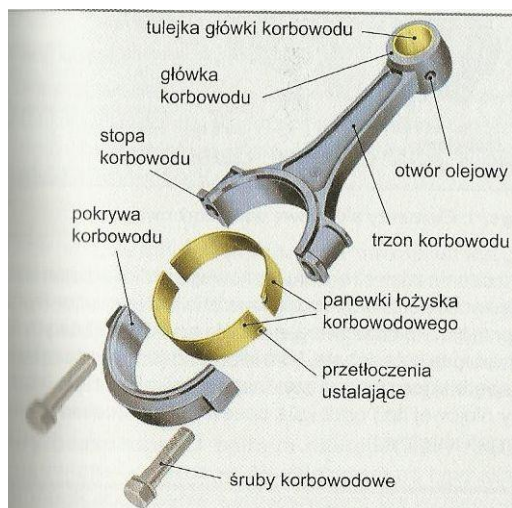
- zamiana ruchu posuwisto-zwrotnego tłoka w ruch obrotowy wału korbowego,
- przeniesienie siły gazowej na czop korbowy wału korbowego i wywołanie momentu obrotowego,
- przeniesienie sił rozciągających, pochodzących od sił bezwładności tłoka i części korbowodu biorącej udział w ruchu posuwisto-zwrotnym.

1.4.2. Budowa

W korbowodzie wyróżnia się następujące elementy [2, 3]:

- główka korbowodu,
- trzon,
- stopa korbowodu (łeb),
- pokrywa łba (pokrywa korbowodu),
- panewki łożyska korbowodowego,
- tulejka główki korbowodu,
- otwór olejowy w główce korbowodu,
- śruby korbowodowe.

Elementy budowy korbowodu przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Budowa korbowodu [2]

Główka korbowodu jest częścią, w której posadowiony jest sworzень tłokowy. W przypadku sworznia osadzonego w sposób pływający w główkę korbowodu wciśnięta jest tulejka sworzniowa, która stanowi łożysko dla obracającego się w niej sworznia. Tulejka ta wykonana jest zazwyczaj ze stopu miedzi [2]. W przypadku, gdy sworzень ustalony jest w główce korbowodu, jest on bezpośrednio osadzony w materiale korbowodu.

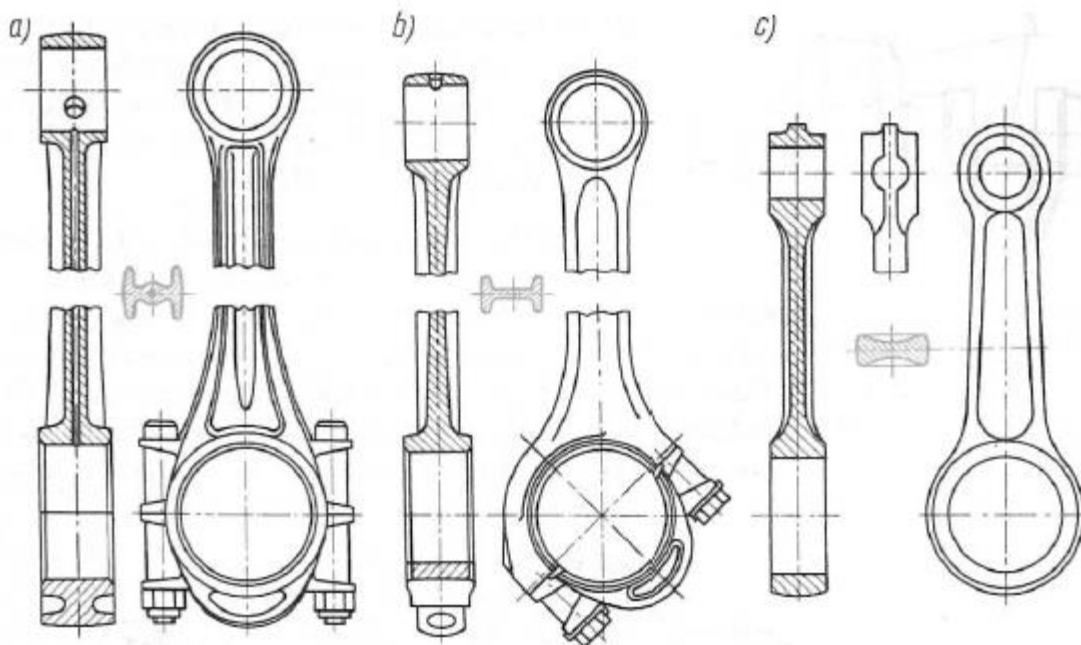
Trzon korbowodu jest częścią, która łączy główkę ze stopą korbowodu [3]. Trzon podczas pracy jest ściskany, rozciągany, wybaczany czy zginany, stąd musi być odpowiednio wytrzymały i sztywny. W celu zwiększenia jego wytrzymałości przeważnie wykonywany jest w formie teownika.

Stopa korbowodu obejmuje czop korbowy i razem z pokrywą korbowodu stanowi osadzenie dzielonego łożyska korbowodowego (panewki). Dzięki łożysku korbowód ślga się

po czopie wału. Pokrywa ze stopą korbowodu najczęściej łączona jest dwiema śrubami, chyba, że jest to korbowód jednoczęściowy.

1.4.3. Rodzaje (podział) korbowodów

Ze względu na konstrukcję stopy wyróżnić można m.in. korbowody ze stopą dzieloną prostopadłe do osi korbowodu, ze stopą dzieloną ukośnie, korbowód trapezowy i korbowód jednoczęściowy. Podstawową formą są korbowody ze stopą dzieloną prostopadłe do osi korbowodu. Podział skośny pozwala na zmniejszenie szerokości korbowodu, umożliwiając jego wyjęcie przez cylinder silnika. Stosowany jest zazwyczaj w silnikach o zapłonie samoczynnym ze względu na wyższe ciśnienie spalania i wywołanych tym większych nacisków. Dzięki skośnemu podziałowi stopy zwiększa się średnica łożyska korbowodowego. Przykłady odmian korbowodów przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Rodzaje korbowodów: a) z podziałem stopy prostopadłym do osi korbowodu, b) ze skośnym podziałem stopy, c) korbowód jednoczęściowy [3]

1.4.4. Materiały i wytwarzanie korbowodów

Korbowód narażony jest na duże obciążenia podczas pracy silnika, dlatego do jego wykonania niezbędny jest materiał o dużej wytrzymałości. Najczęściej wykonywane są jako odkuwki z pokrywą lub oddzielnie [4]. Przeważnie stosuje się stale stopowe do ulepszenia cieplnego metodą kucia matrycowego. Lepszymi własnościami wytrzymałościowymi charakteryzują się jednak korbowody wykonane z proszków spiekanych (ze stali w postaci proszków) [2]. W związku z tym ich powierzchnia przekroju poprzecznego może być mniejsza, a co za tym idzie, zmniejsza się ich masa. Stopa korbowodu jest wykonywana 'na gotowo' w procesie spiekania, osiągając przy tym swój kształt końcowy. Następnie jest nacinana laserem i łamana w miejscu nacięcia. Dzięki temu korbowód i pokrywa stopy korbowodu stanowią zespół elementów o dokładnie dopasowanej powierzchni przełomu,

zapewniający ich precyzyjne połączenie, zachowujący kołowość otworu łożyska korbowodowego.

1.5. Wał korbowy

1.5.1. Zadania

Wał korbowy jest ostatnim elementem biorącym udział w zamianie ruchu posuwisto-zwrotnego na ruch obrotowy. Do jego głównych zadań należy [2]:

- zamiana siły korbowodowej na siłę styczną oraz wynikający z niej moment obrotowy,
- przekazanie części momentu obrotowego poprzez koło zamachowe na sprzęgło,
- napędzanie urządzeń dodatkowych silnika spalinowego.

Część przednia wału służy do osadzania napędu rozrządu, koła pasowego napędu urządzeń pomocniczych lub odśrodkowego filtra oleju [3]. Przedłużenia ramion wału stanowią przeciwcieżary, które mają za zadanie wyrównoważenie silnika.

1.5.2. Budowa wału korbowego

Podstawowymi elementami, z których zbudowane są typowe wały korbowe silników wielocylindrowych są czopy korbowodowe, czopy główne oraz ramiona korby, łączące czopy główne z czopami korbowymi [2, 4]. Budowę wału korbowego przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Wał korbowy [2]

Wał korbowy posiada w swojej budowie czopy główne, leżące w jednej osi, które służą ułożyskowaniu wału w skrzyni korbowej [2]. Czopy korbowodowe natomiast stanowią osadzenie łożysk korbowodu. Czopy zarówno główne, jak i korbowodowe są zawsze hartowane i szlifowane. Ramiona korby łączą czopy główne z czopami korbowymi. Czop korbowodowy tworzy z ramieniem korby niewyważoną masę wirującą. Jest ona wyrównowana przeciwcieżarem zamocowanym po przeciwnej stronie czopa korbowodowego. Wał korbowy musi być wyważony dynamicznie. W tym celu stosowane są naddatki materiału, które pomniejsza się poprzez wywiercanie w nich otworów odciążających.

Czop korbowodowy z dwoma ramionami wału korbowego tworzą wykorbienie. Ułożenie wykorbienia zależy od rodzaju silnika. W silnikach czterocyndrowym wykorbienia leżą naprzeciw siebie w jednej płaszczyźnie, natomiast w silnikach sześciocyndrowych przestawione są względem siebie o kąt 120° .

Ważnym elementem współpracującym z wałem korbowym jest koło zamachowe, które gromadzi i oddaje nadmiar energii podczas pracy silnika. Dzięki energii koła zamachowego wyrównywane są wahania momentu obrotowego, będące wynikiem wypadających zapłonów oraz naturalne wahania prędkości obrotowej, wynikające z następstw zapłonów w cylindrach. Na obrzeżach koła zamachowego są nacięte zęby lub jest przykręcony wieniec zębaty, z którym zazębia się zębátka rozrusznika elektrycznego silnika spalinowego. Poprzez sprzęgło z koła zamachowego przekazywany jest do skrzyni biegów moment obrotowy.

Kształt wału korbowego zależy od [2]:

- liczby cylindrów,
- liczby łożysk głównych wału korbowego,
- pojemności skokowej silnika,
- kolejności zapłonów,
- usytuowania cylindrów względem siebie.

1.5.3. Materiały stosowane do wytwarzania wałów korbowych

Wały korbowe mogą być kute lub odlewane [3]. Wały kute przeważnie wykonywane są ze stali niestopowej wyższej jakości lub stali stopowych do ulepszenia cieplnego. Wały wykonane ze stali niestopowej muszą zostać poddane hartowaniu powierzchniowemu tak, aby czopy główne korbowodowe uzyskały odpowiednią twardość. Powierzchnię czopów wałów wykonanych ze stali stopowych utwardza się poprzez nawęglanie. Wały korbowe odlewane wykonywane są zazwyczaj z żeliwa sferoidalnego. Czopy wytworzone na drodze odlewania nie wymagają utwardzania, ponieważ cechuje je zazwyczaj odpowiednia twardość. Zaletą odlewania wałów korbowych jest łatwość uzyskiwania wymaganych kształtów.

1.5.4. Koło zamachowe

Koło zamachowe stosowane jest do gromadzenia nadwyżki energii przekazywanej na wał korbowy w suwie pracy. Energia ta jest oddawana w innych suwach. Koło zamachowe wyrównuje również prędkość obrotową wału korbowego. Przeważnie montowane jest na końcu wału korbowego. Na kole umieszczony jest wieniec zębaty, dzięki któremu silnik uruchamiany jest rozrusznikiem elektrycznym.

2. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z budową i funkcjami poszczególnych elementów układu tłokowo-korbowego silnika spalinowego.

3. Opracowanie wyników

Raport sporządzony na podstawie dokonanych obserwacji i pomiarów poszczególnych elementów układu tłokowo-korbowego silnika spalinowego.

Literatura:

1. Drozd Cz., Sroka Z.: "Silniki spalinowe laboratorium", Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998
2. Fischer R., Gscheidle R., Heider U.: "Silniki pojazdów samochodowych", Opracowanie merytoryczne wersji polskiej Kaźmierczak A., Wydawnictwo REA, Warszawa, 2010
3. Rychter T.: "Budowa pojazdów samochodowych", Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1984
4. Luft S.: "Podstawy budowy silników", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003