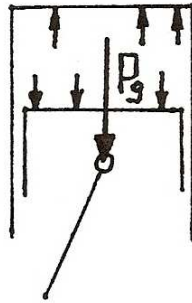


## 9.2. SIŁY DZIAŁAJĄCE NA UKŁAD KORBOWO - TŁOKOWY

Zadaniem układu korbowo tłokowego jest zamiana ruchu postępowo-zwrotnego tłoka na ruch obrotowy wału korbowego. Składa się z tłoków sworzni korbowodów i wału korbowego. Na poszczególne elementy układu korbowego działają dwa rodzaje sił: siły gazowe i siły bezwładności.

### 9.2.1. Siły gazowe

- powstają w wyniku działania ciśnienia gazów na denko tłoka. Siły ciśnienia gazów (siły gazowe) - ciśnienie czynnika roboczego  $P_g$  tj. mieszanki palnej lub spalin działające od strony głowicy między innymi na denko tłoka co powoduje jego przesunięcie.



Siła czynna  $P_g$  działająca na tłok  $p D^2$

$$P_g = \frac{\pi D^2}{4} (P_g - P_k)$$

D - średnica cylindra

$P_g$  - ciśnienie gazu w cylindrze w danej chwili [kPa]

$P_k$  - ciśnienie panujące w komorze korbowodowej

$P_k = P_o = 1013 \text{ hPa}$

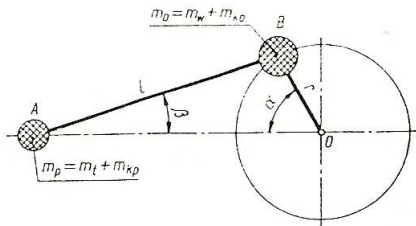
Siły gazowe zmieniają swoją wartość zgodnie z przebiegiem pracy silnika tj. proporcjonalnie do chwilowej wartości ciśnienia w cylindrze.

### 9.2.2. Siły bezwładności

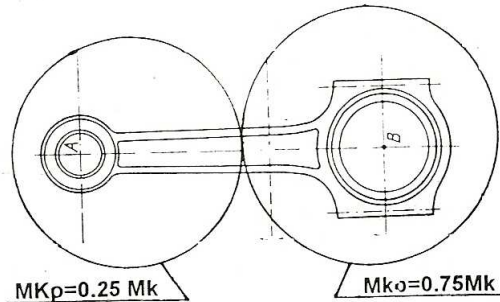
Do wyznaczenia sił bezwładności występujących w układzie niezbędne jest omówienie rozkładu mas.

1. Masy dzielimy na masy będące w ruchu postępowym  $m_p$  i ruchu obrotowym  $m_o$ .

- Masa  $m_t$  - jest to masa tłoka z pierścieniami i sworzniem tłokowym skupione w środku sworznia tłokowego [punkt A]
- Masa  $m_w$  - jest to masa czopa korbowego oraz niewyrównoważenie ramion korby skupione w środku czopa korbowego [punkt B].



Rys. 9.5. Rozkład mas w mechanizmie korbowym



Rys. 9.6. Rozmieszczenie mas korbowodu

Masę korbowodu  $m_k$  zastępuje się układem dwóch mas zastępczych. Przyjmujemy że masa  $m_{kp}$  jest skupiona w punkcie A i porusza się ruchem prostoliniowym. Masa  $m_{ko}$  jest skupiona w punkcie B i wykonuje ruch obrotowy.

Całkowita masa wykonująca ruch postępowo-zwrotny wynosi:

$$m_p = m_t + m_{kp}$$

Całkowita masa wykonująca ruch obrotowy wynosi:

$$m_o = m_w + m_{ko}$$

2. Siły bezwładności pochodzące od mas będących w ruchu postępowo-zwrotnym:

$$P_p = m_p b = m_p (b' + b'') = m_p b' + m_p b'' = P_{p'} + P_{p''}$$

Ponieważ przyśpieszenie tłoka ( $b$ ) jest sumą przyśpieszenia pierwszego rzędu oraz przyśpieszenia drugiego rzędu, siłę  $P_p$  przedstawiamy jako sumę siły pierwszego rzędu  $P_{p'}$  i siły drugiego rzędu  $P_{p''}$ , gdzie:

$$P_{p'} = m_p r \omega^2 \cos \alpha \quad [\text{kN}], \quad P_{p''} = m_p r \omega^2 \cos 2\alpha \quad [\text{kN}]$$

3 Siły bezwładności pochodzące od mas będących w ruchu obrotowym tzw. odśrodkowe

$$P_o = m_o e = m_o r \omega^2 \quad [\text{kN}]$$

Siła odśrodkowa jest stała przy stałej prędkości obrotowej wału korbowego.

### 9.2.3. Siły wypadkowe

Podczas pracy silnika spalinowego na mechanizm korbowy działają jednocześnie omówione siły ciśnienia gazów i siły bezwładności. Działająca na tłok wypadkowa siła -  $P_t$  jest sumą algebraiczną siły bezwładności  $P_p$  i mas wykonujących ruch postępowo zwrotny oraz siły  $P_g$  ciśnienia gazów

$$P_t = P_g + P_p$$

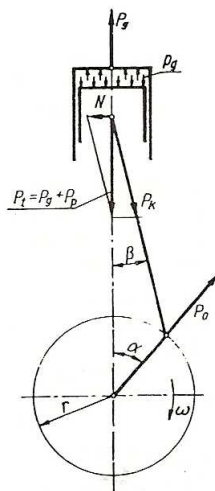
Rozkład sił działających na mechanizm korbowy przedstawia rys. 9.7.

Siła wypadkowa  $P_t$  przejmowana jest przez sworznię tłokową jak również gładź cylindra. W zwrotnych położeniach siła ta przenoszona jest przez sam sworznię. Siła  $P_t$  działająca na o sworzni tłokowego rozkłada się na dwie składowe:

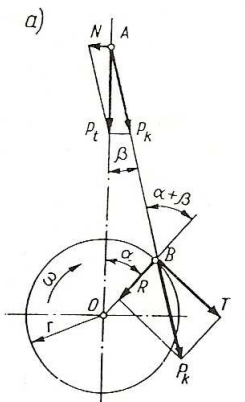
- siłę  $P_k$  działającą wzdłuż o i korbowodu i siłę  $N$  prostopadłą do osi cylindra. Siła  $N$  decyduje o zużyciu gładzi cylindra i płaszczka tłoka i zależna jest od kąta  $\beta$

$$N = P_t \operatorname{tg} \beta$$

$$P_k = \frac{P_t}{\cos \beta}$$



Rys. 9.7. Rozkład sił działających na mechanizm korbowy



Rys. 9.8. Rozkład siły korbowej  $P_k$  na siły składowe

Siła  $P_k$  przenoszona jest na czop korby i rozkłada się na dwie składowe, składową  $T$  styczną do okręgu zataczanego promieniem  $r$  oraz promieniową  $R$ , której kierunek wyznacza chwilowe położenie ramienia korby (rys 9.8).

$$T = P_k \sin(\alpha + \beta)$$

$$R = P_k \cos(\alpha + \beta)$$

Oprócz siły promieniowej  $R$  wzdłuż ramienia korby działa siła odśrodkowa  $P_o$  wywołana ruchem obrotowym masy  $m_o$ . Siła styczna  $T$  działająca na ramieniu korby  $r$  jest jedyną siłą wytwarzającą chwilowy moment obrotowy na wale silnika:

$$M = T r, \text{ i jest zależny od siły gdyż } r = \text{const.}$$

#### 9.2.4 . Siły działające na kadłub silnika.

Jeżeli siłę  $P_k$  przeniesiemy do punktu  $B$ , osi czopa a następnie do środka obrotu wału korbowego (punkt  $O$ ) przełożymy dwie równe siły  $P_k$  lecz przeciwnie skierowane (równoległe do osi korbowodu) to otrzymamy parę sił o momencie.

$$M = P_k a$$

Siłę  $P_k$  przyłożoną do osi obrotu wału korbowego rozłożymy na dwie składowe: składową  $P_t$  i składową  $N$ . Z rysunku 1.6 widzimy, że siły  $N$  w punktach  $A$  i  $O$  mają przeciwne zwroty, więc tworzą parę sił w momencie

$$M_r = - N h$$

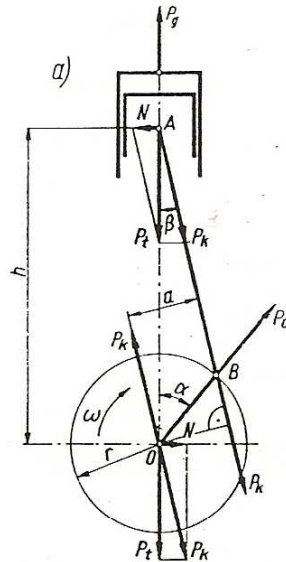
Ponieważ :

$$N = P_k \sin \beta$$

oraz  $h = \frac{a}{\sin \beta}$

$$M_r = - P_k \cdot a = - M$$

Moment  $M_r$  jest równy co do wartości momentowi  $M$  lecz posiada przeciwny zwrot. Moment ten działa na kadłub silnika i stara się obrócić go w kierunku przeciwnym obrotowi wału korbowego. Siła ciśnienia gazu  $P_g$  działająca na głowicę cylindra i siła  $P_t$  przyłożona w punkcie  $O$  posiadają przeciwne zwroty. Różnica ich bezwzględnych wartości stanowi siłę, która działa na kadłub silnika i jest niezrównoważona.



Rys. 9.9. Rozkład sił działających na kadłub silnika

Wzdłuż ramienia korby, oprócz siły  $R$  (rys 9.9) działa siła odśrodkowa  $P_o$  wywołana obrotem masy  $m_w$  (wału korbowego) oraz  $m_k$  (masy korbowodu). Siła  $P_o$  jest niezrównoważona i za pośrednictwem łożysk oddziałuje na kadłub silnika powodując jego drgania przenoszone na zawieszenie.

**Siły do wyrównowazenia :**

- $P_o = m_o r \omega^2$  - siła odśrodkowa (rys 1.6) wywołana obrotem masy wału korbowego i masy korbowodu. Jest to siła stała co do wartości i skierowana zawsze wzdłuż ramienia korby.
- $P^1_p = m_p b^1 = m_p r \omega^2 \cos \alpha$  siła bezwładności pierwszego rzędu mas znajdujących się w ruchu postępowo-zwrotnym (masa tłoka, część masy korbowodu) działająca wzdłuż osi cylindra.
- $P^2_p = m_p b^2 = m_p r \omega^2 \lambda \cos 2\alpha$  - siła bezwładności drugiego rzędu mas znajdujących się w ruchu postępowo-zwrotnym działająca zawsze wzdłuż osi cylindra o zmiennej wartości i zwrocie.
- $M_r = N h$  - moment reakcji równy momentowi obrotowemu co do wartości lecz o przeciwnym zwrocie. Działa w płaszczyźnie nie prostopadłej do osi wału korbowego przechodzącej przez oś cylindra i powoduje drgania silnika w płaszczyźnie nie prostopadłej do osi wału korbowego.