

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΙΓΜΙΑΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΣΕ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Από το βιβλίο

Heinz Grohe: Otto und Dieselmotoren. 9 Auflage, Vogel Buchverlag 1990.

Κεφάλαιο 2: Mechanische Grundlagen

Επιμέλεια μετάφρασης: Ολυμπία Ζώγου, Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός

1 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Το έμβολο παλινδρομεί μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ, διαδοχικά επιταχυνόμενο και επιβραδυνόμενο. Απεναντίας ο στροφαλοφόρος κινείται (κατά προσέγγιση) με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Η κίνηση του διωστήρα, που συνδέει τα δύο παραπάνω στοιχεία του κινητήρα, καθορίζεται από τις κινήσεις τους. Η στιγμιαία θέση του εμβόλου μπορεί να οριστεί με βάση την απόσταση από το ΑΝΣ (ΟΤ). Αυτή η απόσταση s θα πρέπει να δίδεται ως συνάρτηση της γωνίας στροφάλου (Σχήμα 1).

$$s = l + r - (l \cos \beta + r \cos \alpha)$$

Η γωνία ταλάντωσης του διωστήρα β συσχετίζεται μέσω της σχέσης

$$l \sin \beta = r \sin \alpha$$

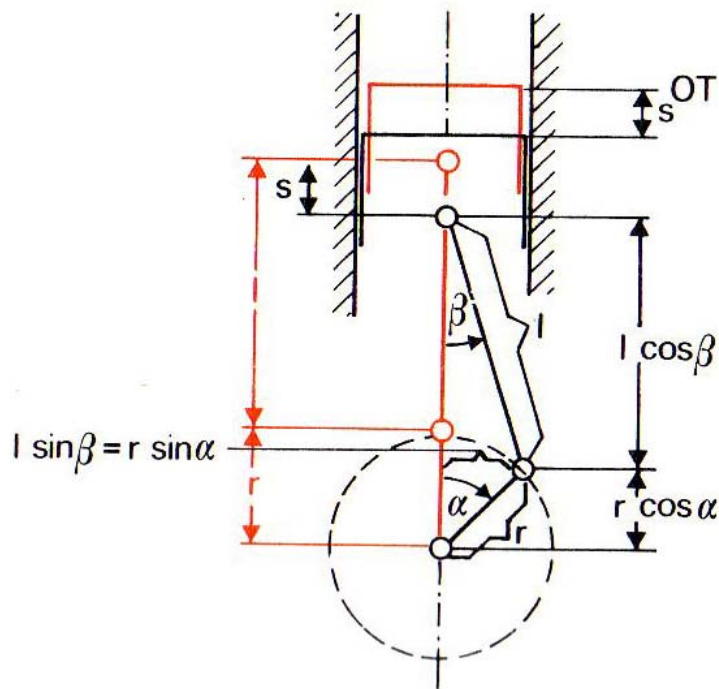
Με τη γωνία στροφάλου α . Εάν χρησιμοποιήσουμε τον αδιάστατο λόγο ακτίνας στροφάλου/μήκους διωστήρα $\lambda = r/l$, προκύπτει

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha \quad \text{und} \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha}.$$

Έτσι προκύπτει η συνάρτηση της θέσης του εμβόλου με τη γωνία στροφάλου:

(1)

$$s = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha})$$



Σχήμα 1 Υπολογισμός μετατόπισης εμβόλου s

Συχνά ο κατασκευαστής κινητήρων χρησιμοποιεί προσεγγιστικές προς την παραπάνω, γραμμικοποιημένες σχέσεις, εφόσον μπορεί να διασφαλίσει ικανοποιητική ακρίβεια προσέγγισης για τις ανάγκες της εφαρμογής του. Ένας απλός τρόπος γραμμικοποίησης είναι μέσω ανάπτυξης σε δυναμοσειρά, της οποίας κρατάμε μόνο τους δύο πρώτους όρους.

Ανάπτυξη σε σειρά Maclaurin:

$$y(x) = y(0) + y'(0) \frac{x}{1!} + \dots$$

Όπου αντικαθιστούμε $y = \sqrt{1-x}$ και

$$\lambda^2 \sin^2 \alpha = x \quad \text{ΚΑΙ} \quad \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha} = y$$

Έτσι προκύπτει απλοποίηση της ρίζας με την προσεγγιστική σχέση:

$$\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha} = 1 - \frac{\lambda^2}{2} \sin^2 \alpha.$$

Και οδηγούμαστε στην παρακάτω προσεγγιστική σχέση για τη θέση του εμβόλου σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου:

(2)

$$s = r \left(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha \right)$$

Παράδειγμα 1

Για μια διάταξη εμβόλου - διωστήρα - στροφάλου με $r = 50 \text{ mm}$ και $l = 200 \text{ mm}$, να υπολογίσετε το μέγιστο ποσοστιαίο σφάλμα, εξαιτίας της εφαρμογής της παραπάνω προσεγγιστικής σχέσης για τη θέση του εμβόλου.

Λύση

Τα τμήματα της δυναμοσειράς που λείπουν (έχουν απορριφθεί) από την προσεγγιστική σχέση, περιέχουν όλα δυνάμεις του $\sin \alpha$. Το μέγιστο σφάλμα προκύπτει επομένως όταν $\alpha = 90^\circ$, ενώ όταν $\alpha = 0^\circ$ το σφάλμα μηδενίζεται. Άς υπολογίσουμε αρχικά την ακριβή τιμή της θέσης του εμβόλου με τη σχέση (1):

$$s = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha})$$

$$s = 50 \text{ mm} (1 - 0) + 200 \text{ mm} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{16} \cdot 1}\right)$$

$$\underline{s = 56,35 \text{ mm}}$$

Από την προσεγγιστική σχέση (2) προκύπτει η αντίστοιχη τιμή:

$$s = r \left(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha\right)$$

$$s = 50 \text{ mm} \left(1 - 0 + \frac{1}{8} \cdot 1\right)$$

$$\underline{s = 56,25 \text{ mm}}$$

Επομένως το απόλυτο σφάλμα από την προσεγγιστική σχέση είναι $-0,1\text{mm}$ το ποσοστιαίο σφάλμα είναι:

$$\underline{f_{\max}} = \frac{-0,1}{56,35} \cdot 100 = \underline{-0,178\%}$$

Ένα επιπλέον σημαντικό μέγεθος είναι η ταχύτητα εμβόλου. Στις εμβολοφόρες μηχανές συναντούμε δύο ταχύτητες εμβόλου:

- Τη μέση ταχύτητα εμβόλου
- Τη στιγμιαία ταχύτητα εμβόλου

Αυτή που υπολογίζεται απλούστερα είναι η μέση ταχύτητα εμβόλου:

(3)

$$c_m = 2 H n$$

Όπου H η διαδρομή του εμβόλου και n ο αριθμός στροφών του κινητήρα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μας ενδιαφέρει επίσης η στιγμιαία ταχύτητα εμβόλου. Αυτή προκύπτει από την εξίσωση της θέσης του εμβόλου, από τη σχέση:

$$c = \frac{ds}{dt}$$

Επειδή η θέση του εμβόλου εκφράζεται αποκλειστικά σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου, η παραγωγή ως προς τον χρόνο γίνεται αλυσιδωτά:

$$c = \frac{ds}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt}$$

Η έκφραση $(d\alpha/dt)$ είναι βέβαια η γωνιακή ταχύτητα του στροφάλου. Ξεκινώντας από την σχέση (2), μπορούμε να φτιάξουμε με τον τρόπο αυτό μία προσεγγιστική εξίσωση για τη στιγμιαία ταχύτητα του εμβόλου. Η ακρίβεια της εξίσωσης αυτής επαρκεί για τις περισσότερες εφαρμογές μας:

$$\text{Mit } \frac{ds}{d\alpha} = r(\sin \alpha + \lambda \sin \alpha \cos \alpha)$$
$$\frac{ds}{d\alpha} = r\left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha\right) \text{ wird:}$$

(5)

$$c = \omega r \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

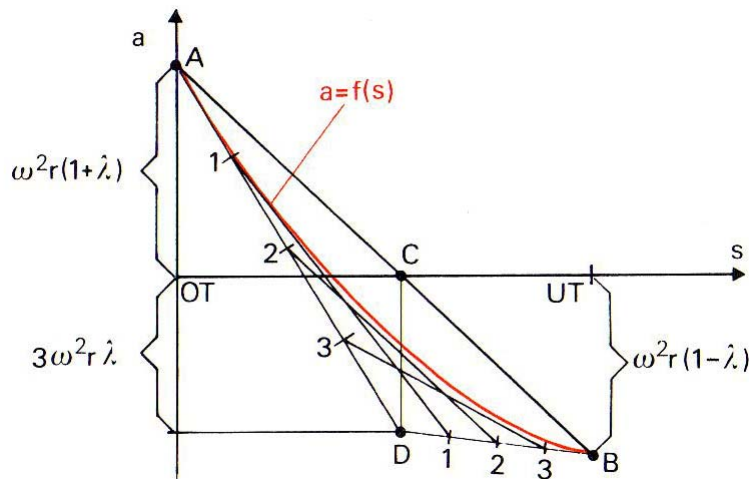
Όσο για τη στιγμιαία επιτάχυνση του εμβόλου, μπορεί κι αυτή να προκύψει με αντίστοιχο τρόπο από την στιγμιαία ταχύτητα του εμβόλου:

$$a = \frac{dc}{dt} = \frac{dc}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt}$$

(6)

$$a = \omega^2 r (\cos \alpha + \lambda \cos 2 \alpha)$$

Σε πολύ ταχύστροφους κινητήρες όπως αυτοί των αγωνιστικών αυτοκινήτων, η ακρίβεια της παραπάνω προσεγγιστικής σχέσης δεν επαρκεί. Εκεί θα πρέπει να παραγωγίσουμε την ακριβή σχέση για τη θέση του εμβόλου, ή τουλάχιστον να χρησιμοποιήσουμε περισσότερους όρους της σειράς McLaurin για την προσέγγιση. Πέρα από την υπολογιστική επίλυση, είναι χρήσιμο να δούμε και μια γραφική επίλυση εδώ. Η επιτάχυνση του εμβόλου μπορεί να παρασταθεί προσεγγιστικά με μια παραβολή, με επαρκή ακρίβεια όταν το $\lambda < 0,26$. Η μέθοδος επεξηγείται με βάση το Σχήμα 2. Πρώτα επιλέγουμε κατάλληλη κλίμακα για τους άξονες.



Σχήμα 2 Επιτάχυνση εμβόλου a

Στη συνέχεια βρίσκουμε το σημείο A σε απόσταση $a = \omega^2 r (1 + \lambda)$ πάνω από το ANΣ (OT), καθώς και το σημείο B σε απόσταση $a = \omega^2 r (1 - \lambda)$ κάτω από το KNΣ (UT).

Συνδέουμε τα 2 σημεία με μια ευθεία η οποία τέμνει τον οριζόντιο άξονα στο C.

Από το σημείο C φέρνουμε κάθετη στον οριζόντιο άξονα και κατεβαίνουμε σε απόσταση $3 \omega^2 r \lambda$, οπότε βρίσκουμε το σημείο D.

Στη συνέχεια υποδιαιρούμε τα ευθύγραμμα τμήματα AD και DB π.χ. σε 4 ίσα μέρη, και αριθμούμε τα ενδιάμεσα σημεία που προκύπτουν (1,2,3, με τη φορά που φαίνεται στο σχήμα). Συνδέοντας τώρα τα αντίστοιχα ονοματισμένα σημεία, προκύπτει η παραβολή της επιτάχυνσης του εμβόλου ως περιβάλλουσα (envelope, Hüllkurve) των ευθύγραμμων αυτών τμημάτων.

Παράδειγμα 2

Για ένα κινητήρα με $r = 35 \text{ mm}$, $\lambda = 0,28$, $n = 6000 \text{ 1/min}$, να υπολογίσετε για γωνία στροφάλου $\alpha = 30^\circ$

Τη θέση εμβόλου, ταχύτητα εμβόλου και επιτάχυνση εμβόλου.

Λύση

1. Θέση εμβόλου

$$s = r \left(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha \right)$$
$$s = 35 \text{ mm} (1 - 0,866 + 0,14 \cdot 0,25)$$
$$\underline{s = 5,9 \text{ mm}}$$

2. Ταχύτητα εμβόλου

$$c = \omega r \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2 \alpha \right)$$

Η απαιτούμενη γωνιακή ταχύτητα ω υπολογίζεται από την εξίσωση:

$\omega = 2 \pi n$, οπότε προκύπτει:

$$c = \frac{\pi \cdot 6000}{30} \frac{1}{s} 0,035 \text{ m} (0,5 + 0,14 \cdot 0,866)$$

$$\underline{c = 13,7 \text{ m/s}}$$

3. Επιτάχυνση εμβόλου

$$a = \omega^2 r (\cos \alpha + \lambda \cos 2 \alpha)$$

$$a = 3,95 \cdot 10^5 \frac{1}{s^2} 0,035 \text{ m} (0,866 + 0,28 \cdot 0,5)$$

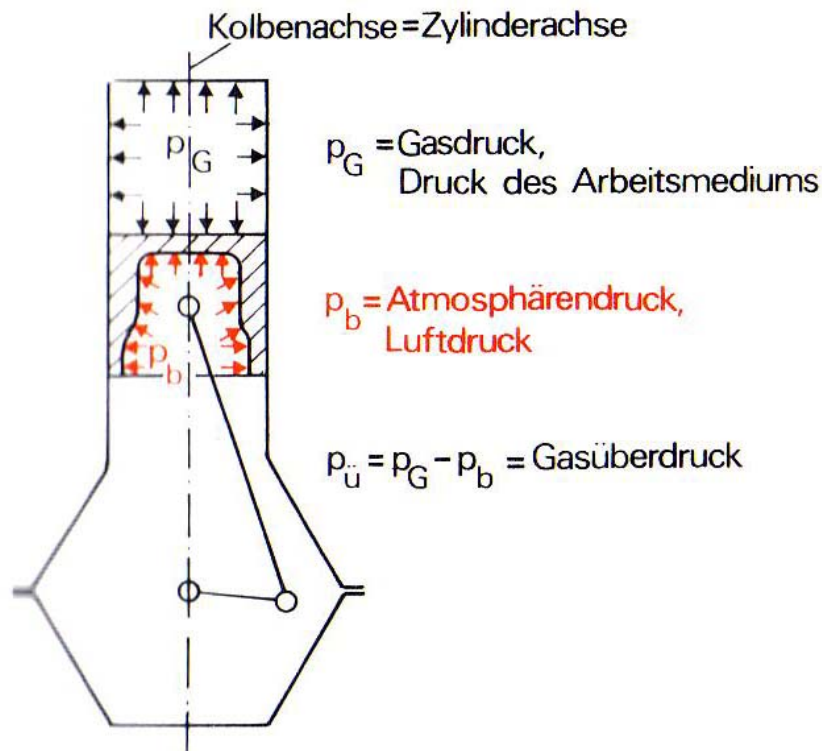
$$\underline{a = 13 850 \text{ m/s}^2}$$

2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Οι δυνάμεις των αερίων προκαλούνται από την πίεση αερίου στις επιφάνειες που το περιβάλλουν. Έτσι, το έμβολο δέχεται μια δύναμη προς τα πάνω λόγω της πίεσης του εργαζόμενου μέσου στον κύλινδρο, ενώ επίσης δέχεται από το κάτω μέρος του (κάρτερ, στροφαλοθάλαμο), την ατμοσφαιρική πίεση (Σχήμα 3). Οπότε προκύπτει η δύναμη αερίων από τη σχέση:

(10)

$$F_G = A p_{\bar{u}}$$



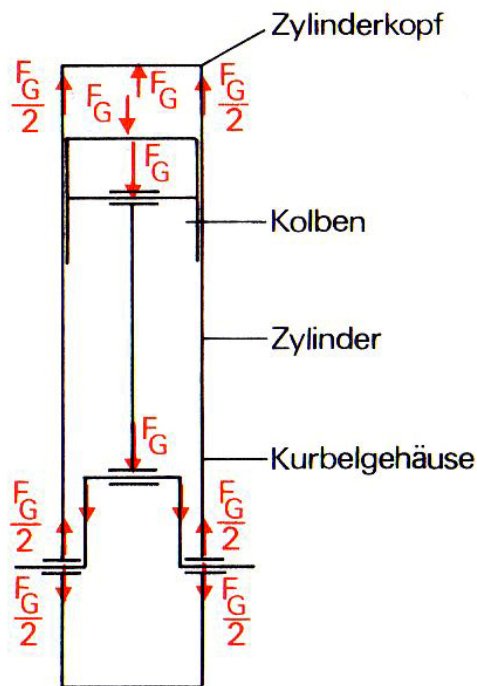
Σχήμα 3 Πιέσεις των αερίων στο έμβολο

όπου

A = προβολή της άνω επιφάνειας της κορώνας του εμβόλου σε μια επιφάνεια κάθετη στον άξονα παλινδρόμησης του εμβόλου.

p_u = Υπερπίεση του εργαζόμενου μέσου στον κύλινδρο.

Στο Σχήμα 4 μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη ροή δυνάμεως σε μια κατασκευή μονοκύλινδρου, κατακόρυφα τοποθετημένου εμβολοφόρου κινητήρα. Η δύναμη των αερίων εξισορροπείται εντός της κατασκευής του κινητήρα, με συνέπεια να μη μεταφέρεται εκτός του κινητήρα (βάσεις κτλ).



Σχήμα 4 Ροή δυνάμεως των δυνάμεων των αερίων δια μέσου της κατασκευής

3 ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Η επιτάχυνση ή επιβράδυνση των μαζών συνοδεύονται από αδρανειακές δυνάμεις (2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα). Αδρανειακές δυνάμεις υφίστανται τόσο στον εμβολοφόρο κινητήρα όσο και σε άλλου τύπου κινητήρες όπως ο Wankel. Οι αδρανειακές δυνάμεις όμως του εμβολοφόρου κινητήρα, δεν είναι δυνατόν να εξισορροπηθούν εντελώς αλλά μόνο εν μέρει. Η εξισορρόπηση των αδρανειακών δυνάμεων επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων αντιβάρων, η περιστροφή των οποίων προκαλεί αντίθετες δυνάμεις και τις εξουδετερώνει. Επειδή οι αδρανειακές δυνάμεις είναι περιοδικά μεταβαλλόμενες, όταν αυτές εξισορροπηθούν δεν προκαλούν πλέον διεγέρσεις στην κατασκευή (μειώνονται οι κραδασμοί και ο θόρυβος). Γι' αυτό το λόγο ο κατασκευαστής προσπαθεί συνεχώς να επιτύχει όσο πιο τέλεια εξισορρόπηση των αδρανειακών δυνάμεων είναι

δυνατή. Όμως οι αδρανειακές δυνάμεις δεν έχουν μόνον μειονεκτήματα, αλλά και κάποια ευεργετικά αποτελέσματα, π.χ. αποφορτίζουν το έμβολο όταν δρουν αντίθετα από τις δυνάμεις των αερίων κατά την φάση της εκτόνωσης.

Οι αδρανειακές δυνάμεις χωρίζονται στις **αδρανειακές δυνάμεις περιστρεφόμενων μαζών**, και στις **αδρανειακές δυνάμεις παλινδρομουσών μαζών**.

Οι πρώτες είναι οι γνωστές μας φυγόκεντρες δυνάμεις (για τον κινούμενο παρατηρητή). Προκαλούνται σε κάθε ομοιόμορφη κυκλική κίνηση μαζών.

Για τον υπολογισμό των αδρανειακών δυνάμεων περιστρεφόμενων μαζών, ισχύει η γνωστή σχέση:

$$F_r = m_r r \omega^2 \quad (11)$$

όπου

m_r =περιστρεφόμενη μάζα

r = απόσταση του κέντρου μάζας από το κέντρο περιστροφής

ω = γωνιακή ταχύτητα

Οι αδρανειακές δυνάμεις παλινδρομουσών μαζών προκαλούνται από την ανομοιόμορφη ευθύγραμμη (παλινδρομική) κίνηση του εμβόλου.

Υπολογίζονται με βάση τη σχέση:

$$F_{os} = m_{os} a$$

Όπου m_{os} η μάζα που παλινδρομεί και a η στιγμιαία επιτάχυνσή της.

Εάν αντικαταστήσουμε τη στιγμιαία επιτάχυνση από τη σχέση (6), προκύπτει η παρακάτω σχέση για τις αδρανειακές δυνάμεις παλινδρομουσών μαζών:

(12)

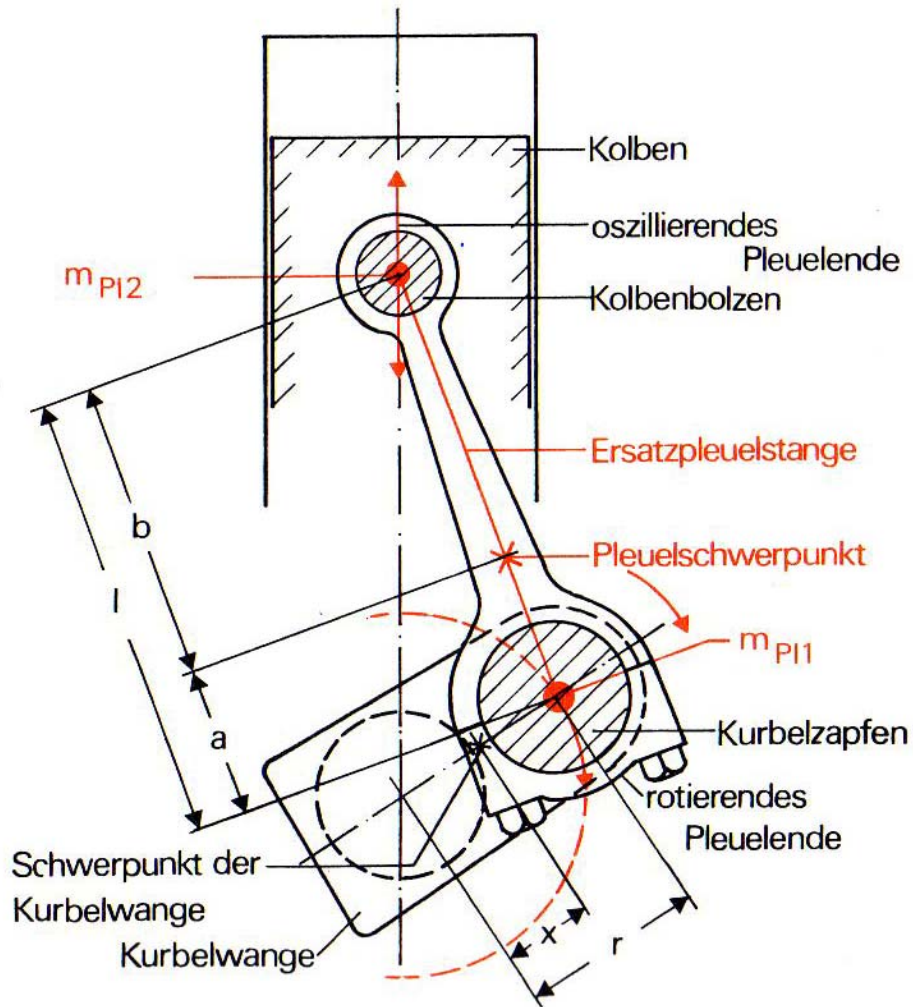
$$F_{os} = m_{os} r \omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2 \alpha)$$

Οι παλινδρομούσες μάζες περιλαμβάνουν το έμβολο (μαζί με τα ελατήριά του και τον πείρο σύνδεσης με το διωστήρα), καθώς και το τμήμα της μάζας του διωστήρα που εκτελεί παλινδρομική κίνηση. Οπότε προκύπτει η σχέση:

(15)

$$F_{os} = (m_K + m_{p12}) r \omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2 \alpha)$$

Από την άλλη μεριά, ο υπολογισμός των δυνάμεων αδρανείας των περιστρεφόμενων μαζών του εμβολοφόρου κινητήρα, παρουσιάζει περισσότερες δυσκολίες εξαιτίας των πολύπλοκων γεωμετρικών μορφών και τρόπου κίνησης των διάφορων εξαρτημάτων όπως ο διωστήρας (περιστρεφόμενο τμήμα του), το στρόφαλο και τα αντίβαρά του (Σχήμα 5).



Σχήμα 5 Απλοποιημένη υποκατάστατη μορφή του διωστήρα για τη διευκόλυνση των υπολογισμών

Στο Σχήμα 5 εξηγείται η διαδικασία υποκατάστασης του διωστήρα, για τις ανάγκες απλοποίησης των υπολογισμών, από δύο διακριτά τμήματα, το ένα εκ των οποίων θεωρείται ότι εκτελεί μόνο παλινδρομική κίνηση (άνω μέρος του στην εικόνα, με μάζα m_{P12}), ενώ το άλλο ότι εκτελεί αποκλειστικά περιστροφική κίνηση (κάτω μέρος, με μάζα m_{P11}). Δεδομένου ότι η κίνηση του κέντρου μάζας του διωστήρα προκύπτει ότι εκτελεί μία περίπλοκη τροχιά, ενώ αντίθετα τα δύο άκρα του (κέντρα των αντίστοιχων εδράνων) διαγράφουν ευθύγραμμη και κυκλική

τροχιά αντίστοιχα, μπορούμε να απλοποιήσουμε τους υπολογισμούς θεωρώντας ότι η μάζα m_{p12} είναι όλη συγκεντρωμένη σε μια σφαίρα γύρω από το κέντρο του εδράνου διωστήρα – εμβόλου, ενώ η μάζα m_{p11} είναι συγκεντρωμένη σε μια σφαίρα γύρω από το κέντρο του εδράνου διωστήρα – στροφάλου. Προφανώς, για να ικανοποιείται η ισορροπία του εξαρτήματος, θα πρέπει οι ροπές των δύο μαζών γύρω από το κέντρο μάζας του διωστήρα να εξισορροπούνται, ενώ βέβαια το άθροισμα των μαζών θα ισούται με τη συνολική μάζα του διωστήρα.

$$\begin{aligned} m_{p1} &= m_{p11} + m_{p12} \\ m_{p11} a &= m_{p12} b \end{aligned}$$

Από το σύστημα των δύο εξισώσεων προκύπτει:

$$\begin{aligned} m_{p11} &= m_{p1} \frac{b}{l} \\ m_{p12} &= m_{p1} - m_{p11} \end{aligned}$$

Όσον αφορά τώρα τις αδρανειακές δυνάμεις των υπόλοιπων περιστρεφόμενων μαζών, δηλαδή του στροφάλου και των αντιβάρων του, υπάρχει η δυσκολία ότι διαφέρουν μεταξύ τους οι ακτίνες περιστροφής των εξαρτημάτων αυτών. Για να απλοποιήσουμε και εδώ την κατάσταση, κάνουμε αναγωγή όλων των περιστρεφόμενων μαζών στην ακτίνα στροφάλου r . Έτσι, οι μάζες που περιστρέφονται σε διαφορετική ακτίνα περιστροφής από αυτήν, υποκαθιστώνται από διαφορετικές μάζες, που περιστρέφονται σε ακτίνα r θα προκαλούσαν τις ίδιες φυγόκεντρες δυνάμεις. Η υποκατάσταση των μαζών γίνεται με βάση τη σχέση:

$$m_{WE} = m_W x/r$$

Όπου:

x = απόσταση της πραγματικής μάζας από τον άξονα περιστροφής

r = απόσταση της υποκατάστατης μάζας από τον άξονα περιστροφής

Επομένως προκύπτει η τελική σχέση για τις δυνάμεις αδρανείας των περιστρεφόμενων μαζών του εμβολοφόρου κινητήρα:

(14)

$$F_r = \left(m_z + m_{pl1} + 2 m_w \frac{x}{r} \right) r \omega^2$$

Όπου:

m_z = μάζα του στρόφαλου

m_{pl1} = περιστρεφόμενο τμήμα της μάζας του διωστήρα

$2 m_w$ = μάζα αντιβάρων (δύο αντίβαρα)

r = ακτίνα στροφάλου

4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στο έμβολο επενεργεί κατά την κατεύθυνση του άξονά του η δύναμη F , η οποία προκύπτει ως συνισταμένη της δύναμης των αερίων και της αδρανειακής δύναμης από την επιταχυνόμενη ή επιβραδυνόμενη παλινδρομική κίνηση εμβόλου – τμήματος διωστήρα. Αυτή η δύναμη πάντοτε βρίσκεται σε ισορροπία με την εγκάρσια αντίδραση N του χιτωνίου (που κρατά το έμβολο στην παλινδρομική τροχιά του), και με τη δύναμη S που ασκείται στο έμβολο από τον διωστήρα, και έχει διεύθυνση κατά τον άξονα του διωστήρα (Σχήμα 6).

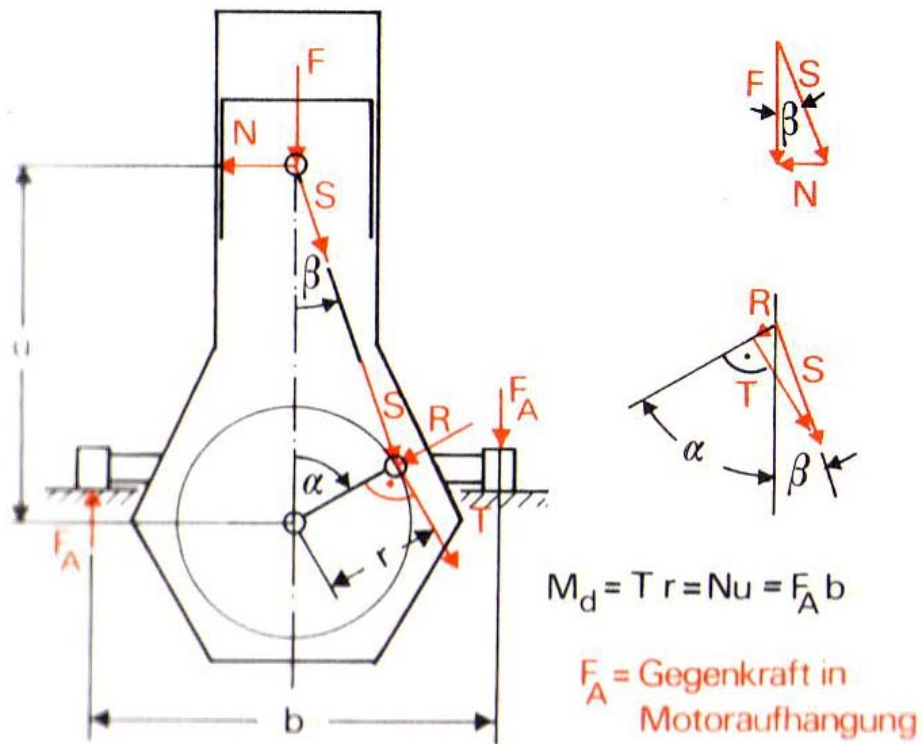
Με βάση το τρίγωνο δυνάμεων του Σχήματος, προκύπτουν οι σχέσεις:

(16)

$$N = F \tan \beta$$

(17)

$$S = \frac{F}{\cos \beta}$$



Σχήμα 6 Τα τρίγωνα δυνάμεων εμβόλου-διωστήρα και διωστήρα - στροφάλου

Η εγκάρσια δύναμη N την οποία δέχεται το τοίχωμα του κυλίνδρου από τα ελατήρια του εμβόλου, δεν θα πρέπει να οδηγεί σε επιφανειακή πίεση υψηλότερη από το επιτρεπτό όριο.

Συνεχίζοντας με το διάγραμμα ελευθέρου σώματος του στροφάλου, που εξηγείται στο ίδιο σχήμα, παρατηρούμε ότι η δύναμη S με την οποία καταπονείται ο διωστήρας, μεταφέρεται στο στρόφαλο, όπου μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες: στην ακτινική δύναμη R και την εφαπτομενική δύναμη T .

Οπότε ισχύουν οι σχέσεις:

(18)

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

(19)

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

Τόσο η ακτινική δύναμη όσο και η εφαπτομενική δύναμη καταπονούν τον στροφαλοφόρο και τα έδράνά του. Όμως η εφαπτομενική δύναμη είναι αυτή που τελικά δημιουργεί τη ροπή του κινητήρα:

(20)

$$M_d = T r$$

Η ροπή αντίδρασης που την εξισσοροπεί εκτός του κινητήρα, δημιουργείται από την εγκάρσια δύναμη N (Σχήμα 6). Προσοχή: Η γωνία β θα πρέπει να λαμβάνει αρνητική τιμή στις παραπάνω σχέσεις, όταν ο διωστήρας γέρνει προς τα αριστερά, δηλαδή όταν κινείται το έμβολο από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ.

Παράδειγμα 3

Να υπολογιστεί η επιφανειακή πίεση στο έδρανο διωστήρα – στροφάλου για γωνία στροφάλου $\alpha = 30^\circ$ (Σχήμα 7). Δεδομένα:

Διάμετρος κυλίνδρου **$D = 80 \text{ mm}$**

Διαδρομή **$H = 65 \text{ mm}$**

Υπερπίεση αερίων στον κύλινδρο **$p_{\bar{u}} = 20 \text{ bar}$**

Συνολική μάζα εμβόλου (με ελατήρια και πείρο) **$m_K = 0,5 \text{ kg}$**

Μάζα διωστήρα **$m_{PI} = 0,9 \text{ kg}$**

Μήκος διωστήρα **$l = 120 \text{ mm}$**

Θέση κέντρου μάζας διωστήρα **$a = 40 \text{ mm}$**

Διάμετρος κομβίου διωστήρα-στροφάλου **$d = 50 \text{ mm}$**

Πλάτος εδράνου κομβίου διωστήρα – στροφάλου **$b = 25 \text{ mm}$**

Αριθμός στροφών κινητήρα **$n = 5000 \text{ rpm}$**

Λύση

Δύναμη αερίων:

$$F_G = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \rho \ddot{u}$$

$$F_G = 50,27 \text{ cm}^2 \cdot 20 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \frac{1}{10000} \frac{\text{m}^2}{\text{cm}^2}$$

$$\underline{F_G = 10053 \text{ N}}$$

Αδρανειακές δυνάμεις:

$$F_{os} = (m_K + m_{P12}) r \omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2 \alpha)$$

$$m_{P12} = m_{P1} a/l$$

$$m_{P12} = 0,9 \text{ kg} \cdot 40 \text{ mm}/120 \text{ mm}$$

$$m_{P12} = 0,3 \text{ kg}$$

$$\omega = \pi n/30 = \pi 5000/30 = 523,6 \text{ 1/s}$$

$$F_{os} = (0,5 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg}) 0,0325 \text{ m} 274156 \frac{1}{\text{s}^2} \times$$

$$\times \left(\cos 30^\circ + \frac{32,5}{120} \cos 60^\circ \right)$$

$$F_{os} = 0,8 \text{ kg} 0,0325 \text{ m} 274156 \frac{1}{\text{s}^2} \times$$

$$\times (0,866 + 0,271 \cdot 0,5)$$

$$F_{os} = 0,8 \text{ kg} 0,0325 \text{ m} 274156 \frac{1}{\text{s}^2} 1,002$$

$$\underline{F_{os} = 7139 \text{ N}}$$

Με διανυσματική πρόσθεση (αφαίρεση των τιμών) των δύο δυνάμεων, προκύπτει η συνολική αξονική δύναμη στο έμβολο:

$$\underline{F} = F_G - F_{os} = 10053 \text{ N} - 7139 \text{ N} = \underline{2914 \text{ N}}$$

Το έδρανο του κομβίου διωστήρα – στροφάλου καταπονείται από τη δύναμη του διωστήρα καθώς και τη φυγόκεντρο δύναμη εξαιτίας της περιστροφής του τμήματος του διωστήρα που θεωρείται ότι εκτελεί περιστροφική κίνηση.

Δύναμη που μεταφέρει ο διωστήρας:

$$S = F/\cos \beta$$

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha = 0,271 \sin 30^\circ$$

$$\sin \beta = 0,271 \cdot 0,5 = 0,136$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = 0,9908$$

$$\underline{S = 2914 \text{ N} / 0,9908 = \underline{2941 \text{ N}}}$$

Φυγόκεντρος δύναμη του περιστρεφόμενου τμήματος του διωστήρα:

$$F_{rPl} = m_{Pl} r \omega^2 = 0,6 \text{ kg} \cdot 0,0325 \text{ m} \cdot 274 \cdot 156 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$\underline{F_{rPl} = 5346 \text{ N}}$$

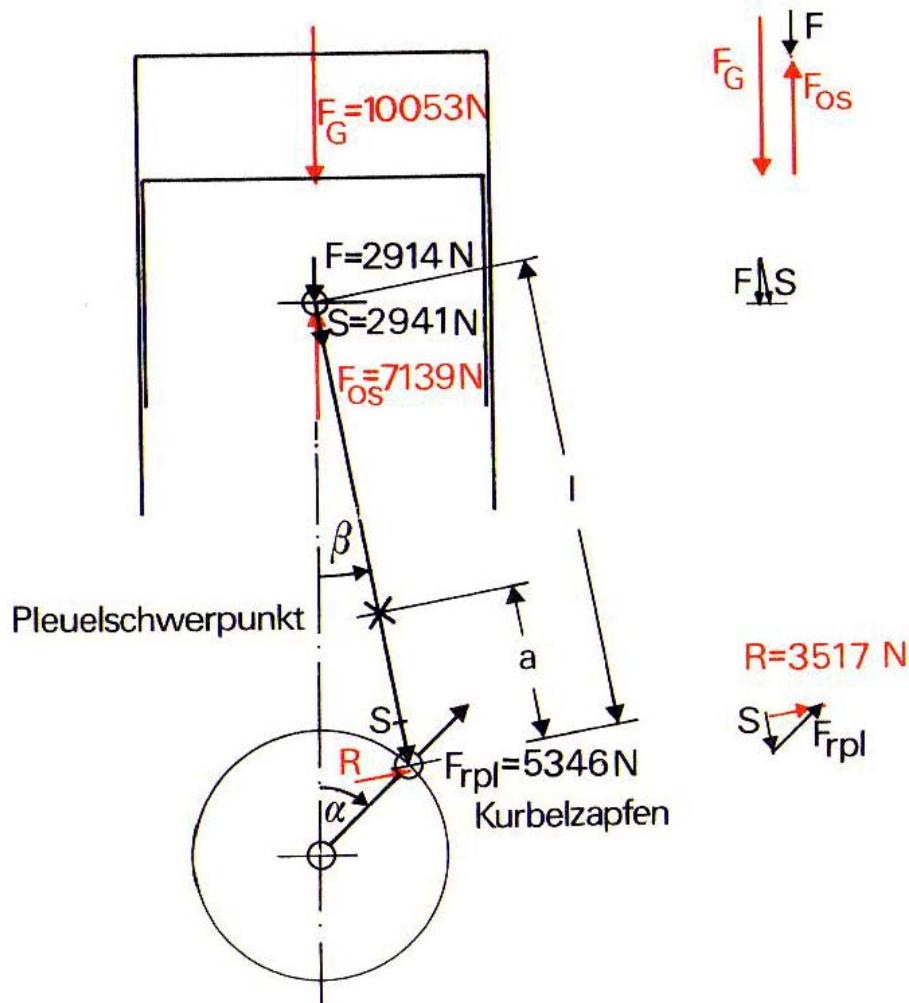
Η δύναμη του διωστήρα S και η φυγόκεντρος δύναμη F_{rPl} , προστίθενται διανυσματικά και δίνουν τη συνισταμένη δύναμη R (Σχήμα 7). Η γωνία κατά την οποία εφαρμόζεται η δύναμη του διωστήρα υπολογίζεται από τη σχέση $\sin \beta = 0,136$

Δηλαδή $\beta = 7,8^\circ$.

Η διανυσματική άθροιση των δύο δυνάμεων (Σχήμα 7) δίνει: **$R = 3517 \text{ N}$**

Οπότε προκύπτει η επιφανειακή πίεση στο έδρανο:

$$\underline{p} = \frac{R}{b d} = \frac{3517 \text{ N}}{25 \text{ mm } 50 \text{ mm}} = \underline{\underline{2,81 \text{ N/mm}^2}}$$



Σχήμα 7 Επεξηγήσεις επίλυσης του παραδείγματος 3