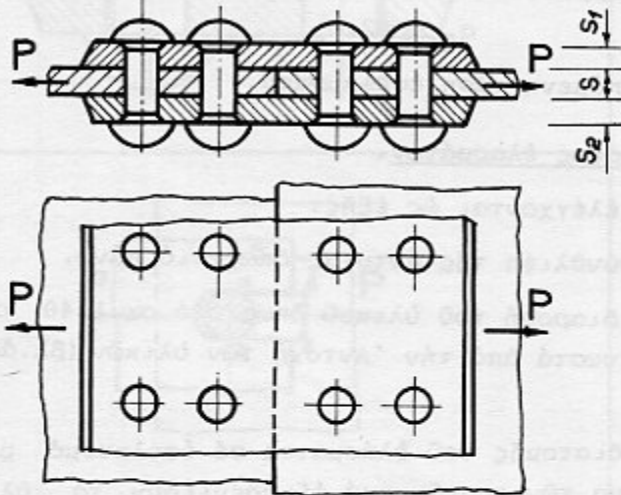


ΗΛΟΙ

Άσκηση 1

Ήλωση με διπλή άρμολαύπτρα καταπονείται όπως στο σχήμα:



Δίνονται τα στοιχεία:

1. Μεταφερόμενο φορτίο..... $P = 12000 \text{ Kp}$
2. Πάχος έλασμάτων..... $s = 10 \text{ mm}$
3. Πάχος άρμολαυπτρών $S_1 = S_2 = 6 \text{ mm}$
4. Διάμετρος διαμορφωμένου ήλου $d_1 = 17 \text{ mm}$
5. Άριθμός ήλων $Z = 4$
6. Άριθμός σειρών ήλων $n = 2$
7. Υλικό st34.Νά ληφθεϊ:

Έπιτρεπόμενη τάση έφελκυσμοϋ $\sigma_{\epsilon\pi} = 1100 \text{ Kp/cm}^2$
Έπιτρεπόμενη τάση διατμήσεως $\tau_{\epsilon\pi} = 900 \text{ Kp/cm}^2$

Ζητείται ο έλεγχος της καταλληλότητας των ήλων.

Λύση 1

1. Ελεγχος σε διατμηση

Η πιο πάνω ηλωση είναι διπλής τομης (αριθμός τομών ήλου $m=2$) και έχει δύο σειρές παραλλήλων ηλων.

Το φορτίο P μεταφέρεται από το ένα έλασμα στίς αρμοκαλύπτρες με 4 ήλους ($Z=4$) και από τις αρμοκαλύπτρες στο άλλο έλασμα με τους άλλους 4 ήλους οπότε ισορροπεί με το απέναντι φορτίο P .

Με την προϋπόθεση της ισης κατανομής του φορτίου στους ήλους, ο κάθε ήλος δέχεται φορτίο:

$$F = P/Z = 12000/4 = 3000 \text{ Kp}$$

Η διατομή του ήλου είναι: $A = \pi d_1^2/4 = 2,27 \text{ cm}^2$

Κάθε ηλος καταπονείται με δύο διατομές, οπότε η συνολική επιφάνεια καταπονήσεως κάθε ήλου είναι:

$$\Sigma A = 2 \cdot A = 2 \cdot 2,27 = 4,54 \text{ cm}^2$$

Η τάση διατμήσεως είναι: $\tau = F / \Sigma A = 3000 \text{ Kp} / 4,54 \text{ cm}^2$

$$\tau = 660 \text{ Kp/cm}^2 < 900 \text{ Kp/cm}^2$$

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει από τη σχέση $A = Z m (\pi d_1^2/4)$ πού αναφέρθηκε στη σελίδα .

$$\tau = F / A = F / Z m (\pi d_1^2/4) = \frac{12000}{4 \cdot 2 \cdot 2,27} = 660 \text{ Kp/cm}^2$$

2. Ελεγχος σε συνθλιψη αντυγας

Η επιφανειακη πιεση στην αντυγα των συνδεομενων ελασματος είναι

$$\sigma_\ell = \frac{P}{Z d_1 S} = \frac{12000 \text{ kp}}{4 \cdot 1,7 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}} = 1765 \text{ Kp/cm}^2$$

Η $\sigma_{\ell \varepsilon \pi}$ = επιτρεπομενη πίεση συνθλίψεως της άντυγας λαμβανεται ως

$$\sigma_{\ell \varepsilon \pi} = 2 \cdot \sigma_{\varepsilon \pi} = 2 \cdot 1100 \text{ Kp/cm}^2 = 2200 \text{ Kp/cm}^2$$

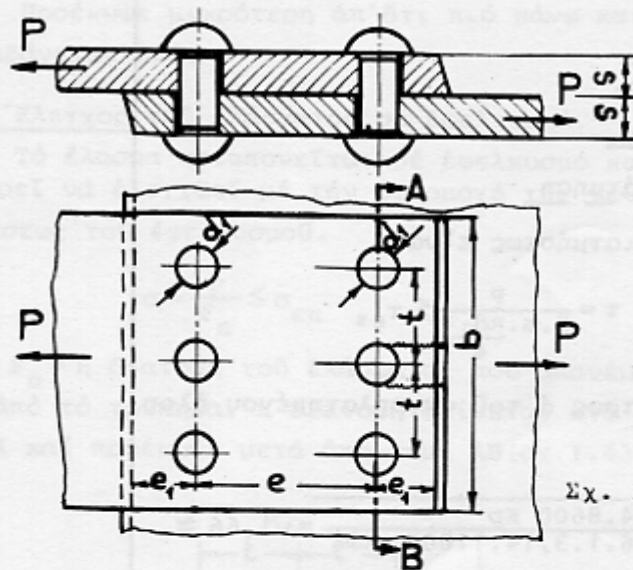
Αφου $\sigma_\ell < \sigma_{\ell \varepsilon \pi}$ υπαρχει εξασφαλιση απο συνθλιψη αντυγας

Η επιφανειακη πιεση σε κάθε αρμοκαλύπτρα είναι

$$\sigma_{\ell 1} = \frac{P/2}{Z d_1 S_1} = \frac{12000/2 \text{ kp}}{4 \cdot 1,7 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm}} = 1470 \text{ Kp/cm}^2 < \sigma_\ell < \sigma_{\ell \varepsilon \pi}$$

Άσκηση 2

Δύο έλασματα, πάχους s , συνδέονται με ήλων έ-
πικαλύψεως όπως στο σχήμα.



Σχ. 1.43

Δίνονται:

1. Φορτίο..... $P = 8600 \text{ Kp}$
2. Άριθμός ήλων..... $Z = 6$
3. Άριθμός σειρών ήλων..... $n = 2$
4. Πλάτος έλασματος..... $b = 150 \text{ mm}$
5. Πάχος έλασμάτων..... $s = 8 \text{ mm}$
6. Υλικό ήλων St 34. Νά ληφθεῖ:
 Έπιτρεπόμενη τάση έφελκυσμοῦ $\sigma_{\text{επ}} = 1400 \text{ Kp/cm}^2$
 Έπιτρεπόμενη τάση διατμήσεως $\tau_{\text{επ}} = 1100 \text{ Kp/cm}^2$
7. Υλικό έλασμάτων. Νά ληφθεῖ: $\sigma_{\text{επ}} = 1200 \text{ Kp/cm}^2$
 $\tau_{\text{επ}} = 960 \text{ Kp/cm}^2$

Ζητούνται:

1. Ὁ ὑπολογισμός τῆς διαμέτρου τῶν ἡλων d [mm]
2. Ὁ ἐλεγχος τοῦ ἐλάσματος σέ ἐφελκυσμό.
3. Ὁ ἐλεγχος τοῦ ἐλάσματος γιὰ διαρροή ὅπως στό σχῆμα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

1. Διάμετρος ἡλων.

α) Μέ βάση τῆς διάτμησης.

Ὁ τύπος τῆς διατμήσεως εἶναι:

$$\tau = \frac{P}{Z \cdot m \cdot \frac{\pi d_1^2}{4}} \leq \tau_{\epsilon\pi}$$

ὁπότε ἡ διάμετρος d_1 τοῦ σφυρηλατημένου ἡλου θά εἶναι:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P}{Z \cdot m \cdot \pi \cdot \tau_{\epsilon\pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8600 \text{ Kp}}{6 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 1100 \text{ Kp/cm}^2}} = \sqrt{1,66} \approx 1,29 \text{ cm}$$

Λαμβάνεται: Διάμετρος ἡλου $d = 12 \text{ mm}$ ὁπότε

Διάμετρος ὀπῆς $d_1 = 13 \text{ mm}$

β) Μέ βάση τήν σύνθλιψη τῆς ἄντυγας.

Ὁ τύπος τῆς ἐπιφανειακῆς πίεσεως ἀπό σύνθλιψη τῆς ἄντυγας εἶναι:

$$\sigma_{\ell} = \frac{P}{Z \cdot d_1 \cdot S} \leq \sigma_{\ell\epsilon\pi}$$

Ἡ ἐπιτρεπόμενη πίεση συνθλίψεως τῆς ἄντυγας συνήθως λαμβάνεται:

$$\sigma_{\ell\epsilon\pi} = 2 \cdot \sigma_{\epsilon\pi} = 2 \cdot 1100 \text{ Kp/cm}^2 = 2200 \text{ Kp/cm}^2$$

ἐπρεπε να είναι $1200 \text{ Kp/cm}^2 = \sigma_{\epsilon\pi}$ ἐλάσματος
ἢ $1400 \text{ Kp/cm}^2 = \sigma_{\epsilon\pi}$ ἡλου

οπότε η διάμετρος d_1 θα είναι:

$$d_1 = \frac{P}{Z \cdot S \cdot \sigma_{\text{επ}}} = \frac{8600 \text{ kp}}{6 \cdot 0,6 \text{ cm} \cdot 2200 \text{ Kp/cm}^2} = 1,09 \text{ cm} = 10,9 \text{ mm}$$

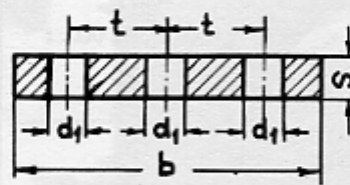
Προέκυψε μικρότερη απ'ότι πιο πάνω και δεν λαμβάνεται υπόψη.

2. Έλεγχος του έλασματος σέ έφελκυσμό.

Τό έλασμα καταπονείται σέ έφελκυσμό και έτσι μπορεί νά έλεγχθει μέ τήν έφαρμογή τής γενικής σχέσεως του έφελκυσμού.

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \sigma_{\text{επ}}$$

F_n = ή διατομή του έλασματος πού άπονέμει μετά άπό τό τρύπημα. Ή διατομή φαίνεται στό σχήμα 1.44 και προέκυψε μετά άπό τομή AB (σχ.1.43).



Σχ. 1.44.

Ή διατομή F_n είναι:

$$F_n = (b - 3d_1) \cdot s = (15 - 3 \cdot 1,3) 0,8 = 8,88 \text{ cm}^2$$

και ή τάση έφελκυσμού:

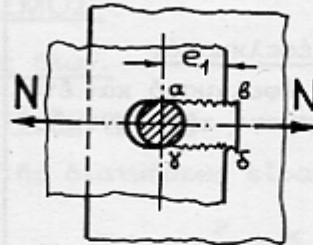
$$\sigma = \frac{P}{F_n} = \frac{8600 \text{ Kp}}{8,88 \text{ cm}^2} = 968 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{επ}} = 1200 \text{ Kp/cm}^2$$

Άφοϋ $\sigma < \sigma_{\text{επ}}$ τό έλασμα φορτίζεται κανονικά.

3. Έλεγχος ελάσματος έναντι διαρροής.

Η δύναμη N που αντιστοιχεί σε έναν-ήλο προ-σπαθεί να κόψει τό έλασμα κατά μήκος των γραμ-
μών $\alpha\beta$ και $\gamma\delta$ (σχ.1.45).



Σχ. 1.45.

Τό μήκος των $\alpha\beta$ και $\gamma\delta$ λαμβάνεται:

$$\alpha\beta = \gamma\delta = e_1 - 0,5d_1$$

Κάθε επιφάνεια που τείνει να κοπεί είναι:

$$(e_1 - 0,5d_1)S$$

Η απόσταση e_1 λαμβάνεται:

$$e_1 > 1,5d_1 \rightarrow e_1 > 1,5 \cdot 13\text{mm} = 19,5\text{mm} \rightarrow e_1 = 20\text{mm}$$

Η τάση διατμήσεως είναι:

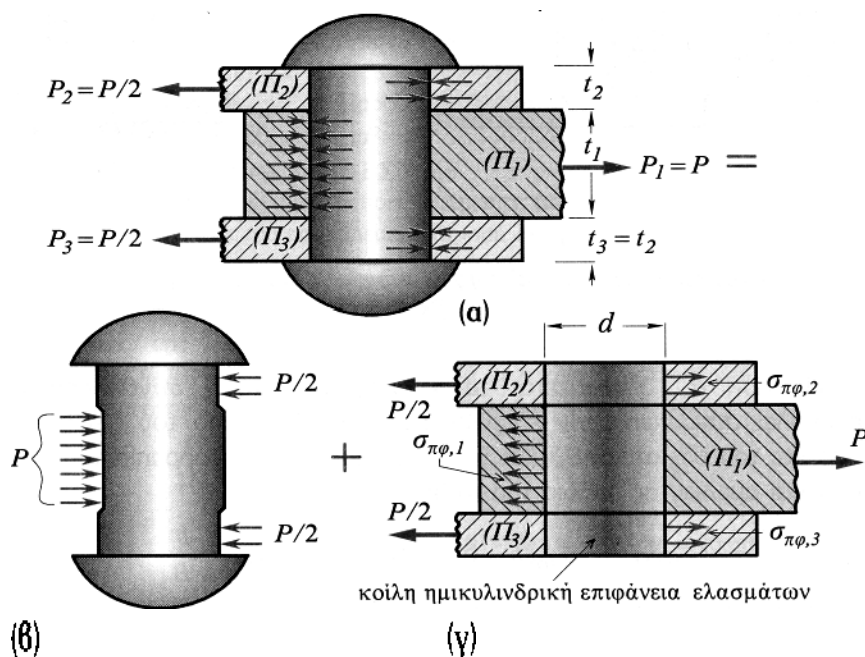
$$\begin{aligned} \tau &= \frac{N}{2(e_1 - 0,5d_1)S} = \frac{P}{2 \cdot 2(e_1 - 0,5d_1)S} = \\ &= \frac{8600 \text{ kp}}{6 \cdot 2(2 - 0,5 \cdot 1,3) \cdot 0,8} = 664 \text{ Kp/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_{\epsilon\pi} = 960 \text{ Kp/cm}^2$$

Αφού $\tau < \tau_{\epsilon\pi}$ δέν υπάρχει κίνδυνος σχισίματος των ελασμάτων.

Άσκηση 3

Ένας χαλύβδινος συζευκτήρας φέρει εφελκυστική δύναμη $P=100\text{KN}$ μέσω αριθμού ήλων διαμέτρου $d=1\text{cm}$. Το υλικό των ήλων είναι St40 και του ελασματος St36, με ενιαίο συντελεστή ασφαλείας $S = 4$. Να υπολογισθεί ο απαιτούμενος αριθμός ήλων, z , καθώς και τα πάχη των ελασμάτων t , t_1 & t_2 αν το πλάτος του ελασματος είναι $b=10\text{cm}$. Να ληφθεί υπ' όψιν και η αναπτυσσόμενη τάση σύνθλιψης άντυνας, $\sigma_{\pi\phi}$, αν $\sigma_{\pi\phi\epsilon\pi} = \sigma_{\epsilon\pi/\epsilon\lambda\alpha\sigma\mu}$.



(β) Καταπόνηση **δίτμητου** ήλου με ταυτόχρονη καταπόνηση των ελασμάτων

Λύση

1. Καταπόνηση ήλων

$$\sigma_{\epsilon\pi} = \sigma_{z\theta\rho} / S = 40/4 \text{ kp/mm}^2 = 10 \text{ kp/mm}^2 = 10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\epsilon\pi} = 0,8 \cdot \sigma_{\epsilon\pi} = 8 \text{ kN/cm}^2$$

Οι ήλοι είναι διτμητοι επομένως $m=2$

$$\tau_{\epsilon\pi} \geq \frac{P}{zmA} = \frac{P}{zm\pi d^2 / 4} = 8 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \mathbf{Z = 8 \text{ ήλους}}$$

2. Καταπόνηση ελασματος σε εφελκυσμο

$$\sigma_{\epsilon\pi/\epsilon\lambda\alpha\sigma\mu} = \sigma_{z\theta\rho} / S = 36/4 \text{ kp/mm}^2 = 9 \text{ kp/mm}^2 = 9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\epsilon\phi\epsilon\lambda\kappa\upsilon\sigma\mu\omicron\upsilon/\epsilon\lambda\alpha\sigma\mu} = P / A_{\text{καθαρη}} = \frac{P}{bt - td} = \frac{P}{t(b - d)} \leq \sigma_{\epsilon\pi/\epsilon\lambda\alpha\sigma\mu} = 9 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow$$

$$t = \frac{P}{9(b-d)} = \frac{100}{9(10-1)} = 1,235cm = 12,35mm \approx 13mm$$

2. Σύνθλιψη άντυνας στο έλασμα Π1

$$\sigma_{\pi\phi} = \frac{P}{Zdt} \leq \sigma_{\pi\phi\epsilon\pi} = \sigma_{\epsilon\pi/\epsilon\lambda\alpha\sigma\mu} = 9 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow t = \frac{100}{8 \cdot 1 \cdot 9} \approx 14mm$$

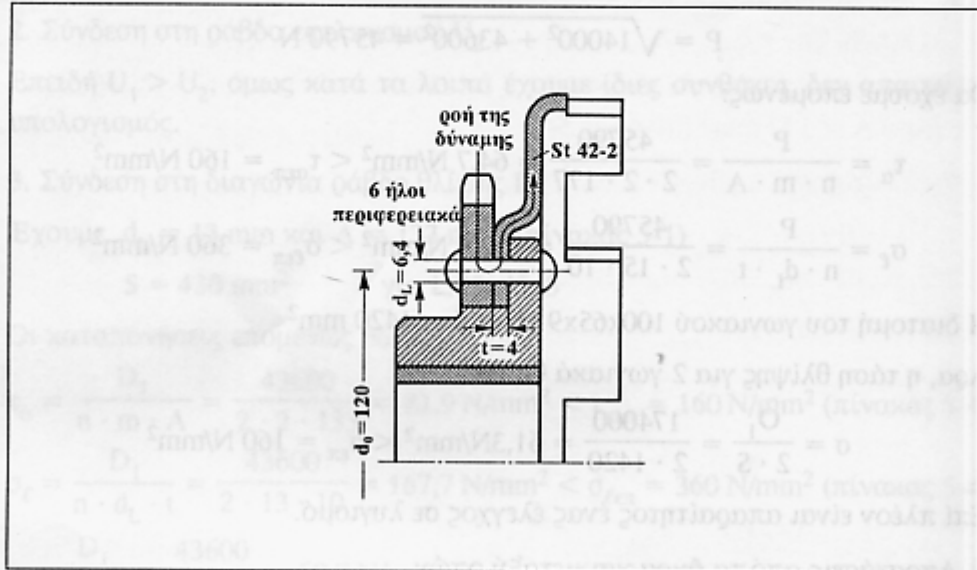
Επιλέγω το μεγαλύτερο πάχος $t \approx 14mm$

και επειδή τα ελάσματα Π2 και Π3 δέχονται φορτίο $P/2$ έκαστο
 $\Rightarrow$

$$t_1 = t_2 = t/2 = 7mm$$

Άσκηση 4.

Στο σχήμα Π5-2 ο αλυσοτροχός συνδέεται μέσω ήλων με τη φλάντζα ενός συμπλέκτη. Προς μεταφορά είναι μια εναλλασσόμενη ροπή στρέψης 800000 Nmm. Ζητείται ο έλεγχος της σύνδεσης.



Σχήμα Π5-2. Ηλωτή σύνδεση αλυσοτροχού με τη φλάντζα συμπλέκτη.

♦ Λύση

– Περιφερειακή δύναμη F_u στον κύκλο σύνδεσης των ήλων:

$$F_u = \frac{2T}{d_o} = \frac{2 \cdot 800000}{120} = 13333 \text{ N}$$

– Τάση διάτμησης

Επειδή η ροπή μεταφέρεται από τον αλυσοτροχό κατ' ευθείαν στο συμπλέκτη χωρίς τη συμμετοχή της πλήμνης, όπως δείχνει και η ροή της δύναμης στο σχήμα, η σύνδεση είναι μιας τομής ($m = 1$).

Με $n = 6$ ήλοι, διατομή του τοποθετημένου ήλου $A = 32,2 \text{ mm}^2$ και δύναμη φόρτισης $F = F_u$, η τάση διάτμησης τ_a θα είναι (σχέση 5.4):

$$\tau_a = \frac{F_u}{n \cdot m \cdot A} = \frac{13333}{6 \cdot 1 \cdot 32,2} = 69 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{αεπ}} = 85 \text{ N/mm}^2 \text{ (πίνακας 5-5)}.$$

– Τάση συνθλίψης σ_ℓ (σχέση 5.5)

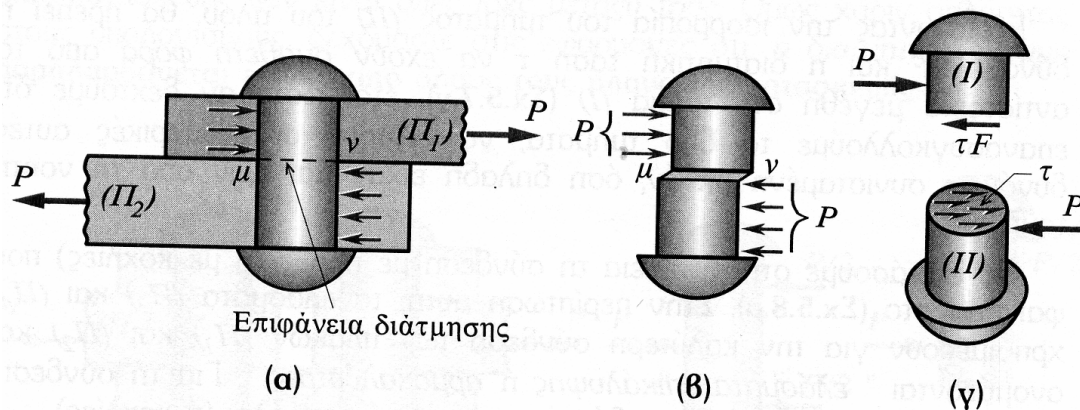
Το έλασμα πάχους $t = 4 \text{ mm}$ της φλάντζας του συμπλέκτη είναι το λεπτότερο τεμάχιο της σύνδεσης και προσδιοριστικό για τον υπολογισμό:

$$\sigma_\ell = \frac{F_u}{n \cdot d_L \cdot t} = \frac{13333}{6 \cdot 6,4 \cdot 4} \approx 87 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\ell\text{επ}} = 170 \text{ N/mm}^2 \text{ (πίνακας 5-5)}$$

Η σύνδεση επομένως αντέχει σε καταπόνηση διάτμησης και σύνθλιψης.

Άσκηση 6

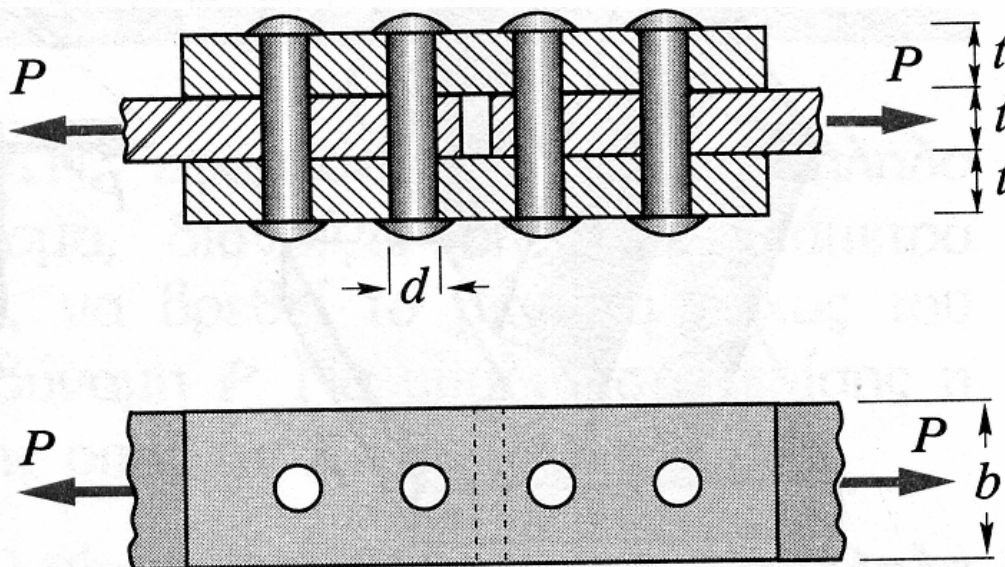
5.10– Δύο χαλύβδινα ελάσματα από *St 36* συνδέονται με 4 μονότμητους ήλους από υλικό με $\tau_{\varepsilon\pi} = 100 \text{ MN/m}^2$ (Σχ.5.7). Να υπολογιστεί η διάμετρος των ήλων, προκειμένου τα ελάσματα να εφελκούνται με δύναμη $P = 100 \text{ KN}$. Να γίνει έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυγας οπών, αν η επιτρεπόμενη τάση σε πίεση επιφανείας του *St 36* είναι $\sigma_{\pi\varphi} = 150 \text{ MN/m}^2$.



Δυνάμεις και αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις σε μονότμητο ήλο
Σχ.5.7

Άσκηση 7

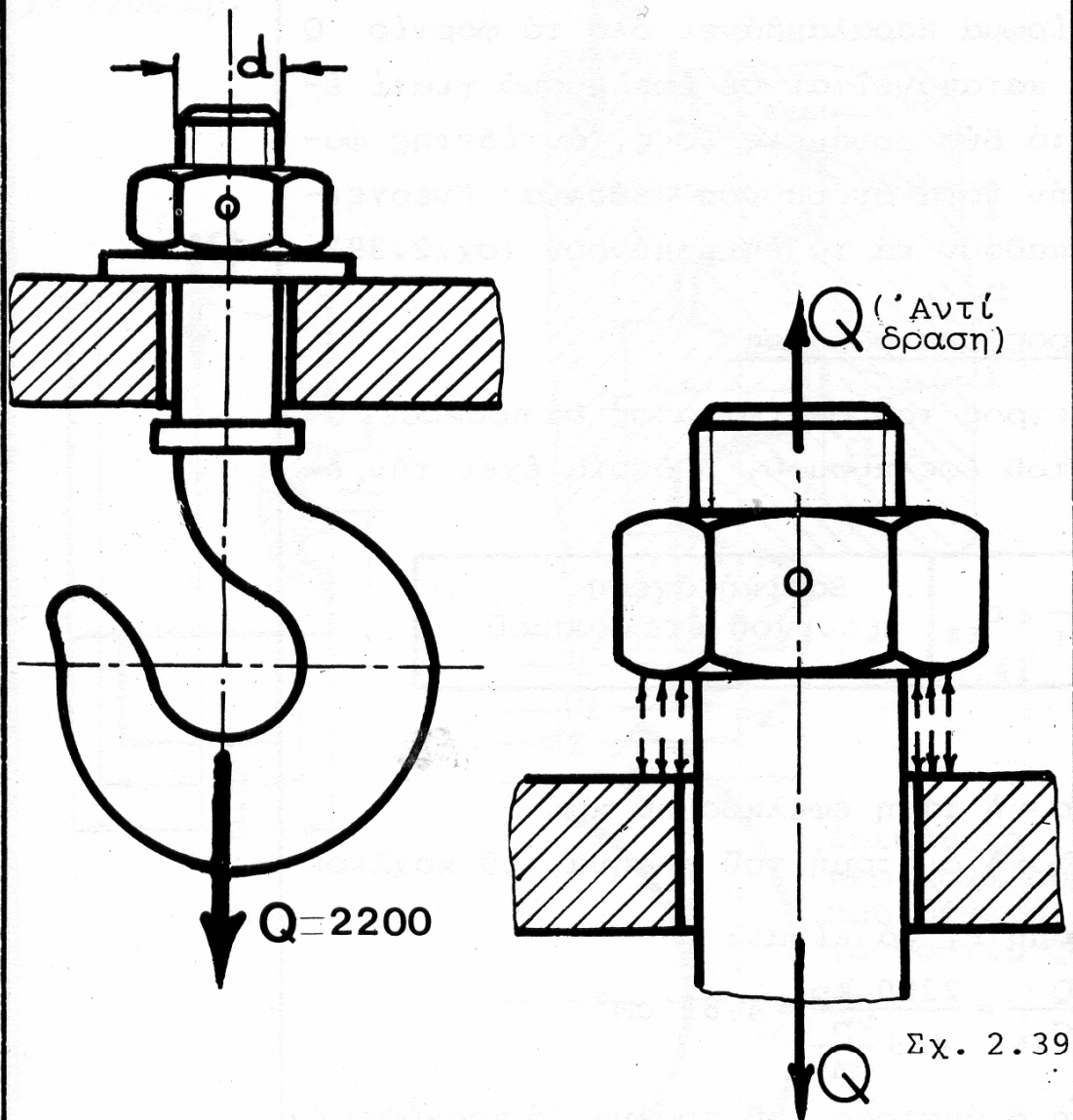
5.11– Δύο χαλύβδινα ελάσματα συνδέονται με 4 ήλους, με τη βοήθεια και δύο αρμοκαλυπτρών (Σχ.5.A11). Να υπολογιστεί η διάμετρος του κάθε ήλου, προκειμένου τα ελάσματα να μπορούν να δέχονται εφελκυστική δύναμη $P = 200 \text{ KN}$. Η επιτρεπόμενη διατμητική τάση για το υλικό των ήλων είναι $\tau_{\varepsilon\pi} = 100 \text{ MN/m}^2$, ενώ η επιτρεπόμενη πίεση επιφανείας για το υλικό των ελασμάτων είναι $\sigma_{\pi\varphi} = 150 \text{ MN/m}^2$.



Σχ.5.A11

ΚΟΧΛΙΕΣ: Άσκηση 1

Από τό άγκιστρο τοϋ σχήματος άναρτῶνται φορτία μέχρι $Q = 2200 \text{ kp}$.



Ζητοϋνται:

1. Τό είδος τής καταπονήσεως τοϋ σπειρώματος.
2. Η διάμετρος τοϋ σπειρώματος.

Δίδονται:

1. Έπιτρεπόμενη τάση υλικοϋ (χάλυβας st42)
 $\sigma_{\epsilon \pi} = 450 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$.
2. Νά χρησιμοποιηθεῖ Μετρικό σπείρωμα.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

1. Είδος καταπονήσεως

Τό σπείρωμα παραλαμβάνει όλο τό φορτίο Q από τό όποίο καταπονείται σέ έφελκυσμό γιατί ένεργούν σ' αυτό δύο δυνάμεις ίσες, αντίθετης φοράς, πάνω στην ίδια διεύθυνση (εύθεία ένεργείας) καί προσπαθούν νά τό έπιμηκύνουν (σχ.2.39).

2. Διάμετρος σπειρώματος

Η διάμετρος του σπειρώματος θά προκύψει από τή σχέση του έφελκυσμού, ή όποία έχει τήν έξής μορφή:

$\sigma = \frac{Q}{F_1} < \sigma_{\epsilon\pi}$	Βασική σχέση άξονικοϋ έφελκυσμού
---	-------------------------------------

Όπου: σ = ή τάση έφελκυσμού καί

F_1 = ή διατομή του πυρήνα του κοχλίου

Η διατομή F_1 θά είναι:

$$F_1 > \frac{Q}{\sigma_{\epsilon\pi}} = \frac{2200 \text{ kp}}{450 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}} = 4,89 \text{ cm}^2$$

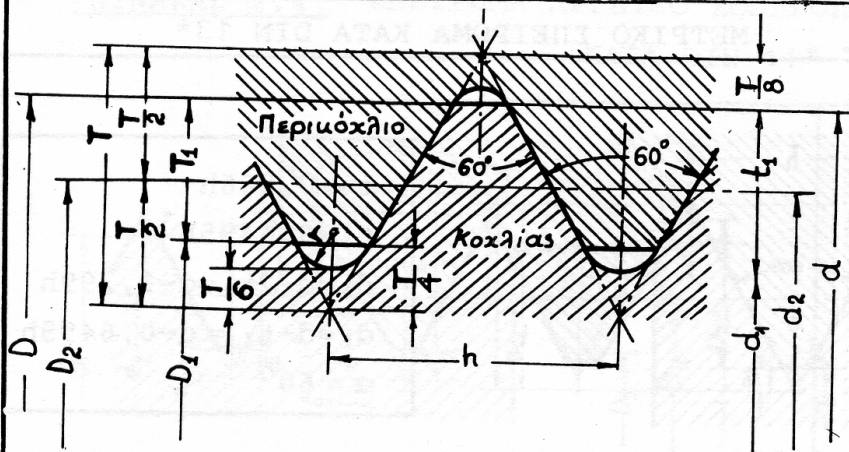
Όπότε ή διάμετρος του πυρήνα θά προκύψει από τή σχέση τής Γεωμετρίας:

$$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \rightarrow d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,89 \text{ cm}^2}{3,14}} \simeq 2,5 \text{ cm}$$

Από τόν πίνακα 2.2 καί για $d_1 = 25 \text{ mm}$ προκύπτει ή όνομαστική διάμετρος του σπειρώματος $d = 30 \text{ mm}$ μέ διάμετρο πυρήνα $d_1 = 25,71 \text{ mm}$ καί βήμα $h = 3,5 \text{ mm}$.

Σπείρωμα Μετρικό τυποποιημένο M30

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΜΕΤΡΙΚΟ ΣΠΕΙΡΩΜΑ ΚΑΤΑ Ι.Σ.Ο* (ΚΑΝΟΝΙΚΟ)



Σχ. 2.29

$$D_1 = d - 2T_1$$

$$d_2 = D_2$$

$$d = 0,64953h$$

$$d_1 = d - 1,22687h$$

$$T = 0,86603h$$

$$T_1 = 0,54127h$$

$$t_3 = 0,61343h$$

$$r = \frac{T}{6} = 0,14434h$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Όνομαστική διάμετρος σπειρώματος $d = D$			Βήμα	Διάμετρος πλευρών	Διάμετρος πυρήνα		Βάθος σπειρώματος		Καμπύλωση	Καταπονομένη διατομή
Σειρά 1 **	Σειρά 2 **	Σειρά 3 **	h	$d_2 = D_2$	d_1	D_1	d_1	T_1	r	*** F_1 [mm ²]
M 1			0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,036	0,460
	M 1,1		0,25	0,938	0,793	0,829	0,153	0,135	0,036	0,588
M 1,2			0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,036	0,732
	M 1,4		0,3	1,205	1,032	1,075	0,184	0,162	0,043	0,983
M 1,6			0,35	1,373	1,171	1,221	0,215	0,189	0,051	1,27
	M 1,8		0,35	1,573	1,371	1,421	0,215	0,189	0,051	1,70
M 2			0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	0,058	2,07
	M 2,2		0,45	1,908	1,648	1,713	0,276	0,244	0,065	2,48
M 2,5			0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	0,065	3,39
M 3			0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	0,072	5,03
	M 3,5		0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	0,087	6,78
M 4			0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	0,101	8,78
	M 4,5		0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	0,108	11,3
M 5			0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	0,115	14,2
M 6			1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	0,144	20,1
	M 7		1	6,350	5,773	5,917	0,613	0,541	0,144	28,9
M 8			1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	0,180	36,6
	M 9		1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	0,180	48,1
M 10			1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	0,217	58,0
	M 11		1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	0,217	72,3
M 12			1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	0,253	84,3
	M 14		2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	0,289	115
M 16			2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	0,289	157
	M 18		2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	0,361	192
M 20			2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	0,361	245
	M 22		2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	0,361	303
M 24			3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	0,433	353
	M 27		3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	0,433	459
M 30			3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	0,505	561
	M 33		3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	0,505	694
M 36			4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	0,577	817
	M 39		4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	0,577	976
M 42			4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	0,650	1120
	M 45		4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	0,650	1300
M 48			5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	0,722	1470
	M 52		5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	0,722	1760
M 56			5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	0,794	2030
	M 60		5,5	56,428	53,252	54,046	3,374	2,977	0,794	2360
M 64			6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,248	0,866	2680
	M 68		6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,248	0,866	3060

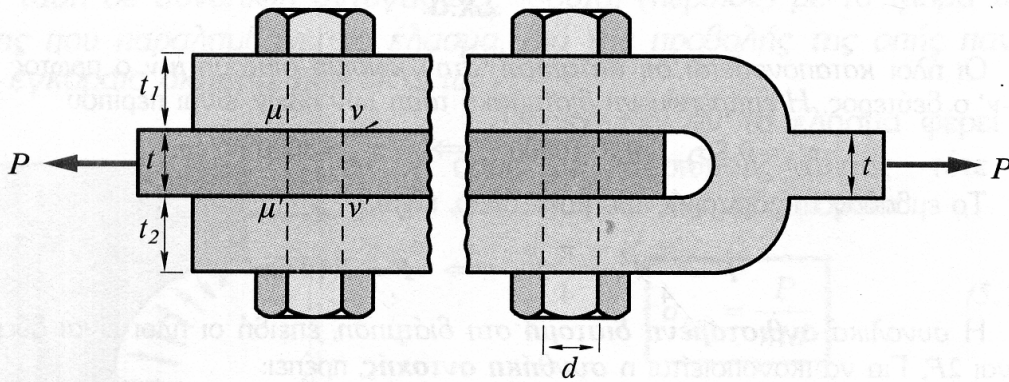
* International Standardizing Organization (Διεθνής Οργανισμός Τυποποιήσεων).

** Τα σπειρώματα σειράς 2 και πιο πολύ τα σπειρώματα 3 να αποφεύγονται.

*** $F_1 = 0,785 (d_2 + d_1/2)^2$ ($0,785 = \frac{\pi}{4}$).

Άσκηση 3

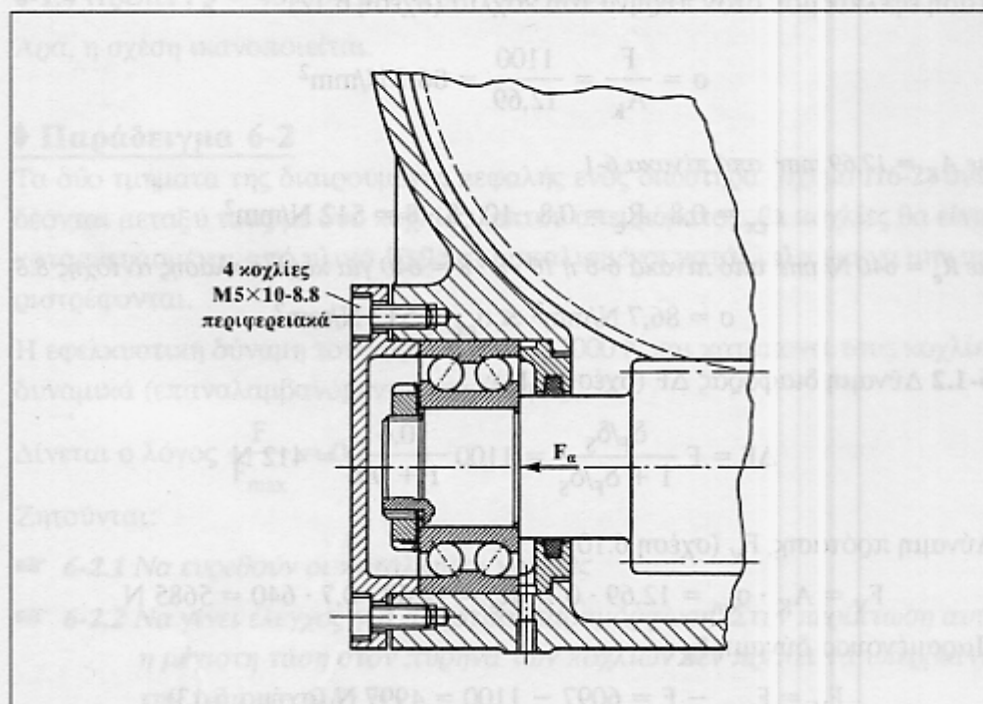
5.12– Να υπολογιστεί η απαιτούμενη διάμετρος των 4 κοχλιών του σχήματος της Άσκησης 5.1, προκειμένου το εφελκυστικό φορτίο να είναι $P=200\text{ kN}$, αν η επιτρεπόμενη διατμητική τάση για το υλικό τους είναι $\tau_{\varepsilon\pi}=100\text{ MN/m}^2$. Να βρεθούν επίσης το πλάτος b και το πάχος t των ελασμάτων, αν η επιτρεπόμενη τάση τους σε εφελκυσμό είναι $\sigma_{\varepsilon\pi}=80\text{ MN/m}^2$ και η επιτρεπόμενη τιμή σε πίεση επιφανείας $\sigma_{\pi\phi}=160\text{ MN/m}^2$.



Σx.α

Παράδειγμα 6.1.

Για την κοχλίωση του καλύμματος του σταθερού εδράνου της ατράκτου ενός μειωτήρα με ατέρμονα κοχλία-τροχό (σχήμα Π6-1), προβλέπονται 4 κοχλίες M5x10. Η μεταφερόμενη από το έδρανο αξονική δύναμη $F_a = 4400$ N παραλαμβάνεται από τους κοχλίες.



Σχήμα Π6-1. Κοχλίωση του καλύμματος εδράνου.

Ζητούνται:

- ☞ 6-1.1 Έλεγχος της τάσης εφελκυσμού στον πυρήνα του κοχλία χωρίς να ληφθεί υπόψη η πρόταση κατά τη δυναμική καταπόνηση.
- ☞ 6-1.2 Υπολογισμός της δύναμης διαφοράς ΔF με $\delta_F/\delta_S \approx 0,6$, της δύναμης πρότασης F_V και της παραμένουσας δύναμης F_K αν επιτευχθεί μία τάση σύσφιγξης $\sigma_{an} = 0,7 \cdot R_e$
- ☞ 6-1.3 Έλεγχος της μέγιστης τάσης στη διατομή τάσης του κοχλία και της τάσης απόκλισης σ_a στον πυρήνα του κοχλία για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση της σύνδεσης
- ☞ 6-1.4 Η παραμένουσα δύναμη πρέπει να είναι $F_K > 0,4 \cdot F_V$. Ικανοποιείται αυτή η σχέση;

♦ Λύση

6-1.1 Κάθε κοχλίας παραλαμβάνει δύναμη $F = \frac{F_a}{4} = \frac{4400}{4} = 1100 \text{ N}$

Τάση εφελκυσμού στον πυρήνα του κοχλία (σχέση 6.12):

$$\sigma = \frac{F}{A_K} = \frac{1100}{12,69} = 86,7 \text{ N/mm}^2$$

με $A_K = 12,69 \text{ mm}^2$ από πίνακα 6-1

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 8 = 512 \text{ N/mm}^2$$

με $R_e = 640 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 6-6 ή $10 \cdot 8 \cdot 8 = 640$ για κοχλία κλάσης αντοχής 8.8

$$\sigma = 86,7 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\varepsilon\pi} = 512 \text{ N/mm}^2$$

6-1.2 Δύναμη διαφοράς ΔF (σχέση 6.11):

$$\Delta F = F \frac{\delta_F/\delta_S}{1 + \delta_F/\delta_S} = 1100 \frac{0,6}{1 + 0,6} = 412 \text{ N}$$

Δύναμη πρότασης F_V (σχέση 6.10):

$$F_V = A_K \cdot \sigma_{an} = 12,69 \cdot 0,7 \cdot R_e = 12,69 \cdot 0,7 \cdot 640 = 5685 \text{ N}$$

Παραμένουσα δύναμη F_K :

$$F_K = F_{\max} - F = 6097 - 1100 = 4997 \text{ N (σχήμα 6-13)}$$

με $F_{\max} = F_V + \Delta F = 5685 + 412 = 6097 \text{ N (σχήμα 6-13)}$

6-1.3 Μέγιστη τάση στη διατομή τάσης του κοχλίου (σχέση 6.12):

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_s} = \frac{6097}{14,2} = 429,4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{επ}} = 0,8 \cdot R_e = 512 \text{ N/mm}^2$$

με $A_s = 14,2 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 6-1

Τάση απόκλισης σ_a (σχέση 6.13):

$$\sigma_a = \frac{\Delta F}{2 \cdot A_K} = \frac{412}{2 \cdot 12,69} = 16,23 \text{ N/mm}^2 \leq 0,7 \cdot \sigma_{AG}$$

με $\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 95 = 95 \text{ N/mm}^2$

K_1, K_2 από πίνακα 6-7α

$\sigma_A = 95 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 6-7γ για $d/R = 43$ και κοχλία 8.8

Επομένως,

$$\sigma_a = 16,23 \text{ N/mm}^2 \leq 0,7 \cdot \sigma_A = 0,7 \cdot 95 = 66,5 \text{ N/mm}^2$$

6-1.4 Πρέπει $F_K = 4997 > 0,4 \cdot F_V = 0,4 \cdot 5685 = 2274 \text{ N}$

Άρα, η σχέση ικανοποιείται.

✦ Παράδειγμα 6-2

Τα δύο τμήματα της διαιρούμενης κεφαλής ενός διωστήρα (σχήμα Π6-2) συνδέονται μεταξύ τους με δύο κοχλίες λεπτού σπειρώματος. Οι κοχλίες θα είναι κατασκευασμένοι από υλικό 10.9 και ασφαλισμένοι κατάλληλα για να μην περιστρέφονται.

Η εφελκυστική δύναμη του κορμού είναι 37000 N και καταπονεί τους κοχλίες δυναμικά (επαναλαμβανόμενη καταπόνηση).

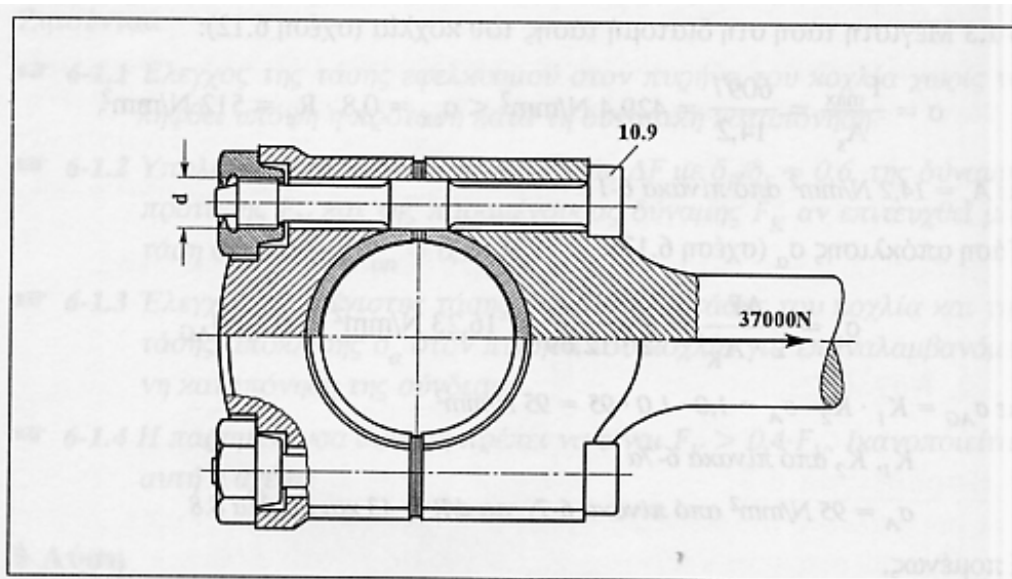
Δίνεται ο λόγος $\frac{F}{F_{\max}} = 0,7$

Ζητούνται:

☞ **6-2.1** Να ευρεθούν οι κατάλληλοι κοχλίες

☞ **6-2.2** Να γίνει έλεγχος για πλαστική παραμόρφωση. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη τάση στον πυρήνα των κοχλίων δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $\sigma = 0,8 \cdot R_e$

☞ **6-2.3** Να γίνει έλεγχος σε δυναμική καταπόνηση



Σχήμα Π6-2. Κοχλίωση της διαιρούμενης κεφαλής ενός διαωστήρα.

♦ Λύση

6-2.1 Η δύναμη λειτουργίας παραλαμβάνεται από δύο κοχλίες, οπότε ο κάθε κοχλίας δέχεται φορτίο:

$$F = \frac{37000}{2} = 18500 \text{ N}$$

Επειδή η επιτρεπόμενη δυναμική καταπόνηση δεν είναι ακόμη γνωστή για την εκλογή ενός κοχλία δεχόμαστε, κατά τα προηγούμενα, μια στατική καταπόνηση με πολύ μικρότερο όμως $\sigma_{\text{επ}} \approx 0,3 \cdot R_e$.

Επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\text{επ}}$ για $R_e = 10 \cdot 10 \cdot 9 = 900 \text{ N/mm}^2$ (ή R_e από πίνακα 6-6)

$$\sigma_{\text{επ}} \approx 0,3 \cdot R_e = 0,3 \cdot 900 = 270 \text{ N/mm}^2$$

Διατομή πυρήνα του κοχλία:

$$A_K = \frac{F}{\sigma_{\text{επ}}} = \frac{18500}{270} = 68,5 \text{ mm}^2$$

Από πίνακα 6-2 εκλέγεται κοχλίας M12x1,5 με $A_K = 81,1 \text{ mm}^2$

6-2.2 Μέγιστη δύναμη F_{max}

$$F_{\text{max}} = \frac{F}{0,7} = \frac{18500}{0,7} = 26429 \text{ N}$$

Μέγιστη τάση στον πυρήνα του κοχλίου:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_K} = \frac{26429}{81,1} = 326 \text{ N/mm}^2$$

Θα έχουμε επομένως:

$$\sigma_{\max} = 326 \text{ N/mm}^2 < \sigma = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 900 = 720 \text{ N/mm}^2$$

Ο κοχλίας είναι ασφαλής σε πλαστική παραμόρφωση.

6.2.3 Για επαναλαμβανόμενη φόρτιση είναι:

$$\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A = 1,3 \cdot 1,0 \cdot 105 = 136,5 \text{ N/mm}^2$$

με $K_1 = 1,3$ για κοχλίο βελτιωμένο μετά την εξέταση (από πίνακα 6-7α)

$K_2 = 1,0$ για περικόχλιο πίεσεως (από πίνακα 6-7α)

$\sigma_A = 105 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 6-7γ για $d/R = 55$

Επιτρεπόμενη τάση σε δυναμική καταπόνηση:

$$\sigma_{\alpha\epsilon\pi} = 0,7 \cdot \sigma_{AG} = 0,7 \cdot 136,5 = 95,55 \text{ N/mm}^2$$

Η πρόταση F_V που αναπτύσσεται κατά τη σύσφιγξη του κοχλίου δίνεται από τη σχέση (6.10):

$$F_V = \sigma_{\alpha\pi} \cdot A_K = 250 \cdot 81,1 = 20275 \text{ N (σχέση 6.10)}$$

με $\sigma_{\alpha\pi} \approx 250 \text{ N/mm}^2$ από σχήμα 6-11α για $d = 12 \text{ mm}$

$$A_K = 81,1 \text{ mm}^2$$

Δύναμη διαφοράς ΔF (σχήμα 6-13):

$$\Delta F = F_{\max} - F_V = 26429 - 20275 = 6154 \text{ N}$$

Τάση απόκλισης σ_α στον πυρήνα του κοχλίου (σχέση 6.13)

$$\sigma_\alpha = \frac{\Delta F}{2A_K} = \frac{6154}{2 \cdot 81,1} = 37,94 \text{ N/mm}^2$$

Είναι δε $\sigma_\alpha = 37,94 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\alpha\epsilon\pi} = 95,55 \text{ N/mm}^2$

Λύση με άλλο τρόπο

6.2.1 Φορτίο ενός κοχλίου:

$$F = \frac{37000}{2} = 18500 \text{ N}$$

Μέγιστη δύναμη $F_{\max}$:

$$F_{\max} = \frac{F}{0,7} = \frac{18500}{0,7} = 26429 \text{ N}$$

Μέγιστη αποδεκτή τάση στον πυρήνα του κοχλίου:

$$\sigma = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 900 = 720 \text{ N/mm}^2$$

Ελάχιστη διατομή πυρήνα του κοχλίου:

$$A_K = \frac{F_{\max}}{\sigma} = \frac{26429}{720} = 36,7 \text{ mm}^2$$

εκλέγεται κοχλίας M10x1 με $A_K = 60,5 \text{ mm}^2$ από πίνακα 6-2

6-2.2 Μέγιστη τάση στον πυρήνα του κοχλίου:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_K} = \frac{26429}{60,5} = 436,84 \text{ N/mm}^2$$

Ο κοχλίας αντέχει σε πλαστική παραμόρφωση, διότι:

$$\sigma_{\max} = 436,84 \text{ N/mm}^2 < \sigma = 720 \text{ N/mm}^2 (= \sigma_{\text{ετ}})$$

6-2.3 Για επαναλαμβανόμενη φόρτιση έχουμε:

$$\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A = 1,3 \cdot 1,0 \cdot 93 = 120,9 \text{ N/mm}^2$$

με K_1, K_2 όπως προηγουμένως

$$\sigma_A = 93 \text{ N/mm}^2 \text{ από πίνακα 6-7 για } d/R = 70$$

Επιτρεπόμενη τάση σε δυναμική καταπόνηση:

$$\sigma_{\text{αεπ}} = 0,7 \cdot \sigma_{AG} = 0,7 \cdot 120,9 = 84,63 \text{ N/mm}^2$$

Πρόταση F_V κατά τη σύσφιγξη του κοχλίου (σχέση 6.10):

$$F_V = \sigma_{\text{αν}} \cdot A_K = 275 \cdot 60,5 = 16638 \text{ N}$$

με $\sigma_{\text{αν}} = 275 \text{ N/mm}^2$ από σχήμα 6-11α για $d = 10 \text{ mm}$

Δύναμη διαφοράς ΔF

$$\Delta F = F_{\max} - F_V = 26429 - 16638 = 9791 \text{ N}$$

Τάση απόκλισης σ_a στον πυρήνα του κοχλίου (σχέση 6.13)

$$\sigma_a = \frac{\Delta F}{2 A_K} = \frac{9791}{2 \cdot 60,5} = 80,9 \text{ N/mm}^2$$

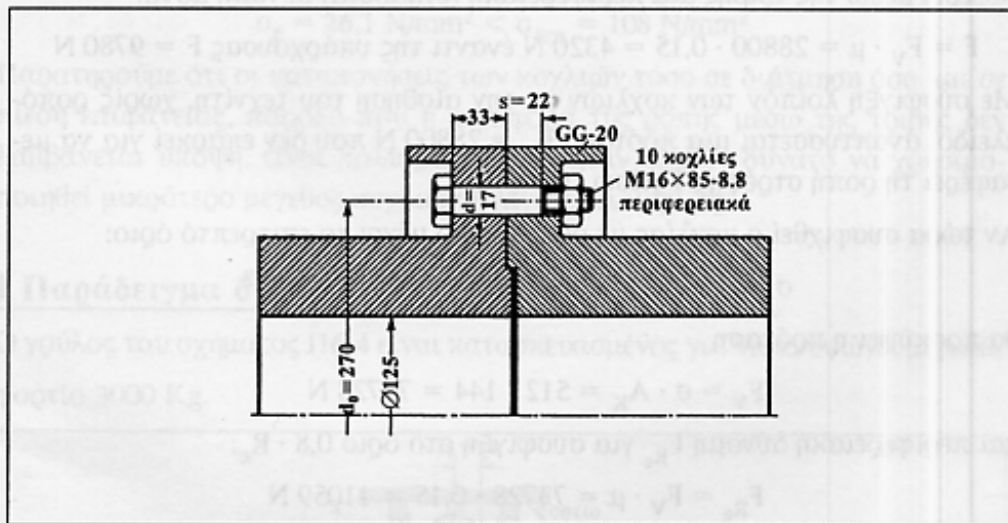
Εδώ έχουμε επίσης:

$$\sigma_a = 80,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{αεπ}} = 84,63 \text{ N/mm}^2$$

Ο μικρότερος κοχλίας M10x1 (αντί του M12x1,5) είναι επίσης οριακά κατάλληλος.

♦ Παράδειγμα 6-3

Ο δισκοειδής σύνδεσμος στο σχήμα Π6-3 μεταφέρει ροπή στρέψης $T = 13200 \text{ Nm}$. Τα δύο τεμάχια συνδέονται μεταξύ τους με 10 κοχλίες εφαρμογής M16 από υλικό 8.8



Σχήμα Π6-3. Σύνδεση δισκοειδούς συνδέσμου με κοχλίες εφαρμογής.

Ζητούνται:

- ☞ 6-3.1 Μπορεί η ροπή στρέψης να μεταφερθεί μέσω της τριβής; Συντελεστής τριβής για χυτοσίδηρο πάνω σε χυτοσίδηρο $\mu = 0,15$
- ☞ 6-3.2 Να γίνει έλεγχος των κοχλίων σε διάτμηση και πίεση επιφάνειας

♦ Λύση

6-3.1 Περιφερειακή δύναμη F_u στη διάμετρο d_o :

$$F_u = \frac{2T}{d_o} = \frac{2 \cdot 13200}{0,270} \cong 97800 \text{ N}$$

Εγκάρσια δύναμη F προς μεταφορά από ένα κοχλία (10 κοχλίες)

$$F = \frac{97800}{10} = 9780 \text{ N}$$

Δύναμη πρότασης F_V του κοχλία

$$F_V = \sigma_{an} \cdot A_K = 200 \cdot 144 = 28800 \text{ N (σχέση 6.10)}$$

με $\sigma_{an} = 200 \text{ N/mm}^2$ για $d = 16 \text{ mm}$ από σχήμα 6-11α

$A_K = 144$ από πίνακα 6-1

Επομένως, αν ο κοχλίας συσφιγχθεί με πρόταση $F_V = 28800 \text{ N}$ μπορεί να μεταφέρει μέσω της τριβής μια περιφερειακή (εγκάρσια) δύναμη μόνο:

$$F = F_V \cdot \mu = 28800 \cdot 0,15 = 4320 \text{ N έναντι της υπάρχουσας } F = 9780 \text{ N}$$

Με σύσφιγξη λοιπόν των κοχλίων με την αίσθηση του τεχνίτη, χωρίς ροπόκλειδο, αναπτύσσεται μια πρόταση $F_V = 28800 \text{ N}$ που δεν επαρκεί για να μεταφέρει τη ροπή στρέψης T μέσω της τριβής.

Αν τώρα συσφιχθεί ο κοχλίας με ροπόκλειδο μέχρι το επιτρεπτό όριο:

$$\sigma = 0,8 \cdot R_e = 0,8 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 8 = 512 \text{ N/mm}^2$$

θα προκύψει η πρόταση

$$F_V = \sigma \cdot A_K = 512 \cdot 144 = 73728 \text{ N}$$

και περιφερειακή δύναμη F_{Re} για σύσφιγξη στο όριο $0,8 \cdot R_e$:

$$F_{Re} = F_V \cdot \mu = 73728 \cdot 0,15 = 11059 \text{ N}$$

Και στην περίπτωση αυτή όμως δεν επαρκεί η F , διότι λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή ασφάλειας 30% έναντι ολίσθησης θα έπρεπε:

$$\frac{F_{Re}}{F} > 1,3 \quad \text{ενώ έχουμε} \quad \frac{F_{Re}}{F} = \frac{11059}{9780} = 1,13 < 1,3$$

6-3.2 - Διάτμηση:

$$\tau_a = \frac{F}{A} = \frac{9780}{227} = 43,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (σχέση 6.14)}$$

$$\text{με } A = \text{διατομή του κορμού του κοχλία} = \frac{\pi \cdot 17^2}{4} = 227 \text{ mm}^2$$

Για αντιστρεφόμενη καταπόνηση θα έχουμε:

$$\tau_{αεπ} = 0,4 \cdot R_e = 0,4 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 8 = 256 \text{ N/mm}^2 \text{ (σημείωση στη σχέση 6.14)}$$

Είναι επομένως

$$\tau_a = 43,1 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{αεπ}} = 256 \text{ N/mm}^2$$

- Πίεση επιφάνειας:

$$\sigma_\ell = \frac{F}{d \cdot s} = \frac{9780}{17 \cdot 22} = 26,1 \text{ N/mm}^2$$

Για αντιστρεφόμενη καταπόνηση θα έχουμε:

$$\sigma_{\ell\text{επ}} = 0,6 \cdot R_m = 0,6 \cdot 180 = 108 \text{ N/mm}^2$$

με R_m = όριο θραύσης του ασθενέστερου υλικού = 180 N/mm² για χυτοσίδηρο GG-18.

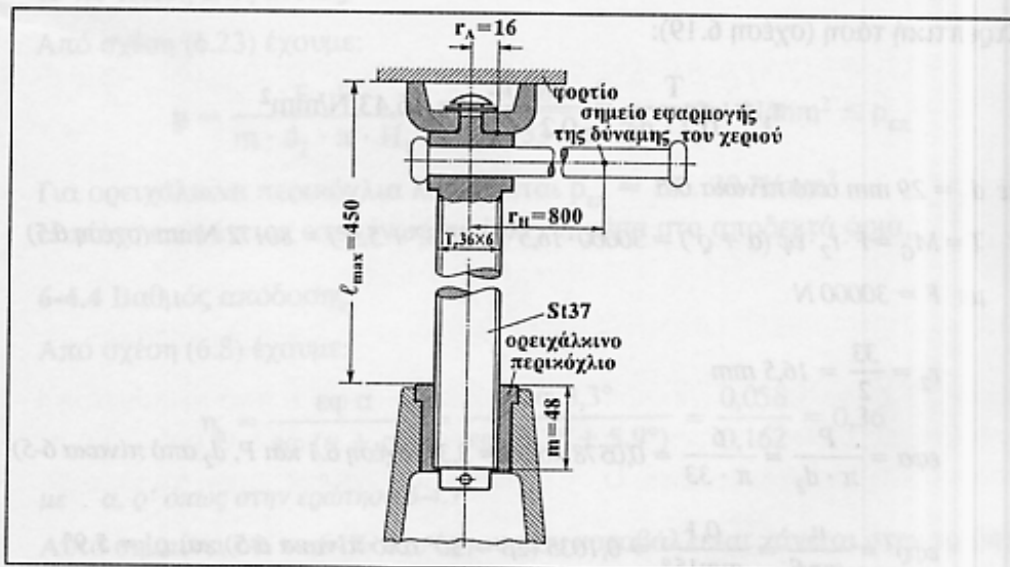
Είναι επομένως:

$$\sigma_\ell = 26,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\ell\text{επ}} = 108 \text{ N/mm}^2$$

Παρατηρούμε ότι οι καταπονήσεις των κοχλιών τόσο σε διάτμηση όσο και σε πίεση επιφάνειας, παρόλο που η μεταφορά της ροπής μέσω της τριβής δεν λαμβάνεται υπόψη, είναι πολύ μικρές. Θα ήταν λοιπόν δυνατό να χρησιμοποιηθεί μικρότερο μέγεθος κοχλιών ή λιγότεροι κοχλίες.

► Παράδειγμα 6-4

Ο γρύλος του σχήματος Π6-4 είναι κατασκευασμένος για να ανυψώνει μέγιστο φορτίο 3000 Kg.



Σχήμα Π6-4. Γρύλος με κοχλίωση.

Ζητούνται:

- ☞ 6-4.1 Έλεγχος του κοχλίου σε αντοχή
- ☞ 6-4.2 Έλεγχος του κοχλίου σε λυγισμό
- ☞ 6-4.3 Έλεγχος του περικοχλίου σε πίεση επιφάνειας
- ☞ 6-4.4 Ο βαθμός απόδοσης του κοχλίου και αν είναι “αφ’εαυτού σταθερός”
- ☞ 6-4.5 Η δύναμη που πρέπει να καταβληθεί για την ανύψωση του φορτίου

► Λύση

6-4.1 Αντοχή

Το φορτίο μάζας $m = 3000 \text{ Kg}$ πιέζει τον κοχλίο με τη δύναμη βάρους $G = m \cdot g$.
Η κατά μήκος δύναμη που καταπονεί τον κοχλίο είναι:

$$F = G = m \cdot g \approx 3000 \text{ Kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 30000 \text{ N}$$

Θλιπτική τάση στον πυρήνα του κοχλίου (σχέση 6.18)

$$\sigma = \frac{F}{A_K} = \frac{30000}{661} = 45,4 \text{ N/mm}^2$$

με $A_K = 661 \text{ mm}^2$ από πίνακα 6-5

Στρεπτική τάση (σχέση 6.19):

$$\tau_t = \frac{T}{0,2 \cdot d_3^3} = \frac{80172}{0,2 \cdot 29^3} = 16,43 \text{ N/mm}^2$$

με $d_3 = 29 \text{ mm}$ από πίνακα 6-5

$$T = M_G = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon\varphi (\alpha + \varphi') = 30000 \cdot 16,5 \cdot \varepsilon\varphi (3,3^\circ + 5,9^\circ) = 80172 \text{ Nmm (σχέση 6.5)}$$

με $F = 30000 \text{ N}$

$$r_2 = \frac{33}{2} = 16,5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon\varphi\alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \frac{6}{\pi \cdot 33} = 0,0578 \text{ και } \alpha = 3,3^\circ \text{ (σχέση 6.1 και } P, d_2 \text{ από πίνακα 6-5)}$$

$$\varepsilon\varphi\varphi' = \frac{\mu}{\sin\beta} = \frac{0,1}{\sin 15^\circ} = 0,1035 \text{ (} 2\beta = 30^\circ \text{ από πίνακα 6-5) και } \varphi' = 5,9^\circ$$

Ισοδύναμη τάση (σχέση 6.20):

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_t^2} = \sqrt{45,4^2 + 3 \cdot 16,43^2} = 53,6 \text{ N/mm}^2$$

Για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση λαμβάνεται:

$$\sigma_{\text{veπ}} \approx 0,2 \cdot R_m = 0,2 \cdot 370 = 74 \text{ N/mm}^2$$

Η αντοχή του κοχλίου είναι επομένως ικανοποιητική διότι:

$$\sigma_v = 53,6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{veπ}} = 74 \text{ N/mm}^2$$

6-4.2 Λυγισμός

Στήριξη του κοχλίου κατά την περίπτωση 1 με $\ell_k = 2\ell_{\text{max}}$ (σχήμα 6-19)

Βαθμός λυγηρότητας

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} = \frac{2 \cdot \ell_{\text{max}} \cdot 4}{d_3} = \frac{8 \cdot 450}{29} = 124,1 > 90$$

Επειδή $\lambda > 90$ ο υπολογισμός θα γίνει κατά Euler:

$$S_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma \cdot \lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210.000}{45,5 \cdot 124,1^2} = 2,96$$

Ο συντελεστής ασφάλειας S_k λαμβάνεται 3...6. Με $S_k = 2,96$ υπάρχει οριακή ασφάλεια έναντι λυγισμού.

6-4.3 Πίεση επιφάνειας

Από σχέση (6.23) έχουμε:

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} = \frac{30000 \cdot 6}{48 \cdot 33 \cdot \pi \cdot 3} = 12,1 \text{ N/mm}^2 \leq p_{\text{επ}}$$

Για ορειχάλκινα περικόχλια λαμβάνεται $p_{\text{επ}} \approx 10...20 \text{ N/mm}^2$.

Η πίεση επιφάνειας επομένως ευρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια.

6-4.4 Βαθμός απόδοσης

Από σχέση (6.8) έχουμε:

$$\eta_h = \frac{\epsilon\phi \alpha}{\epsilon\phi (\alpha + \rho')} = \frac{\epsilon\phi 3,3^\circ}{\epsilon\phi (3,3^\circ + 5,9^\circ)} = \frac{0,058}{0,162} = 0,36$$

με α, ρ' όπως στην ερώτηση 6-4.1.

Αυτό σημαίνει ότι το 64% του έργου που καταβάλλεται χάνεται στην τριβή μεταξύ κοχλίου και περικοχλίου.

Ο κοχλίας είναι “αφ’εαυτού σταθερός”, διότι $\varrho' > \alpha$.

6-4.5 Δύναμη ανύψωσης του φορτίου

Από σχέση (6.6) για τη ροπή σύσφιγξης έχουμε:

$$\begin{aligned} M_{\text{an}} &= M_G + M_A = F \cdot r_2 : \varepsilon\varphi(\alpha + \varrho') + F \cdot \mu_A \cdot r_A = \\ &= 80172 + 48000 = 128172 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

με $M_G = T = 80172 \text{ Nmm}$ από ερώτηση 6-4.1

$$M_A = 30000 \cdot 0,1 \cdot 16 = 48000 \text{ Nmm}$$

Η ροπή M_{an} πρέπει να καταβληθεί από τη δύναμη του χεριού P_H , δηλαδή:

$$M_{\text{an}} = P_H \cdot r_H$$

$$\text{και} \quad P_H = \frac{M_{\text{an}}}{r_H} = \frac{128172}{800} = 160 \text{ N}$$

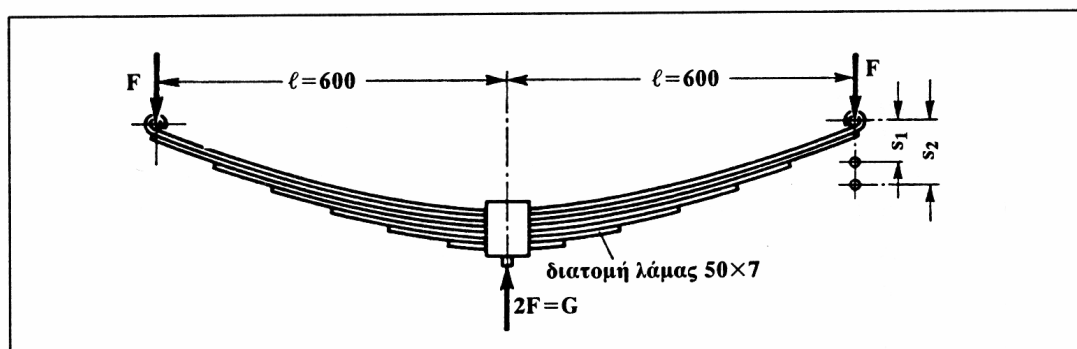
ΕΛΑΤΗΡΙΑ

Παράδειγμα 1

Ελατήριο με πολλαπλές λάμες για τον οπίσθιο άξονα ενός οχήματος (σχήμα Π7-3) κατασκευάζεται από βελτιωμένο χάλυβα 60CrSi7 και αποτελείται από 7 λάμες πλάτους 50 mm και πάχους 7 mm. Η δεύτερη λάμα έχει το ίδιο μήκος με την κυρίως λάμα $2\ell = 1200$ mm.

Το ελατήριο φορτίζεται με το βάρος $G = 320$ Kg (κενό όχημα) και με το βάρος $G = 480$ Kg (πλήρες φορτίο).

Ζητείται ο έλεγχος του ελατηρίου.



Σχήμα Π7-3. Ελατήριο με πολλαπλές λάμες για όχημα.

► Λύση

Η μέγιστη τάση κάμψης σ_b στο ελατήριο είναι (σχέση 7.3):

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{\sigma \cdot F \cdot \ell}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 2400 \cdot 600}{350 \cdot 7^2} = 504 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{με } F = F_{\max} = F_2 = \frac{G_2}{2} = \frac{m_2}{2} \cdot g = \frac{480}{2} \cdot 10 = 2400 \text{ N (Kg m/s}^2\text{)}$$

$$\ell = 600 \text{ mm}$$

$$h = 7 \text{ mm}$$

$$b = b_o \cdot z = 50 \cdot 7 = 350 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{βεπ}} \approx 0,5 R_m = 0,5 \cdot 1450 = 725 \text{ N/mm}^2 \text{ (από πίνακες 7-3 και 7-1)}$$

είναι λοιπόν $\sigma_b = 504 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{βεπ}} = 725 \text{ N/mm}^2$

Βέλη κάμψης s_1 και s_2 για τις δυνάμεις $F_1 = 1600 \text{ N}$ και $F_2 = 2400 \text{ N}$ (σχέση 7.9)

$$s_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot q_1 \frac{\ell^3}{b \cdot h^3} \frac{F_1}{E} = 1,366 \cdot 0,75 \cdot 4 \frac{600^3}{350 \cdot 7^3} \frac{1600}{200000} = 59 \text{ mm}$$

$$s_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot q_1 \frac{\ell^3}{b \cdot h^3} \frac{F_2}{E} = 1,366 \cdot 0,75 \cdot 4 \frac{600^3}{350 \cdot 7^3} \frac{2400}{200000} = 88,5 \text{ mm}$$

$$\text{με } k_1 = 1,366 \text{ για } \frac{b_o}{b} = \frac{50}{350} = 0,143 \text{ από πίνακα 7-3, παρεμβολή}$$

$$k_2 = 0,75$$

$$q_1 = 4 \text{ για ορθογωνικό ελατήριο}$$

$$\ell = 600 \text{ mm}, \quad b = 350 \text{ mm}, \quad h = 7 \text{ mm (σχήμα 7-5)}$$

Αποτέλεσμα: η τάση κάμψης του ελατηρίου ευρίσκεται στα επιτρεπόμενα όρια.
Η πρόσθετη κάμψη υπό πλήρες φορτίο $\Delta_s = s_2 - s_1 \approx 30 \text{ mm}$ είναι μικρή.

► Παράδειγμα 7-4

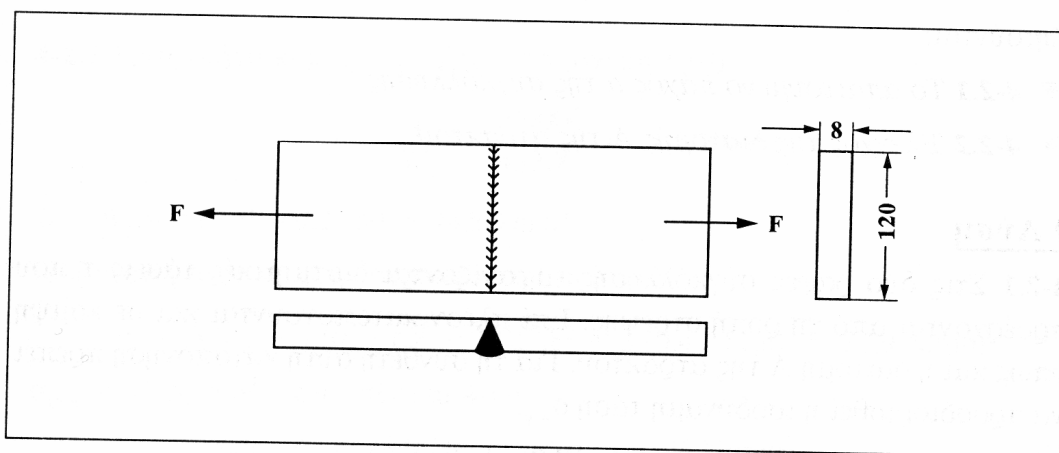
Για τη μέτρηση της δύναμης με ένα ροπόκλειδο μέγιστης ροπής σύσφιγξης $T = 100 \text{ Nm}$ χρησιμοποιείται μια ράβδος στρέψης (σχήμα Π7-4). Για να επιτευχθεί μία ικανοποιητική ακρίβεια στην ανάγνωση πρέπει η γωνία στρέψης να είναι $\alpha = 20^\circ$

Αν η ράβδος κατασκευασθεί από χάλυβα ελατηρίων 50CrV4 ποία πρέπει να είναι η διάμετρος d και το μήκος ℓ της ράβδου;

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

▶ Παράδειγμα 4-1

Δύο λάμες 120x8 από χάλυβα St37 συγκολλούνται με μετωπική ραφή (σχήμα Π4-1). Να υπολογισθεί η στατική δύναμη εφελκυσμού που μπορεί να μεταφέρει η συγκόλληση.



Σχήμα Π4-1. Λάμες, συγκολλημένες με μετωπική ραφή, που εφελκύνονται.

▶ Λύση

Η δύναμη F που μπορεί να μεταφέρει η συγκόλληση είναι (σχέση 4.1):

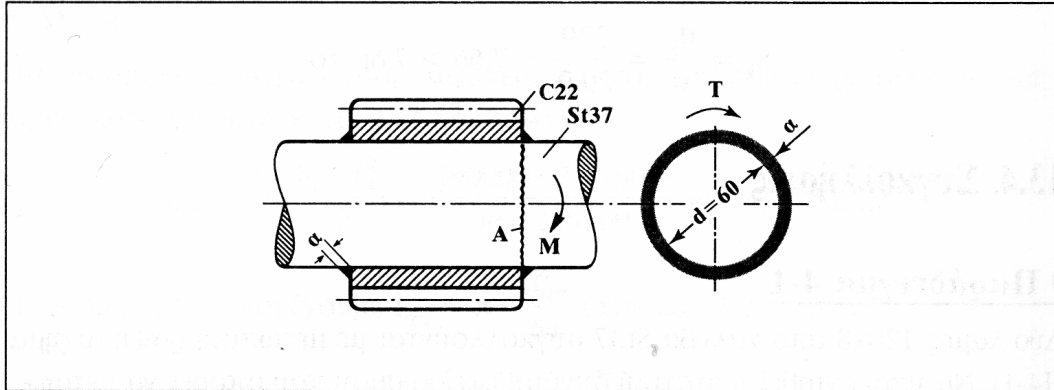
$$F = A_w \cdot \sigma_{w\epsilon\pi} = 960 \cdot 135 = 129600 \text{ N}$$

με επιφάνεια ραφής $A_w = a \cdot \ell = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}^2$

και $\sigma_{w\epsilon\pi} = 135 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 4-4 για St 37 και περίπτωση φόρτισης H (δηλαδή λαμβάνονται υπόψη μόνο τα κύρια φορτία).

▶ Παράδειγμα 4-2

Το πινιόν του σχήματος Π4-2 είναι συγκολλημένο πάνω στην άτρακτο και μεταφέρει μια ροπή στρέψης $T = 500 \text{ Nm}$ που ενεργεί στην άτρακτο μονόπλευρα και σταθερά. Στη διατομή A ενεργεί επί πλέον μια ροπή κάμψης $M_b = 600 \text{ Nm}$.



Σχήμα Π4-2. Πινιόν συγκολλημένο πάνω στην άτρακτο.

Ζητούνται:

☞ 4-2.1 Το απαιτούμενο πάχος a της συγκόλλησης

☞ 4-2.2 Έλεγχος της διατομής A της ατράκτου

▶ Λύση

4-2.1 Στις δύο ραφές συγκόλλησης εμφανίζονται διατμητικές τάσεις τ που προέρχονται από τη ροπή στρέψης. Επί πλέον καταπονούνται και σε κάμψη όπως και η διατομή A της ατράκτου. Για τη σύνθετη αυτή καταπόνηση πρέπει να προσδιορισθεί η ισοδύναμη τάση σ_{wy} .

Τάση διάτμησης τ_w στη ραφή (σχέση 4.2):

$$\tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{\Sigma(\alpha \cdot \ell)} = \frac{16667}{1187} = 14 \text{ N/mm}^2$$

με $A_w = \Sigma(\alpha \cdot \ell) = \pi (d + a) \alpha \cdot 2 = \pi (60 + 3) 3 \cdot 2 = 1187 \text{ mm}^2$ διατομή των ραφών. Το πάχος $a = 3 \text{ mm}$ λαμβάνεται κατ'εκτίμηση και θα ελεγχθεί

$$F = \frac{2 \cdot T}{d} = \frac{2 \cdot 500000}{60} = 16667 \text{ N}$$

Τάση κάμψης σ_{wb} στη βάση της ραφής είναι ίση με την τάση κάμψης σ_b στη διατομή A της ατράκτου (σχέση 4.3):

$$\sigma_{wb} = \frac{Mb}{W} = \frac{600000}{21600} = 27,8 \text{ N/mm}^2$$

με $W = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 \text{ mm}^3$

Ισοδύναμη τάση σ_{wv} στη ραφή (σχέση 4.6):

$$\sigma_{wv} = \sqrt{\sigma_{wb}^2 + \tau_w^2} = \sqrt{27,8^2 + 14^2} = 31,1 \text{ N/mm}^2$$

Από πίνακα 4-4α για γωνιακή ραφή, υλικό St 37 και αντιστρεφόμενη καταπόνηση (κάμψη) είναι $\sigma_{wεπ} = 30 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{wv} = 31,1 \text{ N/mm}^2$

Εκλέγεται επομένως ένα μεγαλύτερο πάχος ραφής $\alpha = 4 \text{ mm}$, οπότε

$$\Sigma(\alpha \cdot \ell) = \pi (60 + 4) 4 \cdot 2 = 1608 \text{ mm}^2$$

και $\tau_w = \frac{F}{\Sigma(\alpha \cdot \ell)} = \frac{16667}{1608} = 10,4 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{wv} = \sqrt{\sigma_{wb}^2 + \tau_w^2} = \sqrt{27,8^2 + 10,4^2} = 29,7 \text{ N/mm}^2$$

και $\sigma_{wv} = 29,7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{wεπ} = 30 \text{ N/mm}^2$

4-2.2 Τάση διάτμησης τ_t στην άτρακτο (σχέση 3.19)

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} = \frac{500000}{43200} = 11,6 \text{ N/mm}^2$$

με $W_t = 0,2 \cdot d^3 = 0,2 \cdot 60^3 = 43200 \text{ mm}^3$

Ισοδύναμη τάση σ_v στην άτρακτο (σχέση 3.33):

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\alpha_o \cdot \tau_t)^2} = \sqrt{27,8^2 + 3(0,4 \cdot 11,6)^2} = 28,9 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{vεπ} = 75 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 4-4α

και $\sigma_v = 28,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{vεπ} = 75 \text{ N/mm}^2$

Ο έλεγχος της διατομής του τεμαχίου είναι απαραίτητος, διότι πολλές φορές οι συγκολλήσεις αντέχουν στην καταπόνηση, ενώ το ίδιο το τεμάχιο δεν αντέχει.

► Παράδειγμα 4-3

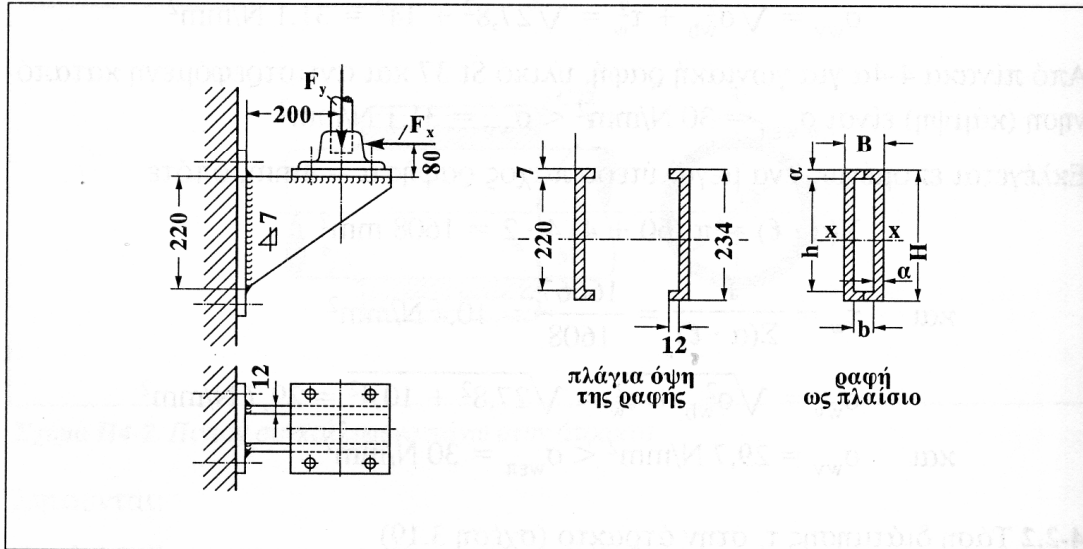
Πάνω στο υποστήριγμα από χάλυβα St37 του σχήματος Π4-3, τοποθετείται το έδρανο ενός περιστρεφόμενου γερανού τοίχου. Οι διαστάσεις είναι για κατασκευαστικούς λόγους καθορισμένες. Δίνονται:

Κάθετη δύναμη $F_y = 65000 \text{ N}$

Οριζόντια δύναμη $F_x = 32000 \text{ N}$

Γωνιακή ραφή με $\alpha = 7 \text{ mm}$

Να ελεγχθεί η ραφή συγκόλλησης



Σχήμα Π4-3. Συγκολλητό υποστήριγμα εδράνου γερανού.

► Λύση

Η ραφή καταπονείται από τη δύναμη F_x σε κάμψη και θλίψη και από τη δύναμη F_y σε κάμψη και διάτμηση. Έχουμε επομένως σύνθετη καταπόνηση.

Στην αρχή προσδιορίζονται οι τάσεις που προκαλούνται από τις επί μέρους καταπονήσεις.

Η τάση κάμψης στη ραφή είναι (σχέση 4.3):

$$\sigma_{wb} = \frac{M_b}{W_w} = \frac{6920000}{164771} = 42 \text{ N/mm}^2$$

με ροπή κάμψης M_b που αποτελείται από τις εξής επί μέρους ροπές:

$+F_y \cdot 200$ (δεξιόστροφη) και $-F_x \cdot 190$ (αριστερόστροφη), όπου μοχλοβραχίονας $190 \text{ mm} = \left(80 + \frac{220}{2}\right)$ = η απόσταση της δύναμης F_x από τον άξονα $x-x$ της ραφής.

$$M_b = F_y \cdot 200 - F_x \cdot 190 = 65000 \cdot 200 - 32000 \cdot 190 = 6920000 \text{ Nmm}$$

Για τον προσδιορισμό της ροπής αντίστασης W_w οι δύο επί μέρους ραφές μπορούν να

αποτελέσουν ένα κλειστό πλαίσιο, όπως φαίνεται στο σχήμα Π4-3. Η ροπή αντίστασης ως προς τον άξονα $x - x$ θα είναι τότε (σημείωση κάτω από σχέση 4.3)

$$W_w = \frac{BH^3 - bh^3}{6 \cdot H} = \frac{38 \cdot 234^3 - 24 \cdot 220^3}{6 \cdot 234} = 164771 \text{ mm}^3$$

Η δύναμη F_x προκαλεί στη ραφή και μια τάση θλίψης

$$\sigma_{wd} = \frac{F_x}{A_w} = \frac{32000}{3612} = 8,8 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{σχέση 4.1})$$

με $A_w = B \cdot H - b \cdot h = 38 \cdot 234 - 24 \cdot 220 = 3612 \text{ mm}^2$, δηλαδή ολόκληρη η επιφάνεια του πλαισίου.

Η μέγιστη ολική τάση σ_{wmax} είναι το άθροισμα της θλιπτικής τάσης κάμψης σ_{wb} και της τάσης θλίψης σ_{wd} επομένως:

$$\sigma_{wmax} = \sigma_{wb} + \sigma_{wd} = 42 + 8,8 = 50,8 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{σχέση 4.5})$$

Για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης που προκαλείται στη ραφή από τη δύναμη F_y , λαμβάνουμε υπόψη μόνο τα κάθετα τμήματα των ραφών, μήκους 220 mm.

$$\tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{65000}{3080} = 21,1 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{σχέση 4.2})$$

με $A_w = 2 \cdot h \cdot a = 2 \cdot 220 \cdot 7 = 3080 \text{ mm}^2$

Η ισοδύναμη τάση θα είναι τότε (σχέση 4.6):

$$\sigma_{wv} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} = \sqrt{50,8^2 + 21,1^2} = 55 \text{ N/mm}^2$$

Από πίνακα 4-4 για κατασκευές γερανών λαμβάνουμε:

$$\sigma_{w\epsilon\pi} = 160 \text{ N/mm}^2$$

Η συγκόλληση λοιπόν αντέχει διότι:

$$\sigma_{wv} = 55 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{w\epsilon\pi} = 160 \text{ N/mm}^2$$

▶ Παράδειγμα 4-4

Να υπολογισθεί το απαιτούμενο πάχος ελάσματος για την κατασκευή ενός συγκολλητού λέβητα από χάλυβα λεβήτων 17Mn4.

Εσωτερική διάμετρος $D_i = 900 \text{ mm}$. Πίεση $p = 0,7 \text{ N/mm}^2$. Θερμοκρασία υπολογισμού ελάσματος 140°C .

► Λύση

Το πάχος ελάσματος s είναι (σχέση 4.12):

$$\dot{s} = \frac{D_i \cdot p}{2 \frac{K}{S} v - p} + c = \frac{900 \cdot 0,7}{2 \frac{252}{1,5} 0,75 - 0,7} + 1 = 2,51 + 1 = 3,51 \text{ mm}$$

με $D_i = 900 \text{ mm}$

$p = 0,7 \text{ N/mm}^2$

$K = 252 \text{ N/mm}^2$ για 140°C από πίνακα 4-5 (παρεμβολή μεταξύ 120°C και 160°C)

$S = 1,5$ από πίνακα 4-6

$v = 0,75$

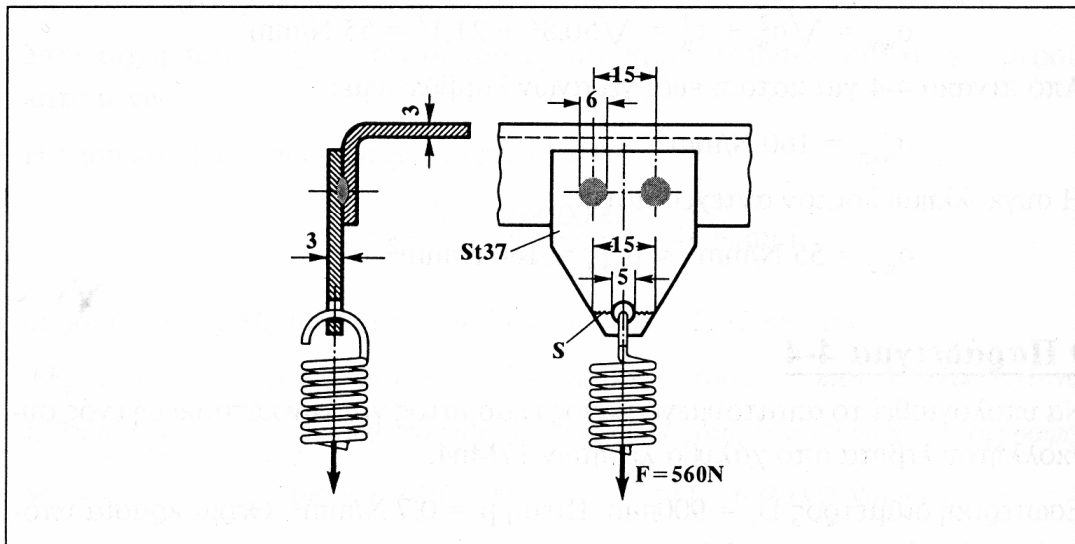
$c = 1,0 \text{ mm}$ } (σημείωση κάτω από σχέση 4.12)

Λαμβάνεται πάχος ελάσματος $s = 4 \text{ mm}$

► Παράδειγμα 4-5

Σε ένα γωνιακό έλασμα έχει συγκολληθεί με συγκόλληση σημείων ένα χαλύβδινο έλασμα με οπή για την ανάρτηση ενός ελατηρίου εφελκυσμού (σχήμα Π4-5).

Η μέγιστη δύναμη του ελατηρίου είναι 560 N και ενεργεί με μορφή επαναλαμβανόμενης φόρτισης.



Σχήμα Π4-5. Συγκράτηση, με συγκόλληση σημείων, ενός ελάσματος με οπή.

Ζητούνται:

☞ **4-5.1** Έλεγχος των σημείων συγκόλλησης σε διάτμηση και πίεση επιφάνειας

☞ **4-5.2** Αν η αντοχή θραύσης των σημείων συγκόλλησης είναι 250 N/mm^2 , η επικίνδυνη διατομή s του ελάσματος ανάρτησης ή η συγκόλληση θα σπάσει πρώτα;

► Λύση

4-5.1 Η τάση διάτμησης τ_w είναι (σχέση 4.13):

$$\tau_w = \frac{F}{A \cdot n \cdot m} = \frac{560}{28,3 \cdot 2 \cdot 1} = 9,9 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{w\epsilon\pi} = 60 \text{ N/mm}^2$$

με $F = 560 \text{ N}$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,3 \text{ mm}^2$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$\tau_{w\epsilon\pi} \approx 60 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 4-8 για υλικό με $R_m = 370 \text{ N/mm}^2$ (St 37) και επαναλαμβανόμενη καταπόνηση

Η τάση σύνθλιψης (πίεσης επιφάνειας) $\sigma_{w\ell}$ είναι (σχέση 4.14):

$$\sigma_{w\ell} = \frac{F}{n \cdot d \cdot s} = \frac{560}{2 \cdot 6 \cdot 3} = 15,6 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{w\ell\epsilon\pi} = 165 \text{ N/mm}^2$$

με F, n, d όπως πιο πάνω

$$s = 3 \text{ mm}$$

$\sigma_{w\ell\epsilon\pi} \approx 165 \text{ N/mm}^2$ από πίνακα 4-8

4-5.2 Δύναμη θραύσης στην επικίνδυνη διατομή S

$$F_s = \sigma \cdot S = 370 \cdot (15 - 5) \cdot 3 = 11100 \text{ N}$$

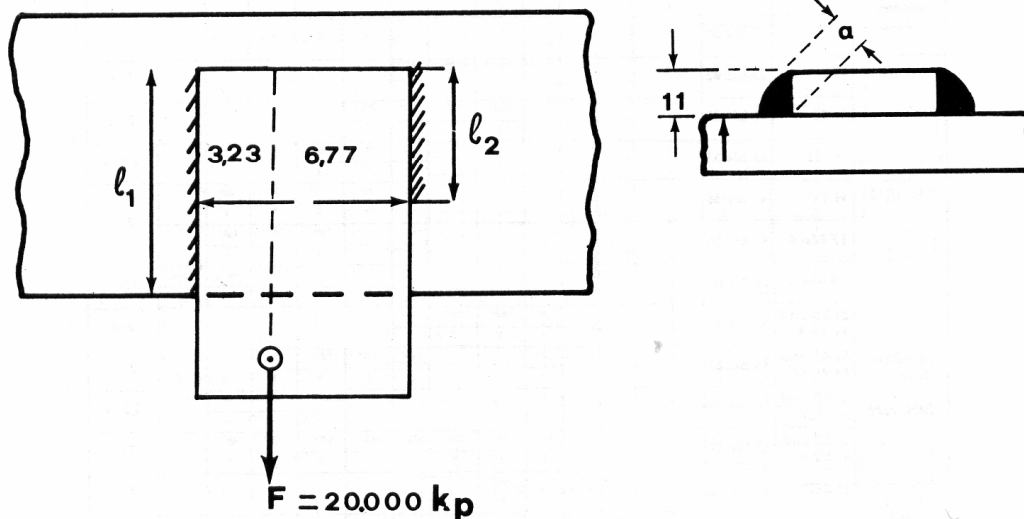
Δύναμη θραύσης στα σημεία συγκόλλησης:

$$F_w = \sigma \cdot A \cdot n = 250 \cdot 28,3 \cdot 2 = 14150 \text{ N}$$

Σε περίπτωση υπερφόρτισης λοιπόν το έλασμα ανάρτησης θα έσπαζε στην θέση της οπής, ενώ η συγκόλληση θα άντεχε ακόμη.

Ασκηση 1

Ένα φορτίο 20 τόν αναρτάται με μιά λάμα 100×11, η οποία συγκολλάται σε ένα μεταλλικό φορέα, όπως στο σχήμα. Για τον μορφοσίδηρο St37 είναι $\sigma_{\text{επ}} = 1400 \text{ kp/cm}^2$. Να υπολογισθεί η συγκόλληση.



Λύση

Διατμητική τάση:

$$\tau = \frac{F}{\alpha_1 \cdot l_1 + \alpha_2 \cdot l_2}$$

όπου $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 0,7 \cdot 11 = 7,7 \text{ mm}$

$$\sigma_{\text{επ}}^{\sigma} = u_1 \cdot u \cdot \sigma_{\text{επ}} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot 1400 = 393 \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau \leq \sigma_{\text{επ}}^{\sigma} \quad \frac{20000}{7,7(l_1 + l_2)} = \frac{393}{10^2}$$

$$l_1 + l_2 = 660 \text{ mm} \quad (1)$$

Για να αποφύγουμε έκκεντρη φόρτιση θα πρέπει η F να διέρχεται από το κ.β. των συγκολλήσεων

$$\alpha \cdot l_1 \cdot 3,23 = \alpha \cdot l_2 \cdot 6,77 \quad \Rightarrow \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{6,77}{3,23} = 2,1 \quad (2)$$

Από τις (1) και (2) βρίσκουμε τελικά

$$\ell_1 = 448 \text{ mm} = 44,8 \text{ cm}$$

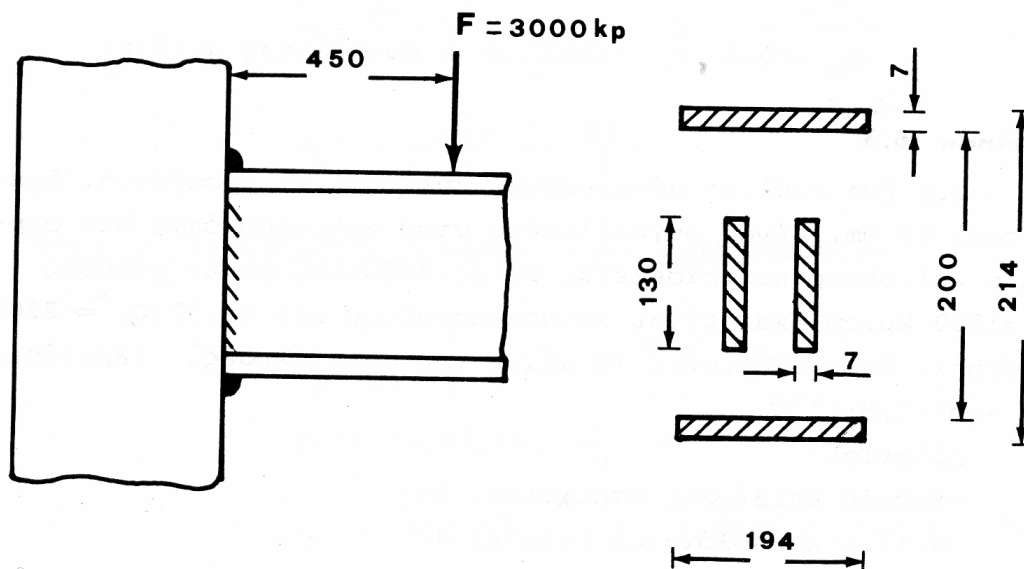
$$\ell_2 = 212 \text{ mm} = 21,2 \text{ cm}$$

Άσκηση 6.2

Μία δοκός NP20 συγκολλάται σε μιά κατακόρυφη κολώνα με γαζιά διαστάσεων $h=10 \text{ mm}$ και καταπονείται σαν πρόβολος με φορτίο 3000 kp .

Για τον μορφοσίδερο είναι $\sigma_{\text{επ}} = 1400 \text{ kp/cm}^2$

Να ελεγχθεί η συγκόλληση.



Τέμνουσα (παίρνεται από τον κορμό)

$$\tau = \frac{F}{A_k} = \frac{3000}{2 \cdot 130 \cdot 0,7} = 165 \text{ kp/cm}^2$$

Λόγω συγκόλλησης:

$$\tau_{\sigma} = \frac{\tau}{\sigma \sigma_1} = \frac{165}{0,8 \cdot 0,35} = 590 \text{ kp/cm}^2$$

Κάμψη

$$\sigma = \frac{M}{J_x} y_{\text{max}}$$

$$J_x = \frac{19,4}{12} (21,4^3 - 20^3) + 2 \frac{0,7}{12} \cdot 13^3 = 3100 \text{ cm}^4$$

$$M = F \cdot e = 3000 \times 45 = 135.000 \text{ kp.cm}$$

$$y_{\max} = \frac{1}{2} 21,4 = 10,7 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{135000 \cdot 10,7}{3100} = 466 \text{ kp/cm}^2$$

Λόγω συγκόλλησης:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\psi \psi_1} = \frac{466}{1 \cdot 0,7} = 664 \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 1,8 \tau^2} = \sqrt{664^2 + 1,8 \cdot 590^2} = 1030 \text{ kp/cm}^2$$

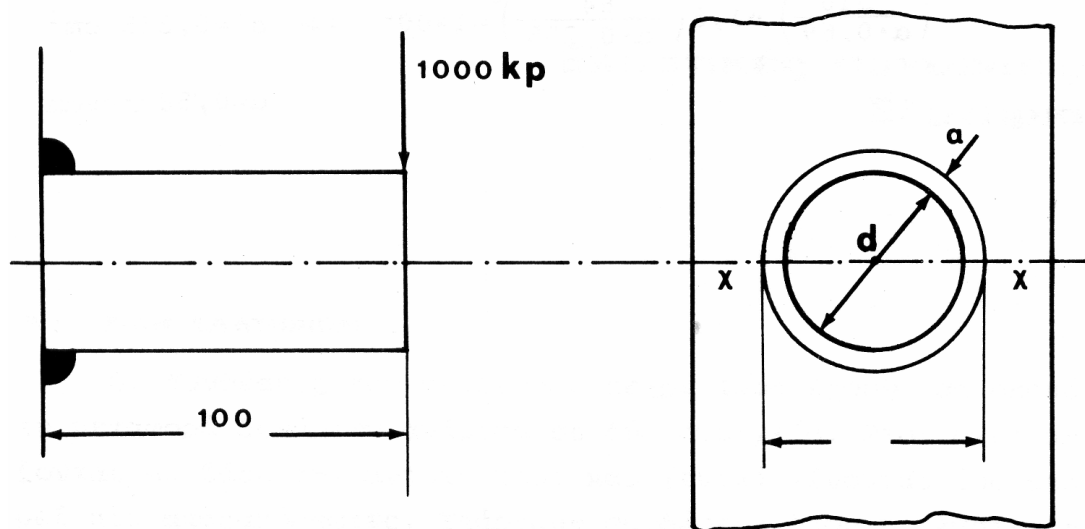
$$\sigma_{\text{eq}} = 1030 < \sigma_{\text{επ}} = 1400 \Rightarrow \text{η συγκόλληση αντέχει}$$

Ασκηση 3

Ένας πείρος διαμέτρου 50 mm είναι συγκολλημένος σε μια κατακόρυφη βάση και φορτίζεται με βάρος 1 ton.

Το υλικό του πείρου είναι St.37 με $\sigma_{\text{επ}} = 1400 \text{ kp/cm}^2$.

Να υπολογισθεί το πάχος της συγκόλλησης.



α) Κάμψη : $\sigma_b = \frac{M_b}{J_x} \cdot \frac{D}{2}$

$$M_b = 1000 \times 10 = 10.000 \text{ kp.cm}$$

$$J_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (D^2 - d^2) (D^2 + d^2) = \frac{\pi}{64} (D+d) (D-d) (D^2 + d^2)$$

$$\approx \frac{\pi}{64} \cdot 2 \cdot d \cdot 2 \cdot a \cdot 2 \cdot d^2 = \frac{\pi}{8} d^3 \cdot a$$

$$\sigma_b = \frac{10.000}{\frac{\pi}{8} d^3 \cdot a} \cdot \frac{d}{2} = \frac{10.000}{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot a} = \frac{10.000}{\frac{\pi}{4} 5^2 \cdot a} = \frac{510}{a}$$

$$\left. \begin{array}{l} v = 1 \\ v_1 = 0,69 \end{array} \right\} v \cdot v_1 = 0,69$$

β) Τέμνουσα: $\tau = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot a} = \frac{1000}{\pi \cdot 5 \cdot a} = \frac{64}{a}$

$$\left. \begin{array}{l} u = 0,8 \\ u_1 = 0,32 \end{array} \right\} \quad uu_1 = 0,255$$

γ) Ισοδύναμη τάση: $\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 1,8 \cdot \tau^2} \leq \sigma_{\varepsilon\pi}$

$$\left[\left(\frac{\sigma}{uu_1} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{\tau}{uu_1} \right)^2 \right]^{1/2} \leq$$

$$\left(\frac{510}{\alpha \cdot 0,69} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{64}{\alpha \cdot 0,255} \right)^2 = 1400^2 \quad \Rightarrow \quad \alpha^2 = 0,335 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = 0,58 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$$

ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΔΥΟ ΤΑΞΕΙΣ

α) Χρημική, 6

β) Διάρθρωση, 2

Η δοσμένη τιμή από τον χώρο

Niemann

$$G_{16} = \sqrt{62 + 1,8 \cdot 2^2}$$

ΚΑΜΗΤΙΚΗ

$$G_b = \frac{M_b}{I_x} \cdot \frac{D}{2} \quad y = \frac{D}{2} = \frac{d}{2}$$

$$M_b = F \cdot \ell = 1000 \cdot 10 = 10000 \text{ kp.cm}$$

$$D = d + 2a$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (D^2 - d^2) (D^2 + d^2) = \frac{\pi}{64} (D+d)(D-d)(D^2 + d^2)$$

$$= \frac{\pi}{64} (d + 2a + d)(d + 2a - d) [(d + 2a)^2 + d^2]$$

$$\approx \frac{\pi}{64} (2d \cdot 2a) \cdot 2d^2 = \frac{\pi}{8} d^3 a$$

$$G_b = \frac{10000}{\frac{\pi}{8} d^3 a} = \frac{10000}{\frac{\pi}{4} d^3 a} = \frac{10000}{\frac{\pi}{4} 5^3 a} = \frac{510}{a}$$

λογω ευθυγράμμισης
αξόνων ορίζεται $V = 1$

$$\left. \begin{matrix} V = 1 \\ V_1 = 0,69 \end{matrix} \right\} \rightarrow V V_1 = 0,69$$

$$\tau = \frac{F}{\Sigma a \cdot lws} = \frac{F}{a \cdot n d}$$

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot a} = \frac{1000}{\pi 5 a} = \frac{64}{a}$$

$$\left. \begin{matrix} V = 0,8 \\ V_1 = 0,32 \end{matrix} \right\} \rightarrow V V_1 = 0,255$$

$$G_G = \sqrt{G_b + 1,8 \tau^2} \leq G_{en} \rightarrow \left[\left(\frac{6}{V V_1} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{\tau}{V V_1} \right)^2 \right]^{1/2} \leq 1400$$

$$\left(\frac{510}{a \cdot 0,69} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{64}{a \cdot 0,255} \right)^2 = 1400^2 \rightarrow a^2 = 0,335 \text{ cm}^2$$

$$a = 0,58 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.Ι.

Συντελεστές εμπειρικού υπολογισμού συγκολλήσεων (Niemann)

Stumpfstoß	Bezeichnung	Volles Blech	V-Naht	V-Naht wurzelverschweißt	V-Naht bearbeitet	X-Naht	V-Schräгнаht
	Nahtbild						
v_1	Zug-Druck	1	0,5	0,7	0,92	0,7	0,8
	Biegung	1,2	0,6	0,84	1,1	0,84	0,98
	Schub	0,8	0,42	0,56	0,73	0,56	0,65

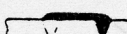
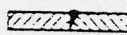
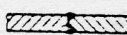
T-Stoß	Bezeichnung	Doppel-Wölbnaht	Flachnaht	Hohlnaht	Flachnaht	HV-Naht wurzelverschweißt mit Kehlnaht	K-Naht mit Doppelkehlnaht	X-Naht
	Nahtdicke	2a	2a	2a	a	s	s	s
	Nahtbild							
v_1	Zug-Druck	0,32	0,35	0,41	0,22	0,63	0,56	0,7
	Biegung	0,69	0,7	0,87	0,11	0,8	0,8	0,84
	Schub	0,32	0,35	0,41	0,22	0,5	0,45	0,56

Eckstoß	Bezeichnung	Flachnaht	Doppel-Flachnaht	Eck-Stumpfnah	Eck-X-Naht	
	Nahtdicke	a	2a	s	s	2a
	Nahtbild					
v_1	Zug-Druck	0,22	0,3	0,45	0,6	0,35
	Biegung	0,11	0,6	0,55	0,75	0,7
	Schub	0,22	0,3	0,37	0,5	0,35

Laschenstoß	Laschenstoß mit :	Stirnkehlnaht	Flankenkehlnaht		
	Nahtdicke	2a	2a	2a	2a
	Nahtbild				
v_1	Zug	0,22	0,25	0,25	0,48

* auch für

Π Ι Ν Α Κ Α Σ Π Σ 1 . Συντελεστής μορφής η , για δυναμική καταπόνηση

Ονομασία	Μορφή και τύπος ραφής (Σχήμα, συμβολισμός)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩ		
		Εφελκυσμός Θλίψη	Κάμψη	Διάτμηση Στρέψη
Εξωραφές	Τύπου I  II	0.5	0.6	0.4
	Τύπου V  ∇	0.5	0.6	0.4
	(με συγκόλληση ρίζας)  ∇	0.7	0.84	0.56
	(με λειασμένη επιφάνεια)  ∇	0.92	1.1	0.73
	Τύπου X  $\times$	0.7	0.84	0.56
	Τύπου πλάγια  ∇	0.8	0.98	0.65
	Τύπου HV  ∇	0.5	0.6	0.42
	Τύπου Y  ∇	0.65	0.8	0.55
	Τύπου U  $\cup$	0.65	0.8	0.55
	Τύπου K  $\bar{x}$	0.7	0.8	0.55
Εξωραφές τύπου T		0.32	0.69	0.32
		0.35	0.7	0.35
		0.41	0.87	0.41
		0.22	0.11	0.22
		0.23	0.11	0.23
		0.63	0.8	0.5
		0.56	0.8	0.45
	 (X)	0.7	0.84	0.56

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.ΙΙ

Γεωμετρία	Φόρτιση	υ
Ραφές επικαλύ- ψεως καί συνε- χείς	Εφελκυσμός	1,0
	Φλίψη	1,0
	Κάμψη	1,0
	Διάτμηση	0,8
Γωνιακές Ραφές και Ταυ	Γενική	0,8

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.ΙΙΙ

V_2	Επεξεργασία θερμική
0,8...1,0	Ανόπτηση
0,5	καμία

ΑΞΟΝΕΣ- ΑΤΡΑΚΤΟΙ

Προχειρος υπολογισμος

14.6.2. Παράδειγμα υπολογισμού ατράκτου

Να υπολογίσετε την άτρακτο που μεταφέρει κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα με ισχύ 50HP, ο οποίος στρέφεται με 900RPM (στροφές το λεπτό). Το υλικό της ατράκτου πρέπει να είναι St42.

Απάντηση

Πρέπει αρχικά να σκεφθούμε ότι η άτρακτος αυτή υπόκειται μόνο σε στρέψη. Η μεταφερόμενη από την άτρακτο ροπή (βλέπε κεφ. 8) είναι:

$$M_t = 71600P/n = 71600 (50\text{HP}/900\text{RPM}) \text{ ή } M_t = 3979 \text{ kp}\cdot\text{cm}$$

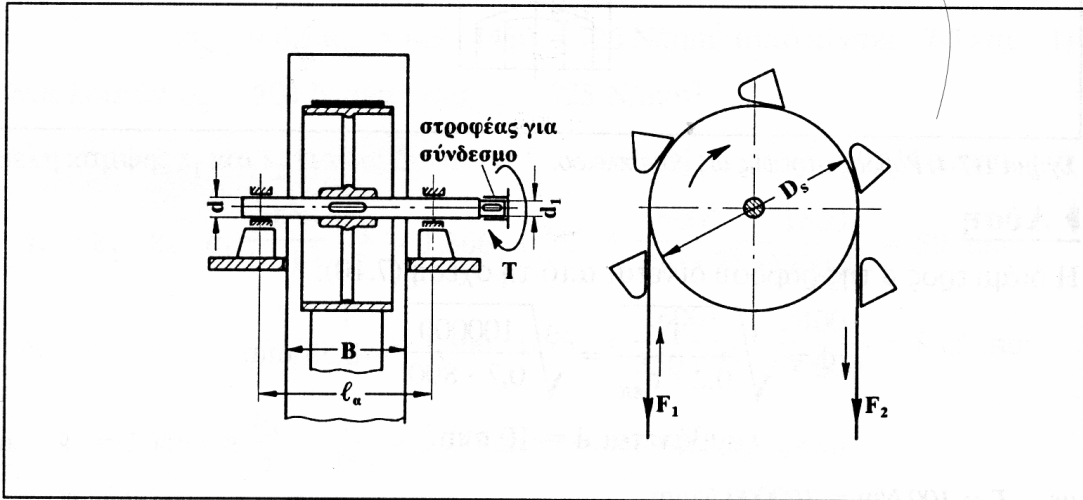
Από την Εικ.14.6.β για St42 έχουμε ότι $\tau_{\text{επ}} = 150 \text{ kp}/\text{cm}^2$, οπότε από τον αντίστοιχο τύπο υπολογισμού της Εικ.14.6.α έχουμε ότι:

$$d = (M_t / 0,2 \cdot \tau_{\text{επ}})^{1/3} \quad \text{ ή } \quad d = (3979 / 0,2 \cdot 150)^{1/3} \text{ cm} \quad \text{ ή } \quad \mathbf{d = 51 \text{ mm}}$$

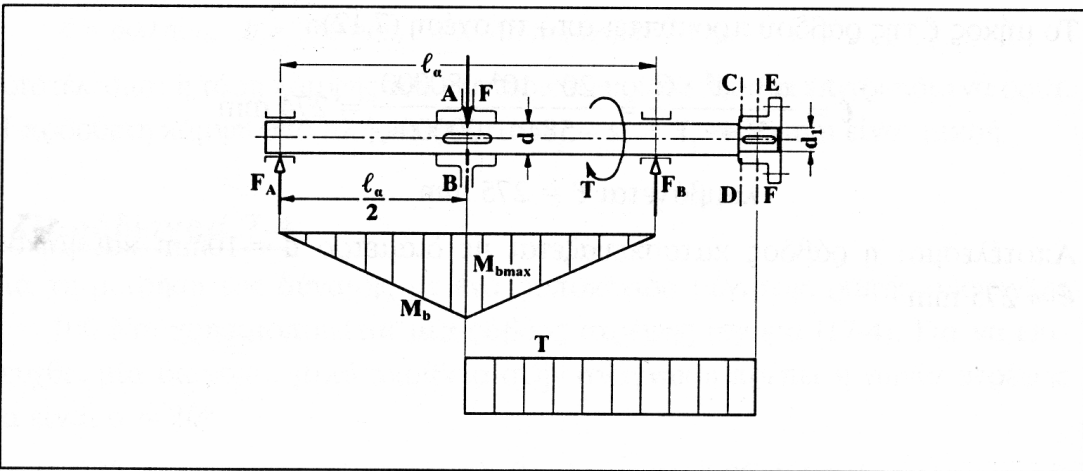
► Παράδειγμα 8-1

Να υπολογισθεί η διάμετρος της ατράκτου κίνησης ενός μεταφορέα με κουβαδάκια (σχήμα Π8-1). Για μία ωριαία απόδοση 50 t/h δημητριακών και ένα ύψος μεταφοράς $H = 30$ m προκύπτουν:

Ισχύς κίνησης $P = 7,5$ kW, στροφές $n = 80$ RPM, διάμετρος τροχαλίας $D_s = 800$ mm, απόσταση εδράνων $\ell_a = 580$ mm, εφελκυστική δύναμη στον κλάδο ανόδου $F_1 = 10000$ N, στον κλάδο καθόδου $F_2 = 8000$ N. Υλικό της ατράκτου: St50.



Σχήμα Π8-1α. Ατράκτος κίνησης ενός μεταφορέα με κουβαδάκια.



Σχήμα Π8-1β. Δυνάμεις στην άτρακτο κίνησης και επιφάνειες των ροπών M_b και T .

♦ Λύση

Στην αρχή προσδιορίζονται τα είδη φορτίσεων και καταπονήσεων της ατράκτου. Η ροπή στρέψης που εισέρχεται από το σύνδεσμο καταπονεί το τμήμα της ατράκτου μεταξύ συνδέσμου και μέσου της τροχαλίας σε στρέψη και συγκεκριμένα, λόγω πιθανών κρούσεων κατά τη λειτουργία, σε επαναλαμβανόμενη κυρίως στρέψη.

Η δύναμη F στον κλάδο της τροχαλίας καταπονεί την άτρακτο επί πλέον σε κάμψη και συγκεκριμένα σε αντιστρεφόμενη κάμψη, αφού οι εξωτερικές ίνες της περιστρεφόμενης ατράκτου υφίστανται μία συνεχή εναλλαγή μεταξύ εφελκυσμού από κάμψη και θλίψης από κάμψη. Η διατομή A-B στο μέσο της ατράκτου που δέχεται την ισχυρότερη καμπτική φόρτιση είναι προφανώς η επικίνδυνη διατομή (σχήμα Π8-1β).

Επειδή οι ροπές κάμψης και στρέψης μπορούν να προσδιορισθούν εύκολα, ο υπολογισμός θα γίνει με τη βοήθεια της ισοδύναμης ροπής M_v (σχέση 8.7)

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 (\alpha_o \cdot T)^2}$$

Η μέγιστη ροπή κάμψης εμφανίζεται στη διατομή A-B, δηλαδή στη θέση επένεργειας της δύναμης F στην τροχαλία:

$$M_b = F_A \cdot \frac{\ell_a}{2} = 9000 \cdot \frac{580}{2} = 2610 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \mu\epsilon \quad F_A = F_B = \frac{F}{2} &= \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{10000 + 8000}{2} = 9000 \text{ N} \\ \ell_a &= 580 \text{ mm} \end{aligned}$$

Η ροπή στρέψης T που μεταφέρει η άτρακτος είναι (σημείωση κάτω από σχέση 8.3)

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \frac{P}{n} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{7,5}{80} = 895 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$\mu\epsilon \quad P = 7,5 \text{ kW}$$

$$n = 80 \text{ RPM}$$

Ο λόγος καταπόνησης είναι $\alpha_o = 0,7$ για αντιστρεφόμενη κάμψη και επαναλαμβανόμενη στρέψη (σημείωση κάτω από σχέση 8.6):

$$M_v = \sqrt{(2610 \cdot 10^3)^2 + 0,75 (0,7 \cdot 895 \cdot 10^3)^2} = 2666 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

11.1– Άτρακτος έλικας πλοίου, έχει **κοίλη** κυκλική διατομή, όπου η εσωτερική και εξωτερική διάμετρο συνδέονται με το λόγο $\eta = d/D = 0.7$. Η επιτρεπόμενη διατμητική τάση του υλικού της είναι $\tau_{\varepsilon\pi} = 700 \text{ Kp/cm}^2$ και η ροπή στρέψης που επενεργεί σε αυτήν είναι $M_t = 60000 \text{ Krcm}$. Να συγκριθεί το βάρος της παραπάνω ατράκτου με το βάρος ατράκτου πλήρους κυκλικής διατομής ικανής να φέρει την ίδια ροπή στρέψης.

Ως γνωστόν, τα βάρη των ατράκτων είναι ανάλογα του εμβαδού των διατομών τους. Έτσι για κάθε επιμέρους περίπτωση, έχουμε:

Άτρακτος διατομής κυκλικού δακτυλίου, ακτίνων $R = D/2$ και $r = d/2$. Έχουμε:

$$\tau_{max} = \frac{M_t R}{I_\rho} = \frac{M_t R}{\frac{\pi}{2}(R^4 - r^4)} = \frac{2M_t R}{\pi R^4 \left(1 - \frac{r^4}{R^4}\right)} \Rightarrow \tau_{max} = \frac{2M_t}{\pi R^3 (1 - \eta^4)} \quad (1)$$

Ως γνωστόν, η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την επιτρεπόμενη διατμητική τάση του υλικού, $\tau_{max} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$. Άρα από την (1) έχουμε

$$\frac{2M_t}{\pi R^3 (1 - \eta^4)} \leq \tau_{\varepsilon\pi} \Rightarrow R^3 \geq \frac{2 \times 60000}{\pi 700 (1 - 0.7^4)} \Rightarrow R \geq 4.15 \text{ cm} \Rightarrow D \geq 8.3 \text{ cm}$$

Γνωρίζοντας το λόγο $\eta = d/D = r/R = 0.7$ και ότι $D = 8.3 \text{ cm}$, βρίσκουμε $d = 5.81 \text{ cm}$, οπότε το εμβαδόν της κοίλης διατομής θα είναι

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(8.3^2 - 5.81^2) \Rightarrow F = 27.58 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

Άτρακτος κυκλικής διατομής, ακτίνας $R' = D'/2$. Θα πρέπει $\tau_{max} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$, οπότε έχουμε

$$\tau_{max} \leq \tau_{\varepsilon\pi} \Rightarrow \frac{2M_t}{\pi R'^3} \leq \tau_{\varepsilon\pi} \Rightarrow R' \geq \sqrt[3]{\frac{2M_t}{\pi \tau_{\varepsilon\pi}}} \Rightarrow R' \geq \sqrt[3]{\frac{2 \times 60000}{\pi 700}} \approx 3.79 \text{ cm}$$

ή $D' \approx 7.59 \text{ cm}$. Συνεπώς το εμβαδόν της διατομής στην περίπτωση αυτή, θα είναι

$$F' = \frac{\pi D'^2}{4} = \frac{\pi 7.59^2}{4} \Rightarrow F' = 45.22 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (2) και (4) προκύπτει ότι χρησιμοποιώντας **κοίλη** άτρακτο διατομής κυκλικού δακτυλίου, θα έχουμε οικονομία σε βάρος κατά

$$\eta = \frac{\gamma F' \ell - \gamma F \ell}{\gamma F' \ell} = \frac{F' - F}{F'} = \frac{45.22 - 27.58}{45.22} 100\% = 39\%$$

11.2– Χαλύβδινη άτρακτος και σωλήνας από αλουμίνιο συνδέονται στερεά μεταξύ τους (Σχ.α). Αν οι ροπές στρέψης που εφαρμόζονται στην άτρακτο και το σωλήνα είναι $M_{t_1} = 600 \text{ kpm}$ και $M_{t_2} = 400 \text{ kpm}$ να υπολογιστούν οι μέγιστες διατμητικές τάσεις που θα αναπτυχθούν στα δύο υλικά. Επίσης να υπολογιστεί η γωνία στροφής της διατομής τέσσερα. Δίνονται το $\ell = 20 \text{ cm}$, $d = 6 \text{ cm}$, $D = 10 \text{ cm}$ καθώς και τα μέτρα διάτμησης του χάλυβα $G_1 = 80 \text{ GPa}$ και του αλουμινίου $G_2 = 27 \text{ GPa}$.

Οι ροπές αδράνειας I_{p_a} της άτρακτου και I_{p_σ} του σωλήνα, αντίστοιχα είναι

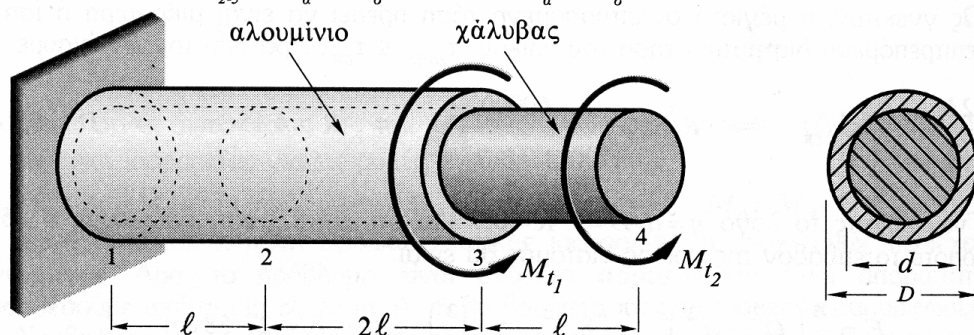
$$I_{p_a} = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi 3^4}{2} = 127.23 \text{ cm}^4, \quad I_{p_\sigma} = \frac{\pi}{2}(R^4 - r^4) = \frac{\pi}{2}(5^4 - 3^4) = 854.1 \text{ cm}^4$$

Οι ροπές στρέψης στα τμήματα 3-4, 2-3 και 1-2, αντίστοιχα είναι

$$M_{t_{3-4}} = 400 \text{ kpm}, \quad M_{t_{2-3}} = 600 + 400 = 1000 \text{ kpm}, \quad M_{t_{1-2}} = 1000 \text{ kpm}$$

Επειδή στο τμήμα 2-3 οι διατομές είναι σύνθετες (άτρακτος - σωλήνας) πρέπει να υπολογίσουμε την κατανομή της στρεπτικής ροπής και στα δύο υλικά ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν αν M_{t_a} η στρεπτική ροπή που παραλαμβάνει η άτρακτος και M_{t_σ} η στρεπτική ροπή που παραλαμβάνει ο σωλήνας είναι φανερό ότι ισχύει

$$M_{t_{2-3}} = M_{t_a} + M_{t_\sigma} \Rightarrow M_{t_a} + M_{t_\sigma} = 1000 \text{ kpm} \quad (1)$$



Σχ.α

Το πρόβλημα του προσδιορισμού των M_{t_a} και M_{t_σ} είναι **στατικώς αόριστο**. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας την εξίσωση **συμβιβαστού των παραμορφώσεων** ότι δηλαδή οι γωνίες στρέψης της ατράκτου και του σωλήνα πρέπει να είναι ίσες, οπότε έχουμε

$$\varphi_a = \varphi_\sigma \Rightarrow \frac{M_{t_a} 2\ell}{G_a I_{p_a}} = \frac{M_{t_\sigma} 2\ell}{G_\sigma I_{p_\sigma}} \Rightarrow$$

$$M_{t_a} = \frac{M_{t_\sigma} G_a I_{p_a}}{G_\sigma I_{p_\sigma}} = \frac{800000 \text{ kp/cm}^2 \times 127.23 \text{ cm}^4}{270000 \text{ kp/cm}^2 \times 854.1 \text{ cm}^4} M_{t_\sigma} \Rightarrow M_{t_a} = 0.44 M_{t_\sigma} \quad (2)$$

Λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων (1) και (2) προκύπτει:

$$M_{t_a} = 305.56 \text{ kpm} \quad , \quad M_{t_\sigma} = 694.44 \text{ kpm} \quad (3)$$

Με γνωστές τις παραπάνω τιμές των στρεπτικών ροπών, οι **μέγιστες διατμητικές τάσεις** της ατράκτου και του σωλήνα θα αναζητηθούν το τμήμα 1-2 για το σωλήνα και στο τμήμα 3-4 για την άτρακτο. Έτσι λοιπόν έχουμε

$$\tau_{a_{\max}} = \frac{M_{t_{3-4}}}{I_{p_a}} r = \frac{40000}{127.23} 3 \Rightarrow \tau_{a_{\max}} = 943 \text{ kp/cm}^2 \quad (4)$$

$$\tau_{\sigma_{\max}} = \frac{M_{t_{1-2}}}{I_{p_\sigma}} R = \frac{100000}{854.1} 5 \Rightarrow \tau_{\sigma_{\max}} = 585 \text{ kp/cm}^2 \quad (5)$$

Η **αριστερόστροφη γωνία** της διατομής 4 ως προς τη διατομή 1, θα είναι

$$\varphi_{1-4} = \varphi_{1-2} + \varphi_{2-3} + \varphi_{3-4} = \frac{M_{t_{1-2}} \ell}{G_\sigma I_{p_\sigma}} + \left[\frac{M_{t_{2-3}} 2\ell}{G_a I_{p_a} + G_\sigma I_{p_\sigma}} \right] + \frac{M_{t_{3-4}} \ell}{G_a I_{p_a}} =$$

$$= \frac{1000 \times 20}{270000 \times 854.1} + \left[\frac{1000 \times 40}{800000 \times 127.23 + 270000 \times 854.1} \right] + \frac{400 \times 20}{800000 \times 127.23} = 2.857 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

ΑΛΥΤΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

11.3– Μία ράβδος AB μήκους $\ell = 4 \text{ m}$, διαμέτρου $D = 40 \text{ cm}$ είναι στερεά πακτωμένη στα άκρα A και B και υποβάλλεται σε στρέψη υπό την επίδραση της στρεπτικής ροπής $M_t = 10000 \text{ krcm}$ σε απόσταση 1.5 m από το άκρο A . Να υπολογιστεί η γωνία στροφής της διατομής όπου εφαρμόζεται η ροπή M_t καθώς και οι αντιδράσεις στα σημεία A και B . (Δίνεται $G = 80 \text{ GPa}$).

11.4– Ένας λεπτότοιχος σωλήνας μήκους $\ell = 5 \text{ m}$ και πάχους $t = 2.0 \text{ cm}$ καταπονείται σε στρέψη από στρεπτική ροπή $M_t = 20 \text{ kpm}$. Αν οι ακτίνες του σωλήνα είναι $r_1 = 28 \text{ cm}$ και $r_2 = 30 \text{ cm}$ να υπολογιστεί η γωνία στροφής καθώς και η ανηγμένη γωνία στροφής. (Δίνεται $G = 80 \text{ GPa}$).

ΕΔΡΑΝΑ

Άσκηση 1

Ποιο είναι το επιτρεπόμενο φορτίο του εδράνου κύλισης N°6213 για διάρκεια ζωής $L_{10h} = 5000$ ώρες και $n = 300$ RPM

► Λύση

Από πίνακα 11-5 (ή από καταλόγους ρουλμάν) λαμβάνεται το δυναμικό φορτίο για το έδρανο N°6213: $C = 60$ kN

$f_n = 0,48$ από σχήμα 11-13

$f_L = 2,2$ από σχήμα 11-14

$f_t = 1$ για $t < 150^\circ$

Η σχέση (11.8) δίνει

$$P = \frac{f_n \cdot C}{f_L} = \frac{0,48 \cdot 60}{2,2} = 13,09 \text{ kN}$$

ή άμεσα από τον πίνακα 11-3 για $L_{10h} = 5000$ ώρες και $n = 300$ RPM λαμβάνεται $\frac{C}{P} = 4,48$ και $P = \frac{60}{4,48} = 13,39$ kN

Επομένως, επιτρεπόμενο φορτίο για το ρουλμάν N°6213: $\approx 13,1$ kN.

Άσκηση 3

Για $f_L = 3,57$ προκύπτει από σχήμα 11-14 διάρκεια ζωής $L_{10h} \approx 23000$ ώρες.

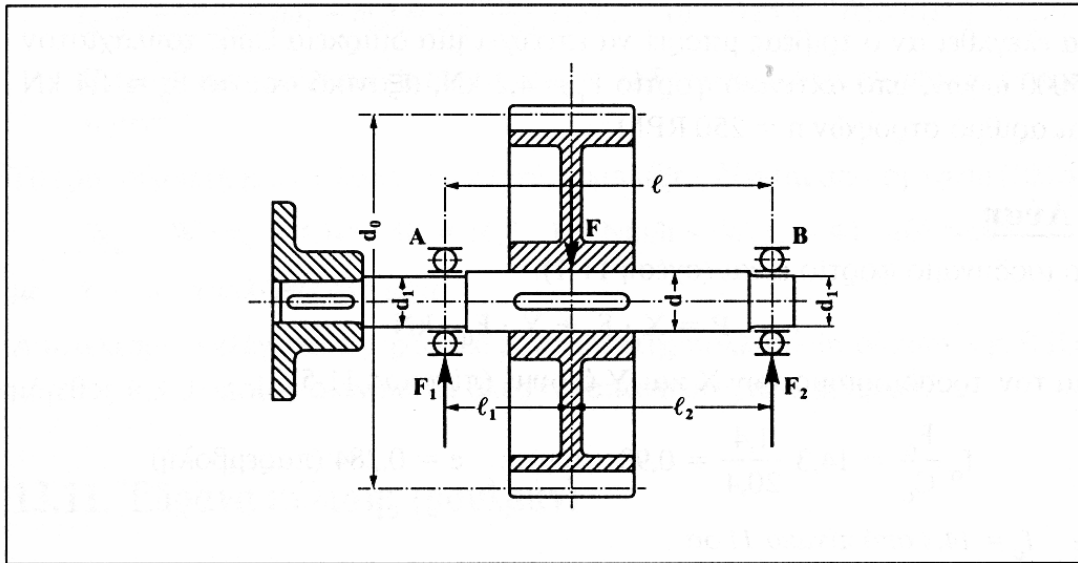
Από πίνακα 11-3 για $\frac{C}{P} = \frac{32,5}{4,55} = 7,14$ και $n = 250$ RPM προκύπτει επίσης

διάρκεια ζωής $L_{10h} \approx 24000$ ώρες.

Επομένως, ο τριβέας επιτυγχάνει διάρκεια ζωής αρκετά μεγαλύτερη των 15000 ωρών.

Άσκηση 4

Να ευρεθούν τα κατάλληλα έδρανα κύλισης για τη στήριξη της ατράκτου εισόδου στον μειωτήρα του σχήματος Π11-3.



Σχήμα Π11-3. Υπολογισμός των εδράνων κύλισης, της ατράκτου ενός μειωτήρα.

Από τον υπολογισμό σε αντοχή και την κατασκευαστική διαμόρφωση προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία:

$$d = 60 \text{ mm}, \quad d_1 = 50 \text{ mm} \quad \ell = 310 \text{ mm}, \quad \ell_1 = 120 \text{ mm}, \quad \ell_2 = 190 \text{ mm}$$

$$F = 10,6 \text{ kN}, \quad d_0 = 364 \text{ mm} \quad \text{και} \quad n = 315 \text{ RPM}$$

♦ Λύση

Στην αρχή πρέπει να αποφασισθεί ποιο είδος εδράνων είναι κατάλληλο για την περίπτωση αυτή. Όπως έχει αναφερθεί θα πρέπει να ξεκινήσει κανείς, αν δεν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, με σφαιρικούς τριβείς βαθείας αύλακος.

Οι αντιδράσεις προκύπτουν από τις συνθήκες ισορροπίας $\Sigma M_{(B)} = 0$

$$F_1 = \frac{F \cdot \ell_2}{\ell} = \frac{10,6 \cdot 190}{310} = 6,5 \text{ kN}$$

και $\Sigma F = 0$, δηλαδή:

$$F_2 = F - F_1 = 10,6 - 6,5 = 4,1 \text{ kN}$$

Ο υπολογισμός διεξάγεται για το έδρανο Α που δέχεται το μεγαλύτερο (καθαρά ακτινικό) φορτίο.

Ισοδύναμο φορτίο $P = F_r = F_1 = 6,5 \text{ kN}$

Το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο είναι (σχέση 11.8):

$$C = P \frac{f_L}{f_n} = 6,5 \frac{3,1}{0,47} = 42,87 \text{ kN}$$

με $L_{10h} = 15000$ ώρες για μειωτήρες (από πίνακα 11-2) έχουμε:

$$f_L = 3,1 \text{ από σχήμα 11-14 για } L_{10h} = 15000 \text{ ώρες}$$

$$f_n = 0,47 \text{ από σχήμα 11-13 για } n = 315 \text{ RPM}$$

Ή από πίνακα 11-3 για $n = 315 \text{ RPM}$ και $L_{10h} = 15000$ ώρες προκύπτει $\frac{C}{P} \approx 6,6$ οπότε επίσης $C = 6,5 \cdot 6,6 = 42,9 \text{ kN}$.

Για εσωτερική διάμετρο $d_i = 50 \text{ mm}$ εκλέγεται από πίνακα 11-5 (ή από καταλόγους ρουλμάν) ο τριβέας N°6310 με δυναμικό φορτίο $C = 62 \text{ kN}$. Για λόγους απλότητας και ευκολίας κατεργασίας (ίδια διάμετρος οπής στο κέλυφος) και αφού η διαφορά φορτίου δεν είναι σημαντική, εκλέγεται και για τη θέση Β το ίδιο έδρανο.

Αν είχαν εκλεγεί κυλινδρικά έδρανα θα είχαμε

$$f_L \approx 2,75 \text{ από σχήμα 11-14}$$

$$f_n \approx 0,51 \text{ από σχήμα 11-13}$$

$$\text{και } C = P \frac{f_L}{f_n} = 6,5 \frac{2,75}{0,51} = 35,04 \text{ kN}$$

Ή από πίνακα 11-4 για $n = 315 \text{ RPM}$ και $L_{10h} = 15000$ ώρες προκύπτει $\frac{C}{P} \approx 5,4$, οπότε επίσης $C = 6,5 \cdot 5,4 = 35,1 \text{ kN}$.

Από πίνακα 11-10 (ή από καταλόγους ρουλμάν) μπορεί να εκλεγεί το κυλινδρικό NU210 με $C = 64 \text{ kN}$ σαν ελεύθερο έδρανο και το NUP210 σαν σταθερό έδρανο.

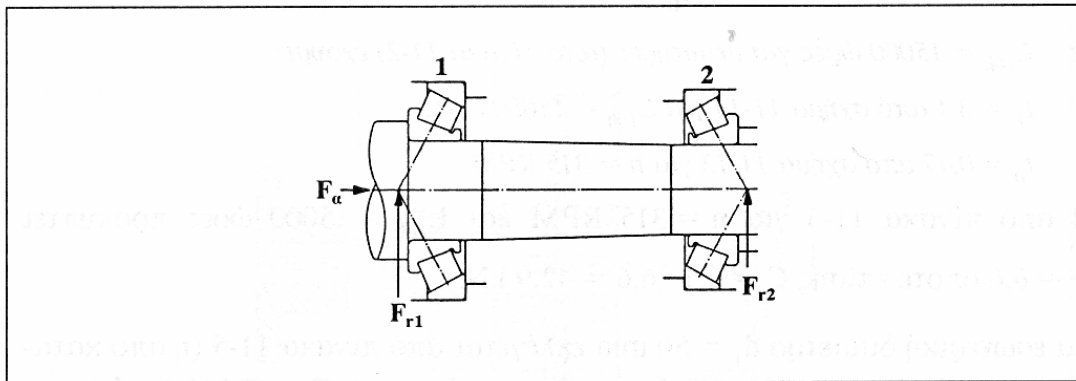
Για τη στήριξη της ατράκτου του μειωτήρα μπορούν λοιπόν να εκλεγούν σφαιρικοί τριβείς με βαθύ αύλακα N°6310 (2 τεμάχια) ή κυλινδρικοί τριβείς NU210 (1 τεμ.) και NUP210 (1 τεμ.). Η σύγκριση των τιμών δίνει σαφές πλεονέκτημα στους σφαιρικούς τριβείς.

♦ Παράδειγμα 11-4

Στην έδραση του σχήματος Π11-4 δρουν οι δυνάμεις $F_{r1} = 6,8 \text{ kN}$, $F_{r2} = 5,2 \text{ kN}$ και $F_a = 1,6 \text{ kN}$.

Το έδρανο 1 είναι κωνικό ρουλμάν N°30210 και το έδρανο 2 κωνικό ρουλμάν N°30207. Στροφές της ατράκτου $n = 1500 \text{ RPM}$.

Να προσδιορισθεί η διάρκεια ζωής των 2 ρουλμάν.



Σχήμα Π11-4. Έδραση κωνικών ρουλμάν

♦ Λύση

Από πίνακα 11-7 (ή από καταλόγους ρουλμάν) λαμβάνονται:

για ρουλμάν 1, N°30210: $C = 80 \text{ kN}$ $Y_1 = 1,4$ $e = 0,42$

για ρουλμάν 2, N°30207: $C = 54 \text{ kN}$ $Y_2 = 1,6$ $e = 0,37$

Για τον υπολογισμό των αξονικών δυνάμεων ισχύει η συνθήκη 2 (σχήμα 11-12)

$$\text{διότι } \frac{F_{r1}}{Y_1} = \frac{6,8}{1,4} = 4,86 > \frac{F_{r2}}{Y_2} = \frac{5,2}{1,6} = 3,25$$

$$\text{και } F_a = 1,6 > 0,5 \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right) = 0,5 (4,86 - 3,25) = 0,8$$

$$\text{Επομένως } F_{\alpha 1} = F_{\alpha} + 0,5 \frac{F_{r2}}{Y_2} = 1,6 + 0,5 \frac{5,2}{1,6} = 3,22 \text{ kN}$$

Επειδή για το έδρανο 1 είναι $\frac{F_{\alpha 1}}{F_{r1}} = \frac{3,22}{6,8} = 0,473 > e = 0,42$, το αντίστοιχο ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P_1 θα είναι (σχέση 11.1 και πίνακας 11-7)

$$P_1 = 0,4 \cdot F_{r1} + Y_1 \cdot F_{\alpha 1} = 0,4 \cdot 6,8 + 1,4 \cdot 3,22 = 7,23 \text{ kN}$$

Ο λόγος φόρτισης θα είναι τότε:

$$\frac{C}{P_1} = \frac{80}{7,23} = 11,06$$

και η διάρκεια ζωής του εδράνου 1 από πίνακα 11-4:

$$L_{10h} \approx 32000 \text{ ώρες}$$

Για το έδρανο 2 το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο είναι $P_2 = F_{r2} = 5,2 \text{ kN}$ και ο λόγος φόρτισης $\frac{C}{P_2} = \frac{54}{5,2} = 10,4$, που δίνει διάρκεια ζωής

$$L_{10h} \approx 30000 \text{ ώρες}$$

♦ Παράδειγμα 11-5

Στις εδράσεις του προηγούμενου παραδείγματος 11-4 δρουν μόνο οι ακτινικές δυνάμεις $F_{r1} = 6,8 \text{ kN}$ και $F_{r2} = 1,5 \text{ kN}$.

Να προσδιορισθεί η διάρκεια ζωής των 2 ρουλμάν.

♦ Λύση

Για τον υπολογισμό των αξονικών δυνάμεων ισχύει η συνθήκη 3 (σχήμα 11-12),

$$\text{διότι } \frac{F_{r1}}{Y_1} = \frac{6,8}{1,4} = 4,86 > \frac{F_{r2}}{Y_2} = \frac{1,5}{1,6} = 0,94$$

$$\text{και } F_{\alpha} = 0 < 0,5 \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right) = 0,5 (4,86 - 0,94) = 1,96$$

$$\text{οπότε } F_{\alpha 2} = 0,5 \frac{F_{r1}}{Y_1} - F_{\alpha} = 0,5 \cdot 4,86 - 0 = 2,43 \text{ kN}$$

$$\text{Επειδή για το έδρανο 2 είναι } \frac{F_{\alpha 2}}{F_{r2}} = \frac{2,43}{1,5} = 1,62 > e = 0,37$$

το αντίστοιχο δυναμικό φορτίο P_2 θα είναι:

$$P_2 = 0,4 \cdot F_{r2} + Y_2 \cdot F_{a2} = 0,4 \cdot 1,5 + 1,6 \cdot 2,43 = 4,5 \text{ kN}$$

Ο λόγος φόρτισης θα είναι $\frac{C}{P_2} = \frac{54}{4,5} = 12$

και η διάρκεια ζωής του εδράνου 2 θα είναι (πίνακας 11-4):

$$L_{10h} \approx 45000 \text{ ώρες}$$

Για το έδρανο 1 το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο είναι $P_1 = F_{r1} = 6,8 \text{ kN}$ και ο λόγος φόρτισης $\frac{C}{P_1} = \frac{80}{6,8} = 11,8$ που δίνει διάρκεια ζωής

$$L_{10h} \approx 45000 \text{ ώρες}$$

► Παράδειγμα 11-6

Ζητείται κατάλληλο βαρελοειδές ρουλμάν της σειράς 223 για ακτινικό φορτίο $F_r = 80 \text{ kN}$ και αξονικό φορτίο $F_a = 15 \text{ kN}$. Επιθυμητή είναι μια διάρκεια ζωής $L_{10h} \approx 40000$ ώρες στις $n = 400 \text{ RPM}$ και διάμετρος οπής άνω των 100 mm .

► Λύση

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{15}{80} = 0,187 \leq e \quad \text{της σειράς 223}$$

Ισοδύναμο φορτίο $P = F_r + Y \cdot F_a$ για $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ (πίνακας 11-9, συνέχεια)

Με $Y = 2,06$ για το ρουλμάν N°22324 με $d = 120 \text{ mm}$, θα έχουμε:

$$P = 80 + 2,06 \cdot 15 = 110,9 \text{ kN}$$

Λόγος φόρτισης $\frac{C}{P} = \frac{900}{110,9} = 8,11$ που δίνει διάρκεια ζωής:

$$L_{10h} \approx 45000 \text{ ώρες}$$

Το ρουλμάν 22324 καλύπτει επομένως όλες τις προϋποθέσεις.

► Παράδειγμα 11-7

Ανελκυστήρας λειτουργεί στο 10% της διάρκειας ζωής του με 1/2 της ταχύτη-

τας και πλήρες φορτίο, στο 60% της διάρκειας ζωής με πληρη ταχύτητα και 3/4 του φορτίου και στο 30% της διάρκειας ζωής του με 1/2 της ταχύτητας και 1/2 του φορτίου. Η προς έδραση άτρακτος περιστρέφεται με $n_{\max} = 3000 \text{ RPM}$ και το προς υπολογισμό έδρανο κύλισης δέχεται ένα φορτίο $P_{\max} = 1000 \text{ N}$. Η διάρκεια ζωής του εδράνου ορίζεται σε 10 χρόνια με καθημερινή λειτουργία 2 ωρών.

Ποιο δυναμικό φορτίο πρέπει να έχει το έδρανο;

► Λύση

Από τα δεδομένα προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου δυναμικού φορτίου P_i (σχέση 11.4)

$P_1 = 1000 \text{ N}$	$n_1 = 1500 \text{ RPM}$	$q_1 = 10$
$P_2 = 750 \text{ N}$	$n_2 = 3000 \text{ RPM}$	$q_2 = 60$
$P_3 = 500 \text{ N}$	$n_3 = 1500 \text{ RPM}$	$q_3 = 30$

$$P_i \approx \frac{1}{15} \sqrt[3]{1000^3 \cdot 1500 \cdot 10 + 750^3 \cdot 3000 \cdot 60 + 500^3 \cdot 1500 \cdot 30} = 3058 \text{ N}$$

Η διάρκεια ζωής L_{10h} είναι 2 ώρες/ημέρα x 365 ημέρες/έτος x 10 έτη = 7300 ώρες

Από σχήμα 11-14 για $L_{10h} = 7300$ ώρες και σφαιρικά ρουλμάν, προκύπτει $f_L = 2,45$, οπότε το ζητούμενο δυναμικό φορτίο C θα είναι (σχέση 11.8):

$$C = \frac{P_i \cdot f_L}{f_n} = \frac{3058 \cdot 2,45}{1} = 7500 \text{ N}$$

► Παράδειγμα 11-8

Μπορεί το έδρανο κύλισης N°6315 να εργασθεί ικανοποιητικά υπό στατικό ακτινικό φορτίο $F_{ro} = 25 \text{ kN}$ και στατικό αξονικό φορτίο $F_{ao} = 21 \text{ kN}$;

► Λύση

Από πίνακα 11-5 (ή από καταλόγους ρουλμάν) για το ρουλμάν N°6315 έχουμε

$C_o = 76,5 \text{ kN}$ και $\frac{F_{ao}}{F_{ro}} = \frac{21}{25} = 0,84 > 0,8$ (πίνακας 11-5), οπότε στη σχέση (11.9) θα είναι $X_o = 0,6$ και $Y_o = 0,5$

Ισοδύναμο στατικό φορτίο:

$$P_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0,6 \cdot 25 + 0,5 \cdot 21 = 25,5 \text{ kN}$$

Συντελεστής ασφάλειας f_s από σχέση (11.11):

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} = \frac{76,5}{25,5} = 3$$

Επομένως το έδρανο κύλισης N°6315 μπορεί να εργασθεί ικανοποιητικά σε λειτουργία με κρούσεις, με κραδασμούς και με απαιτήσεις σε ακρίβεια ($f_s > 2,5$).

♦ Παράδειγμα 11-9

Να υπολογισθεί το σταθερό έδρανο στήριξης της ατράκτου ενός κωνικού οδοντωτού τροχού.

Από τη σχεδιομελέτη προβλέπεται διάμετρος οπής ρουλμάν $d = 35 \text{ mm}$. Ακτινικό φορτίο $F_r = 2,5 \text{ kN}$. Αξονικό φορτίο $F_a = 3,0 \text{ kN}$. Στροφές της ατράκτου $n = 800 \text{ RPM}$. Επιθυμητή διάρκεια ζωής τουλάχιστον 8000 ώρες.

♦ Λύση

Ως κατάλληλος τύπος εδράνου για το σκοπό αυτό επιλέγεται ρουλμάν γωνιώδους επαφής, σειράς 72.

$$\text{Για } \frac{F_a}{F_r} = \frac{3,0}{2,5} = 1,2 > 1,14$$

το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο είναι (πίνακας 11-6)

$$P = 0,35 \cdot F_r + 0,57 \cdot F_a = 0,35 \cdot 2,5 + 0,57 \cdot 3,0 = 2,58 \text{ kN}$$

Το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο C είναι (σχέση 11.8)

$$C = \frac{f_L}{f_n} P = \frac{2,55}{0,35} 2,58 = 18,8 \text{ kN}$$

f_n, f_L από σχήματα 11-13, 11-14 αντίστοιχα

Κατάλληλο ρουλμάν είναι το N°7207B με $C = 27 \text{ kN}$.