ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ

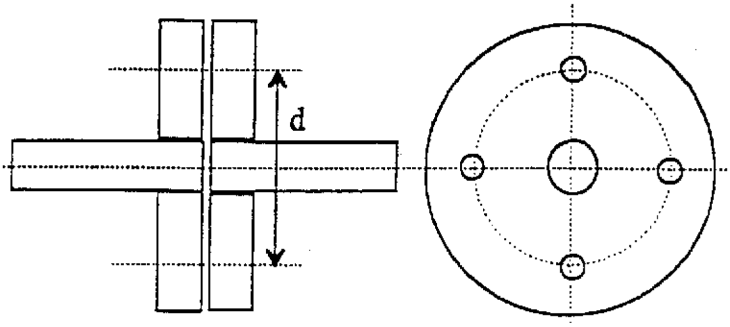
Καθ. Παναγιώτης Δ. Σπάρης

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΙΔΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΞΑΝΘΗ 2000

α. Κοχλίες

Θέμα 1. Για τη σύνδεση δύο αξόνων χρησιμοποιείται σύνδεσμος ο οποίος μεταφέρει τη ροπή στρέψης του άξονα μέσω τεσσάρων κοχλιών M10 από υλικό 5.8. Οι κοχλίες αυτοί είναι τοποθετημένοι σε περιφέρεια με διάμετρο d=250 mm όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Ζητείται να υπολογισθεί η μέγιστη κυματοειδής ροπή στρέψης που είναι σε θέση να μεταφέρει με ασφάλεια ο συγκεκριμένος σύνδεσμος.



Σχήμα 1

Λύση: Το όριο διαρροής για υλικό 5.8 είναι (σελίδα 1.17):

$$\sigma_F=400N/mm^2$$

Εφόσον ο άξονας μεταφέρει κυματοειδή ροπή στρέψης, η επιτρεπόμενη τάση διάτμησης θα είναι:

$$\tau_{\varepsilon\pi}=0.5\sigma_F=200N/mm^2$$

Με βάση τη σχέση:

$$\tau_{\varepsilon\pi} \geq \frac{4F}{\pi D_o^2}$$

θα έχουμε:

$$F \leq \frac{\tau_{\varepsilon\pi}\pi D_o^2}{4} = \frac{200\pi 10^2}{4} = 1.57x10^4 N$$

Η συνολική ροπή που μεταφέρουν οι τέσσερεις κοχλίες θα είναι:

$$M = 4F\frac{d}{2} = 2x1.57x10^4x0.25 = 7.85x10^3 Nm$$

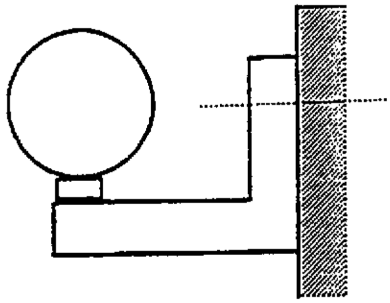
Θέμα 2. Αυτοκίνητο συνδέεται με ρυμουλκούμενο (Trailer) μάζας m=500kg μέσω αγκίστρου. Το άγκιστρο αυτό συνδέεται με το σκελετό του αυτοκινήτου μέσω δύο κοχλιών από υλικό 5.8 όπως δείχνει το σχήμα 2. Ζητείται να υπολογισθεί η διάμετρος των κοχλιών αυτών ώστε το αυτοκίνητο να μπορεί να επιταχύνει με ασφάλεια το ρυμουλκούμενο από στάση στα 100km/h σε 10s.

Λύση: Η επιτάχυνση γ του αυτοκινήτου δίδεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{v}{t} = \frac{10^5}{10x3600} = 2.77m/s^2$$

Η επιτάχυνση αυτή δημιουργεί μία αδρανειακή φόρτιση στο άγκιστρο ίση με

$$F=m\gamma=500x2.77kgm/s^2=1388.8N$$



Σχήμα 2

Το φορτίο αυτό κατανέμεται σε δύο κοχλίες οι οποίοι θα εφελκύονται με δύναμη:

$$F' = 694.4N$$

Το φορτίο αυτό έχει δυναμικό χαρακτήρα και είναι πρωτογενές. Για να διατηρηθεί η σύσφιξη των κοχλιών και να περιορισθεί η καταπόνηση των κοχλιών από το δυναμικό αυτό φορτίο είναι απαραίτητο να υπάρξει πρόταση των κοχλιών τουλάχιστον με φορτίο ίσο με το παραπάνω. Αρα για

$$F_{max} \geq F' = 694.4N$$

Δεχόμενοι

$$F_{max} = 1.1F' = 763.4N$$

θα έχουμε:

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = 0.8\sigma_F = 0.8x400 = 320N/mm^2$$

και

$$S \geq \frac{F_{max}}{\sigma_{\varepsilon\pi}} = 2.38mm^2 \qquad d_s \geq \sqrt{\frac{4 F_{max}}{\pi \cdot \sigma_{en}}} \Rightarrow d_s \geq 1.743 mm$$

Εάν επιλέξω κοχλία διαμέτρου d=3mm και P=.5mm θα έχω:

$$d_2 = d - 0.64953P = 2.80mm$$

και

$$d_3 = d - 1.22687P = 2.63mm$$

Αρα

$$d_s = 0.5(d_2 + d_3) = 2.71mm$$

και

$$S_s = 0.25\pi d_s^2 = 5.7mm^2$$

Αρα ο κοχλίας αυτός είναι ικανοποιητικός για να ανθέξει τα φορτία επιτάχυνσης του ρυμουλκουμένου. Σημειώνεται ότι το φορτίο επιτάχυνσης του ρυμουλκουμένου δεν είναι το μοναδικό φορτίο που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι συγκεκριμένοι κοχλίες. Υπάρχουν επίσης και εγκάρσια φορτία που ωφείλονται στις εγκάρσιες επιταχύνσεις λόγω των ανωμαλιών του δρόμου. Οι δυνάμεις αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες με αποτέλεσμα οι κοχλίες πρότασης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τελικά να είναι σημαντικά μεγαλύτεροι.

Για την επίτευξη της αναγκαίας πρότασης η ροπή σύσφιξης κατά προσέγγιση θα είναι:

$$T = 0.2dF' = 1.2x0.003x694.4 = 2.49Nm$$

Θέμα 3. Σε μονοκύλινδρη βενζινομηχανή με διάμετρο κυλίνδρου D=100mm κατά την καύση αναπτύσσεται υπερπίεση 60bar. Για την εξασφάλιση της στεγανώτητος του κυλίνδρου χρησιμοποιούνται τέσσερες κοχλίες πρότασης. Ζητείται να υπολογισθεί η διάμετρος των κοχλιών αυτών ώστε να εξασφαλισθεί η στεγανότητα του κυλίνδρου ακόμη και στη περίπτωση υπερφόρτισης της μηχανής κατά 10%.

Λύση: Η δύναμη που ασκείται στο κάλυμα της μηχανής υπό κανονικές συνθήκες θα είναι:

$$F=pS=(60x10^5N/10^6mm^2)x0.25\pi 100^2mm^2$$

ή

$$F=4.71x10^4N$$

Κατά συνέπεια σε κάθε ένα κοχλία θα ασκείται δύναμης:

$$F_B=0.25F=1.18x10^4N$$

Κατά συνέπεια

$$F_{max}=1.1F_B=F_B+F_F=1.29x10^4N$$

Επιλέγω υλικό κοχλιών 8.8 με $\sigma_F=540N/mm^2$. Γιά κοχλίες πρότασης θα έχουμε:

$$\sigma_{\varepsilon\pi}=0.8\sigma_F=432N/mm^2$$

Η διάμετρος υπολογισμού του κοχλία d_s θα είναι:

$$d_s \geq \sqrt{\frac{4F_{max}}{\pi\sigma_{\varepsilon\pi}}} = \sqrt{\frac{4x1.29x10^4}{432\pi}} = \sqrt{38.02} = 6.16mm$$

Επιλέγω κοχλίες M8 με P=1.25mm για τους κοχλίες αυτούς θα έχουμε:

$$d_2=d-0.64953P=7.19mm$$

και

$$d_3=d-1.22687P=6.46mm$$

ή

$$d_s=0.5(d_2+d_3)=6.82mm>6.16mm$$

Γιά τον υπολογισμό της πρότασης θα έχουμε:

$$F_{diff}= F_B\frac{1}{1+\frac{\delta_s}{\delta_F}} = F_B\frac{1}{1+\frac{k_F}{k_s}} \approx F_B\frac{1}{1+8} = 0.131x10^4N$$

και

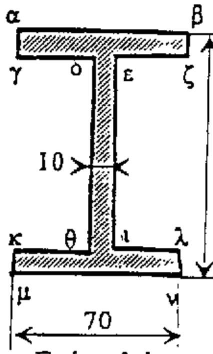
$$F_V=F_{max}-F_{diff}=(1.29-0.131)x10^4N=1.16x10^4N$$

Αρα

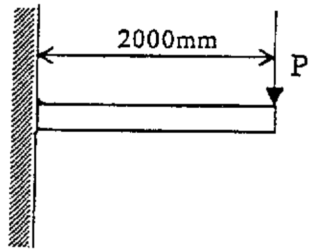
$$T=0.2dF_v=0.2x0.008x1.16x10^4=18.54Nm$$

β. Συγκολλήσεις

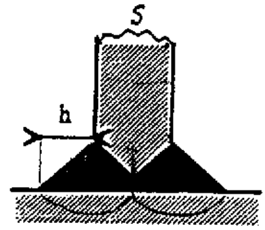
Θέμα 1. Δοκός ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις σε mm όπως στο σχήμα 1 συγκολλάται περιφερειακά σε κατακόρυφο μεταλλικό τοίχο, κατά μήκος των αβ, γδ, εζ, δθ, ει, ιλ, κθ, μν όπως στο σχήμα 2.2. Το πλάτος της συγκόλλησης είναι h=10 mm ως στο σχήμα 2.3. Το υλικό της δοκού είναι St 42-1 και η ποιότητα της συγκόλλησης είναι II. Ζητείται να υπολογισθεί το μέγιστο επιτρεπόμενο στατικό φορτίο P που μπορεί να φέρει με ασφάλεια η δοκός σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.



Σχήμα 1.1



Σχήμα 1.2

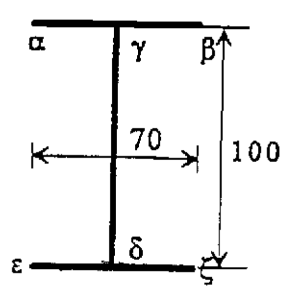


Σχήμα 1.3

Λύση: Με βάση το σχήμα 1.3 είναι σαφές ότι η συγκεκριμένη ραφή είναι εσωρραφή τύπου Τ. Στη ραφή αυτή το πάχος της είναι ίσο με το πάχος του ελάσματος s (Πίνακας σελ. 2.35). Πράγματι, επειδή η συγκόλληση εισχωρεί πλήρως σε όλο το πάχος του ελάσματος, η διατομή που κινδυνεύει να σπάσει έχει πάχος s και όχι α εκατέρωθεν του ελάσματος, δηλαδή 2α όπως π.χ. στη περίπτωση της εξωρραφής. Σχετικά δε έχουμε:

$$2\alpha = 1.41h = 14.1mm > s = 10mm$$

Λόγω της ανωτέρω σχέσης το ελάχιστο πάχος ραφής είναι s και εκεί θα σπάσει η ραφή εάν υπερφορτισθεί. Με βάση τα παραπάνω η διατομή της ραφής έχει σχήμα διπλού Τ, όπως δείχνει το ακόλουθο σχήμα 1.4:



Σχήμα 1.4

Για τα τμήματα αβ, εζ θα έχουμε:

$$I_{u1} = \frac{bd^2}{2} = \frac{7x10^2}{2} = 350cm^3$$

Επίσης, για τη ραφή γδ θα έχουμε:

$$I_{u2} = \frac{d^3}{12} = \frac{(10-2)^3}{12} = 42.6cm^3$$

Αρα, η συνολική ροπή αδράνειας των όλων των ραφών θα είναι:

$$J=(J_{u1}+J_{u2})s=(350+42.6)x1\,cm^4=392.6cm^4$$

Η μέγιστη απόσταση από το κέντρο των ραφών της διατομής είναι:

$$y_{max}=5cm$$

Η επιτρεπόμενη τάση για το υλικό της συγκόλλησης είναι:

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa}=v_1 v_2 v_3 \sigma_{\varepsilon\pi}$$

Σχετικά έχουμε:

$$v_1=0.8$$
$$v_2=1.0$$

και

$$v_3=0.8$$

Για το υλικό επίσης θα έχουμε:

$$\sigma_{\varepsilon\pi}=\frac{\sigma_t}{1.2}=\frac{250}{1.2}=208.3N/mm^2$$

Αρα

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa}=v_1 v_2 v_3 \sigma_{\varepsilon\pi}=0.8x1x0.8\sigma_{\varepsilon\pi}=0.64x208.3=133.3N/mm^2$$

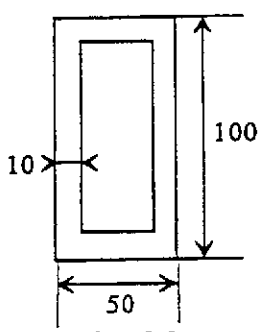
Και τελικά

$$M_b=\frac{\sigma J}{y_{max}}=\frac{133.3x392.6}{50}\frac{Ncm^4}{mm^3}=1046.7x10^4Nmm=10467Nm$$

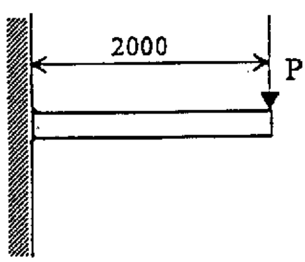
Αρα

$$P=\frac{M_b}{L}=\frac{10467}{2}=5233N$$

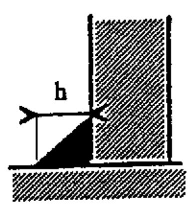
Θέμα 2. Κοίλη δοκός ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις σε mm όπως στο σχήμα 2.1 συγκολλάται περιφερειακά σε κατακόρυφο μεταλλικό τοίχο, όπως στο σχήμα 2.2. Το πλάτος της συγκόλλησης είναι h=10 mm (σχήμα 2.3). Το υλικό της δοκού είναι St 4[illegible]-1 και η ποιότητα της συγκόλλησης είναι III. Ζητείται να υπολογισθεί το μέγιστο επιτρεπόμενο στατικό φορτίο P που μπορεί να φέρει με ασφάλεια η δοκός σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.



Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.3

Λύση: Η ανά μονάδα πάχους ραφής ροπή αδρανείας της συγκόλλησης με βάση τον πίνακα της σελίδος 2.39 θα είναι:

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3b+d) = \frac{100^2}{6}(3X50+100) = 4.16X10^5 mm^3$$

Το πάχος της συγκόλλησης θα είναι:

$$\alpha=0.707h=7.07mm$$

Αρα η ροπή αδρανείας της συγκόλλησης θα είναι:

$$I=I_u\alpha=7.07X4.16X10^5=29.45X10^5mm^4$$

Το όριο διαρροής για τον χάλυβα St 42 προκείπτει από τον πίνακα της σελίδος 4.4 ως:

$$\sigma_s=250\ N/mm^2$$

Η επιτρεπόμενη τάση του μετάλλου θα είναι:

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{\sigma_s}{1.2} = \frac{250}{1.2} = 208.3N/mm^2$$

Για την επιτρεπόμενη τάση της συγκόλλησης θα έχουμε:

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa} = v_1 v_2 v_3 \sigma_{\varepsilon\pi}$$

Για ποιότητα συγκόλλησης III έχουμε:

$$v_1=0.5$$

Για στατικά φορτία έχουμε:

$$v_2=1.0$$

Για εξωρραφή Γ από τον πίνακα της σελίδος 2.35 θα έχουμε για κάμψη:

$$v_3=0.11$$

Αρα

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa} = 0.5\times1.0\times0.11\times208.3 = 0.055\times208.3 = 11.46N/m$$

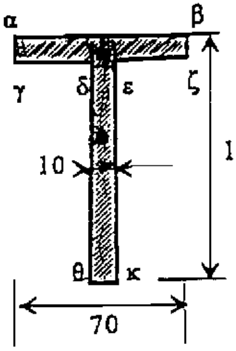
Το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο δίδεται από τη σχέση:

$$P \leq \frac{(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa} I}{yl}$$

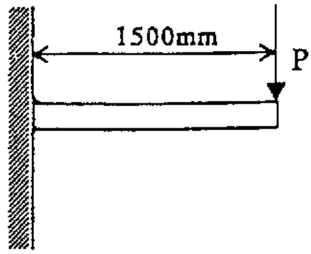
Για τη συγκεκριμένη διατομή έχουμε y=50mm, άρα:

$$P \leq \frac{11.46X4.16X10^5}{50X2X10^3} = 47.66N$$

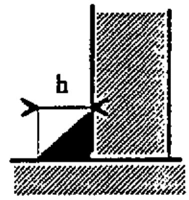
Θέμα 3. Δοκός ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις σε mm όπως στο σχήμα 3.1 συγκολλάται περιφερειακά σε κατακόρυφο μεταλλικό τοίχο, κατά μήκος των αβ, γδ, εζ, δθ, εκ όπως στο σχήμα 3.2. Το πλάτος της συγκόλλησης είναι h=10 mm ως στο σχήμα 3.3. Το υλικό της δοκού είναι St 42-1 και η ποιότητα της συγκόλλησης είναι III. Ζητείται να υπολογισθεί το μέγιστο επιτρεπόμενο στατικό φορτίο P που μπορεί να φέρει με ασφάλεια η δοκός σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.



Σχήμα 3.1



Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.3

Λύση: Για να υπολογισθεί η ροπή αδρανείας των συγκολλήσεων της διατομής με τη χρήση των τύπων τοων σημειώσεων θα πρέπει η ραφή αβ να προσεγγισθεί με δύο τμήματα ίσα με τις ραφές γδ και εζ. Το σχετικό σφάλμα με την παράλειψη τμήματος ραφής ίσου με το τμήμα θκ είναι μικρό και θα προκαλέσει συντηρητικότερη, άρα και ασφαλέστερη εκτίμηση. Φυσικά ο ακριβής υπολογισμός είναι επίσης δυνατός με τη χρήση των σχέσεων της Τεχνικής Μηχανικής.

Για τα τμήματα αβ, γδ, εζ θα έχουμε:

$$I_{u1} = 2\left(\frac{bd^2}{2}\right) = 2\left(\frac{3x1^2}{2}\right) = 3\,cm^3$$

Επίσης, για τις ραφές δθ, εκ θα έχουμε:

$$I_{u2} = \frac{d^3}{6} = \frac{9^3}{6} = 121.5cm^3$$

Οι παραπάνω ροπές αδράνειας ανά μονάδα πάχους ραφής <u>φυσικά</u> αναφέρονται σχετικά με τα επιμέρους κέντρα G των ραφών αυτών. Το πάχος της ραφής είναι:

$$\alpha = 0.707h = 7.07mm$$

Η ροπή αδράνειας των ραφών αβ, γδ, εζ θα είναι:

$$J_{u1} = I_{u1}\,a = 3x0.707 = 2.121\,cm^4$$

Το εμβαδόν των ραφών αυτών θα είναι:

$$E_1 = 2ax(7-1) = 8.484cm^2$$

Η ροπή αδρανείας των ραφών δθ, εκ θα είναι:

$$J_{u2} = I_{u2}\,a = 121.5x0.707 = 85.9cm^4$$

Το εμβαδόν των ραφών αυτών θα είναι:

$$E_2 = 2xax9 = 12.726cm^2$$

Το συνολικό εμβαδόν των ραφών θα είναι:

$$E = E_1 + E_2 = 21.21\,cm^2$$

Για την εύρεση του συνολικού κέντρου βάρους των ραφών μπορούμε να εφαρμόσουμε το θεώρημα των στατικών ροπών ως προς το τμήμα αβ γιατί το κέντρο αυτό θα βρίσκεται για λόγους συμμετρίας στον άξονα συμμετρίας της διατομής που είναι και άξονας συμμετρίας των ραφών. Οι αποστάσεις των επιμέρους κέντρων των ραφών από τον άξονα αβ είναι

$$l_1 = 5mm$$

και

$$l_2 = 55mm \quad +10$$

Αρα θα έχουμε:

$$El = E_1 l_1 + E_2 l_2$$

και

$$l = \frac{E_1 l_1 + E_2 l_2}{E} = \frac{742.2}{21.21} \approx 35mm$$

Κατά συνέπεια το κέντρο της διατομής βρίσκεται σε απόσταση 35mm από τον άξονα αβ. Εφαρμόζοντας το θεώρημα Steiner ως προς το κέντρο αυτό για την ροπή αδράνειας των ραφών αβ, γδ, εζ θα έχουμε:

$$J_1 = J_{u1} + a_1^2 E_1 = 2.121 + 3^2 8.486 \approx 78.5 cm^4$$

Και αντίστοιχα για τις ραφές δθ, εκ:

$$J_2 = J_{u2} + a_2^2 E_2 = 85.9 + 1^2 x 12.726 = 98.6 cm^4$$

Αρα, η συνολική ροπή αδράνειας των όλων των ραφών θα είναι:

$$J = J_1 + J_2 = 177.1 cm^4$$

Η μέγιστη απόσταση από το κέντρο των ραφών της διατομής αντιστοιχεί στα σημεία θ, κ και είναι :

$$y_{max} = 65mm = 6.5cm$$

Η επιτρεπόμενη τάση για το υλικό της συγκόλλησης είναι:

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa} = v_1 v_2 v_3 \sigma_{\varepsilon\pi}$$

Σχετικά έχουμε:

$$v_1 = 0.5 \ , \ v_2 = 1.0 \text{ και } v_3 = 0.6$$

Γο υλικό επίσης θα έχουμε:

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{\sigma_s}{1.2} = \frac{250}{1.2} = 208.3 N/mm^2$$

Αρα

$$(\sigma_{\varepsilon\pi})_{\sigma\upsilon\gamma\kappa} = v_1 v_2 v_3 \sigma_{\varepsilon\pi} = 0.5 x 1 x 0.6 \sigma_{\varepsilon\pi} = 0.3 x 208.3 = 62.5 N/mm^2$$

Και τελικά

$$M_b = \frac{\sigma J}{y_{max}} = \frac{62.5 x 177.1}{65} \frac{Ncm^4}{mm^3} = 170.3 x 10^4 Nmm = 1703 Nm$$

Αρα

$$P = \frac{M_b}{L} = \frac{1703}{1.5} = 1135N$$

γ. Σφήνες

Θέμα 1. Αξονας διαμέτρου d_i=52 mm μεταφέρει ροπή στέψης M_t =2000 Nm σε τροχαλία από χάλυβα πλάτους L=50mm . Ζητείται να ευρεθεί ο ελαφρότερος δυνατός τύπος του πολύσφηνου τετραγωνικής μορφής που είναι σε θέση να μεταφέρει ασφαλώς την παραπάνω ροπή.

Λύση: Με βάση τα στοιχεία του πίνακα της σελίδος 4.5 για ελαφρό πολύσφηνο κατά DIN 5462 για διάμετρο d_1=52 mm θα έχουμε:

$$i=8,\ d_2=58mm \text{ και } b=10mm$$

Σχετικά με το μήκος του πολυσφήνου ισχύει η σχέση:

$$p = \frac{M_t}{0.75 r_m i L h} \leq p_{\varepsilon\pi} = 100 N/mm^2$$

όπου

$$r_m = \frac{d_2+d_1}{4} = \frac{58+52}{4} = 27.5mm$$

και

$$h = \frac{d_2-d_1}{2} = \frac{58-52}{2} = 3mm$$

Αρα

$$L \geq \frac{M_t}{0.75 r_m i h p_{\varepsilon\pi}} = \frac{2000x1000Nmm}{0.75x27.5x8x3x100N} = 40.4mm \approx 41mm < 50mm$$

Θέμα 2 Αξονας διαμέτρου d_i=42 mm μεταφέρει ροπή στέψης M_t =2000 Nm μέσω πολυσφήνου βαρέως τύπου κατά DIN 5464 σε πλύμνη από χάλυβα. Ζητείται να υπολογισθεί το μήκος l_1 του πολύσφηνου καθώς και οι λοιπές διαστάσεις του.

Λύση: Με βάση τα στοιχεία του πίνακα της σελίδος 4.5 για διάμετρο d_1= 2 mm θα έχουμε:

$$i=10,\ d_2=52mm \text{ και } b=5mm$$

Σχετικά με το μήκος του πολυσφήνου ισχύει η σχέση:

$$p = \frac{M_t}{0.75 r_m i L h} \leq p_{\varepsilon\pi} = 100 N/mm^2$$

όπου

$$r_m = \frac{d_2+d_1}{4} = \frac{42+52}{4} = 23.5mm$$

και

$$h = \frac{d_2-d_1}{2} = \frac{52-42}{2} = 5mm$$

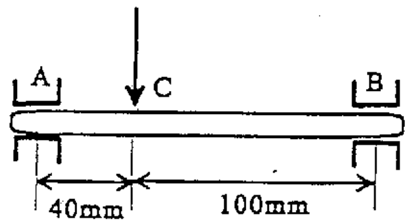
Αρα

$$L \geq \frac{M_t}{0.75 r_m i h p_{\varepsilon\pi}} = \frac{2000x1000Nmm}{0.75x23.5x10x5x100N} = 22.69mm \approx 23mm$$

δ. Αξονες

Θέμα 1. Περιστρεφόμενος αξονας (άτρακτος) διαμέτρου d=100 mm είναι κατασκευασμένος από St 70-2 και καταπονείται σε στρέψη μεταφέροντας σταθερή ισχή N με στροφές n=3500 RPM ενώ ταυτόχρονα επιβαρύνεται με σταθερή κατακόρυφη δύναμη P=5000N που ασκείται στο σημείο C όπως δείχνει το σχήμα 1. Ζητείται η μέγιστη τιμή της ισχύος που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια ο άξονας σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Επειδή ο άξονας καταπονείται σε στρέψη και ταυτόχρονα επιβαρύνεται με σταθερή κατακόρυφη δύναμη η καταπόνηση είναι σύνθετη.



Σχήμα 1

Λύση: Για το υλικό του άξονα St 70-2 έχουμε:

$$\sigma_{bw} = 340 N/mm^2$$ → από τον πίνακα στην σελίδα 4.4

Αρα

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{\sigma_{bw}}{4} = 85 N/mm^2$$

Για την διάμετρο του άξονα ισχύει η σχέση:

$$D \geq 2.17 \left(\frac{M_{\iota\sigma}}{\sigma_{\varepsilon\pi}}\right)^{0.33}$$

Αρα

$$M_{\iota\sigma} \leq \left(\frac{D}{2.17}\right)^3 \sigma_{\varepsilon\pi}$$

και

$$M_{\iota\sigma} \leq \left(\frac{100}{2.17}\right)^3 85 Nmm \approx 8318 Nm$$

Οι καταπονήσεις του άξονα είναι διαφορετικής μορφής γιατί η στρέψη είναι στατική ενώ η κάμψη δυναμική, άρα:

$$\alpha = 1.0$$

Η ροπή κάμψης στο σημείο C είναι (Πίνακας 5.5):

$$M_b = \frac{4x10x5000}{14x100} Nm = 142.8 Nm$$

$$\frac{5000 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{140 \cdot 10^{-3}} =$$

και τελικά:

$$M_t = 2\sqrt{M_{\iota\sigma}^2 - M_b^2} = 2\sqrt{8318^2 - 142.8^2} \approx 16633 Nm$$

και

$$N = \frac{M_t n}{9549296} = \frac{16633x1000x3500}{9549296} = 6096.3 kW$$

$$\frac{5 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot \cancel{10^{-2}} \cdot \cancel{10^{2}} \cdot \cancel{10^{-3}}}{140 \cdot \cancel{10^{-3}}} =$$

$$\frac{2\cancel{0} \cdot 10^3}{14\cancel{0}} = \frac{2000}{14} = 142,8$$

ο άξονας είναι κοίλος

Θέμα 2. <u>Σωληνωτός άξονας</u> διαμέτρων d_1=30 mm, d_2=40 mm είναι κατασκευασμένος από St 70-2 και καταπονείται δυναμικά σε στρέψη μεταφέροντας ισχή N με στροφές n=1500 RPM. Ζητείται η μέγιστη τιμή της ισχύος που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια ο άξονας σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Λύση: Ο άξονας καταπονείται σε στρέψη με δυναμικό φορτίο. Με βάση τη τιμή της αντοχής σε δυναμική στρέψη για το υλικό St 70-2 από τον πίνακα της σελίδος 5.2 θα έχουμε:

$$\tau_{tw}=240\ N/mm^2$$

και για τον ελάχιστο επιτρεπόμενο συντελεστή ασφαλείας S=10 θα έχουμε $\tau_{\varepsilon\pi}$=24 N/mm^2
Η ροπή αντίστασης σε στρέψη θα είναι:

$$W_p = \frac{\pi}{16}\frac{(d_2^4-d_1^4)}{d_2} = 8590mm^3$$

Η επιτρεπόμενη ροπή στρέψης θα είναι:

$$M_t = \tau_{\varepsilon\pi} W_p = 206160Nmm$$

Αρα

$$N = \frac{M_t n}{9549296}(kW) = 32.38kW$$

Θέμα 3. Αξονας διαμέτρου d=100 mm είναι κατασκευασμένος από St 70-2 και καταπονείται <u>δυναμικά σε στρέψη</u>[1] μεταφέροντας ισχή N με στροφές n=3500 RPM ενώ ταυτόχρονα <u>κάμπτεται με σταθερή ροπή κάμψης</u>[1] M_b=5000 Nm. Ζητείται η μέγιστη τιμή της ισχύος που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια ο άξονας σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

(1) η κάμψη είναι στατική
η στρέψη είναι δυναμική

Λύση: Για το υλικό του άξονα St 70-2 έχουμε:

$$\sigma_{bw} = 340N/mm^2$$

Αρα

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{\sigma_{bw}}{4} = 85N/mm^2$$

Για την διάμετρο του άξονα ισχύει η σχέση:

$$D \geq 2.17\left(\frac{M_{\iota\sigma}}{\sigma_{\varepsilon\pi}}\right)^{0.33}$$

Αρα

$$M_{\iota\sigma} \leq \left(\frac{D}{2.17}\right)^3 \sigma_{\varepsilon\pi}$$

και

$$M_{\iota\sigma} \leq \left(\frac{100}{2.17}\right)^3 85Nmm \approx 8318Nm$$

Οι καταπονήσεις του άξονα είναι διαφορετικής μορφής γιατί η στρέψη είναι δυναμική ενώ η κάμψη στατική, άρα:

$$\alpha=1.0$$

και τελικά:

$$M_t = 2\sqrt{M_{\iota\sigma}^2 - M_b^2} = 2\sqrt{8318^2 - 5000^2} \approx 13295 Nm$$

και

$$N = \frac{M_t n}{9549296} = \frac{13295 x 1000 x 3500}{9549296} = 4875 kW$$

ε. Εδρανα

Θέμα 1 Ενσφαιρο έδρανο κύλισης της σειράς 63 είναι τοποθετημένο σε άξονα διαμέτρου d=60 mm που περιστρέφεται με αριθμό στροφών ν=1500 RPM. Το έδρανο αυτό πρέπει να μεταφέρει αξονικό φορτίο P_a =1000 kp και εγκάρσιο φορτίο P_r =2000 kp προερχόμενο από ηλεκτρικό κινητήρα και μετάδοση μέσω κωνικών οδοντωτών τροχών συνήθους ακριβείας. Ζητείται να υπολογισθεί σε ώρες η μέγιστη διάρκεια λειτουργίας L_h του εδράνου αυτού.

Λύση: Για το συγκεκριμένο τύπο εδράνου σειράς 62 για διάμετρο άξονα d=60 mm από τον πίνακα της σελίδος 6.48 βρίσκουμε:

Αριθμός εδράνου=6312

και

C_o=5000 kp και C=6450 kp

Παρατηρούμε ότι:

$$\frac{P_a}{C_o} = \frac{1000}{5000} = 0.2$$

και

$$\frac{P_a}{P_r} = \frac{1000}{2000} = 0.5 > e$$

Αρα, επιλέγοντας την δυσμενέστερη περίπτωση μεταξύ των

$$\frac{P_a}{C_o} = 0.13,\ \frac{P_a}{C_o} = 0.25$$

θα έχουμε:

$$x = 0.56, y = 1.40$$

Αρα

$$P_{ισ} = 0.56P_r + 1.4P_a = 1120 + 1400 = 2520kp$$

Λόγω των συγκεκριμένων συνθηκών λειτουργίας θα έχουμε $φ_π$=1.1...1.3, και $φ_κ$=1.0...1.2

Ανάλογα με τις επιλογές μας το γινόμενο των συντελεστών αυτών θα είναι:

$$φ_κφ_π = 1.1...1.56$$

Αρα

$$P_{υπ} = φ_κφ_πP_{ισ} = 2520 = 2772...3931.2kp$$

Για ένσφαιρα έδρανα ισχύει η σχέση:

$$L = (\frac{C}{P})^m$$

όπου m=3. Αρα

$$L = (\frac{6450}{P_{υπ}})^3 = (2.33...1.64)^3 = 12.65...4.41$$

Η διάρκεια ζωής σε ώρες λειτουργίας L_h δίδεται από την σχέση:

$$L_h = \frac{10^6L}{60n} = \frac{Lx10^6}{60x1500} = 140.5...49h$$

Θέμα 2. Ενσφαιρο έδρανο κύλισης της σειράς 60 είναι τοποθετημένο σε άξονα διαμέτρου d=40 mm που περιστρέφεται με αριθμό στροφών ν=1500RPM. Το έδρανο αυτό μεταφέρει εγκάρσιο φορτίο φορτίο προερχόμενο Π=5000 N από μεταφορά ισχύος ηλεκτρικής μηχανής μέσω οδοντωτών τροχών συνήθους ακριβείας. Ζητείται να υπολογισθεί η μέγιστη διάρκεια ζωής του σε ώρες. ($g=9.81 m/s^2$).

Λύση: Το δεδομένο έδρανο 6008 διαμέτρου d=40mm με βάση τις τιμές του πίνακα της σελίδος 6.48 έχει δυναμική ικανότητα φόρτισης:

$$C=1500 \text{ kp}$$

Το φορτίο υπολογισμού του εδράνου για κανονικές θερμοκρασίες λειτουργίας θα είναι:

$$P_{\upsilon\pi} = \varphi_\pi \varphi_\kappa P_{\theta\epsilon\omega}$$

Γιά τον υπολογισμό της μέγιστης διάρκειας ζωής σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς θα πρέπει να επιλέξουμε τις ελάχιστες τιμές των συνελεστών φ_π, φ_κ, άρα για οδοντωτούς τροχούς συνήθους ακρίβειας από τις τιμές της σελίδος 6.39 λαμβάνουμε:

$$\varphi_\pi=1.1$$

και για ηλεκτρικές μηχανές:

$$\varphi_\kappa=1.0$$

Αρα

$$P_{\upsilon\pi} = 1.1X1.0X5000 = 5500N = \frac{5500}{9.81} = 560.6kp$$

και

$$\frac{C}{P} = \frac{1500}{560.6} = 2.67$$

Αρα

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 19.1$$

και

$$L_h = \frac{10^6 L}{60n} = 212h$$

Θέμα 3. Ενσφαιρο έδρανο κύλισης της σειράς 62 είναι τοποθετημένο σε άξονα διαμέτρου d=60 mm που περιστρέφεται με αριθμό στροφών ν=2000RPM. Το έδρανο αυτό μεταφέρει εγκάρσιο φορτίο φορτίο προερχόμενο P από μεταφορά ισχύος ηλεκτρικής μηχανής μέσω οδοντωτών τροχών συνήθους ακριβείας. Ζητείται να υπολογισθεί το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο P σε N που μπορεί να φέρει το έδρανο αυτό ώστε να λειτουργήσει ασφαλώς για 1000 ώρες. ($g=9.81 m/s^2$)

Λύση: Για το συγκεκριμένο τύπο εδράνου σειράς 62 για διάμετρο άξονα d=60 mm από τον πίνακα της σελίδος 6.48 βρίσκουμε:

Αριθμός εδράνου=6212

και

$$C=4100 \text{ kg}$$

Για ένσφαιρα έδρανα ισχύει η σχέση:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m$$

όπου m=3.

Η διάρκεια ζωής σε εκατομμύρια στροφών δίδεται από την σχέση:

$$L = \frac{60nL_h}{10^6} = \frac{60x2000x1000}{10^6} = 120$$

Αρα

$$P = \frac{C}{L^{\frac{1}{3}}} = \frac{4100}{4.93} = 831.2kg = 8154.5N$$

και

$$P_{\vartheta\varepsilon\omega\rho} = \frac{P}{\varphi_\pi \varphi_\kappa} = \frac{8154.5}{1.1x1.0} = 7413.2N$$