



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών & Μηχανολογικού Σχεδιασμού



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ

Πρόσθετες Σημειώσεις και Λυμένες ασκήσεις

Αθανάσιος Μιχαηλίδης, Καθ.
Κωνσταντίνος Παναγιωτίδης, Λέκτ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

**ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΤΡΑΚΤΩΝ – ΑΞΟΝΩΝ
ΚΑΤΑ DIN 743 : 2000-10**

V1.4

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	9
2	Αντοχή χαλύβων	9
3	Φόρτιση	12
4	Υπολογισμός σε δυναμική θραύση	12
4.1	Ονομαστικές τάσεις (ημιεύρος δυναμικής τάσης $\sigma_{zd,ba}$, τ_{ta} , μέση τάση $\sigma_{zd,bm}$, τ_{tm} , ισοδύναμη ορθή μέση, εφαπτομενική μέση τάση σ_{mv} , τ_{mv})	12
4.2	Επιτρεπόμενο ημιεύρος δυναμικής καταπόνησης	13
4.2.1	Επιτρεπόμενο ημιεύρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση $\sigma_{zd,bWK}$, τ_{tWK}	13
4.2.2	Επιτρεπόμενο ημιεύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής $\sigma_{zd,bADK}$, τ_{tADK}	14
5	Συντελεστές επίδρασης και εγκοπής	17
5.1	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$	17
5.2	Συντελεστής εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$	18
5.2.1	Υπολογισμός του συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ από μετρήσεις	19
5.2.1.1	Σφηνότοπος και σύσφιξη	19
5.2.1.2	Πολύσφηνα	20
5.2.1.3	Περιφερειακό αυλάκι για ασφάλειες	21
5.2.2	Υπολογισμός του συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ από τον συντελεστή μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$	22
5.2.2.1	Διαβάθμιση και περιφερειακό αυλάκι	24
5.2.2.2	Διαβάθμιση με περιφερειακό αυλάκι μορφής (ξεθύμασμα)	25
5.2.2.3	Εγκάρσια οπή	27
5.3	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$	27
5.4	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή $K_3(d)$	28
5.5	Συντελεστής τραχύτητας K_F	29
5.6	Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V	30
6	Υπολογισμός σε πλαστική παραμόρφωση	32
7	Συνοπτική παρουσίαση του υπολογισμού ατράκτων - αξόνων	34
7.1	Υπολογισμός ατράκτων-αξόνων σε πλαστική παραμόρφωση	34
7.2	Υπολογισμός ατράκτων-αξόνων σε δυναμική θραύση	35
7.3	Υπολογισμός τελικού συντελεστής ασφάλειας	36
7.4	Έλεγχος συντελεστή ασφάλειας	36
8	Λογικό διάγραμμα υπολογισμού του συνολικού συντελεστή επίδρασης εγκοπής $K_{\sigma,\tau}$	37
9	Παραδείγματα	38
9.1	Παράδειγμα 1 ^ο	38
9.2	Παράδειγμα 2 ^ο	43
9.3	Παράδειγμα 3 ^ο	44

Συμβολισμοί

Συμβολισμός	Μονάδες	Περιγραφή
d	[mm]	Διάμετρος ατράκτου ή άξονα στη διατομή με εγκοπή
d_i	[mm]	Εσωτερική διάμετρος δακτυλιοειδούς διατομής
d_{eff}	[mm]	Καθοριστική διάμετρος για θερμική κατεργασία
d_B	[mm]	Διάμετρος λείου δοκιμίου
d_{BK}	[mm]	Διάμετρος δοκιμίου με εγκοπή
G'	[1/mm]	Σχετική πτώση τάσης
K	[-]	Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής
$K_1(d)$	[-]	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία
$K_2(d)$	[-]	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους
$K_3(d)$	[-]	Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή
K_{2F}	[-]	Συντελεστής στατικής αντιστήριξης
$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$	[-]	Συντελεστής τραχύτητας για εφελκυσμό-θλίψη-κάμψη, στρέψη
K_V	[-]	Συντελεστής αύξησης επιφανειακής εγκοπής
n	[-]	Συντελεστής δυναμικής αντιστήριξης
r	[mm]	Ακτίνα καμπυλότητας εγκοπής
R_z	[μm]	Τραχύτητα επιφάνειας
S	[-]	Συντελεστής ασφάλειας
S_{min}	[-]	Ελάχιστος συντελεστής ασφάλειας
S_D	[-]	Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση
S_F	[-]	Συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση ή ρηγμάτωση ή βίαια θραύση
a_σ, a_τ	[-]	Συντελεστής μορφής της εγκοπής

β_σ, β_τ	[-]	Συντελεστής εγκοπής
γ_F	[-]	Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης
$\psi_{\sigma K}, \psi_{\tau K}$	[-]	Συντελεστής καταπονήσεως
σ_B	[N/mm ²]	Όριο θραύσεως για την διάμετρο d_B
σ_S	[N/mm ²]	Όριο πλαστικής παραμόρφωσης
σ	[N/mm ²]	Τάση εφελκισμού-θλίψης, κάμψης
τ	[N/mm ²]	Στρεπτική τάση

Δείκτες

a	Ημιεύρος ονομαστικής τάσης
A	Επιτρεπόμενο ημιεύρος
zd	Εφελκυσμός-θλίψη
b	Κάμψη
D	Δυναμική αντοχή
F	Όριο πλαστικής παραμόρφωσης
K	Άξονας ή άτρακτος με εγκοπή
m	Μέση
n	Ονομαστική τάση
t	Στρέψη
ν	Ισοδύναμη
W	Επιτρεπόμενο εναλλασσόμενο ημιεύρος

1 Εισαγωγή

Με το νέο DIN 743 τυποποιείται ο υπολογισμός ελέγχου δυναμικής αντοχής (δηλ. διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10^7 φορτίσεις) ατράκτων και αξόνων που καταπονούνται δυναμικά ή στατικά σε εφελκυσμό/θλίψη ή/και κάμψη ή/και στρέψη.

Ο υπολογισμός καταλήγει στον προσδιορισμό δύο συντελεστών ασφάλειας:

- του συντελεστή ασφάλειας S_D σε δυναμική θραύση (δηλ. θραύση που οφείλεται σε κόπωση), και
- του συντελεστή ασφάλειας S_F σε πλαστική παραμόρφωση ή ρηγμάτωση ή βίαια θραύση.

Καθοριστικός για την αντοχή του εξαρτήματος είναι ο μικρότερος από τους δύο

$$S = \min(S_F, S_D) \quad (1.1)$$

Η αντοχή του εξαρτήματος θεωρείται ικανοποιητική όταν

$$S \geq S_{\min} \quad (1.2)$$

Η ελάχιστη τιμή του συντελεστή ασφάλειας εκλέγεται λαμβάνοντας υπόψη:

- την ακρίβεια με την οποία καθορίστηκαν η φόρτιση και οι επιτρεπόμενες τάσεις των υλικών,
- την κρισιμότητα της κατασκευής κλπ.

Πρέπει όμως πάντοτε να είναι $S \geq 1.2$, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η ακρίβεια της μεθόδου.

Η τυποποίηση καλύπτει ατράκτους και άξονες που:

- είναι κατασκευασμένοι από χάλυβες με κατεργασίες κοπής ή διαμόρφωσης αλλά όχι με συγκόλληση,
- καταπονούνται στατικά ή δυναμικά σε εφελκυσμό/θλίψη ή/και κάμψη ή/και στρέψη αλλά η επίδραση της διάτμησης είναι αμελητέα,
- λειτουργούν σε θερμοκρασίες $-40 \dots +150 \text{ }^\circ\text{C}$,
- το περιβάλλον λειτουργίας τους δεν είναι διαβρωτικό.
- η διατομή τους είναι πλήρης κυκλική ή δακτυλιοειδής κυκλική.

2 Αντοχή χαλύβων

Για τον υπολογισμό αντοχής απαιτούνται οι ακόλουθες τιμές αντοχής του υλικού:

- Όριο θραύσεως σ_B για την διάμετρο d_B

Αυτό προκύπτει κατά προτίμηση από πείραμα εφελκυσμού με λείο δοκίμιο χωρίς εγκοπή διαμέτρου d_B .

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκληρομέτρηση, οπότε

$$\sigma_B \approx 3.6 H_{HB} \quad (2.1)$$

όπου H_{HB} είναι η σκληρότητα του πυρήνα κατά Brinell.

Αν δεν μπορεί να γίνει ούτε πείραμα εφελκυσμού, ούτε σκληρομέτρηση χρησιμοποιούνται οι τιμές των πινάκων Π. 2.1, ή άλλων τυποποιήσεων.

- Όριο πλαστικής παραμόρφωσης σ_S

Για συνήθεις χάλυβες κατασκευών είναι ίσο με το όριο ροής ενώ για τους χάλυβες υψηλής αντοχής είναι ίσο με το όριο μηκύνσεως. Αν δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα το όριο πλαστικής παραμόρφωσης σε θλίψη λαμβάνεται ίσο με το όριο πλαστικής παραμόρφωσης σε εφελκυσμό.

- Επιτρεπόμενο ημιέυρος εναλλασσόμενου εφελκυσμού, κάμψης και στρέψης $\sigma_{zdW}, \sigma_{bW}, \tau_{tW}$

Κατά προτίμηση οι τιμές λαμβάνονται από πειράματα για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10^7 φορτίσεις.

Εναλλακτικά, εφόσον δεν υπάρχουν πειράματα, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι:

$$\begin{aligned}\sigma_{bW} &\approx 0.5\sigma_B \\ \sigma_{zdW} &\approx 0.4\sigma_B \\ \tau_{tW} &\approx 0.3\sigma_B\end{aligned}\quad (2.2)$$

Π. 2.1 Τιμές $\sigma_B, \sigma_S, \sigma_{zdW}, \sigma_{bW}, \tau_{tW}$ για διάφορους χάλυβες

Π. 2.1.α Κοινói χάλυβες κατασκευών κατά DIN EN 10025 ($d_B \leq 16mm$)					
Ονομασία	σ_B N/mm^2 $d_B \leq 3mm$	σ_S N/mm^2	σ_{zdW} N/mm^2	σ_{bW} N/mm^2	τ_{tW} N/mm^2
S235JR	360	235	140	180	105
S275JR	430	275	170	215	125
E295	490	295	195	245	145
S355JO	510	355	205	255	150
E335	590	335	235	290	180
E360	690	360	275	345	205

Π. 2.1.β Χάλυβες συγκολλήσεως κατά DIN EN 10113 ($d_B \leq 16mm$)					
Ονομασία	σ_B N/mm^2 $d_B \leq 100mm$	σ_S N/mm^2	σ_{zdW} N/mm^2	σ_{bW} N/mm^2	τ_{tW} N/mm^2
S275N	370	275	150	185	110
S355N	470	355	190	235	140
S420N	520	420	210	260	155
S460N	550	460	220	275	165

Π. 2.1.γ Χάλυβες ενανθρακώσεως, ενανθρακωμένοι και βαμμένοι κατά DIN EN 10084 ($d_B \leq 11mm$)					
Ονομασία	σ_B N/mm^2	σ_S N/mm^2	σ_{zdW} N/mm^2	σ_{bW} N/mm^2	τ_{tW} N/mm^2
C10E	750	430	300	375	225
17Cr3	1050	750	420	525	315
16MnCr5	900	630	360	450	270
20MnCr5	1100	730	440	550	330
20MoCrS4	900	630	360	450	270
18CrNiMo7-6 $d_B \leq 16mm$	1150	830	460	575	345

Π. 2.1.δ Χάλυβες επιβελτιώσεως, επιβελτιωμένοι κατά DIN EN 10083 ($d_B \leq 16mm$)					
Ονομασία	σ_B N/mm^2	σ_S N/mm^2	σ_{zdW} N/mm^2	σ_{bW} N/mm^2	τ_{tW} N/mm^2
1 C 22	500	340	200	250	150
2 C 22	500	340	200	250	150
1 C 25	550	370	220	275	165
1 C 30	600	400	240	300	180
1 C 35	630	430	250	315	190
1 C 40	650	460	260	325	200
1 C 45	700	490	280	350	210
2 C 45	700	490	280	350	210
1 C 50	750	520	300	375	220
(1 C 60)	850	580	340	425	250
46Cr2	900	650	360	450	270
41Cr4	1000	800	400	500	300
34CrMo4	1000	800	400	500	300
42CrMo4	1100	900	440	550	330
50CrMo4	1100	900	440	550	330
36CrNiMo4	1100	900	440	550	330
30CrNiMo8	1250	1050	500	625	375
34CrNiMo6	1200	1000	480	600	360

Π. 2.1.ε Εναζωτωμένοι χάλυβες κατά DIN EN 17211 ($d_B \leq 100mm$)					
Ονομασία	σ_B N/mm^2	σ_S N/mm^2	σ_{zdW} N/mm^2	σ_{bW} N/mm^2	τ_{tW} N/mm^2
31CrMo12	1000	800	400	500	300
31CrMoV9	1000	800	400	500	300
15CrMoV59	900	750	360	450	270
34CrAlMo5	800	600	320	400	240
34CrAlNi7	850	650	340	425	255

Π. 2.1.ζ Αντιστοίχιση συμβολισμών χαλύβων					
DIN EN 10025: 1990			DIN EN 10113; 1993		
Συμβολισμός	κατά DIN 17100: 1980		Συμβολισμός	κατά DIN 17102: 1983	
	Αριθμός υλικού	Ονομασία		Αριθμός υλικού	Ονομασία
S235JR	1.0037	St 37-2	S275N	-	-
S275JR	1.0044	St 44-2	S355N	1.0562	StE 355
E295	1.0050	St 50-2	S420N	1.8902	StE 420
S355JO		St 52-3	S460N	1.8901	StE 460
E335	1.0060	SI 60-2			
E360	1.0070	St 70-2			

3 Φόρτιση

Στη διατομή που ελέγχεται είναι δεδομένα:

- η μέση τιμή της φόρτισης
- το ημιέυρος

Πρέπει επίσης να ενταχθεί η δυναμική φόρτιση σε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Περίπτωση 1 (F_1): Σταθερή μέση τιμή.
- Περίπτωση 2 (F_2): Σταθερός λόγος ημιέυρους προς μέση τιμή.

Σε περίπτωση αμφιβολίας η φόρτιση εντάσσεται στην περίπτωση F_2 .

4 Υπολογισμός σε δυναμική θραύση

Ο συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση υπολογίζεται συγκρίνοντας το ονομαστικό με το επιτρεπόμενο ημιέυρος:

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zADK}} + \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} \quad (4.1)$$

4.1 Ονομαστικές τάσεις (ημιέυρος δυναμικής τάσης $\sigma_{zd,ba}$, τ_{ta} , μέση τάση σ_{zdm} , τ_{tm} , ισοδύναμη ορθή μέση, εφαπτομενική μέση τάση σ_{mv} , τ_{mv}).

Οι ονομαστικές τάσεις για εφελκυσμό-θλίψη, κάμψη και διάτμηση υπολογίζονται στη θέση της εγκοπής με τον ακόλουθο πίνακα Π. 4.1:

Π. 4.1 Ονομαστικές τάσεις για εφελκυσμό-θλίψη, κάμψη και στρέψη.			
Είδος καταπόνησης	Τάση		Διατομή ή ροπή αντιστάσεως
	Ημιέυρος	Μέση τιμή	
Εφελκ/θλίψη	$\sigma_{zda} = \frac{F_{zda}}{A}$	$\sigma_{zdm} = \frac{F_{zdm}}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_i^2)$
Κάμψη	$\sigma_{ba} = \frac{M_{ba}}{W_b}$	$\sigma_{bm} = \frac{M_{bm}}{W_b}$	$W_b = \frac{\pi}{32} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$
Στρέψη	$\tau_{ta} = \frac{T_a}{W_t}$	$\tau_{tm} = \frac{T_m}{W_t}$	$W_t = \frac{\pi}{16} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$
Σημ. Στη θλιπτική περιοχή της διατομής είναι σ_{zdm} , σ_{bm} αρνητικά			

Από τις ονομαστικές τάσεις αυτές υπολογίζονται η ισοδύναμη ορθή μέση τάση και η ισοδύναμη εφαπτομενική μέση τάση με τον ακόλουθο τρόπο:

Ισοδύναμη ορθή τάση

$$\text{Εάν } \sigma_{zdm} + \sigma_{bm} \geq 0$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{(\sigma_{zdm} + \sigma_{bm})^2 + 3\tau_{tm}^2} \quad (4.2)$$

Εάν $\sigma_{zdm} + \sigma_{bm} < 0$

$$\sigma_{mv} = \frac{H}{|H|} \sqrt{|H|} \text{ όπου } H = \frac{(\sigma_{bm} + \sigma_{zdm})^3}{|(\sigma_{bm} + \sigma_{zdm})|} + 3\tau_{tm}^2 \quad (4.3)$$

Ισοδύναμη εφαπτομενική τάση

Εάν $\sigma_{mv} \geq 0$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} \quad (4.4)$$

Εάν $\sigma_{mv} < 0$

$$\tau_{mv} = 0 \quad (4.5)$$

4.2 Επιτρεπόμενο ημιεύρος δυναμικής καταπόνησης.

Καταρχήν, από την αρχική αντοχή του υλικού (δηλ. λείου δοκιμίου χωρίς εγκοπή διαμέτρου d_B) υπολογίζεται το επιτρεπόμενο ημιεύρος των τάσεων που αναπτύσσονται στην διατομή του άξονα ή της ατράκτου με εγκοπή για εναλλασσόμενη καταπόνηση. Λαμβάνονται υπόψη:

- Η επίδραση της διαμέτρου στην δυναμική αντοχή λείου δοκιμίου χωρίς εγκοπή με τον συντελεστή επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$.
- Η συνδυασμένη επίδραση της μορφής και των διαστάσεων της εγκοπής, της επιφανειακής τραχύτητας, και της αύξησης της επιφανειακής αντοχής με τον συνολικό συντελεστή επίδρασης εγκοπής K .

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το επιτρεπόμενο ημιεύρος της ατράκτου ή του άξονα για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της μέσης φόρτισης.

4.2.1 Επιτρεπόμενο ημιεύρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση $\sigma_{zd,bWK}, \tau_{tWK}$

Το επιτρεπόμενο ημιεύρος των τάσεων που αναπτύσσονται στον άξονα ή άτρακτο για εναλλασσόμενη καταπόνηση υπολογίζονται με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma_{zdWK} = \frac{\sigma_{zdW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma} \quad (4.7)$$

$$\tau_{tWK} = \frac{\tau_{tW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\tau} \quad (4.8)$$

όπου:

$K_1(d_{eff})$ είναι ο συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία. Υπολογίζεται ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τη θερμική κατεργασία και την καθοριστική διάμετρο για τη θερμική κατεργασία d_{eff} όπως περιγράφεται στο κεφ. 5.1

$K_{\sigma,\tau}$ είναι ο συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής. Υπολογίζεται από τον συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ (Κεφ. 5.2), τον συντελεστή επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$ (Κεφ. 5.3), τον συντελεστή τραχύτητας K_F (Κεφ. 5.5) και τον συντελεστή επίδρασης της αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V (Κεφ. 5.6), ανάλογα με το είδος της καταπόνησης:

- Για εφελκυσμό/θλίψη και κάμψη :

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\beta_{\sigma}}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V} \quad (4.9)$$

- Για στρέψη:

$$K_{\tau} = \left(\frac{\beta_{\tau}}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_V} \quad (4.10)$$

4.2.2 Επιτρεπόμενο ημιεύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής $\sigma_{zd,bADK}, \tau_{tADK}$

Αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστή καταπόνησεως $\psi_{zd,b\sigma K}, \psi_{\tau K}$ από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\psi_{zd\sigma K} = \frac{\sigma_{zdWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{zdWK}} \quad (4.11)$$

$$\psi_{b\sigma K} = \frac{\sigma_{bWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{bWK}} \quad (4.12)$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \tau_{tWK}} \quad (4.13)$$

Το όριο πλαστικής παραμόρφωσης $\sigma_{zd,bFK}, \tau_{tFK}$ υπολογίζεται σύμφωνα με το κεφάλαιο 6.

Ακολούθως ανάλογα με την περίπτωση φόρτισης υπολογίζονται για τον άξονα ή άτρακτο στη θέση της εγκοπής το επιτρεπόμενο ημιεύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής (Σχ. 4.1):

- Περίπτωση F_1 :

$$\begin{aligned} \text{Περιοχή I: } \sigma_{mv} &< \left(\sigma_{zd,bWK} - \sigma_{dFK} \right) \left(1 - \frac{\sigma_{zd,bWK}}{2\sigma_B(d)} \right) \\ \sigma_{zd,bADK} &= \sigma_{dFK} + \sigma_{mv} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Το σ_{dFK} τίθεται θετικό

$$\begin{aligned} \text{Περιοχή II: } \left(\sigma_{zd,bWK} - \sigma_{dKF} \right) \left(1 - \frac{\sigma_{zd,bWK}}{2\sigma_B(d)} \right) &\leq \sigma_{mv} \leq \frac{\sigma_{zd,bFK} - \sigma_{zd,bWK}}{1 - \psi_{zd,b\sigma K}} \quad \text{ή} \\ 0 \leq \tau_{mv} &\leq \frac{\tau_{tFK} - \tau_{tWK}}{1 - \psi_{\tau K}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{zdADK} = \sigma_{zdWK} - \psi_{zd\sigma K} \sigma_{mv} \quad (4.15)$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{b\sigma K} \sigma_{mv} \quad (4.16)$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau K} \tau_{mv} \quad (4.17)$$

$$\text{Περιοχή III: } \frac{\sigma_{zd,bFK} - \sigma_{zd,bWK}}{1 - \psi_{zd,b\sigma K}} < \sigma_{mv} \quad \text{ή} \quad \frac{\tau_{tFK} - \tau_{tWK}}{1 - \psi_{\tau K}} < \tau_{mv}$$

$$\sigma_{zd,bADK} = \sigma_{zd,bFK} - \sigma_{mv} \quad (4.18)$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tFK} - \tau_{mv} \quad (4.19)$$

- Περίπτωση F_2

$$\text{Περιοχή I: } \frac{\sigma_{mv}}{\sigma_{zd,ba}} < \frac{\sigma_{zd,bWK} - \sigma_{dFK}}{\psi_{zd,b\sigma K} \sigma_{dFK} + \sigma_{zd,bWK}}$$

$$\sigma_{zd,bADK} = \frac{\sigma_{dFK} \sigma_{zd,ba}}{\sigma_{zd,ba} - \sigma_{mV}} \quad (4.20)$$

Το σ_{dFK} τίθεται θετικό

$$\text{Περιοχή II: } \frac{\sigma_{zd,bWK} - \sigma_{dFK}}{\psi_{zd,b\sigma K} \sigma_{dFK} + \sigma_{zd,bWK}} \leq \frac{\sigma_{mv}}{\sigma_{zd,ba}} \leq \frac{\sigma_{zd,bFK} - \sigma_{zd,bWK}}{\sigma_{zd,bWK} - \psi_{zd,b\sigma K} \sigma_{zd,bFK}} \quad \text{ή}$$

$$0 \leq \frac{\tau_{mv}}{\tau_{ta}} \leq \frac{\tau_{tFK} - \tau_{tWK}}{\tau_{tWK} - \tau_{tFK} \psi_{\tau K}}$$

$$\sigma_{zdADK} = \frac{\sigma_{zdWK}}{1 + \psi_{zd\sigma K} \sigma_{mv} / \sigma_{zda}} \quad (4.21)$$

$$\sigma_{bADK} = \frac{\sigma_{bWK}}{1 + \psi_{b\sigma K} \sigma_{mv} / \sigma_{ba}} \quad (4.22)$$

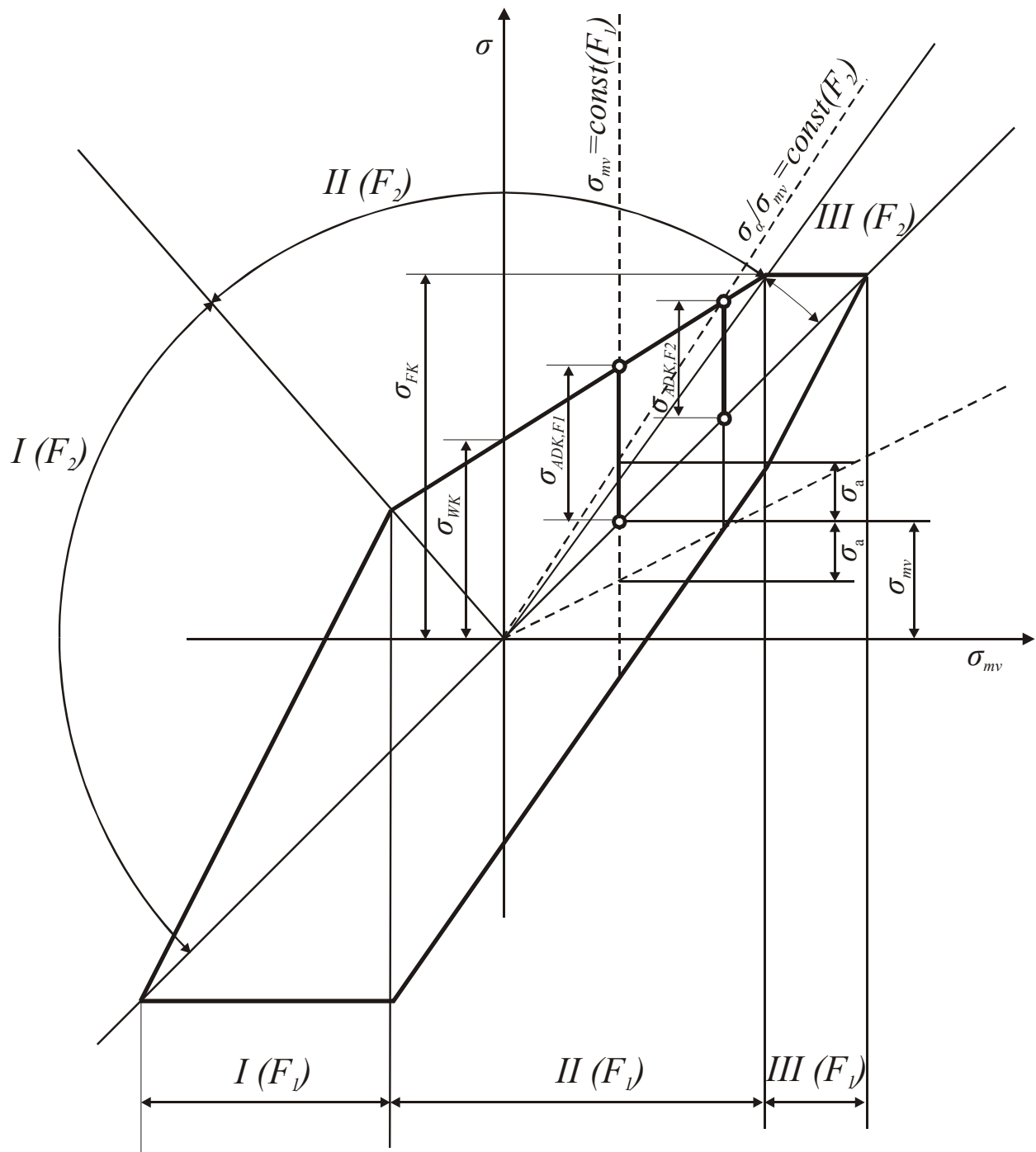
$$\tau_{tADK} = \frac{\tau_{tWK}}{1 + \psi_{\tau K} \tau_{mv} / \tau_{ta}} \quad (4.23)$$

$$\text{Περιοχή III: } \frac{\sigma_{zd,bFK} - \sigma_{zd,bWK}}{\sigma_{zd,bWK} - \psi_{zd,b\sigma K} \sigma_{zd,bFK}} < \frac{\sigma_{mv}}{\sigma_{zd,ba}} \quad \text{ή} \quad \frac{\tau_{tFK} - \tau_{tWK}}{\tau_{tWK} - \tau_{tFK} \psi_{\tau K}} < \frac{\tau_{mv}}{\tau_{ta}}$$

$$\sigma_{zdADK} = \frac{\sigma_{zdFK}}{1 + \sigma_{mv} / \sigma_{zda}} \quad (4.24)$$

$$\sigma_{bADK} = \frac{\sigma_{bFK}}{1 + \sigma_{mv} / \sigma_{ba}} \quad (4.25)$$

$$\tau_{tADK} = \frac{\tau_{tFK}}{1 + \tau_{mv} / \tau_{ta}} \quad (4.26)$$



Σχ. 4.1 Διάγραμμα Smith και περιοχές I, II, III για τις περιπτώσεις φόρτισης F_1, F_2

5 Συντελεστές επίδρασης και εγκοπής

5.1 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$

Με τον συντελεστή αυτόν λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι κατά κανόνα οι διατομές μικρότερης διαμέτρου έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τις διατομές μεγαλύτερης διαμέτρου, διότι η σκληρότητα (και συνεπώς η αντοχή) που μπορεί να επιτευχθεί με τη θερμική κατεργασία μειώνεται όσο αυξάνει η διάμετρος. Δηλαδή, με τον συντελεστή αυτόν υπολογίζεται η αντοχή ενός λείου δοκιμίου χωρίς εγκοπή με διάμετρο d_{eff} όταν είναι γνωστή η αντοχή ενός επίσης λείου δοκιμίου χωρίς εγκοπή με διάμετρο d_B . Η d_{eff} καθορίζεται σύμφωνα με τη θερμική κατεργασία. Εφόσον το εξάρτημα έχει υποστεί θερμική κατεργασία πριν την τόννευση τίθεται συνήθως d_{eff} ίση με τη μέγιστη διάμετρο του εξαρτήματος. Αν η άτρακτος είναι κοίλη και έχει κατεργαστεί από κοιλοδοκό τότε d_{eff} ισούται με το πάχος της κοιλοδοκού. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής υπολογίζεται συναρτήσει της διαμέτρου ως εξής:

- Όλκιμοι χάλυβες, δηλ. κοινοί χάλυβες κατασκευών ή άλλοι χάλυβες χωρίς θερμική κατεργασία:

Για τον υπολογισμό του ορίου θραύσεως

$$\begin{aligned} d_{eff} \leq 100mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 \\ 100mm < d_{eff} < 300mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0.23 \lg\left(\frac{d_{eff}}{100mm}\right) \\ 300mm \leq d_{eff} \leq 500mm & \quad K_1(d_{eff}) = 0.89 \end{aligned} \quad (5.1)$$

Για τον υπολογισμό του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης

$$\begin{aligned} d_{eff} \leq 32mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 \\ 32mm < d_{eff} < 300mm; d_B = 16mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \lg\left(\frac{d_{eff}}{2d_B}\right) \\ 300mm \leq d_{eff} \leq 500mm & \quad K_1(d_{eff}) = 0.75 \end{aligned} \quad (5.2)$$

- Εναζωτωμένοι χάλυβες:

Για τον υπολογισμό του ορίου θραύσεως και του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης

$$\begin{aligned} d_{eff} \leq 100mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 \\ 100mm < d_{eff} < 300mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0.23 \lg\left(\frac{d_{eff}}{100mm}\right) \\ 300mm \leq d_{eff} \leq 500mm & \quad K_1(d_{eff}) = 0.89 \end{aligned} \quad (5.3)$$

- Επιβελτιωμένοι χάλυβες και ενανθρακωμένοι χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε Cr, Ni, Mo.

Για τον υπολογισμό του ορίου θραύσεως και του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης

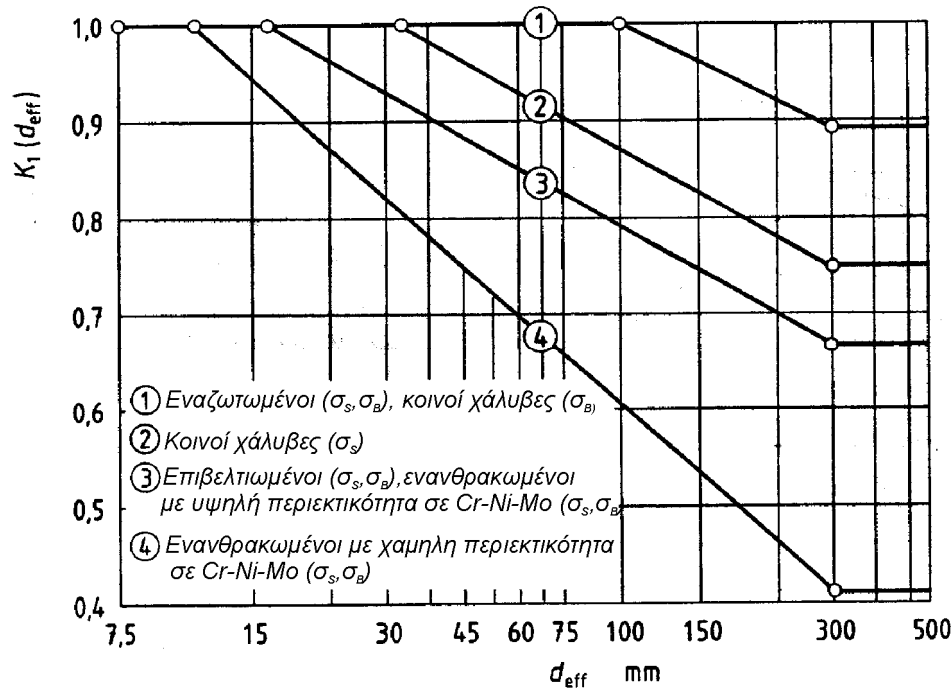
$$\begin{aligned} d_{eff} \leq 16mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 \\ 16mm < d_{eff} < 300mm; d_B = 16mm & \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \lg\left(\frac{d_{eff}}{d_B}\right) \\ 300mm \leq d_{eff} \leq 500mm & \quad K_1(d_{eff}) = 0.67 \end{aligned} \quad (5.4)$$

- Ενανθρακωμένοι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε Cr, Ni, Mo.

Για τον υπολογισμό του ορίου θραύσεως και του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης

$$\begin{aligned}
 d_{eff} \leq 11 \text{ mm} & \quad K_1(d_{eff}) = 1 \\
 11 \text{ mm} < d_{eff} < 300 \text{ mm}; d_B = 11 \text{ mm} & \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0.41 \lg\left(\frac{d_{eff}}{d_B}\right) \\
 300 \text{ mm} \leq d_{eff} \leq 500 \text{ mm} & \quad K_1(d_{eff}) = 0.41
 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Εναλλακτικά οι τιμές μπορούν να λαμβάνονται από το διάγραμμα (Σχ. 5.1).



Σχ. 5.1 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$

5.2 Συντελεστής εγκοπής $\beta_{\sigma, \tau}$

Ο συντελεστής εγκοπής ορίζεται ως ο λόγος της δυναμικής αντοχής σε εναλλασσόμενη καταπόνηση ενός λείου δοκιμίου διαμέτρου d , προς την δυναμική αντοχή σε εναλλασσόμενη καταπόνηση ενός άλλο δοκιμίου ιδίων χαρακτηριστικών (διάμετρος, υλικό, τραχύτητα) αλλά με εγκοπή. Έτσι, ανάλογα με το είδος της καταπόνησης, ο συντελεστής εγκοπής ορίζεται με τις σχέσεις:

- Εφελκυσμός / θλίψη, κάμψη

$$\beta_{\sigma} = \frac{\sigma_{zd, bW}(d)}{\sigma_{zd, bWK}} \quad (5.6)$$

- Στρέψη

$$\beta_{\tau} = \frac{\tau_{tW}(d)}{\tau_{tWK}} \quad (5.7)$$

Ο συντελεστής εγκοπής μπορεί να προσδιοριστεί:

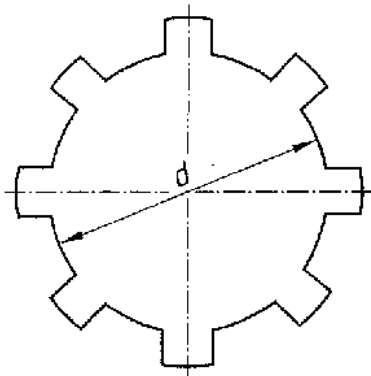
- από μετρήσεις, ή
- χρησιμοποιώντας τον συντελεστή μορφής της εγκοπής.

Οι ονομαστικές τάσεις υπολογίζονται με τη διάμετρο d .

Οι συντελεστές τραχύτητας $K_{F\sigma} = K_{F\tau} = 1$

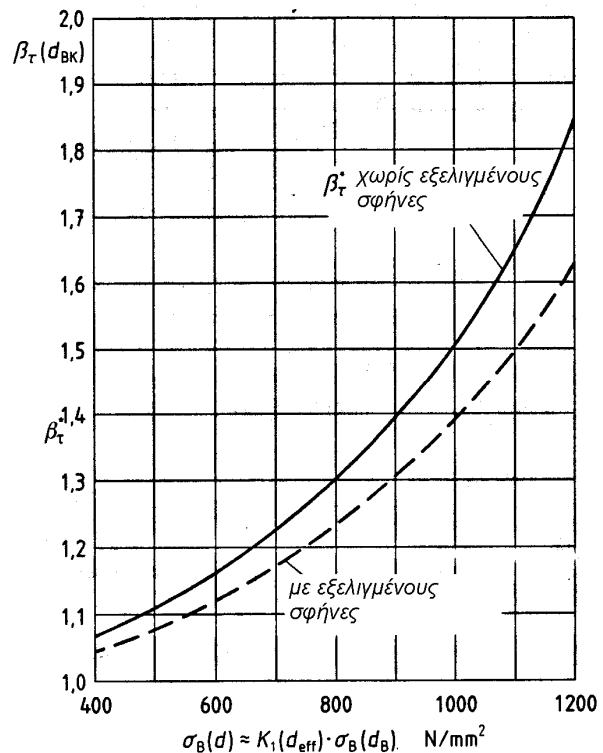
Για δύο σφηνότοπους οι συντελεστές β_σ και β_τ που δίδονται στον πίνακα Π. 5.1 προσαυξάνονται κατά 15%.

5.2.1.2 Πολύσφηννα



Σημ.: Οι ονομαστικές τάσεις υπολογίζονται με τη διάμετρο d

Σχ. 5.2 Πολύσφηννο με ορθογωνικούς σφήνες



Σχ. 5.3 Συντελεστής εγκοπής β_τ και συντελεστής β_τ^*

Οι συντελεστές τραχύτητας $K_{F\sigma} = K_{F\tau} = 1$

Πειραματικά διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής εγκοπής για στρέψη β_τ πολύσφηνων με εξωτερική διάμετρο $d_{BK} = 29 \text{ mm}$ υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Για χάλυβες ενανθρακωμένους και βαμμένους είναι

$$\beta_\tau(d_{BK}) = 1; \beta_\sigma(d_{BK}) = 1, K_V = 1 \quad (5.9)$$

- Για όλους τους άλλους χάλυβες ανάλογα με το είδος της καταπόνησης και του πολύσφηνου ισχύουν τα ακόλουθα

Για εφελκυσμο/θλίψη και κάμψη

- πολύσφηννο με ορθογωνικούς σφήνες

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 1 + 0.45(\beta_\tau^*(d_{BK}) - 1) \quad (5.10)$$

- πολύσφηννο με τριγωνικούς σφήνες

$$\beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1 + 0.65(\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1) \quad (5.11)$$

- πολύσφηνο με εξελεγμένους σφήνες

$$\beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1 + 0.49(\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1) \quad (5.12)$$

Για στρέψη (Σχ. 5.3)

- πολύσφηνο με ορθογωνικούς ή τριγωνικούς σφήνες

$$\beta_{\tau}(d_{BK}) = \beta_{\tau}^*(d_{BK}) \quad (5.13)$$

- πολύσφηνο με εξελεγμένους σφήνες

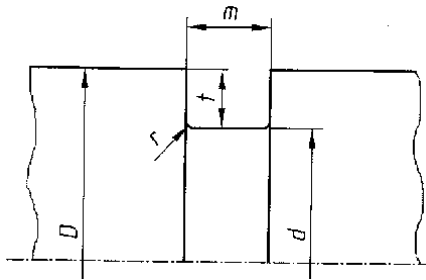
$$\beta_{\tau}(d_{BK}) = 1 + 0.75(\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1) \quad (5.14)$$

όπου β_{τ}^* υπολογίζεται από τη σχέση

$$\beta_{\tau}^*(d_{BK}) = \exp\left(4.2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\sigma_B(d)}{N/mm^2}\right)^2\right) \quad (5.15)$$

5.2.1.3 Περιφερειακό αυλάκι για ασφάλειες

Οι συντελεστές εγκοπής για ορθές καταπονήσεις και στρέψη, για περιφερειακό αυλάκι για ασφάλειες (Σχ. 5.4) υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις. Οι τάσεις υπολογίζονται για τη διάμετρο d



Σχ. 5.4 Περιφερειακό αυλάκι για ασφάλειες

Εφελκυσμός/θλίψη
$$\beta_{\sigma}^* = 0.9 \left(1.27 + 1.17 \sqrt{\frac{t}{r_f}} \right), \quad r_f = r + 2.9\rho^* \quad (5.16)$$

Κάμψη
$$\beta_{\sigma}^* = 0.9 \left(1.14 + 1.08 \sqrt{\frac{t}{r_f}} \right), \quad r_f = r + 2.9\rho^* \quad (5.17)$$

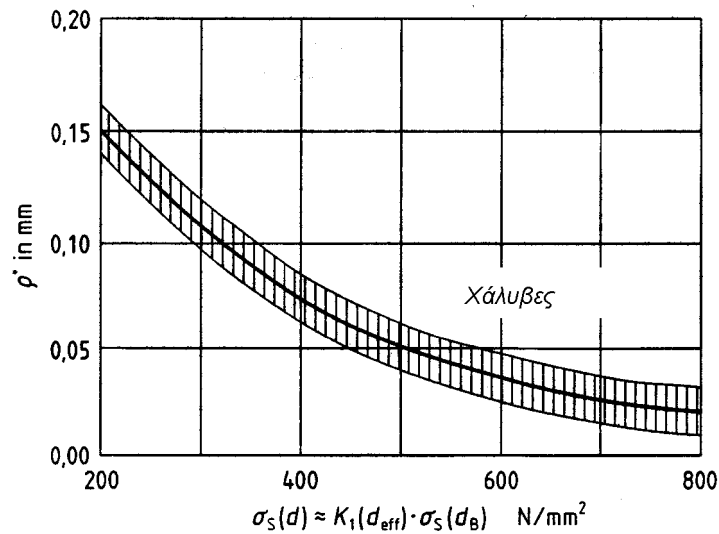
Στρέψη
$$\beta_{\tau}^* = \left(1.48 + 0.45 \sqrt{\frac{t}{r_f}} \right), \quad r_f = r + \rho^* \quad (5.18)$$

όπου η ακτίνα ιδεατής εγκοπής για χάλυβα δίνεται από τη σχέση $\rho^* = 10^{-(0.514 + 0.00152\sigma_s(d))}$ ή το Σχ. 5.5.

Οπότε για τον υπολογισμό του $\beta_{\sigma,\tau}$ ισχύουν οι σχέσεις

$$\begin{aligned} \frac{m}{t} < 1.4 & \quad \beta_{\sigma,\tau} = \beta_{\sigma,\tau}^* 1.08 \left(\frac{m}{t} \right)^{-0.2} \\ \frac{m}{t} \geq 1.4 & \quad \beta_{\sigma,\tau} = \beta_{\sigma,\tau}^* \end{aligned} \quad (5.19)$$

Αν από τις παραπάνω σχέσεις προκύψει $\beta_\sigma > 4$ τίθεται $\beta_\sigma = 4$. Αν προκύψει $\beta_\tau > 2.5$ τίθεται $\beta_\tau = 2.5$.



Σχ. 5.5 Ακτίνα ιδεατής εγκοπής κατά Neuber

5.2.2 Υπολογισμός του συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ από τον συντελεστή μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$

Ο συντελεστής μορφής της εγκοπής ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης αναπτυσσόμενης τάσης στην εγκοπή προς την ονομαστική τάση (σ_n, τ_n). Ανάλογα με το είδος της καταπόνησης ορίζεται λοιπόν από τις σχέσεις:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{\max K}}{\sigma_n} \quad (5.20)$$

$$\alpha_\tau = \frac{\tau_{\max K}}{\tau_n} \quad (5.21)$$

Ο συντελεστής μορφής μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά, αλλά και να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας π.χ. πεπερασμένα στοιχεία.

Όταν είναι γνωστός ο συντελεστής μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$ της εγκοπής μπορεί να προσδιορισθεί ο συντελεστής εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ χρησιμοποιώντας την μέθοδο του Stielor:

$$\beta_{\sigma,\tau} = \frac{\alpha_{\sigma,\tau}}{n} \quad (5.22)$$

Ο συντελεστής δυναμικής αντιστήριξης n υπολογίζεται, ανάλογα με το είδος του υλικού, ως εξής:

- Για χάλυβες που έχουν υποστεί επιφανειακή σκλήρυνση (με ενανθράκωση και βαφή, φλογοβαφή, επαγωγική βαφή, εναζώτωση κλπ) και για όλα τα είδη καταπόνησης:

$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot mm} \cdot 10^{-0.7} \quad (5.23)$$

- Για όλους τους άλλους χάλυβες:

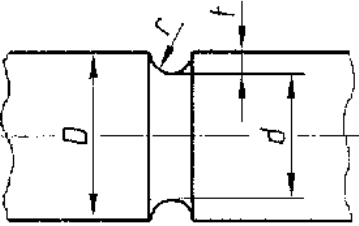
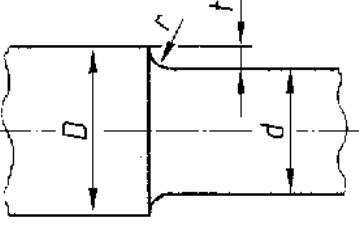
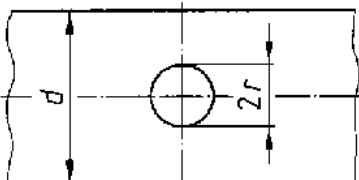
$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot mm} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{\sigma_s(d)}{712 N/mm^2}\right)} \quad (5.24)$$

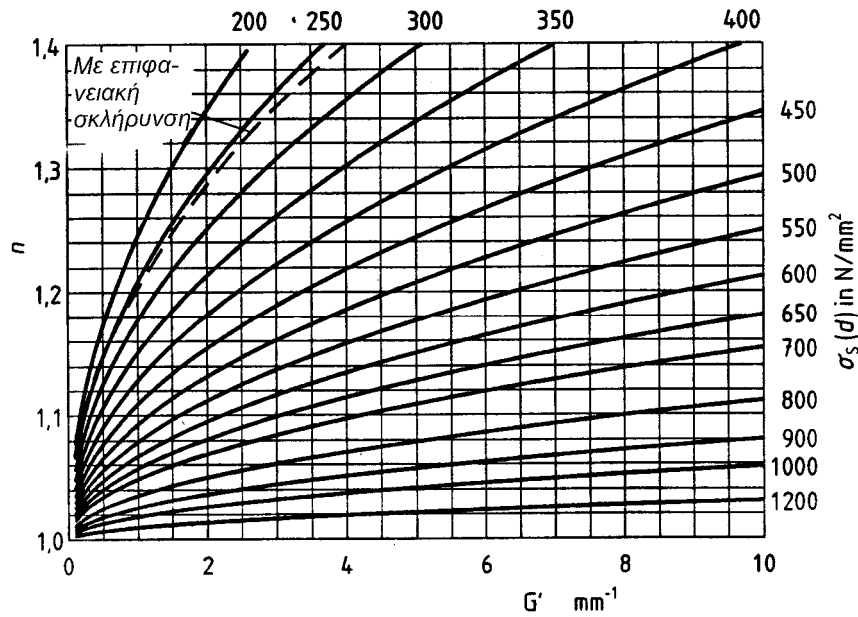
όπου

$$\sigma_s(d) = K_1(d_{eff})\sigma_s(d_B) \quad (5.25)$$

Η σχετική πτώση τάσης G' υπολογίζεται σύμφωνα με τον πίνακα Π. 5.2.

Ο συντελεστής δυναμικής αντιστήριξης μπορεί να προκύψει και από το σχήμα Σχ. 5.6

Π. 5.2 Σχετική πτώση τάσης G'		
Εγκοπή	Είδος καταπόνησης	Σχετική πτώση τάσης G'
	Εφελκ./θλίψη	$\frac{2(1+\varphi)}{r}$
	Κάμψη	$\frac{2(1+\varphi)}{r}$
	Στρέψη	$\frac{1}{r}$
	Εφελκ./θλίψη	$\frac{2.3(1+\varphi)}{r}$
	Κάμψη	$\frac{2.3(1+\varphi)}{r}$
	Στρέψη	$\frac{1.15}{r}$
	Εφελκ./θλίψη	$\frac{2.3}{r}$
	Κάμψη	$\frac{2.3}{r} + \frac{2}{d}$
	Στρέψη	$\frac{1.15}{r} + \frac{2}{d}$
για $\frac{d}{D} > 0.67, r > 0$		$\varphi = \frac{1}{4\sqrt{t/r} + 2}$
στις υπόλοιπες περιπτώσεις		$\varphi = 0$

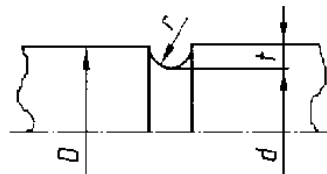
Σχ. 5.6 Συντελεστής δυναμικής αντιστήριξης n

5.2.2.1 Διαβάθμιση και περιφερειακό αυλάκι

$$\alpha_{\sigma, \tau} = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^z \frac{d}{D}}} \quad (5.26)$$

Οι τιμές των συντελεστών A, B, C και του εκθέτη z καθορίζονται ανάλογα με το είδος της καταπόνησης

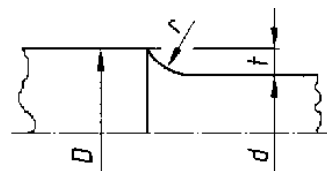
Για περιφερειακό αυλάκι:



$\alpha_{\sigma R}$

	A	B	C	z
Εφελκυσμός/Θλίψη	0.22	1.37	0	0
Κάμψη	0.2	2.75	0	0
Στρέψη	0.7	10.3	0	0

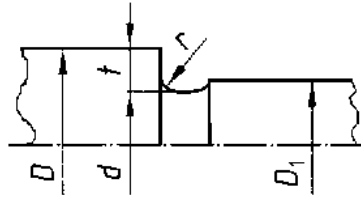
Για διαβάθμιση:



$\alpha_{\sigma A}$

	A	B	C	z
Εφελκυσμός/Θλίψη	0.62	3.5	0	0
Κάμψη	0.62	5.8	0.2	3
Στρέψη	3.4	19	1	2

5.2.2.2 Διαβάθμιση με περιφερειακό αυλάκι μορφής (ξεθύμασμα)



$\alpha_{\sigma F}$

Ο συντελεστής μορφής για ορθές καταπονήσεις υπολογίζεται σε συνάρτηση των συντελεστών μορφής για περιφερειακό αυλάκι $\alpha_{\sigma, \pi R}$ και διαβάθμιση $\alpha_{\sigma, \pi A}$

$$\alpha_{\sigma F} = (\alpha_{\sigma R} - \alpha_{\sigma A}) \sqrt{\frac{D_1 - d}{D - d}} + \alpha_{\sigma A} \quad (5.27)$$

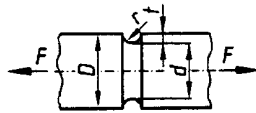
Ο συντελεστής μορφής για στρέψη είναι:

$$\alpha_{\tau F} = 1.04 \alpha_{\tau A} \quad (5.28)$$

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Σχ. 5.7 - Σχ. 5.12) παρουσιάζονται οι συντελεστές μορφής για περιφερειακό αυλάκι $\alpha_{\sigma, \pi R}$ και διαβάθμιση $\alpha_{\sigma, \pi A}$

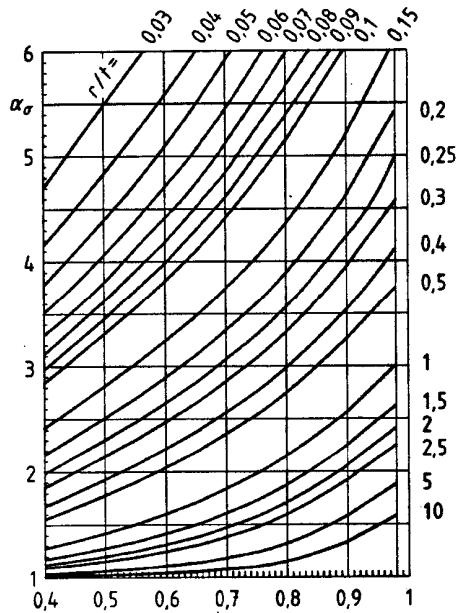
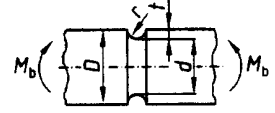
$$\sigma_n = \frac{F}{\pi \cdot d^2 / 4}$$

$$r/l \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_{\sigma} \leq 6$$



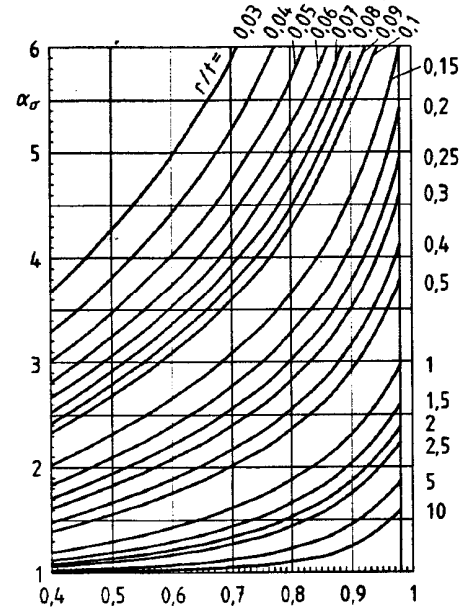
$$\sigma_n = \frac{M_b}{\pi \cdot d^3 / 32}$$

$$r/l \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_{\sigma} \leq 6$$



$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,22 \cdot \frac{r}{l} + 2,74 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2}}$$

Σχ. 5.7 Συντελεστής α_{σ} για εφελκυσμό/θλίψη σε εγκοπή

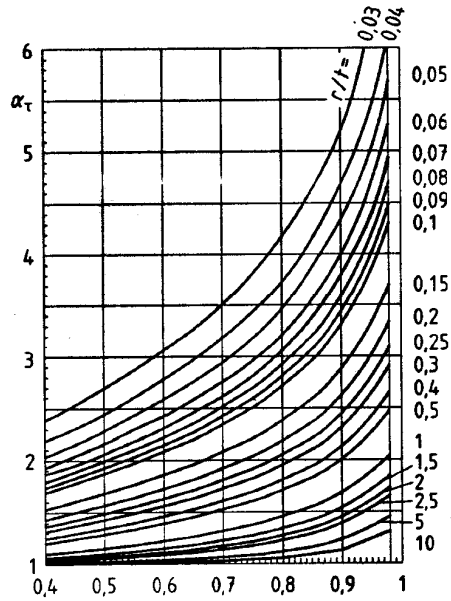
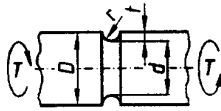


$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,2 \cdot \frac{r}{l} + 5,5 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2}}$$

Σχ. 5.8 Συντελεστής α_{σ} για κάμψη σε εγκοπή

$$\tau_n = \frac{T}{\pi \cdot d^3 / 16}$$

$$r/t \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_\tau \leq 6$$

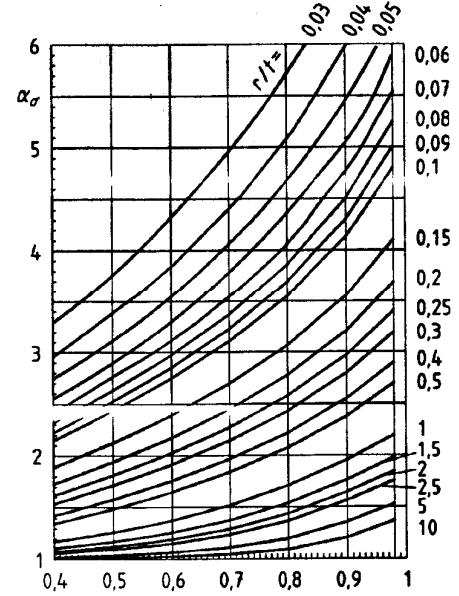
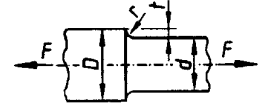


$$\alpha_\tau = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,7 \cdot \frac{r}{t} + 20,6 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2}}$$

Σχ. 5.9 Συντελεστής α_τ για στρέψη σε εγκοπή

$$\sigma_n = \frac{F}{\pi \cdot d^2 / 4}$$

$$r/t \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_\sigma \leq 6$$

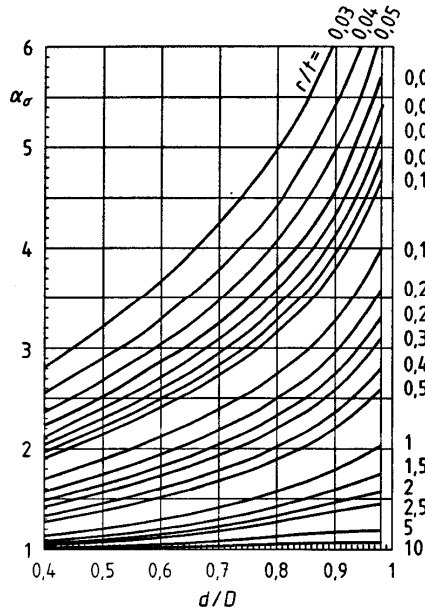
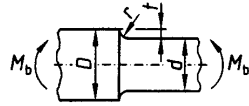


$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 \cdot \frac{r}{t} + 7 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2}}$$

Σχ. 5.10 Συντελεστής α_σ για εφελκυσμό/θλίψη σε διαβάθμιση

$$\sigma_n = \frac{M_b}{\pi \cdot d^3 / 32}$$

$$r/t \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_\sigma \leq 6$$

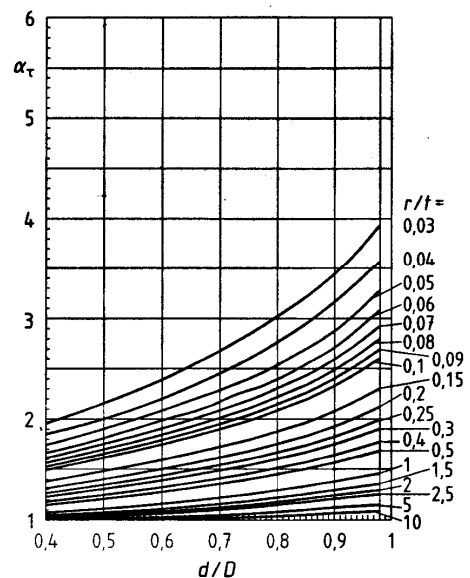
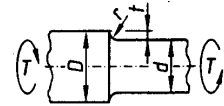


$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 \cdot \frac{r}{t} + 11,6 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2 + 0,2 \cdot \left(\frac{r}{t}\right)^3 \cdot \frac{d}{D}}}$$

Σχ. 5.11 Συντελεστής α_σ για κάμψη σε διαβάθμιση

$$\tau_n = \frac{T}{\pi \cdot d^3 / 16}$$

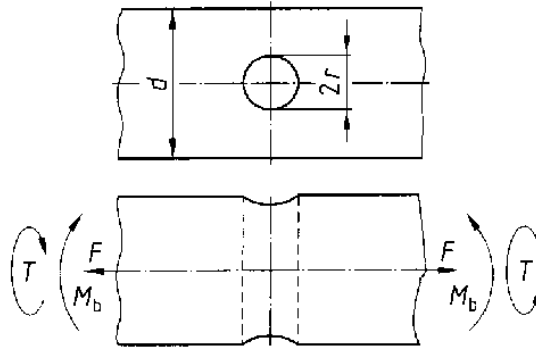
$$r/t \geq 0,03; d/D \leq 0,98; \alpha_\tau \leq 6$$



$$\alpha_\tau = 1 + \frac{1}{\sqrt{3,4 \cdot \frac{r}{t} + 38 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2 + \left(\frac{r}{t}\right)^2 \cdot \frac{d}{D}}}$$

Σχ. 5.12 Συντελεστής α_τ για στρέψη σε διαβάθμιση

5.2.2.3 Εγκάρσια οπή

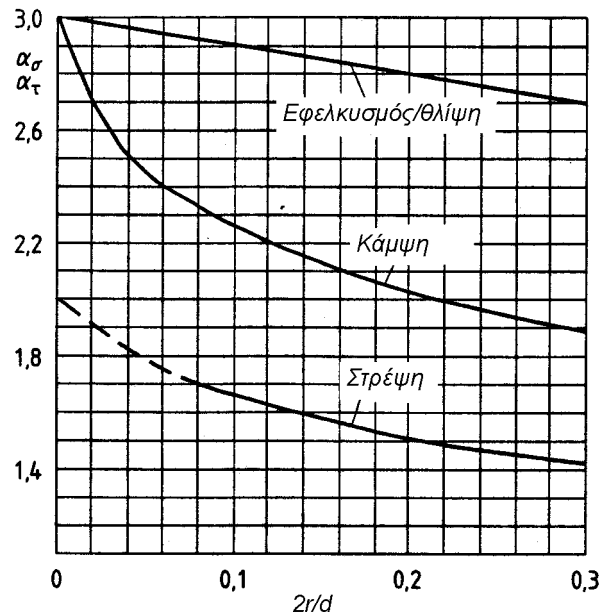


Οι ονομαστικές τάσεις δίδονται από τις σχέσεις

$$\begin{aligned}\sigma_{zd\eta} &= F / (\pi d^2 / 4 - 2rd) \\ \sigma_{bn} &= M_b / (\pi d^3 / 32 - rd^2 / 3) \\ \tau_n &= T / (\pi d^3 / 16 - rd^2 / 3)\end{aligned}\quad (5.29)$$

Ο συντελεστής μορφής για τα διάφορα είδη καταπόνησης υπολογίζεται από τις σχέσεις που ακολουθούν ή από το Σχ. 5.13

$$\begin{aligned}\alpha_{zd\sigma} &= 3 - (2r/d) \\ \alpha_{b\sigma} &= 1.4(2r/d) + 3 - 2.8\sqrt{2r/d} \\ \alpha_\tau &= 2.023 - 1.125\sqrt{2r/d}\end{aligned}\quad (5.30)$$



Σχ. 5.13 Συντελεστής μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$ για εγκάρσια οπή

5.3 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$

Με τον συντελεστή αυτόν λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι όταν αυξάνεται η διάμετρος των δοκιμίων ελαττώνεται η αντοχή σε κάμψη (πλησιάζοντας την αντοχή σε εφελκυσμό/θλίψη) και η αντοχή σε στρέψη.

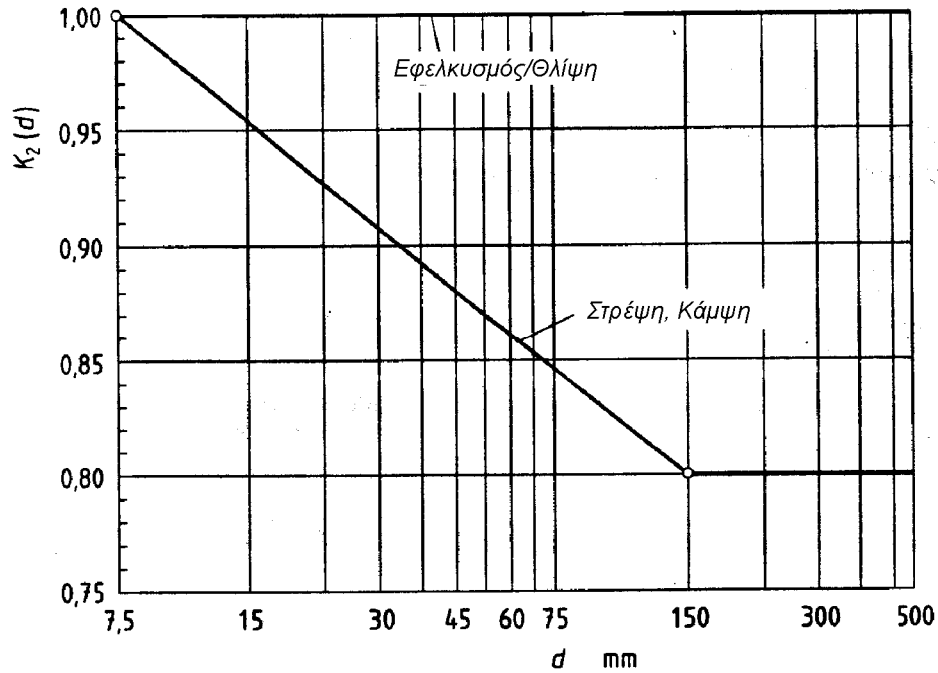
Για εφελκυσμό/θλίψη

$$K_2(d) = 1 \quad (5.31)$$

Για κάμψη και στρέψη

$$\begin{aligned} 7.5\text{mm} \leq d \leq 150\text{mm} & \quad K_2(d) = 1 - 0.2 \frac{\lg(d / 7.5\text{mm})}{\lg 20} \\ d > 150 & \quad K_2(d) = 0.8 \end{aligned} \quad (5.32)$$

Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζεται ο συντελεστής $K_2(d)$



Σχ. 5.14 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$

5.4 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή $K_3(d)$

Η επίδραση της εγκοπής στην αντοχή εξαρτάται από τη διάμετρο της διατομής. Το γεγονός αυτό λαμβάνεται υπόψη με τον συντελεστή επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή $K_3(d)$, μόνον όταν ο συντελεστής εγκοπής υπολογίζεται από μετρήσεις:

- Για ορθές καταπονήσεις είναι:

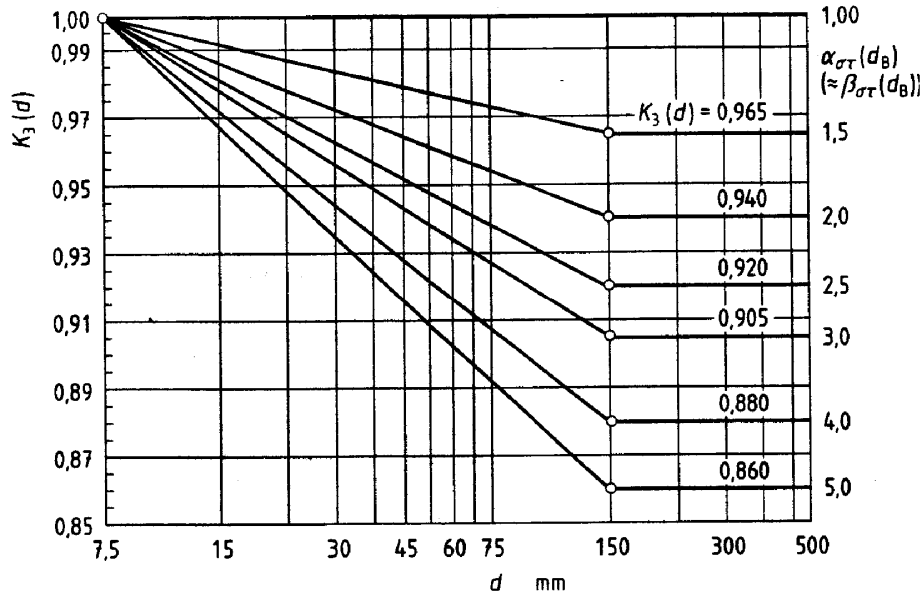
$$\begin{aligned} 7.5\text{mm} \leq d \leq 150\text{mm} & \quad K_3(d) = 1 - 0.2 \lg \alpha_\sigma \frac{\lg(d / 7.5\text{mm})}{\lg 20} \\ d > 150 & \quad K_3(d) = 1 - 0.2 \lg \alpha_\sigma \end{aligned} \quad (5.33)$$

όπου

α_σ ο συντελεστής μορφής της εγκοπής για ορθή καταπόνηση. Όταν δεν μπορεί να προσδιορισθεί τίθεται κατά προσέγγιση $\alpha_\sigma = \beta_\sigma$.

- Για στρέψη ισχύει η προηγούμενη σχέση αντικαθιστώντας το α_σ με α_τ (ή β_τ όταν είναι άγνωστος ο συντελεστής μορφής).

Στο σχήμα Σχ. 5.15 που ακολουθεί εμφανίζεται ο συντελεστής $K_3(d)$



Σχ. 5.15 Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή $K_3(d)$

5.5 Συντελεστής τραχύτητας K_F

Με τον συντελεστή αυτόν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τραχύτητας στη δυναμική αντοχή

- Για ορθές καταπονήσεις (Σχ. 5.16)

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \lg \left(\frac{R_z}{\mu m} \right) \left(\lg \frac{\sigma_B(d)}{20 \frac{N}{mm^2}} - 1 \right) \quad (5.34)$$

Στην εξίσωση αυτή το όριο θραύσεως $\sigma_B(d) = K_1(d_{eff}) \sigma_B(d_b)$

- Για στρέψη

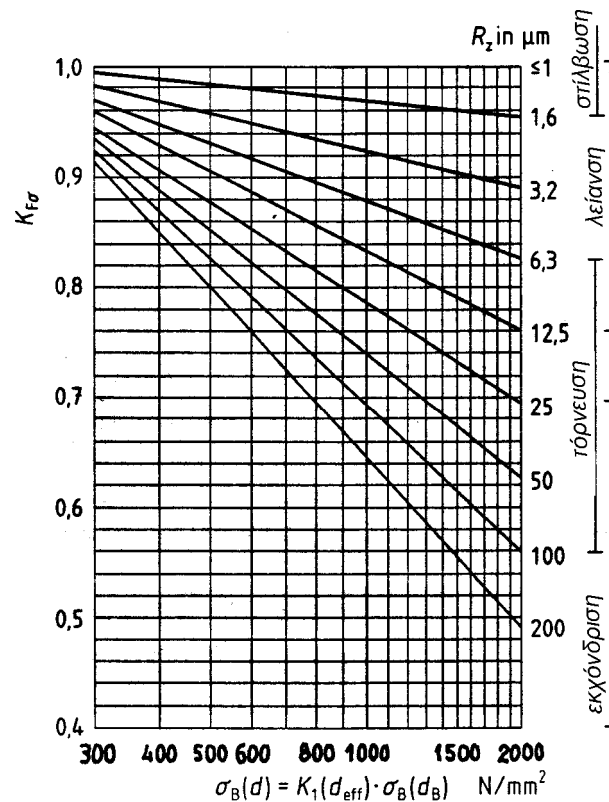
$$K_{F\tau} = 0.575 K_{F\sigma} + 0.425 \quad (5.35)$$

όταν ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας συντελεστή εγκοπής που προέκυψε από πειράματα με δοκίμια τραχύτητας R_{zB} τότε οι αντίστοιχες τιμές των συντελεστών τραχύτητας δίδονται από τις σχέσεις

$$K_{F\sigma} = \frac{K_{F\sigma}(R_z)}{K_{F\sigma}(R_{zB})} \quad (5.36)$$

$$K_{F\tau} = \frac{K_{F\tau}(R_z)}{K_{F\tau}(R_{zB})} \quad (5.37)$$

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα πειράματα έγιναν με τυπικές κατεργασίες όπου είναι δύσκολο να επηρεασθεί η τραχύτητα (π.χ. σφηνότοποι, πολύσφηνα). Στις περιπτώσεις αυτές δεν χρειάζονται να χρησιμοποιούνται οι παραπάνω σχέσεις και λαμβάνεται $K_{F\sigma}, K_{F\tau} = 1$.



Σχ. 5.16 Συντελεστής τραχύτητας $K_{F\sigma}$.

5.6 Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V .

Η επιφανειακή αντοχή των χαλύβων μπορεί να αυξηθεί είτε με θερμικές κατεργασίες (εναζώτωση, ενανθράκωση και βαφή, επαγωγική βαφή, φλογοβαφή) είτε με μηχανικές κατεργασίες (κύλιση, σφαιροβολή).

Εάν δεν έχει γίνει καμία από τις παραπάνω επιφανειακές κατεργασίες τότε $K_V = 1$.

Σε αντίθετη περίπτωση εκλέγεται ο K_V ανάλογα με την επιφανειακή κατεργασία σύμφωνα με τα παρακάτω διαγράμματα Σχ. 5.17.

Η περιοχή (2) των διαγραμμάτων χρησιμοποιείται όταν ο συντελεστής $\beta_{\sigma,\tau}$ έχει προσδιορισθεί από πειράματα σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.2.1, δηλαδή σε δοκίμια χωρίς επιφανειακή κατεργασία. Οι τιμές της περιοχής αυτής ισχύουν μόνο εφόσον $\beta_{\sigma,\tau} > K_V$ σε αντίθετη περίπτωση εκλέγονται οι τιμές του K_V από την περιοχή (1).

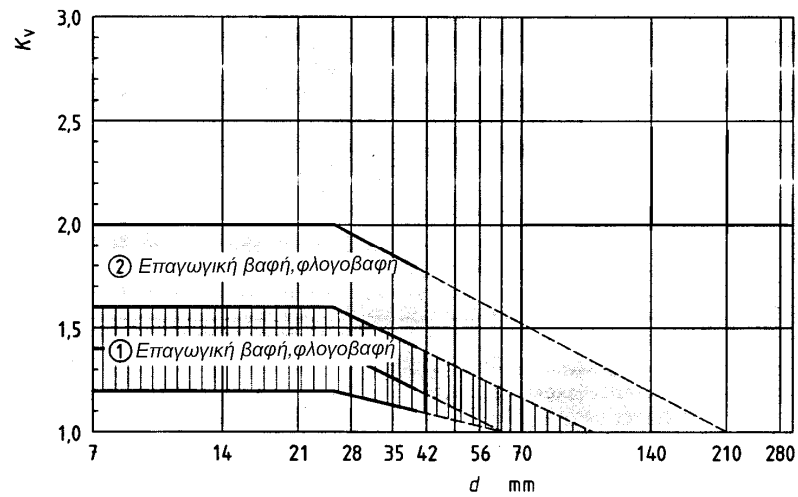
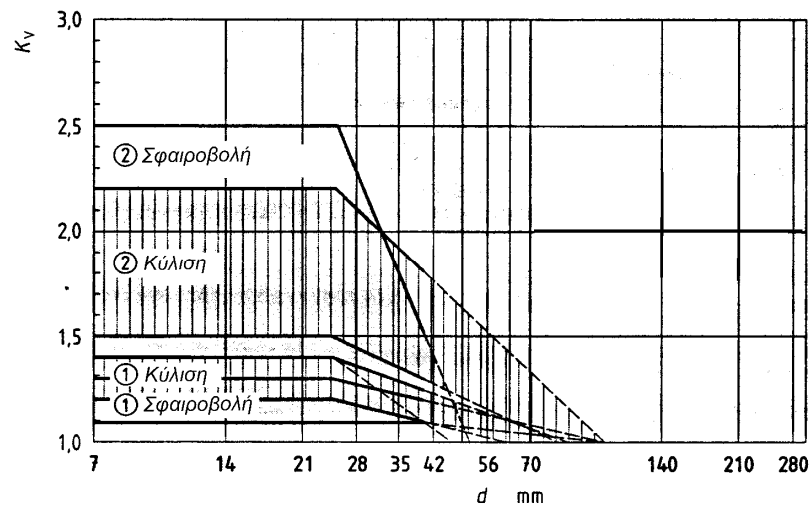
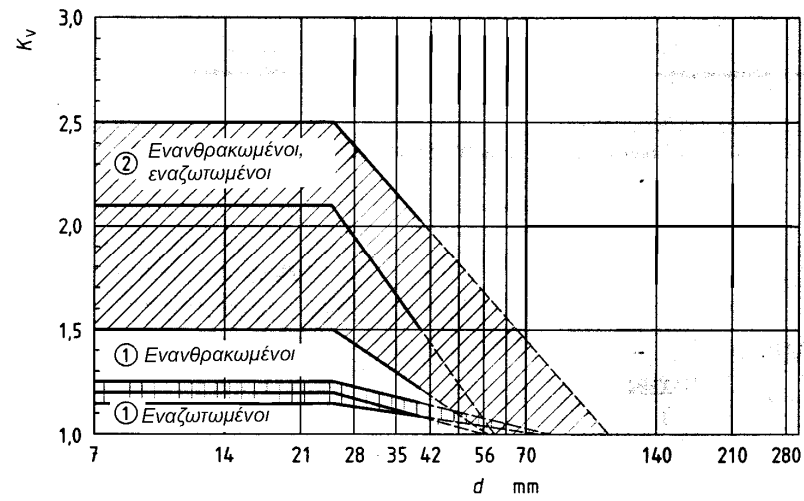
Η περιοχή (1) των διαγραμμάτων χρησιμοποιείται σε όλες τις άλλες περιπτώσεις δηλαδή

- ο $\beta_{\sigma,\tau}$ έχει προσδιορισθεί από τον συντελεστή μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$
- ο $\beta_{\sigma,\tau}$ έχει προσδιορισθεί από πειράματα με δοκίμια με επιφανειακή κατεργασία.

Για λεία δοκίμια ισχύει η περιοχή (1).

Για διαμέτρους $40 < d < 250$ συνιστάται να λαμβάνεται $K_V = 1$ για εγκοπές με ασθενή επίδραση ή $K_V = 1.1$ για εγκοπές με ισχυρή επίδραση.

Για διαμέτρους $d \geq 250$ λαμβάνεται $K_V = 1$.



Σχ. 5.17 Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_v .

6 Υπολογισμός σε πλαστική παραμόρφωση

Ο συντελεστή ασφάλειας S_F υπολογίζεται συγκρίνοντας τις μέγιστες τάσεις που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία προς το αντίστοιχο όριο παραμόρφωσης.

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zd\max}}{\sigma_{zFK}} + \frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t\max}}{\tau_{tFK}}\right)^2}} \quad (6.1)$$

όπου

$\sigma_{zd\max}, \sigma_{b\max}, \tau_{t\max}$ είναι οι μέγιστες τάσεις που μπορούν να εμφανισθούν και δίδονται από τον ακόλουθο πίνακα Π. 6.1 συναρτήσει των $F_{zd\max}, M_{b\max}, T_{\max}$

Π. 6.1 Υπολογισμός μέγιστων τάσεων.		
Είδος καταπόνησης	Μέγιστη τάση	Διατομή ή ροπή αντιστάσεως
Εφελκ/θλίψη	$\sigma_{zd\max} = \frac{F_{zd\max}}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_i^2)$
Κάμψη	$\sigma_{b\max} = \frac{M_{b\max}}{W_b}$	$W_b = \frac{\pi}{32} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$
Στρέψη	$\tau_{t\max} = \frac{T_{\max}}{W_t}$	$W_t = \frac{\pi}{16} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$

$\sigma_{zFK}, \sigma_{bFK}, \tau_{tFK}$ είναι οι επιτρεπόμενες τάσεις εκφράζονται συναρτήσει του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης και δίδονται από τις σχέσεις

$$\sigma_{zd,bFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \gamma_F \sigma_S(d_B) \quad (6.2)$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff}) K_{2F} \gamma_F \frac{\sigma_S(d_B)}{\sqrt{3}} \quad (6.3)$$

όπου

$K_1(d_{eff})$ είναι ο συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία. Υπολογίζεται ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τη θερμική κατεργασία και την διάμετρο όπως περιγράφεται στο κεφ. 5.1

K_{2F} είναι ο συντελεστής στατικής αντιστήριξης και δίνεται από τους ακόλουθους πίνακες ανάλογα με το είδος της θερμικής κατεργασίας

- Για χάλυβες χωρίς σκληρό επιφανειακό στρώμα από τον πίνακα Π. 6.2

Π. 6.2 Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F} για χάλυβες χωρίς σκληρό επίστρωμα.		
Είδος καταπόνησης	K_{2F}	
	Πλήρης διατομή	Κοίλη διατομή
Εφελκ/θλίψη	1.0	1.0
Κάμψη	1.2	1.1
Στρέψη	1.2	1.0

- Για χάλυβες με σκληρό επιφανειακό στρώμα από τον πίνακα Π. 6.3

Π. 6.3 Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F} για χάλυβες με σκληρό επίστρωμα.		
Είδος καταπόνησης	Πλήρης διατομή	Κοίλη διατομή
Εφελκ/θλίψη	1.0	1.0
Κάμψη	1.1	1.0
Στρέψη	1.1	1.0

γ_F είναι ο συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης. Για περιφερειακές εγκοπές δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα συναρτήσει των α_σ ή β_σ

Π. 6.4 Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης γ_F .		
Είδος καταπόνησης	α_σ ή β_σ	γ_F
Εφελκ/θλίψη ή Κάμψη	μέχρι 1.5	1.00
	1.5 μέχρι 2.0	1.05
	2.0 μέχρι 3.0	1.10
	μεγαλύτερο του 3.0	1.15
Στρέψη	οποιαδήποτε	1.00

7 Συνοπτική παρουσίαση του υπολογισμού ατράκτων - αξόνων

7.1 Υπολογισμός ατράκτων-αξόνων σε πλαστική παραμόρφωση.

Από τους πίνακες των υλικών προκύπτουν η διάμετρος d_B , οι τάσεις $\sigma_B, \sigma_S, \sigma_{zdW}, \sigma_{bW}, \tau_{tW}$	Κεφ. 2
Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$	Κεφ. 5.1
Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F}	Κεφ. 6
Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης γ_F	Κεφ. 6
Επιτρεπόμενες τάσεις για πλαστική παραμόρφωση $\sigma_{zdFK}, \sigma_{bFK}, \tau_{tFK}$	Κεφ. 6 $\sigma_{zd,bFK} = K_1(d_{eff})K_{2F}\gamma_F\sigma_S(d_B)$ $\tau_{tFK} = K_1(d_{eff})K_{2F}\gamma_F\frac{\sigma_S(d_B)}{\sqrt{3}}$
Από τις φορτίσεις $F_{zd\max}, M_{b\max}, T_{\max}$ υπολογίζονται οι ονομαστικές τάσεις $\sigma_{zd\max}, \sigma_{b\max}, \tau_{t\max}$	Κεφ. 6
Συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση	Κεφ. 6 $S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zd\max}}{\sigma_{zFK}} + \frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t\max}}{\tau_{tFK}}\right)^2}}$

7.2 Υπολογισμός ατράκτων-αξόνων σε δυναμική θραύση.

Από τους πίνακες των υλικών προκύπτουν η διάμετρος d_B , οι τάσεις $\sigma_B, \sigma_S, \sigma_{zdW}, \sigma_{bW}, \tau_{tW}$	Κεφ. 2
Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$	Κεφ. 5.1
<p>Συντελεστής εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ από μετρήσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> • συντελεστής επίδρασης μεγέθους στην εγκοπή $K_3(d)$ • Υπολογισμός συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ 	<p>Κεφ. 5.2.1</p> <p>Κεφ. 5.4</p> $\beta_{\sigma} = \beta_{\sigma}(d_{BK}) \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)}$
<p>Συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ από τον συντελεστή μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • σχετική πτώση τάσης G' • συντελεστής δυναμικής αντιστήριξης n • συντελεστή μορφής $\alpha_{\sigma,\tau}$ • Υπολογισμός συντελεστή εγκοπής $\beta_{\sigma,\tau}$ 	<p>Κεφ. 5.2.2</p> $\beta_{\sigma,\tau} = \frac{\alpha_{\sigma,\tau}}{n}$
Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$	Κεφ. 5.3
Συντελεστής τραχύτητας K_F	Κεφ. 5.5
Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V	Κεφ. 5.6
Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής $K_{\sigma,\tau}$	<p>Κεφ. 4.2.1</p> $K_{\sigma} = \left(\frac{\beta_{\sigma}}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$ $K_{\tau} = \left(\frac{\beta_{\tau}}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$
<p>Από τις φορτίσεις υπολογισμός των</p> <ul style="list-style-type: none"> • ημιέυρος δυναμικής τάσης $\sigma_{zd,ba}, \tau_{ia}$, • μέση τάση $\sigma_{zd,bm}, \tau_{tm}$, • ισοδύναμη ορθή μέση τάση εφαπτομενική μέση τάση (σ_{mv}, τ_{mv}). 	Κεφ. 4.1

Επιτρεπόμενο ημειύρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση $\sigma_{zd,bWK}, \tau_{tWK}$	<p>Κεφ. 4.2.1</p> $\sigma_{zdWK} = \frac{\sigma_{zdW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma}$ $\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma}$ $\tau_{tWK} = \frac{\tau_{tW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\tau}$
συντελεστής καταπόνησεως $\psi_{zd,b\sigma K}, \psi_{\tau K}$	<p>Κεφ. 4.2.2</p> $\psi_{zd\sigma K} = \frac{\sigma_{zdWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{zdWK}}$ $\psi_{b\sigma K} = \frac{\sigma_{bWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{bWK}}$ $\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \tau_{tWK}}$
Επιτρεπόμενο ημειύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής $\sigma_{zd,bADK}, \tau_{tADK}$ Περίπτωση φόρτισης F_1 ή Περίπτωση φόρτισης F_2	<p>Κεφ. 4.2.2</p>
Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση	<p>Κεφ. 4</p> $S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zADK}} + \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}}$

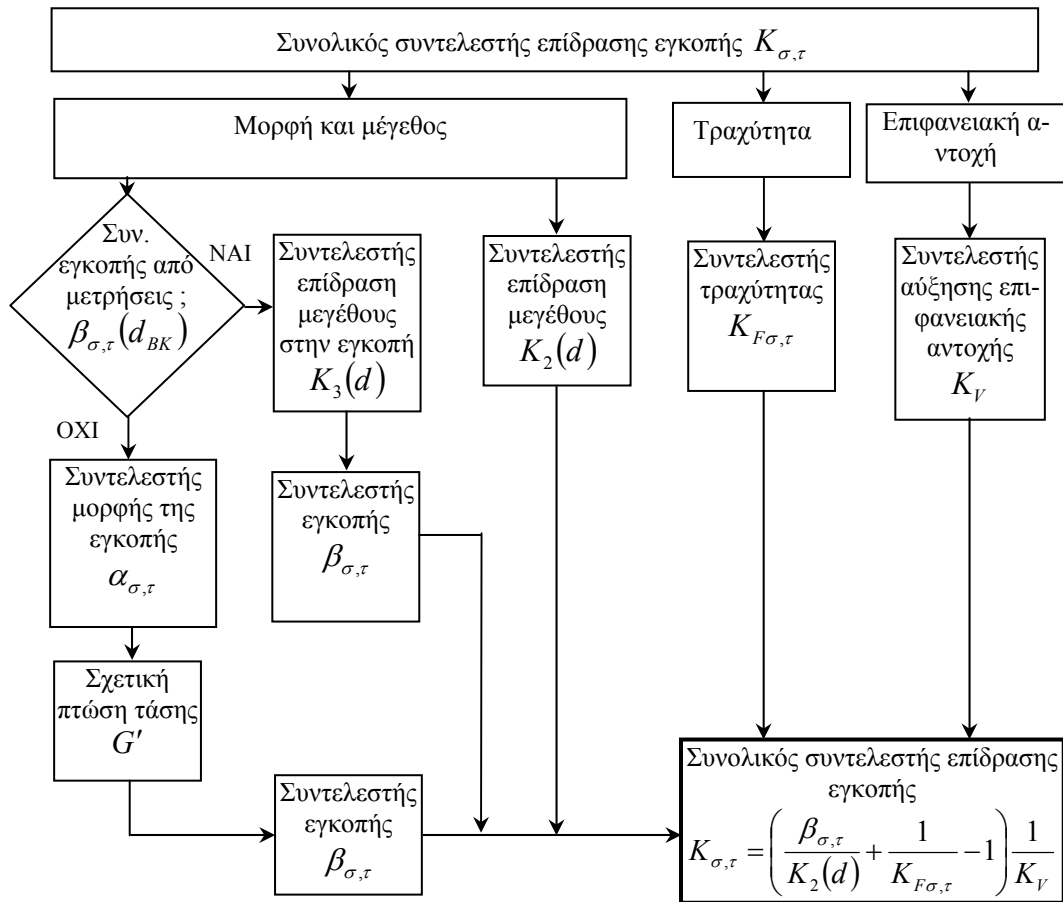
7.3 Υπολογισμός τελικού συντελεστής ασφάλειας

Τελικός συντελεστής ασφάλειας	<p>Κεφ. 1</p> $S = \min(S_F, S_D)$
-------------------------------	------------------------------------

7.4 Έλεγχος συντελεστή ασφάλειας

Έλεγχος συντελεστή ασφάλειας	<p>Κεφ. 1</p> <p>τουλάχιστον $S \geq 1.2$</p>
------------------------------	--

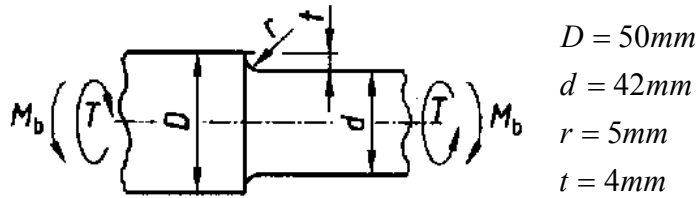
8 Λογικό διάγραμμα υπολογισμού του συνολικού συντελεστή επίδρασης ε-γκοπής $K_{\sigma,\tau}$



9 Παραδείγματα

9.1 Παράδειγμα 1°

Στη διατομή



$$D = 50mm$$

$$d = 42mm$$

$$r = 5mm$$

$$t = 4mm$$

Δίδονται

Φορτίσεις

$$\sigma_b = \sigma_{bm} \pm \sigma_{ba} = 500N/mm^2 \pm 50N/mm^2$$

$$\tau_t = \tau_{tm} \pm \tau_{ta} = 100N/mm^2 \pm 30N/mm^2$$

Υλικό 34CrMo4

Τραχύτητα $R_z = 5\mu m$

Περίπτωση φόρτισης F_1 (σταθερή μέση φόρτιση)

Χωρίς επιφανειακή σκλήρυνση

Λύση

Από τον πίνακα Π. 2.1 για υλικό 34CrMo4 προκύπτει

$$d_B \leq 16mm$$

$$\sigma_B = 1000N/mm^2, \sigma_S = 800N/mm^2,$$

$$\sigma_{zdW} = 400N/mm^2, \sigma_{bW} = 500N/mm^2, \tau_{tW} = 300N/mm^2$$

Υπολογισμός για κάμψη

Συντελεστής μορφής α_σ (κεφ. 5.2.2.1)

Για την διαβάθμιση είναι $d/D = 0.84, r/t = 1.25, r/d = 0.119$

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^Z \frac{d}{D}}}, A=0.62, B=5.8, C=0.2, Z=3$$

προκύπτει $\alpha_\sigma = 1.557$

Σχετική πτώση τάσης G' (κεφ. 5.2.2)

$$\varphi = \frac{1}{4\sqrt{t/r} + 2} \text{ προκύπτει } \varphi = 0.179$$

$$G' = \frac{2.3(1+\varphi)}{r} \text{ προκύπτει } G' = 0.542mm^{-1}$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$ (κεφ. 5.1)

Από τα δεδομένα του υλικού $d_B = 16mm$.

Από τον τρόπο κατεργασίας $d_{eff} = 50mm$

$$K_1(d_{eff}) = 1 - 0.26 \lg(d_{eff} / d_B) = 0.871$$

Υπολογισμός συντελεστή αντιστήριξης n (κεφ. 5.2)

$$\sigma_s(d) = K_1(d_{eff}) \sigma_s(d_B) = 697 N / mm^2$$

$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot mm} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{\sigma_s(d)}{712 N / mm^2}\right)}$$

$$n = 1 + \sqrt{0.542} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{697}{712}\right)} = 1.036$$

Υπολογισμός συντελεστή εγκοπής β_σ (κεφ. 5.2)

$$\beta_\sigma = \alpha_\sigma / n = 1.557 / 1.036 = 1.503$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$ (κεφ. 5.3)

$$7.5mm \leq d \leq 150mm \quad K_2(d) = 1 - 0.2 \frac{\lg(d / 7.5mm)}{\lg 20}$$

$$K_2(d) = 1 - 0.2 \frac{\lg(42 / 7.5)}{\lg 20} = 0.885$$

Συντελεστής τραχύτητας K_F (κεφ 5.5)

$$\sigma_B(d) = \sigma_B(d_B) K_1(d_{eff}) = 871 N / mm^2$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \lg\left(\frac{R_z}{\mu m}\right) \left(\lg \frac{\sigma_B(d)}{20 \frac{N}{mm^2}} - 1 \right)$$

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \lg(5) \left(\lg \frac{871}{20} - 1 \right)$$

$$K_{F\sigma} = 0.902$$

Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V (κεφ 5.6)

$$K_V = 1$$

Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής K_σ (κεφ 4.2.1)

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$$

$$K_\sigma = \left(\frac{1.503}{0.885} + \frac{1}{0.9} - 1 \right) \frac{1}{1} = 1.809$$

Στρέψη

Υπολογισμός του συντελεστή μορφής a_τ (κεφάλαιο 5.2.2.1)

$$\alpha_\tau = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^Z \frac{d}{D}}}, A=3.4, B=19, C=1, Z=2$$

προκύπτει $\alpha_\tau = 1.283$

Σχετική πτώση τάσης G' (κεφ. 5.2.2)

$$G' = \frac{1.15}{r} \text{ προκύπτει } G' = 0.23 \text{ mm}^{-1}$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$ (κεφ. 5.1)

$$K_1(d_{eff}) = 0.871$$

Συντελεστή αντιστήριξης n (κεφ. 5.2.2)

$$\sigma_s(d) = 697 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot \text{mm}} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{\sigma_s(d)}{712 \text{ N/mm}^2}\right)}$$

$$n = 1 + \sqrt{0.23} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{697}{712}\right)} = 1.024$$

Συντελεστής εγκοπής β_τ (κεφ. 5.2.2)

$$\beta_\tau = \alpha_\tau / n = 1.283 / 1.024 = 1.253$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$ (κεφ. 5.3)

$$K_2(d) = 0.885$$

Συντελεστής τραχύτητας $K_{F\tau}$ (κεφ. 5.5)

$$K_{F\tau} = 0.575 K_{F\sigma} + 0.425$$

$$K_{F\tau} = 0.575 \cdot 0.902 + 0.425$$

$$K_{F\tau} = 0.944$$

Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V (κεφ. 5.6)

$$K_V = 1$$

Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής K_τ (κεφ. 4.2.1)

$$K_\tau = \left(\frac{\beta_\tau}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$$

$$K_\tau = \left(\frac{1.253}{0.885} + \frac{1}{0.944} - 1 \right) \frac{1}{1} = 1.475$$

Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F} (κεφ 6.)

$$K_{2F\sigma} = 1.2$$

$$K_{2F\tau} = 1.2$$

Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης γ_F (κεφ. 6.)

$$\gamma_{F\sigma} = 1.05$$

$$\gamma_{F\tau} = 1$$

Συντελεστές ασφάλειας

Επιτρεπόμενες τάσεις για πλαστική παραμόρφωση σ_{bFK}, τ_{tFK} (κεφ. 6)

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff})K_{2F}\gamma_F\sigma_S(d_B)$$

$$\sigma_{bFK} = 0.871 \cdot 1.2 \cdot 1.05 \cdot 800$$

$$\sigma_{bFK} = 878.0 N / mm^2$$

$$\tau_{tFK} = K_1(d_{eff})K_{2F}\gamma_F \frac{\sigma_S(d_B)}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{tFK} = 0.871 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 800 / \sqrt{3}$$

$$\tau_{tFK} = 482.7 N / mm^2$$

Ισοδύναμες τάσεις (κεφ. 4.1)

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bm}^2 + 3\tau_{tm}^2}$$

$$\sigma_{mv} = \sqrt{500^2 + 3 \cdot 100^2}$$

$$\sigma_{mv} = 529.1 N / mm^2$$

$$\tau_{mv} = \frac{\sigma_{mv}}{\sqrt{3}} = \frac{529.1}{\sqrt{3}} = 305.5 N / mm^2$$

Επιτρεπόμενο ημείυρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση σ_{WK}, τ_{WK} (κεφ. 4.2.1)

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma}$$

$$\sigma_{bWK} = \frac{500 \cdot 0.871}{1.809} = 240.7 N / mm^2$$

$$\tau_{tWK} = \frac{\tau_{tW}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\tau}$$

$$\tau_{tWK} = \frac{300 \cdot 0.871}{1.475} = 177.1 N / mm^2$$

Συντελεστές καταπόνησης $\psi_{b\sigma K}, \psi_{\tau K}$ (κεφ. 4.2.2)

$$\psi_{b\sigma K} = \frac{\sigma_{bWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{bWK}}$$

$$\psi_{b\sigma K} = \frac{240.7}{2 \cdot 0.871 \cdot 1000 - 240.7}$$

$$\psi_{b\sigma K} = 0.1603$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{\tau_{tWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \tau_{tWK}}$$

$$\psi_{\tau K} = \frac{177.1}{2 \cdot 0.871 \cdot 1000 - 177.1}$$

$$\psi_{\tau K} = 0.1132$$

Επιτρεπόμενο ημείυρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής $\sigma_{bADK}, \tau_{tADK}$ (κεφ. 4.2.2)

Περίπτωση φόρτισης F_1

$$\text{Ισχύει } \sigma_{mv} < \frac{\sigma_{bFK} - \sigma_{bWK}}{1 - \psi_{b\sigma K}} = \frac{878 - 240.7}{1 - 0.163} = 761.4 N / mm^2 \text{ οπότε}$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{b\sigma K} \sigma_{mv}$$

$$\sigma_{bADK} = 240.7 - 0.1603 \cdot 529.1$$

$$\sigma_{bADK} = 155.8 N / mm^2$$

$$\text{Ισχύει } \tau_{mv} \leq \frac{\tau_{tFK} - \tau_{tWK}}{1 - \psi_{\tau K}} = \frac{482.7 - 177.1}{1 - 0.1132} = 344.6 N / mm^2 \text{ οπότε}$$

$$\tau_{tADK} = \tau_{tWK} - \psi_{\tau K} \tau_{mv}$$

$$\tau_{tADK} = 177.1 - 0.1132 \cdot 305.5$$

$$\tau_{tADK} = 142.5 N / mm^2$$

Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση S_D (κεφ. 4)

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}}$$

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{50}{155.8}\right)^2 + \left(\frac{30}{142.5}\right)^2}}$$

$$S_D = 2.61$$

Συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση S_F (κεφ. 6.)

$$\sigma_{b\max} = 500 \text{ N/mm}^2 + 50 \text{ N/mm}^2 = 550 \text{ N/mm}^2$$

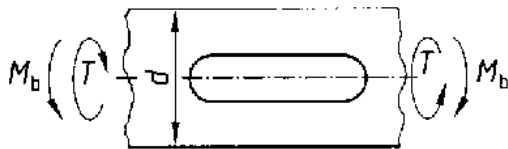
$$\tau_{t\max} = 100 \text{ N/mm}^2 + 30 \text{ N/mm}^2 = 130 \text{ N/mm}^2$$

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t\max}}{\tau_{tFK}}\right)^2}}$$

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{550}{878.0}\right)^2 + \left(\frac{130}{482.7}\right)^2}}$$

$$S_F = 1.47$$

9.2 Παράδειγμα 2°



$$d = 50 \text{ mm}$$

στη διατομή του σχήματος στον σφηνότοπο υπάρχουν οι φορτίσεις

Εναλλασσόμενη κάμψη και στατική στρέψη

$$M_b = \pm 1200 \text{ Nm}$$

$$T = 3000 \text{ Nm}$$

Μέγιστες φορτίσεις

$$M_{b\max} = 1.5 \cdot M_b$$

$$T_{\max} = 1.5 \cdot T$$

υλικό ατράκτου 42CrMo4 (χάλυβας με υψηλή περιεκτικότητα σε Cr, Ni, Mo)

Περίπτωση φόρτισης F1 (σταθερή μέση φόρτιση)

Χωρίς επιφανειακή σκλήρυνση

Τραχύτητα $R_z = 12.5 \mu\text{m}$

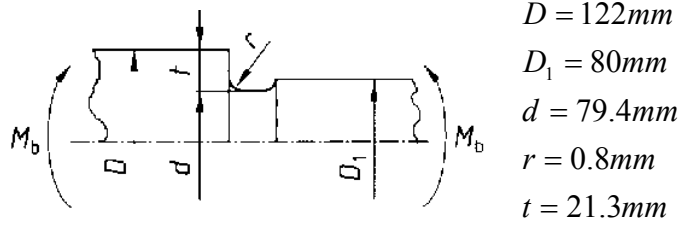
Λύση

$$S_D = 1.268$$

$$S_F = 2.69$$

9.3 Παράδειγμα 3°

Στη διατομή



Δίδονται

$$M_b = M_{bm} \pm M_{ba} = 8000Nm \pm 2500Nm$$

Περίπτωση φόρτισης F2

Υλικό ατράκτου E335 (St 60-2) (κοινός χάλυβας)

Χωρίς επιφανειακή σκλήρυνση

Τραχύτητα $R_z = 25\mu m$

Λύση

$$S_D = 1.26$$

$$S_F = 1.84$$

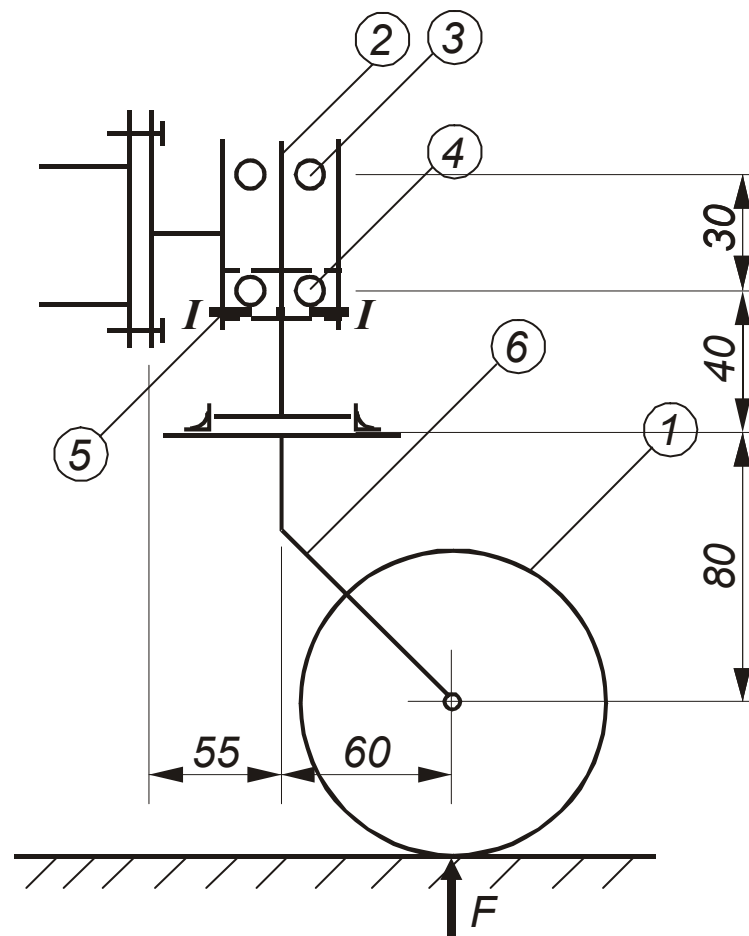
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
 ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Α.Π.Θ.
 ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΘ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

ΟΝΟΜΑ :
 ΕΠΙΘΕΤΟ :
 ΕΞΑΜΗΝΟ:
 Α.Ε.Μ. :
 Ημερομηνία : 8/9/2003

Υπολογιστικό θέμα εξετάσεων Σεπτεμβρίου στο μάθημα ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι	Διάρκεια 1:45 ώρες
Επιτρέπονται όλα τα βοηθήματα	

ΤΡΟΧΟΣ ΒΑΓΟΝΕΤΟΥ

Στο παρακάτω σκαρίφημα παριστάνεται ο τροχός ενός βαγονέτου.



Ο τροχός (1) περιστρέφεται ελεύθερα περί τον άξονά του και προσαρμόζεται στη διεύθυνση κύλισης περιστρεφόμενος επίσης ελεύθερα περί τον άξονα του πείρου (2), ο οποίος εδράζεται με τα έδρανα κυλίσεως (3) και (4) στο κέλυφος (5).

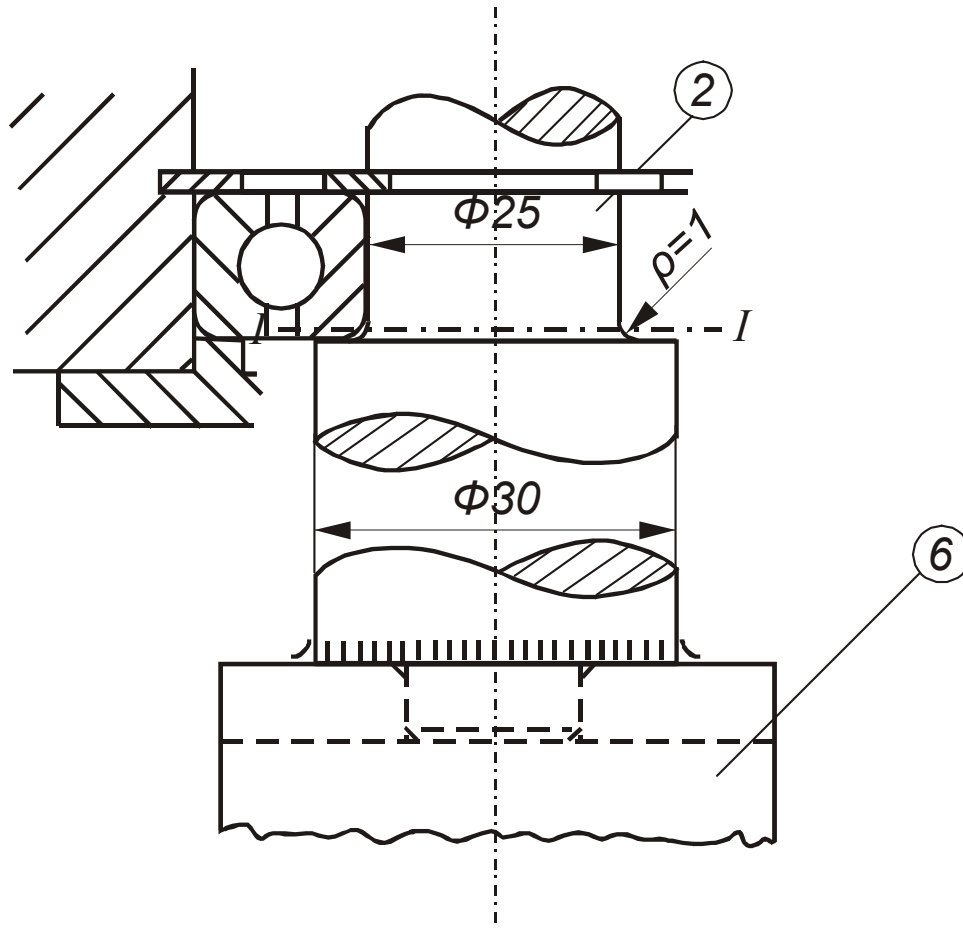
Δεδομένα

$F = 3 \pm 30\%$ kN..... δύναμη στον τροχό (1)
 Διαστάσεις όπως στα σχήματα
 St 37..... υλικό της ατράκτου (1)
 $R_t = 16 \mu\text{m}$ τραχύτητα επιφάνειας του πείρου (2) στη θέση (I-I)
 6205..... έδρανα κυλίσεως (3) και (4)

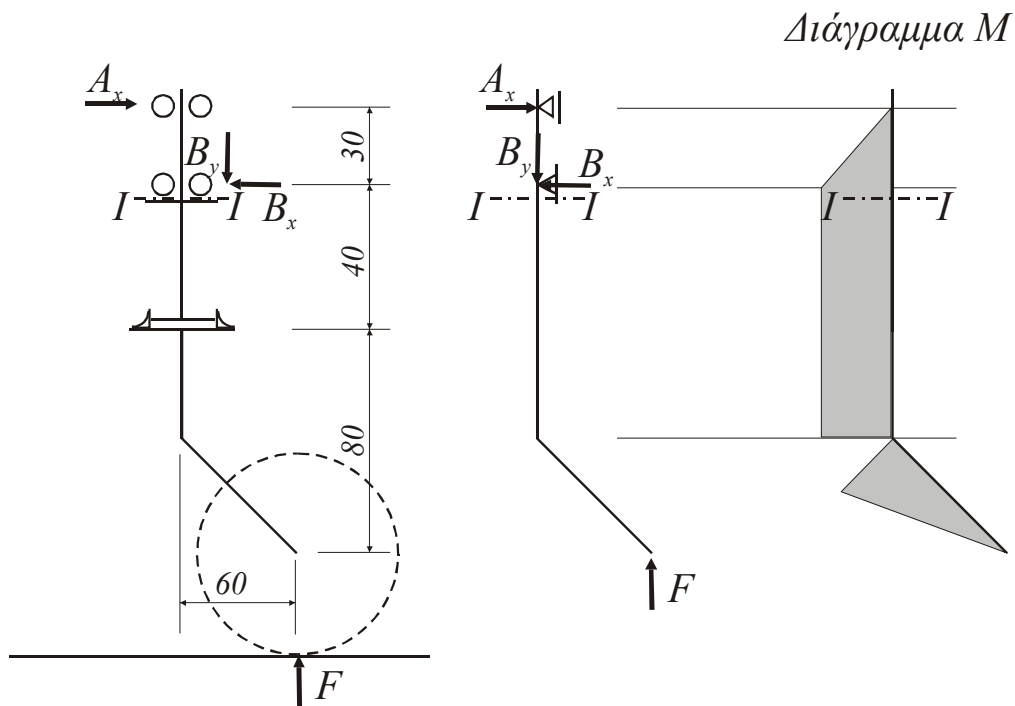
F1 περίπτωση φόρτισης
 $\alpha = 3 \text{ mm}$ πάχος συγκόλλησης
 II κατηγορία ποιότητας συγκόλλησης

Ζητούμενα

1. Ο υπολογισμός ελέγχου του πείρου (2) στη θέση I-I.
2. Ο υπολογισμός ελέγχου στη συγκόλληση του πείρου (2) με το πιρούνι (6).



Λύση

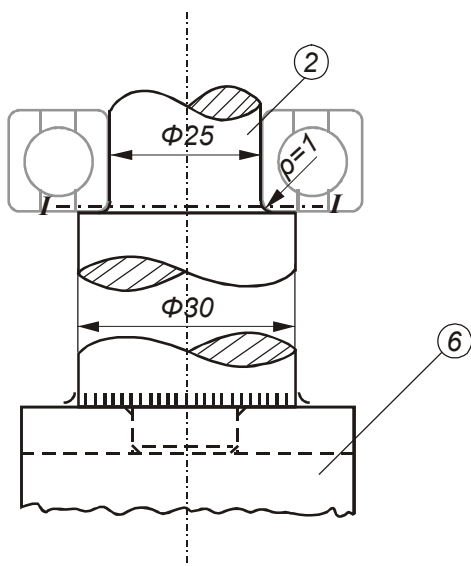


Υπολογισμός αντιδράσεων

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x = 0 &\Rightarrow A_x - B_x = 0 \\ \sum M_B = 0 &\Rightarrow F \cdot 60 - A_x \cdot 30 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_x = B_x = \frac{F \cdot 60}{30}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F - B_y = 0 \Rightarrow B_y = F$$

Θέση I-I



Η αξονική δύναμη παραλαμβάνεται από το έδρανο

Η ροπή κάμψης στη θέση I-I δίνεται από τη σχέση $M = F \cdot 60$

Γεωμετρικά δεδομένα ατράκτου στη θέση I-I $D = 30\text{ mm}$ $d = 25\text{ mm}$ $r = 1\text{ mm}$

Δύναμη στον τροχό

Από τα δεδομένα $F_m = 3000\text{ N}$ $F_a = 3000 \cdot 0.3 = 900\text{ N}$

$$M_{bm} = F_m \cdot 60 = 3000 \cdot 60 = 180000\text{ Nmm}$$

$$M_{ba} = F_a \cdot 60 = 900 \cdot 60 = 54000\text{ Nmm}$$

Άρα η διατομή καταπονείται σε δυναμική κάμψη και ο υπολογισμός θα γίνει σε δυναμική θραύση (κόπωση) και πλαστική παραμόρφωση.

Ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται από τη σχέση

$$S = \min(S_D, S_F)$$

όπου S_D ο συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση (κεφ. 4) και

S_F ο συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση (κεφ. 6.)

Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση S_D (κεφ. 4)

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zADK}} + \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2}}$$

Υπολογισμός ημειύρους δυναμικής τάσης σ_{ba} , μέσης τάσης σ_{bm}

$$\sigma_{ba} = \frac{M_{ba}}{W_b} = \frac{M_{ba}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{54000}{\frac{\pi \cdot 25^3}{32}} = 35.2\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bm} = \frac{M_{bm}}{W_b} = \frac{M_{bm}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{180000}{\frac{\pi \cdot 25^3}{32}} = 117.3\text{ N/mm}^2$$

Επιτρεπόμενο ημειύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής σ_{bADK} (κεφ. 4.2.2)

Είναι συνάρτηση των

- αντοχή του υλικού
- συνολικό συντελεστή επίδρασης εγκοπής K_σ (κεφ 4.2.1)
- Επιτρεπόμενες τάσεις για πλαστική παραμόρφωση σ_{bFK} (κεφ. 6)
- επιτρεπόμενο ημειύρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση σ_{bWK} (κεφ. 4.2.1)
- περίπτωση φόρτισης (F_1 ή F_2)

Υλικό St-37

Από πίνακα Π.2.1.ζ (Αντιστοίχιση συμβολισμών χαλύβων) προκύπτει ότι ο νέος συμβολισμός του υλικού είναι S235JR

Από πίνακα Π.2.1.α (Κοινοί χάλυβες κατασκευών κατά DIN EN 10025) προκύπτει

$$\left. \begin{aligned} \sigma_B &= 360 \text{ N/mm}^2, & d_B &\leq 3 \text{ mm} \\ \sigma_S &= 235 \text{ N/mm}^2, & \sigma_{zdw} &= 140 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{bw} &= 180 \text{ N/mm}^2, & \tau_{tw} &= 105 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} d_B \leq 16 \text{ mm}$$

Κάμψη

Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής K_σ (κεφ 4.2.1)

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V}$$

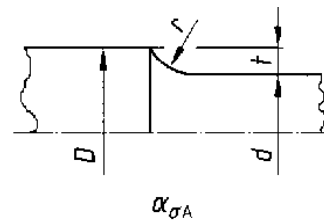
Υπολογισμός συντελεστή εγκοπής β_σ (κεφ. 5.2) από τον συντελεστή μορφής α_σ

$$\beta_\sigma = \frac{\alpha_\sigma}{n}$$

Συντελεστής μορφής α_σ (κεφ.5.2.2.1)

Για την διαβάθμιση ισχύει

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^Z \frac{d}{D}}},$$



A=0.62, B=5.8, C=0.2, Z=3

$$\begin{aligned} \frac{d}{D} &= \frac{25}{30} = 0.83 > 0.67, & \frac{r}{d} &= \frac{1}{25} = 0.04 \\ t &= \frac{D-d}{2} = \frac{30-25}{2} = 2.5 & \frac{r}{t} &= \frac{1}{2.5} = 0.4 \end{aligned}$$

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{0.62 \cdot 0.4 + 2 \cdot 5.8 \cdot 0.04 (1 + 2 \cdot 0.04)^2 + 0.2 \cdot 0.4^3 \cdot 0.83}}$$

προκύπτει $\alpha_\sigma = 2.12$

Υπολογισμός συντελεστή αντιστήριξης n (κεφ. 5.2) (... για όλους τους άλλους χάλυβες...)

$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot mm} \cdot 10^{\left(0.33 + \frac{\sigma_S(d)}{712 \text{ N/mm}^2}\right)}$$

Σχετική πτώση τάσης G' (κεφ. 5.2.2) (... για διαβάθμιση και κάμψη...)

$$\varphi = \frac{1}{4\sqrt{\frac{t}{r}} + 2} = \frac{1}{4\sqrt{\frac{2.5}{1}} + 2} = \frac{1}{8.32} \text{ προκύπτει } \varphi = 0.120$$

$$G' = \frac{2.3 \cdot (1 + \varphi)}{r} = \frac{2.3 \cdot (1 + 0.120)}{1} \text{ προκύπτει } G' = 2.58 \text{ mm}^{-1}$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$ (κεφ. 5.1)

$$d_{eff} = 30 \text{ mm}$$

$$K_1(d_{eff}) = 1 \quad \text{για όριο θραύσης} \quad d_{eff} = 30 \leq 100 \text{ mm}$$

$$K_1(d_{eff}) = 1 \quad \text{για όριο πλαστικής παραμόρφωσης} \quad d_{eff} = 30 \leq 32 \text{ mm}$$

$$\sigma_B(d) = \sigma_B(d_B) K_1(d_{eff}) = 360 \cdot 1 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_S(d) = \sigma_S(d_B) K_1(d_{eff}) = 235 \cdot 1 = 235 \text{ N/mm}^2$$

Οπότε μετά από αντικατάσταση προκύπτει

$$n = 1 + \sqrt{G' \cdot \text{mm}} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{\sigma_S(d)}{712 \text{ N/mm}^2}\right)} = 1 + \sqrt{2.58} \cdot 10^{-\left(0.33 + \frac{235}{712}\right)} = 1.35 \quad \text{και}$$

$$\beta_\sigma = \frac{\alpha_\sigma}{n} = \frac{2.12}{1.35} = 1.57$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους $K_2(d)$ (κεφ. 5.3) (... για κάμψη ...)

$$7.5 \text{ mm} \leq d \leq 150 \text{ mm} \quad K_2(d) = 1 - 0.2 \frac{\lg\left(\frac{d}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\lg 20} = 1 - 0.2 \frac{\lg\left(\frac{25}{7.5 \text{ mm}}\right)}{\lg 20} = 0.92$$

Συντελεστής τραχύτητας K_F (κεφ 5.5) (... για ορθές καταπονήσεις ...)

$$K_{F\sigma} = 1 - 0.22 \cdot \lg\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \left(\lg \frac{\sigma_B(d)}{20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} - 1 \right) = 1 - 0.22 \cdot \lg(16) \left(\lg \frac{360}{20} - 1 \right) = 0.932$$

Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V (κεφ 5.6) (... δεν αυξήθηκε η επιφανειακή αντοχή...)

$$K_V = 1$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές που βρήκαμε προηγουμένως προκύπτει ο συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής K_σ (κεφ 4.2.1)

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\beta_{\sigma}}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V} = \left(\frac{1.57}{0.92} + \frac{1}{0.932} - 1 \right) \frac{1}{1} = 1.78$$

Επιτρεπόμενες τάσεις για πλαστική παραμόρφωση σ_{bFK} (κεφ. 6)

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) \cdot K_{2F} \cdot \gamma_F \cdot \sigma_S(d_B)$$

Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F} (κεφ 6.) (...για χάλυβες χωρίς σκληρό επιφανειακό στρώμα ... κάμψη πλήρη διατομή..)

$$K_{2F\sigma} = 1.2$$

Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης γ_F (κεφ. 6.) (... για κάμψη ...)

$$\gamma_{F\sigma} = 1.1 \quad \text{για } 2 \leq a_{\sigma} \leq 3$$

αντικαθιστώντας προκύπτουν οι επιτρεπόμενες τάσεις για πλαστική παραμόρφωση σ_{bFK} (κεφ. 6)

$$\sigma_{bFK} = K_1(d_{eff}) \cdot K_{2F} \cdot \gamma_F \cdot \sigma_S(d_B) = 1 \cdot 1.2 \cdot 1.1 \cdot 235 = 310.2 \text{ N/mm}^2$$

Ισοδύναμες μέσες τάσεις (κεφ. 4.1)

$$\sigma_{mv} = \sqrt{\sigma_{bm}^2 + 3\tau_{tm}^2} = \sqrt{117.3^2 + 3 \cdot 0^2} = 117.3 \text{ N/mm}^2$$

Επιτρεπόμενο ημιεύρος για συμμετρική εναλλασσόμενη καταπόνηση σ_{bWK} (κεφ. 4.2.1)

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW}(d_B) K_1(d_{eff})}{K_{\sigma}} = \frac{180 \cdot 1}{1.78} = 101.1 \text{ N/mm}^2$$

Συντελεστές καταπόνησης $\psi_{b\sigma K}$ (κεφ. 4.2.2)

$$\psi_{b\sigma K} = \frac{\sigma_{bWK}}{2K_1(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{bWK}} = \frac{101.1}{2 \cdot 1 \cdot 360 - 101.1} = 0.163$$

Επιτρεπόμενο ημιεύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής σ_{bADK} (κεφ. 4.2.2)

Περίπτωση φόρτισης F_1

$$\text{Ισχύει } \sigma_{mv} < \frac{\sigma_{bFK} - \sigma_{bWK}}{1 - \psi_{b\sigma K}} = \frac{310.2 - 101.1}{1 - 0.163} = 249.8 \text{ N/mm}^2 \text{ οπότε}$$

$$\sigma_{bADK} = \sigma_{bWK} - \psi_{b\sigma K} \sigma_{mv} = 101.1 - 0.163 \cdot 117.3 = 82 \text{ N/mm}^2$$

Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση S_D (κεφ. 4)

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2}} = \frac{\sigma_{bADK}}{\sigma_{ba}} = \frac{82}{35.2} = 2.33$$

Συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση S_F (κεφ. 6.)

Δίνεται από τη σχέση

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zdmax}}{\sigma_{zdFK}} + \frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tmax}}{\tau_{tFK}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bFK}}\right)^2}} = \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{bmax}}$$

Υπολογισμός της μέγιστης ονομαστικής τάσης σ_{bmax}

$$\sigma_{bmax} = \frac{M_{bmax}}{W_b}$$

Μέγιστη δύναμη

$$F_{max} = F_m + F_a = 3000 + 900 = 3900 \text{ N}$$

Μέγιστη ροπή

$$M_{max} = F_{max} \cdot 60 = 3900 \cdot 60 = 234000 \text{ Nmm}$$

Μέγιστη ονομαστική τάση

$$\sigma_{bmax} = \frac{M_{bmax}}{W_b} = \frac{M_{bmax}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{234000}{\frac{\pi \cdot 25^3}{32}} = 152.5 \text{ N/mm}^2$$

Οπότε προκύπτει

$$S_F = \frac{\sigma_{bFK}}{\sigma_{bmax}} = \frac{310.2}{152.5} = 2.03$$

$$\text{Άρα } S = \min(S_F, S_D) = \min(2.03, 2.33) \Rightarrow S = 2.03 \geq 1.2$$

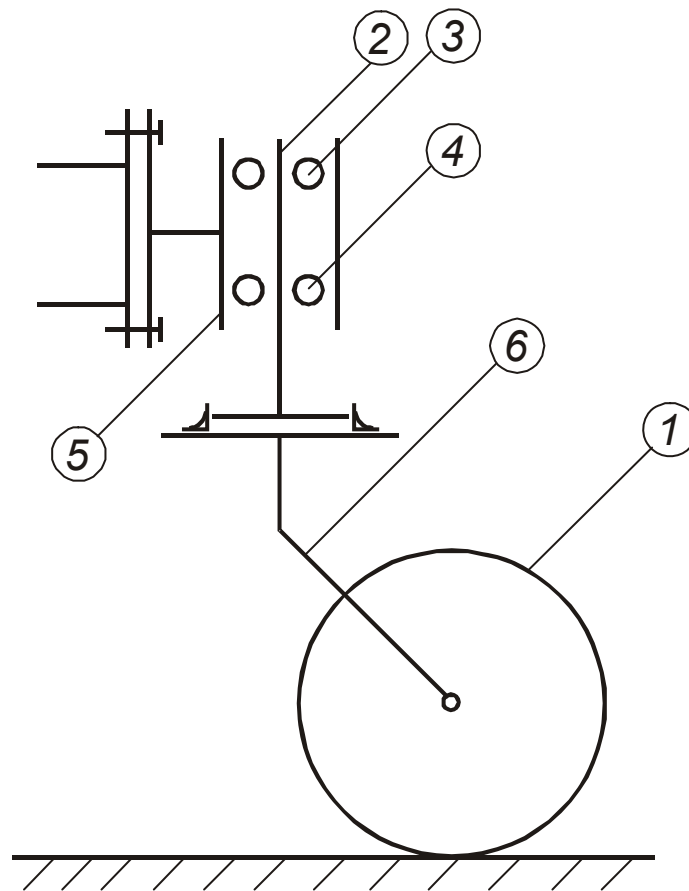
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
 ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Α.Π.Θ.
 ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΘ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

ΟΝΟΜΑ :
 ΕΠΙΘΕΤΟ :
 ΕΞΑΜΗΝΟ:
 Α.Ε.Μ. :
 Ημερομηνία : 8/9/2003

Κατασκευαστικό θέμα εξετάσεων Σεπτεμβρίου στο μάθημα ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι	Διάρκεια 2:00 ώρες
Επιτρέπονται όλα τα βοηθήματα	

ΤΡΟΧΟΣ ΒΑΓΟΝΕΤΟΥ

Στο παρακάτω σκαρίφημα παριστάνεται ο τροχός ενός βαγονέτου.



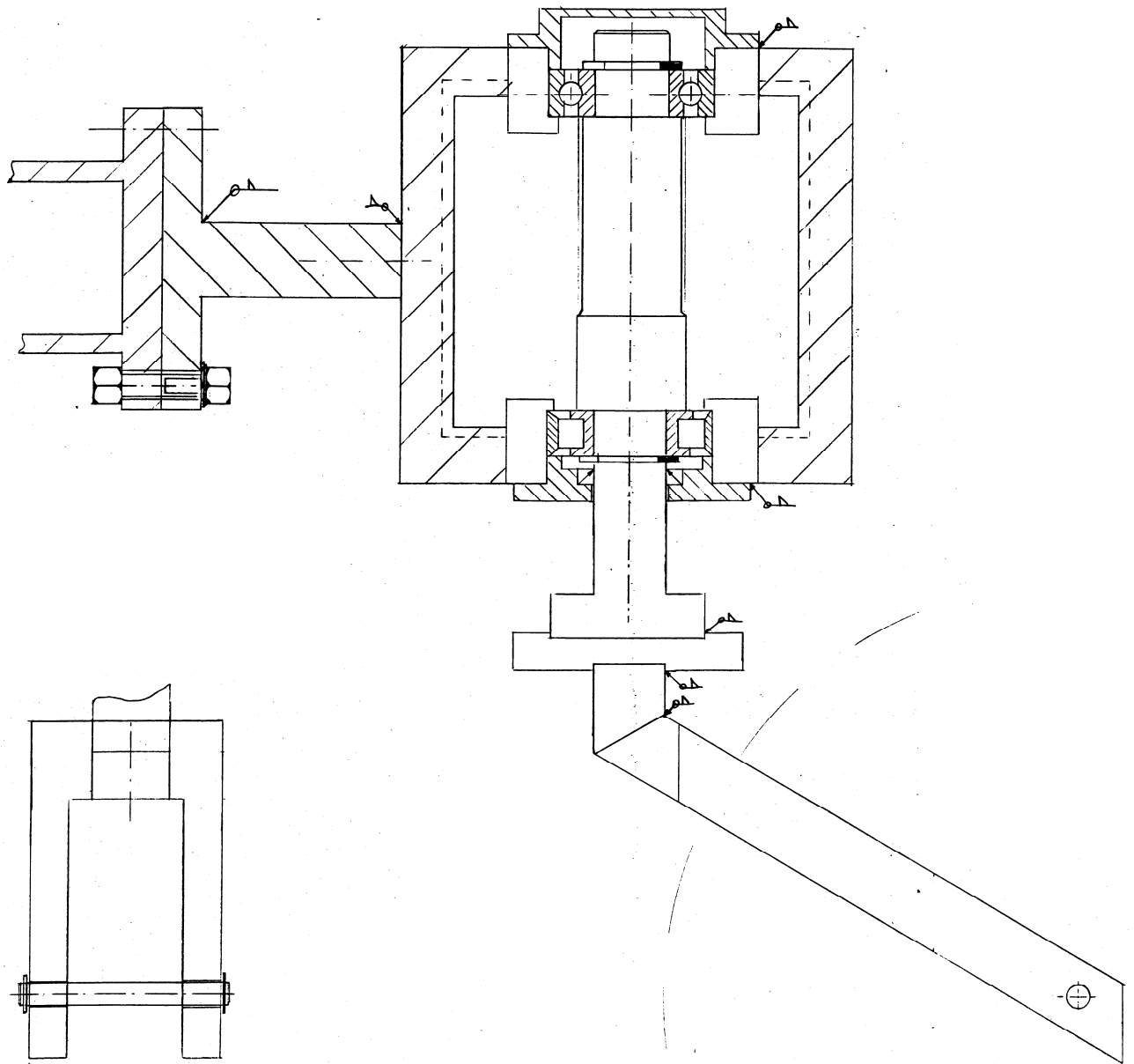
Ο τροχός (1) περιστρέφεται ελεύθερα περί τον άξονά του και προσαρμόζεται στη διεύθυνση κύλισης περιστρεφόμενος επίσης ελεύθερα περί τον άξονα του πείρου (2), ο οποίος εδράζεται με τα έδρανα κυλίσεως (3) και (4) στο κέλυφος (5).

Δεδομένα

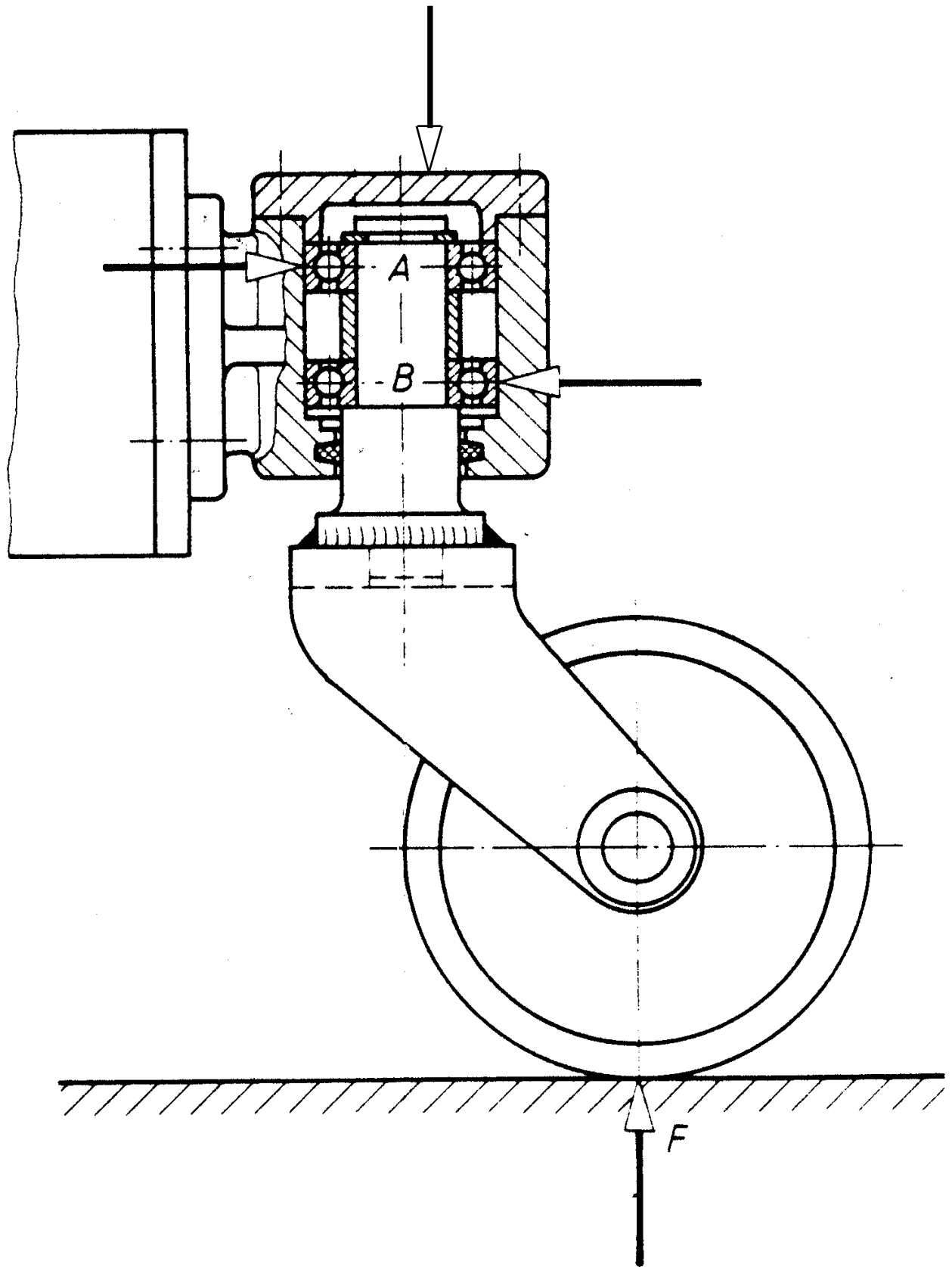
$F = 3 \text{ kN}$ δύναμη στον τροχό (1)
 $St \ 37$ υλικό κατασκευής
 $d = 120 \text{ mm}$ διάμετρος τροχού (1)
 Ρύπανση υψηλή
 Κατασκευή συγκολλητή

Ζητούμενα

Η σχεδίαση της κατασκευής.



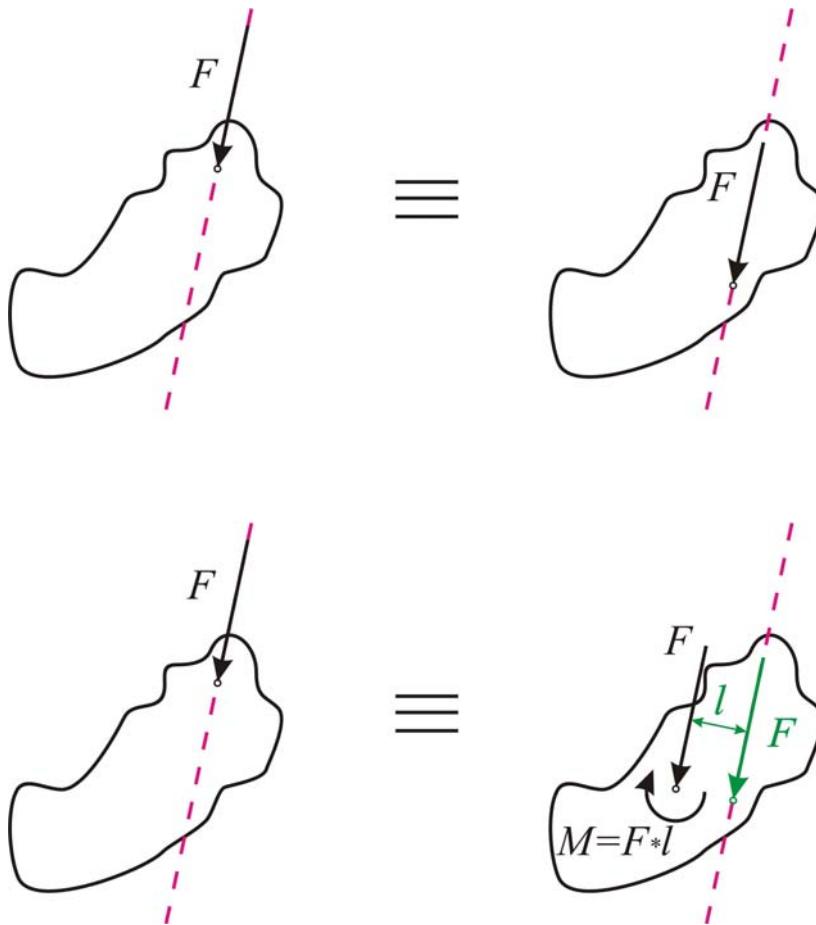
Παράδειγμα σχεδίασης κατά τις εξετάσεις. (Βρείτε τα λάθη)



Παράδειγμα σωστής σχεδίασης

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ

1)



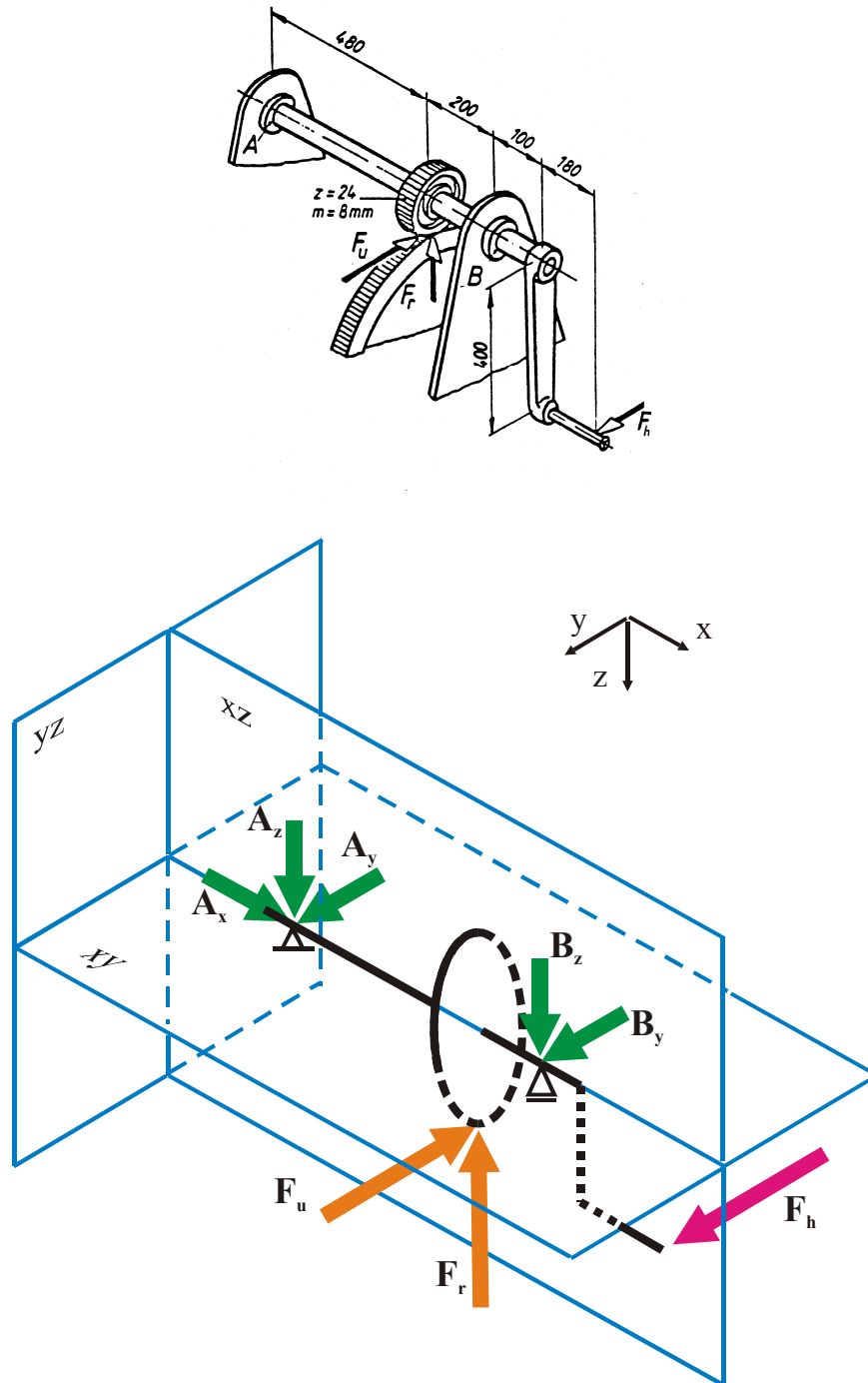
2) Εάν δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή και μεταφέρονται δυνάμεις τότε

- Η κάθετη δύναμη στην επιφάνεια έχει κατεύθυνση **προς το σώμα**
- Η εφαπτομενική δύναμη τριβής εάν δημιουργείται έχει διεύθυνση αντίθετη προς τη σχετική κίνηση

3) Σε ένα σώμα που ισορροπεί ισχύουν οι σχέσεις

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0, & \sum F_y &= 0, & \sum F_z &= 0 \\ \sum M_{xy} &= 0, & \sum M_{xz} &= 0, & \sum M_{yz} &= 0 \end{aligned} \quad \text{ως προς οποιοδήποτε σημείο}$$

Παράδειγμα Στατικής

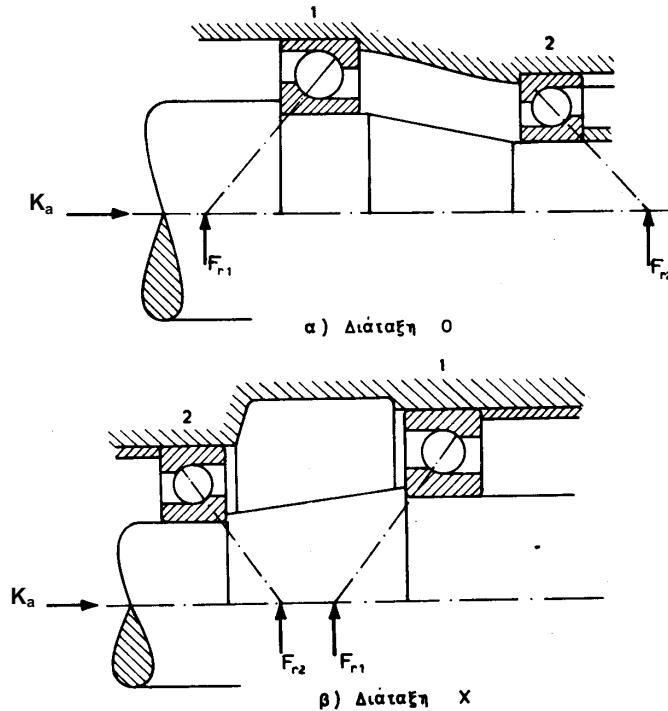


4) Για να υπολογίσουμε τις καταπονήσεις σε μία διατομή θεωρούμε πάκτωση στη θέση της διατομής και υπολογίζουμε τις καταπονήσεις είτε από τη μία είτε από την άλλη πλευρά της πάκτωσης.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ
ΕΛΛΗΝΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ**

Υπολογισμός ισοδύναμου φορτίου σε λοξά έδρανα

Στα λοξά έδρανα με σφαιρικά ή κωνικά σώματα κυλίσεως, που δεν παραλαμβάνουν μόνο αξονικά, αλλά και εγκάρσια φορτία, το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης φορτίσεώς τους βρίσκεται στο σημείο τομής του άξονα περιστροφής της ατράκτου με τις ευθείες πίεσεως των σωμάτων κυλίσεως. Οι ευθείες αυτές είναι οι ευθείες εφαρμογής των δυνάμεων φορτίσεως των σωμάτων κυλίσεως και συγκλίνουν όλες στο παραπάνω σημείο σχηματίζοντας μία γωνία πίεσεως, όπως φαίνεται και στα σχήματα.



Εκτός απ' αυτή την ιδιομορφία στα λοξά έδρανα αναπτύσσεται και μία πρόσθετη εσωτερική αξονική φόρτιση, η οποία οφείλεται ακριβώς στη γεωμετρία τους.

Για τον υπολογισμό του ισοδύναμου φορτίου των λοξών εδράνων συνιστάται από τους κατασκευαστές τους η εξής μέθοδος με την οποία λαμβάνεται υπόψη αυτή η πρόσθετη εσωτερική, αξονική φόρτιση:

1. Καθορίζεται η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί (0 ή X βλέπε σχήμα).
2. Ορίζεται ως έδρανο με τον αριθμό "1" αυτό που θα παραλάβει το εξωτερικό αξονικό φορτίο K_a . Το άλλο έδρανο συμβολίζεται με τον αριθμό "2".
3. Υπολογίζονται τα εγκάρσια φορτία F_{1r}, F_{2r} των εδράνων.
4. Από τους πίνακες των εδράνων λαμβάνονται οι μη μηδενικές τιμές των συντελεστών Y (που αντιστοιχούν στην περίπτωση $\frac{F_a}{F_r} > e$) για κάθε έδρανο (Y_1, Y_2).
5. Για τον υπολογισμό των αξονικών φορτίων F_{a1}, F_{a2} των εδράνων διακρίνονται δύο περιπτώσεις

a. Όταν $\frac{F_{r1}}{Y_1} \leq \frac{F_{r2}}{Y_2}$ και $K_a \geq 0$

$$\text{ή } \frac{F_{r1}}{Y_1} > \frac{F_{r2}}{Y_2} \text{ και } K_a \geq 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$$

τότε η πρόσθετη, εσωτερική αξονική φόρτιση των εδράνων έχει το μέγεθος $0.5 \cdot \left(\frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$ και

τα αξονικά φορτία είναι:

$$F_{a1} = K_a + 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r2}}{Y_2} \right) \text{ και } F_{a2} = 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$$

$$\text{b. Όταν } \frac{F_{r1}}{Y_1} > \frac{F_{r2}}{Y_2} \text{ και } K_a < 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$$

τότε η πρόσθετη, εσωτερική αξονική φόρτιση των εδράνων έχει το μέγεθος $0.5 \cdot \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} \right)$

και τα αξονικά φορτία είναι:

$$F_{a1} = 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} \right) \text{ και } F_{a2} = 0.5 \cdot \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} \right) - K_a$$

6. Τέλος υπολογίζεται το ισοδύναμο φορτίο για κάθε έδρανο από τη σχέση

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

όπου τα X και Y λαμβάνονται συναρτήσει του λόγου $\frac{F_a}{F_r}$

Ο ίδιος υπολογισμός των αξονικών φορτίων εφαρμόζεται και στην περίπτωση ελέγχου των εδράνων κυλίσεως σε πλαστική παραμόρφωση.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1**Ένσφαιρα έδρανα κυλίσεως**

Έστω μετά από την στατική ανάλυση υπολογίζεται ότι σε ένα έδρανο κυλίσεως οι δυνάμεις που εφαρμόζονται είναι $F_r = 240 \text{ Kp}$, $F_a = 130 \text{ Kp}$

Οι στροφές με τις οποίες περιστρέφεται η άτρακτος είναι $n = 1500 \text{ rpm}$ και η επιδιωκόμενη διάρκεια ζωής σε ώρες είναι $L_h = 20000 \text{ h}$

Υπολογισμός μελέτης (Πιν. Α 27)

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{130}{240} = 0.54 > e \Rightarrow X = 0.56, \quad Y \approx 1.5$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \cdot 240 + 1.5 \cdot 130 = 329.4 \text{ Kp}$$

$$C = P \left(\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 329.4 \left(\frac{60 \cdot 1500 \cdot 20000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 4007 \text{ Kp}$$

Τα έδρανα που έχουν αριθμό δυναμικής αντοχής μεγαλύτερο του C είναι 16022, 6018, 6213, 6309, 6407, 4212. Ανάλογα με την κατασκευαστική διαμόρφωση (διάμετρος εσωτερική, εξωτερική, πλάτος) επιλέγουμε την κατηγορία που θα χρησιμοποιήσουμε. Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε την κατηγορία 63.

Υπολογισμός ελέγχου

Έδρανο 6309

$$d = 45, \quad D = 100, \quad B = 25, \quad r = 2.5$$

$$C = 4150 \text{ Kp} \quad C_0 = 3000 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{130}{3000} = 0.043$$

Από τον Πίν. Α27 Β προκύπτει $e = 0.24$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.54 > e \Rightarrow X = 0.56, \quad Y = 1.85$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \cdot 240 + 1.85 \cdot 130 = 374.9 \text{ Kp}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P} \right)^k = \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \left(\frac{4150}{374.9} \right)^3 = 15071 \text{ h} < 20000 \text{ h}$$

Έδρανο 6310

$$d = 50, \quad D = 110, \quad B = 27, \quad r = 3$$

$$C = 4800 \text{ Kp} \quad C_0 = 3550 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{130}{3550} = 0.037$$

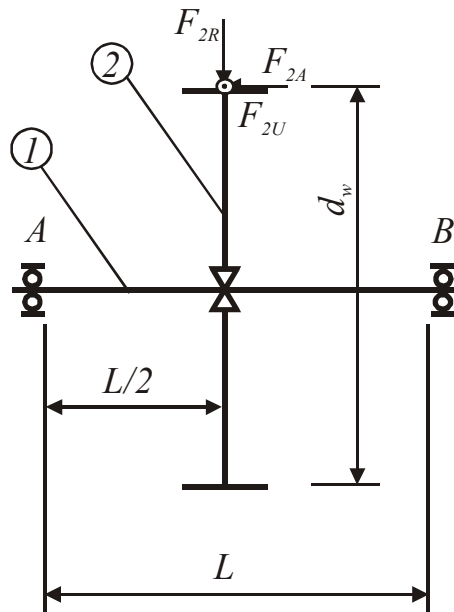
$$e = 0.23 \Rightarrow X = 0.56, Y = 1.9$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \cdot 240 + 1.9 \cdot 130 = 381.4 \text{ Kp}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P} \right)^k = \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \left(\frac{4800}{381.4} \right)^3 = 22148 h > 20000 h$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Στο παρακάτω σκαρίφημα παρουσιάζεται η έδραση της ατράκτου (1) στην οποία έχει τοποθετηθεί ο οδοντοτροχός (2)



$F_{2A} = 634 \pm 30\% \text{ Kp}$ αξονική συνιστώσα
 $F_{2R} = 802 \pm 30\% \text{ Kp}$ ακτινική συνιστώσα
 $F_{2U} = 1867 \pm 30\% \text{ Kp}$ περιφερειακή συνιστώσα
 $n = 1500 \text{ rpm}$ στροφές της ατράκτου (1)
 $L = 130 \text{ mm}$ εσωτερικό πλάτος κελύφους
 $d_w = 109.29 \text{ mm}$ διάμετρος κυλίσεως λειτουργίας
 $L_h = 50000 \text{ h}$ διάρκεια ζωής σε ώρες
 31314 έδρανο στη θέση A
 32016 έδρανο στη θέση B

Υπολογισμός ελέγχου κωνικών εδράνων κυλίσεως

Υπολογίζονται και τα δύο έδρανα συγχρόνως

31314 Έδρανο στη θέση A

$C = 187000 \text{ N}$

$e = 0.83$

$Y = 0.72$

$d = 70 \text{ mm}$

$D = 150 \text{ mm}$

$T = 38 \text{ mm}$

$C = 25 \text{ mm}$

$a = 45 \text{ mm}$

$B = 35 \text{ mm}$

32016 Έδρανο στη θέση B

$C = 138000 \text{ N}$

$e = 0.43$

$Y = 1.4$

$d = 80 \text{ mm}$

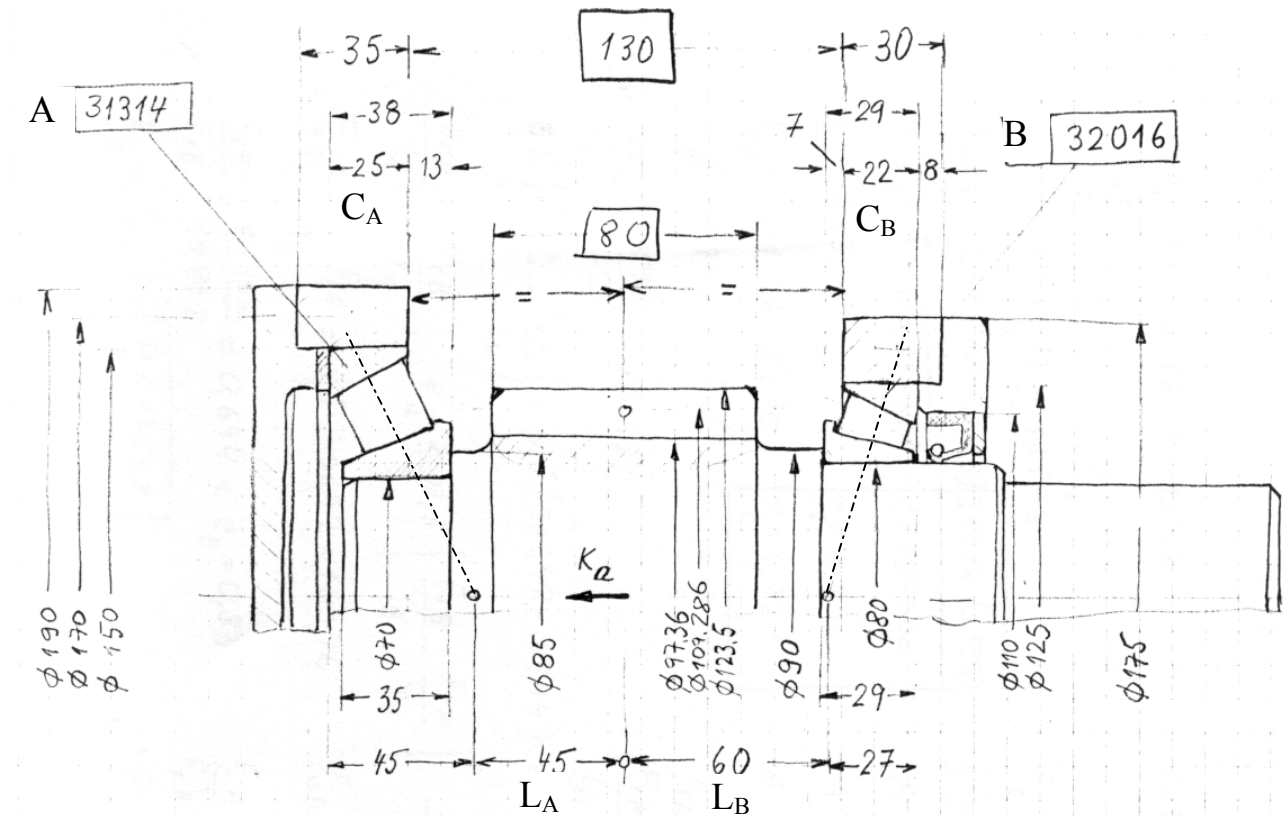
$D = 125 \text{ mm}$

$T = 29 \text{ mm}$

$C = 22 \text{ mm}$

$a = 27 \text{ mm}$

$B = 29 \text{ mm}$

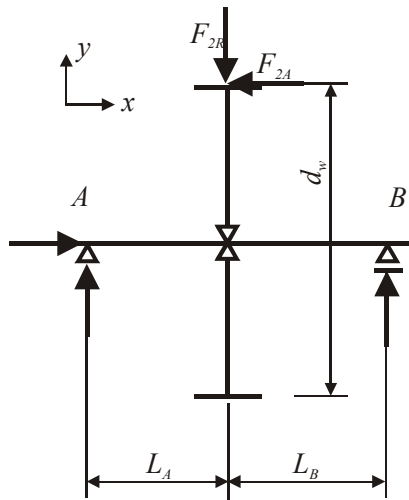


Θέση του κέντρου του κώνου πίεσης

$$L_A = \frac{130}{2} + C - a = 65 + 25 - 45 = 45 \text{ mm}$$

$$L_B = \frac{130}{2} + C - a = 65 + 22 - 27 = 60 \text{ mm}$$

Υπολογισμός αντιδράσεων



$$\sum F_x = 0 \Rightarrow A_x - F_{2A} = 0 \Rightarrow A_x = F_{2A} = 634 \text{ Kp}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow F_{2R} \cdot L_A - B_y(L_A + L_B) - F_{2A} \frac{d_w}{\gamma} = 0$$

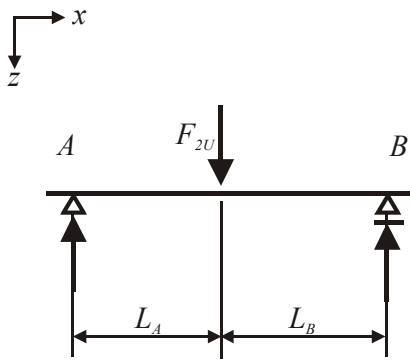
$$\Rightarrow B_y = \frac{F_{2R} \cdot 45 - F_{2A} \frac{d_w}{2}}{105} = \frac{802 \cdot 45 - 634 \cdot 54.7}{105}$$

$$\Rightarrow B_v = 13.4 \text{ Kp}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y = F_{2R} \Rightarrow A_y = F_{2R} - B_y$$

$$\Rightarrow A_v = 802 - 13.4$$

$$\Rightarrow A_v = 788.6 \text{ Kp}$$



$$\sum M_A = 0 \Rightarrow F_{2U} \cdot L_A - B_z (L_A + L_B) = 0$$

$$\Rightarrow B_z = \frac{F_{2U} \cdot 45}{105} = \frac{1867 \cdot 45}{105}$$

$$\Rightarrow B_z = 800 \text{ Kp}$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow A_z + B_z = F_{2U}$$

$$\Rightarrow A_z = F_{2U} - B_z = 1867 - 800$$

$$\Rightarrow A_z = 1065 \text{ Kp}$$

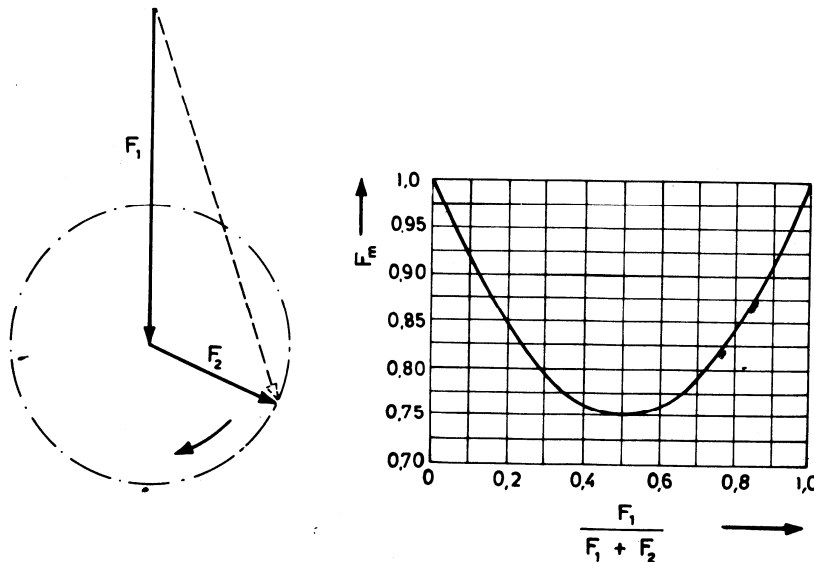
$$A_r = \sqrt{A_y^2 + A_z^2} = \sqrt{788.6^2 + 1065^2}$$

$$\Rightarrow A_r = 1325 \text{ Kp}$$

$$B_r = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{13.4^2 + 800^2}$$

$$\Rightarrow B_r = 800.1 \text{ Kp}$$

Από το σχήμα Λ 23 προκύπτει



Σχ. Λ 23: Ήμιτονοειδής διακύμανση φορτίου.

$$F_2 = 0.3 \cdot F_1 \Rightarrow \frac{F_1}{F_1 + F_2} = \frac{F_1}{F_1 + 0.3 \cdot F_1} = \frac{1}{1 + 0.3} = 0.77 \Rightarrow f_m = 0.82$$

Το έδρανο κυλίσεως που θα παραλάβει την αξονική δύναμη είναι το Α.

Οπότε $1 \rightarrow A$ και $2 \rightarrow B$

$$F_{r1} = f_m \cdot A_r \cdot (1 + 0.3) = 0.82 \cdot 1325 \cdot 1.3$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 1412 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_{r1}}{Y_1} = \frac{1412}{0.72} = 1961$$

$$0.5 \cdot \left[\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right] = 0.5 \cdot [1961 - 609.2] = 675.9$$

$$K_a = 0.82 \cdot A_x \cdot 1.3 = 0.82 \cdot 634 \cdot 1.3 = 675.8 \text{ Kp}$$

$$F_{r2} = f_m \cdot B_r \cdot (1 + 0.3) = 0.82 \cdot 800.1 \cdot 1.3$$

$$\Rightarrow F_{r2} = 852.9 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_{r2}}{Y_2} = \frac{852.9}{1.4} = 609.2$$

Ισχύουν οι σχέσεις

$$\frac{F_{r1}}{Y_1} > \frac{F_{r2}}{Y_2} \text{ και } K_a < 0.5 \cdot \left[\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right]$$

Οπότε ισχύει

$$F_{a1} = 0.5 \cdot \frac{F_{r1}}{Y_1} = 0.5 \cdot 1961$$

$$\Rightarrow F_{aA} = F_{a1} = 980.5 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{980.5}{1412} = 0.69 < e_A = 0.83$$

$$X_A = 1, \quad Y_A = 0$$

$$P_A = X_A \cdot F_{rA} + Y_A \cdot F_{aA} = 1 \cdot 1412 + 0 \cdot 980.5$$

$$\Rightarrow P_A = 1412 \text{ Kp} \approx 14120 \text{ N}$$

$$L_{hA} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C_A}{P_A} \right)^k = \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \left(\frac{187000}{14120} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$\Rightarrow L_{hA} = 61062 \text{ h}$$

$$F_{a2} = 0.5 \cdot \frac{F_{r1}}{Y_1} - K_a = 0.5 \cdot 1961 - 675.8$$

$$\Rightarrow F_{aB} = F_{a2} = 304.7 \text{ Kp}$$

$$\frac{F_{aB}}{F_{rB}} = \frac{304.7}{852.9} = 0.36 < e_B = 0.42$$

$$X_B = 1, \quad Y_B = 0$$

$$P_B = X_B \cdot F_{rB} + Y_B \cdot F_{aB} = 1 \cdot 852.9 + 0 \cdot 304.7$$

$$\Rightarrow P_B = 852.9 \text{ Kp} \approx 8529 \text{ N}$$

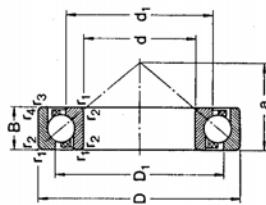
$$L_{hB} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C_B}{P_B} \right)^k = \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \left(\frac{138000}{8529} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$\Rightarrow L_{hB} = 119040 \text{ h}$$

Η διάρκεια ζωής σε ώρες του εδράνου Β είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη οπότε μπορούμε να επιλέξουμε ένα άλλο έδρανο κυλίσσεως με μικρότερο αριθμό δυναμικής αντοχής.

Τυποποιήσεις λοξών εδράνων

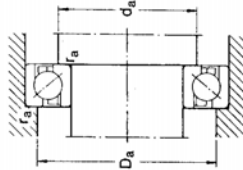
Angular contact ball bearings
single row
d 10–65 mm



Principal dimensions		Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
		dynamic	static		Lubrication	oil		
d	D	C	C_0	N	grease	kg		
10	30	9	7 020	3 350	19 000	28 000	0.030	7200 BE
12	32	10	7 610	3 800	18 000	26 000	0.036	7201 BE
15	35	11	8 840	4 800	17 000	24 000	0.045	7202 BE
17	40	12	11 100	6 100	15 000	20 000	0.060	7203 BE
20	47	14	15 900	8 300	13 000	18 000	0.11	7204 BE
25	52	15	19 000	10 400	12 000	17 000	0.11	7205 BE
30	62	16	23 800	15 600	10 000	15 000	0.13	7206 BE
35	72	17	30 700	20 800	8 500	12 000	0.20	7207 BE
40	80	18	36 400	26 000	8 000	11 000	0.23	7208 BE
45	85	19	37 700	28 000	7 500	10 000	0.26	7209 BE
50	90	20	43 500	33 500	6 000	8 000	0.34	7210 BE
55	100	21	48 900	38 000	5 300	7 000	0.45	7211 BE
60	110	22	57 200	45 500	4 800	6 300	0.62	7212 BE
65	120	23	66 300	54 000	4 500	6 000	0.80	7213 BE
							1.75	7301 BE
							1.10	7302 BE
							0.63	7303 BE
							0.42	7304 BE
							0.20	7305 BE
							0.13	7306 BE
							0.085	7307 BE
							0.11	7308 BE
							0.14	7309 BE
							0.13	7310 BE
							0.23	7311 BE
							0.20	7312 BE
							0.34	7313 BE
							0.28	7314 BE
							0.45	7315 BE
							0.62	7316 BE
							0.80	7317 BE
							1.75	7318 BE
							1.10	7319 BE
							0.63	7320 BE
							0.42	7321 BE
							0.20	7322 BE
							0.13	7323 BE
							0.085	7324 BE
							0.11	7325 BE
							0.14	7326 BE
							0.13	7327 BE
							0.23	7328 BE
							0.20	7329 BE
							0.34	7330 BE
							0.28	7331 BE
							0.45	7332 BE
							0.62	7333 BE
							0.80	7334 BE
							1.75	7335 BE
							1.10	7336 BE
							0.63	7337 BE
							0.42	7338 BE
							0.20	7339 BE
							0.13	7340 BE
							0.085	7341 BE
							0.11	7342 BE
							0.14	7343 BE
							0.13	7344 BE
							0.23	7345 BE
							0.20	7346 BE
							0.34	7347 BE
							0.28	7348 BE
							0.45	7349 BE
							0.62	7350 BE
							0.80	7351 BE
							1.75	7352 BE
							1.10	7353 BE
							0.63	7354 BE
							0.42	7355 BE
							0.20	7356 BE
							0.13	7357 BE
							0.085	7358 BE
							0.11	7359 BE
							0.14	7360 BE
							0.13	7361 BE
							0.23	7362 BE
							0.20	7363 BE
							0.34	7364 BE
							0.28	7365 BE
							0.45	7366 BE
							0.62	7367 BE
							0.80	7368 BE
							1.75	7369 BE
							1.10	7370 BE
							0.63	7371 BE
							0.42	7372 BE
							0.20	7373 BE
							0.13	7374 BE
							0.085	7375 BE
							0.11	7376 BE
							0.14	7377 BE
							0.13	7378 BE
							0.23	7379 BE
							0.20	7380 BE
							0.34	7381 BE
							0.28	7382 BE
							0.45	7383 BE
							0.62	7384 BE
							0.80	7385 BE
							1.75	7386 BE
							1.10	7387 BE
							0.63	7388 BE
							0.42	7389 BE
							0.20	7390 BE
							0.13	7391 BE
							0.085	7392 BE
							0.11	7393 BE
							0.14	7394 BE
							0.13	7395 BE
							0.23	7396 BE
							0.20	7397 BE
							0.34	7398 BE
							0.28	7399 BE
							0.45	7400 BE

294

SKF

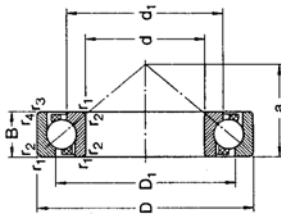


Dimensions		Abutment and fillet dimensions		a	r _{1,2}		r _{1,2}		r _{1,2}		r _{1,2}	
		d ₁	D ₁		min	max	min	max	min	max	min	max
d	d ₁	d ₁	D ₁	a	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}	r _{1,2}
10	18.2	23.1	0.6	0.3	13	15	25	0.6				
12	20.2	25.1	0.6	0.3	14	17	27	0.6				
15	22.7	28	0.6	0.3	16	20	30	0.6				
17	25.9	32.9	1	0.6	19	21	36	1				
20	30.7	37.2	1	0.6	21	26	41	1				
25	35.7	43.2	1	0.6	24	31	46	1				
30	42.3	50.8	1	0.6	27	36	56	1				
35	49.3	59	1.1	0.6	31	42	65	1				
40	55.9	66.3	1.1	0.6	34	47	73	1				
45	60.5	70.9	1.1	0.6	37	52	78	1				
50	65.5	75.9	1.1	0.6	39	57	83	1				
55	72.4	84.1	1.5	1	43	64	91	1.5				
60	79.3	92.5	1.5	1	47	69	101	1.5				
65	86.3	101	1.5	1	50	74	111	1.5				
	93.8	114	2.1	1.1	60	77	128	2				

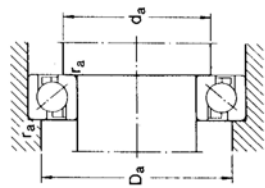
SKF

295

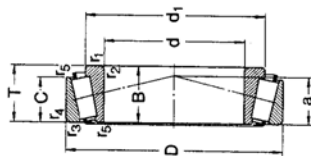
Angular contact ball bearings
single row
d 70–160 mm



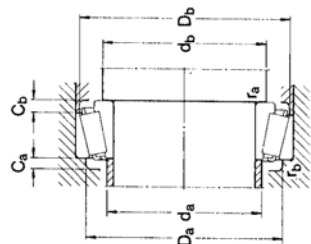
Principal dimensions		Basic load ratings			Fatigue load limit		Speed ratings		Mass		Designation	
d	D	B	C	C ₀	P ₀	P _u	grease	oil	kg	kg		
mm												
70	125	24	71 500	60 000	2 500	2 500	4 300	5 600	1,10	2,65	7214 BE	7314 BE
75	130	25	72 800	64 000	2 650	2 650	4 300	5 600	1,20	2,80	7215 BE	7315 BE
80	140	26	83 200	73 500	3 000	3 000	3 800	4 800	1,45	3,20	7216 BE	7316 BE
85	150	28	95 600	83 000	3 250	3 250	3 600	4 800	1,85	3,80	7217 BE	7317 BE
90	160	30	108 000	96 500	3 650	3 650	3 400	4 500	2,30	4,45	7218 BE	7318 BE
95	170	32	124 000	108 000	4 000	4 000	3 200	4 300	2,70	5,20	7219 BE	7319 BE
100	180	34	135 000	122 000	4 400	4 400	3 000	4 000	3,30	6,05	7220 BE	7320 BE
105	190	36	148 000	137 000	4 800	4 800	2 800	3 800	3,95	7,50	7221 BE	7321 BE
110	200	38	163 000	153 000	5 200	5 200	2 600	3 600	4,80	8,55	7222 BE	7322 BE
120	215	40	165 000	163 000	5 300	5 300	2 200	3 200	6,10	10,0	7224 B	7324 B
130	230	40	186 000	193 000	6 100	6 100	1 900	2 800	6,95	11,5	7226 B	7326 B
140	250	42	182 000	196 000	5 850	5 850	1 800	2 600	8,85	17,5	7228 B	7328 B
150	270	45	195 000	224 000	6 550	6 550	1 700	2 400	11,5	21,5	7230 BCB	7330 BCB
160	290	48	199 000	236 000	6 700	6 700	1 600	2 200	14,0	26,0	7232 BCB	7332 BCB



**Taper roller bearings
single row
d 15–35 mm**

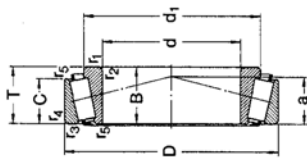


Principal dimensions	Basic load ratings			Fatigue load limit P_u	Speed ratings Lubrication grease oil	Mass	Designation	Dimension Series to ISO 355			
	d	D	T						C	C ₀	N
mm											
15	42	14,25		22 400	20 000	2 120	9 000	0,095	30302	2FB	
17	40	13,25		19 000	18 600	1 860	9 000	0,075	30203	2DB	
	47	15,25		28 100	25 000	2 750	8 500	0,13	30303	2FB	
		20,25		34 700	33 500	3 650	8 000	0,17	32303	2FD	
20	42	15		24 200	27 000	2 700	8 500	0,097	32004 X	3CC	
	47	15,25		27 500	28 000	3 000	8 000	0,12	30204	2DB	
	52	16,25		34 100	32 500	3 600	8 000	0,17	30304	2FB	
52	22,25		44 000	45 500	5 000	7 500	0,23	32304	2FD		
22	44	15		25 100	29 000	2 900	8 000	0,10	320/22 X	3CC	
	47	17		34 100	36 500	3 900	8 000	0,14	T2CC 022	2CC	
	25	47	15		27 000	32 500	3 350	8 000	0,11	32005 X	4CC
52		16,25		33 800	33 500	3 550	7 500	0,15	30205	3CC	
52		22,25		43 500	44 000	4 750	7 000	0,19	32205 B	5CD	
62	62	18,25		44 600	43 000	4 600	6 700	0,23	33205	2DE	
	62	18,25		38 000	40 000	4 400	6 000	0,26	30305	2FB	
	62	25,25		60 500	63 000	7 100	6 000	0,36	32305	2FD	
28	52	16		31 900	38 000	4 000	7 000	0,15	320/28 X	4CC	
	58	20,25		41 800	50 000	5 500	6 300	0,25	322/28 B	5DD	
	30	55	17		35 800	44 000	4 650	6 700	0,17	32006 X	4CC
62		17,25		40 200	44 000	4 800	6 300	0,23	30206	3DB	
62		21,25		50 100	57 000	6 500	6 300	0,28	32206	3DB	
62	62	21,25		59 500	58 500	6 550	6 000	0,30	32206 B	5DC	
	62	25		64 400	56 000	6 500	5 800	0,37	33206	2DE	
	72	20,75		56 100	56 000	6 000	5 800	0,39	30306	2FB	
72	72	20,75		47 300	50 000	5 400	5 000	0,39	30306	2FB	
	72	28,75		76 500	85 000	9 650	5 300	0,55	32306	2FD	
	32	58	17		36 900	46 500	4 900	6 300	0,19	320/32 X	4CC
35		62	18		42 900	54 000	5 850	6 000	0,22	32007 X	4CC
		72	18,25		51 200	56 000	6 200	5 300	0,32	30207	3DB
	72	24,25		66 000	78 000	8 650	5 300	0,43	32207	3DB	
72	72	24,25		60 500	75 000	8 300	5 300	0,44	32207 B	5DC	
	72	28		84 200	106 000	11 800	4 800	0,56	32307	2DE	

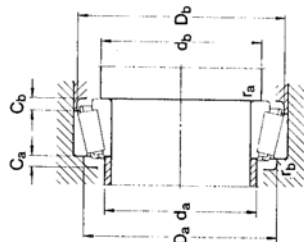


Dimensions	Abutment and fillet dimensions														Calculation factors					
	d	d ₁	B	C	r _{1,2} min	r _{3,4} min	f _{3,4} min	a	d _a max	d _b min	D _a min	D _b max	C _a min	C _b min	r _a max	f _b max	e	Y	Y ₀	
mm																				
15	27,3	13	11	1	1	0,3	9	22	21	36	36	38	2	3	1	1	0,28	2,1	1,1	
17	28	12	11	1	1	0,3	10	23	34	34	37	2	2	1	1	0,35	1,7	0,9		
	30,4	14	12	1	1	0,3	10	25	23	40	41	42	2	3	1	1	0,28	2,1	1,1	
	30,7	19	16	1	1	0,3	12	24	23	39	41	43	3	4	1	1	0,28	2,1	1,1	
20	31,1	15	12	1	0,6	0,6	0,3	10	25	25	36	37	39	2	3	0,6	0,6	0,37	1,6	0,9
	33,2	14	12	1	1	0,3	11	27	26	40	41	43	2	3	1	1	0,35	1,7	0,9	
	34,3	15	13	1	1,5	1,5	0,6	11	28	27	44	45	47	2	3	1	1	0,30	2	1,1
21	34,5	21	18	1	1,5	1,5	0,6	14	27	27	43	45	47	3	4	1	1	0,30	2	1,1
	34,5	21	18	1	1,5	1,5	0,6	14	27	27	43	45	47	3	4	1	1	0,30	2	1,1
	34,5	21	18	1	1,5	1,5	0,6	14	27	27	43	45	47	3	4	1	1	0,30	2	1,1
22	33,4	15	11,5	0,6	0,6	0,3	11	27	27	38	39	41	3	3,5	0,6	0,6	0,40	1,5	0,8	
	34	17,5	13,5	1	1	0,3	11	28	28	40	41	44	4	3,5	1	1	0,33	1,8	1	
	34	17,5	13,5	1	1	0,3	11	28	28	40	41	44	4	3,5	1	1	0,33	1,8	1	
25	36,5	15	11,5	0,6	0,6	0,3	11	30	30	40	42	44	3	3,5	0,6	0,6	0,43	1,4	0,8	
	37,4	15	13	1	1	0,3	12	31	31	44	46	48	2	3	1	1	0,37	1,6	0,9	
	40,2	18	15	1	1	0,3	16	30	31	41	46	50	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6	
26	38,6	22	18	1	1	0,3	14	30	31	43	46	49	4	4	1	1	0,35	1,7	0,9	
	41,5	17	15	1	1,5	1,5	0,6	13	34	32	54	55	57	2	3	1	1	0,30	2	1,1
	45,8	17	13	1	1,5	1,5	0,6	20	34	32	47	55	59	3	5	1	1	0,83	0,72	0,4
27	41,7	24	20	1,5	1,5	1,5	0,6	15	33	32	52	55	57	3	5	1	1	0,30	2	1,1
	41,7	24	20	1,5	1,5	1,5	0,6	15	33	32	52	55	57	3	5	1	1	0,30	2	1,1
	41,7	24	20	1,5	1,5	1,5	0,6	15	33	32	52	55	57	3	5	1	1	0,30	2	1,1
28	40,3	16	12	1	1	0,3	12	34	34	45	46	49	3	4	1	1	0,43	1,4	0,8	
	43,9	19	16	1	1	0,3	17	33	34	46	52	55	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6	
	43,9	19	16	1	1	0,3	17	33	34	46	52	55	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6	
30	43	17	13	1	1	0,3	13	35	36	48	49	52	3	4	1	1	0,43	1,4	0,8	
	44,6	16	14	1	1	0,3	14	38	36	53	56	57	2	3	1	1	0,37	1,6	0,9	
	45,2	20	17	1	1	0,3	15	37	36	52	56	58	3	4	1	1	0,37	1,6	0,9	
31	47,3	20	17	1	1	0,3	18	36	36	50	56	60	3	4	1	1	0,57	1,05	0,6	
	45,8	25	19,5	1	1	0,3	16	36	36	53	56	59	5	5,5	1	1	0,35	1,7	0,9	
	48,4	19	16	1	1,5	1,5	0,6	15	41	37	62	65	66	3	4,5	1	1	0,31	1,9	1,1
32	52,7	19	14	1	1,5	1,5	0,6	22	40	37	55	65	68	3	4,5	1	1	0,83	0,72	0,4
	48,7	27	23	1,5	1,5	1,5	0,6	18	39	37	59	65	66	3	5,5	1	1	0,31	1,9	1,1
	48,7	27	23	1,5	1,5	1,5	0,6	18	39	37	59	65	66	3	5,5	1	1	0,31	1,9	1,1
32	45,6	17	13	1	1	0,3	14	38	38	50	52	55	3	4	1	1	0,46	1,3	0,7	
	45,6	17	13	1	1	0,3	14	38	38	50	52	55	3	4	1	1	0,46	1,3	0,7	
	45,6	17	13	1	1	0,3	14	38	38	50	52	55	3	4	1	1	0,46	1,3	0,7	
35	49,2	18	14	1	1	0,3	15	41	41	54	56	59	4	4	1	1	0,46	1,3	0,7	
	51,8	17	15	1	1,5	1,5	0,6	15	44	42	62	65	67	3	5	1	1	0,37	1,6	0,9
	51,8	17	15	1	1,5	1,5	0,6	15	44	42	62	65	67	3	5	1	1	0,37	1,6	0,9
36	55,1	23	19	1	1,5	1,5	0,6	17	43	42	61	65	67	3	5	1	1	0,57	1,05	0,6
	55,1	23	19	1	1,5	1,5	0,6	17	43	42	61	65	67	3	5	1	1	0,57	1,05	0,6
	55,1	23	19	1	1,5	1,5	0,6	17	43	42	61	65	67	3	5	1	1	0,57	1,05	0,6
37	53,4	28	22	1,5	1,5	1,5	0,6	18	42	42	61	65	68	5	6	1	1	0,35	1,7	0,9
	53,4	28	22	1,5	1,5	1,5	0,6	18	42	42	61	65	68	5	6	1	1	0,35	1,7	0,9
	53,4	28	22	1,5	1,5	1,5	0,6	18	42	42	61	65	68	5	6	1	1	0,35	1,7	0,9

Taper roller bearings
single row
d 35-50 mm

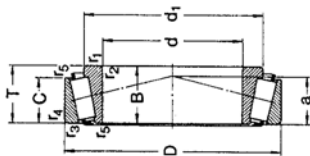


Principal dimensions		Basic load ratings		Fatigue load limit		Speed ratings		Mass		Designation		Dimension Series to ISO 355	
d	D	T	C	C ₀	P ₀	r/min	kg						
mm			N	N	N								
35													
80	22,75	72	100	73 500	8 500	5 000	6 700	0,52	31307	2FB			
80	22,75	61 600	67 000	7 800	7 800	4 500	6 000	0,52	31307	2FE			
80	32,75	95 200	106 000	12 200	13 200	4 800	6 300	0,73	32307 B	5FE			
40													
68	19	52 800	71 000	7 800	7 800	5 300	7 000	0,27	32008 X	3CD			
75	28	79 200	104 000	11 600	11 600	5 000	6 700	0,51	32008 X	2CE			
80	32,75	91 600	116 000	12 800	13 800	4 800	6 300	0,42	32008	3DB			
80	32,75	91 600	116 000	12 800	13 800	4 800	6 300	0,42	32008	3DB			
80	32	105 000	132 000	15 300	16 300	4 300	6 000	0,73	32208	3DC			
85	33	121 000	150 000	17 300	18 300	4 300	6 000	0,90	32208	3DE			
90	25,25	85 800	95 000	11 000	11 000	4 500	6 000	0,72	32308	2FE			
90	25,25	73 700	81 500	9 650	9 650	4 000	5 300	0,72	31308	2FB			
90	35,25	117 000	140 000	16 300	16 300	4 000	5 300	1,00	32308	2FD			
90	35,25	108 000	140 000	16 300	16 300	4 000	5 300	1,10	32308 B	5FD			
45													
75	20	58 300	80 000	8 800	8 800	4 800	6 300	0,34	32009 X	3CC			
80	26	84 200	114 000	12 900	12 900	4 500	6 000	0,56	33109	3CE			
85	20,75	66 000	76 500	8 650	8 650	4 500	6 000	0,48	32009	3DB			
85	24,75	73 700	83 000	11 200	11 200	4 300	5 800	0,58	32209	3DC			
85	32	108 000	143 000	16 900	16 900	4 000	5 300	0,82	32209 B	3DC			
95	36	89 700	112 000	12 900	12 900	3 600	4 800	0,92	327EC 045	7FC			
95	36	147 000	186 000	21 200	21 200	4 000	5 300	1,20	T2ED 045	2ED			
100	27,25	91 300	102 000	14 600	14 600	4 000	5 300	0,97	33009	2FB			
100	27,25	81 000	102 000	12 500	12 500	3 400	4 500	0,95	31309	2FE			
100	38,25	140 000	176 000	20 400	20 400	3 600	4 800	1,35	32309	2FD			
100	38,25	134 000	176 000	20 400	20 400	3 600	4 800	1,45	32309 B	5FD			
50													
80	20	60 500	88 000	9 650	9 650	4 500	6 000	0,37	32010 X	3CC			
80	24	69 300	102 000	11 400	11 400	4 500	6 000	0,45	33010	2CE			
82	21,5	72 100	100 000	11 000	11 000	4 500	6 000	0,43	K-JLM 104948/K-JLM 104910	-			
85	26	85 800	122 000	13 700	13 700	4 300	5 600	0,59	33110	3CE			
85	24,75	82 500	100 000	10 400	10 400	4 300	5 600	0,54	30210	3DB			
90	24,75	82 500	100 000	10 400	10 400	4 300	5 600	0,54	30210	3DB			
90	24,75	82 500	100 000	10 400	10 400	4 300	5 600	0,54	30210	3DB			
90	28	106 000	140 000	16 300	16 300	4 000	5 300	0,75	K-JLM 205149/K-JLM 205110	3DC			
90	28	106 000	140 000	16 300	16 300	4 000	5 300	0,75	K-JLM 205149/K-JLM 205110 A	-			
90	32	114 000	160 000	18 300	18 300	3 800	5 000	0,90	33210	3DE			
100	36	154 000	200 000	22 800	22 800	3 800	5 000	1,30	T2ED 050	2ED			
105	32	108 000	137 000	16 000	16 000	3 200	4 300	1,20	T2FC 050	7FC			



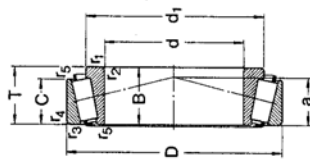
Dimensions				Abutment and fillet dimensions												Calculation factors		
d	d ₁	B	C	r _{1,2} min	r _{3,4} min	r ₅ min	a	d _a max	d _b min	D _a min	D _b max	C _a min	C _b min	r _a min	r _b max	e	Y	Y ₀
mm																		
35																		
54,5	21	18	2	1,5	0,6	16	46	44	70	71	74	3	4,5	1,5	1,5	0,31	1,9	1,1
59,6	21	15	2	1,5	0,6	25	45	44	62	71	76	3	7,5	1,5	1,5	0,83	0,72	0,4
54,8	31	25	2	1,5	0,6	24	44	44	66	71	74	4	7,5	1,5	1,5	0,31	1,9	1,1
59,3	31	25	2	1,5	0,6	24	44	44	61	71	76	4	7,5	1,5	1,5	0,54	1,1	0,6
40																		
54,2	19	14,5	1	1	0,3	15	46	46	60	62	65	4	4,5	1	1	0,37	1,6	0,9
57,5	26	20,5	1,5	1,5	0,6	18	47	47	65	68	71	4	5,5	1	1	0,35	1,7	0,9
57,5	18	16	1,5	1,5	0,6	16	49	47	69	73	74	3	3,5	1	1	0,37	1,6	0,9
58,4	23	19	1,5	1,5	0,6	19	49	47	68	73	75	3	5,5	1	1	0,37	1,6	0,9
59,7	32	25	1,5	1,5	0,6	21	47	47	67	73	76	5	7	1	1	0,35	1,7	0,9
61,2	32,5	28	2,5	2	0,6	22	48	48	70	75	80	5	5	2	2	0,35	1,7	0,9
62,5	33	27	2	1,5	0,6	19	53	49	77	81	82	3	8	1,5	1,5	0,83	0,72	0,4
62,5	33	27	2	1,5	0,6	19	53	49	77	81	86	3	8	1,5	1,5	0,35	1,7	0,9
62,9	33	27	2	1,5	0,6	23	51	49	73	81	82	3	8	1,5	1,5	0,35	1,7	0,9
67,1	33	27	2	1,5	0,6	27	50	49	67	81	84	4	8	1,5	1,5	0,54	1,1	0,6
67,1	33	27	2	1,5	0,6	27	50	49	67	81	84	4	8	1,5	1,5	0,54	1,1	0,6
45																		
60,4	20	15,5	1	1	0,3	16	52	51	67	69	72	4	4,5	1	1	0,40	1,5	0,8
62,7	26	20,5	1,5	1,5	0,6	19	52	52	69	73	77	4	5,5	1	1	0,37	1,6	0,9
63	19	16	1,5	1,5	0,6	18	54	52	74	78	80	3	4,5	1	1	0,40	1,5	0,8
64	23	19	1,5	1,5	0,6	20	54	52	73	78	80	3	5,5	1	1	0,40	1,5	0,8
66,7	23	19	1,5	1,5	0,6	23	53	52	70	78	80	4	5,5	1	1	0,60	1,5	0,6
65,2	32	25	1,5	1,5	0,6	22	52	52	72	78	81	5	7	1	1	0,40	1,5	0,8
74	26,5	20	2,5	2,5	0,6	32	55	55	71	83	91	3	8	2	2	0,68	0,68	0,4
68,5	25	20	2,5	2,5	0,6	33	55	55	80	83	89	6	2	2	2	0,68	0,68	0,4
70,7	25	22	2	1,5	0,6	21	59	54	86	91	92	3	5	1,5	1,5	0,35	1,7	0,9
74,7	25	18	2	1,5	0,6	31	57	54	79	91	95	4	9	1,5	1,5	0,83	0,72	0,4
70,4	36	30	2	1,5	0,6	25	57	54	82	91	93	4	8	1,5	1,5	0,35	1,7	0,9
74,8	36	30	2	1,5	0,6	30	55	54	76	91	94	5	8	1,5	1,5	0,54	1,1	0,6
50																		
65,6	20	15,5	1	1	0,3	18	57	56	72	74	77	4	4,5	1	1	0,43	1,4	0,8
64,9	24	19	1	1	0,3	17	56	56	72	74	76	4	5	1	1	0,31	1,9	1,1
65,1	21,5	17	3	0,5	0,6	16	57	56	74	77	78	4	4,5	2,5	0,5	0,30	2,0	1,1
67,9	26	20	1,5	1,5	0,6	19	57	57	74	78	82	4	6	1	1	0,40	1,5	0,8
67,9	20	17	1,5	1,5	0,6	19	58	57	79	83	85	3	4,5	1	1	0,43	1,4	0,8
68,5	23	19	1,5	1,5	0,6	21	58	57	78	83	85	3	5,5	1	1	0,43	1,4	0,8
68,5	23	18	1,5	1,5	0,6	21	58	57	76	83	87	4	6,5	1	1	0,60	1,5	0,6
70,8	23	18	3	2,5	0,6	20	58	58	74	78	82	5	2	2,5	0,8	0,33	1,8	1
68,7	28	23	3	0,6	0,6	23	59	58	74	78	85	5	5	2,5	0,8	0,33	1,8	1
68,7	28	23	3	0,6	0,6	23	59	58	74	78	85	5	5	2,5	0,8	0,33	1,8	1
73,5	32	30,5	3	1,5	0,6	23	57	57	77	83	87	5	7,5	1	1	0,40	1,5	0,8
73,5	32	30,5	3	1,5	0,6	23	57	57	77	83	87	5	7,5	1	1	0,40	1,5	0,8
81	29	22	3	2,5	0,6	25	60	60	78	81	84	6	2	2	2,5	0,35	1,7	0,9
81	29	22	3	2,5	0,6	25	60	60	78	81	84	6	2	2	2,5	0,35	1,7	0,9

Taper roller bearings
single row
d 50–65 mm

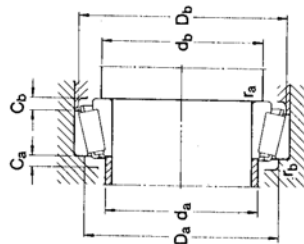


Principal dimensions		Basic load ratings			Fatigue load limit	Speed ratings	Mass	Designation	Dimension Series to ISO 355
d	D	T	C	C ₀	P _u	N	r/min	kg	
mm									
50									
110	29.25		125 000	140 000	17 000	3 600	4 800	1.25	30310
110	29.25		106 000	120 000	14 300	3 200	4 300	1.20	31310
110	42.25		172 000	212 000	24 500	3 200	4 300	1.80	32310
110	42.25		161 000	216 000	25 000	3 200	4 300	1.85	32310 B
55									
90	23		78 100	112 000	12 500	4 000	5 300	0.56	K-JLM 506849/K-JLM 506810
90	23		80 900	116 000	13 200	4 000	5 300	0.55	32011 X
90	27		89 700	137 000	15 300	4 000	5 300	0.67	33011
95	30		110 000	156 000	18 000	3 800	5 000	0.86	33111
100	33		130 000	180 000	20 000	3 800	5 000	0.70	32011
100	22.75		89 700	106 000	12 200	3 800	5 000	0.83	32211
100	26.75		106 000	129 000	15 300	3 800	4 800	0.87	32211 B
100	35		138 000	190 000	22 000	3 400	4 500	1.20	33211
110	39		179 000	232 000	26 500	3 400	4 500	1.70	33212
115	34		125 000	163 000	19 600	3 000	4 000	1.00	T5ED 055
120	31.5		142 000	193 000	21 000	3 000	4 000	1.55	33011
120	31.5		121 000	137 000	17 000	2 800	3 800	1.55	33111
120	45.5		198 000	250 000	29 000	3 000	4 000	2.30	32311
120	45.5		190 000	260 000	30 000	2 800	3 800	2.50	32311 B
60									
95	23		82 500	122 000	13 700	3 800	5 000	0.59	32012 X
95	24		84 200	132 000	15 000	3 800	5 000	0.62	K-JLM 508748/K-JLM 508710
95	27		117 300	170 000	19 600	3 800	5 000	0.71	33012
100	30		130 000	180 000	21 000	3 800	5 000	0.82	33112
110	23.75		99 000	114 000	13 400	3 400	4 500	0.85	32212
110	23.75		125 000	160 000	19 000	3 400	4 500	0.90	32212
110	38		168 000	236 000	27 500	3 000	4 000	1.60	33212
115	39		168 000	250 000	27 500	3 000	4 000	1.65	T5ED 060
115	40		194 000	260 000	30 000	3 200	4 300	1.85	T5EE 060
125	37		154 000	204 000	24 500	2 600	3 600	2.05	T7FE 060
130	33.5		168 000	196 000	23 600	3 000	4 000	1.95	33012
130	33.5		145 000	166 000	20 400	2 600	3 600	2.80	33112
130	48.5		229 000	290 000	34 000	2 600	3 600	1.85	32312
130	48.5		220 000	305 000	35 500	2 600	3 600	2.80	32312 B
65									
100	23		84 200	127 000	14 300	3 400	4 500	0.63	32013 X
100	27		96 800	156 000	17 600	3 400	4 500	0.78	33013
110	28		123 000	183 000	21 200	3 200	4 300	0.85	K-JLM 511946/K-JLM 511910
110	34		142 000	208 000	24 500	3 200	4 300	1.20	33113
120	24.75		114 000	134 000	16 300	3 000	4 000	1.15	32013
120	32.75		151 000	193 000	23 200	3 000	4 000	1.50	32213
120	39		161 000	240 000	27 500	3 000	4 000	1.95	T5ED 065

Taper roller bearings
single row
d 80-95 mm



Principal dimensions	Basic load ratings			Fatigue load limit	Speed ratings	Mass	Designation	Dimension Series to ISO 355
	d	D	T	C	P_u	grease oil		
mm	N	N		C_0	N	r/min	kg	
80								
(cont.)	140	282.5	151 000	183 000	21 600	2 400	3 400	1 60
	140	352.5	187 000	245 000	28 500	2 400	3 400	2 05
	140	46	251 000	375 000	41 500	2 200	3 200	2 90
	145	46	281 000	400 000	46 500	2 400	3 400	3 25
	170	42.5	270 000	320 000	38 000	2 000	3 000	4 10
	170	42.5	224 000	265 000	32 000	1 800	2 800	4 05
	170	61.5	380 000	500 000	57 000	1 800	2 800	6 20
	170	61.5	358 000	520 000	56 000	1 800	2 600	5 70
85								
	130	29	140 000	224 000	25 500	2 400	3 400	1 35
	130	30	140 000	225 000	25 500	2 600	3 600	1 40
	130	36	183 000	310 000	33 500	2 600	3 600	1 75
	140	41	220 000	340 000	38 000	2 400	3 400	2 45
	150	30.5	176 000	220 000	26 000	2 200	3 200	2 05
	150	38.5	212 000	285 000	33 500	2 200	3 200	2 60
	150	49	286 000	430 000	48 000	2 000	3 000	3 70
	180	44.5	303 000	365 000	40 500	1 900	2 800	4 85
	180	44.5	242 000	285 000	33 500	1 800	2 600	4 60
	180	63.5	402 000	530 000	60 000	1 800	2 600	6 85
	180	63.5	391 000	560 000	62 000	1 800	2 600	7 50
90								
	140	32	168 000	270 000	31 000	2 200	3 200	1 75
	140	39	216 000	355 000	40 000	2 200	3 200	2 20
	145	35	201 000	305 000	35 500	2 200	3 200	2 15
	155	46	251 000	390 000	43 000	2 000	3 000	3 10
	160	32.5	194 000	245 000	28 500	2 000	3 000	3 50
	160	42.5	251 000	340 000	38 000	2 000	3 000	2 55
	175	48	270 000	380 000	42 500	1 700	2 400	4 95
	190	46.5	330 000	400 000	44 000	1 800	2 600	5 65
	190	46.5	284 000	315 000	36 500	1 700	2 400	5 90
	190	67.5	457 000	610 000	67 000	1 700	2 400	8 40
95								
	145	32	168 000	270 000	30 500	2 200	3 200	1 80
	145	39	216 000	355 000	40 000	2 200	3 200	2 30
	160	46	297 000	455 000	51 000	2 000	3 000	3 65
	170	34.5	216 000	275 000	31 500	1 900	2 800	4 05
	170	45.5	281 000	390 000	43 000	1 800	2 600	5 30
	200	43.5	330 000	390 000	42 500	1 800	2 600	6 70
	200	43.5	292 000	355 000	39 000	1 700	2 400	6 95
	200	71.5	501 000	670 000	72 000	1 700	2 400	11 0

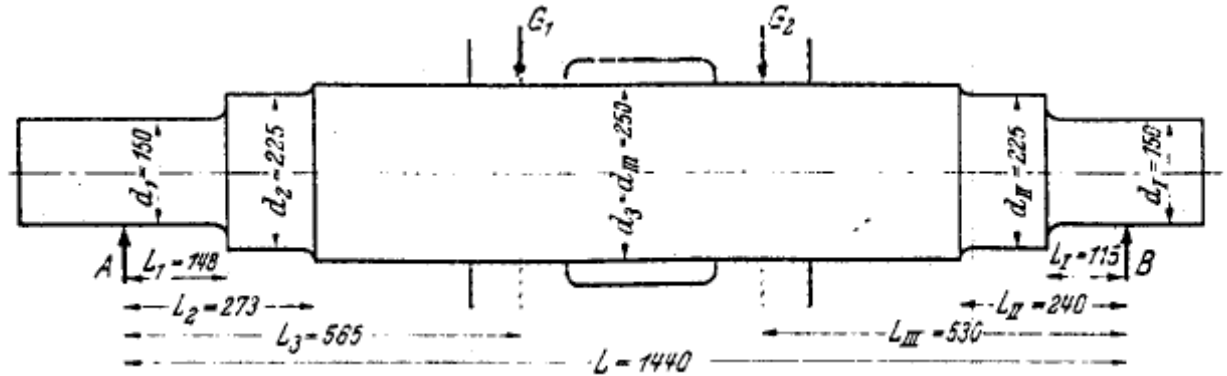


Dimensions			Abutment and fillet dimensions										Calculation factors			
d	d ₁	B	C	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	r _{1,2} min	e	Y	Y ₀	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
80																
105	36	22	25	2	0.6	28	92	90	124	130	132	4	6	2	2	0.43
106	33	28	25	2	0.6	30	91	90	122	130	134	5	7	2	2	0.43
110	46	35	25	2	0.6	35	99	90	119	130	135	7	11	2	2	0.43
110	45	38	25	2	0.6	32	92	92	125	133	137	8	8	2	2	0.31
120	39	33	3	2.5	1	33	102	92	148	158	159	5	9.5	2	2	0.35
124	39	27	3	2.5	1	52	97	92	134	158	159	6	15.5	2	2	0.83
128	58	48	3	2.5	1	41	98	92	142	158	159	7	13.5	2	2	0.35
128	58	48	3	2.5	1	50	96	92	130	158	160	7	13.5	2	2	0.54
85																
108	29	22	1.5	1.5	0.6	28	94	92	117	123	125	6	7	1	1	0.44
107	29	24	3	2.5	0.6	30	94	99	115	118	125	5	6	2.5	2	0.44
107	36	29.5	1.5	1.5	0.6	26	94	92	118	123	125	9	6.5	1	1	0.30
112	41	32	2.5	2	0.6	32	97	92	122	130	135	7	6.5	2	2	0.40
112	36	30	2.5	2	0.6	33	97	95	122	130	135	5	6.5	2	2	0.40
117	49	37	2.5	2	0.6	37	96	95	128	140	144	7	12	2	2	0.43
117	49	37	2.5	2	0.6	37	96	95	128	140	144	7	12	2	2	0.43
126	41	34	4	3	1	35	107	99	156	166	167	6	10.5	2.5	2.5	0.35
131	41	28	4	3	1	55	103	99	143	166	169	6	16.5	2.5	2.5	0.83
126	60	49	4	3	1	42	103	99	150	166	167	7	14.5	2.5	2.5	0.35
135	60	49	4	3	1	52	102	99	138	166	169	7	14.5	2.5	2.5	0.54
90																
115	32	24	2	1.5	0.6	30	100	99	125	131	134	6	8	1.5	1.5	0.43
113	39	32.5	2	1.5	0.6	27	100	99	127	131	135	7	6.5	1.5	1.5	0.27
120	44	37	2.5	2	0.6	33	100	108	127	133	139	7	8	2	2	0.44
120	46	38	3	3	0.6	34	102	102	135	141	147	7	8	2	2	0.44
118	30	26	2.5	2	0.6	31	104	100	140	150	150	5	8.5	2	2	0.33
121	40	34	2.5	2	0.6	36	102	100	138	150	152	5	8.5	2	2	0.43
138	45	33	4	3	1	57	105	104	134	157	167	6	15	2.5	2.5	0.83
132	43	36	4	3	1	36	113	104	165	176	176	6	10.5	2.5	2.5	0.35
138	43	30	4	3	1	57	109	104	151	176	179	5	16.5	2.5	2.5	0.83
133	64	53	4	3	1	44	109	104	157	176	177	7	14.5	2.5	2.5	0.35
95																
120	32	24	2	1.5	0.6	31	105	104	130	136	139	6	8	1.5	1.5	0.44
118	39	32.5	2	1.5	0.6	28	104	104	131	136	139	7	6.5	1.5	1.5	0.28
125	46	38	3	3	0.6	35	107	107	140	146	152	7	8	2	2	0.43
126	32	27	3	2.5	1	33	110	107	149	158	159	5	7.5	2	2	0.43
128	43	37	3	3	1	39	118	109	172	186	181	6	16.5	2.5	2.5	0.83
145	45	32	4	3	1	60	114	109	157	186	187	5	17.5	2.5	2.5	0.83
141	67	55	4	3	1	47	115	109	166	186	186	8	16.5	2.5	2.5	0.35

ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι

Παράδειγμα υπολογισμού κρίσιμου αριθμού στrophών

Στο σχέδιο παριστάνεται μία άτρακτος στην οποία είναι τοποθετημένες οι μάζες G_1 και G_2 . Ζητείται να υπολογισθεί ο κρίσιμος αριθμός στrophών της άτρακτου.



Διαστάσεις όπως στο σχήμα

$G_1=G_2=1500 \text{ Kp}$

$E=21000 \text{ Kp/mm}^2$

Λύση

1. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο το φορτίο G_1 υπολογίζονται οι αντιδράσεις στις θέσεις A και B

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 & \Rightarrow A_1 \cdot L - G_1(L - L_3) = 0 \Rightarrow A_1 = \frac{G_1(L - L_3)}{L} \\ & \Rightarrow A_1 = \frac{1500 \cdot 875}{1440} = 910 \end{aligned}$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow A_1 + B_1 - G_1 = 0 \Rightarrow B_1 = G_1 - A_1 = 1500 - 910 = 590 \text{ Kp}$$

Με την υπόθεση πάκτωσης στη θέση G_1 υπολογίζονται τα βέλη κάμψης στις θέσεις A και B (Σχ. Θ33α)

$$\begin{aligned} f_{A1} &= \frac{64 A_1}{3 \pi E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{d_3^4} \right] \\ &= \frac{64 \cdot 910}{3 \cdot \pi \cdot 21000} \left[\frac{148^3}{150^4} + \frac{273^3 - 148^3}{225^4} + \frac{565^3 - 273^3}{250^4} \right] = 0.016 \text{ mm} \\ f_{B1} &= \frac{64 B_1}{3 \pi E} \left[\frac{L_I^3}{d_I^4} + \frac{L_{II}^3 - L_I^3}{d_{II}^4} + \frac{(L - L_3)^3 - L_{II}^3}{d_{III}^4} \right] \\ &= \frac{64 \cdot 590}{3 \cdot \pi \cdot 21000} \left[\frac{115^3}{150^4} + \frac{240^3 - 115^3}{225^4} + \frac{(1440 - 565)^3 - 240^3}{250^4} \right] = 0.0335 \text{ mm} \end{aligned}$$

Η δύναμη G1 εφαρμόζεται μεταξύ των εδράσεων οπότε (Θ32) το βέλος κάμψεως στη θέση ε-φαρμογής της δύναμης G1 δίνεται από τη σχέση

$$f_1 = f_{A1} + \frac{L_3}{L} (f_{B1} - f_{A1}) = 0.016 + \frac{565}{1440} (0.0335 - 0.016) = 0.0228 \text{ mm}$$

2. Θεωρούμε ότι εφαρμόζεται το φορτίο G2 εφαρμόζονται οι ίδιες σχέσεις όπως προηγουμένως

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 & \Rightarrow A_2 \cdot L - G_2 \cdot L_{III} = 0 & \Rightarrow A_2 = \frac{G_2 \cdot L_{III}}{L} \\ & \Rightarrow A_2 = \frac{1500 \cdot 530}{1440} = 552 \text{ Kp} \end{aligned}$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow A_2 + B_2 - G_2 = 0 \Rightarrow B_2 = G_2 - A_2 = 1500 - 552 = 948 \text{ Kp}$$

Με την υπόθεση πάκτωσης στη θέση G1 υπολογίζονται τα βέλη κάμψης στις θέσεις A και B (Σχ. Θ33α)

$$f_{A2} = \frac{64 A_2}{3 \pi E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{(L - L_{III})^3 - L_2^3}{d_3^4} \right] = 0.0358 \text{ mm}$$

$$f_{B1} = \frac{64 B_2}{3 \pi E} \left[\frac{L_I^3}{d_I^4} + \frac{L_{II}^3 - L_I^3}{d_{II}^4} + \frac{L_{III}^3 - L_{II}^3}{d_{III}^4} \right] = 0.013 \text{ mm}$$

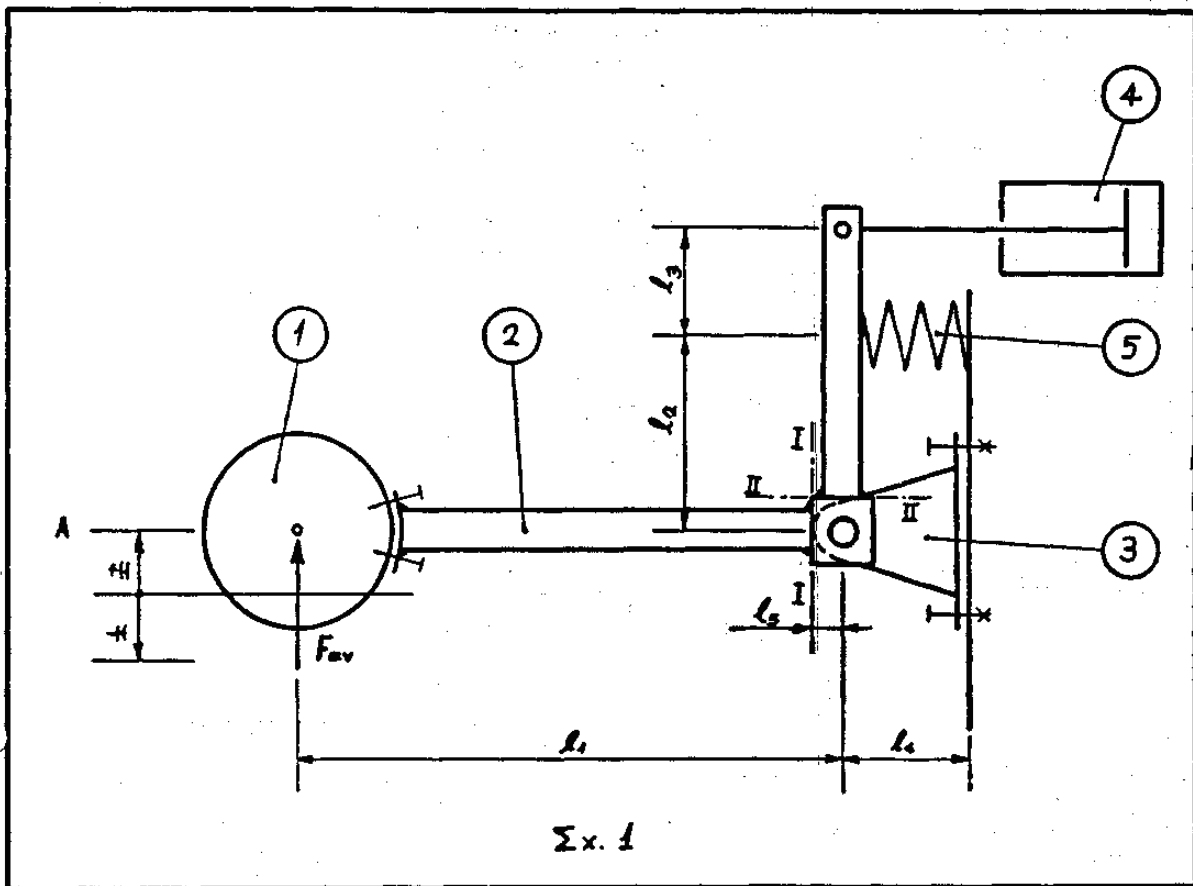
Η δύναμη G1 εφαρμόζεται μεταξύ των εδράσεων οπότε (Θ32) το βέλος κάμψεως στη θέση ε-φαρμογής της δύναμης G1 δίνεται από τη σχέση

$$f_2 = f_{A2} + \frac{(L - L_{III})}{L} (f_{B2} - f_{A2}) = 0.0358 + \frac{1440 - 530}{1440} (0.013 - 0.0358) = 0.0214 \text{ mm}$$

Ο κρίσιμος αριθμός στροφών υπολογίζεται από τη σχέση

$$\eta_{kb} = 946 \sqrt{\frac{1}{f_1 - f_2}} = 946 \sqrt{\frac{1}{0.0228 + 0.0214}} = 4500 \text{ Σ / min}$$

Παράδειγμα Κοχλίες



Στο παραπάνω σκαρίφημα παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός μηχανισμού για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων. Ο πλωτήρας (1) παρακολουθεί την κίνηση των κυμάτων εκτελώντας μία κατακόρυφη παλινδρομική κίνηση. Η κίνηση αυτή μέσω του μοχλού (2) που εδράζεται στην άρθρωση (3) μεταφέρεται στο έμβολο (4) όπου και παράγεται έργο. Το ελατήριο (5) χρησιμεύει για την ρύθμιση του πλωτήρα σε μία επιθυμητή θέση.

Δεδομένα

$$l_1 = 5\text{m}$$

$$l_2 = 1\text{m}$$

$$l_3 = 0.5\text{m}$$

$$l_4 = 0.5\text{m}$$

$$l_5 = 0.2\text{m}$$

$F_{avn} = 1\text{t}$ δύναμη που ασκείται στον πλωτήρα στην ανώτερη θέση Α

St 37 υλικό βραχίονα (3)

$\alpha = 8\text{ mm}$ πάχος συγκόλλησης

8.8 υλικό κοχλία

$\text{Sol} = 1,1$ συντελεστής ασφάλειας σε ολίσθηση

$\mu = 0,14$ συντελεστής τριβής μεταξύ των προένταξη με χειροκίνητο δυναμόκλειδο και μέτρηση μόνο της ροπής προεντάσεως

II κατηγορία ποιότητας συγκόλλησης

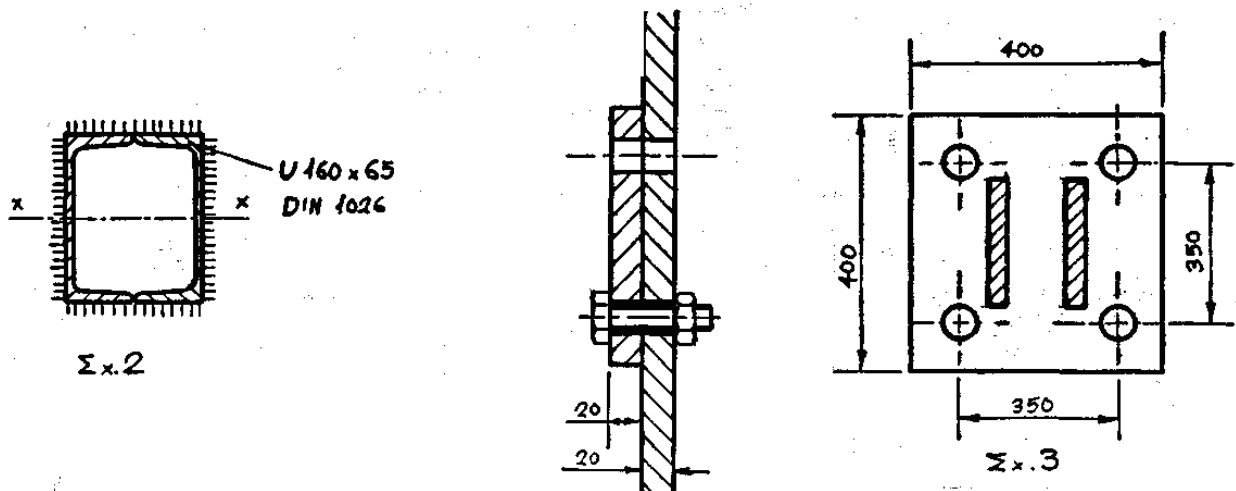
M30 DIN 931 κοχλίας της βάσης

$D_o = 33$ μέση διάμετρος οπής κοχλιοσύνδεσης

Ζητούνται

Όταν ο πλωτήρας βρίσκεται στην ανώτερη θέση Α οπότε στο έμβολο δεν ασκείται καμιά αντίδραση ζητείται ο υπολογισμός ελέγχου της κοχλιοσύνδεσης της βάσης της αρθρώσεως (3) όπως παριστάνεται στο σχήμα 3.

Σημείωση: Να μη ληφθεί υπόψη το ίδιο βάρος της κατασκευής.



Λύση

Παρατηρήσεις

Εάν δεν μας δίνονται κάποια δεδομένα μπορούμε να τα πάρουμε από αντίστοιχους πίνακες ή σχήματα.

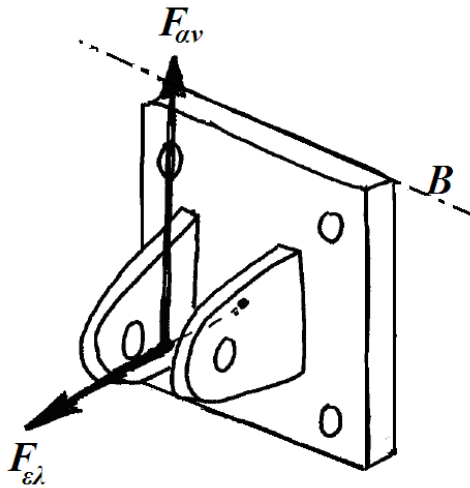
Soλ : σελίδα Δ64

μ : πίνακας Δ20 σελίδα Δ52

D_o : πίνακας Δ16 σελίδα Δ38

Υπολογισμός δυνάμεων

$$\sum M = 0 \Rightarrow F_{av} l_1 - F_{ελ} l_2 = 0 \Rightarrow F_{ελ} = \frac{F_{av} l_1}{l_2} = \frac{1000 \cdot 5}{1} \Rightarrow F_{ελ} = 5000 \text{ Kp}$$



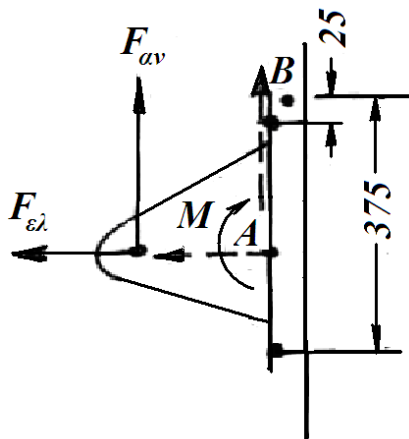
Προσεγγιστικός υπολογισμός

Η πλάκα τείνει να περιστραφεί ως προς τον άξονα Β
Μεταφέρουμε τις δυνάμεις στο κέντρο βάρους των οπών.
Στην περίπτωση μας στο μέσον της πλάκας (σημείο Α).

Κατανέμουμε τις δυνάμεις στις τέσσερις κοχλιοσυνδέσεις.

$$F_{\Lambda i} = \frac{F_{el}}{4} = \frac{5000}{4} = 1250 \text{ Kp}$$

$$F_{\Delta i} = \frac{F_{av}}{4} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ Kp}$$



Η ροπή που προκύπτει κατά τη μεταφορά της δύναμης F_{av} στο σημείο Α είναι

$$M = F_{av} l_4 = 1000 \cdot 0.5 = 500 \text{ Kpm} = 500000 \text{ Kpmm}$$

$$\left. \begin{aligned} M &= 2 F_{x1} l_1 + 2 F_{x2} l_2 \\ \frac{F_{x1}}{l_1} &= \frac{F_{x2}}{l_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} 500000 &= 2 \cdot F_{x1} \cdot 375 + 2 \cdot F_{x2} \cdot 25 \\ \frac{F_{x2}}{25} &= \frac{F_{x1}}{375} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

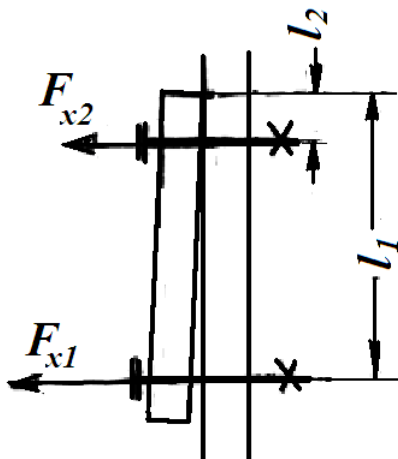
$$F_{x2} = 44.25 \text{ Kp}$$

$$F_{x1} = 663.7 \text{ Kp}$$

$$F_{\phi 1} = F_{\Lambda 1} + F_{x1} = 1250 + 663.7 = 1913.7 \text{ Kp}$$

Άρα στην κοχλιοσύνδεση στη θέση 1 εφαρμόζεται
διατμητική δύναμη $F_{\Delta 1} = 250 \text{ Kp}$

εφελκυστική δύναμη $F_{\phi 1} = 1913.7 \text{ Kp}$



Πίνακας ΠΔ1 σελ Δ15 για M30

$$d_2 = 27.727 \text{ mm}$$

μέση διάμετρος

$$d_3 = 25.706 \text{ mm}$$

εσωτερική διάμετρος

$$\alpha_2 = 2.30^\circ$$

γωνία ελίκωσης

$$A_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 25.706^2}{4} = 518.99 \text{ mm}^2$$

$$A_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706.86 \text{ mm}^2$$

Σταθερά ελατηρίου του κοιλία

$$\frac{1}{c_k} = \frac{1}{E_k} \left(\frac{l_3}{A_3} + \frac{0.8 \cdot d}{A_d} \right) = \frac{1}{21000} \left(\frac{40}{519} + \frac{0.8 \cdot 30}{706.9} \right) \Rightarrow c_k = 189145.3 \text{ Kp/mm} \quad (\text{σελ. } \Delta 45)$$

Σταθερά ελατηρίου των σωμάτων

$$c_\Sigma = \frac{A_\Sigma \cdot E_\Sigma}{l_\Sigma} \quad \Delta 15 \text{ σελ. } \Delta 47$$

$$A_\Sigma = \frac{\pi}{4} \left(\left(s + \frac{l_\Sigma}{10} \right)^2 - D_0^2 \right)$$

$$l_\Sigma = 40 \text{ mm}$$

$$s = 46 \text{ mm}$$

Πίνακας Δ.8 σελ. Δ27 για M30

οπότε

$$A_\Sigma = \frac{\pi}{4} \left[\left(46 + \frac{40}{10} \right)^2 - 33^2 \right] = 1108.2 \text{ mm}^2$$

$$c_\Sigma = \frac{1108.2 \cdot 21000}{40} = 581805 \text{ Kp/mm}$$

Δύναμη λόγω ψυχρής καθίζησης

$$F_z = \Delta l_z \frac{c_k \cdot c_\Sigma}{c_k + c_\Sigma} \quad \text{σχέση } \Delta 26 \text{ σελ. } \Delta 51$$

$$\Delta l_z = 5 + 7.5 \cdot n = 5 + 7.5 \cdot 3 = 27.5 \text{ } \mu\text{m} \quad \text{σχέση } \Delta 25 \text{ σελ } \Delta 50 \text{ για τραχείες επιφάνειες και διάτμηση}$$

άρα

$$F_z = 27.5 \cdot 10^{-3} \frac{189145 \cdot 581805}{189145 + 581805} = 3925.4 \text{ Kp}$$

Ελάχιστη δύναμη σωμάτων

$$S_{o\lambda} = \frac{(F_\Sigma)_{\varepsilon\lambda} \cdot \mu_0}{F_{\Delta 1}} \quad \text{!!! σωστή σχέση } \Delta 46 \text{ σελ. } \Delta 64$$

$$\Rightarrow (F_\Sigma)_{\varepsilon\lambda} = \frac{F_{\Delta 1} \cdot S_{o\lambda}}{0.14} = \frac{250 \cdot 1.1}{0.14} = 1964.3 \text{ Kp}$$

Δύναμη προεντάσεως

$$\begin{aligned} F_\pi &= (F_\Sigma)_{\varepsilon\lambda} + F_{\Delta\Sigma} = (F_\Sigma)_{\varepsilon\lambda} + F_\lambda \left(1 - \frac{c_{\kappa\lambda}}{c_{\kappa\lambda} + c_{\Sigma\lambda}} \right) \\ &= 1964.3 + 1913.7 \left(1 - \frac{189145}{189145 + 581805} \right) = 3408.5 \text{ Kp} \end{aligned} \quad \text{σχ. } \Delta 64 \text{ σελ. } \Delta 70$$

Συντελεστής προεντάσεως

$$a_\pi = 1.6$$

Πίνακας Δ21 σελ. Δ53 για χειροκίνητο δυναμόκλειδο
και μέτρηση μόνο της ροπής προέντασης

Μέγιστη δύναμη προέντασης

$$(F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} = a_{\pi} [F_{\pi} + F_z] = 1.6(3408.5 + 3925.4) = 11734.2 \text{ Kp}$$

σχέση Δ38 σελ. Δ58

Φορτίο του κοχλίου

$$F_{\Delta k} = F_{\lambda} \frac{c_k}{c_k + c_{\Sigma}} = 1913.7 \frac{189145}{189145 + 581805} = 469.5 \text{ Kp}$$

Ισοδύναμη τάση

$$\sigma_{i\sigma} = \sqrt{\left[\frac{4 \cdot [(F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} + F_{\Delta k}]}{\pi \cdot d_s^2} \right]^2 + 3 \left[\frac{8 \cdot d_2 (F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} \cdot \epsilon\phi(\rho' + a_2)}{\pi \cdot d_s^3} \right]^2}$$

$$d_s = \frac{d_2 + d_3}{2} = \frac{27.727 + 25.706}{2} = 26.716 \text{ mm}$$

διατομή καταπόνησης κοχλίου

 ρ' : ανηγμένη γωνία τριβής του σπειρώματος

$$\epsilon\phi \rho' = \frac{\mu}{\sigma \nu \beta} = \frac{0.14}{\sigma \nu 30^\circ} \Rightarrow \rho' = 9.18^\circ$$

οπότε προκύπτει

$$\sigma_{i\sigma} = 26.6 \text{ Kp/mm}^2$$

Συντελεστής ασφάλειας

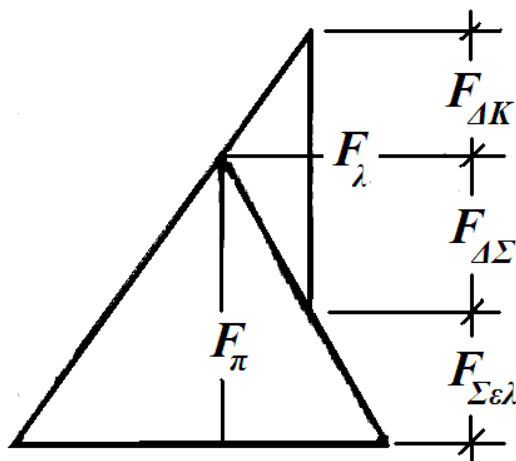
$$S_{z\rho} = \frac{\sigma_{z\rho}}{\sigma_{i\sigma}}$$

σχέση Δ50 σελ. Δ80

$$\sigma_{z\rho} = 64 \text{ Kp/mm}^2$$

Πίνακας Δ17 σελ. Δ40 για υλικό 8.8

$$\text{άρα } S_{z\rho} = \frac{64}{26.6} = 2.41 > 1.1$$





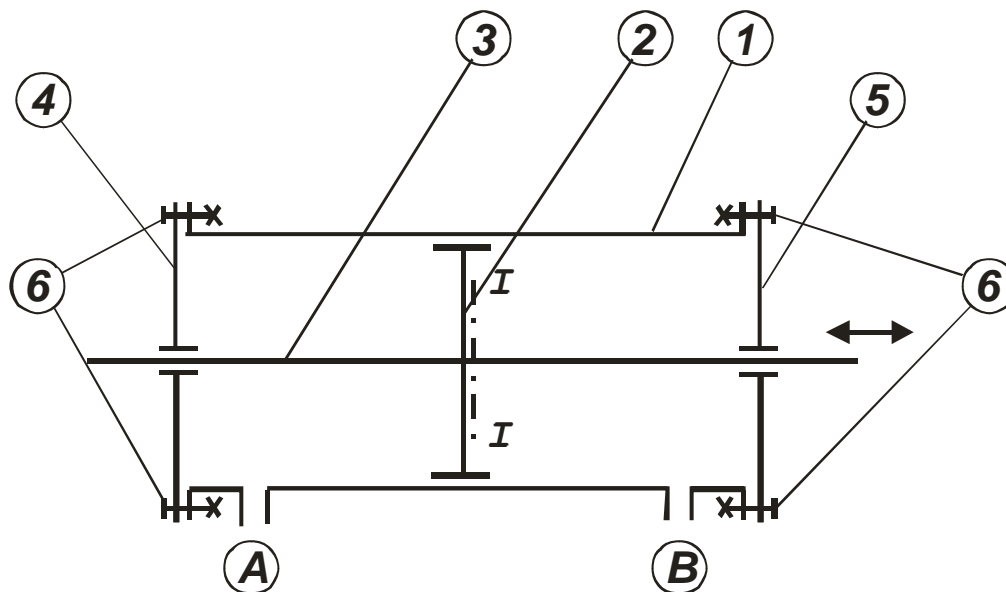
Ονοματεπώνυμο : Α.Ε.Μ.:
Ημερομηνία : 5/9/2005

Υπολογιστικό θέμα εξετάσεων στο μάθημα ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι
Επιτρέπονται όλα τα βοηθήματα Διάρκεια 1:45 ώρες

ΕΜΒΟΛΟ

Στο σκαρίφημα παρουσιάζεται ένα έμβολο διπλής κατεύθυνσης. Το λάδι εισάγεται στον κύλινδρο (1) από τις θέσεις (Α) ή (Β) αναγκάζοντας το έμβολο (2) να κινηθεί προς την αριστερή ή την δεξιά κατεύθυνση. Κατά την κίνηση παρασύρεται το βάκτρο (3) που είναι ένα σώμα με το έμβολο. Τα καπάκια (4) και (5) συνδέονται με τους κοχλίες (6) στον κύλινδρο (1).

Το σύστημα παροχής λαδιού είναι συνδεδεμένο με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η πίεση γίνεται μέγιστη από τη θέση (Α) να επιστρέφει ελεύθερα το λάδι από τη θέση (Β) και αντίστροφα. Έτσι σε κάθε πλευρά του εμβόλου μεταβάλλεται διαδοχικά η πίεση από μηδέν έως p_{\max} . Το τμήμα του βάκτρου που βρίσκεται στο χώρο που αναπτύσσεται η πίεση καταπονείται σε εφελκυσμό ενώ το υπόλοιπο δεν καταπονείται καθόλου.



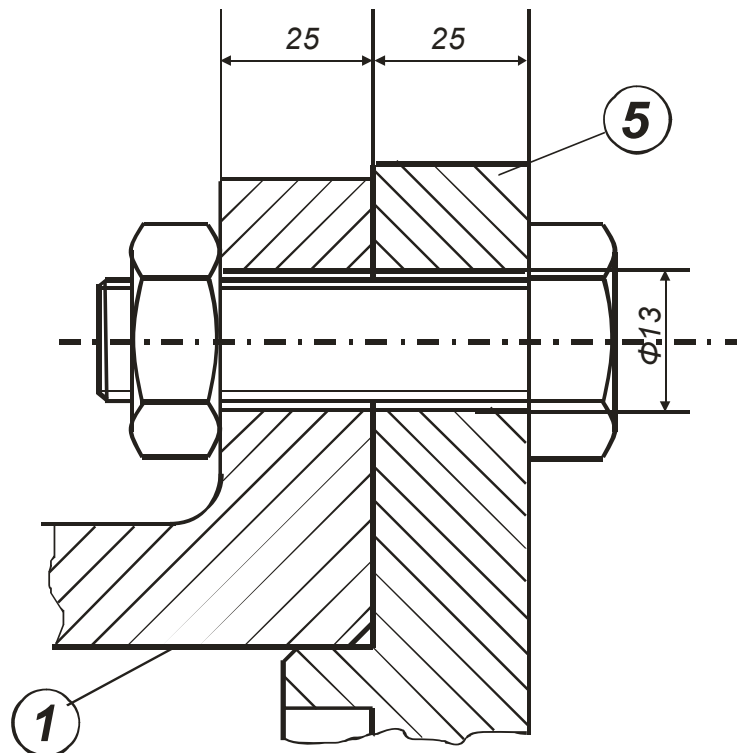
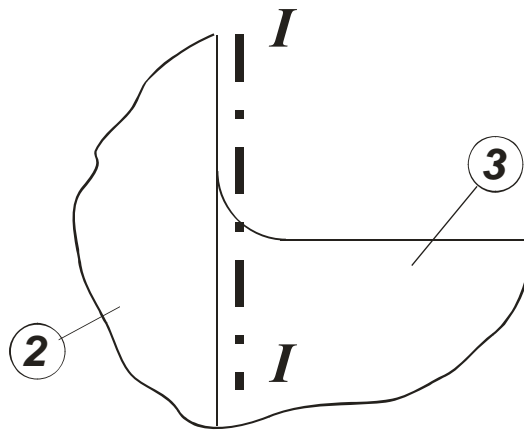
Δεδομένα

$p_{\max} = 2 \text{ Kp/mm}^2$ μέγιστη πίεση
 $D = 150 \text{ mm}$ εσωτερική διάμετρος κυλίνδρου
 $d = 60 \text{ mm}$ διάμετρος βάκτρου
30CrNiMo8 υλικό του εμβόλου - βάκτρου
 $\rho = 5 \text{ mm}$ ακτίνα καμπυλότητας στη θέση I-I
 $R_z = 10 \text{ }\mu\text{m}$ τραχύτητα επιφανείας στη θέση I-I
 $C_s = 1.1$ συντελεστής κρούσεων
χωρίς επιφανειακή σκλήρυνση
 $z = 16$ πλήθος κοχλιών

M12 DIN933	κοχλίες (6)
8.8.....	υλικό κοχλία
Τρόπος προέντασης.....	με χειροκίνητο δυναμόκλειδο και μέτρηση μόνο της ροπής προέντασης και επάλειψη του σπειρώματος και των τριβόμενων επιφανειών κατά την προένταση με λάδι
(∇∇).....	κατεργασία επιφανειών των συνδεομένων στοιχείων με την κοχλιοσύνδεση

Ζητούμενα

- α) Ο συντελεστής ασφάλειας στη θέση I-I
 β) Ο συντελεστής ασφάλειας των κοχλιοσυνδέσεων στερέωσης των καπακιών



Η μέγιστη δύναμη που εφαρμόζεται στο έμβολο δίνεται από τη σχέση

$$F_{\max} = \frac{p\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{2\pi(150^2 - 60^2)}{4} = 29688kp$$

$$F_{\max} = 9.81F_{\max} = 291239N$$

Από την εκφώνηση προκύπτει ότι η δύναμη στο έμβολο μεταβάλλεται από 0 μέχρι F_{\max} . Δηλαδή η φόρτιση είναι μόνο κυματοειδής εφελκυστική.

$$F_{za} = F_{zm} = \frac{F_{\max}}{2} = \frac{291239}{2} = 145620N$$

Υπολογισμός ημειφύρως δυναμικής τάσης σ_{za} , μέσης τάσης σ_{zm}

$$\sigma_{za} = \frac{F_{za}}{A} = \frac{F_{za}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{145620}{\frac{\pi 60^2}{4}} = 51,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{zm} = \frac{F_{zm}}{A} = \sigma_{za} = 51,5 \text{ N/mm}^2$$

Ισοδύναμη μέση τάση (κεφ. 4.1)

$$\sigma_{zm} + \sigma_{bm} > 0$$

$$\text{άρα } \sigma_{mv} = \sqrt{(\sigma_{zm} + \sigma_{bm})^2 + 3\tau_{im}^2} = 51,5 \text{ N/mm}^2$$

αν αυξηθεί η F_{\max} τότε

$$\frac{\sigma_{za}}{\sigma_{mv}} = 1 \text{ σταθερό άρα περίπτωση φόρτιση } F_2$$

Από πίνακα Π.2.1.δ για υλικό 30CrNiMo8 προκύπτει

$$\sigma_B = 1250 \text{ N/mm}^2, \sigma_s = 1050 \text{ N/mm}^2, \sigma_{zdw} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bw} = 625 \text{ N/mm}^2, \tau_{tw} = 375 \text{ N/mm}^2$$

$$d_B = 16 \text{ mm}$$

Για εφελκυσμό

Συντελεστής μορφής a_σ (κεφ.5.2.2.1)

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{150-60}{2} = 45 \text{ mm}$$

$$a_\sigma = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^z \frac{d}{D}}}$$

όπου

$$A = 0,62, B = 3,5, C = 0, z = 0$$

$$\Rightarrow a_{\sigma} = 1 + \frac{1}{\sqrt{0,62 \frac{5}{45} + 2 \cdot 3,5 \frac{5}{60} \left(1 + 2 \frac{5}{60}\right)^2}} = 2,077$$

Υπολογισμός συντελεστή αντιστήριξης n (κεφ. 5.2.2)

Σχετική πτώση τάσης

$$\frac{d}{D} = \frac{60}{150} = 0,4 \Rightarrow \varphi = 0$$

$$G' = \frac{2,3(1+\phi)}{r} = \frac{2,3(1+0)}{5} = 0,46 \text{ mm}^{-1}$$

$$n = 1 + \sqrt{G'} \cdot 10^{-\left(0,33 + \frac{\sigma_s(d)}{712}\right)}$$

όπου

$$\sigma_s(d) = K_1(d_{eff}) \cdot \sigma_s(d_B)$$

Συντελεστής επίδρασης μεγέθους στη θερμική κατεργασία $K_1(d_{eff})$ (κεφ 5.1)

$$d_{eff} = 150 \text{ mm}$$

Επιβελτιωμένοι χάλυβες για όριο θραύσεως και όριο πλαστικής παραμόρφωσης

$$16 < d_{eff} < 300 \quad K_1(d_{eff}) = 1 - 0,26 \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{d_B}\right)$$

$$\Rightarrow K_1(d_{eff}) = 1 - 0,26 \cdot \log\left(\frac{150}{16}\right) = 0,747$$

οπότε

$$\sigma_s(d) = 0,747 \cdot 1050 = 784,3 \text{ N/mm}^2$$

και

$$\eta = 1 + \sqrt{0,46} \cdot 10^{-\left(0,33 + \frac{784,3}{712}\right)} = 1,025$$

Συντελεστής εγκοπής β_{σ}

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{\eta} = \frac{2,077}{1,025} = 2,026$$

Συντελεστής μεγέθους $K_2(d)$ (κεφ. 5.3) για εφελκυσμό

$$K_2(d) = 1$$

Συντελεστής τραχύτητας K_F (κεφ 5.5) για ορθές καταπονήσεις

$$K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \left(\log \frac{\sigma_B(d)}{20} - 1 \right)$$

όπου

$$\sigma_B(d) = K_1(d_{eff}) \sigma_B(d_B) = 0,747 \cdot 1250 = 933,75 \text{ N/mm}^2$$

οπότε

$$K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(10) \left(\log \frac{933,75}{20} - 1 \right) = 0,853$$

Συντελεστής αύξησης επιφανειακής αντοχής K_V (κεφ 5.6) (... χωρίς επιφανειακή σκλήρυνση...)

$$K_V = 1$$

Συνολικός συντελεστής επίδρασης εγκοπής K_σ (κεφ 4.2.1)

$$K_\sigma = \left(\frac{\beta_\sigma}{K_2(d)} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{1}{K_V} = \left(\frac{2,026}{1} + \frac{1}{0,853} - 1 \right) \frac{1}{1}$$

$$\Rightarrow K_\sigma = 2,198$$

Επιτρεπόμενο ημειύρος για εναλλασσόμενη καταπόνηση σ_{zWK} (κεφ 4.2.1)

$$\sigma_{zWK} = \frac{\sigma_{zw}(d_B)K_1(d_{eff})}{K_\sigma} = \frac{500 \cdot 0,747}{2,198} = 169,93 \text{ N/mm}^2$$

Συντελεστής καταπόνησης $\psi_{z\sigma K}$ (κεφ 4.2.1)

$$\psi_{z\sigma K} = \frac{\sigma_{zWK}}{2K_i(d_{eff})\sigma_B(d_B) - \sigma_{zWK}} = \frac{169,93}{2 \cdot 0,747 \cdot 1250 - 169,93} = 0,1$$

Πλαστική παραμόρφωση

Συντελεστής στατικής αντιστήριξης K_{2F} κεφ 6 (... για χάλυβες χωρίς σκληρό επίστρωμα..)

$$K_{2F} = 1$$

Συντελεστής αύξησης του ορίου πλαστικής παραμόρφωσης γ_F κεφ 6

$$3 > a_\sigma = 2,077 > 2 \Rightarrow \gamma_F = 1,10$$

Επιτρεπόμενη τάση για πλαστική παραμόρφωση σ_{zFK} κεφ 6

$$\sigma_{zFK} = K_{1(d_{eff})} K_{2F} \gamma_F \sigma_s(d_B) = 0,747 \cdot 1 \cdot 1,10 \cdot 1050 = 862,8 \text{ N/m}^2$$

Καθορισμός περιοχής περίπτωσης φόρτισης F_2

$$\frac{\sigma_{mv}}{\sigma_{za}} = \frac{51,5}{51,5} = 1$$

$$\frac{\sigma_{zFK} - \sigma_{zWK}}{\sigma_{zWK} - \psi_{z\sigma K} - \sigma_{zFK}} = \frac{862,8 - 169,93}{169,93 - 0,1 \cdot 862,8} = 8,28$$

$$1 < 8,28 \quad \text{άρα περίπτωση II}$$

Επιτρεπόμενο ημειύρος για δυναμική καταπόνηση γενικής μορφής σ_{zADK} κεφ 4.2.4

$$\sigma_{zADK} = \frac{\sigma_{zWK}}{1 + \psi_{z\sigma K} \frac{\sigma_{mv}}{\sigma_{za}}} = \frac{169,93}{1 + 0,1 \frac{51,5}{51,5}} = 154,48$$

Συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση S_D κεφ 4

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zADK}} \right)^2}} = \frac{1}{\frac{51,5}{154,48}} = 3$$

Πλαστική παραμόρφωση

Μέγιστη ονομαστική τάση

$$\sigma_{z \max} = \frac{F_{z \max}}{A} = \frac{C_s(F_m + F_a)}{A} = \frac{1,1 \cdot (145620 + 145620)}{\frac{\pi \cdot 60^2}{4}} \Rightarrow \sigma_{z \max} = 113,3 \text{ N/mm}^2$$

Συντελεστής ασφάλειας σε πλαστική παραμόρφωση S_F

$$S_F = \frac{\sigma_{zFK}}{\sigma_{z \max}} = \frac{862,8}{113,3} = 7,62$$

Συντελεστής ασφάλειας

$$S = \min(S_D, S_F) = 3$$

ΚΟΧΛΙΟΣΥΝΔΕΣΗ

Η κοχλιοσύνδεση καταπονείται μόνο από εφελκυστική δύναμη οπότε

$$F_\lambda = \frac{F_{\max} C_s}{Z} = \frac{29688 \cdot 1,1}{16} = 2041 \text{ kp}$$

Από τον πίνακα ΠΔ1 για κοχλία M12 προκύπτουν οι ακόλουθες διαστάσεις

$$d = 12 \text{ mm} \quad d_2 = 10,863 \text{ mm} \quad d_3 = 9,853 \text{ mm} \quad \alpha_2 = 2,94^\circ \quad P = 1,75 \text{ mm} \quad \frac{d}{R} = 47,5$$

Από το σχήμα της εκφώνησης προκύπτει ότι ο κοχλίας έχει σπείρωμα σε όλο το μήκος του οπότε το μήκος του σπειρώματος l_3 συμπίπτει με το μήκος των σωμάτων l_Σ

Σταθερά ελατηρίου του κοχλία

$$\frac{1}{C_k} = \frac{1}{E_k} \left(\frac{l_3}{A_3} + \frac{1}{d} \right) = \frac{1}{21000} \left(\frac{25 + 25}{\frac{\pi \cdot 9,853^2}{4}} + \frac{1}{12} \right) \Rightarrow C_k = 28413,3 \text{ kp/mm} \quad (\Delta 12)$$

Σταθερά ελατηρίου των σωμάτων

$$C_\Sigma = \frac{A_\Sigma E_\Sigma}{l_\Sigma} \quad \Delta 14 \text{ σελ. } \Delta 47$$

$$A_\Sigma = \frac{\pi}{4} \left[\left(s + \frac{l_\Sigma}{10} \right)^2 - D_o^2 \right] \quad \Delta 15 \text{ σελ. } \Delta 47$$

$$s = 19 \text{ mm} \quad \text{Πίν. } \Delta 8 \text{ σελ } \Delta 27 \text{ για M12}$$

οπότε

$$A_\Sigma = \frac{\pi}{4} \left[\left(19 + \frac{50}{10} \right)^2 - 13^2 \right] = 319,66 \text{ mm}^2$$

$$C_\Sigma = \frac{A_\Sigma E_\Sigma}{l_\Sigma} = \frac{319,65 \cdot 21000}{50} = 134253 \text{ kp/mm}$$

Η διατμητική δύναμη στην κοχλιοσύνδεση είναι μηδενική οπότε θα πρέπει να ισχύει

$$F_{\Sigma \varepsilon \lambda} = 0,1 \cdot F_\pi$$

Η δύναμη προεντάσεως δίνεται από τη σχέση

$$F_{\pi} = (F_{\Sigma})_{\varepsilon\lambda} + F_{\Delta\Sigma} = (F_{\Sigma})_{\varepsilon\lambda} + F_{\lambda} \left(1 - \frac{C_k}{C_k + C_{\Sigma}} \right) = 0,1 \cdot F_{\pi} + F_{\lambda} \left(1 - \frac{C_k}{C_k + C_{\Sigma}} \right) \quad \Delta 64 \text{ σελ } \Delta 70$$

$$\Rightarrow F_{\pi} = \frac{F_{\lambda}}{0,9} \left(1 - \frac{C_k}{C_k + C_{\Sigma}} \right) = \frac{2041}{0,9} \left(1 - \frac{28413,3}{28413,3 + 134253} \right)$$

$$\Rightarrow F_{\pi} = 1871,7kp$$

Ψυχρή καθίζηση για τραχιές επιφάνειες δίνεται από τη σχέση

$$\Delta l_z = 5 + 4 \cdot n = 5 + 4 \cdot 3 = 17 \mu m = 0,017mm \quad \Delta 23 \text{ σελ } \Delta 50$$

Δύναμη λόγω ψυχρής καθίζησης

$$F_z = \Delta l_z \frac{C_k C_{\Sigma}}{C_k + C_{\Sigma}} = 0,017 \frac{28413,3 \cdot 134253}{28413,3 + 134253} Kp \quad \Delta 26 \text{ σελ } \Delta 51$$

$$\Rightarrow F_z = 398,7 Kp$$

Συντελεστής προέντασης

$$a_{\pi} = 1,25 \quad \Pi \Delta 21 \text{ σελ } \Delta 53$$

Μέγιστη δύναμη προέντασης

$$(F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} = \alpha_{\pi} (F_{\pi} + F_z) = 1,25 (1871,7 + 398,7) = 2838kp \quad \Delta 38 \text{ σελ } \Delta 58$$

Αύξηση του φορτίου του κοχλίου

$$F_{\Delta K} = F_{\lambda} \frac{C_k}{C_k + C_{\Sigma}} = 2041 \frac{28413,3}{28413,3 + 134253} = 356,5kp \quad \Delta 61 \text{ σελ } \Delta 69$$

Ισοδύναμη ονομαστική τάση

$$\sigma_{\iota\sigma} = \sqrt{\left[\frac{4[(F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} + F_{\Delta K}]}{\pi d_s^2} \right]^2 + 3 \left[\frac{8d_2(F_{\pi})_{\mu\epsilon\gamma} \varepsilon\phi(\rho' + a_2)}{\pi d_s^3} \right]^2} \quad \Delta 76 \text{ σελ } \Delta 79$$

διάμετρος διατομής καταπόνησης κοχλίου

$$d_s = \frac{d_2 + d_3}{2} = \frac{10,863 + 9,853}{2} = 10,358mm \quad \Sigma\chi. \Delta 26 \text{ σελ } \Delta 65$$

μέση γωνία ελικώσεως του σπειρώματος στη μέση διάμετρο d_2

$$a_2 = 2,94^\circ \quad \text{από τον Πίνακα } \Delta 1$$

ανηγμένη γωνία τριβής ρ'

$$\varepsilon\phi\rho' = \frac{\mu_o}{\sigma\upsilon\nu \frac{\beta}{2}} = \frac{0,14}{\sigma\upsilon\nu \frac{60}{2}} = 0,157 \Rightarrow \rho' = 9,92^\circ \quad \text{σελ } \Delta 54$$

$$\sigma_{\iota\sigma} = \sqrt{\left[\frac{4[2838 + 356,5]}{\pi \cdot 10,358^2} \right]^2 + 3 \left[\frac{8 \cdot 10,863 \cdot 2838 \cdot \varepsilon\phi(9,92 + 2,94)}{\pi \cdot 10,358^3} \right]^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\sigma} = 45,44 \text{ kp/mm}^2$$

Όριο μηκύνσεως

$$\sigma_{z02} = 64 \text{ kp/mm}^2$$

ΠΔ17

Συντελεστής ασφάλειας σε μήκυνση

$$S_{z0,2} = \frac{\sigma_{z0,2}}{\sigma_{\sigma}} = \frac{64}{45,44} = 1,41$$

Δ51 σελ Δ66

Δυναμική καταπόνηση

Ημιεύρος της τάσεως

$$\sigma_{za} = \frac{F_{\Delta K}}{2A_3} = \frac{356,5}{\frac{2\pi \cdot 9,853^2}{4}} = 2,33$$

Δ78 σελ Δ81

Επιτρεπόμενη τάση του σπειρώματος

$$(\sigma_{zA})_{\varepsilon\pi} = \kappa_1 \kappa_2 \cdot \sigma_{zA}$$

Δ81 σελ Δ82

συντελεστής κατασκευής σπειρώματος

$$\kappa_1 = 1,2$$

σελ Δ84

συντελεστής μορφής περικοχλίου

$$\kappa_2 = 1$$

σελ Δ84

δυναμική αντοχή του πυρήνα

$$\frac{d}{R} = 47,5 \Rightarrow \sigma_{zA} = 9,2 \text{ kp/mm}^2$$

Σχ.Δ36 σελ Δ83

οπότε

$$(\sigma_{zA})_{\varepsilon\pi} = 1,2 \cdot 1 \cdot 9,2 = 11 \text{ kp/mm}^2$$

συντελεστής ασφάλειας σε δυναμική θραύση

$$S_{za} = \frac{(\sigma_{zA})_{\varepsilon\pi}}{\sigma_{za}} = \frac{11}{2,33} = 4,72$$

Δ82 σελ Δ84

$$\text{άρα } S = \min(S_{z0,2}, S_{za}) = 1,41$$