

Άξονες - Άτρακτοι

Σφήνες και Πολύσφηνα

Άξονας είναι ένα περιστρεφόμενο στοιχείο συνήθως κυκλικής διατομής (πλήρους ή σωληνωτής) που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ισχύ ή κίνηση.

Άτρακτος είναι ένα μη περιστρεφόμενο στοιχείο που δεν μεταφέρει ροπή και χρησιμοποιείται για να στηρίζει περιστρεφόμενους τροχούς, τροχαλίες κλπ.

Λειτουργικές Παράμετροι

Παραμόρφωση και ακαμψία

- Καμπτική παραμόρφωση
- Στρεπτική παραμόρφωση
- Κλίση στα έδρανα και στοιχεία επί του άξονα.
- Διατμητικές παραμορφώσεις οφειλόμενες σε εγκάρσια φόρτιση αξόνων μικρού μήκους

Τάση και αντοχή

- Στατική αντοχή
- Αντοχή σε κόπωση
- Αξιοπιστία

Γεωμετρία

Οι άξονες γενικά έχουν τη γεωμετρία ενός κυλίνδρου με διαφορετικές διαμέτρους κατά μήκος.

Οι διαφορετικές διάμετροι κάθε βήματος χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν με ακρίβεια την ακτινική θέση των εδράνων, των γραναζιών, των τροχαλιών κλπ.

Οι μεταβολές διαμέτρων κάθε βήματος χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν με ακρίβεια την αξονική θέση των εδράνων, γραναζιών τροχαλιών κλπ.

Υλικά αξόνων

Οι άξονες κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα γενικής χρήσεως ή ειδικούς σκληρημένους χάλυβες ανάλογα με την εφαρμογή. Οι μηχανολογικές τους ιδιότητες παρουσιάζονται εν συντομία στον πίνακα που ακολουθεί.

Χαρακτηρισμός	Αντοχή εφελκυσμού N/mm ²	Σκληρότητα Vickers	Όριο διαρκούς Αντοχής N/mm ²	Όριο διαρκούς αντοχής σε στρέψη, N/mm ²	
St 42-2	420...500 ⁽¹⁾	115 (450)*	220	150	180
St 50-2	500...600 ⁽¹⁾	135 (530)	260	180	210
St 60-2	600...720 ⁽¹⁾	165 (720)	300	210	230
St 70-2	700...850 ⁽¹⁾	190	340	240	260
C 22, Ck 22	500...650 ⁽²⁾	150	280	190	250
C 35, Ck 35	590...740 ⁽²⁾	140 (530)	330	230	300
C 15, Ck 45	670...820 ⁽²⁾	170 (720)	370	260	340
25Cr, Mo 4	800...950 ⁽²⁾	186 (610)	430	300	450
34Cr, 4	900...1100 ⁽²⁾	229 (670)	480	330	550
C 15, Ck 15	500...650 ⁽³⁾	140 (840)	260	180	210
16Mn Cr 5	800...1100 ⁽³⁾	210 (840)	390	270	430

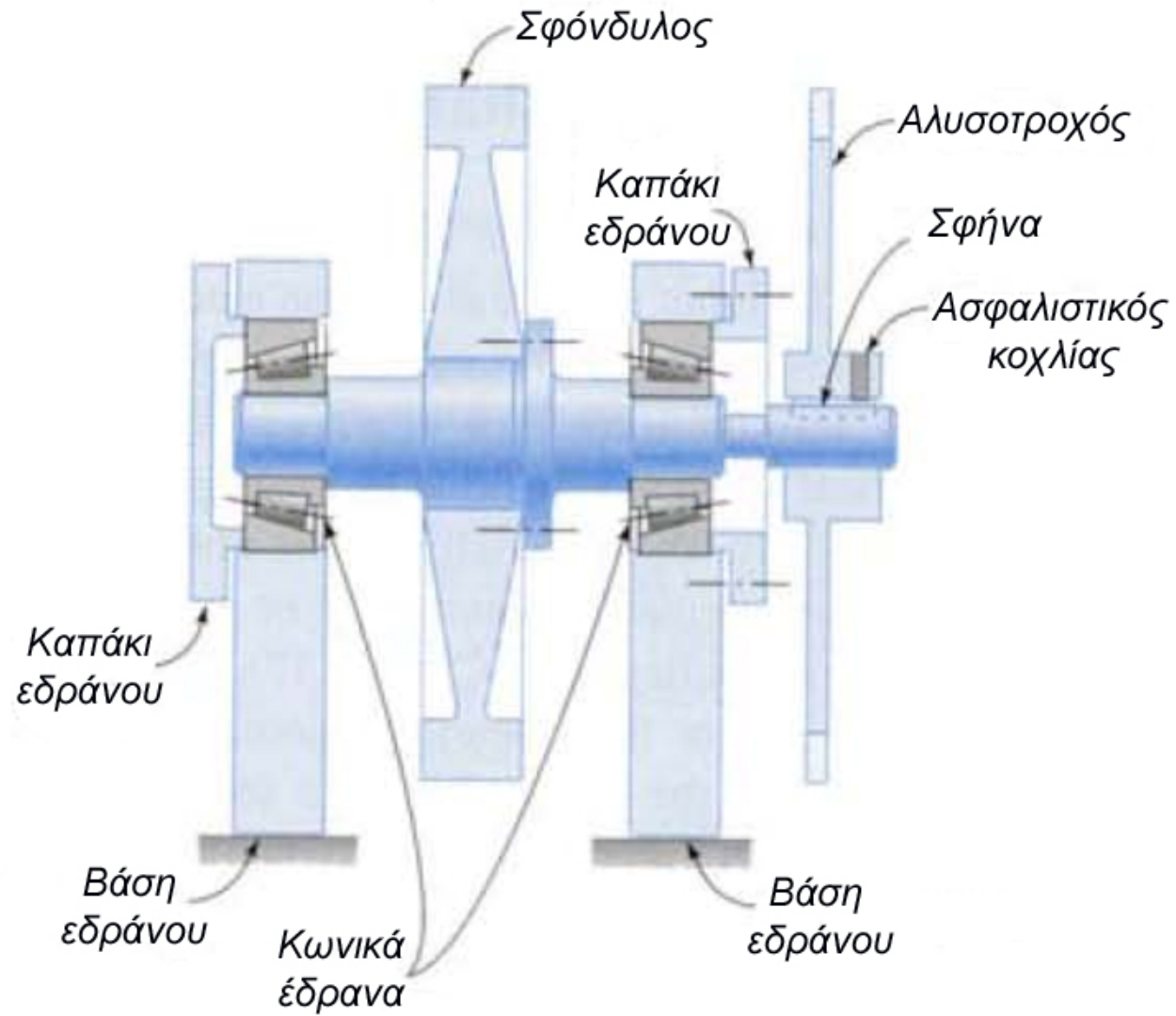
1 = Χάλυβας γενικής χρήσης
2 = Χάλυβας βελτιωμένος
3 = Ειδικός χάλυβας

* σε παρένθεση το όριο επιφανειακής σκλήρυνσης

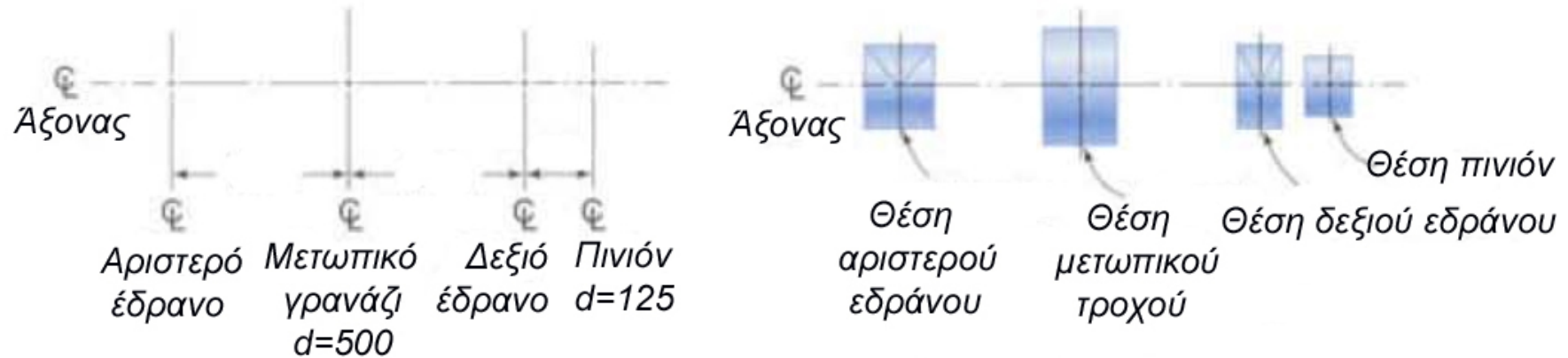
Πίνακας 12-1(α): Ιδιότητες χαλύβων κατασκευών

Χάλυβες Κατασκευών													
Euronorm	Germany	UK	USA	France									
EN10025	Din 17100	BS4360	ASTM	NFA 35-501	%C	%Mn	%Si	%S	%P	Yield min	Tensile		
S185	St33		A283B	A33									
S235		40A	A283C		0.22max	1.60 max	0.50 max	.050 max	.050 max	185	310/540		
S235JR	St37-2	40B	A283C-A		0.17max	1.40max	-	0.045	0.045	235	360/510		
S235JO	St37-3 U	40C		E 24-2	0.17max	1.40max	-	0.04	0.04	235	360/510		
S235J2G3	St37-3 N	40D		E24-4	0.17max	1.40max	-	0.035	0.035	235	360/510		
S275		43A			0.25max	1.60 max	0.50 max	.050 max	.050 max	275	430/580		
S275JR	St44-2	43B	A283D-A		0.21max	1.50max	-	0.045max	0.045max	275	430/580		
S275JO	St44-3 U	43C	A578Gr70	E28-3	0.18max	1.50max	-	0.040max	0.040max	275	430/580		
S355		50A	A572Gr50		0.23max	1.60max	0.50max	0.050max	0.050max	355	490/630		
S355JR		50B	-		0.23max	1.60max	0.55max	0.045max	0.045max	355	490/630		
S355JO	St52-3 U	50C	A441		0.22max	1.60 max	0.60 max	0.40 max	0.040 max	355	490/630		
S355J2G3	St 52-3 N	50D			0.20max	1.60max	0.55max	0.035max	0.035max	355	490/630		
S355J2G4					0.20max	1.60max	0.55max	0.035max	0.035max	355	490/630		
Χάλυβες Υψηλής Αντοχής													
Euronorm	Germany	UK	USA	France									
EN 10149-2	SEW 092	BS1449		NFA 36-231	%C	%Mn	%Si	%S	%P	Yield min	Tensile	V	
S315MC	QSTE340 TM	40/30	045XLF	E315D	0.12max	1.30max	0.50max	0.020max	0.025max	315	390/510	0.20max	
S355MC	QSTE380 TM	43/35	050XLF	E355D	0.12max	1.50max	0.50max	0.020max	0.025max	355	430/550	0.20max	
S420MC	QSTE420 TM	46/40	060XLF	E420D	0.12max	1.60max	0.50max	0.015max	0.025max	420	480/620	0.20max	
S460MC	QSTE460 TM	50/45	-	-	0.12max	1.60max	0.50max	0.015max	0.025max	460	520/670	0.20max	
S315MC	-	40F30	-	E315D	0.12max	1.30max	0.50max	0.015max	0.025max	315		0.20max	
S355MC	-	40F35	-	E355D	0.12max	1.50max	0.50max	0.015max	0.025max	355		0.20max	
-	-	46F40	-	-	0.12max	1.50max	0.50max	0.015max	0.025max	355		0.20max	
S420MC	QSTE420 TM	-	-	E420D	0.12max	1.60max	0.50max	0.015max	0.025max	420		0.20max	
S460MC	QSTE460 TM	-	Gr65	-	0.12max	1.60max	0.50max	0.015max	0.025max	460		0.20max	
S500MC	QSTE500 TM	E490D	070XLK	-	0.12max	1.70max	0.50max	0.015max	0.025max	500	550/700	0.20max	
S550MC	QSTE550 TM	-	080XLK	-	0.12max	1.80max	0.50max	0.015max	0.025max	550	600/760	0.20max	
BS EN 10025: 1993						BS4360: 1986							
Grade	Tensile Strength	Min Yield Strength at 16mm N/mm ²	Max Thk for Specified Yield N/mm ²	Temp °C	Impact Energy (J°C)		Grade	Tensile Strength >3mm N/mm ²	Min Yield Strength at 16mm N/mm ²	Max Thk for Specified Yield N/mm ² (2)	Temp °C	Impact Energy (J°C)	
					Nominal Thickness							Nominal Thickness	
					<150mm	>150mm						<100mm	>100mm
					-1	<250mm -1						-3	
S185 (4)	290/510	185	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S235 (5)	340/470	235	250	-	-	-	40A	340/500	235	150	-	-	-
S235JR (4)	340/470	235	25	20	27	-	-	-	-	-	-	-	-
S235JRG1 (4)	340/470	235	25	+20 (6)	27	-	-	-	-	-	-	-	-
S235JR2	340/470	235	250	+20 (6)	27	23	40B	340/500	235	150	+20 (6)	27	
S235JO	340/470	235	250	0	27	23	40C	340/500	235	150	0	27	
S235J2G3	340/470	235	250	-20	27	23	40D	340/500	235	150	-20	27	
S235J2G4	340/470	235	250	-20	27	23	40D	340/500	235	150	-20	27	
S275 (5)	410/560	275	250	-	-	-	43A	430/580	275	150	-	-	
S275JR	410/560	275	250	+20 (6)	27	23	43B	430/580	275	150	+20 (6)	27	
S275JO	410/560	275	250	0	27	23	43C	430/580	275	150	0	27	
S275J2G3	410/560	275	250	-20	27	23	43D	430/580	275	150	-20	27	
S275J2G4	410/560	275	250	-20	27	23	43D	430/580	275	150	-20	27	
S355 (5)	490/630	355	250	-	-	-	50A	490/640	355	150	-	-	
S355JR	490/630	355	250	+20 (6)	27	23	50B	490/640	355	150	+20 (6)	27	
S355JO	490/630	355	250	0	27	23	50C	490/640	355	150	0	27	
S355J2G3	490/630	355	250	-20	27	23	50D	490/640	355	150	-20	27	
S355J2G4	490/630	355	250	-20	27	23	50D	490/640	355	150	-20	27	
S355K2G3	490/630	355	250	-20	40	33	50DD	490/640	355	150	-30	27	
S355K2G4	490/630	355	250	-20	40	33	50DD	490/640	355	150	-30	27	
E295	470/610	295	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E335	570/710	335	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Παράδειγμα: Άξονας

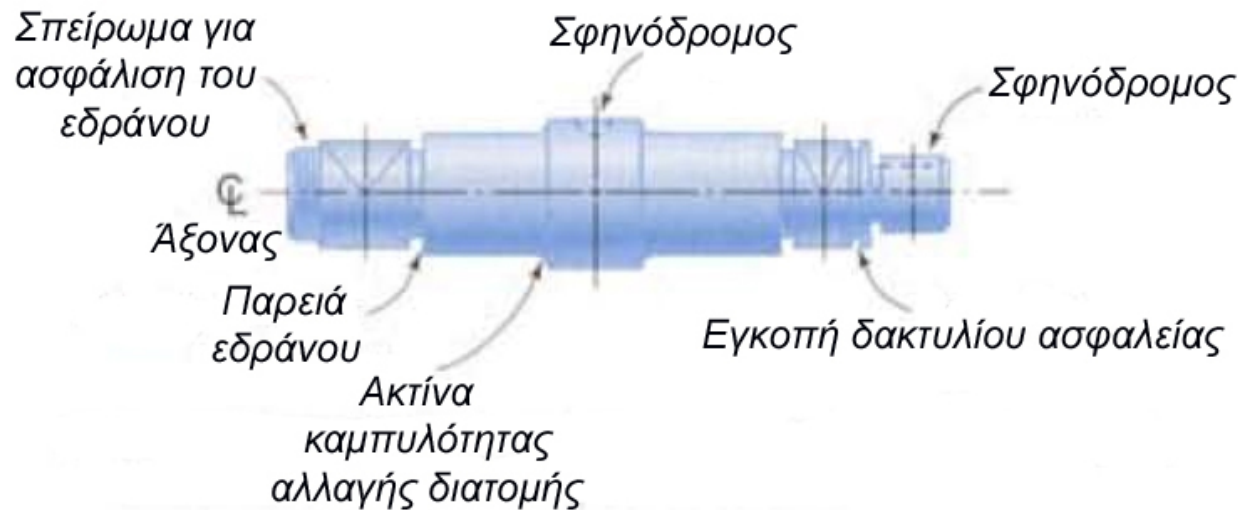


Προκαταρκτικός σχεδιασμός αξόνων



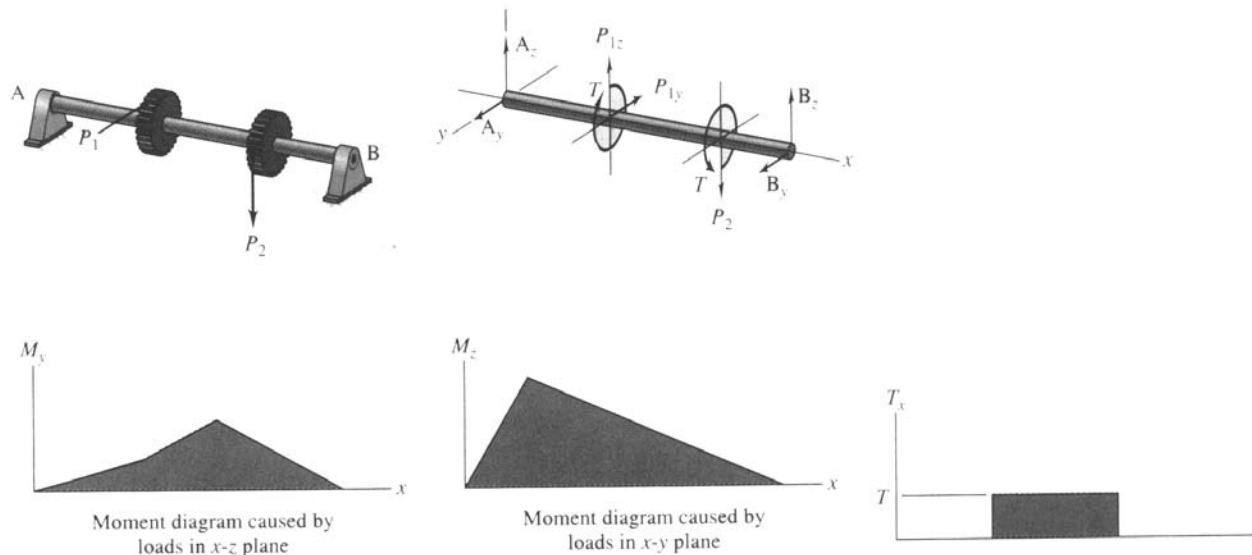
(α) Σκαρίφημα θέσεων γραναζιών και εδράνων όπως επιτάσσουν οι λειτουργικές προδιαγραφές της μηχανής

(β) Πραγματικές διαστάσεις και θέσεις γραναζιών και εδράνων στον άξονα



Υπολογισμός σε αντοχή αξόνων

Οι άξονες που καταπονούνται σε στατικό φορτίο σε ένα ή δύο επίπεδα υπολογίζονται όπως μια δοκός κυκλικής διατομής, ενώ για τον υπολογισμό αξόνων σε δυναμική καταπόνηση δηλαδή σε τάσεις που μεταβάλλονται με τον χρόνο χρησιμοποιούμε κριτήρια ή θεωρίες από τις οποίες προκύπτει η ισοδύναμη στατική τάση με την οποία γίνεται ο υπολογισμός.



Αν ένας άξονας καταπονείται στατικά σε κάμψη M και στρέψη T τότε οι ορθές τάσεις σ_x δίνονται από τη σχέση,

$$\sigma_x = \frac{M}{I} y_{\max} = \frac{M}{\pi d^4 / 64} \times \frac{d}{2} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

ενώ οι διατμητικές τάσεις τ_{xy} από την,

$$\tau_{xy} = \frac{T}{J} r = \frac{T}{\pi d^4 / 32} \times \frac{d}{2} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Κατά Mohr οι κύριες τάσεις είναι,

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

η μέγιστη διατμητική τάση (μικρότερη ή ίση από την επιτρεπόμενη διατμητική) δίνεται από τη σχέση,

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \leq \frac{S_{sy}}{N} = \frac{S_y}{2N}$$

ΟΠΌΤΕ:

$$2\tau_{\max} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \leq \frac{S_y}{N}$$

ενώ η θεωρία του έργου παραμόρφωσης ή Von Mises δίνει:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq \frac{S_y}{N}$$

Μετά την αντικατάσταση των τιμών των σ_x και τ_{xy} στις πιο πάνω δύο θεωρίες λαμβάνουμε,

$$\frac{32}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + \frac{a}{4} T^2} \leq \frac{S_y}{N}$$

Όπου $\alpha = 4$ ή 3 , για τις θεωρίες ΜΔΤ και ΘΕΠ αντίστοιχα.

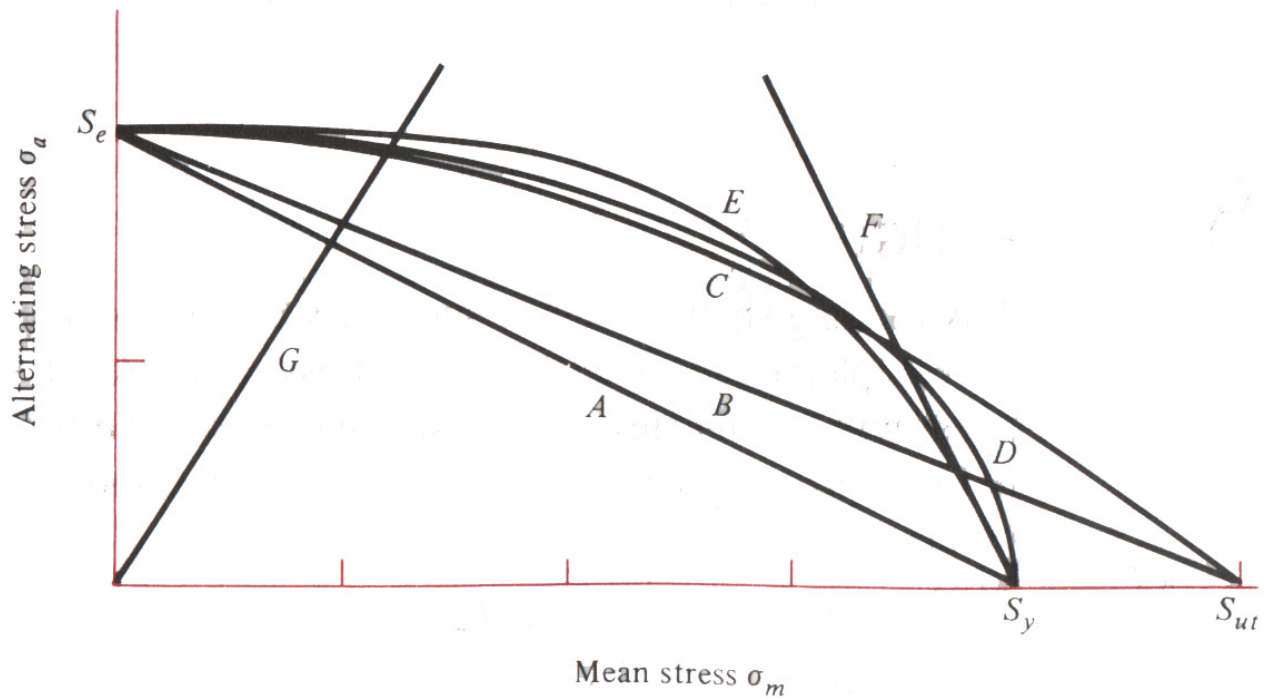
Επιλύοντας ως προς d έχουμε:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{a}{4} T^2}}$$

Αν ο άξονας φορτίζεται σε δύο επίπεδα τότε η ανάλυση γίνεται ξεχωριστά στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, και μετά συνθέτονται διανυσματικά. Σε κάθε σημείο του άξονα η συνισταμένη ροπή προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των ροπών στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο.

$$M_{eq} = \sqrt{M_{οριζ}^2 + M_{κατ}^2} .$$

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΞΟΝΩΝ ΣΕ
ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ



Soderberg:

$$A: \frac{N\sigma_r}{S_e} + \frac{N\sigma_m}{S_y} = 1$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_m + \sigma_r \frac{S_y}{S_e} = \frac{S_y}{N}$$

Συνδυασμός ορθών και διατμητικών εναλλαγών τάσεων:

$$A: \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\sigma_m + \sigma_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \alpha \left(\tau_m + \tau_r \frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2} \leq \frac{S_y}{N}$$

Goodman:

$$\text{B: } \frac{N\sigma_r}{S_e} + \frac{N\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \quad \sigma_{eq} = \sigma_m + \frac{S_{ut}}{S_e} \sigma_r = \frac{S_{ut}}{N}$$

Συνδυασμός ορθών και διατμητικών εναλλαγών τάσεων:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\sigma_m + \sigma_r \frac{S_{ut}}{S_e}\right)^2 + \alpha \left(\tau_m + \tau_r \frac{S_{sut}}{S_{se}}\right)^2} \leq \frac{S_{ut}}{N}$$

Gerber:

$$\text{C: } \frac{N\sigma_r}{S_e} + \left(\frac{N\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad \sigma_{eq} = \sigma_m^2 \frac{N}{S_{ut}} + \sigma_r \frac{S_{ut}}{S_e} = \frac{S_{ut}}{N}$$

Συνδυασμός ορθών και διατμητικών εναλλαγών τάσεων:

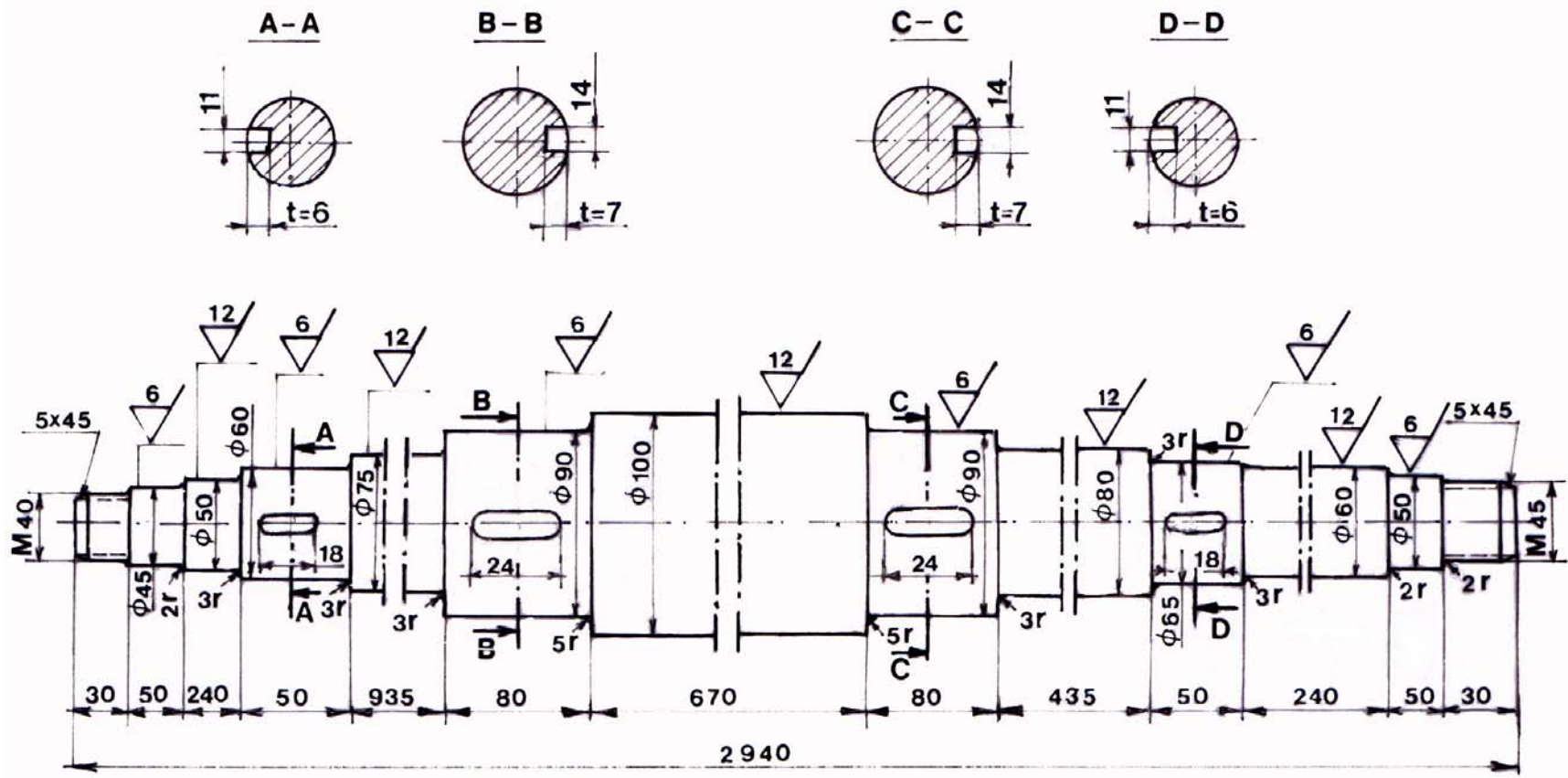
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\sigma_m^2 \frac{N}{S_{ut}} + \sigma_r \frac{S_{ut}}{S_e}\right)^2 + \alpha \left(\tau_m^2 \frac{N}{S_{sut}} + \tau_r \frac{S_{sut}}{S_{se}}\right)^2} \leq \frac{S_{ut}}{N}$$

ASME elliptic:

$$\text{D: } \left(\frac{N\sigma_r}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{N\sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1, \quad \sigma_{eq}^2 = \sigma_m^2 + \sigma_r^2 \left(\frac{S_y}{S_e}\right)^2 = \left(\frac{S_y}{N}\right)^2$$

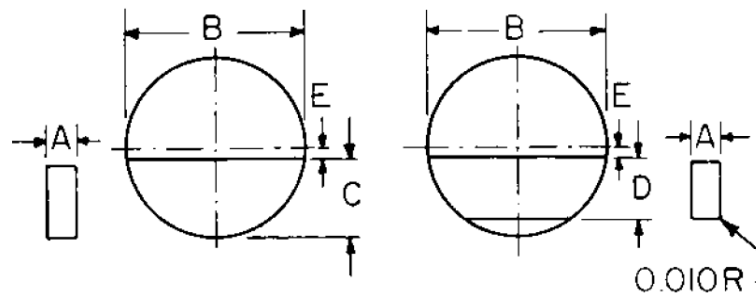
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_r^2 \left(\frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \alpha \left(\tau_m^2 + \tau_r^2 \left(\frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2\right)} \leq \frac{S_y}{N}$$

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΞΟΝΑ





 τραχυτητα
 R : 6 μ m

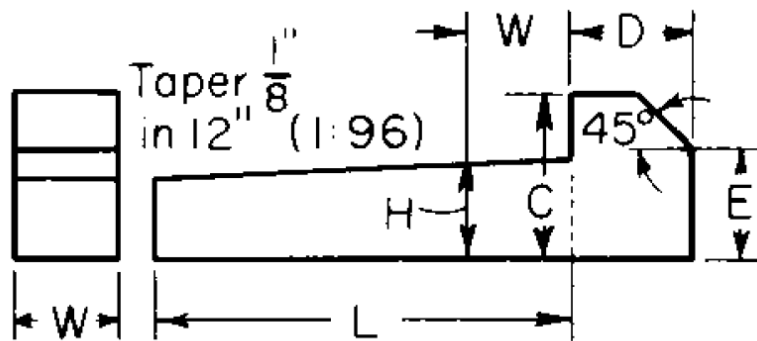


Σχήμα 13.7: Γεωμετρία σφηνών Woodruff

Πίνακας 13.3: Τυποποιημένες διαστάσεις σφηνών Woodruff

Diameter	A x C	Length
7	2 x 2,6	6,75
10	2 x 3,7	9,66
10	3 x 3,7	9,66
13	3 x 5	12,65
13	4 x 5	12,65
16	3 x 6,5	15,72
16	4 x 6,5	15,72
16	5 x 6,5	15,72
19	4 x 7,5	18,57
19	5 x 7,5	18,57
19	6 x 7,5	18,57

Diameter	A x C	Length
22	5 x 9	21,63
22	6 x 9	21,63
22	8 x 9	21,63
25	5 x 10	24,49
25	6 x 10	24,49
28	6 x 11	27,35
28	8 x 11	27,35
28	10 x 11	27,35
32	8 x 13	31,43
32	10 x 13	31,43



Σχήμα 13.8: Γεωμετρία τετραγωνικών και επίπεδων σφηνών

Πίνακας 13.4: Τυποποιημένες διαστάσεις τετραγωνικών και επίπεδων σφηνών

Κωνική σφήνα με κεφαλή τερματισμού				
Μέγιστο πλάτος, W	Ύψος, H	Ύψος, C	Διάμετρος άξονα, d	Βάθος σφηνοδρόμο υ στον άξονα, t
5	5	8	12 - 17	2.9
6	6	10	17 - 22	3.5
8	7	11	22 - 30	4.1
10	8	12	30 - 38	4.7
12	8	12	38 - 44	4.9
14	9	14	44 - 50	5.5
16	10	16	50 - 58	6.2
18	11	18	58 - 65	6.8
20	12	20	65 - 75	7.4
22	14	22	75 - 85	8.5
25	14	22	85 - 95	8.7

Το μήκος L διατίθεται σε διάφορα μήκη από 40 έως 100 ανά 10 mm.

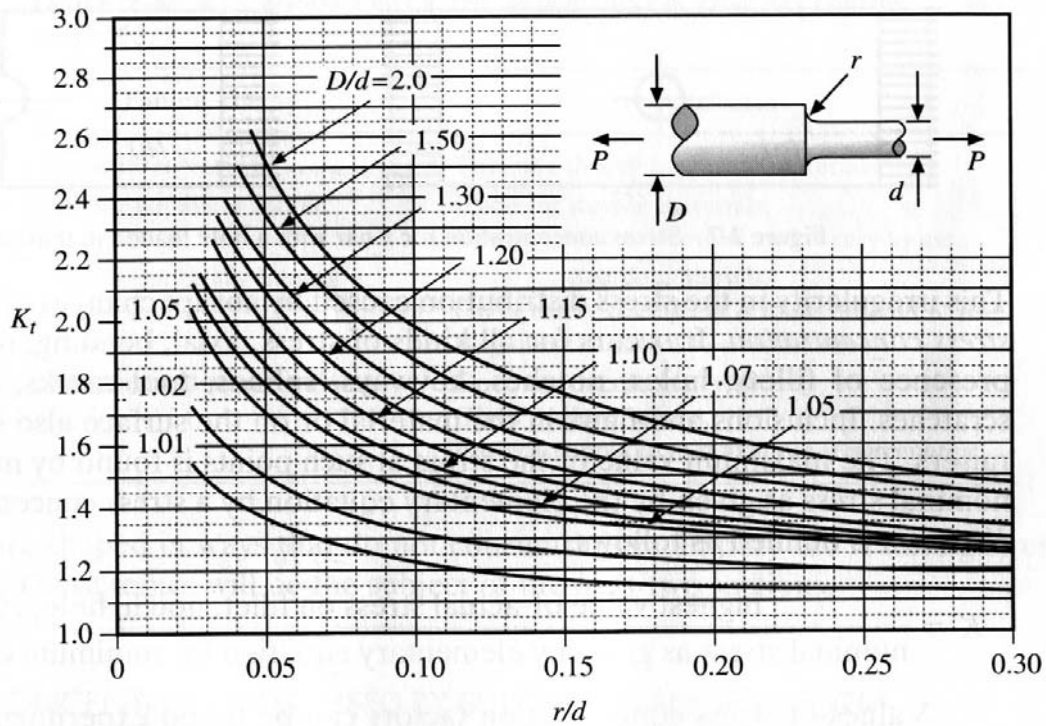


Σχήμα 13.9: Γεωμετρία τετραγωνικών και επίπεδων σφηνών

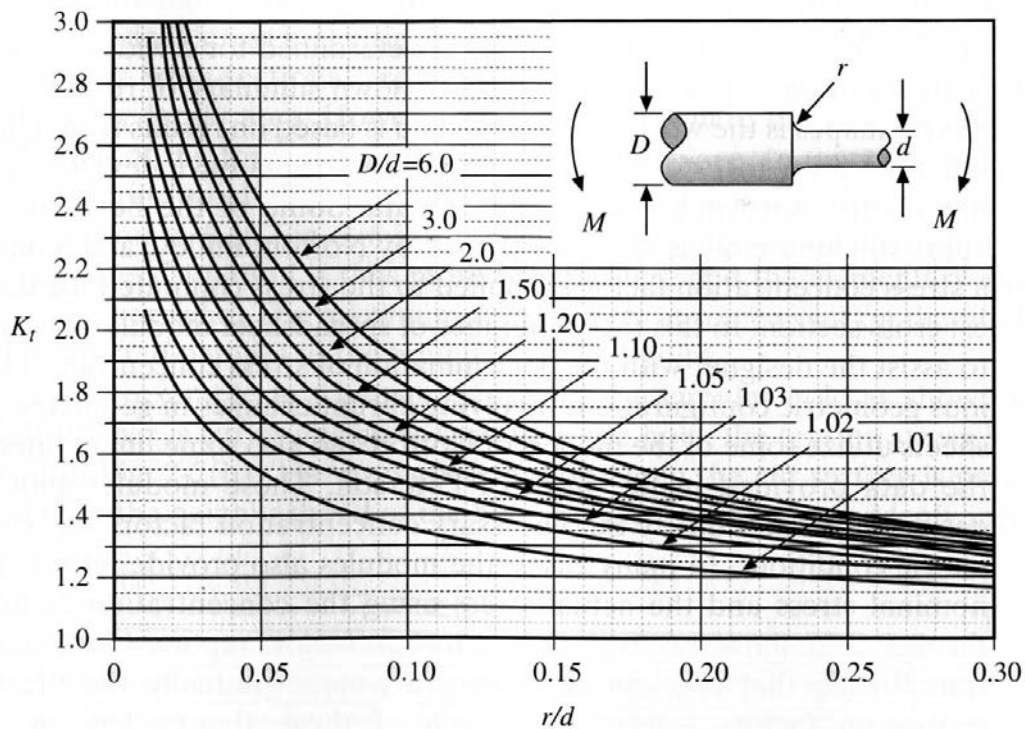
Πίνακας 13.5: Τυποποιημένες διαστάσεις τετραγωνικών και επίπεδων σφηνών

Πλάτος σφήνας, W	Ύψος σφήνας, H	Περιοχή μηκών σφήνας, L	Κατάλληλη διάμετρος άξονα, d
2	2	10 - 22	6 έως 8
3	3	8 - 40	9 έως 10
4	4	8 - 25	11 έως 12
5	5	10 - 50	13 έως 17
6	6	12 - 50	18 έως 22
8	7	18 - 50	23 έως 30
10	8	20 - 50	31 έως 38
12	8	40 - 60	39 έως 44
14	9	50 - 70	45 έως 50

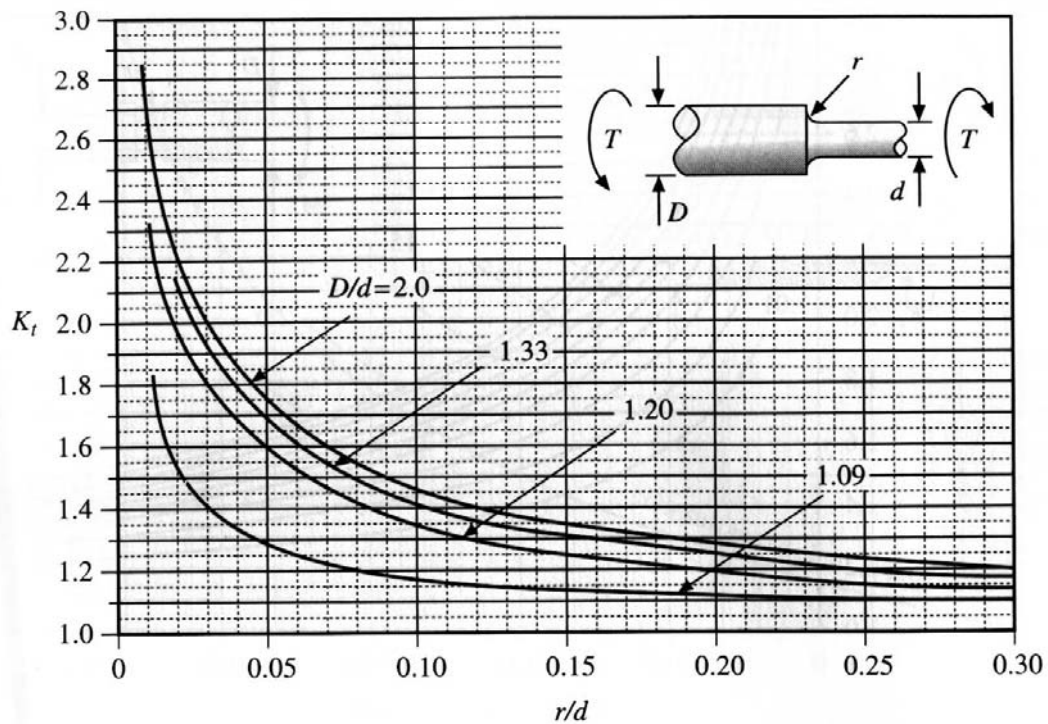
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε εφελκυόμενον άξονα, στην αλλαγή διατομής με ακτίνα καμπυλότητας r .



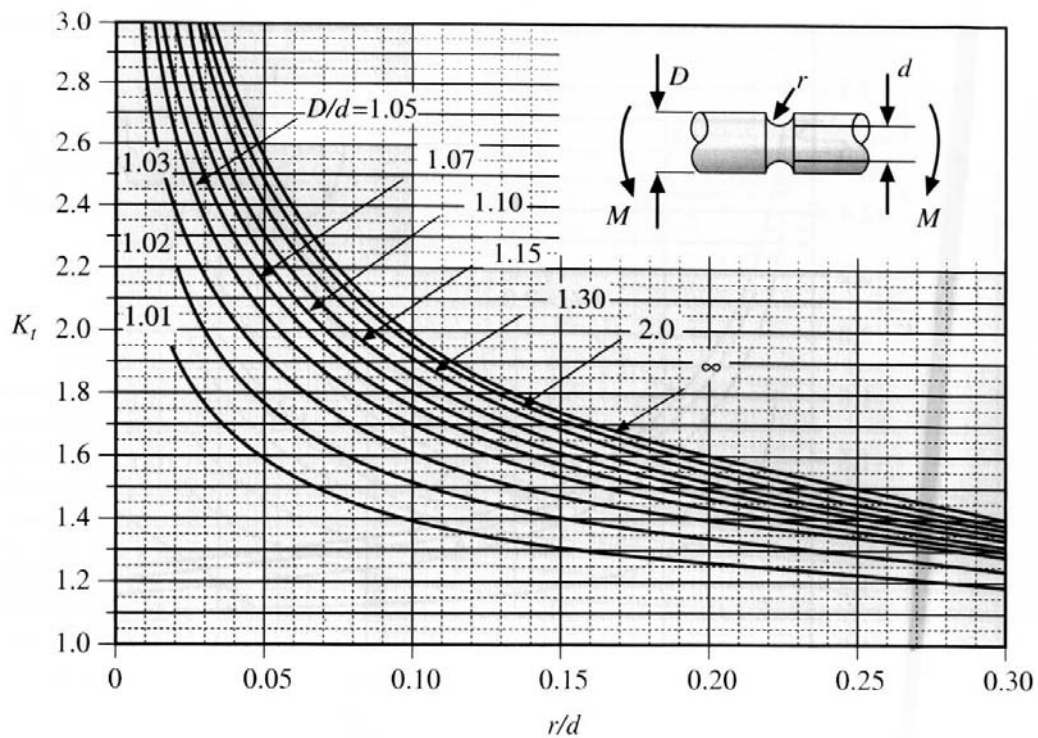
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε καμπτόμενον άξονα, στην αλλαγή διατομής με ακτίνα καμπυλότητας r .



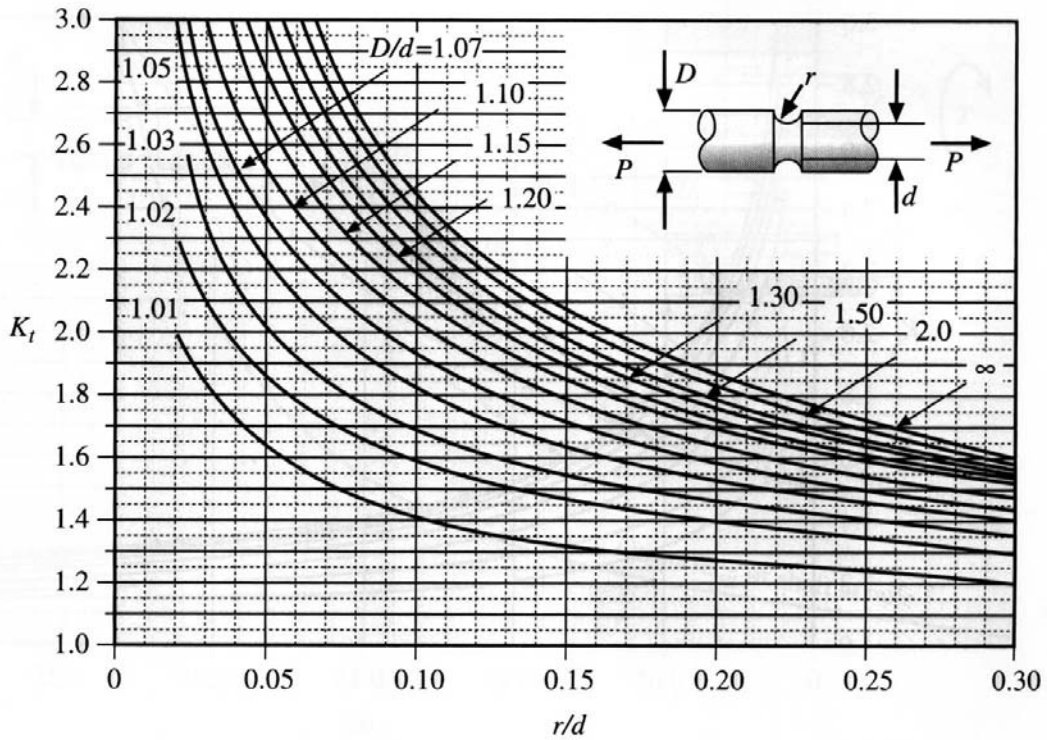
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε στρεπτόμενον άξονα, στην αλλαγή διατομής με ακτίνα καμπυλότητας r .



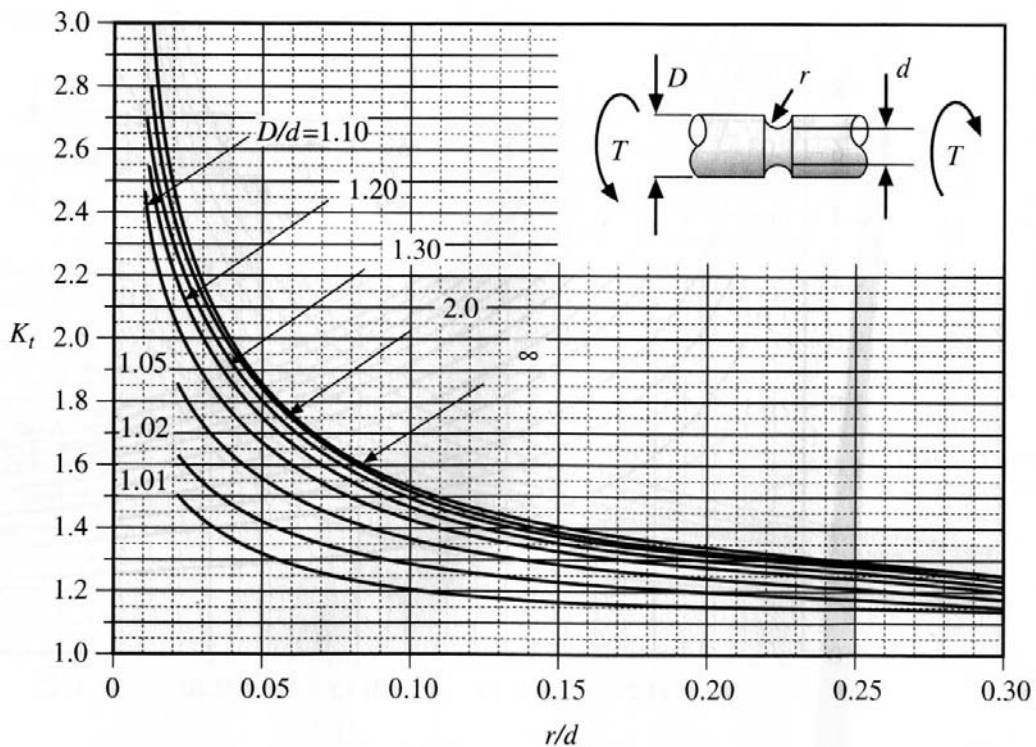
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε καμπτόμενον άξονα, στην εγκοπή με ακτίνα καμπυλότητας r .



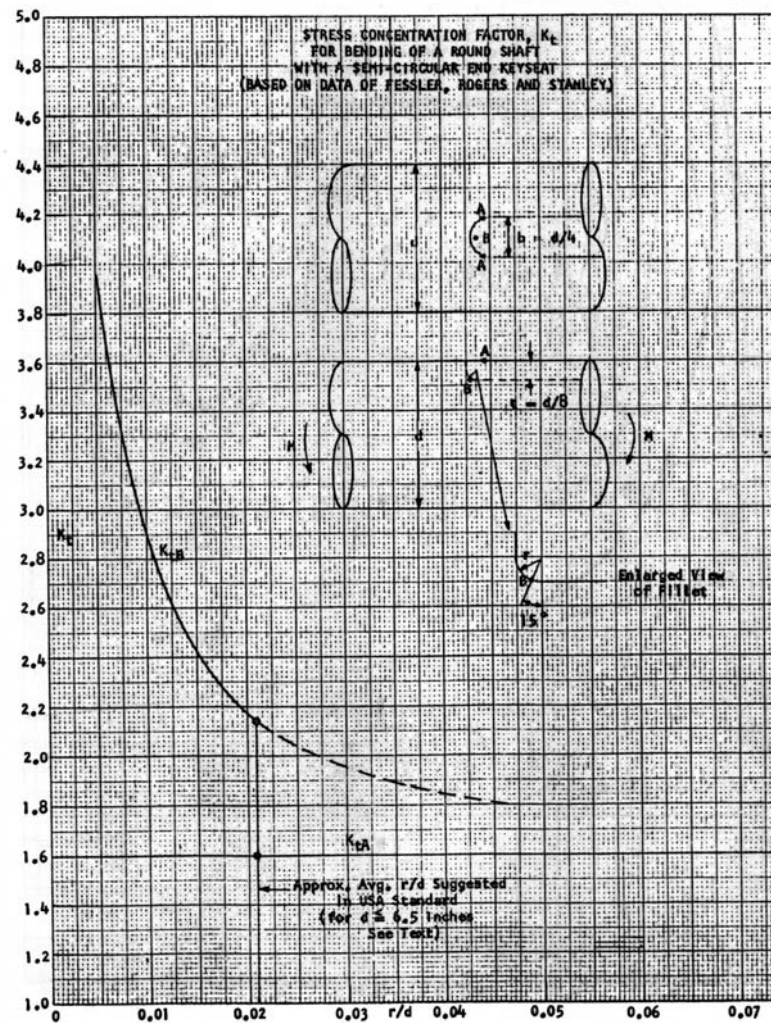
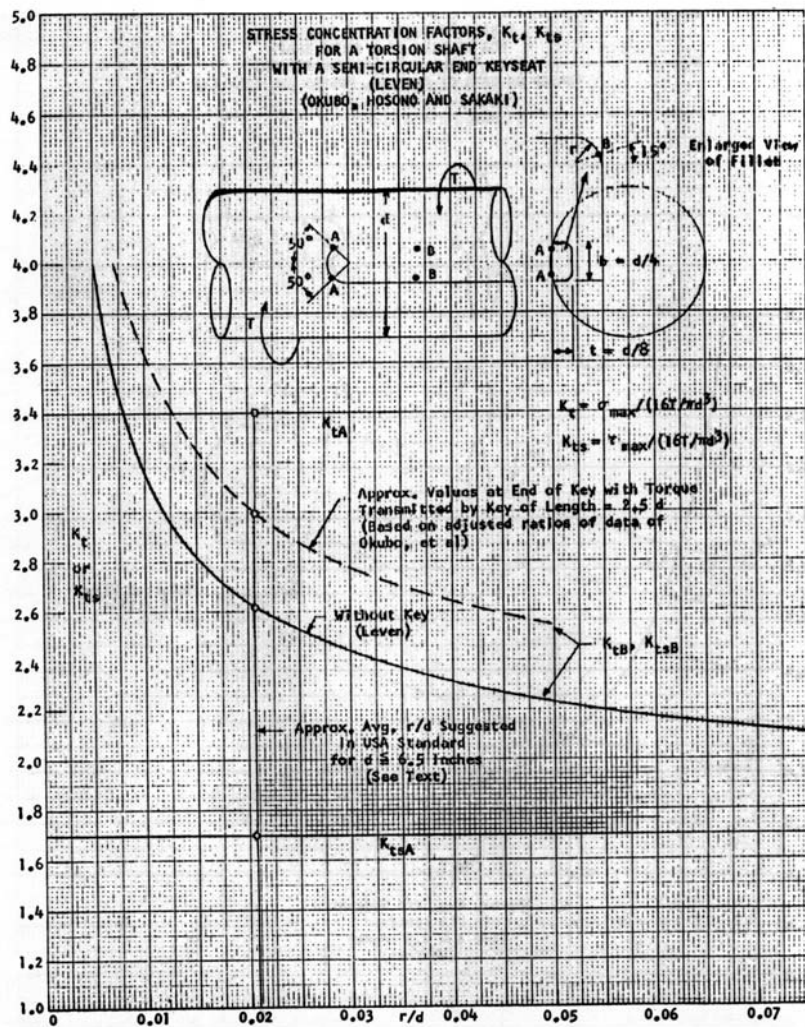
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε εφελκυόμενον άξονα, στην εγκοπή με ακτίνα καμπυλότητας r .



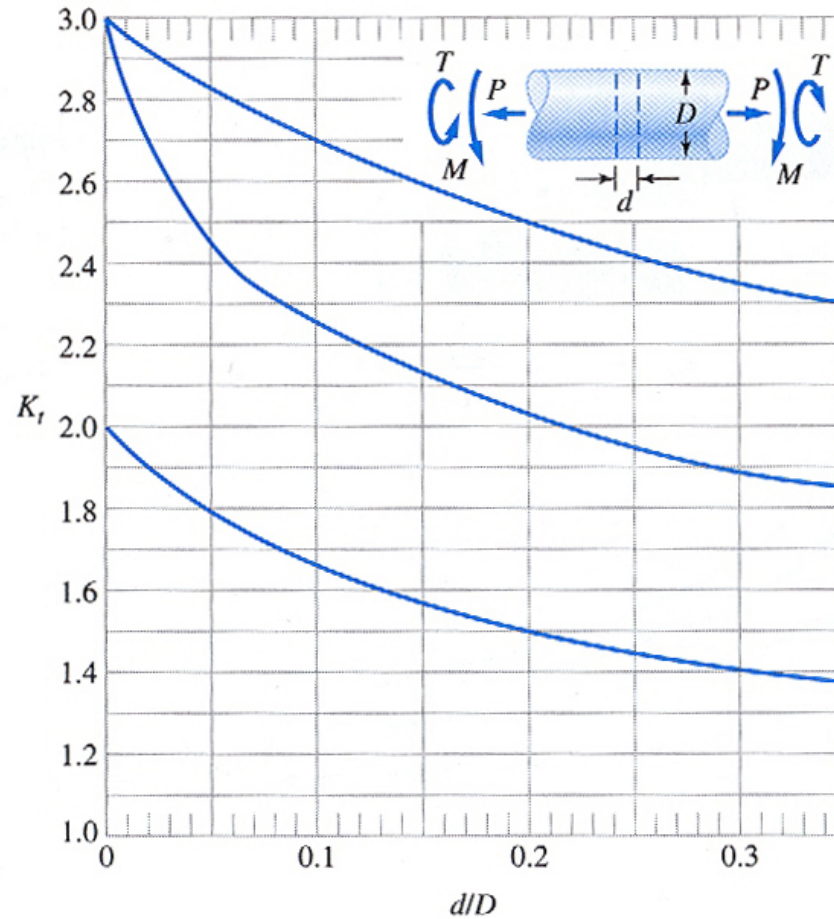
Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε στρεπτόμενον άξονα, στην εγκοπή με ακτίνα καμπυλότητας r .



Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, σε στρεπτόμενον και καμπτόμενο άξονα, στον σφηνόδρομο με ακτίνα καμπυλότητας r .



Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων άξονα διαμέτρου D
με διαμπερή οπή διαμέτρου d .



Αξονικό φορτίο:

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{P}{A} \approx \frac{P}{(\pi D^2/4) - Dd}$$

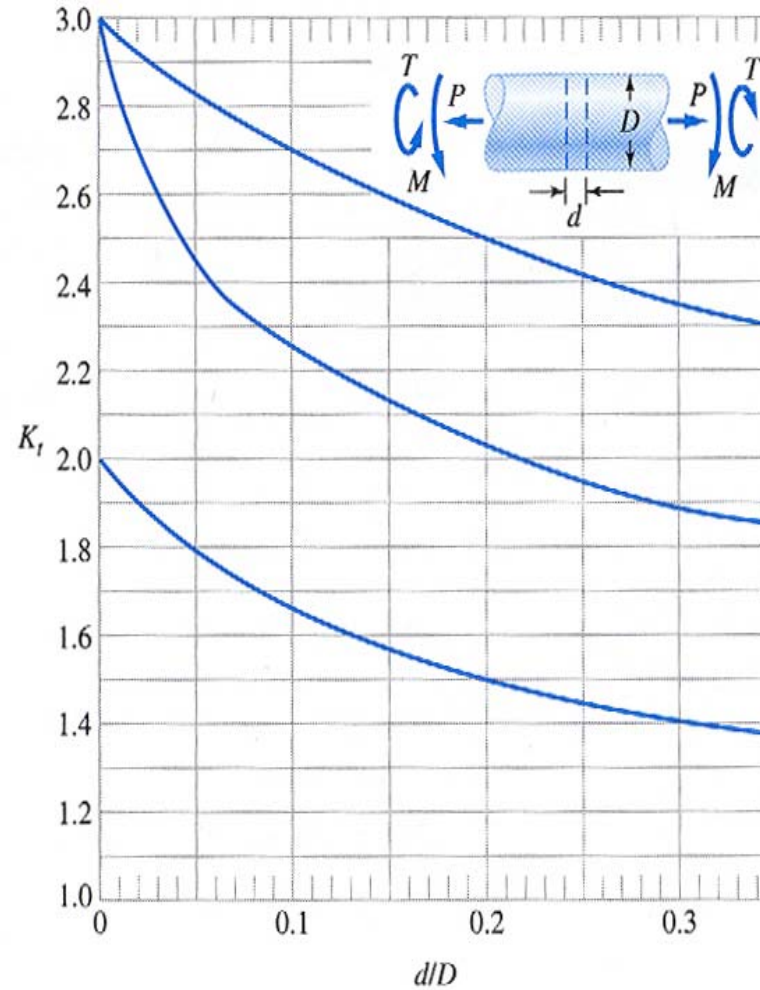
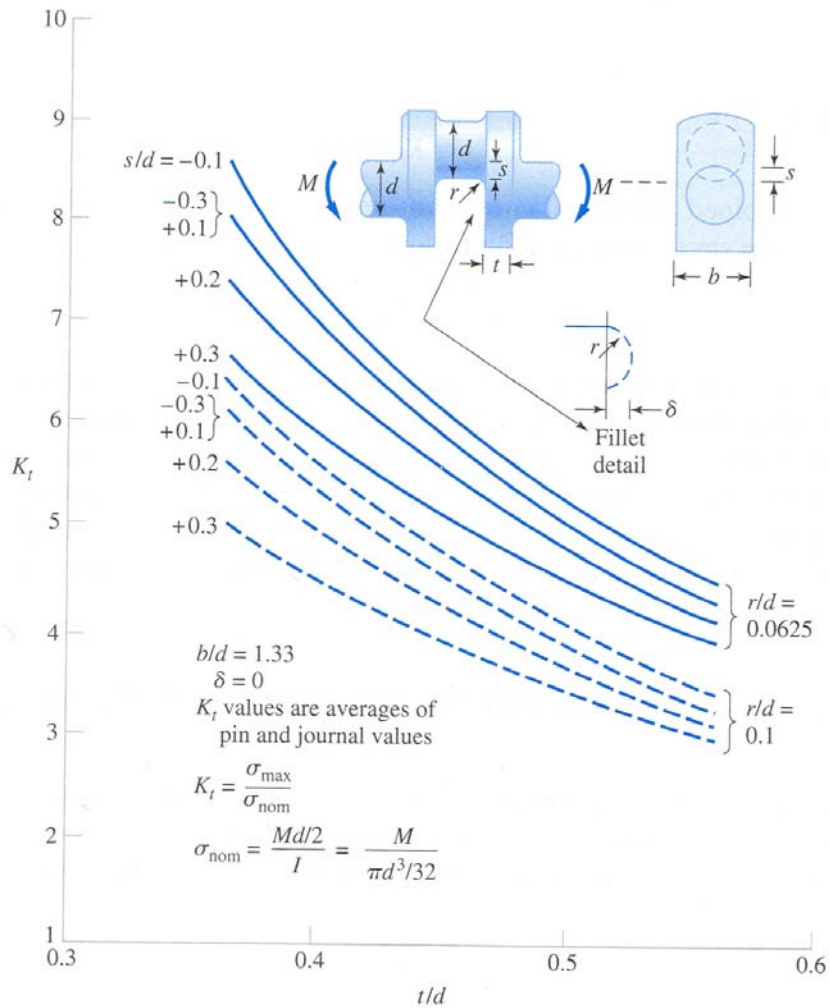
Κάμψη στο επίπεδο των αξόνων:

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{Mc}{I} \approx \frac{M}{(\pi D^3/32) - dD^2/6}$$

Στρέψη:

$$\tau_{\text{nom}} = \frac{Tc}{J} \approx \frac{T}{(\pi D^3/16) - dD^2/6}$$

Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων σε στροφαλοφόρο άξονα



Αξονικό φορτίο:

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{P}{A} \approx \frac{P}{(\pi D^2/4) - Dd}$$

Κάμψη στο επίπεδο των αξόνων:

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{Mc}{I} \approx \frac{M}{(\pi D^3/32) - dD^2/6}$$

Στρέψη:

$$\tau_{\text{nom}} = \frac{Tc}{J} \approx \frac{T}{(\pi D^3/16) - dD^2/6}$$