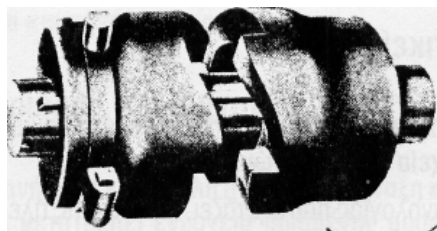
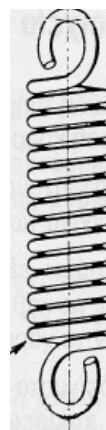
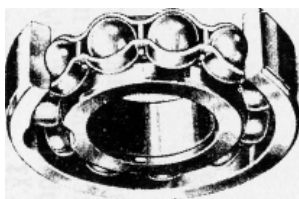
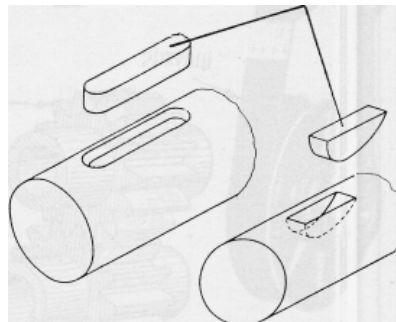
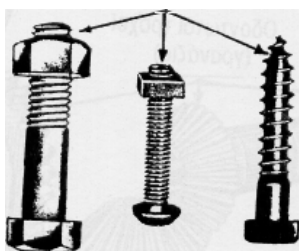


ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ



Δρ. Στέργιος Μαρόπουλος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	1
2.	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	
3.	ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	25
4.	ΗΛΟΙ.....	47
5.	ΚΟΧΛΙΕΣ.....	61
6.	ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ.....	92
7.	ΕΛΑΤΗΡΙΑ.....	124
8.	ΑΤΡΑΚΤΟΙ-ΑΞΟΝΕΣ.....	133
9.	ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΑΤΡΑΚΤΩΝ-ΠΛΗΜΝΩΝ.....	146
10.	ΕΔΡΑΝΑ.....	154
11.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΑΤΡΑΚΤΩΝ.....	175
12.	ΠΕΔΕΣ.....	191

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ

1.ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Ορισμός και είδη Στοιχείων Μηχανών

Στοιχεία Μηχανών είναι τα τεμάχια που χρησιμοποιούνται κατ' επανάληψη, στην ίδια ή παραπλήσια μορφή, για τη διαμόρφωση και συγκρότηση μηχανών, συσκευών και οργάνων.

Εμφανίζονται τόσο με τη μορφή επί μέρους στοιχείων όπως κοχλίες, άτρακτοι, οδοντωτοί τροχοί κλπ., όσο και με τη μορφή συγκροτημάτων που αποτελούνται από επί μέρους στοιχεία τα οποία όμως διαμορφώνουν λειτουργικά ένα ενιαίο σύνολο όπως έδρανα, συμπλέκτες, βαλβίδες κλπ.

Επειδή κάθε τεχνικό κατασκεύασμα αποτελείται από επί μέρους στοιχεία, για την κατασκευή μηχανημάτων, είναι απαραίτητες εκτεταμένες γνώσεις των σχετικών στοιχείων.

Ανάλογα με το σκοπό χρησιμοποίησής τους διακρίνουμε:

Στοιχεία σύνδεσης π.χ. ήλους, κοχλίες, σφήνες, πείρους καθώς επίσης κολλήσεις διαφόρων ειδών (ηλεκτροσυγκολλήσεις, μαλακές κολλήσεις και κολλήσεις με κόλλα).

Στοιχεία έδρασης και μετάδοσης της κίνησης π.χ. έδρανα ολίσθησης και κύλισης, άξονες, ατράκτους, συμπλέκτες, οδοντωτούς τροχούς και μειωτήρες στροφών, ιμάντες και αλυσίδες κίνησης.

Στοιχεία για τη μεταφορά υγρών και αερίων π.χ. σωληνώσεις και εξαρτήματα αυτών,

αποφρακτικά όργανα όπως βαλβίδες, σύρτες, κρουνοί κλπ.

Επί πλέον στα Στοιχεία Μηχανών ανήκουν ορισμένες συγγενείς περιοχές όπως οι συναρμογές, η αντοχή και οι επιτρεπόμενες τάσεις γιατί μετέχουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση και τον υπολογισμό αυτών.

ΗΛΟΙ (καρφιά-πιρτσίνια)

Με τους ήλους μπορούν να συνδεθούν δυο ή περισσότερα στοιχεία που αποτελούνται από το ίδιο ή διαφορετικό υλικό και για μόνιμη σύνδεση των κομματιών.

Ανάλογα με τις ανάγκες των διάφορων κατασκευών οι ηλώσεις χρησιμοποιούνται κυρίως :

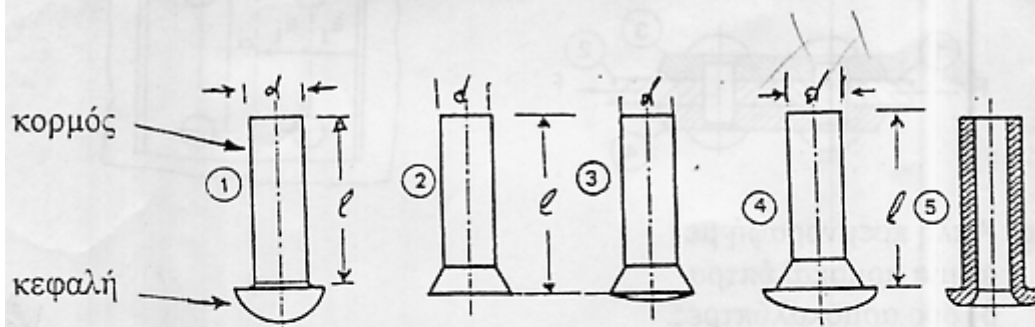
α) Σε κατασκευές που καταπονούνται από δυναμικά φορτία ή ισχυρά κρουστικά φορτία, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυναμική αντοχή σε εφελκυσμό, από τις συγκολλήσεις εξωρραφών.

β) Σε κατασκευές από κράματα ελαφρών μετάλλων (π.χ. κράματα αλουμινίου, μαγνησίου) διότι η συγκόλληση αυτών των κραμάτων είναι τεχνολογικά δύσκολη .

γ) Σε συνδέσεις στοιχείων από διαφορετικά υλικά που δεν μπορούν να συγκολληθούν.

δ) Σε ογκώδεις σιδηρές κατασκευές (γέφυρες ,πλοία) για την επί τόπου σύνδεση προκατασκευασμένων μεγάλων κομματιών.

Ένας ήλος αποτελείται από δυο βασικά μέρη ,τον κορμό και την κεφαλή, ο κορμός των ήλων που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές κατασκευές είναι πάντα κυλινδρικής μορφής ενώ η κεφαλή μπορεί να έχει διάφορες μορφές . Βλέπε σχήμα.



Σχ. Είδη ήλων

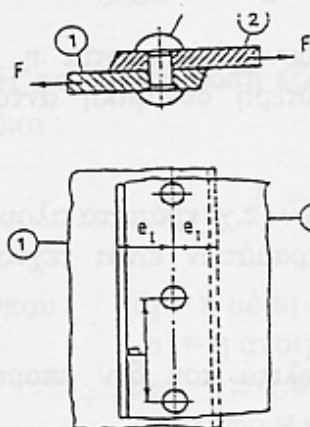
1. Ημισφαιρικός ή στρογγυλοκέφαλος.
2. Φρεζατός ή βυθιζόμενος.
3. Φρεζατός ή ημιβυθιζόμενος.
4. Πλατυκέφαλος.
5. Εκτονωτικός.

Ο ήλος έχει δυο χαρακτηριστικές διαστάσεις το μήκος L που βυθίζεται στο υλικό και την διάμετρο του κορμού d .

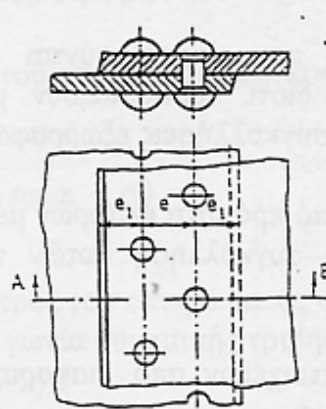
Μορφές ραφών

Ανάλογα με τη μορφή της φόρτισης και τις γενικές προδιαγραφές λειτουργίας οι καρφωτές ραφές μπορούν να εκτελεστούν :

I) Σαν απλές , διπλές ή τριπλές ραφές επικαλύψεως και



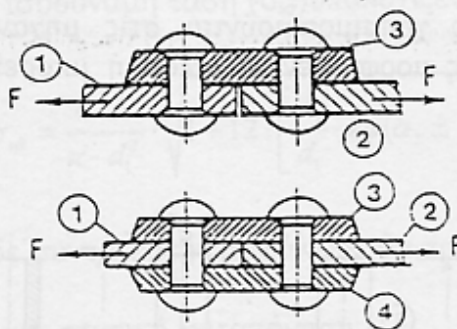
α) Απλή ραφή



β) Διπλή ραφή

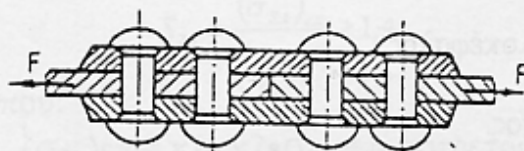
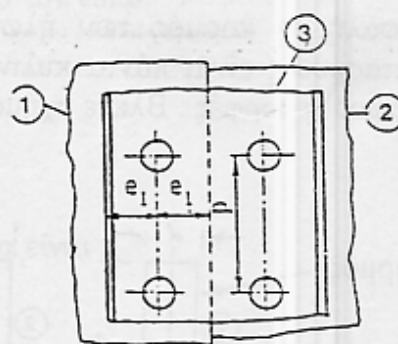
e = απόσταση ακρών από τον άξονα ήλων
 ρ = βήμα ήλων

II) Σαν απλές , διπλές ή τριπλές πρεμνοραφές με αρμοκαλύπτρες.

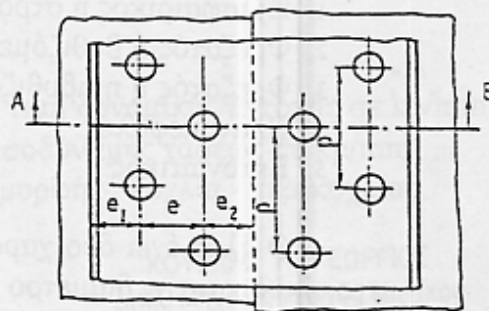


α) Απλη πρεμνοραφή με :

- α) μια αρμοκαλύπτρα.
- β) δυο αρμοκαλύπτρες.



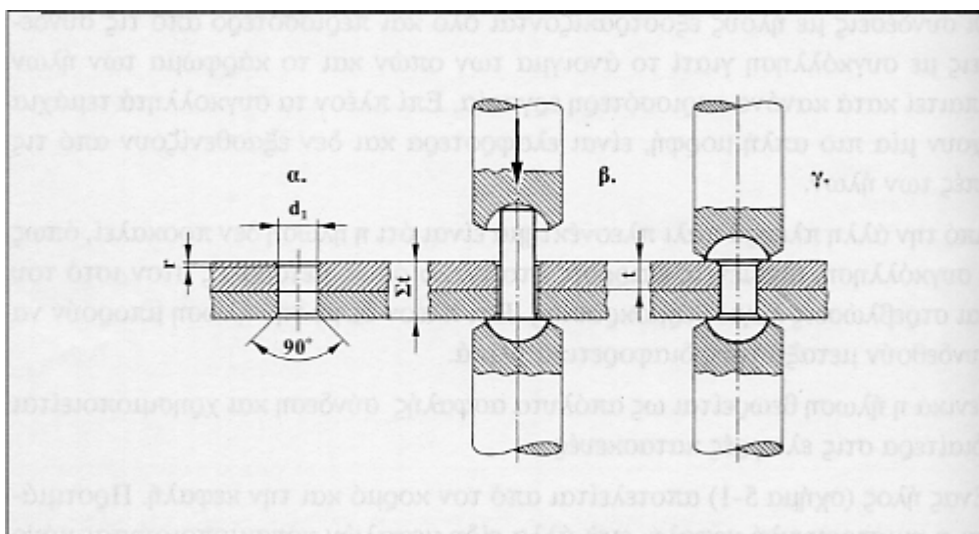
β) Διπλή ραφή με δυο αρμοκαλύπτρες.



Εκτέλεση των ηλώσεων

Η διαδικασία της σύνδεσης δύο ελασμάτων πάχους S , με ήλους περιλαμβάνει το ταυτόχρονο τρύπημα των ελασμάτων, το πέρασμα των ήλων στις τρύπες και το σχηματισμό της δεύτερης κεφαλής με ταυτόχρονο γέμισμα τον κενού μεταξύ των ήλου και καρφότρυπας.

Η αρχική κεφαλή (κάτω) συγκρατείται με ένα αντιστήριγμα και η άνω κεφαλή (κλειόμενη) διαμορφώνεται κατόπιν σε μια μηχανή ήλωσης υπό ομοιόμορφη πίεση ή με χτυπήματα μέσω μιας αερόσφαιρας (σχήμα 5-2).



Σχήμα 5-2. Κατασκευή μιας σύνδεσης με ήλους. α. διαμόρφωση της οπής, β. πριν από το κλείσιμο, γ. μετά το κλείσιμο μιας ημιστρογγυλής κεφαλής.

Τα ελάσματα συμπιέζονται ανάμεσα στις δύο κεφαλές των ήλων, ιδιαίτερα δε στην εν θερμώ ήλωση ο κορμός τον ήλου με τη συστολή τον κατά την ψύξη τανύεται μέχρι το όριο ροής και δημιουργεί σταθερές συνδέσεις.

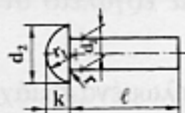
Όταν οι ήλοι μίας συνδέσεως είναι από κράματα χαλκού ή αλουμινίου ή όταν είναι από χάλυβα και έχουν αρχική διάμετρο το πολύ έως $d < 10 \text{ mm}$, τότε η διαμόρφωση του τελικού κεφαλιού τους γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι ηλώσεις αυτές λέγονται ψυχρές ηλώσεις.

Ενώ όταν είναι απο χάλυβα και έχουν $d > 10 \text{ mm}$, οι ήλοι προθερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία ερυθροπύρωσης ή λευκοπύρωσης πριν τοποθετηθούν στις οπές μιας σύνδεσης με σκοπό να διευκολυνθεί διαμόρφωση του τελικού τους κεφαλιού, οι ηλώσεις αυτές ονομάζονται θερμές ηλώσεις και δίνουν μεγαλύτερη αντοχή και στεγανότητα.

5.2. Σύνδεση με ήλους σε σιδηρές κατασκευές

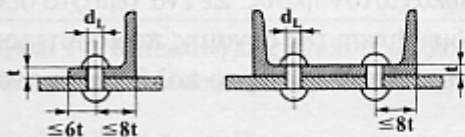
Για τις κατασκευές αυτές που περιλαμβάνουν γέφυρες, στέγες, ικριώματα, γερανούς κλπ ισχύουν ορισμένοι βασικοί κανόνες κατά DIN 18800 και 15018, μερικοί από τους οποίους είναι:

- να χρησιμοποιούνται ημιστρογγυλοί ήλοι κατά DIN 124 (πίνακας 5-1). Άλλου είδους ήλοι μόνο κατ' εξαίρεση
- να τηρούνται οι αποστάσεις του πίνακα 5-2 των οπών μεταξύ τους και από τα ακρα
- κάθε τεμάχιο να στερεώνεται με δυο τουλάχιστον ήλους. Σε ένα τεμάχιο δεν επιτρέπεται να τοποθετηθούν κατά τη διεύθυνση της δυναμής περισσότεροι από 6 ήλοι ανά σειρά, σε εναλλασσόμενες καταπονήσεις το πολύ 5 ήλοι ανά σειρά.
- σε ένα κομβοέλασμα να προβλέπονται κατά το δυνατόν ήλοι με την ίδια διάμετρο.
- το κομβοέλασμα να έχει το ίδιο μέσο πάχος με τις προς σύνδεση δοκούς ή ελάσματα. Ελάχιστο πάχος 4 mm.



d_1	d_L	d_2	k	$\approx r_1$	r	A	d_1	d_L	d_2	k	$\approx r_1$	r	A
10	10,5	16	6,5	8	0,5	86,6	22	23	36	14	18,5	1	415
12	13	19	7,5	9,5	0,6	133	24	25	40	16	20,5	1,2	491
14	15	22	9	11	0,6	177	27	28	43	17	22	1,2	616
16	17	25	10	13	0,8	227	30	31	48	19	24,5	1,6	755
18	19	28	11,5	14,5	0,8	283	33	34	53	21	27	1,6	908
20	21	32	13	16,5	1	346	36	37	58	23	30	2	1075

Πίνακας 5-1. Διαστάσεις σε mm των ημιστρογγυλών ήλων κατά DIN 124 για σιδηρές κατασκευές. Διάμετρος της οπής του ήλου d_L = διάμετρος του τοποθετημένου ήλου. A = επιφάνεια του τοποθετημένου ήλου = $\pi d_L^2/4$ σε mm^2 .

Αποστάσεις από το άκρο			Αποστάσεις μεταξύ οπών		
Ελάχιστη απόσταση από άκρο	κατά τη διεύθυνση της δύναμης	$1,2d_L$ ($2d_L$)*	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ οπών	για όλα τα τεμάχια της κατασκευής	$3d_L$
	κάθετα προς τη διεύθυνση της δύναμης	$1,2d_L$ ($1,5d_L$)*		κατά τη διεύθυνση της δύναμης	$2,2d_L$
Μέγιστη απόσταση από άκρο	κατά τις δύο διευθύνσεις	$3d_L$ ή $6t$		κάθετα προς τη διεύθυνση της δύναμης	$2,2d_L$
			Μέγιστη απόσταση μεταξύ οπών εάν κατασκευαστικά δεν απαιτείται μικρότερη	στην περιοχή θλίψης και για άκαμπτες κατασκευές	$6d_L$ ή $12t$
				στην περιοχή εφελκυσμού και για σύνδεση επίσης στην περιοχή θλίψης	$10d_L$ ή $20t$

* διάσταση σε παλαιότερο DIN.

Πίνακας 5-2. Αποστάσεις από τα άκρα και μεταξύ οπών ήλων (και κοχλιών) σε σιδηρές κατασκευές κατά DIN 18800-1: 1990-11.

Στον πίνακα 5-3 δίνονται στοιχεία για ηλώσεις σε τυποποιημένα προφίλ σιδηροδοκών.

b	d _{Lmax}	w, w ₁	w ₂		h	b	c	d _{Lmax}	w	h	b	c	d _{Lmax}	w	b = h	d _{Lmax}	w ₁	w ₂	
30	8,4	17			30	15	9	4,3	10	80	42	10,5	6,4	22	30	4,3	17	17	
35	11	18			30	33	14,5	8,4	20	100	50	12,5	6,4	28	35	4,3	19	19	
40	11	22			40	20	11	6,4	11	120	58	14	8,4	32	40	6,4	21	22	
45	13	25			40	35	14,5	8,4	20	140	66	15,5	11	34	50	6,4	30	30	
50	13	30			50	25	12,5	8,4	16	160	74	17,5	11	40	60	8,4	34	35	
60	17	35			50	38	15	11	20	180	82	19	13	44	70	11	38	40	
65	21	35			60	30	12,5	8,4	18	200	90	20,5	13	48	80	11	45	45	
70	21	40			65	42	16	11	25	220	98	22	13	52	100	13	60	60	
75	23	40			80	45	17	13	25	240	106	24	17	56	120	17	70	70	
80	23	45			100	50	18	13	30	260	113	26	17	60	140	21	80	75	
90	25	50			120	55	19	17	30	280	119	27,5	17	60					
100	25	55			140	60	21	17	35	300	125	29,5	21	64					
120	25	50	80		160	65	22,5	21	35	320	131	31	21	70					
130	25	50	90		180	70	23,5	21	40	340	137	33	21	74					
150	28	60	105		200	75	24,5	23	40	360	143	35	23	76					
160	28	60	115		220	80	26,5	23	45	380	149	37	23	82					
180	28	60	135		240	85	28	25	45	400	155	38,5	23	86					
200	28	65	150		260	90	30	25	50	425	163	41	25	88					
					280	95	32	25	50	450	170	43,5	25	94					
					300	100	34	28	55	475	178	45,5	28	96					
					320	100	37	28	58	500	185	48	28	100					
					350	100	34	28	58	550	200	52,5	28	110					
					380	102	33,5	28	60	600	215	57,5	28	120					
					400	110	38	28	60										

Πίνακας 5-3. Στοιχεία για ηλώσεις κατά DIN 997 σε τυποποιημένα προφίλ σιδηροδοκών.

Είδος καταπόνησης	Σιδηρές κατασκευές DIN 1880-1:1981-03				Κατασκευή γερανών DIN 15018-1				Υλικό ήλων
	S235 (St 37)		S355 (St 52)		S235 (St 37)		S355 (St 52)		
	Περίπτωση φόρτισης								
	H ²⁾	HZ ²⁾	H	HZ	H	HZ	H	HZ	
Διάτμηση σε σύνδε- ση μιας τομής τ _α	140	160	140 210	160 240	84	96	84 126	96 144	USt 36 RSt 44
Διάτμηση σε σύνδε- ση δύο τομών τ _α	140	160	140 210	160 240	113	128	113 168	128 192	USt 36 RSt 44
Σύνθλιψη σε σύνδε- ση μιας τομής σ _ℓ	320	360	320 480	360 540	210	240	210 315	240 360	USt 36 RSt 44
Σύνθλιψη σε σύνδε- ση δύο τομών σ _ℓ	320	360	320 480	360 540	280	320	280 420	320 480	USt 36 RSt 44
Εφελκυσμός ¹⁾ σ _z					30	30	30 45	30 45	USt 36 RSt 44

1) Εάν η υπολογιστική καταπόνηση σε εφελκυσμό δεν αποφεύγεται με κατασκευαστικά μέσα.

2) Περίπτωση φόρτισης H, HZ βλέπε πίνακα 4-4.

Πίνακας 5-4. Επιτρεπόμενες τάσεις σε N/mm² για ήλους σε σιδηρές κατασκευές.

Τεμάχια της κατασκευής										
Καταπόνηση	Περίπτωση φόρτισης	Χάλυβας ή χυτοχάλυβας					Χυτοσίδηρος ¹⁾			
		με R_m σε N/mm^2					με R_m σε N/mm^2			
		340	360	420	500	600	100	200	300	400
Εφελκυσμός, Θλίψη σ	στατική	120	140	160	180	220	35	65	100	135
	επαναλαμβανόμενη	85	100	120	140	170	25	40	75	100
	αντιστρεφόμενη	70	85	95	110	130	20	35	50	70
Κάμψη σ_b	στατική	170	195	225	250	310	50	90	140	190
	επαναλαμβανόμενη	95	110	130	155	185	28	45	80	110
	αντιστρεφόμενη	75	95	100	120	145	20	40	55	80
Σύνθλιψη σ_ℓ	στατική	240	280	320	360	410	65	130	200	270
	επαναλαμβανόμενη	170	200	240	280	340	45	85	130	170
	αντιστρεφόμενη	140	170	190	220	260	35	65	100	130
Ήλοι από χάλυβα (St)										
Καταπόνηση		Διάτμηση τ_a		Σύνθλιψη σ_ℓ		Εφελκυσμός σ_z				
Περίπτωση φόρτισης	στατική	140		280		70				
	επαναλαμβανόμενη	100		200		50				
	αντιστρεφόμενη	85		170		40				

1) Για θλίψη και κάμψη από θλίψη τιμές $\approx \times 2,5$.

Πίνακας 5-5. Επιτρεπόμενες τάσεις σε N/mm^2 για συνδέσεις με ηλώσεις στη μηχανολογία (τιμές κατά προσέγγιση).

2. Καταπόνηση και υπολογισμός των ηλώσεων

Η καταπόνηση των ήλων έχει σχέση με την σχεδίαση της ηλώσεως και τον τρόπο πού ενεργούν τα φορτία σ'αυτές. Μετά από την εξακρίβωση της καταπονήσεως εφαρμόζονται τα γνωστά από την Αντοχή των Ύλικών όπως συμβαίνει και με τους κοχλίες.

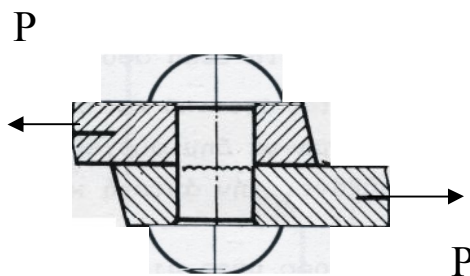
Πέρα όμως από τα όσα προκύψουν από τους υπολογισμούς αυτούς οι διάφοροι κανονισμοί δίνουν σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται σε κάθε είδος και διάταξη ηλώσεως οι ελάχιστες επιτρεπτές τιμές για τα διάφορα στοιχεία αυτών.

Οι ηλώσεις που καταπονούνται σε διάτμηση.

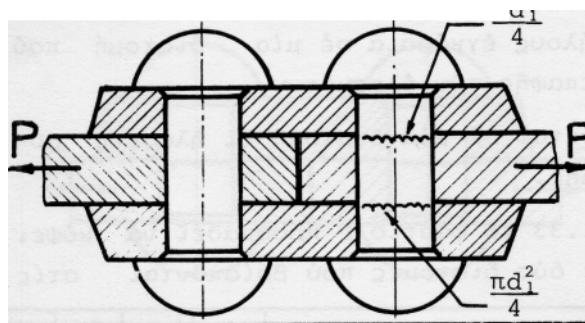
Οι ηλώσεις του **σχ.1.35** δέχονται φορτίο P το οποίο προσπαθεί να κόψει τους ήλους εγκάρσια σε μία διατομή πού βρίσκεται στη γραμμή επαφής των ελασμάτων .

Επειδή ο ήλος τέμνεται, σε **μία διατομή** οι ηλώσεις αυτές λέγονται **απλής τομής**.

Στήν ήλωση του **σχ.1.36** το φορτίο P προσπαθεί να κόψει τους ήλους εγκάρσια σε **δύο διατομές** πού βρίσκονται στις γραμμές επαφής ελασμάτων αρμοκαλυπτρών. Η ήλωση αυτή λέγεται **διπλής τομής**



Σχ.1.35. Καταπονηση ήλου απλής τομής



Σχ.1.36. Καταπονηση ήλου διπλής τομής

Υπολογισμός της διαμετρου ήλων σέ διάτμηση.

Η διατομή ενός σφυρηλατημένου ήλου είναι:

$$A = \pi d_1^2 / 4$$

Στις ηλώσεις απλής τομής καταπονείται μία επιφάνεια του ήλου (σχ.1.35) ενώ στις ηλώσεις διπλής τομής καταπονούνται δύο επιφάνειες (σχ.1.36), δηλαδή :

$$A = 2 (\pi d_1^2 / 4)$$

Γενικά αν **m** ο αριθμος των διατομών ενός ήλου που καταπονούνται σε διάτμηση, τότε, η ολικη επιφάνεια ή οποία θά παραλάβει το φορτίο που αντιστοιχεί, σε έναν ήλο είναι:

$$A = m (\pi d_1^2 / 4)$$

Αν η ήλωση έχει αριθμό ήλων **Z** τότε ή ολική επιφάνεια που θά παραλάβει το φορτίο **P** θα είναι:

$$A = Z m (\pi d_1^2 / 4)$$

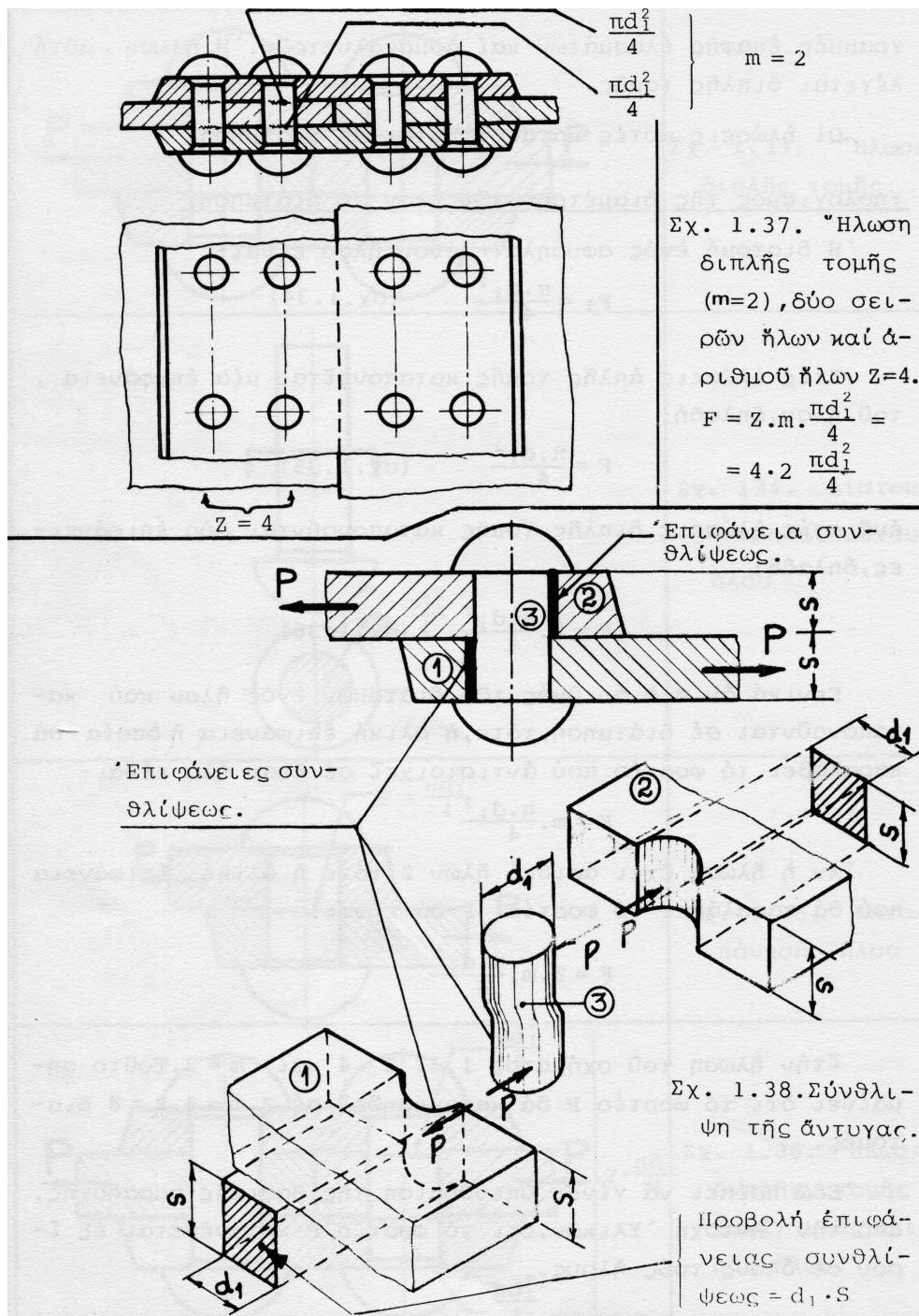
Στην ήλωση του **σχ. 1.37** **Z** = 4 και **m** = 2. Τούτο σημαίνει ότι το φορτιο **P** θα κατανεμηθεί σε

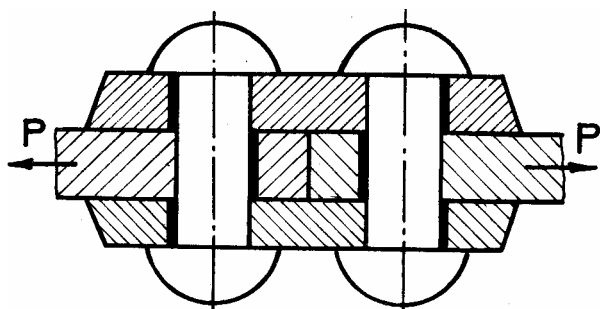
$$Z \cdot m = 4 \cdot 2 = 8 \text{ διατομες.}$$

Εδώ πρέπει να γίνει υπενθύμιση της βασικής παραδοχής, από την Αντοχη Υλικων, ότι το φορτίο **P** κατανεμεται εξ' ίσου σε όλους τους ήλους.

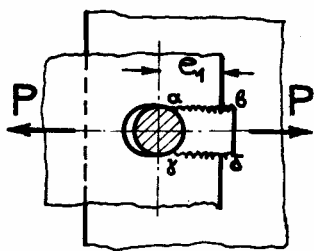
$$\tau = \frac{P}{A} \leq \tau_{\varepsilon\pi}$$

$\tau_{\varepsilon\pi}$ = επιτρεπομενη ταση διατμήσεως του υλικου
(λαμβάνεται από πινακες ή $\tau_{\varepsilon\pi} = 0.8 \sigma_{\varepsilon\pi}$)

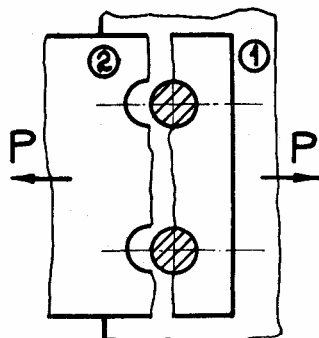




Σχ. 1.39. Σύνθλιψη της άντυγας σέ ήλωση δι-πλής τομής.



Σχ. 1.40. Δια-ροή ύλικού του έλάσματος.



Σχ. 1.41. Άπο-κοπή έλάσμα-τος λόγω έφ-ελκυσμοῦ.

Υπολογισμος της διαμέτρου των ήλων σε σύνθλιψη.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.38 γίνεται μεταφορά του φορτίου P απο το έλασμα (1) στο έλασμα (2) .

Στις επιφάνειες επαφής αναπτύσσονται επιφανειακές πιέσεις και συνθλίβονται.

Η καταπόνηση αυτή είναι γνωστή σαν σύνθλιψη της άντυγας

Η επιφανειακή πίεση $\sigma_{\epsilon} = P / A_P = P / (d_1 S)$ [Kp/cm²]

Όπου : A_P = ή προβολή τής επιφάνειας συνθλίψεως σέ [c m ²]

d_1 = διάμετρος σφυρηλατημένου ήλου σε [cm]

S = πάχος έλάσματος σε [cm]

Σέ ηλώσεις με περισσότερους ήλους (Z) το φορτίο P μοιράζεται και σε κάθε ηλο αντιστοιχεί φορτίο $N=P/Z$. Έτσι κάθε επιφάνεια συνθλίψεως ($d_1 S$) θα καταπονείται με αυτό το φορτίο.

Οπότε
$$\sigma_{\ell} = \frac{P}{Z d_1 S}$$

και πρέπει να είναι
$$\sigma_{\ell} \leq \sigma_{\ell \epsilon \pi}$$

Έτσι ή διάμετρος είναι

$$d_1 \geq \frac{P}{Z S \sigma_{\ell \epsilon \pi}} \quad [\text{cm}]$$

$\sigma_{\ell \epsilon \pi}$ = επιτρεπομενη πίεση συνθλίψεως της άντυγας, ή οποια λαμβανεται ως

$$\sigma_{\ell \epsilon \pi} = 2 \cdot \sigma_{\epsilon \pi}$$

$\sigma_{\epsilon \pi}$ = επιτρεπομενη τάση εφελκυσμού.

Τα ελάσματα ελέγχονται ως εξής:

1. Έλεγχος σε συνθλιψη της άντυγας όπως πιο πάνω.
2. Έλεγχος για διαρροή του υλικου όπως στο σχ.1. 40 σύμφωνα με τα γνωστά απο την Αντοχή των υλικών (βλ . άσκηση No 1. 2)
3. Έλεγχος της διατομής του ελάσματος σε εφελκυσμο μετά από το άνοιγμα των τρυπών που εξασθενίζουν το υλικό (σχ.1.41) . Ο έλεγχος γίνεται με τις γνωστές σχέσεις του εφελκυσμου

Σέ μερικές περιπτώσεις οι ηλοι καταπονουνται σε εφελκυσμο και ο υπολογισμος αυτών γίνεται σύμφωνα με τα όσα αναφέρει ή Αντοχή `Υλικών (**$\sigma = P / A$**).

Σε ηλώσεις σιδηρών κατασκευών παρουσιάζονται συχνά δύο τάσεις, ήτοι μία κάθετη (ή ορθή) τάση σ και μία εφαπτομενικη ή εγκάρσια τάση τ . Στις περιπτώσεις αυτες υπολογιζεται μία ισοδύναμη ταση σ_i ,

$$\sigma_i = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$$

ή οποία πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την επιτρεπομενη τάση εφελκυσμού $\sigma_{\epsilon \pi}$.

ΚΟΧΛΙΕΣ

Ο κοχλίας είναι το στοιχείο σύνδεσης που χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο, κατασκευάζεται και τυποποιείται σε μεγάλη ποικιλία μορφών. Ανάλογα με το είδος της χρησιμοποίησης τους διακρίνουμε σε:

α) Κοχλίες συσφίξεως ή κοχλίες σύνδεσης: είναι κατάλληλοι για την σύνδεση διάφορων τεμαχίων.

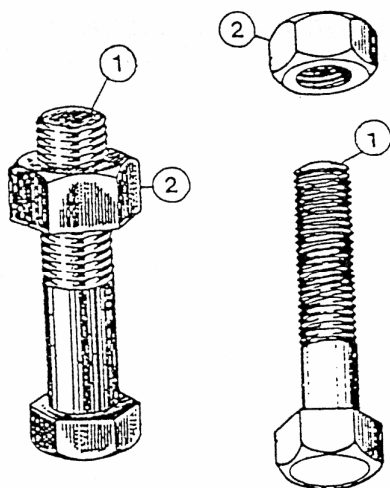
Εδώ το κύριο χαρακτηριστικό του σπειρώματος είναι η μηχανική ιδιότητα κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα του πολλαπλασιασμού ή του υποπολλαπλασιασμού του μεγέθους μιας δύναμews, λαμβάνοντας υπόψη και την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του σπειρώματος του κοχλία και του σπειρώματος του περικοχλίου.

Η περιφερειακή δύναμη (F_u) και η αξονική δύναμη (F) συνδέονται με την εξής σχέση :

$$F_u = F \varepsilon \varphi (\rho \pm \alpha)$$

όπου : ρ = γωνία τριβής

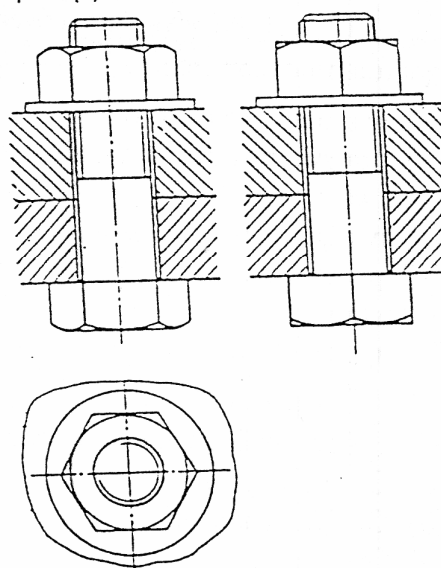
α = μέση γωνία ελίκωσης σπειρώματος



Σχ. α. Κοχλίας σύνδεσης.

1.=Κοχλίας

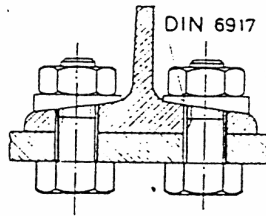
2.=Περικόχλιο



Σχ. Β. Κοχλιοσύνδεση σε πρόοψη πλάγια όψη - κάτωψη.

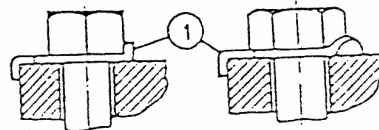
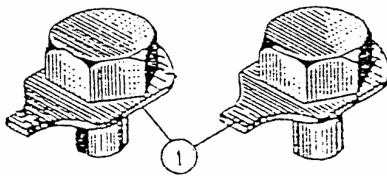
II) Κοχλίες κίνησης : είναι κατάλληλοι για την μετακίνηση διάφορων τεμαχίων όπου μεσώ της γεωμετρικής ιδιότητας μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη και αντίθετα η ευθύγραμμη σε περιστροφική, η αλλιώς

4. Οι ροδέλες με κλίση χρησιμοποιούνται όταν η επιφάνεια ενός στοιχείου δεν είναι κάθετη προς τον άξονα του κοχλία για να αποφευχθεί η καμπτική καταπόνηση του κορμού του κοχλία.

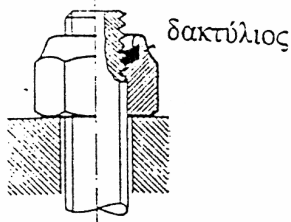


Τετραγωνικές ροδέλες με κλίση για συνδέσεις ράβδων με διατομή I

5. Το έλασμα ασφάλειας αυτό κάμπτεται από την μια άκρη προς το περικόχλιο και από την άλλη προς το κομμάτι με αποτέλεσμα να μην μπορεί να λυθεί η σύνδεση.



6. Ο Δακτύλιος : Ο δακτύλιος αποτελείται από συνθετικό υλικό, και έχει ενσωματωθεί στο σπείρωμα του περικοχλίου του , παραμορφώνεται κυρίως πλαστικά κατά τη συναρμολόγηση του κοχλία με το περικόχλιο και δεν ασφαλίζει μετά από ένα ορισμένο αριθμό συναρμολογήσεων και αποσυναρμολογήσεων.



7. Για την ασφάλιση των κοχλιών χρησιμοποιούνται και διάφοροι δακτύλιοι ειδικής μορφής από συνθετικά υλικά . Επίσης χρησιμοποιούνται η συνθετική ρητίνη και άλλες κόλλες, οι οποίες εισχωρούν σε υγρή κατάσταση στο διάκενο, που υπάρχει μεταξύ των σπειρωμάτων του κοχλία και του περικοχλίου, στερεοποιούνται και έτσι κολλιέται και ασφαλίζεται ο κοχλίας και το περικόχλιο.

6. Υπολογισμός των κοχλιοσυνδέσεων

6.9.1. Κοχλίες με αξονική φόρτιση

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση είναι

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_s} = \frac{F_V + \Delta F}{A_s} \leq \sigma_{\varepsilon\pi} = 0,8 \cdot R_e \quad (6.12)$$

F_{max} μέγιστη εμφανιζόμενη αξονική δύναμη σε N

A_s διατομή τάσης του κοχλίου σε mm^2 (πίνακες 6-1, 6-2). Επειδή το όριο διαρροής είναι μεγαλύτερο, λόγω ενίσχυσης από τις σπείρες, στο τμήμα του σπειρώματος παρά στο γυμνό κορμό του κοχλίου, λαμβάνεται ως επιφάνεια αναφοράς η διατομή τάσης A_s και όχι η διατομή πυρήνα A_k .

F_v δύναμη πρότασης σε N

ΔF δύναμη διαφοράς σε N (σχέση 6.11)

Το F_{max} έχει εδώ γενική έννοια. Αν έχουμε στατική καταπόνηση χωρίς πρόταση τότε το F_{max} παριστάνει την αξονική δύναμη που εφελκύνει τον κοχλίο. Αν έχουμε πρόταση και δυναμική καταπόνηση, τότε θα είναι $F_{max} = F_v + \Delta F$.

Ως $\sigma_{\epsilon\pi}$ λαμβάνεται εδώ το 0,8 του ορίου διαρροής R_e ή του 0,2% ορίου επιμήκυνσης $R_{p0,2}$ του υλικού του κοχλίου (πίνακας 6-6).

$$\sigma_{\epsilon\pi} = 0,8 \cdot R_e \quad \text{ή} \quad \sigma_{\epsilon\pi} = 0,8 \cdot R_{p0,2}$$

Εκτός όμως από την ανωτέρω καταπόνηση ο κοχλίας δέχεται και μία εναλλασσόμενη τάση εφελκυσμού

$$\sigma_a = \frac{\Delta F}{2 \cdot A_k} \leq \sigma_{\alpha\epsilon\pi} = 0,7 \cdot \sigma_{AG} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (6.13)$$

σ_a τάση απόκλισης στον πυρήνα του κοχλίου σε N/mm^2

ΔF δύναμη διαφοράς σε N (σχέση 6.11)

A_k διατομή του πυρήνα του κοχλίου σε mm^2 (πίνακες 6-1, 6-2). Επειδή οι τάσεις λόγω εγχοπών εμφανίζονται στο βάθος του σπειρώματος, ως επιφάνεια αναφοράς για δυναμική καταπόνηση λαμβάνεται η διατομή του πυρήνα A_k .

σ_{AG} διαμορφωτική αντοχή απόκλισης σε N/mm^2 του πυρήνα του κοχλίου που εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής του

$$\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A \quad \text{με}$$

K_1, K_2 συντελεστές που λαμβάνουν υπόψη τον τρόπο κατασκευής του κοχλίου και του περικοχλίου (πίνακας 6-7α, β)

σ_A αντοχή απόκλισης σε N/mm^2 του πυρήνα ενός κοχλίου που κατασκευάστηκε με κοπή ή με εξέλαση μέσω πλακών (κανονική περίπτωση) από πίνακα 6-7γ

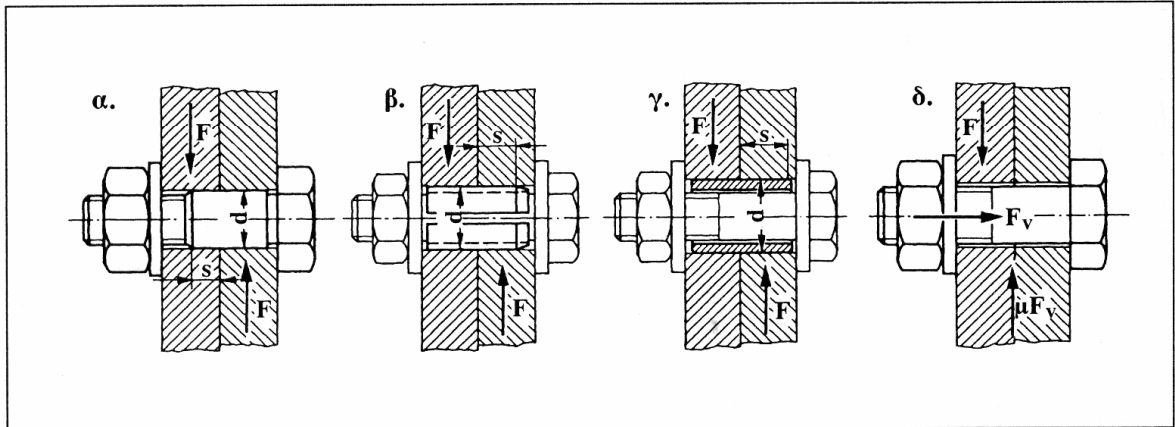
Κοχλίες που καταπονούνται στατικά, υπολογίζονται από τη σχέση (6.12). Αν όμως καταπονούνται δυναμικά, τότε υπολογίζονται από τις σχέσεις (6.12) και (6.13).

Για αρχικούς κατά προσέγγιση υπολογισμούς σε δυναμική καταπόνηση μπορεί στη σχέση (6.12) να ληφθεί $\sigma_{\epsilon\pi} \approx 0,3 \cdot R_e$ ή $\sigma_{\epsilon\pi} \approx 0,3 \cdot R_{p0,2}$.

6.9.2. Κοχλίες με εγκάρσια φόρτιση

Για την παραλαβή των εγκάρσιων δυνάμεων χρησιμοποιούνται βασικά:

Κοχλίες εφαρμογής (σχήμα 6-15α) των οποίων ο κορμός εφαρμόζει ακριβώς μέσα στην οπή. Λόγω της ακριβούς θέσης τους είναι κατάλληλοι και για την παραλαβή εναλλασσόμενων δυνάμεων.



Σχήμα 6-15. Κοχλιοσυνδέσεις για εγκάρσια καταπόνηση. α. κοχλίας εφαρμογής, β. δακτύλιος εκτόνωσης, γ. δακτύλιος διάτμησης, δ. κοχλίας περαστός.

Δακτύλιοι εκτόνωσης (σχήμα 6-15β) από χάλυβα ελατηρίων. Φέρουν κατά μήκος τους μια εγκοπή και γι' αυτό εφάπτονται με ελαστικότητα πάνω στα τοιχώματα της οπής. Παραλαμβάνουν και κρουστικά φορτία.

Δακτύλιοι διάτμησης (σχήμα 6-15γ) οι οποίοι εφαρμόζουν ακριβώς στην οπή (όπως και οι κοχλίες εφαρμογής) και μπορούν να παραλάβουν μεγάλες δυνάμεις.

Κοχλίες περαστοί (σχήμα 6-15δ) οι οποίοι πρέπει να συσφιγθούν τόσο, ώστε η εγκάρσια δύναμη F να μεταφερθεί μέσω της τριβής των προς σύνδεση τεμαχίων. Είναι οι πιο φθηνοί, αλλά ακατάλληλοι για κρουστικά και εναλλασσόμενα φορτία.

Οι κοχλίες εφαρμογής και οι δακτύλιοι εκτόνωσης και διάτμησης καταπονούνται σε διάτμηση και πίεση επιφάνειας (σύνθλιψη).

$$\tau_a = \frac{F}{A \cdot m} \leq \tau_{αεπ} \quad (6.14)$$

$$\sigma_\ell = \frac{F}{d \cdot s} \leq \sigma_{\ellεπ} \quad (6.15)$$

τ_α	τάση διάτμησης σε N/mm^2
F	εγκάρσια δύναμη ανά κοχλία σε N
A	διατομή που καταπονείται σε διάτμηση (κορμός κοχλία ή διακτύλιος κατά περίπτωση) σε mm^2
m	αριθμός τομών. Για σύνδεση δύο ελασμάτων $m = 1$ (σχήμα 6-15). Για σύνδεση τριών ελασμάτων $m = 2$
σ_ℓ	τάση πίεσης επιφάνειας σε N/mm^2
d	εξωτερική διάμετρος του φέροντος στοιχείου δηλαδή του κορμού του κοχλία ή του δακτυλίου σε mm
s	το μικρότερο φέρον μήκος του κοχλία ή του δακτυλίου (σχήμα 6-15)
$\tau_{\alpha\epsilon\pi} \approx 0,6 \cdot R_e$	για στατική καταπόνηση
$\tau_{\alpha\epsilon\pi} \approx 0,5 \cdot R_e$	για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση
$\tau_{\alpha\epsilon\pi} \approx 0,4 \cdot R_e$	για αντιστρεφόμενη καταπόνηση
	με R_e το όριο διαρροής του κοχλία (πίνακας 6-6) ή του δακτυλίου
$\sigma_{\ell\epsilon\pi} \approx 0,75 \cdot R_m$ ή $1,2 \cdot R_e$	για στατική καταπόνηση
$\sigma_{\ell\epsilon\pi} \approx 0,6 \cdot R_m$ ή $0,9 \cdot R_e$	για επαναλαμβανόμενη ή αντιστρεφόμενη καταπόνηση με R_m την ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό του ασθενέστερου υλικού από τα συνεργαζόμενα στοιχεία (κοχλίας, δακτύλιος, έλασμα) ή το αντίστοιχο ελάχιστο όριο διαρροής R_e (πίνακας 6-6). Για δακτύλιους εκτόνωσης μπορεί, ανεξάρτητα από το είδος της καταπόνησης, να τεθεί $\tau_{\alpha\epsilon\pi} \approx 300 N/mm^2$ και $\sigma_{\ell\epsilon\pi}$ ανάλογα με το υλικό των τεμαχίων

Κοινοί περαστοί κοχλίες με αρκετή χάρη μεταξύ κορμού και οπής μεταφέρουν την εγκάρσια δύναμη F μέσω της τριβής $F_v \cdot \mu$ που αναπτύσσεται από την αξονική δύναμη του κοχλία στις συνδεδεμένες επιφάνειες.

Θα έχουμε τότε

$$\sigma = \frac{F_v}{A_k} = \frac{F}{\mu \cdot A_k} \leq \sigma_{\epsilon\pi} \quad (6.16)$$

σ	τάση εφελκυσμού στον κοχλία σε N/mm^2
A_k	διατομή του πυρήνα του κοχλία σε mm^2
F_v	αξονική δύναμη του κοχλία σε N
μ	συντελεστής τριβής (ηρεμίας, με ξηρά τριβή)

$$S_k = \frac{335 - 0,62 \cdot \lambda}{\sigma'} \geq 1,75 \dots 4 \quad (6.22)$$

E μέτρο ελαστικότητας του υλικού του κοχλίου. $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ για χάλυβα

σ υπάρχουσα τάση θλίψης από σχέση (6.18) σε N/mm^2

S_k συντελεστής ασφάλειας έναντι λυγισμού

λ βαθμός λυγηρότητας του κοχλίου

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} = \frac{\text{υπολογιστικό μήκος λυγισμού}}{\text{ακτίνα αδράνειας}} = \frac{4 \cdot \ell_k}{d_3}$$

με d_3 διάμετρος πυρήνα του σπειρώματος σε mm από πίνακες σπειρωμάτων

$$\lambda = \frac{2 \cdot \ell_{\max} \cdot 4}{d_3} \text{ για την περίπτωση λυγισμού 1 όπου } \ell_k = 2 \cdot \ell_{\max} \text{ (σχήμα 6-19)}$$

$$\lambda = \frac{\ell_{\max} \cdot 4}{d_3} \text{ για την περίπτωση λυγισμού 2 όπου } \ell_k = \ell_{\max}$$

Μικρές τιμές του S_k λαμβάνονται για διακεκομμένη λειτουργία. Μεγαλύτερες τιμές για συνεχή λειτουργία και αυξανόμενο βαθμό λυγηρότητας λ . Για $\lambda < 50$ αρκεί ο έλεγχος σε αντοχή χωρίς να είναι απαραίτητος ο έλεγχος σε λυγισμό.

6.10.3. Υπολογισμός σε πίεση επιφάνειας

Για να παραμείνει η φθορά λόγω ολίσθησης των επιφανειών μεταξύ κοχλίου και περικοχλίου σε ανεκτά όρια πρέπει η πίεση επιφάνειας να μην υπερβαίνει ορισμένες επιτρεπόμενες τιμές.

$$\text{Ισχύει} \quad p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} \leq p_{\text{επ}} \quad (6.23)$$

p πίεση επιφάνειας στο σπείρωμα σε N/mm^2

F αξονική δύναμη λειτουργίας σε N

P βήμα του κοχλίου σε mm από πίνακες. Για τραπεζοειδές σπείρωμα πίνακας 6-5

m φέρον ύψος περικοχλίου σε mm

d_2 μέση διάμετρος του σπειρώματος. Για τραπεζοειδές σπείρωμα πίνακας 6-5

H_1 βάθος σπειρώματος. Για τραπεζοειδές σπείρωμα πίνακας 6-5

$p_{\text{επ}}$ επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας σε N/mm^2

$p_{\text{επ}} \approx 8 \text{ N/mm}^2$ για περικόχλια χαλύβδινα

$\approx 5...10 \text{ N/mm}^2$	για περικόχλια χυτοσιδηρά
$\approx 10...20 \text{ N/mm}^2$	για περικόχλια ορειχάλκινα
$\approx 25 \text{ N/mm}^2$	για περικόχλια φωσφορούχου ορειχάλκου
$\approx 2...8 \text{ N/mm}^2$	για περικόχλια από συνθετικό υλικό

Οι μικρές τιμές εκλέγονται για συνεχή και οι μεγάλες για διακεκομένη (ή μικρής διάρκειας), λειτουργία ή για υλικό περικοχλίων μεγάλης αντοχής σε φθορά και σκληρομένους κοχλίες.

ή οποία πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την επιτρεπομένη τάση εφελκυσμού $\sigma_{\text{επ}}$

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Υπολογισμός των συγκολλήσεων

4.6.1. Εφελκυσμός, θλίψη, διάτμηση

Η τάση που αναπτύσσεται στη ραφή, ανάλογα με το είδος της καταπόνησης, είναι για εφελκυσμό ή θλίψη

$$\sigma_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{\Sigma(\alpha \times \ell)} \leq \sigma_{w\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.1)$$

$$\text{για διάτμηση} \quad \tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{\Sigma(\alpha \times \ell)} \leq \tau_{w\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.2)$$

$A_w = \Sigma(\alpha \times \ell)$ σε mm^2 επιφάνεια ραφών, ίση με το άθροισμα όλων των επί μέρους επιφανειών ραφών (μετωπικών ή γωνιακών) της συγκόλλησης με α = πάχος ραφής και ℓ = μήκος ραφής σε mm

F σε N η αντίστοιχη δύναμη εφελκυσμού, θλίψης ή διάτμησης
 $\sigma_{w\epsilon\pi}, \tau_{w\epsilon\pi}$ σε N/mm^2 επιτρεπόμενη τάση στη ραφή που εξαρτάται από Το είδος και την ποιότητα της ραφής, το είδος της καταπόνησης, το είδος του χάλυβα και τον τρόπο φόρτισης (**πίνακας 4-4**). Στην περίπτωση συνύπαρξης σε μία σύνδεση μετωπικών και γωνιακών ραφών (**σχήμα 4-6δ**), ως επιτρεπόμενη τάση λαμβάνεται η αντίστοιχη για τη γωνιακή ραφή. Το **σχήμα 4-6** δίνει παραδείγματα συγκολλήσεων σε σιδηρές κατασκευές που καταπονούνται σε εφελκυσμό ή διάτμηση.

4.2. Κάμψη

Η τάση κάμψης που αναπτύσσεται στη ραφή είναι

$$\sigma_{wb} = \frac{M_b}{W_w} \leq \sigma_{w\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.3)$$

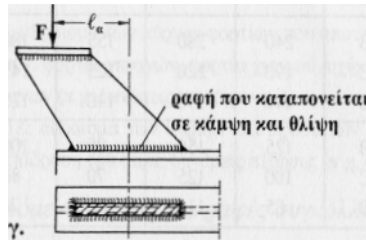
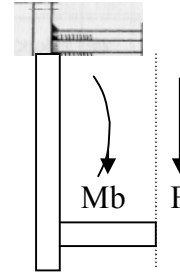
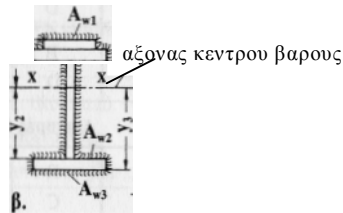
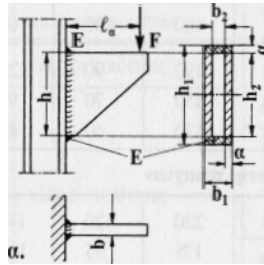
M_b ροπή αντίστασης της επιφάνειας συγκόλλησης σε Nmm

W_w ροπή κάμψης για τη ραφή συγκόλλησης σε mm^3 .

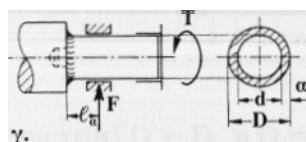
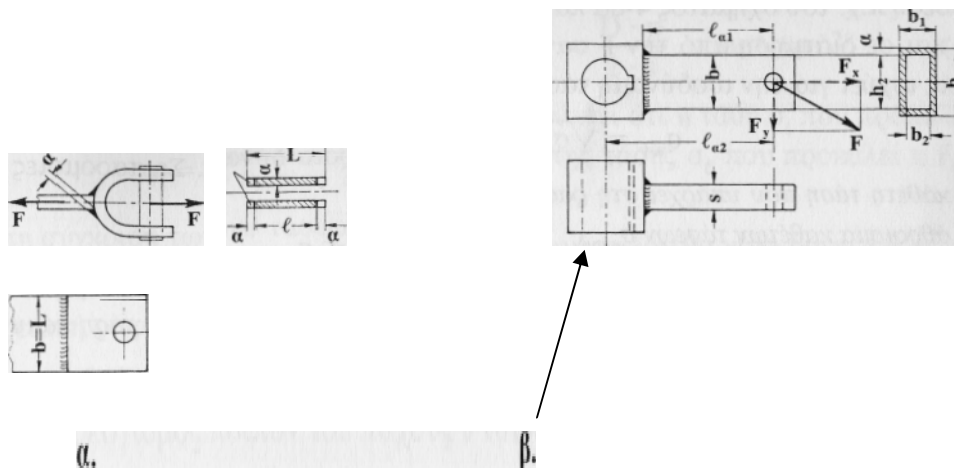
Για την περίπτωση του σχήματος 4-8α είναι $W_w = (b_1 \times h_1^3 - b_2^2 \times h_2^3) / 6 \times h_1$. Για λεπτά τεμάχια με $b \leq 1,4 \cdot a$ (σχήμα 4-8α) δεν λαμβάνεται υπόψη το τμήμα συγκόλλησης E παρά μόνο οι κάθετες ραφές μήκους h_2 , οπότε $W_w = 2 \cdot a \cdot h_2^2 / 6$. Για περιφερειακές ραφές (σχήμα 4-9γ) είναι $W_w = (D^4 - d^4) / 10 \times D$. Για σύνθετες επιφάνειες ραφών (σχήμα 4-8β) είναι $W_w = J_w / y$ με $J_w = J_{w1} + J_{w2} + \dots$ ίσο με το άθροισμα των επιφανειακών ροπών 2ου βαθμού (αδράνειας) των επί μέρους επιφανειών ραφής ως προς τον άξονα του κέντρου βάρους της κατασκευής και y ίσο με την απόσταση του σημείου της ρίζας της ραφής από τον άξονα του κέντρου βάρους π.χ.

κατά Steiner στο σχήμα 4-8β θα είναι $J_{w1} = A_{w1} - y_1^2$ με $A_{w1} = a_1 \times \ell_1$. Η επιφανειακή ροπή της επιφάνειας A_{w1} ως προς τον άξονά της παραλείπεται ως αμελητέα

$\sigma_{\text{weπ}}$ επιτρεπόμενη τάση στη ραφή (πίνακας 4-4)



Σχήμα 4-8. Σύνθετη καταπόνηση συγκολλήσεων σε σιδηρές κατασκευές. α και β ραφές που καταπονούνται σε κάμψη και διάτμηση, γ. ραφή που καταπονείται σε κάμψη και θλίψη.



Σχήμα 4-9. Συγκολλήσεις σε κατασκευές μηχανών. α. συγκολλητο δίχαλο με ραφές που καταπονούνται σε εφελκυσμό, β. συγκολλητός μοχλός με περιφερειακή ραφή που καταπονείται σε κάμψη και εφελκυσμό, γ. συγκολλητός στροφέας με περιφερειακή ραφή που καταπονείται σε κάμψη και στρέψη.

4.3. Στρεψη

Η τάση στρέψης που αναπτύσσεται στη ραφή είναι

$$\tau_{wt} = \frac{T}{W_{wp}} \leq \tau_{w\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.4)$$

T ροπή στρέψης προς μεταφορά από τη ραφή σε Nmm

W_{wp} πολική ροπή αντίστασης της ραφής σε mm³. Για τη συνήθη περίπτωση της

περιφερειακής ραφής κατά το σχήμα 4-9γ είναι $W_{wp} = (D^4 - d^4)/5 D$

$\tau_{w\epsilon\pi}$ επιτρεπόμενη τάση στη ραφή σε N/mm² (πίνακας 4-4)

4.4. Συνθετη καταπόνηση

Αν σε μία σύνδεση με συγκόλληση εμφανίζονται συγχρόνως περισσότερες κάθετες τάσεις σ_w που προέρχονται συνήθως από μία καμπτική και μία εφελκυστική ή θλιπτική καταπόνηση, όπως στην κάτω ραφή του σχήματος 4-8γ, τότε η μέγιστη ολική τάση είναι ίση με το άθροισμα των επί μέρους τάσεων

$$\sigma_{w\max} = \sigma_{wb} + \sigma_{wz(d)} \leq \sigma_{w\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.5)$$

Αν πάλι εμφανίζονται συγχρόνως τάσεις κάθετες σ_w και διατμητικές τ_w , τότε θα πρέπει να υπολογισθεί από αυτές η ισοδύναμη τάση σ_{wv} .

Η σύνδεση π.χ. του σχήματος 4-8α καταπονείται σε κάμψη από τη ροπή $M_b = F \cdot \ell_a$ και σε διάτμηση από την F σαν εγκάρσια δύναμη. Σε παρόμοιες περιπτώσεις ισχύει για την ισοδύναμη τάση

$$\sigma_{wv} = \sqrt{(\sigma_w^2 + \tau_w^2)} \leq \sigma_{w\epsilon\pi} \quad (4.6)$$

σ_w κάθετη τάση που υπάρχει στη ραφή σε N/mm². Συνήθως τάση κάμψης σ_{wb} ή άθροισμα καθέτων τάσεων $\sigma_{w\max}$

τ_w τάση διάτμησης που υπάρχει στη ραφή σε N/mm²

$\sigma_{w\epsilon\pi}$ επιτρεπόμενη τάση στη ραφή σε N/mm² (πίνακας 4-4, 4-4α)

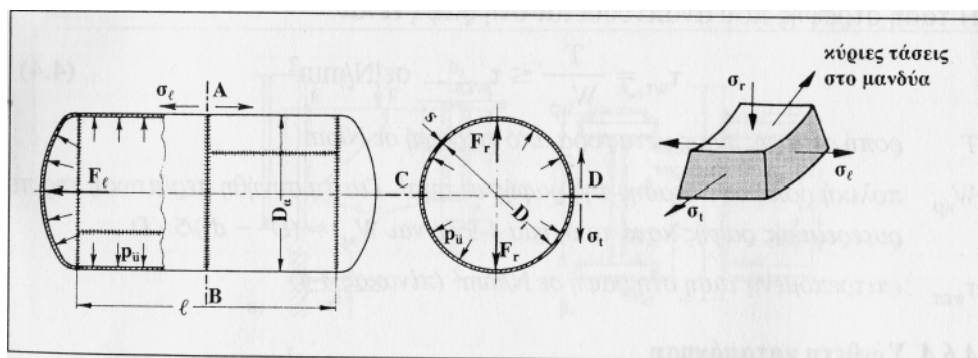
4.5. Δοχεία πίεσης

Στο δοχείο πίεσης τον σχήματος 4-10 με μία υπερπίεση p σε N/mm² η αξονική δύναμη F_e και η ακτινική F_r θα είναι

$$F_e = \frac{\pi D^2}{4} p \quad \text{σε N} \quad (4.7)$$

$$F_r = D \cdot \ell \cdot p \quad \text{σε N} \quad (4.8)$$

Η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής διαμέτρου παραλείπεται αρχικά.



Σχήμα 4-10. Καταπόνηση του μανδύα ενός συγκολλητου δοχείου πίεσης.

Στην τομή A-B η δύναμη F_l προκαλεί στην περιφερειακή ραφή με το πάχος s (= πάχος ελάσματος δοχείου) την αξονική τάση εφελκυσμού

$$\sigma_l = \frac{F_l}{D\pi s} = \frac{\pi D^2 p}{4D\pi s} = \frac{Dp}{4s} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.9)$$

Στην τομή C-D η δύναμη F_r προκαλεί στην κατά μήκος ραφή με πάχος s (= πάχος ελάσματος) την εφαπτομενική τάση εφελκυσμού.

$$\sigma_t = \frac{F_r}{2\ell s} = \frac{D\ell p}{2\ell s} = \frac{Dp}{2s} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (4.10)$$

Από τη σύγκριση των δύο τάσεων προκύπτει ότι η τάση σ_t που προκαλεί η F_r στην κατά μήκος ραφή είναι διπλάσια της τάσης σ_l που προκαλεί η F_l στην περιφερειακή ραφή.

Ο υπολογισμός λοιπόν του παχους s του δοχείου θα γίνει βασει τη σ_t

Θα έχουμε επομένως

$$s = \frac{Dp}{2\sigma_{\varepsilon\pi}} \quad \text{σε mm} \quad (4.11)$$

Αν τώρα τεθεί $D = D_a$ ή $D = D_i$ και για την εξισορρόπηση της διαφοράς μεγέθους μεταξύ αυτών τεθεί η αριθμητική τιμή τον ρ (+ ρ και - ρ αντίστοιχα),

$\sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{K}{S}$ και επί πλέον οι συντελεστές ν και c θα προκύψει τελικά το απαιτούμενο πάχος s τον τοιχώματος τον δοχείου ή του σωλήνα (για $D_a/D_i < 1,2$)

$$s = \frac{D_a p}{2 \frac{K}{S} \nu + p} + c = \frac{D_i p}{2 \frac{K}{S} \nu - p} + c \quad \text{σε mm} \quad (4.12)$$

D_a εξωτερική διάμετρος του δοχείου σε mm

D_i εσωτερική διάμετρος του δοχείου σε mm
 P υπερπίεση έναντι της ατμοσφαιρικής σε N/mm^2

K χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού σε N/mm^2 συναρτήσει της θερμοκρασίας (πίνακας 4-5)

S συντελεστής ασφάλειας (πίνακας 4-6)

u συντελεστής εξασθένησης που λαμβάνει υπόψη τη μειωμένη αντοχή της ραφής έναντι του υλικού του τεμαχίου
 $u = (0,7) \dots 0,8$ για καλές ραφές

$u = 0,9 \dots 1,0$ για τέλειες, ελεγμένες και εγγυημένες ραφές

$u = 1,0$ για τεμάχια χωρίς ραφή

c συντελεστής φθοράς που λαμβάνει υπόψη την οξείδωση. Για ελάσματα πάχους $s < 30$ mm είναι $c = 1$ mm. Για ισχυρές οξειδώσεις $c > 1$ mm. Για χάλυβες προφυλαγμένους από οξείδωση και για $s > 30$ είναι $c = 0$.

Το ελάχιστο πάχος τοιχώματος για χαλυβδίνια, συγκολλητα δοχεία πίεσης πρέπει να είναι 2mm. Για δοχεία από αλουμίνιο ή κράματα αυτού 3mm.

Σε σιδηροκατασκευές (DIN 4100)			Είδος χάλυβα					
Είδος ραφής	Ποιότητα ραφής	Είδος τάσης	St 37		St 52			
			φόρτιση H*	HZ**	φόρτιση H	HZ		
– μετωπική ραφή – Κ-ραφή με διπλή γωνιακή ραφή – HV-ραφή με γωνιακή ραφή – DHY-ραφή με διπλή γωνιακή ραφή	όλες οι ποιότητες ραφών	θλίψη και θλίψη από κάμψη	160	180	240	270		
	αποδειγμένα απηλλαγμένα από ρωγμές και χωρίς ελαττώματα στη ρίζα	εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη κάθετα προς τη διεύθυνση της ραφής	160	180	240	270		
	μή αποδειγμένη ποιότητα ραφής		135	150	170	190		
– HY - ραφή με γωνιακή ραφή – γωνιακή ραφή	όλες οι ποιότητες ραφών	θλίψη και θλίψη από κάμψη, εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη, ισοδύναμη τάση	135	150	170	190		
– όλα τα είδη ραφών		διάτμηση	135	150	170	190		
Σε κατασκευές γερανών (DIN 15018)			St 37		St 46		St 52	
			H	HZ	H	HZ	H	HZ
– μετωπική ραφή – Κ-ραφή	ειδική ποιότητα	εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη κάθετα προς τη διεύθυνση της ραφής	160	180	195	220	240	270
– Κ-ραφή	κανονική ποιότητα		140	160	170	195	210	240
– γωνιακή ραφή	όλες οι ποιότητες		113	127	138	156	170	191
– όλα τα είδη ραφών	όλες οι ποιότητες	ισοδύναμη τάση	160	180	195	220	240	270
– μετωπική ραφή – Κ-ραφή		θλίψη και θλίψη από κάμψη κάθετα προς τη διεύθυνση της ραφής	160	180	195	220	240	270
– γωνιακή ραφή			130	145	160	180	195	220
– όλα τα είδη ραφών		διάτμηση	113	127	138	156	170	191

* Περίπτωση φόρτισης H: άθροισμα των κύριων φορτίων που αποτελούνται από το μόνιμο φορτίο (π.χ. ίδιο βάρος), το φορτίο μεταφοράς (π.χ. φορτία γερανών, φορτία χιονιού, οχήματα σε γέφυρες, υλικά αποθήκευσης) και τις μαζικές δυνάμεις των μηχανών (π.χ. δυνάμεις επιτάχυνσης).

** Περίπτωση φόρτισης HZ: άθροισμα των κύριων και πρόσθετων φορτίων. Πρόσθετα φορτία είναι π.χ. δυνάμεις προερχόμενες από την επίδραση του αέρα, δυνάμεις πέδησης (π.χ. σε τροχιές γερανών), επιδράσεις θερμοκρασίας κ.ά.

Πίνακας 4-4. Επιτρεπόμενες τάσεις για ραφές συγκόλλησης σε N/mm^2 .

Ραφές συγκόλλησης								
Είδος ραφής	Είδος τάσης	Ομάδα αξιολό- γησης (1)	Περίπτωση φόρτισης					
			στατική		επαναλαμβανόμενη		αντιστροφόμενη	
			Υλικό του τεμαχίου					
			S235 (St 37)	S355 (St 52)	S235 (St 37)	S355 (St 52)	S235 (St 37)	S355 (St 52)
μετωπική ραφή με στρώση κάτω	εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη	B	160	220	110	130	55	65
		C	130	175	85	105	45	50
		D	110	155	75	90	40	45
	διάτμηση	B	100	140	70	80	35	40
		C	80	110	55	65	30	32
		D	70	100	50	55	25	28
μετωπική ραφή χωρίς στρώση κάτω	εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη	B	140	180	985	100	45	50
		C	110	145	75	80	35	40
		D	100	125	65	70	32	35
	διάτμηση	B	90	110	60	70	30	35
		C	70	85	50	55	25	30
		D	60	75	40	50	20	25
γωνιακή ραφή επίπεδη	κάθε είδους τάση	B	90	110	60	70	30	35
		C	70	85	50	55	25	30
		D	60	75	40	50	20	25
γωνιακή ραφή κοίλη	κάθε είδους τάση	B	120	150	75	90	40	45
		C	95	120	60	70	30	35
		D	85	100	50	60	25	30
διπλή γωνιακή επί- πεδη ραφή και συ- νεχής γωνιακή ραφή	κάθε είδους τάση	B	140	190	90	120	50	55
		C	110	150	70	95	40	45
		D	100	130	60	85	35	40
Διατομές S σύνδεσης τεμαχίων								
στη γωνιακή ραφή	εφελκυσμός θλίψη	B	180	220	120	140	60	75
		C	145	175	95	110	50	60
		D	125	155	85	100	40	50
	κάμψη	B	240	280	155	180	75	95
		C	190	220	125	145	60	75
		D	170	190	110	125	50	65
	διάτμηση στρέψη	B	125	155	85	100	50	65
		C	100	125	70	80	40	50
		D	85	110	60	70	35	45

(1) B για υψηλή, C για μέση και D για χαμηλή καταπόνηση.

Πίνακας 4-4α. Ενδεικτικές τιμές για επιτρεπόμενες τάσεις σε N/mm^2 στις ραφές συγκόλλησης και τις διατομές S σύνδεσης (με συγκόλληση) μηχανολογικών τεμαχίων.

Υλικό		Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K σε N/mm ² για °C													
		20	50	100	120	160	200	250	300	350	400	450	500	520	550
Ελάσματα λεβήτων DIN 17155	HI	216	209	198	190	183	176	167	137	118	98	78	29		
	HIH	245	242	238	227	217	206	186	157	137	118	98	29		
	HIHII	265	262	258	246	236	225	206	176	157	137	118	29		
	HIV	275	271	268	257	246	235	216	186	167	147	127	29		
	17 Mn 4	275	269	262	256	251	245	225	206	176	157	137	39	30	
	19 Mn 5	314	306	292	281	270	265	245	225	206	176	157	39	30	
	15 Mo 3	265	262	256	252	249	245	225	196	176	167	157	137	59	31
	13 CrMo 4	294	291	285	281	278	274	255	235	216	206	196	176	94	49
Ελάσματα από χαλύβα κατασκευών DIN 17100	USt 34-1, RSt 34-1	175	171	165	165										
	USt 37-1, RSt 37-1	205	198	187	187										
	USt 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108						
	USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122						
	RSt 46-2, St 46-3	235	228	216	216	201	186	177	147						
Μορφοποιημέ- νος & σφυγι- λατος χάλυβας DIN 17100	St 52-3	314	291	255	255	240	226	206	186						
	USt 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108						
	USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122						
	USt 42-2, RSt 42-2	225	218	206	206	191	176	167	137						
	St 52-3	314	291	254	254	240	226	206	186						
Σωλήνες DIN 1626 και 1629	St 34-2	175	175	165	165	154	143	127	108						
	St 35, St 37-2	205	205	187	187	174	161	143	122						
	St 45, St 42-2	220	220	205	205	191	178	161	139						
Σωλήνες χωρίς ραφή DIN 17175	St 35.8	235	227	214	208	197	186	167	137	118	108	69			
	St 45.8	255	247	233	227	217	206	186	157	137	127	69			
	15 Mo 3	284	279	271	269	262	255	235	206	186	176	167	93	59	
	13 CrMo 4 4	294	291	285	283	278	274	255	235	216	206	196	137	94	49
	10 CrMo 9 10	265	262	256	251	248	245	235	225	216	206	196	142	108	66
Χυτο- χάλυβες DIN 1681	GS-38.3	185	183	181	181	164	157	137	118						
	GS-45.3	225	220	216	216	190	177	157	137						
Χυτοχάλυβες αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες DIN 17245	GS-C25	245	233	214	214	194	175	160	145	135	130	125			
	GS-22 Mo 4	245	236	221	221	205	190	177	165	155	150	145	135		
	GS-17 CrMo 5 5	315	305	288	288	271	255	242	230	215	205	190	180	172	160
	GS-18 CrMo 9 10	400	392	380	380	367	355	350	345	330	315	305	280	264	240
	GS-17 CrMo V 5 11	440	431	416	416	400	385	375	365	350	335	320	300	284	260
	G-X 8 CrNi 12	355	341	319	319	297	275	270	265	260	255				
	G-X 22 CrMoV 12 1	590	575	550	550	525	500	485	470	460	445	420	365	339	300
Οστενιτικοί χάλυβες DIN 17440	X 10 CrNiTi 18 9	190	190	176	169	162	155	145	136	130	125	121	119	119	118
	X 5 CrNiMo 18 10	195	195	175	165	155	145	135	127	120	115	112	110	109	108
	X 10 CrNiMoNb 18 10	205	205	190	181	173	165	155	145	140	135	131	129	128	127
	X 10 CrNiMoTi 18 10	205	205	190	181	173	165	155	145	140	135	131	129	128	127
	X 5 CrNiMo 18 12	185	185	165	155	146	137	127	119	113	108	103	100	99	98

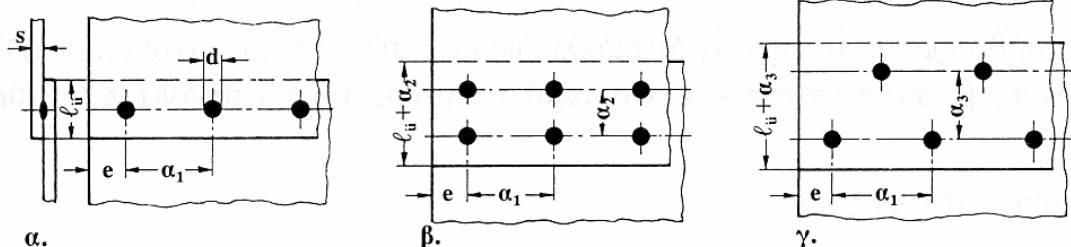
Πίνακας 4-5. Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες.

Συντελεστής ασφάλειας	για χάλυβες εξέλασης και σφυρίλατους	για χυτοχάλυβες
	(πίνακας 4-5)	
υπό εσωτερική υπερπίεση των τοιχωμάτων	1,5	2,0
υπό εξωτερική υπερπίεση των τοιχωμάτων	1,8	2,4

Πίνακας 4-6. Συντελεστής ασφάλειας S .

Πάχος ελάσματος s	Απόσταση σημείων a_1		Απόσταση σειρών σε		Ελάχιστη επικάλυψη ℓ_{ii}	Διάμετρος σημείου d
	ελάχιστη	συνήθης	ραφή αλυσίδας a_2	ραφή ζικ-ζακ a_3		
0,5	10	20	8	12	12	3
1,0	12	25	10	15	14	4
1,5	15	30	12	20	16	5
2,0	18	36	15	24	18	6
3,0	24	45	20	32	22	8
4,0	30	55	25	38	26	10
5,0	36	65	30	45	30	12
6,0	42	75	35	52	35	14

Απόσταση από άκρο: $e \approx 2 \cdot d$



Πίνακας 4-7. Διαστάσεις και διαμόρφωση των συνδέσεων σε συγκολλήσεις σημείων. α. ραφή εν σειρά, β. ραφή αλυσίδας, γ. ραφή ζικ-ζακ. Διαστάσεις σε mm.

Σιδηροκατασκευές DIN 18801			Υλικό							
			S235 (St 37)		S355 (St 52)					
			Περίπτωση φόρτισης		Περίπτωση φόρτισης					
			H	HZ	H	HZ				
Αν είναι απαραίτητος ένας έλεγχος σε λυγισμό και ανατροπή κατά DIN 4114	τ_w		90	100	135	155				
	μιας τομής $\sigma_{w\ell}$		255	290	380	430				
	δύο τομών $\sigma_{w\ell}$		355	400	525	600				
Αν λυγισμός, ανατροπή ή απόκλιση από την ευθεία είναι αδύνατον να εμφανισθούν	τ_w		105	115	155	175				
	μιας τομής $\sigma_{w\ell}$		290	325	430	485				
	δύο τομών $\sigma_{w\ell}$		400	450	600	675				
Κατασκευές μηχανών και συσκευών (ενδεικτικές τιμές)										
Αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό	$R_m =$		250	300	350	400	450	500	550	600
τ_w	στατική		60	75	90	100	110	125	135	150
	επαναλαμβανόμενη		40	50	55	65	70	80	90	95
	αντιστρεφόμενη		20	25	30	35	35	40	45	50
μιας τομής	στατική		165	200	235	265	300	335	365	400
	επαναλαμβανόμενη		110	130	150	175	195	215	240	260
	αντιστρεφόμενη		55	65	75	90	100	110	120	130
δύο τομών	στατική		275	335	390	445	500	555	610	665
	επαναλαμβανόμενη		180	215	250	285	320	355	390	425
	αντιστρεφόμενη		90	110	125	145	160	180	195	215

Πίνακας 4-8. Επιτρεπόμενες τιμές τάσεων σε N/mm^2 για συγκολλήσεις σημείων.

Ελατήρια

Τα ελατήρια είναι στοιχεία μηχανών, τα οποία όταν φορτίζονται με εξωτερικές δυνάμεις μπορούν να υποστούν μια ελαστική παραμόρφωση και έτσι να αποθηκεύσουν δυναμική ενέργεια. Το εξωτερικό έργο (=εξωτερική δύναμη χ παραμόρφωση) πρέπει σε ένα ελατήριο να μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια με όσο το δυνατό λιγότερες απώλειες.

Το υλικό και η μορφή του ελατηρίου καθορίζονται από τις απαιτήσεις για δύναμη και διαδρομή του ελατηρίου.

Τα ελατήρια χρησιμοποιούνται γενικά για την παραλαβή μιας δύναμης ή ενός ποσού κινητικής ενέργειας και για την εφαρμογή μιας δύναμης ή την απόδοση μηχανικού έργου.

Ειδικότερα χρησιμοποιούνται για:

- Τη μέτρηση μηχανικών και ηλεκτρικών μεγεθών όπως δυναμόμετρα, δυναμόκλειδα, αμπερόμετρα, βολτόμετρα κτλ.
- Τη μέτρηση και ρύθμιση δυνάμεων βαλβίδων, πιεστηρίων, συμπλεκτών τριβής, συνδέσμων ασφάλειας, ηλεκτρικών διακοπών, κ.λ.π.
- Την ισομερή κατανομή ενός φορτίου σε περισσότερες θέσεις όπως στους τροχούς, που στηρίζεται ένα όχημα, στις ταπετσαρίες καθισμάτων και κρεβατιών, στις θέσεις στήριξης ενός μηχανήματος, κ.λ.π.
- Τη μείωση κρουστικών φορτίων όπως στην ανάρτηση των τροχών οχημάτων, στους ελαστικούς συνδέσμους, στη στήριξη μηχανικών πιεστηρίων και σφυρών στο δάπεδο, κ.λ.π.
- Την κίνηση μηχανημάτων και μηχανισμών, όπως στα ρολόγια, στα τύπανα αυτόματης τυλίξεως, στα παιχνίδια, στις βαλβίδες, στις κλειδαριές κ.λ.π.
- Διάφορες εφαρμογές της δυναμικής μηχανών όπως α) για την εξουδετέρωση του κινδύνου του συντονισμού μηχανών, μηχανισμών και οργάνων, β) για την κατασκευή διάφορων ταλαντωτών (μεταφοράς ύλης, κοσκινίσματος), γ) για την κατασκευή δονητών οδοστρωμάτων, κ.λ.π.

Τα ελατήρια χωρίζονται :

1. Ανάλογα με το κύριο είδος φόρτισης τους σε:
 - Καμπτικά ελατήρια
 - Στρεπτικά ελατήρια
 - Διατμητικά ελατήρια
 - Εφελκυστικά ελατήρια
 - Θλιπτικά ελατήρια

2. Ανάλογα με τη μορφή τους σε :

- Ελατήρια ελικοειδή κυλινδρικά (κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής).
- Ελατήρια ελικοειδή κωνικά (με σύρμα κυκλικής διατομής ή έλασμα)
- Ελατήρια πεπλατυσμένα (από λάμες)
- Ελατήρια δισκοειδή
- Ελατήρια επίπεδα σπειροειδή
- Ελατήρια ειδικών μορφών.

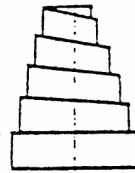
Μερικά είδη φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



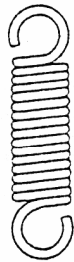
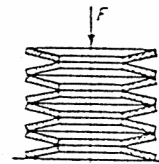
α) Θλιπτικό ελατήριο



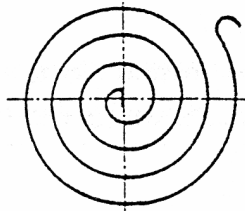
β, γ) Κωνικά ελατήρια



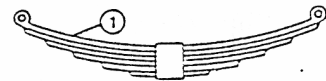
δ.) Δισκοειδές ελατήριο



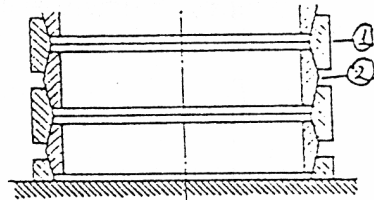
ε) Ελατήριο έλξεως



ζ) Σπειροειδές ελατήριο



η) Ελατήριο κάμψεως (σούστα)



θ) Ειδικό ελατήριο

Ο υπολογισμός των ελατηρίων περιλαμβάνει κυρίως τον προσδιορισμό των εξής τριών βασικών μεγεθών:

- Ι. Την παραμόρφωση συναρτήσει της φόρτισης.
- ΙΙ. Την καταπόνηση (τάσης) του υλικού συναρτήσει της φόρτισης.
- ΙΙΙ. Το έργο παραμόρφωσης συναρτήσει της παραμόρφωσης.

Ο υπολογισμός αντοχής ενός ελατηρίου μπορεί ανάλογα με τη μορφή φόρτισής του να είναι στατικός ή δυναμικός.

Η εκλογή του κατάλληλου υλικού για την κατασκευή ενός ελατηρίου εξαρτάται γενικά από:

- α). τη μηχανική του αντοχή. ($\sigma_{επ}$ ή $\tau_{επ}$).
- β). τη μορφή της χαρακτηριστικής του γραμμής στατικής ή δυναμικής φόρτισης.
- γ). το είδος φόρτισης του ελατηρίου.
- δ). την εξωτερική μορφή και τον όγκο του ελατηρίου.

- ε). το βάρος του ελατηρίου.
- στ). την αντοχή του σε διάβρωση.
- ζ). τις μαγνητικές του ιδιότητες και
- η). την αντοχή του σε υψηλές θερμοκρασίες.

Χαρακτηριστικές γραμμές ελατηρίων

Όταν φορτίζουμε ένα ελατήριο, τότε δημιουργείται σ' αυτό μια παραμόρφωση, αυτή η παραμόρφωση εξαρτάται από τη δύναμη που ενεργεί, το υλικό του ελατηρίου, τις διαστάσεις του και τη μορφή του.

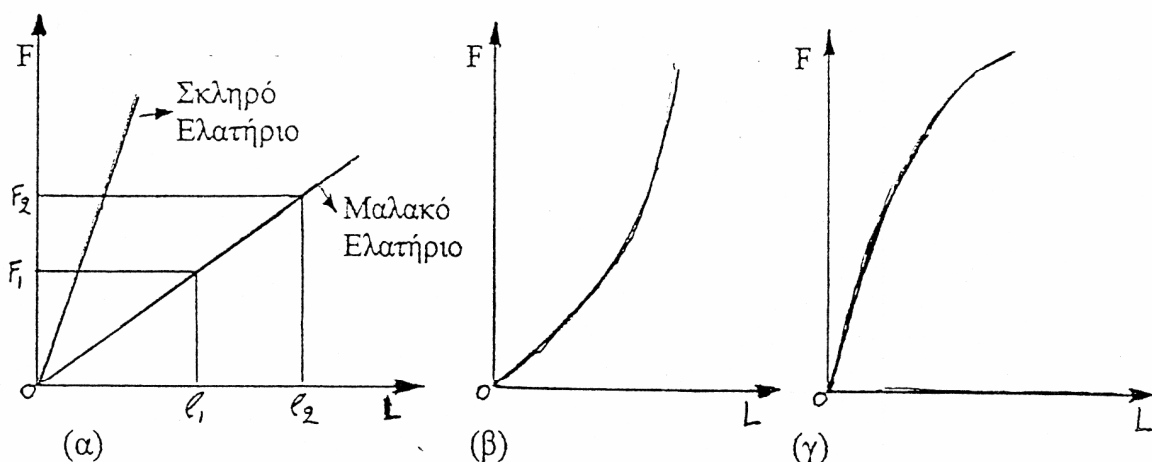
Κάθε ελατήριο παραμορφώνεται από μια δύναμη F , το δε σημείο εφαρμογής της δύναμης μετατοπίζεται κατά τη διαδρομή L .

Αν η δύναμη F και η διαδρομή L σχεδιασθούν σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων θα μας δώσουν το διάγραμμα του ελατηρίου, η δε γραμμή που προκύπτει λέγεται χαρακτηριστική γραμμή ελατηρίου και μας δείχνει τη συμπεριφορά του ελατηρίου κατά την φόρτιση.

Αν το ελατήριο είναι κατασκευασμένο από υλικά για τα οποία ισχύει ο νόμος του Hook και εργάζεται χωρίς τριβές τότε η χαρακτηριστική γραμμή είναι ευθεία και μάλιστα όσο πιο απότομη είναι η ευθεία τόσο μικρότερη είναι η διαδρομή, δηλαδή τόσο σκληρότερο είναι το ελατήριο.

Η δυσκαμψία του ελατηρίου εκφράζεται από το λόγο της δυνάμεως F προς τη διαδρομή L που είναι ίσος με την εφ'α = F_1 / L_1 . Όταν η στατική σκληρότητα των ελατηρίων χαρακτηρίζεται με ευθεία γραμμή ο λόγος παραμένει ίδιος για όλα τα φορτία ανεξάρτητα από το μέγεθος της παραμόρφωσης σε αυτή την περίπτωση η σκληρότητα του ελατηρίου ονομάζεται σταθερά ελατηρίου (C).

Αν η σταθερά ελατηρίου μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της εργασίας τότε προκύπτουν χαρακτηριστικές καμπύλες κυρτές προς τα κάτω ή κυρτές προς τα πάνω. (Βλέπε σχήμα που ακολουθεί).



Η καμπύλη στο (β) δείχνει ότι το ελατήριο γίνεται σκληρότερο όσο αυξάνει το φορτίο, πράγμα που είναι επιθυμητό στα ελατήρια των αυτοκινήτων.

Η καμπύλη στο (γ) σχήμα δείχνει ότι το ελατήριο γίνεται μαλακότερο

όσο αυξάνει το φορτίο. Επιθυμητό σε ελατήρια ρυθμιστών πιεσης που μετα από ορισμένη φορτίση απαιτείται μεγαλύτερη διαδρομή που να αντιστοιχεί σε μικρότερη αύξηση της δύναμης.

Ελατήρια λάμας

Για τα ελατήρια του σχήματος 7-4 η τάση κάμψη σ_b είναι

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{6 \cdot F \cdot \ell}{b \cdot h^2} \leq \sigma_{\text{βεπ}} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (7.3)$$

W_b ροπή αντίστασης σε κάμψη. $W_b = b \cdot h^2/6$ σε mm^3

Η μέγιστη δύναμη F_{max} είναι

$$F_{\text{max}} = \frac{b \cdot h^2}{6 \cdot \ell} \sigma_{\text{βεπ}} \quad \text{σε N} \quad (7.4)$$

Το βέλος κάμψης s που προέρχεται από τη δύναμη φόρτισης F του ελατηρίου είναι

$$s = q_1 \frac{\ell^3}{b \cdot h^3} \frac{F}{E} \quad \text{σε mm} \quad (7.5)$$

q_1 συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μορφή του ελατηρίου

$q_1 = 4$ για ορθογωνικό ελατήριο

$q_1 = 6$ για τριγωνικό ελατήριο

$q_1 \approx 4 \frac{3}{2 + b'/b}$ για τραπεζοειδές ελατήριο

Το μέγιστο βέλος κάμψης προκύπτει από τη σχέση (7.5) αν τεθεί $F = F_{\text{max}}$ από τη σχέση (7.4)

$$s_{\text{max}} = q_2 \frac{\ell^2}{h} \frac{\sigma_{\text{βεπ}}}{E} \quad \text{σε mm} \quad (7.6)$$

q_2 συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μορφή του ελατηρίου

$q_2 = 2/3$ για ορθογωνικό ελατήριο

$q_2 = 1$ για τριγωνικό ελατήριο

$q_2 = 2/3 \frac{3}{2 + b'/b}$ για τραπεζοειδές ελατήριο

Αν στη γενική εξίσωση του έργου του ελατηρίου $W = F \cdot s/2$ τεθεί $F = F_{\text{max}}$ από τη σχέση (7.4) και $s = s_{\text{max}}$ από τη σχέση (7.6), μετά από μετασχηματισμό θα έχουμε για το μέγιστο έργο του ελατηρίου

$$W_{\max} = q_3 \cdot V \cdot \frac{\sigma'_{\text{βεπ}}}{E} \quad \text{σε Nmm} \quad (7.7)$$

q_3 συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μορφή του ελατηρίου

$q_3 = 1/18$ για ορθογωνικό ελατήριο

$q_3 = 1/6$ για τριγωνικό ελατήριο

$q_3 = 1/9 \frac{3}{2 + b'/b} \cdot \frac{1}{1 + b'/b}$ για τραπεζοειδές ελατήριο

V όγκος του ελατηρίου $V = b \cdot h \cdot \ell$ σε mm^3 για ορθογωνικό ελατήριο

$V = 1/2 b \cdot h \cdot \ell$ σε mm^3 για τριγωνικό ελατήριο

$V = 1/2 b \cdot h \cdot \ell (1 + b'/b)$ σε mm^3 για τραπεζοειδές ελατήριο

b πλάτος ελατηρίου σε mm . Για τριγωνικό και τραπεζοειδές ελατήριο το μέγιστο πλάτος

b' πλάτος στο ελεύθερο άκρο του τραπεζοειδούς ελατηρίου σε mm

h ύψος (πάχος) ελατηρίου σε mm

ℓ μήκος ελατηρίου σε mm

E μέτρο ελαστικότητας του υλικού του ελατηρίου σε N/mm^2 (πίνακας 7-1)

$\sigma_{\text{βεπ}}$ σε N/mm^2 (πίνακας 7-1 και 7-3)

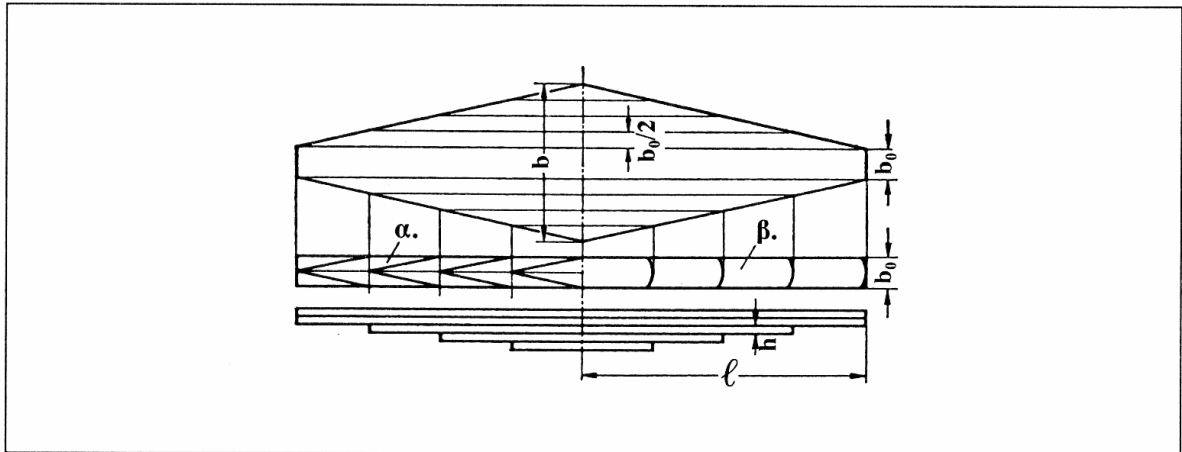
Οι ανωτέρω εξισώσεις ισχύουν με ακρίβεια μόνο για σχετικά μικρά βέλη κάμψης

b_0/b	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
k_1	1,5	1,4	1,32	1,26	1,2	1,17	1,12	1,08	1,05	1,03	1,0
φόρτιση	στατική			επαναλαμβανόμενη				αντιστρεφόμενη			
$\sigma_{\text{βεπ}}$	$\approx 0,7 R_m$			$\approx 0,5 R_m$				$\approx 0,3 R_m$			

Πίνακας 7-3. Συντελεστής μορφής k_1 και επιτρεπόμενες τάσεις κάμψης $\sigma_{\text{βεπ}}$ για ελατήρια με λάμες.

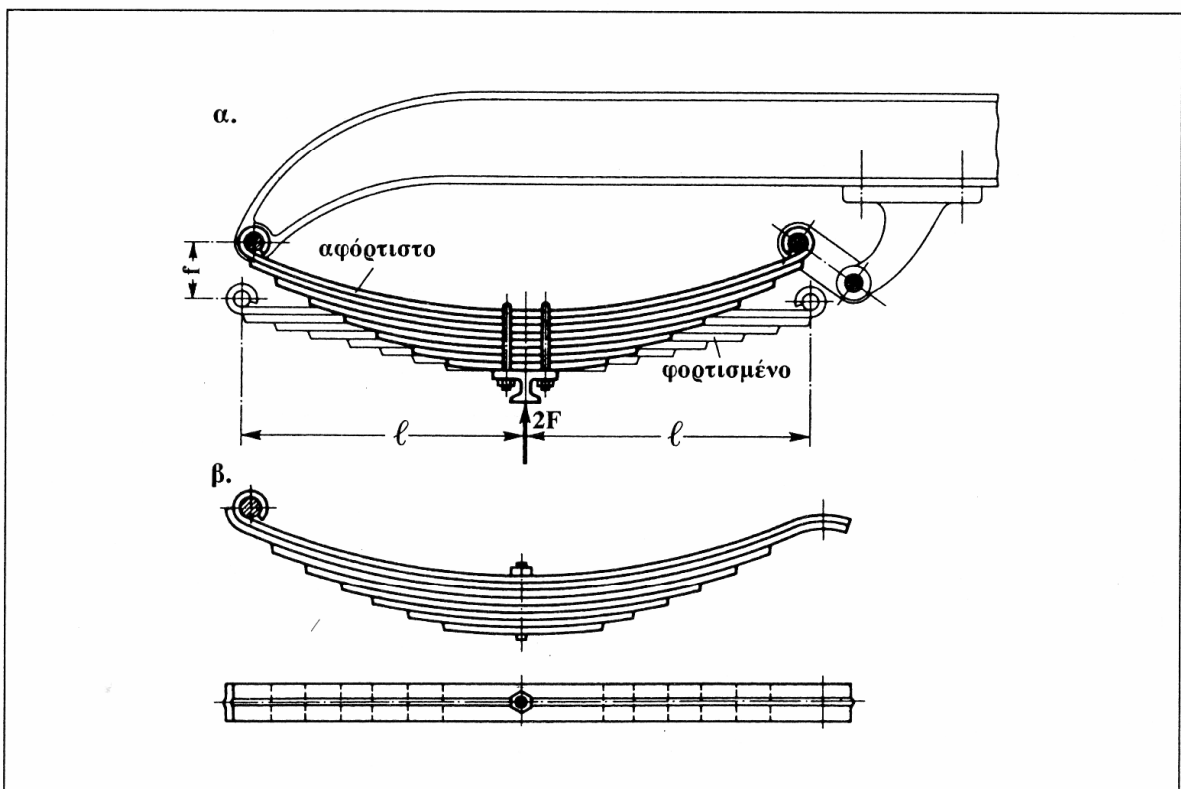
7.5.2. Ελατήρια με πολλαπλές λάμες

Το ελατήριο με πολλαπλές λάμες αναπτύχθηκε από το αμφίπλευρο τραπεζοειδές ελατήριο. Για μεγάλα φορτία και βέλη κάμψης θα προέκυπταν πολύ μεγάλα πλάτη. Την πλατειά αυτή λάμα θεωρούμε κομμένη σε λεπτές λωρίδες διαφορετικού μήκους και τοποθετημένες τη μία πάνω στην άλλη (σχήμα 7-5). Οι λάμες αυτές συγκρατούνται στο μέσο με άγγιστρα ή με πείρο.



Σχήμα 7-5. Προέλευση του ελατηρίου με πολλαπλές λάμες. $\alpha.$ θεωρητική μορφή, $\beta.$ πρακτική μορφή.

Ελατήρια με πολλαπλές λάμες χρησιμοποιούνται κυρίως στο σύστημα ανάρτησης οδικών και σιδηροδρομικών οχημάτων (σχήμα 7-6).



Σχήμα 7-6. Ελατήρια με πολλαπλές λάμες. $\alpha.$ ανάρτηση με στέλεχος συγκράτησης, $\beta.$ ανάρτηση με κεντρικό πείρο. [1]

Λόγω της τριβής ανάμεσα στις λάμες, η χαρακτηριστική γραμμή του ελατηρίου είναι μόνο κατά προσέγγιση ευθεία. Το έργο που αποδίδεται κατά την απο-

φόρτιση είναι μικρότερο από εκείνο που απορροφήθηκε και αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια πολύτιμη απόσβεση.

7.5.2.1. Υπολογισμός ελατηρίων με πολλαπλές λάμες

Ένας ακριβής υπολογισμός των ελατηρίων με πολλαπλές λάμες δεν είναι δυνατός επειδή η τριβή μεταξύ των λαμών δεν μπορεί ουσιαστικά να προσδιοριστεί.

Αν η τριβή δεν ληφθεί υπόψη, για ένα αριθμό λαμών z και ένα μέγιστο πλάτος b του τραπεζοειδούς ελατηρίου, το πλάτος της κάθε μιας λάμας b_o θα είναι

$$b_o = \frac{b}{z} \quad \text{σε mm} \quad (7.8)$$

Η τάση κάμψης σ_b θα είναι και εδώ, με ικανοποιητική ακρίβεια, όπως στο απλό ορθογωνικό ελατήριο (σχέση 7.3), το δε βέλος κάμψης s επίσης το ίδιο (σχέση 7.5), θα πρέπει όμως να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή k_1 που εξαρτάται από το λόγο b_o/b και ένα συντελεστή k_2 που λαμβάνει υπόψη τη μείωση του βέλους κάμψης

$$s = k_1 \cdot k_2 \cdot q_1 \frac{\ell^3}{b \cdot h^3} \frac{F}{E} \quad \text{σε mm} \quad (7.9)$$

$q_1 = 4$ για ορθογωνικό ελατήριο

k_1 συντελεστής μορφής (πίνακας 7-3)

$k_2 \approx 0,75$ για ελατήριο με πολλαπλές λάμες

ℓ, b, h από σχήμα 7-5

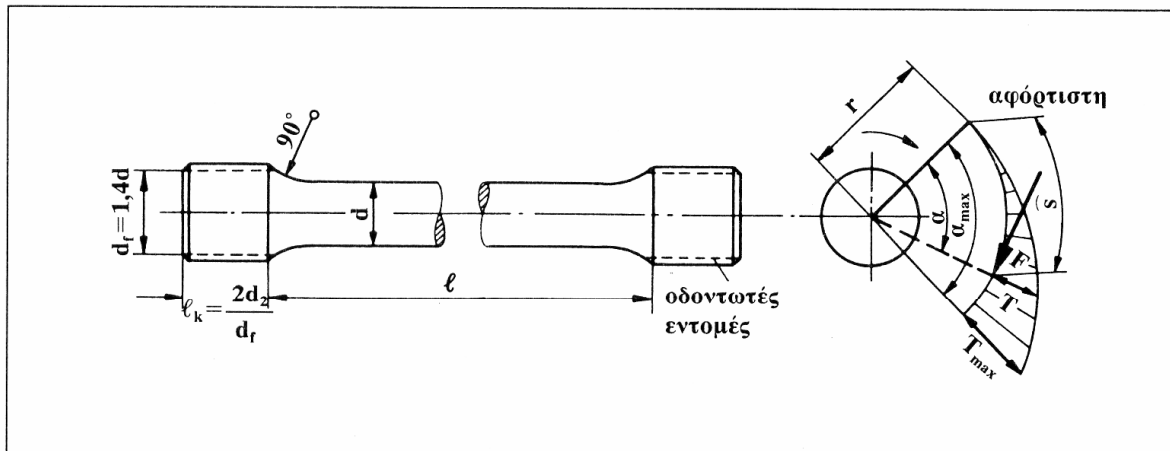
Λόγω της τριβής ανάμεσα στις λάμες, η πραγματική δύναμη με την οποία μπορεί να φορτιστεί το ελατήριο είναι εκ πείρας, ανάλογα με τον αριθμό των λαμών, 2 έως 12% μεγαλύτερη από την υπολογιστική.

7.6. Ράβδοι στρέψης

Ράβδοι στρέψης είναι ευθείς ράβδοι με κυλινδρική διατομή που καταπονούνται σε στρέψη. Για την αύξηση της αντοχής τους σε διαρκή καταπόνηση η επιφάνειά τους υποβάλλεται σε μια πολύ επιμελημένη και λεπτότατη επεξεργασία (λείανση ή συμπίεση με εκτόξευση σφαιριδίων).

Τα άκρα πρόσδεσης φέρουν οδοντωτές εντομές ή πολύσφηνα (σχήμα 7-7). Λό-

γω συγκέντρωσης τάσεων στις θέσεις πρόσδεσης, τα άκρα είναι ενισχυμένα και η μετάβαση στο στέλεχος πολύ καλά στρογγυλευμένη.



Σχήμα 7-7. Ράβδος στρέψης με γενικές διαστάσεις.

Ως υλικό χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις 50CrV4.

Ραβδοι στρέψης χρησιμοποιούνται για απόσβεση στρεπτικών ταλαντώσεων (π.χ. σε οχήματα), για μέτρηση στρεπτικών δυνάμεων, σε ροπόκλειδα, σε ελαστικούς συμπλέκτες κ.ά.

7.6.1. Υπολογισμός ράβδων στρέψης

Σε μία ράβδο στρέψης με διάμετρο στελέχους d (σχήμα 7-7) η τάση στρέψης τ_t είναι:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \approx \frac{T}{0,2 \cdot d^3} \leq \tau_{τεπ} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (7.10)$$

T μέγιστη ροπή στρέψης σε Nmm

W_t πολική ροπή αντίστασης. $W_t = \pi \cdot d^3/16 \approx 0,2 \cdot d^3$ σε mm³

d διάμετρος στελέχους της ράβδου σε mm

$\tau_{τεπ}$ επιτρεπόμενη τάση στρέψης σε N/mm² (πίνακας 7-1)

Για τις δύο διατομές της ράβδου σε απόσταση ℓ θα προκύψει μία γωνία στρέψης α σε ακτίνια

$$\alpha = \frac{T \cdot \ell}{I_t \cdot G} \quad \text{σε ακτίνια} \quad (7.11)$$

I_t πολική ροπή αδράνειας. $I_t = \pi \cdot d^4/32$ σε mm^4

G μέτρο διάτμησης του υλικού του ελατηρίου σε N/mm^2 (πίνακας 7-1)

Με $I_t = \pi \cdot d^4/32$ και $\alpha^\circ = 180^\circ/\pi \cdot \widehat{\alpha}$ για τη μετατροπή της γωνίας α σε μοίρες η σχέση (7.11) γίνεται

$$\alpha^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{T \cdot \ell}{I_t \cdot G} \approx 584 \frac{T \cdot \ell}{d^4 \cdot G} \approx 115 \frac{\tau_t \cdot \ell}{d \cdot G} \quad \text{σε μοίρες} \quad (7.12)$$

Αν η ροπή στρέψης παράγεται από τη δύναμη F στο μοχλοβραχίονα r (σχήμα 7-7), τότε η διαδρομή s , ίση με το μήκος του τόξου που διαγράφει η F , θα είναι

$$s = r \cdot \widehat{\alpha} \quad \text{σε mm} \quad (7.13)$$

Επειδή η χαρακτηριστική γραμμή της ράβδου στρέψης είναι ευθεία ισχύει γενικά για τη σταθερά του ελατηρίου R

$$R = \frac{T}{\alpha^\circ} \approx \frac{d^4 \cdot G}{584 \cdot \ell} \quad \text{σε Nmm/μοίρα} \quad (7.14)$$

$T, \alpha^\circ, d, G, \ell$ όπως στις σχέσεις (7.10) έως (7.12)

7.7. Ελικοειδή ελατήρια

7.7.1. Χρησιμοποίηση, κατασκευή

Τα ελικοειδή είναι εκείνα τα ελατήρια που χρησιμοποιούνται περισσότερο από όλα. Οι πολλαπλές τους μορφές, η δυνατότητα κατασκευής τους σε μέγιστα και ελάχιστα μεγέθη από τα πιο διαφορετικά υλικά, η χρησιμοποίησή τους σαν ελατήρια εφελκυσμού και θλίψης και η δυνατότητα επιρροής της χαρακτηριστικής τους γραμμής με ταυτόχρονη ζεύξη ελατηρίων διαφορετικών διαστάσεων, ικανοποιούν πρακτικά κάθε είδους απαίτηση.

Μερικές από τις πολυάριθμες χρήσεις τους είναι: ελατήρια βαλβίδων σε κινητήρες και αποφρακτικά όργανα, ελατήρια σύσφιγξης, ελατήρια αξόνων σε οχήματα, ελατήρια επαναφοράς σε πέδες με σιαγώνες, ελατήρια σε στρώματα κ.ά.

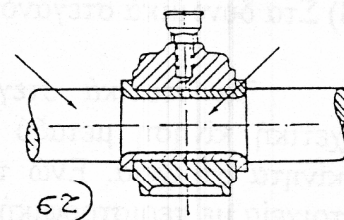
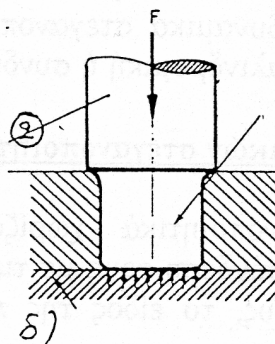
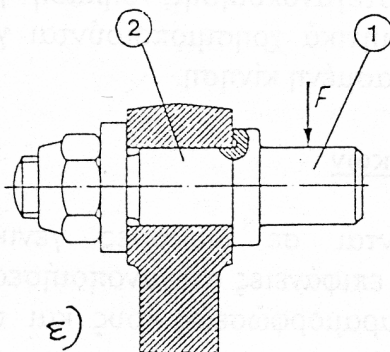
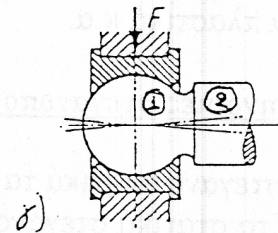
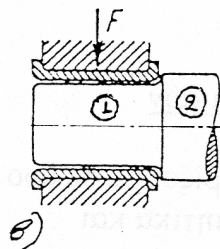
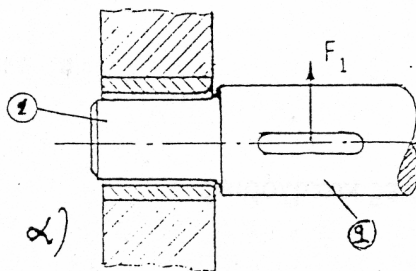
Τα ελικοειδή ελατήρια μπορούν να θεωρηθούν σαν ράβδοι στρέψης με ελικοειδή περιέληξη που δέχονται στον άξονά τους μια θλιπτική ή εφελκυστική δύναμη. Κατασκευάζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με κυκλική διατομή σπανιότερα με τετραγωνική ή ορθογωνική διατομή.

ΣΤΡΟΦΕΙΣ

Στροφείς είναι τα τμήματα της ατράκτου ή του περιστρεφόμενου άξονα στα οποία πατούν τα έδρανα, δηλαδή είναι οι θέσεις στηρίξεως της ατράκτου ή του περιστρεφόμενου άξονα.

Οι στροφείς κατατάσσονται σε κατηγορίες και είδη ως εξής:

1. Ανάλογα με τη διεύθυνση του φορτίου τους σε:
 - i). Εγκάρσιους στροφείς
 - ii). Αξονικούς στροφείς
2. Ανάλογα με τη μορφή τους
 - i). Κυλινδρικοί στροφείς
 - ii). Σφαιρικοί στροφείς
 - iii). Επίπεδοι ή δακτυλοειδείς στροφείς
3. Ανάλογα με την θέση τους στην άτρακτο ή τον άξονα
 - i). Ακραίοι στροφείς
 - ii). Μετωπικοί στροφείς
 - iii). Ενδιάμεσοι στροφείς
4. Ανάλογα με τη θέση τους στο χώρο
 - i). Οριζόντιοι στροφείς
 - ii). Κατακόρυφοι στροφείς



- α, β, γ) Εγκάρσιοι στροφείς.
 δ) Αξονικός στροφέας.
 ε) Στροφέας σταθερών αξόνων
 στ) ενδιάμεσος στροφέας
 1. Στροφέας.
 2. Άτρακτος.

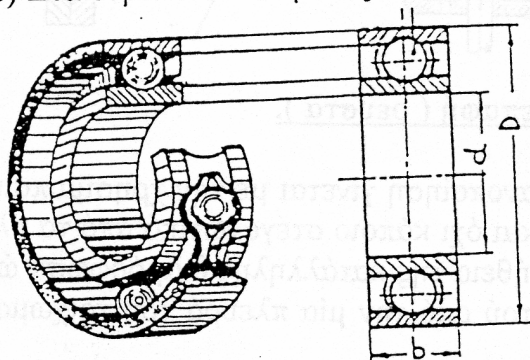
ΕΔΡΑΝΑ ΑΤΡΑΚΤΩΝ – ΑΞΟΝΩΝ

Τα έδρανα τοποθετούνται στα σημεία στήριξης των ατράκτων - αξόνων και μεταβιβάζουν τις δυνάμεις που δέχονται στο έδαφος ή σε άλλη κατασκευή, ανάλογα με την κατασκευή τους μπορούν να παραλάβουν εγκάρσιες και αξονικές δυνάμεις.

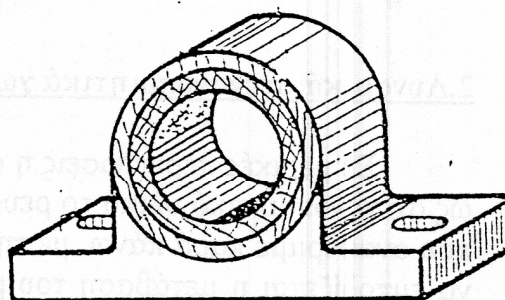
Γενικά τα έδρανα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

α) Στα έδρανα κυλίσεως «ΡΟΥΛΕΜΑΝ»

β) Στα έδρανα ολισθήσεως «ΚΟΥΖΙΝΕΤΑ».



α). Έδρανο κύλισης



β). Έδρανο ολίσθησης

Τα πλεονεκτήματα των εδράνων κυλίσεως έναντι των εδράνων ολίσθησεως είναι:

1. Παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή τριβής κατά την εκκίνηση και στάση.
2. Δεν έχουν ανάγκη συντήρησης, απαιτούν ελάχιστη ποσότητα λιπαντικού.
3. Έχουν μεγαλύτερο επιτρεπόμενο φορτίο.
4. Δεν επηρεάζουν την αντοχή τους, το υλικό, η σκληρότητα και η τραχύτητα επιφάνειας.
5. Έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής για μικρές διαμέτρους στροφών.

Τα μειονεκτήματα των εδράνων κυλίσεως έναντι των εδράνων ολίσθησεως είναι:

1. Παρουσιάζουν ευαισθησία στα κρουστικά φορτία και τους κραδασμούς.
2. Έχουν υψηλότερο βαθμό θορύβου κατά τη λειτουργία.
3. Έχουν περιορισμένη ταχύτητα περιστροφής κυρίως σε μεγάλες διαμέτρους λόγω των φυγόκεντρων δυνάμεων.
4. Έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής.
5. Παρουσιάζουν ευαισθησία σε ακαθαρσίες.
6. Το κόστος κατασκευής για μεγάλες διαμέτρους είναι υψηλότερο.

Είδη και ονομασία εδράνων κυλίσεως

Τα έδρανα κυλίσεως αποτελούνται από δυο δακτυλίους ή δυο δίσκους διαμορφωμένους έτσι ώστε τα σώματα κυλίσεως να κυλίνουν σε συγκεκριμένες τροχιές.

εγκάρσια συνιστώσα F_r , και μια αξονική F_a τότε το αντίστοιχο ισοδύναμο φορτίο του εγκάρσιου εδράνου υπολογίζεται από τον τύπο: $P = XF_r + YF_a$. Οι τιμές των συντελεστών χ & γ ποικίλουν ανάλογα με το είδος του εδράνου.

Λίπανση εδράνων κυλίσεων

Η λίπανση δεν παίζει τόσο σπουδαίο ρόλο στα έδρανα κυλίσεως όσο στα έδρανα ολισθήσεως στα οποία η εκλογή του κατάλληλου λιπαντικού είναι μεγάλης σπουδαιότητας. Στις συνηθισμένες εφαρμογές των εδράνων κυλίσεως η λίπανση μπορεί να γίνει είτε με λίπος είτε με ορυκτέλαιο.

Η λίπανση με ορυκτέλαιο προτιμάται:

α) Όταν η ποσότητα θερμότητας που παράγεται από την τριβή των εδράνων είναι πολύ μεγάλη και υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης.

β) Όταν ένα μηχάνημα περιλαμβάνει ένα μέρος εδράνων που λιπαίνεται με ορυκτέλαιο όποτε αναγκαστικά και τα υπόλοιπα θα λιπανθούν με ορυκτέλαιο.

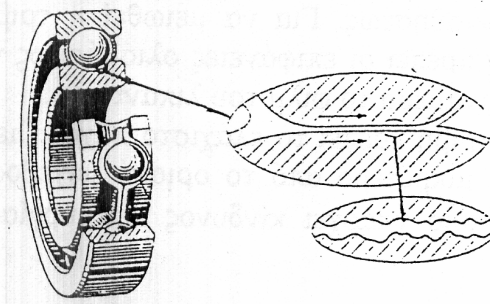
γ) Όταν η θέση που έχει τοποθετηθεί το έδρανο δεν είναι εύκολα προσιτή και πρέπει να γίνεται συντήρηση και αλλαγή λιπαντικού, τότε το λαδί είναι προτιμότερο από το λίπος.

Τρόποι λιπάνσεως με ορυκτέλαιο

- i) Λίπανση δια του λουτρού.
- ii) Λίπανση αναγκαστικής κυκλοφορίας.
- iii) Λίπανση με νεφέλωμα ορυκτέλαιου.
- iv) Λίπανση δια των σταγόνων.

Ελαστοϋδροδυναμική λίπανση

Είναι το είδος της λίπανσης όπου η στοιχειώδης ποσότητα του λιπαντικού εγκλωβίζεται στα σημεία των στοιχείων κύλισης των ρουλεμάν (η στις γραμμές / καμπύλες επαφής των γραναζιών). Από την επενέργεια των φορτίων οι επιφάνειες των στοιχείων στα σημεία επαφής παραμορφώνονται ελαστικά δημιουργώντας στοιχειώδεις επιφάνειες. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των επιφανειών είναι πολύ μεγάλες και δεδομένου ότι το λιπαντικό σαν υγρό είναι ασυμπίεστο, η υγρή μεμβράνη παραμένει μεταξύ των δυο επιφανειών κρατώντας τις διαχωρισμένες.



11.7. Υπολογισμός των εδράνων κύλισης

11.7.1. Ορισμοί

Οι σπουδαιότεροι όροι που εμφανίζονται στον υπολογισμό των εδράνων κύλισης είναι:

Διάρκεια ζωής είναι το πλήθος των στροφών (ή ωρών εργασίας) που επιτυγχάνει ένα έδρανο, πρώτου εμφανισθούν σημάδια κόπωσης σε ένα από τους δακτυλίους του ή στα στοιχεία κύλισής του. Η κόπωση εμφανίζεται αρχικά με τη μορφή μικρών ρωγμών.

Η πείρα απέδειξε ότι έδρανα ίδιου μεγέθους, κατασκευής και υλικού έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής, ακόμα και όταν εργάζονται κάτω από απόλυτα ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Καθιερώθηκε λοιπόν για τις ανάγκες των υπολογισμών ο όρος **Ονομαστική διάρκεια ζωής L_h** που είναι η διάρκεια ζωής στην

οποία επιτυγχάνουν ή υπερβαίνουν τουλάχιστον τα 90% των εδράνων του ίδιου τύπου και διαστάσεων.

Δυναμικό φορτίο C είναι το σταθερό φορτίο κάτω από την επίδραση του οποίου το έδρανο επιτυγχάνει μία ονομαστική διάρκεια ζωής 10^6 στροφών ή 500 ώρες λειτουργίας στις 33 1/3 RPM. Το φορτίο αυτό δίνεται στους καταλόγους των εδράνων.

Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P είναι η υποθετική, καθαρά ακτινική (για αξονικά έδρανα, αξονική) φόρτιση η οποία θα έδινε στο έδρανο την ίδια διάρκεια ζωής με αυτή που επιτυγχάνει υπό τις συνθήκες που υπάρχουν πραγματικά π.χ. κάτω από ακτινικό και αξονικό φορτίο συγχρόνως.

Στατικό φορτίο C_0 είναι το καθαρά ακτινικό (για αξονικά έδρανα, αξονικό) φορτίο το οποίο προκαλεί σε ακίνητα έδρανα μια παραμένουσα παραμόρφωση ίση με 0,01% της διαμέτρου του στοιχείου κύλισης, στη θέση επαφής που καταπονείται περισσότερο μεταξύ του δακτυλίου και του στοιχείου κύλισης. Το φορτίο αυτό δίνεται στους καταλόγους των εδράνων.

Ισοδύναμο στατικό φορτίο P_0 είναι η υποθετική, καθαρά ακτινική (για αξονικά έδρανα, αξονική) στατική φόρτιση του εδράνου η οποία προκαλεί στα στοιχεία κύλισης και στους δακτυλίους την ίδια παραμένουσα παραμόρφωση με αυτή που προκαλείται υπό τις συνθήκες που υπάρχουν πραγματικά π.χ. κάτω από ακτινικό και αξονικό φορτίο συγχρόνως.

11.7.2. Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου, ανάλογα με το είδος του φορτίου δυναμικό ή στατικό, πρέπει να προσδιορισθεί το ισοδύναμο φορτίο. Το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P είναι για όλα τα έδρανα (εκτός από τους αξονικούς τριβείς με βαρελίσκους)

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad \text{σε N ή kN} \quad (11.1)$$

F_r ακτινικό φορτίο σε N

F_a αξονικό φορτίο σε N. Για τριβείς γωνιώδους επαφής ή κωνικούς το F_a προσδιορίζεται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα πιο κάτω

X ακτινικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του λόγου του ακτινικού προς το αξονικό φορτίο. Τιμές από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν

Y αξονικός συντελεστής για τη μετατροπή της αξονικής δύναμης (σε ακτινικά έδρανα) σε μια ισοδύναμη ακτινική δύναμη. Τιμές από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν

Στα σφαιρικά έδρανα με βαθύ αύλακα οι X και Y εξαρτώνται από το λόγο $f_0 \cdot F_\alpha / C_0$. Ο συντελεστής f_0 δίνεται στον πίνακα 11-5 ή ακριβέστερα στον πίνακα 11-5α.

Για έδρανα που φορτίζονται μόνο ακτινικά δηλαδή για $F_\alpha = 0$ είναι $P = F_r$.

Για έδρανα που φορτίζονται μόνο αξονικά δηλαδή για $F_r = 0$ είναι $P = F_\alpha$.

Για αξονικούς τριβείς με βαρελίσκους που φορτίζονται ακτινικά και αξονικά, το ισοδύναμο φορτίο είναι

$$P = F_\alpha + 1,2 F_r \quad \text{σε N} \quad (11.2)$$

Στην περίπτωση αυτή πρέπει όμως να είναι $F_r \leq 0,55 \cdot F_\alpha$

Σε εδράσεις με δύο τριβείς σφαιρικούς γωνιώδους επαφής ή κωνικούς που φορτίζονται ακτινικά, εμφανίζονται πρόσθετες αξονικές συνιστώσες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου φορτίου.

Οι πρόσθετες αυτές αξονικές συνιστώσες καθιστούν τα ανωτέρω έδρανα ασταθή κατά τη λειτουργία τους γιαυτό τοποθετούνται ανά ζεύγη σε διάταξη O ή X ώστε να αλληλοϋποστηρίζονται (σχήμα 11-12).

Στο σχήμα 11-12 τα έδρανα 1 φορτίζονται εκτός από την ακτινική δύναμη F_{r1} πιθανώς και με μία υπάρχουσα αξονική F_α , ενώ τα έδρανα 2 φορτίζονται μόνο με την ακτινική δύναμη F_{r2} .

Οι αξονικές δυνάμεις συνολικά (εξωτερική αξονική F_α και πρόσθετες αξονικές συνιστώσες) στα έδρανα 1 και 2 είναι αντίστοιχα $F_{\alpha 1}$ και $F_{\alpha 2}$. Οι δυνάμεις αυτές, που αντικαθιστούν στη σχέση (11.1) τις αξονικές δυνάμεις F_α για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου φορτίου P_1 και P_2 για τα έδρανα 1 και 2, προκύπτουν, ανάλογα προς τις σχέσεις των δυνάμεων, από το σχήμα 11-12.

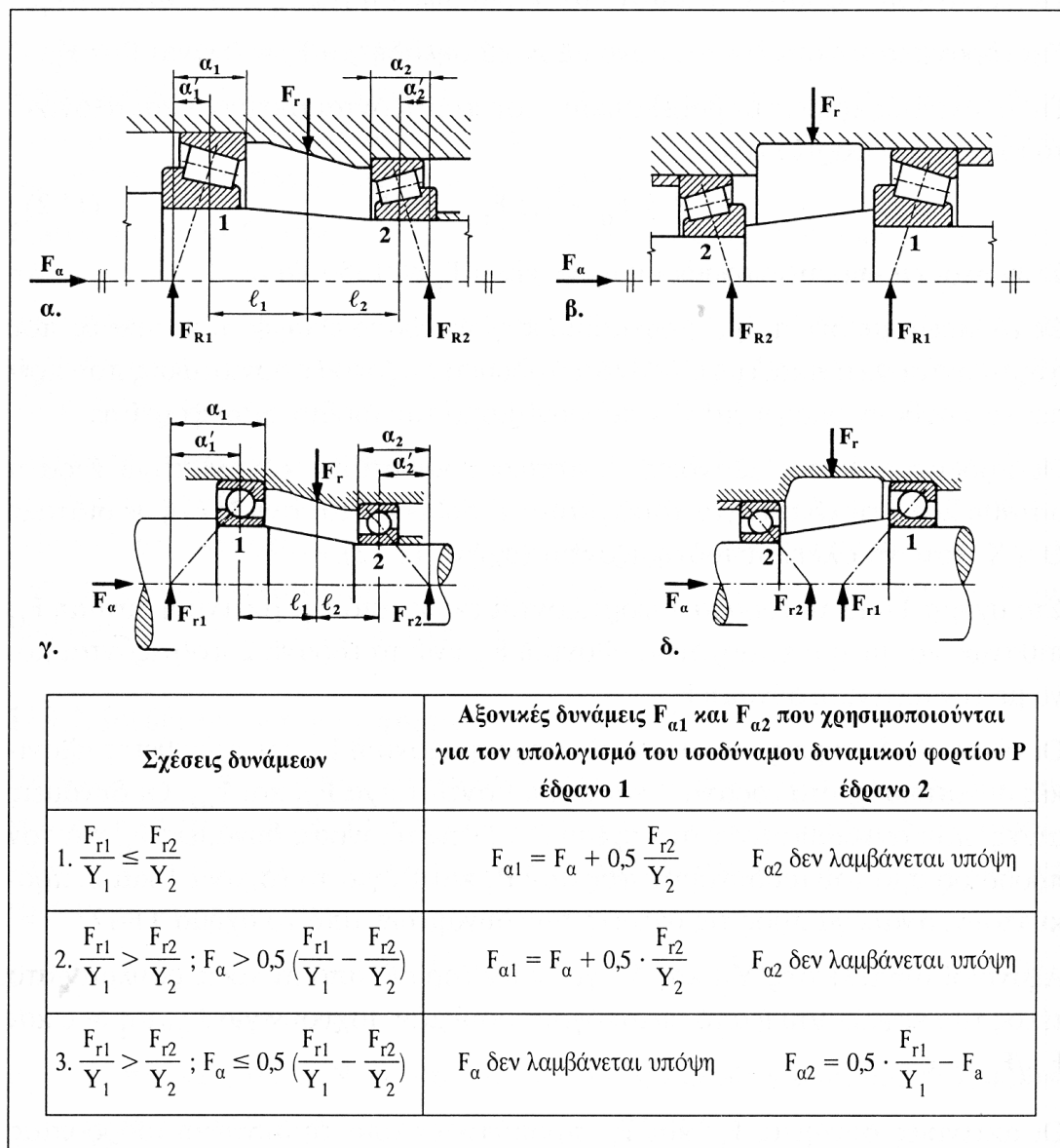
Αξονικοί συντελεστές Y_1 , και Y_2 για κάθε έδρανο από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν. Ισχύουν για $F_{\alpha 1}/F_{r1} > e$ και $F_{\alpha 2}/F_{r2} > e$.

Οι ακτινικές δυνάμεις F_{r1} και F_{r2} προκύπτουν από τη συνθήκη ισορροπίας

$\Sigma M = 0$ π.χ. για F_{r2} από το σχήμα 11-12 είναι $F_{r2} = \frac{F_r (\ell_1 + \alpha'_1)}{(\ell_1 + \ell_2 + \alpha'_2 + \alpha'_1)}$ (αποστάσεις α'_1 και α'_2 από καταλόγους).

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν ανάλογα και για $F_a = 0$ δηλαδή χωρίς εξωτερική αξονική δύναμη.

Ο υπολογισμός προϋποθέτει λειτουργία των εδράνων πρακτικά χωρίς χάρη και πρόταση και είναι κατάλληλος μόνο για έλεγχο δεδομένων εδράνων διότι οι συντελεστές Y_1 , Y_2 αρχικά δεν είναι γνωστοί.



Σχήμα 11-12. Δυνάμεις σε έδρανα – Προσδιορισμός των αξονικών δυνάμεων

- κωνικά σε α. διάταξη O β. διάταξη X
- γωνιάδους επαφής σε γ. διάταξη O δ. διάταξη X.

11.7.3. Μεταβλητά φορτία και στροφές

Ο υπολογισμός της διάρκειας ζωής των εδράνων, προϋποθέτει ότι το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο που προσδιορίστηκε με τις προηγούμενες εξισώσεις, είναι περίπου σταθερό όπως επίσης σταθερές προϋποτίθενται και οι στροφές.

Αν όμως δεν συμβαίνει αυτό, τότε θα πρέπει να προσδιορισθεί από τα μεταβλητά μεγέθη, μία σταθερή, ιδεατή και ως προς τη διάρκεια ζωής ισοδύναμη καταπόνηση του εδράνου.

Στην περίπτωση που το φορτίο του εδράνου F αυξάνει περίπου γραμμικά από $F_{\min}$ σε $F_{\max}$ υπό σχετικά σταθερές στροφές, όπως π.χ. σε εργαλειομηχανές ή σε συστήματα ανύψωσης γερανών, τότε το ιδεατό φορτίο του εδράνου θα είναι

$$P_i = \frac{P_{\min} + 2P_{\max}}{3} \quad (11.3)$$

$P_{\min}, P_{\max}$ ελάχιστο, μέγιστο ακτινικό ή αξονικό φορτίο σε N

P_i ιδεατό φορτίο σε N

Για διαφορετικά αλλά περίπου σταθερά φορτία και στροφές, που ενεργούν κατά διαστήματα, όπως π.χ. σε κιβώτια αλλαγής ταχυτήτων εργαλειομηχανών και οχημάτων, το ιδεατό φορτίο υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_i = \frac{1}{15} \sqrt[3]{P_1^3 \cdot n_1 \cdot q_1 + P_2^3 \cdot n_2 \cdot q_2 + \dots + P_n^3 \cdot n_n \cdot q_n} \quad \text{σε } N \quad (11.4)$$

$P_1, P_2 \dots P_n$ σταθερά ακτινικά ή αξονικά φορτία που ενεργούν κατά ορισμένα διαστήματα σε N

$n_1, n_2 \dots n_n$ αντίστοιχες σταθερές στροφές σε RPM

$q_1, q_2 \dots q_n$ διάρκεια ενέργειας των επί μέρους φορτίων π.χ. για 75% ο συντελεστής $q = 75$

Κατά τον υπολογισμό κατόπιν σε διάρκεια ζωής ο συντελεστής ταχύτητας τίθεται $f_n = 1$ (βλέπε πιο κάτω).

Αν ενεργούν συγχρόνως ακτινικές και αξονικές δυνάμεις προσδιορίζεται πρώτα ξεχωριστά για το κάθε είδος το ιδεατό φορτίο και ύστερα με βάση αυτά το ισοδύναμο φορτίο.

Ας σημειωθεί ότι σπάνια προσδιορίζεται το ιδεατό φορτίο γιατί η εργασία που απαιτεί δεν αξίζει τον κόπο. Συνήθως ο υπολογισμός γίνεται με βάση το μέγιστο φορτίο, πράγμα που θεωρείται σαν μία πρόσθετη ασφάλεια.

11.7.4. Διάρκεια ζωής, δυναμικό φορτίο

Με δοκιμές βρέθηκαν οι σχέσεις

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \frac{L_{10h} \cdot n \cdot 60}{10^6} \quad (11.5)$$

C δυναμικό φορτίο του εδράνου σε N ή kN (από καταλόγους ρουλμάν)

P πραγματικό φορτίο στο έδρανο (ακτινικό P_r ή αξονικό P_a ή ισοδύναμο κατά τη σχέση (11.1) σε N ή kN)

L_{10} διάρκεια ζωής σε εκατομμύρια στροφές

L_{10h} διάρκεια ζωής σε ώρες

p $p = 3$ για σφαιρικά, $p = 10/3$ για κυλινδρικά και βελονοειδή έδρανα

n στροφές ανά λεπτό (RPM)

Αν αντί για τις 10^6 στροφές που χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση για το δυναμικό φορτίο C τεθούν οι τιμές 500 ώρες και $33 \frac{1}{3}$ RPM τότε θα έχουμε

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \frac{L_{10h} \cdot n \cdot 60}{500 \cdot 33 \frac{1}{3} \cdot 60}$$

$$\text{ή} \quad \frac{C}{P} \sqrt[p]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}} = \sqrt[p]{\frac{L_{10h}}{500}}$$

$$\text{Αν δε τεθεί} \quad \sqrt[p]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}} = f_n \quad (11.6)$$

$$\text{και} \quad \sqrt[p]{\frac{L_{10h}}{500}} = f_L \quad (11.7)$$

$$\text{θα έχουμε} \quad f_L = f_n \cdot \frac{C}{P} \quad (11.8)$$

ή αν ληφθεί υπόψη και η επίδραση της θερμοκρασίας

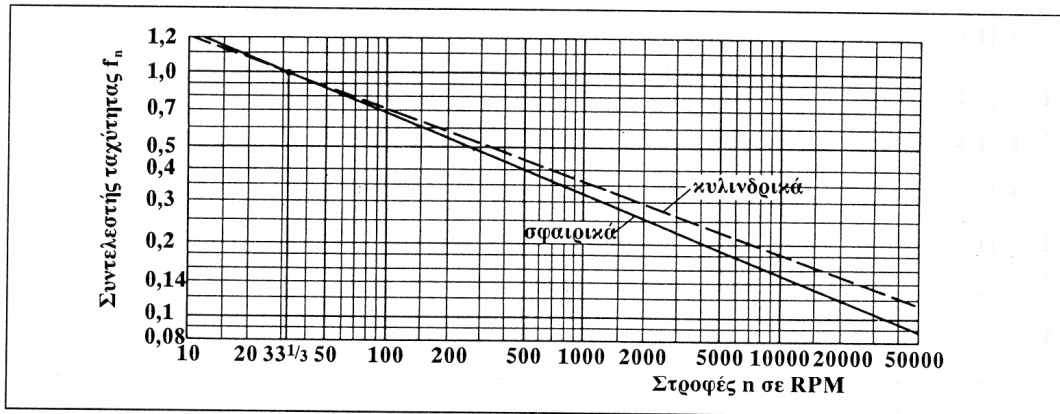
$$f_L = f_n \cdot f_t \cdot \frac{C}{P} \quad (11.8a)$$

C και P όπως στη σχέση (11.5)

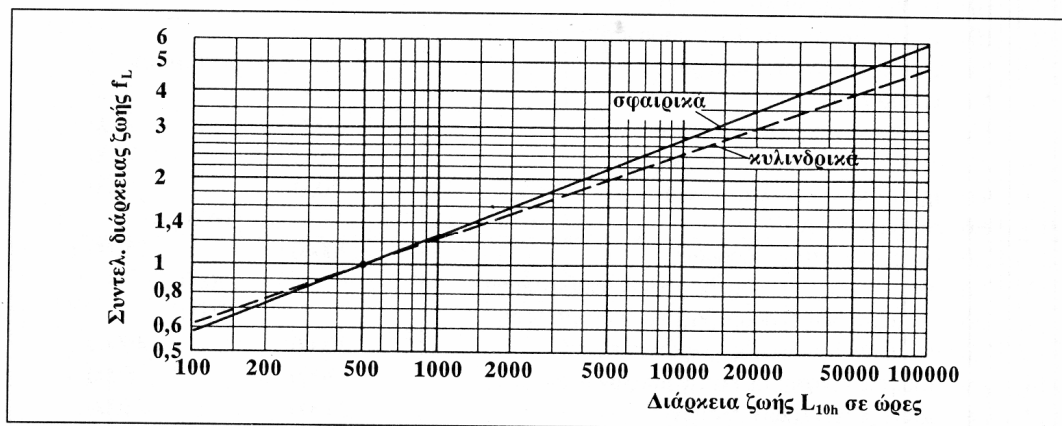
f_n συντελεστής ταχύτητας από σχέση (11.6) ή σχήμα 11-13

f_L συντελεστής διάρκειας ζωής από σχέση (11.7) ή σχήμα 11-14

f_t συντελεστής θερμοκρασίας με $f_t = 1$ για $t = 150^\circ C$, $f_t = 0,9$ για $t = 200^\circ C$
 $f_t = 0,75$ για $t = 250^\circ C$, $f_t = 0,6$ για $t = 300^\circ C$
 $t = \text{θερμοκρασία λειτουργίας του εδράνου}$



Σχήμα 11-13. Συντελεστής ταχύτητας f_n για έδρανα κύλισης $\left(f_n = \sqrt[p]{\frac{33 \cdot 1/3}{n}}\right)$.



Σχήμα 11-14. Συντελεστής διάρκειας ζωής f_L για έδρανα κύλισης $\left(f_L = \sqrt[p]{\frac{L_{10h}}{500}}\right)$.

Με τον υπολογισμό των τριβέων δεν προσδιορίζονται οι διαστάσεις τους π.χ. διάμετρος, πλάτος κλπ. αλλά εκλέγεται από τους καταλόγους ο κατάλληλος τριβέας που ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη διάρκεια ζωής και στις συνθήκες φόρτισης και λειτουργίας που επικρατούν.

Συνήθως από τον υπολογισμό σε αντοχή που προηγήθηκε είναι γνωστή η διάμετρος του άξονα και επομένως η διάμετρος της οπής d και οι στροφές n του εδράνου για την εύρεση του f_n .

Για την εύρεση του f_L η κατάλληλη διάρκεια ζωής των τριβέων εκλέγεται εμπειρικά και εξαρτάται από το είδος του μηχανήματος, τη συνεχή ή διακεκομμένη λειτουργία και την απαιτούμενη ασφάλεια. Ο πίνακας 11-2 δίνει πληροφοριακά τη

διάρκεια λειτουργίας σε ώρες και σε διάφορα πεδία εφαρμογής για έδρανα κύλισης. Τέλος από το λόγο φόρτισης $\frac{C}{P}$ προσδιορίζεται το δυναμικό φορτίο C και κατόπιν από τους καταλόγους γίνεται η εκλογή του κατάλληλου (ή ο έλεγχος δεδομένου) εδράνου. Οι πίνακες 11-3 και 11-4 δίνουν το λόγο $\frac{C}{P}$ συναρτήσει των στροφών n σε RPM και της διάρκειας ζωής L_{10h} σε ώρες

A/A	Πεδίο Εφαρμογής	Θεωρητική διάρκεια λειτουργίας σε ώρες		
1	Ηλεκτρικές συσκευές οικιακής χρήσης	1000	έως	2000
2	Μικροί ανεμιστήρες	2000		4000
3	Μικροί ηλεκτροκινητήρες μέχρι 4kW	8000		10000
4	Ηλεκτροκινητήρες μέσης ισχύος	10000		15000
5	Ηλεκτροκινητήρες μεγάλης ισχύος	20000		30000
6	Ηλεκτρικές μηχανές σταθμών παραγωγής φωταερίου, επεξεργασίας νερού	50000 και πλέον		
7	Μοτοποδήλατα	600		1200
8	Μοτοσικλότες, μικρά αυτοκίνητα	1000		2000
9	Αυτοκίνητα επιβατικά, μικρά φορτηγά	1500		2500
10	Φορτηγά αυτοκίνητα, λεωφορεία	2000		5000
11	Έδρανα βαγονέτων		5000	
12	Έδρανα αξόνων τροχιοδρόμων	20000		25000
13	Έδρανα αξόνων σιδηροδρ. βαγονίων (επιβατικών)		25000	
14	Έδρανα αξόνων σιδηροδρ. βαγονίων (φορτηγών)		35000	
15	Έδρανα αξόνων σιδηροδρ. μηχανών έλξης	20000		40000
16	Αναστροφείς κίνησης σε έλικες μικρών σκαφών	3000		5000
17	Αξονικά έδρανα ελίκων πλοίων	15000		25000
18	Έδρανα ατράκτων πλοίων		80000	
19	Αναστροφείς κίνησης σε έλικες πλοίων	20000		30000
20	Αγροτικές μηχανές	3000		6000
21	Μικρά ανυψωτικά μηχανήματα	5000		10000
22	Μειωτήρες στροφών γενικής χρήσης	8000		15000
23	Κιβώτια ταχυτήτων εργαλειομηχανών		20000	
24	Βοηθητικές μηχανές στην παραγωγή	7500		15000
25	Μικρά έλαστρα εξέλασης εν ψυχρώ	5000		6000
26	Μεγάλα πολλαπλά έλαστρα	8000		10000
27	Πριονιστήρια	10000		15000
28	Μηχανήματα μεταλλείων	4000		10000
29	Ανεμιστήρες ορυχείων	40000		50000
30	Έδρανα τροχαλίων συρματοσχοίνων μεταφοράς	40000		60000
31	Μηχανήματα χαρτοποιίας (συνεχής λειτουργία)	50000		80000
32	Σφυροθραυστήρες	20000		30000
33	Πρέσες μπρικεττών	20000		30000

Πίνακας 11-2. Συνήθης διάρκεια ζωής εδράνων κύλισης (σε ώρες). [12]

L _{10h}	C/P για n =														
	50	100	125	150	200	250	300	400	500	600	750	900	1000	1200	1500
100	0,67	0,84	0,91	0,97	1,06	1,14	1,22	1,34	1,44	1,53	1,65	1,75	1,82	1,93	2,08
500	1,14	1,44	1,55	1,65	1,82	1,96	2,08	2,29	2,47	2,62	2,82	3,00	3,11	3,30	3,56
1 000	1,44	1,82	1,96	2,08	2,29	2,47	2,62	2,88	3,11	3,30	3,56	3,78	3,91	4,16	4,48
1 250	1,55	1,96	2,11	2,24	2,47	2,66	2,82	3,11	3,35	3,56	3,83	4,07	4,22	4,48	4,83
1 600	1,69	2,13	2,29	2,43	2,68	2,88	3,07	3,37	3,63	3,86	4,16	4,42	4,58	4,87	5,24
2 000	1,82	2,29	2,47	2,62	2,88	3,11	3,30	3,63	3,91	4,16	4,48	4,76	4,93	5,24	5,65
2 500	1,96	2,47	2,66	2,82	3,11	3,35	3,56	3,91	4,22	4,48	4,83	5,13	5,31	5,65	6,08
3 200	2,13	2,68	2,88	3,07	3,37	3,63	3,86	4,25	4,58	4,87	5,24	5,57	5,77	6,13	6,60
4 000	2,29	2,88	3,11	3,30	3,63	3,91	4,16	4,58	4,93	5,24	5,65	6,00	6,21	6,60	7,11
5 000	2,47	3,11	3,35	3,56	3,91	4,22	4,48	4,93	5,31	5,65	6,08	6,46	6,69	7,11	7,66
6 300	2,66	3,36	3,62	3,84	4,23	4,55	4,84	5,33	5,74	6,10	6,57	6,98	7,23	7,68	8,28
8 000	2,88	3,63	3,91	4,16	4,58	4,93	5,24	5,77	6,21	6,60	7,11	7,56	7,83	8,32	8,96
10 000	3,11	3,91	4,22	4,48	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,11	7,66	8,14	8,43	8,96	9,65
12 500	3,35	4,22	4,54	4,83	5,31	5,72	6,08	6,69	7,21	7,66	8,25	8,77	9,09	9,65	10,4
16 000	3,63	4,58	4,93	5,24	5,77	6,21	6,60	7,27	7,83	8,32	8,96	9,52	9,86	10,5	11,3
20 000	3,91	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	8,96	9,65	10,3	10,6	11,3	12,2
25 000	4,22	5,31	5,72	6,08	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	9,65	10,4	11,1	11,4	12,2	13,1
32 000	4,58	5,77	6,21	6,60	7,27	7,83	8,32	9,16	9,86	10,5	11,3	12,0	12,4	13,2	14,2
40 000	4,93	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	11,3	12,2	12,9	13,4	14,2	15,3
50 000	5,31	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	12,2	13,1	13,9	14,4	15,3	16,5
63 000	5,74	7,23	7,79	8,28	9,11	9,81	10,4	11,5	12,4	13,1	14,2	15,0	15,6	16,6	17,8
80 000	6,21	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	11,3	12,4	13,4	14,2	15,3	16,3	16,9	17,9	19,3
100 000	6,69	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	15,3	16,5	17,5	18,2	19,3	20,8
200 000	8,43	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	15,3	16,9	18,2	19,3	20,8	22,1	22,9	24,3	26,2

L _{10h}	C/P για n =														
	1800	2000	2500	3000	3600	4000	5000	6000	8000	10000	12000	15000	20000	30000	40000
100	2,21	2,29	2,47	2,62	2,78	2,88	3,11	3,30	3,63	3,91	4,16	4,48	4,93	5,65	6,21
500	3,78	3,91	4,22	4,48	4,76	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,11	7,66	8,43	9,65	10,6
1 000	4,76	4,93	5,31	5,65	6,00	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	8,96	9,65	10,6	12,2	13,4
1 250	5,13	5,31	5,72	6,08	6,46	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	9,65	10,4	11,4	13,1	14,4
1 600	5,57	5,77	6,21	6,60	7,02	7,27	7,83	8,32	9,16	9,86	10,5	11,3	12,4	14,2	15,7
2 000	6,00	6,21	6,69	7,11	7,56	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	11,3	12,2	13,4	15,3	16,9
2 500	6,46	6,69	7,21	7,66	8,14	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	12,2	13,1	14,4	16,5	18,2
3 200	7,02	7,27	7,83	8,32	8,84	9,16	9,86	10,5	11,5	12,4	13,2	14,2	15,7	17,9	19,7
4 000	7,56	7,83	8,43	8,96	9,52	9,86	10,6	11,3	12,4	13,4	14,2	15,3	16,9	19,3	21,3
5 000	8,14	8,43	9,09	9,65	10,3	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	15,3	16,5	18,2	20,8	22,9
6 300	8,80	9,11	9,81	10,4	11,1	11,5	12,4	13,1	14,5	15,6	16,6	17,8	19,6	22,5	24,7
8 000	9,52	9,86	10,6	11,3	12,0	12,4	13,4	14,2	15,7	16,9	17,9	19,3	21,3	24,3	26,8
10 000	10,3	10,6	11,4	12,2	12,9	13,4	14,4	15,3	16,9	18,2	19,3	20,8	22,9	26,2	28,8
12 500	11,1	11,4	12,3	13,1	13,9	14,4	15,5	16,5	18,2	19,6	20,8	22,4	24,7	28,2	31,1
16 000	12,0	12,4	13,4	14,2	15,1	15,7	16,9	17,9	19,7	21,3	22,6	24,3	26,8	30,7	33,7
20 000	12,9	13,4	14,4	15,3	16,3	16,9	18,2	19,3	21,3	22,9	24,3	26,2	28,8	33,0	36,3
25 000	13,9	14,4	15,5	16,5	17,5	18,2	19,6	20,8	22,9	24,7	26,2	28,2	31,1	35,6	39,1
32 000	15,1	15,7	16,9	17,9	19,0	19,7	21,3	22,6	24,9	26,8	28,5	30,7	33,7	38,6	42,5
40 000	16,3	16,9	18,2	19,3	20,5	21,3	22,9	24,3	26,8	28,8	30,7	33,0	36,3	41,6	45,8
50 000	17,5	18,2	19,6	20,8	22,1	22,9	24,7	26,1	28,8	31,1	33,0	35,6	39,1	44,8	49,3
63 000	18,9	19,6	21,1	22,5	23,9	24,7	26,6	28,3	31,2	33,6	35,7	38,4	42,3	48,4	53,3
80 000	20,5	21,3	22,9	24,3	25,9	26,8	28,8	30,7	33,7	36,3	38,6	41,6	45,8	52,4	57,7
100 000	22,1	22,9	24,7	26,2	27,8	28,8	31,1	33,0	36,3	39,1	41,6	44,8	49,3	56,5	62,1
200 000	27,8	28,8	31,1	33,0	35,1	36,3	39,1	41,6	45,8	49,3	52,4	56,5	62,1	71,1	78,3

Πίνακας 11-3. Σφαιρικά έδρανα. Λόγος φόρτισης C/P συναρτήσει των στροφών n (RPM) και της διάρκειας ζωής L_{10h} (ώρες). [13]

L _{10h}	C/P για n =														
	50	100	125	150	200	250	300	400	500	600	750	900	1000	1200	1500
100	0,70	0,86	0,92	0,97	1,06	1,13	1,19	1,30	1,39	1,47	1,57	1,66	1,71	1,81	1,93
500	1,13	1,39	1,49	1,57	1,71	1,83	1,93	2,11	2,25	2,38	2,54	2,69	2,77	2,93	3,13
1 000	1,39	1,71	1,83	1,93	2,11	2,25	2,38	2,59	2,77	2,93	3,13	3,31	3,42	3,61	3,86
1 250	1,49	1,83	1,96	2,07	2,25	2,41	2,54	2,77	2,97	3,13	3,35	3,54	3,65	3,86	4,12
1 600	1,60	1,97	2,11	2,23	2,43	2,59	2,74	2,99	3,19	3,37	3,61	3,81	3,93	4,15	4,44
2 000	1,71	2,11	2,25	2,38	2,59	2,77	2,93	3,19	3,42	3,61	3,86	4,07	4,20	4,44	4,75
2 500	1,83	2,25	2,41	2,54	2,77	2,97	3,13	3,42	3,65	3,86	4,12	4,36	4,50	4,75	5,08
3 200	1,97	2,43	2,59	2,74	2,99	3,19	3,37	3,68	3,93	4,15	4,44	4,69	4,84	5,11	5,47
4 000	2,11	2,59	2,77	2,93	3,19	3,42	3,61	3,93	4,20	4,44	4,75	5,02	5,18	5,47	5,85
5 000	2,25	2,77	2,97	3,13	3,42	3,65	3,86	4,20	4,50	4,75	5,08	5,36	5,54	5,85	6,25
6 300	2,42	2,97	3,18	3,36	3,66	3,91	4,13	4,51	4,82	5,09	5,44	5,75	5,93	6,27	6,70
8 000	2,59	3,19	3,42	3,61	3,93	4,20	4,44	4,84	5,18	5,47	5,85	6,18	6,37	6,73	7,20
10 000	2,77	3,42	3,65	3,86	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	5,85	6,25	6,60	6,81	7,20	7,70
12 500	2,97	3,65	3,90	4,12	4,50	4,81	5,08	5,54	5,92	6,25	6,68	7,06	7,29	7,70	8,23
16 000	3,19	3,93	4,20	4,44	4,84	5,18	5,47	5,96	6,37	6,73	7,20	7,60	7,85	8,29	8,86
20 000	3,42	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,20	7,70	8,13	8,39	8,86	9,48
25 000	3,65	4,50	4,81	5,08	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	7,70	8,23	8,69	8,97	9,48	10,1
32 000	3,93	4,84	5,18	5,47	5,96	6,37	6,73	7,34	7,85	8,29	8,86	9,36	9,66	10,2	10,9
40 000	4,20	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	8,86	9,48	10,0	10,3	10,9	11,7
50 000	4,50	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	9,48	10,1	10,7	11,0	11,7	12,5
63 000	4,82	5,93	6,34	6,70	7,30	7,81	8,25	8,99	9,61	10,2	10,9	11,5	11,8	12,5	13,4
80 000	5,18	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	8,86	9,66	10,3	10,9	11,7	12,3	12,7	13,4	14,4
100 000	5,54	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	11,7	12,5	13,2	13,6	14,4	15,4
200 000	6,81	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	14,4	15,4	16,2	16,7	17,7	18,9
L _{10h}	C/P για n =														
	1800	2000	2500	3000	3600	4000	5000	6000	8000	10000	12000	15000	20000	30000	40000
100	2,04	2,11	2,25	2,38	2,51	2,59	2,77	2,93	3,19	3,42	3,61	3,86	4,20	4,75	5,18
500	3,31	3,42	3,65	3,86	4,07	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	5,85	6,25	6,81	7,70	8,39
1 000	4,07	4,20	4,50	4,75	5,02	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,20	7,70	8,39	9,48	10,3
1 250	4,36	4,50	4,81	5,08	5,36	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	7,70	8,23	8,97	10,1	11,0
1 600	4,69	4,84	5,18	5,47	5,78	5,96	6,37	6,73	7,34	7,85	8,29	8,86	9,66	10,9	11,9
2 000	5,02	5,18	5,54	5,85	6,18	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	8,86	9,48	10,3	11,7	12,7
2 500	5,36	5,54	5,92	6,25	6,60	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	9,48	10,1	11,0	12,5	13,6
3 200	5,78	5,96	6,37	6,73	7,11	7,34	7,85	8,29	9,03	9,66	10,2	10,9	11,9	13,4	14,6
4 000	6,18	6,37	6,81	7,20	7,60	7,85	8,39	8,86	9,66	10,3	10,9	11,7	12,7	14,4	15,7
5 000	6,60	6,81	7,29	7,70	8,13	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	11,7	12,5	13,6	15,4	16,7
6 300	7,08	7,30	7,81	8,25	8,71	8,99	9,61	10,2	11,1	11,8	12,5	13,4	14,6	16,5	17,9
8 000	7,60	7,85	8,39	8,86	9,36	9,66	10,3	10,9	11,9	12,7	13,4	14,4	15,7	17,7	19,3
10 000	8,13	8,39	8,97	9,48	10,0	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	14,4	15,4	16,7	18,9	20,6
12 500	8,69	8,97	9,59	10,1	10,7	11,0	11,8	12,5	13,6	14,5	15,4	16,4	17,9	20,2	22,0
16 000	9,36	9,66	10,3	10,9	11,5	11,9	12,7	13,4	14,6	15,7	16,5	17,7	19,3	21,8	23,7
20 000	10,0	10,3	11,0	11,7	12,3	12,7	13,6	14,4	15,7	16,7	17,7	18,9	20,6	23,3	25,4
25 000	10,7	11,0	11,8	12,5	13,2	13,6	14,5	15,4	16,7	17,9	18,9	20,2	22,0	24,9	27,1
32 000	11,5	11,9	12,7	13,4	14,2	14,6	15,7	16,5	18,0	19,3	20,4	21,8	23,7	26,8	29,2
40 000	12,3	12,7	13,6	14,4	15,2	15,7	16,7	17,7	19,3	20,6	21,8	23,3	25,4	28,7	31,2
50 000	13,2	13,6	14,5	15,4	16,2	16,7	17,9	18,9	20,6	22,0	23,3	24,9	27,1	30,6	33,4
63 000	14,1	14,6	15,6	16,5	17,4	17,9	19,2	20,3	22,1	23,6	24,9	26,7	29,1	32,8	35,8
80 000	15,2	15,7	16,7	17,7	18,7	19,3	20,6	21,8	23,7	25,4	26,8	28,7	31,2	35,3	38,5
100 000	16,2	16,7	17,9	18,9	20,0	20,6	22,0	23,3	25,4	27,1	28,7	30,6	33,4	37,7	41,1
200 000	20,0	20,6	22,0	23,3	24,6	25,4	27,1	28,7	31,2	33,4	35,3	37,7	41,1	46,4	50,6

Πίνακας 11-4. Κυλινδρικά έδρανα. Λόγος φόρτισης C/P συναρτήσει των στροφών n (RPM) και της διάρκειας ζωής L_{10h} (ώρες). [13]

11.7.5. Στατική φόρτιση των εδράνων

Όταν τα έδρανα είναι φορτισμένα και ακινητούν ή όταν περιστρέφονται με πολύ λίγες στροφές ($n \leq 10$) όπως π.χ. έδρανα σε άγγιστρα γερανών, περιστρεφόμενες γέφυρες, κολώνες γερανών τοίχου, ράουλα συρόμενων θυρών κλπ. θεωρούμε ότι υφίσταται στατική φόρτιση των εδράνων.

Για στατική φόρτιση το ισοδύναμο στατικό φορτίο P_o για όλα τα έδρανα, εκτός από τα αξονικά με βαρελίσκους είναι

$$P_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} \quad \text{σε N ή kN} \quad (11.9)$$

F_{ro} στατικό ακτινικό φορτίο σε N ή kN

F_{ao} στατικό αξονικό φορτίο σε N ή kN

X_o ακτινικός στατικός συντελεστής (από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν)

Y_o αξονικός στατικός συντελεστής (από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν)

Για έδρανα που φορτίζονται μόνο ακτινικά δηλαδή $F_{ao} = 0$ είναι $P_o = F_{ro}$

Για έδρανα που φορτίζονται μόνο αξονικά δηλαδή $F_{ro} = 0$ είναι $P_o = F_{ao}$

Για αξονικούς τριβείς με βαρελίσκους που φορτίζονται ακτινικά και αξονικά, το ισοδύναμο φορτίο είναι

$$P_o = F_{ao} + 2,7 \cdot F_{ro} \quad \text{σε N ή kN} \quad (11.10)$$

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να είναι $F_{ro} \leq 0,55 \cdot F_{ao}$

Λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή ασφάλειας που εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, το απαιτούμενο στατικό φορτίο C_o θα είναι:

$$C_o = P_o \cdot f_s \quad \text{σε N ή kN} \quad (11.11)$$

C_o στατικό φορτίο σε N ή kN από πίνακες ρουλμάν

P_o ισοδύναμο στατικό φορτίο σε N ή kN

f_s συντελεστής ασφάλειας. Γενικά λαμβάνεται

$f_s = 0,5 \dots 1,0$ για ήσυχη λειτουργία χωρίς κραδασμούς

$f_s = 1,0 \dots 1,5$ για κανονική λειτουργία

$f_s = 1,5 \dots 2,5$ για λειτουργία με κρούσεις και κραδασμούς και υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας

$f_s \geq 4$ για αξονικούς τριβείς με βαρελίσκους
αν $f_s > 8$ οι τριβείς έχουν απεριορίστη διάρκεια λειτουργίας

Από τους καταλόγους των ρουλμάν εκλέγεται κατόπιν ένα κατάλληλο έδρανο που να ανταποκρίνεται στο στατικό φορτίο C_0 .

11.7.6. Πίνακες ρουλμάν

Οι πίνακες 11-5 έως 11-13 δίνουν διαστάσεις και φορτία για διάφορα είδη εδράνων κύλισης (στοιχεία από καταλόγους FAG και SKF).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ι. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Κ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧ. Ι, ΑΘΗΝΑ 2003.
- 2) Γ. ΚΟΥΣΛΗΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΙ ΚΟΖΑΝΗ 2000.
- 3) Ι. ΒΕΛΑΩΡΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧ. 8ηΕΚΔΟΣΗ, 1995.
- 4) Α. ΔΗΜΑΡΟΓΚΩΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧ, 1979.
- 5) Ι. ΑΥΓΕΡΙΝΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧ. ΤΟΜΟΣ 1
- 6) Π. ΒΟΥΘΟΥΝΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ 1993.