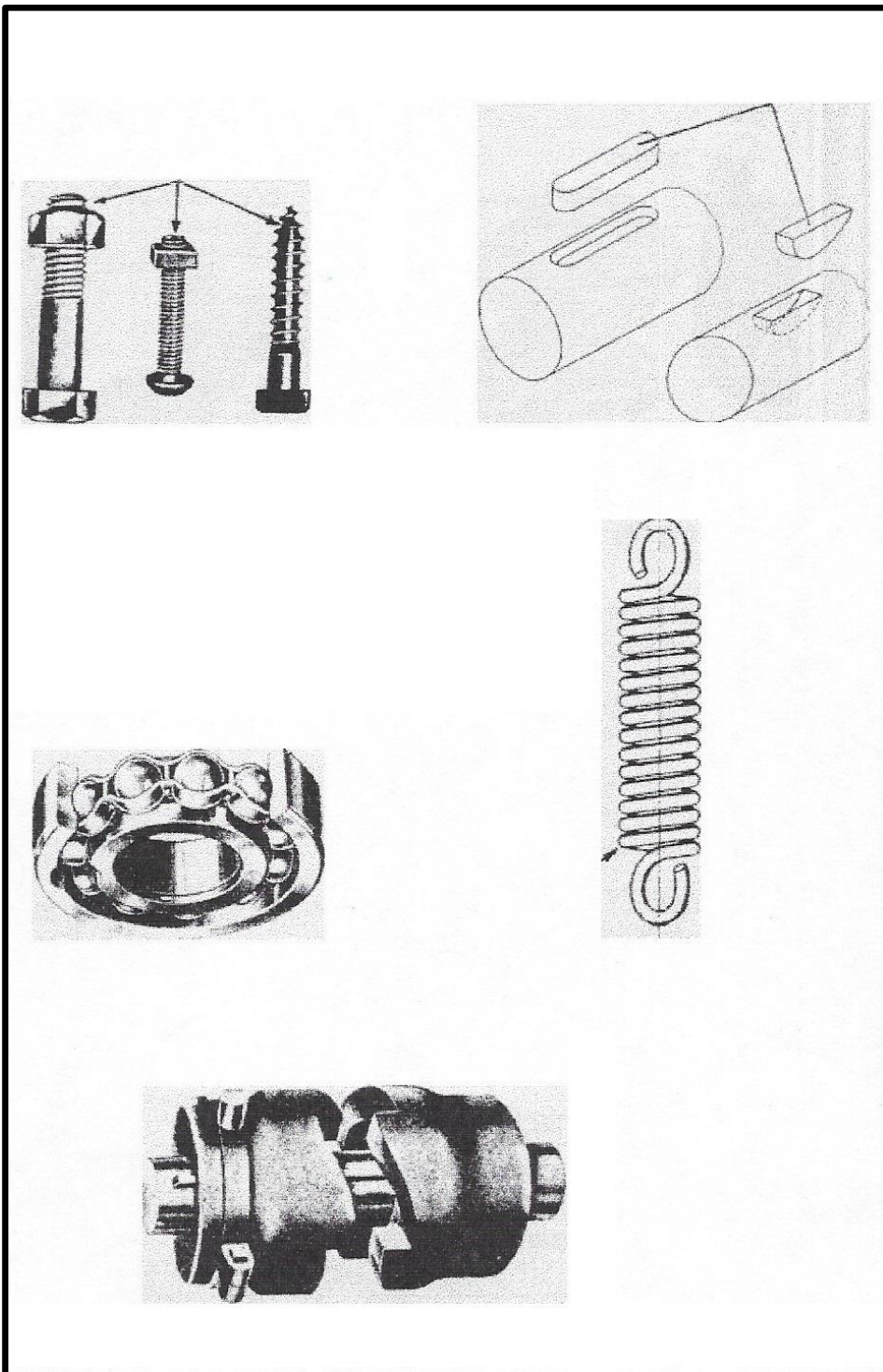


ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι



Δρ. Στέργιος Μαρόπουλος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ.....	1
2. ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ - ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ.....	1
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.....ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ 2.....ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΡΟΥΛΜΑΝ

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 με τη μορφή συγκροτημάτων που αποτελούνται από επί μέρους στοιχεία τα οποία όμως διαμορφώνουν λειτουργικά ένα ενιαίο σύνολο όπως ενέδρα, συμπλέκτες, βαλβίδες κλπ.

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

Επιπλέον 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.

2. ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ - ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

Γενικά

Η βιομηχανική εν σειρά παραγωγή απαιτεί την κατασκευή τεμαχίων τα οποία κατά την συναρμολόγηση να ταιριάζουν λειτουργικά μεταξύ τους χωρίς να έχουν υποστεί ιδιαίτερη επεξεργασία εφαρμογής.

ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Γενικά

ΦΟΡΕΑΣ

Φορέας είναι κάθε στερεό σώμα το οποίο δέχεται εξωτερικές δυνάμεις. Ένας Φορέας μπορεί να φέρεται από έναν άλλο φορέα και να λειτουργεί ως εξωτερική φόρτιση στον άλλο θα λέγαμε ότι όλα τα στερεά στη γη φέρονται και φέρουν και όταν μεν φέρουν λέγονται φορείς ενώ όταν φέρονται λέγονται εξωτερικές δυνάμεις.

ΦΟΡΤΙΣΗ

Φόρτιση ενός σώματος έχουμε όταν εφαρμόζονται εξωτερικές δυνάμεις.

Οποιαδήποτε παραμόρφωση ενός σώματος που προέρχεται από εξωτερικά φορτία προκαλεί εσωτερικές αντιδράσεις ή δυνάμεις μέσα στο υλικό. Οι εσωτερικές αυτές δυνάμεις ονομάζονται **τάσεις**.

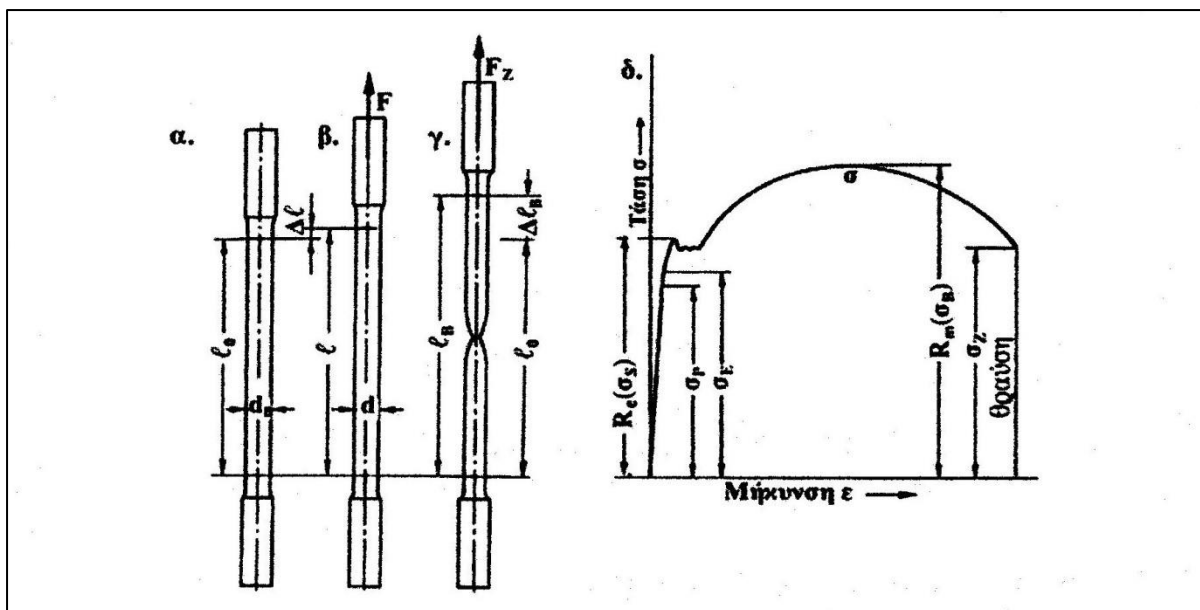
Οι τάσεις είναι δυνατόν να είναι κάθετες ως προς τη διατομή οπότε έχουμε τάσεις εφελκυσμού, θλίψης ή κάμψης. Αν είναι εφαπτομενικές, τότε έχουμε τάσεις διάτμησης ή στρέψης.

Με τους κανόνες της αντοχής των υλικών υπολογίζεται από το δεδομένο ονομαστικό φορτίο/ονομαστική τάση στην επικίνδυνη διατομή και συγκρίνεται με την "επιτρεπόμενη τάση" ή αντίστροφα υπολογίζονται από το ονομαστικό φορτίο και την επιτρεπόμενη τάση οι απαιτούμενες διαστάσεις στην επικίνδυνη διατομή.

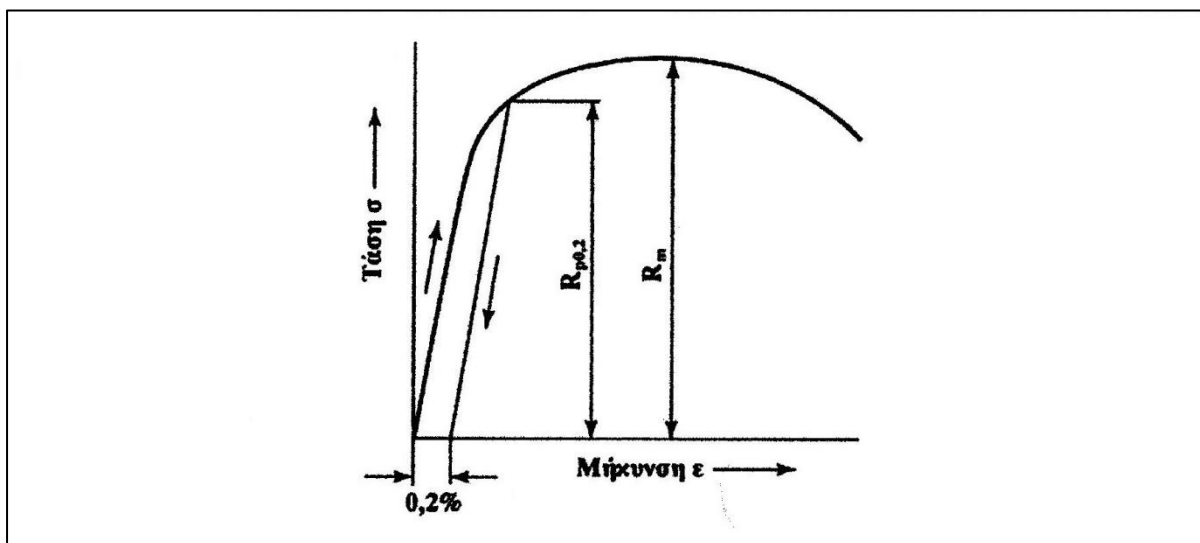
Πείραμα εφελκυσμού

Το δοκίμιο φορτίζεται με αυξανόμενη εφελκυστική δύναμη F που μετράται συνεχώς όπως και η αντίστοιχη επιμήκυνση.

- σ_p** όριο αναλογίας (σχήμα 3-1α). Είναι η μέγιστη τάση μέχρι την οποία «τάση και μήκυνση είναι ποσά ανάλογα», (Νόμος του Hooke) δηλαδή το μέτρο ελαστικότητας $E = \sigma/\epsilon$ (βλέπε σχέση 3.3) είναι ακόμη σταθερό.
- σ_E** όριο ελαστικότητας. Είναι η μέγιστη τάση που δεν προκαλεί ακόμη καμία πλαστική μήκυνση.
- R_e** όριο διαρροής (παλαιότερα σ_s ή σ_F). Είναι η τάση στην οποία εμφανίζεται η σημαντική διαρροή ή μήκυνση του υλικού, όταν το όριο διαρροής δεν έχει ή δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς λαμβάνεται συμβατικά το 0,2% του ορίου μήκυνσης $R_{p0,2}$ παλαιότερα $\sigma_{0,2}$), δηλαδή η τάση στην οποία επιτυγχάνεται μια μήκυνση του δοκιμίου 0,2%(σχήμα 3-1β).
- R_m** όριο θραύσης (παλαιότερα σ_B). Είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να επιτευχθεί και ονομάζεται «αντοχή εφελκυσμού». Η θραύση του δοκιμίου πραγματοποιείται στο σημείο Z.



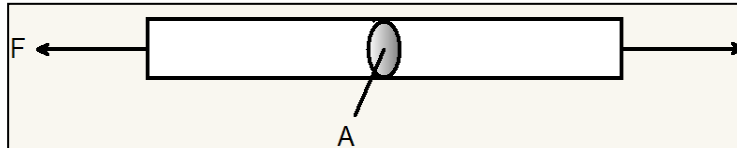
Σχήμα 3-1α. Πείραμα εφελκυσμού σε μαλακό χάλυβα. α. Δοκίμιο αφόρτιστο. β. Δοκίμιο που έχει φορτισθεί σε δύναμη F και επιμηκυνθεί κατά Δl , γ. Δοκίμιο κατά θραύση, δ. Διάγραμμα τάσης – μήκυνσης.



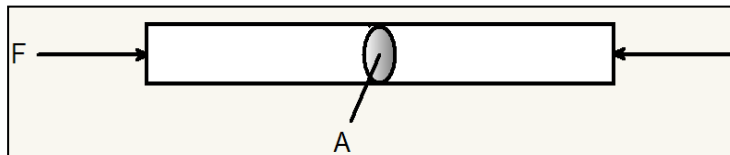
Σχήμα 3-1β. Διάγραμμα τάσης – μήκυνσης συνεκτικών υλικών χωρίς σαφή προσδιορισμό του ορίου διαρροής.

ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

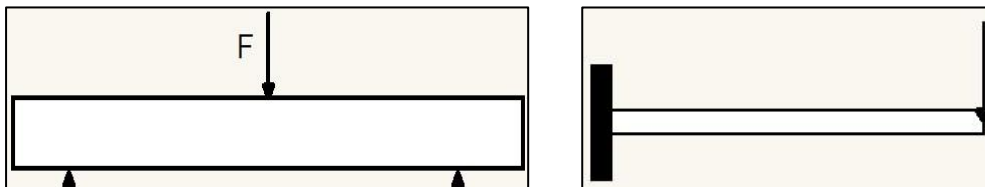
1. Εφελκυσμός $\sigma = F/A \text{ (N/mm}^2\text{)}$
A: διατομή



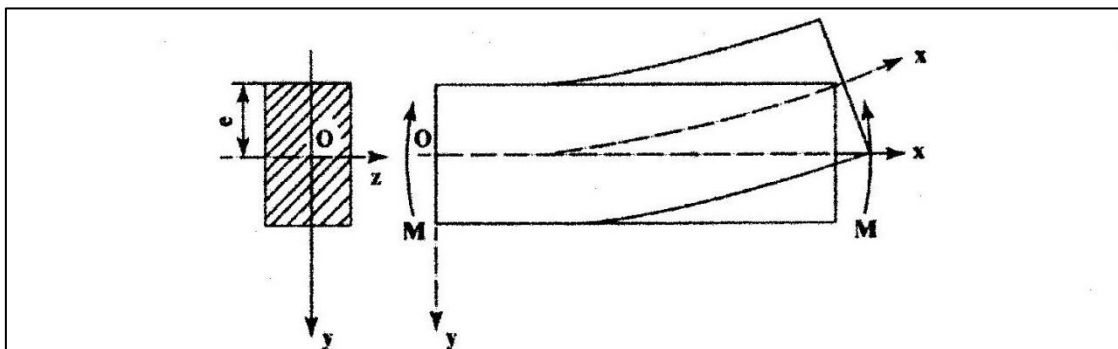
2. Θλίψη $\sigma = F/A \text{ (N/mm}^2\text{)}$
A: διατομή



3. Κάμψη



Καθαρή κάμψη προκαλείται από ένα ζεύγος δυνάμεων. Στο σχήμα 3-3 το ζεύγος προκαλεί εφελκυστική τάση στην κάτω πλευρά της δοκού που κάμπτεται και θλιπτική τάση στην άνω πλευρά. Στη μέση της δοκού υπάρχει ο ουδέτερος άξονας που παραμένει αμετάβλητος.



Σχήμα 3-3. Καταπόνηση σε κάμψη.

Η τάση κάμψης σ_b δίνεται από τη σχέση

$$\sigma_b = \frac{M}{W} = \frac{M}{I/e} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (3.6)$$

M μέγιστη ροπή κάμψης σε Nmm

W αξονική ροπή αντίστασης σε κάμψη σε mm^3

I αξονική επιφανειακή ροπή 2^{ου} βαθμού σε mm^4 (παλαιότερα: επιφανειακή ροπή αδράνειας)

e απόσταση του ουδέτερου άξονα από την εξωτερική ίνα σε mm

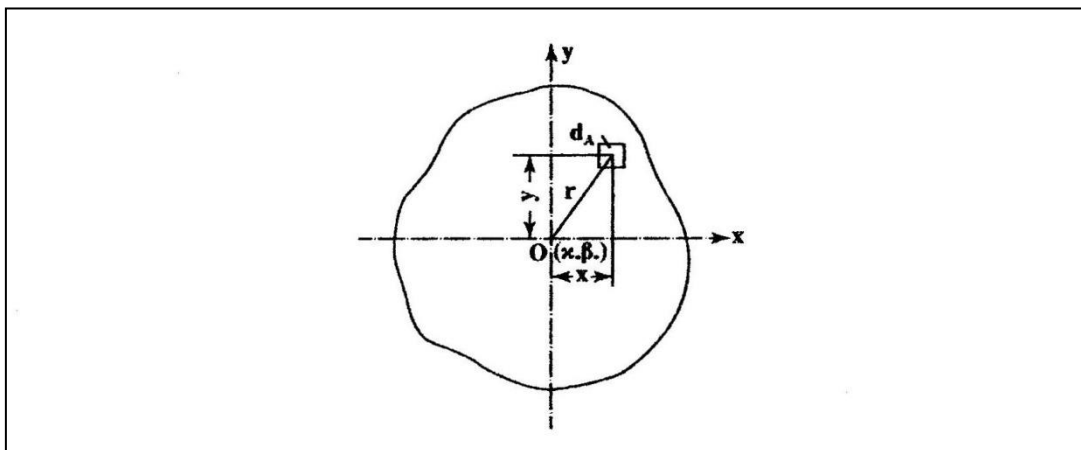
Γενικά, ισχύει για την αξονική $I_{x,y}$ και πολική I_p επιφανειακή ροπή 2^{ου} βαθμού (παλαιότερα: πολική ροπή αδράνειας) καθώς και για την αξονική $W_{x,y}$ και πολική W_p ροπή αντίστασης (σχήμα 3-4)

$$I_x = \int y^2 \cdot dA \quad I_y = \int x^2 \cdot dA \quad (3.7)$$

$$I_p = \int r^2 \cdot dA \quad (3.8)$$

$$W_x = \frac{I_x}{e} \quad W_y = \frac{I_y}{e} \quad (3.9)$$

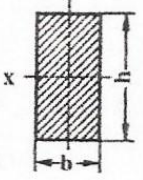
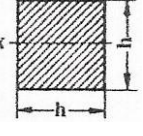
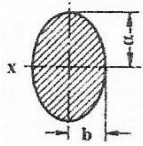
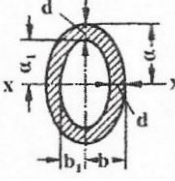
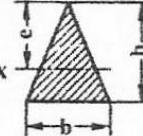
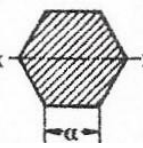
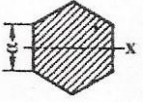
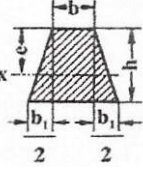
$$W_p = \frac{I_p}{e} \quad (3.10)$$



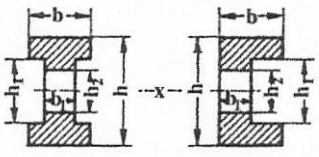
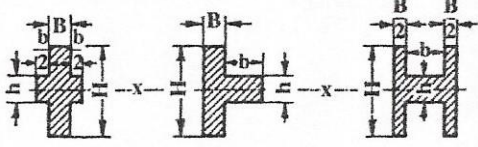
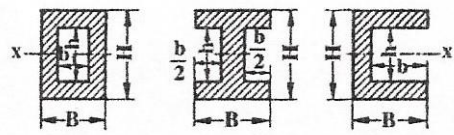
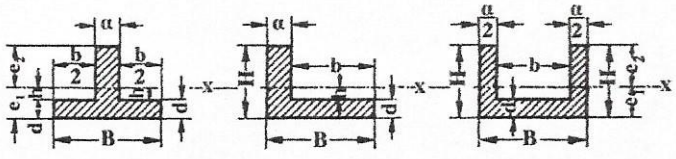
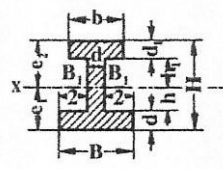
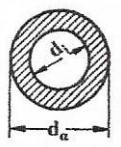
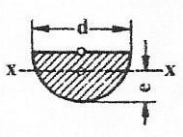
Σχήμα 3-4. Τυχαία επίπεδη επιφάνεια.

Η αξονική και πολική επιφανειακή ροπή χρησιμεύουν για τον υπολογισμό των ροπών αντίστασης για καμπτική και στρεπτική (κυκλικής διατομής) καταπόνηση αντίστοιχα.

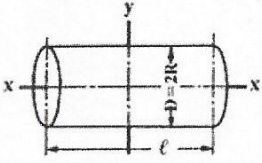
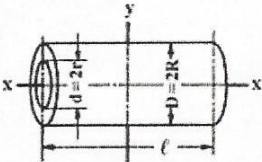
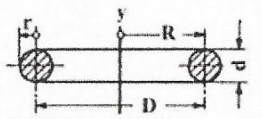
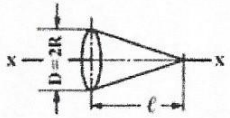
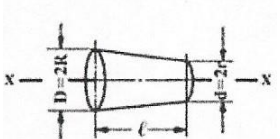
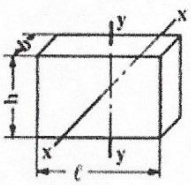
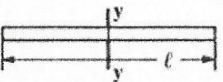
Ο πίνακας 3-2 δίνει αξονικές επιφανειακές ροπές 2^{ου} βαθμού και ροπές αντίστασης για διατομές που χρησιμοποιούνται συχνά. Ο πίνακας 3-3 δίνει μαζικές ροπές 2^{ου} βαθμού.

Διατομές	Αξονική επιφανειακή ροπή 2 ^{ου} βαθμού	Ροπή αντίστασης
	$I_x = \frac{b h^3}{12}$ $I_y = \frac{h b^3}{12}$	$W_b = \frac{b h^2}{6}$ $W_b = \frac{h b^2}{6}$
	$I_x = \frac{h^4}{12}$	$W_b = \frac{h^3}{6}$
	$I_x = \frac{\pi \alpha^2 b}{4}$	$W_b = \frac{\pi \alpha^2 b}{4}$
	$I_x = \frac{\pi}{4} (\alpha^3 b - \alpha_1^3 b_1)$ $\approx \frac{\pi}{4} \alpha^2 (\alpha + 3b) d$	$W_b \approx \frac{\pi}{4} \alpha (\alpha + 3b) d$
	$I_x = \frac{b h^3}{36}$	$W_b = \frac{b h^2}{24}$ για $e = \frac{2}{3} h$
	$I_x = \frac{5 \sqrt{3}}{16} \alpha^4 = 0,5413 \alpha^4$	$W_b = \frac{5}{8} \alpha^3$
		$W_b = 0,5413 \alpha^3$
	$I_x = \frac{6 b^2 + 6 b b_1 + b_1^2}{36 (2 b + b_1)} h^3$	$W_b = \frac{6 b^2 + 6 b b_1 + b_1^2}{13 (2 b + b_1)} h^2$ για $e = \frac{1}{3} \frac{3 b + 2 b_1}{2 b + b_1} h$

Πίνακας 3-2. Αξονικές επιφανειακές ροπές 2^{ου} βαθμού και ροπές αντίστασης διαφόρων διατομών.

Διατομή	Αξονική επιφανειακή ροπή 2 ^{ου} βαθμού	Ροπή αντίστασης
	$I_x = \frac{b (h^3 - h_1^3) + b_1 (h_1^3 - h_2^3)}{12}$ $W_b = \frac{b (h^3 - h_1^3) + b_1 (h_1^3 - h_2^3)}{6h}$	
		$I_x = \frac{B H^3 + b h^3}{12}$ $W_b = \frac{B H^3 + b h^3}{6 H}$
	$I_x = \frac{B H^3 - b h^3}{12}$	$W_b = \frac{B H^3 - b h^3}{6 H}$
		$I_x = \frac{1}{3} (B e_1^3 - b h^3 + \alpha e_2^3)$ $e_1 = \frac{1}{2} \frac{\alpha H^2 + b d^2}{\alpha H + b d}$ $e_2 = H - e_1$
	$I_x = \frac{1}{3} (B e_1^3 - B_1 h^3 + b e_2^3 - b_1 h_1^3)$ $e_1 = \frac{1}{2} \frac{\alpha H^2 + B_1 d^2 + b_1 d_1 (2H - d_1)}{\alpha H + B_1 d + b_1 d_1}$	
	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$W_b = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1 d^3$
	$I = \frac{\pi}{64} (d_a^4 - d_i^4)$	$W_b = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$
	$I_x = 0,00686 d^4$	$W_b = 0,0238 d^3$ $e = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{4}{3\pi} \right)$

Πίνακας 3-2. (συνέχεια) Αξονικές επιφανειακές ροπές 2^{ου} βαθμού και ροπές αντίστασης διαφόρων διατομών.

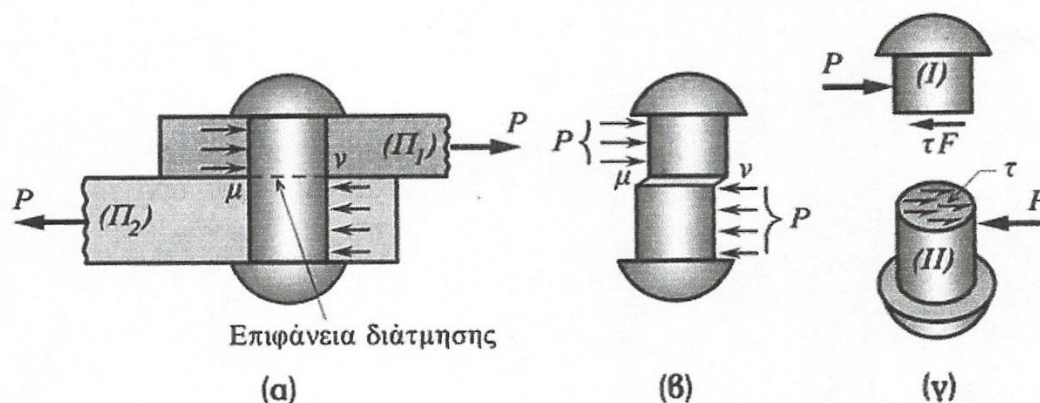
Κύλινδρος		$J_x = \frac{1}{2} m \cdot R^2 = \frac{1}{8} m \cdot D^2$ $J_y = \frac{1}{4} m (R^2 + \frac{1}{3} \ell^2) = \frac{1}{16} m (D^2 + \frac{4}{3} \ell^2)$ $m = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \ell = \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \ell$
Κοίλος κύλινδρος		$J_x = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2) = \frac{1}{8} m (D^2 + d^2)$ $J_y = \frac{1}{4} m (R^2 + r^2 + \frac{1}{3} \ell^2) = \frac{1}{16} m (D^2 + d^2 + \frac{4}{3} \ell^2)$ $m = \rho \cdot \pi (R^2 - r^2) \ell = \rho \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - \frac{3}{4} d^2)$
Δακτύλιος		$J_y = m (R^2 + \frac{3}{4} r^2) = \frac{1}{4} m (D^2 + \frac{3}{4} d^2)$ $m = \rho \cdot \pi^2 \cdot 2R \cdot r^2 = \rho \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot D \cdot d^2$
Σφαίρα		$J_x = J_y = \frac{2}{5} m \cdot R^2 = \frac{1}{10} m \cdot D^2$ $m = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 = \rho \cdot \frac{\pi}{6} D^3$
Κώνος		$J_x = \frac{3}{10} m \cdot R^2 = \frac{3}{40} m \cdot D^2$ $m = \rho \cdot \frac{\pi}{3} \cdot R^2 \cdot \ell = \rho \cdot \frac{\pi}{12} \cdot D^2 \cdot \ell$
Κόλινδρος κώνος		$J_x = \frac{3}{10} m \frac{R^5 - r^5}{R^5 - r^3} = \frac{3}{40} m \frac{D^5 - d^5}{D^5 - d^3}$ $m = \rho \cdot \frac{\pi}{3} (R^2 + R \cdot r + r^2) \ell = \rho \cdot \frac{\pi}{12} (D^2 + D \cdot d + d^2) \ell$
Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο		$J_x = \frac{1}{12} m (h^2 + \ell^2)$ $J_y = \frac{1}{12} m (b^2 + \ell^2)$ $m = \rho \cdot b \cdot h \cdot \ell$
Λεπτή μακρά ράβδος		$J_y = \frac{1}{12} m \cdot \ell^2$ $m = \rho \cdot A \cdot \ell$ $A = \text{Επιφάνεια διατομής}$

Πίνακας 3-3. Μαζικές ροπές αδράνειας (μαζικές ροπές 2^{ου} βαθμού) απλών, ομογενών σωμάτων.

4. Διάτμηση

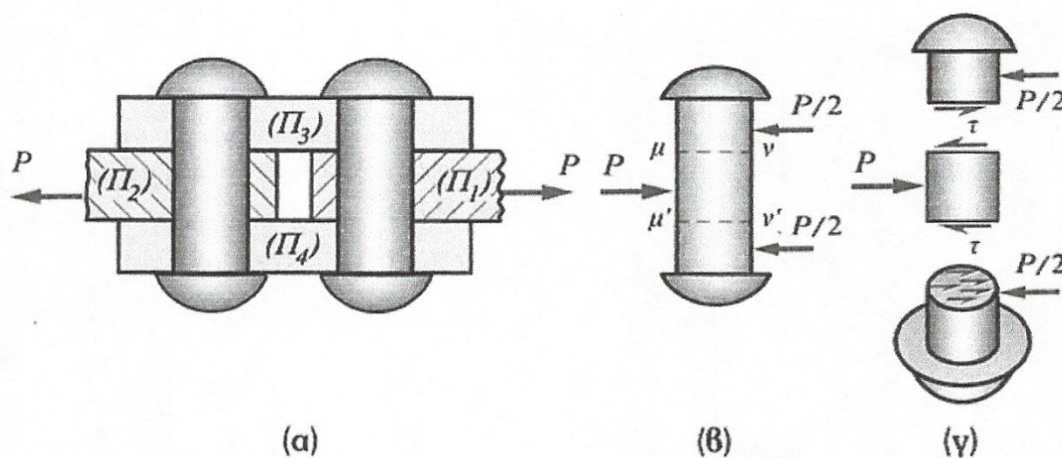
Συνήθως υποτίθεται ότι οι διατμητικές τάσεις είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες πάνω στην τομή, οπότε ισχύει

$$\tau = \frac{T}{A} \text{ σε N/mm}^2 \quad (3.15)$$



Δυνάμεις και αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις σε **μονότμητο ήλο**

Σχ.5.7.

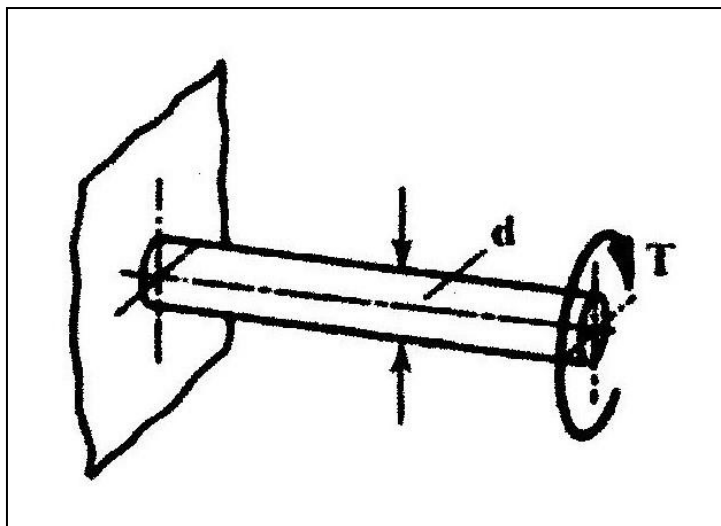


Ένωση ελασμάτων με αρμοκαλύπτρες. Διατμητικές τάσεις σε **δίτμητο ήλο**

Σχ.5.8.

5. Στρέψη

Η πακτωμένη κυλινδρική ράβδος (σχήμα 3-10) καταπονείται από μία ροπή στρέψης T , οπότε ισχύει



$$\tau_t = \frac{T}{W_p} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (3.19)$$

τ_t τάση στρέψης σε N/mm^2
 T ροπή στρέψης σε Nmm
 W_p (ή W_t) πολική ροπή αντίστασης (ή ροπή αντίστασης σε στρέψη) σε mm^3 από
 σχέση (3.10) με $I_p = I_x + I_y = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^4}{64}$ (πίνακας 3-2) και $e = \frac{d}{2}$
 $W_p = \frac{I_p}{e} = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^4}{64 \cdot d/2} = \frac{\pi}{16} d^3 \approx 0,2 d^3$
 d διάμετρος της ράβδου σε mm

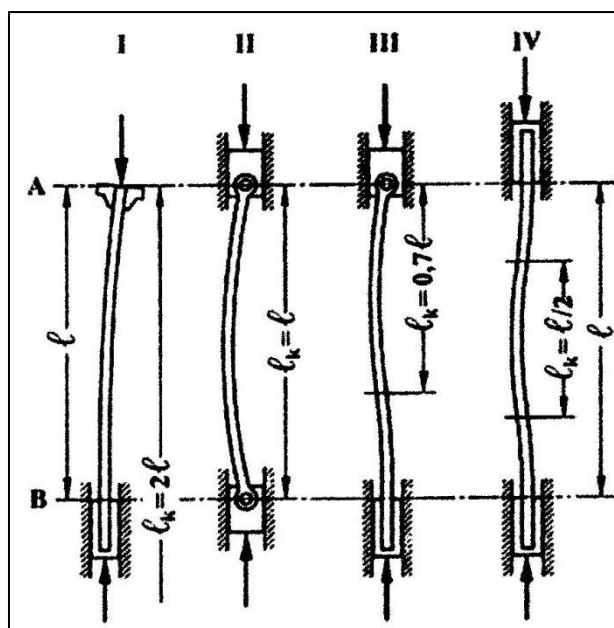
6. Λυγισμός

Όταν το μήκος μιας ράβδου που φορτίζεται σε θλίψη είναι μεγάλο σε σχέση με τη διάμετρό της (6 έως 8 φορές και άνω), τότε είναι δυνατόν η ράβδος να ξεφύγει από την ευθεία γραμμή της και να καμφθεί (σχήμα 3-11).



Σχήμα 3-11. Καταπόνηση σε λυγισμό.

Διακρίνουμε 4 τρόπους (περιπτώσεις) στήριξης των ράβδων αυτών (σχήμα 3-12).



Σχήμα 3-12. Οι τέσσερις περιπτώσεις στήριξης ράβδων που υπόκεινται σε λυγισμό. [6]

- | | | |
|------|----------------------------|------------------------------------|
| I. | A: ελεύθερο άκρο | B: πακτωμένο άκρο με ή χωρίς οδηγό |
| II. | A: αρθρωτό άκρο με οδηγό | B: αρθρωτό άκρο με ή χωρίς οδηγό |
| III. | A: αρθρωτό άκρο με οδηγό | B: πακτωμένο άκρο με ή χωρίς οδηγό |
| IV. | A: πακτωμένο άκρο με οδηγό | B: πακτωμένο άκρο με ή χωρίς οδηγό |

Η φόρτιση κάμψης F_k της ράβδου χαρακτηρίζεται σαν δύναμη λυγισμού

$$F_k = \sigma_k \cdot A \quad (3.20)$$

αντίστοιχα προς τη γενική εξίσωση της θλίψης $F = \sigma \cdot A$.

Όσο διατηρείται η $F < F_k$, η ράβδος παραμένει ευθεία. Όταν φθάσει η $F_k = F$, η ράβδος λυγίζει αν και η τάση θλίψης βρίσκεται πολύ κάτω από το επιτρεπόμενο όριο. Επομένως, στο λυγισμό δεν υπάρχει πρόβλημα αντοχής αλλά ευστάθειας.

Αν S_k είναι ο συντελεστής ασφάλειας σε λυγισμό, τότε θα έχουμε

$$S_k = \frac{F_k}{F} = \frac{\sigma_k}{\sigma} \quad (3.21)$$

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μέγεθος που χρησιμοποιούμε στους υπολογισμούς είναι ο βαθμός λυγηρότητας λ

Σ

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \ell_k & \text{ ελεύθερο (ή ανηγμένο) μήκος λυγισμού από σχήμα 3-12} \\ i = \sqrt{I/A} & \text{ ακτίνα αδράνειας της διατομής A σε mm} \end{aligned} \quad (3.23)$$

με I αξονική επιφανειακή ροπή 2^{ου} βαθμού σε mm⁴ (βλέπε σχέση (3.6) και πίνακα 3-2) και A επιφάνεια διατομής σε mm²

Η τάση λυγισμού σ_k προσδιορίζεται στην ελαστική περιοχή κατά Euler και στην ελαστικοπλαστική κατά Tetmajer.

Στην πρώτη περίπτωση ($\sigma_k \leq \sigma_p$ όριο αναλογίας) ισχύει κατά Euler

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell_k^2} \text{ σε N/mm}^2 \quad (3.24)$$

με αντικατάσταση στη σχέση (3.20) και λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (3.22) και (3.23), θα έχουμε

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell_k^2 \cdot A} \text{ σε N/mm}^2 \quad (3.25)$$

$$\text{ή } \sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \text{ σε N/mm}^2 \quad (3.26)$$

Οι διάφοροι όροι όπως στις προηγούμενες σχέσεις.

Για την οριακή τιμή $\sigma_k = \sigma_p$ προσδιορίζεται η τιμή λ για την οποία ισχύουν οι παραπάνω σχέσεις

$\lambda \geq 105$	για μαλακό χάλυβα	(St37, St42)
$\lambda \geq 89$	για σκληρό χάλυβα	(St50, St60)
$\lambda \geq 80$	για χυτοσίδηρο	(GG)

Ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται για την περιοχή αυτή $S_k = 3$ έως 6.

Όταν όμως το λ είναι μικρότερο από τις τιμές αυτές ($\sigma_k > \sigma_p$) τότε ο υπολογισμός γίνεται κατά Tetmajer και η τάση λυγισμού σ_k δίνεται από τις σχέσεις

$$\sigma_k = 0,1 (3100 - 11,4 \cdot \lambda) \text{ N/mm}^2 \text{ για μαλακό χάλυβα (St37, St42)} \quad (3.27a)$$

$$\sigma_k = 0,1 (3350 - 6,2 \cdot \lambda) \text{ N/mm}^2 \text{ για σκληρό χάλυβα (St37, St42)} \quad (3.27b)$$

$$\sigma_k = 0,1 (7760 - 120 \cdot \lambda + 0,53 \cdot \lambda^2) \text{ N/mm}^2 \text{ για χυτοσίδηρο (GG)} \quad (3.27c)$$

Σύνθετη καταπόνηση

Πολλές φορές όμως έχουμε ταυτόχρονη παρουσία δύο ή περισσότερων καταπονήσεων. Στην περίπτωση αυτή, υφίσταται μία σύνθετη καταπόνηση που προκαλεί ή μόνο κάθετες τάσεις (εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη) ή μόνο διατμητικές τάσεις (διάτμηση, στρέψη) ή κάθετες και διατμητικές τάσεις (εφελκυσμός ή θλίψη και στρέψη κάμψη και στρέψη).

Αν μεν υπάρχουν μόνο ομοειδείς τάσεις (μόνο κάθετες ή μόνο διατμητικές) τότε η συνισταμένη τάση προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των επί μέρους τάσεων, π.χ. μία τάση κάμψη σ_b και μία εφελκυσμού ή θλίψης σ δίνουν μία συνισταμένη κάθετη τάση

$$\sigma_{\text{συν}} = \sigma_b + \sigma \quad (3.32a)$$

Το ίδιο θα συμβεί και για μία τάση στρέψης τ_t και μία διατμητική τ

$$\tau_{\text{συν}} = \tau_t + \tau \quad (3.32b)$$

Αν όμως εμφανιστούν συγχρόνως σε μια διατομή κάθετες και διατμητικές τάσεις, όπως π.χ. συμβαίνει σε ατράκτους που καταπονούνται σε κάμψη και στρέψη, τότε λόγω των διαφορετικών διευθύνσεων των τάσεων δεν είναι δυνατή η αλγεβρική άθροιση. Αλλά, όπως αποδείχτηκε πειραματικά, ούτε η γεωμετρική άθροιση δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στην περίπτωση αυτή προσδιορίζεται μια ισοδύναμη τάση σ_v που βασίζεται, ανάλογα με την περίπτωση, σε ένα από τα λεγόμενα «κριτήρια αντοχής».

Στη μηχανολογία, για συνεκτικά υλικά π.χ. χάλυβες, χρησιμοποιείται συνήθως το κριτήριο του «μέγιστου έργου παραμόρφωσης» (Mises) σύμφωνα με το οποίο η ισοδύναμη τάση σ_v είναι

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\alpha_o \cdot \tau_t)^2} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (3.33)$$

σ_b	τάση κάμψης σε N/mm ²	
τ_t	τάση στρέψης σε N/mm ²	
$\alpha_o = \frac{\sigma_{be\pi}}{1,73 \cdot \tau_{te\pi}}$	λόγος καταπόνησης	(3.34)

$\alpha_o = 1$ όταν η καμπτική και στρεπτική τάση ανήκουν στην ίδια περίπτωση φόρτισης π.χ. όταν είναι και οι δύο επαναλαμβανόμενες ή αντιστρεφόμενες (έννοια των όρων βλέπε πιο κάτω)

$\alpha_o = 0,7$ για αντιστρεφόμενη κάμψη και επαναλαμβανόμενη στρέψη

$\alpha_o = 0,4$ για αντιστρεφόμενη κάμψη και στατική στρέψη από πίνακες 3-6, 3-4.

Δυναμική καταπόνηση

Η αντοχή ενός στοιχείου μηχανής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρονική μεταβολή της φόρτισης. Αν κατά τη διάρκεια της φόρτισης μεταβληθούν οι δυνάμεις και οι ροπές που ενεργούν στο στοιχείο, τότε θα μεταβληθούν αναλογικά και οι αντίστοιχες τάσεις.

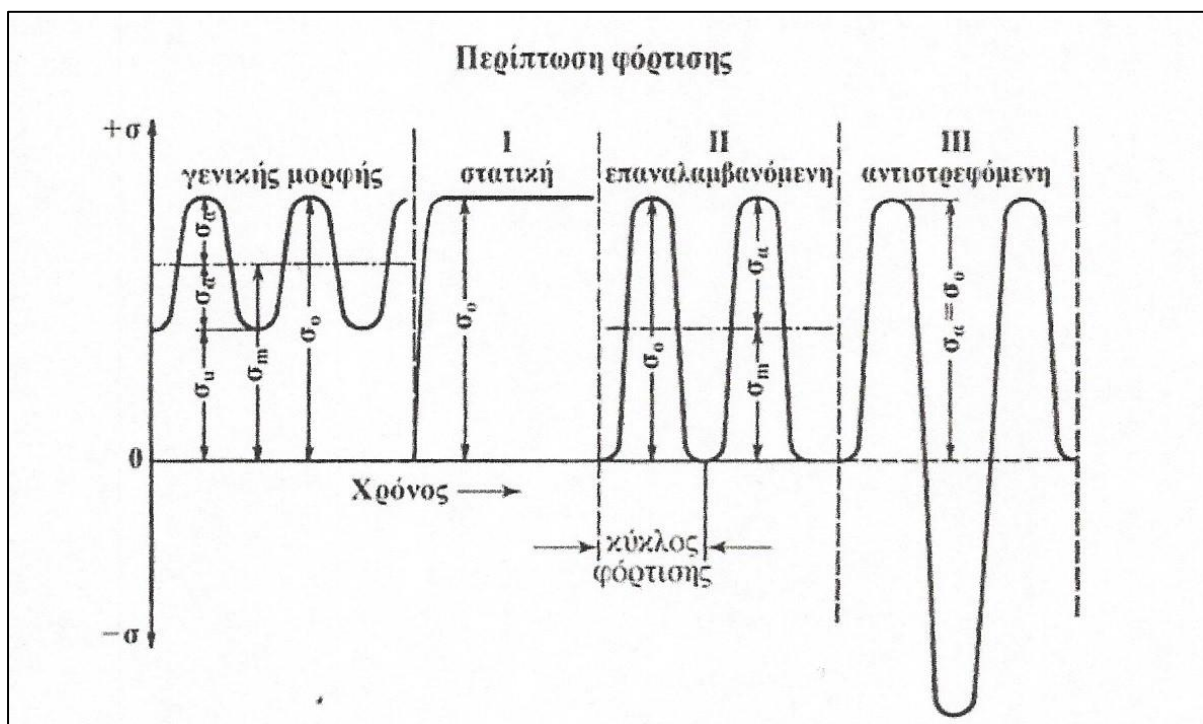
Με τον όρο «περίπτωση φόρτισης» εκφράζονται τα διάφορα είδη της μεταβολής των μεγεθών φόρτισης.

Διακρίνουμε τρεις βασικές περιπτώσεις φόρτισης (σχήμα 3-16).

Περίπτωση φόρτισης I (στατική καταπόνηση).

Η τάση αυξάνεται απότομα μέχρι μία ορισμένη τιμή την οποία διατηρεί για μακρό χρονικό διάστημα χωρίς να μεταβάλλει το μέγεθος και τη διεύθυνσή της.

Παραδείγματα: στρέψη σε ατράκτους χωρίς αλλαγή της διεύθυνσης περιστροφής όπως ηλεκτροκινητήρες, αντλίες, στρόβιλοι σε συνεχή λειτουργία.



Σχήμα 3-16. Περιπτώσεις φόρτισης.

Περίπτωση φόρτισης II (επαναλαμβανόμενη ή κυματοειδής ή πρωτογενής καταπόνηση).

Η τάση αυξάνει διαρκώς από το μηδέν μέχρι μια ανώτατη τιμή και ξαναπέφτει στο μηδέν. Μεταβάλλεται το μέγεθος ενώ η διεύθυνσή της παραμένει σταθερή.

Παραδείγματα: συρματόσχοινα γερανών, ελατήρια οχημάτων, οδόντες σε οδοντωτούς τροχούς που δεν αλλάζουν διεύθυνση περιστροφής.

Περίπτωση φόρτισης III (αντιστρεφόμενη ή εναλλασσόμενη ή παλμική καταπόνηση).

Η τάση κυμαίνεται διαρκώς ανάμεσα σε μία θετική και μία αρνητική μέγιστη τιμή. Μεταβάλλονται τόσο η διεύθυνση όσο και το μέγεθός της.

Παραδείγματα: μηχανές με εναλλασσόμενη διεύθυνση κίνησης, κοχλίες κάτω από εφελκυστική – θλιπτική καταπόνηση.

Η επαναλαμβανόμενη και η αντιστρεφόμενη καταπόνηση (περίπτωση II και III) αποτελούν μέρη μιας καταπόνησης γενικής μορφής (σχήμα 3-16), της δυναμικής καταπόνησης, κατά την οποία η τάση κυμαίνεται διαρκώς ανάμεσα σε μία μέγιστη τιμή σ_0 και μία ελάχιστη σ_u .

Μία πλήρης ταλάντωση ονομάζεται κύκλος ή εναλλαγή φόρτισης.

Στη γενική μορφή φόρτισης η μέση τάση σ_m είναι

$$\sigma_m = \frac{\sigma_o + \sigma_u}{2} \quad (3.35)$$

και η τάση απόκλισης σ_α είναι

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{2} \quad (3.36)$$

Για κάθε μία από τις περιπτώσεις φόρτισης, έχουμε

I:	$\sigma_\alpha = 0$	$\sigma_m = \sigma_o = \sigma_u = \sigma$	
II:	$\sigma_\alpha = \sigma_m = \frac{\sigma_o}{2}$	$\sigma_u = 0$	
III:	$\sigma_\alpha = \sigma_o$	$\sigma_o = -\sigma_\alpha$	$\sigma_m = 0$

3.3 Αντοχή υλικών σε στατική καταπόνηση

Τα βασικότερα όρια αντοχής για τον υπολογισμό στοιχείων μηχανών σε στατική καταπόνηση (περίπτωση φόρτισης I) είναι το όριο διαρροής R_e (ή το 0,2% όριο μήκυνσης $R_{p0,2}$) και το όριο θραύσης R_m .

Προσδιορίζονται με δοκίμια από το πείραμα εφελκυσμού και δίνονται στον πίνακα 3-4 για τα σπουδαιότερα σιδηρούχα υλικά.

Οι τιμές τους ορίζονται για διάφορα πάχη γιατί όπως διαπιστώθηκε με πειράματα το R_e και R_m στα περισσότερα από τα υλικά αυτά μικραίνει όταν αυξάνει το πάχος του τεμαχίου.

Ακόμα διαπιστώθηκε ότι το όριο διαρροής R_e ελαττώνεται επίσης με αύξηση της θερμοκρασίας και ότι τεμάχια που καταπονούνται σε εφελκυσμό μεγάλης χρονικής διάρκειας, συνεχώς μηκώνονται παρόλο που η φόρτιση είναι μικρότερη από τη φόρτιση της διαρροής.

Το τελευταίο αυτό φαινόμενο που οδηγεί τελικά σε θραύση, ονομάζεται «ερπυσμός», η δε τάση κάτω από την οποία, για μία ορισμένη θερμοκρασία, ο ερπυσμός σταματά ονομάζεται «αντοχή διάρκειας» (σε στατική καταπόνηση).

Υλικό		R_m N/mm ²	$R_e (R_{p0,2})$ N/mm ²
Φαίος χυτοσίδηρος DIN 1691	GG-15	150...250	-
	GG-20	200...300	-
	GG-25	250...350	-
	GG-30	300...400	-
	GG-35	350...450	-
Λευκός χυτοσίδηρος DIN 1692	GTS-35-10	350	200
	GTS-45-06	450	270
	GTS-55-04	550	340
	GTS-65-02	650	430
	GTS-70-02	700	530
	GTS-40-05	360...420	200...230
	GTS-45-07	400...480	230...280
Χυτοσίδηρος DIN 1693	GGG-40	370...400	240...250
	GGG-50	420...500	290...320
	GGG-60	550...600	340...380
	GGG-70	650...700	380...440
Χυτογάλυβας DIN 1681	GS-38	380	200
	GS-45	450	230
	GS-52	520	260
	GS-60	600	300
Χάλυβας κατασκευών DIN 17100	St 37-2	340...470	195...235
	St 44-2	410...540	235...275
	St 50-2	470...610	255...295
	St 60-2	570...710	295...335
	St 70-2	670...830	325...365
Βελτιωμένος χάλυβας DIN 17200	C 35, Ck 35	550...780	320...430
	C 45, Ck 45	630...850	370...500
	C 60, Ck 60	750...1000	450...580
	34 Cr 4	700...1100	460...700
	34 CrMo 4	700...1200	450...800
	42 CrMo 4	750...1300	500...900
	50 CrV 4	800...1300	600...900
	30 CrNiMo 8	900...1450	700...1050

Πίνακας 3-4. Τιμές αντοχής σε εφελκυσμό R_m και όριο διαρροής R_e (ή όριο μήκυνσης $R_{p0,2}$) για μερικά σιδηρούχα υλικά. (Οι μεγαλύτερες τιμές για μικρότερα πάχη).

3.4 Αντοχή υλικών σε δυναμική καταπόνηση

Στη δυναμική καταπόνηση (περιπτώσεις φόρτισης II και III) η θραύση στα δοκίμια επέρχεται με τις τιμές τάσεων πολύ μικρότερες από αυτές της στατικής καταπόνησης.

Οι τιμές αντοχής προκύπτουν από τυποποιημένες δοκιμές κόπωσης. Ένα δοκίμιο υποβάλλεται σε περιοδικά εναλλασσόμενη τάση $\sigma = \sigma_m \pm \sigma_a$ και προσδιορίζεται ο αριθμός των εναλλαγών N μέχρι τη θραύση. Το πείραμα επαναλαμβάνεται και με άλλα, ακριβώς όμοια, δοκίμια με μικρότερη όμως τάση απόκλισης σ_a ώστε να μην επέρχεται πλέον θραύση δηλαδή ο αριθμός των εναλλαγών να είναι άπειρος.

Η μέγιστη αυτή τάση που μπορεί να αντέξει το υλικό επί απεριόριστα μακρό χρόνο χωρίς θραύση είναι η **δυναμική αντοχή σ_D** (ή αντοχή διάρκειας σε δυναμική καταπόνηση).

$$\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_a \quad (3.37)$$

Η τάση σ_a που επιβάλλεται πάνω στη σ_m είναι η τάση απόκλισης ενώ το σ_a είναι η αντοχή απόκλισης (ή τάση απόκλισης της αντοχής διάρκειας).

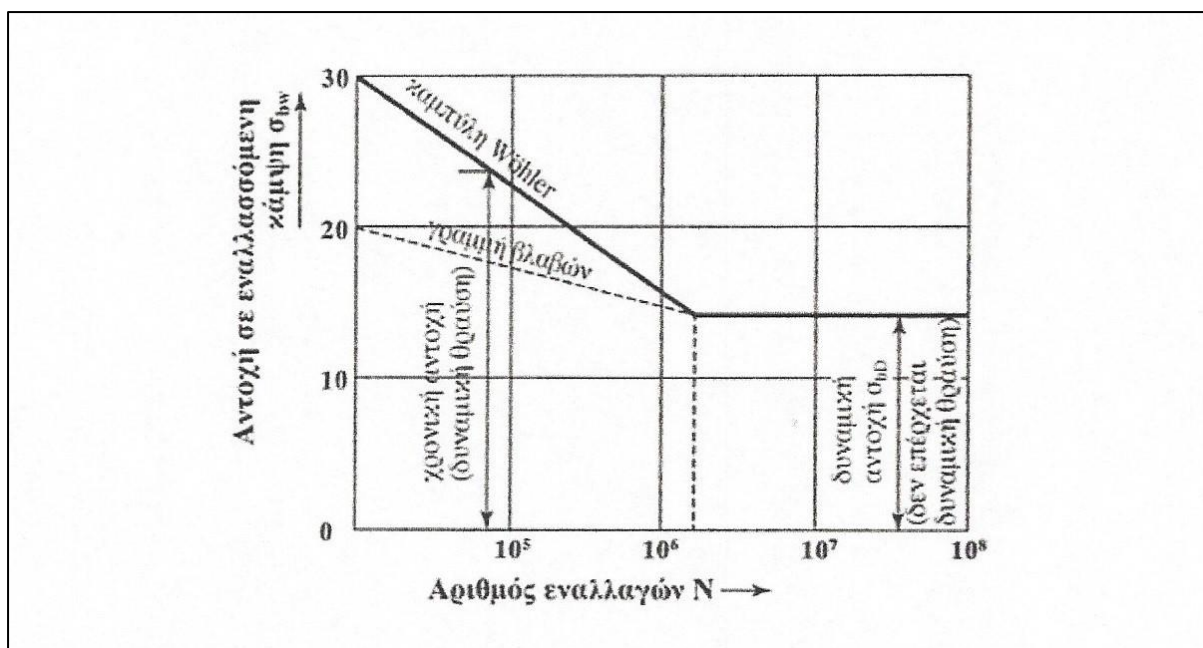
Γενικά χρησιμοποιούνται κεφαλαία γράμματα για τις τιμές αντοχής και μικρά γράμματα για τις τιμές τάσης.

Αν σε σύστημα συντεταγμένων χαραχθεί στην τετμημένη ο αριθμός εναλλαγών N και στην τεταγμένη η αντοχή που μετράται με σταθερή μέση τάση και διαφορετικές τάσεις απόκλισης, θα προκύψει μία φθίνουσα καμπύλη που καταλήγει σε οριζόντιο τμήμα όταν επιτευχθεί η δυναμική αντοχή (σχήμα 3-17).

Το σημείο στο οποίο αρχίζει το οριζόντιο τμήμα της καμπύλης βρίσκεται γύρω στον οριακό αριθμό εναλλαγών που είναι για χάλυβα περίπου $3 \cdot 10^6$ (αυξάνει με το R_m και τη διατομή) και για ελαφρά μέταλλα μέχρι $100 \cdot 10^6$ εναλλαγές.

Οι τιμές αντοχής που επιτυγχάνονται πριν από τον οριακό αριθμό εναλλαγών δηλαδή οι τιμές των τάσεων για τις οποίες επέρχεται δυναμική θραύση είναι οι τιμές **χρονικής αντοχής** με ένδειξη του αριθμού των εναλλαγών, π.χ. $\sigma_{D(10^5)}$ (σχήμα 3-17).

Η γνώση της χρονικής αντοχής είναι απαραίτητη για εξαρτήματα που εκ των προτέρων γνωρίζουμε ότι έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Η γραμμή βλαβών δίνει πόσες και πόσο υψηλές υπερφορτίσεις (δηλαδή πάνω από τη δυναμική αντοχή) μπορεί να δεχθεί ένα υλικό χωρίς βλάβη δηλαδή χωρίς μείωση της δυναμικής του αντοχής.



Σχήμα 3-17. Καμπύλη Wöhler ή καμπύλη κόπωσης και γραμμή βλαβών για χάλυβα St50 που καταπονείται σε εναλλασσόμενη κάμψη.

Η καμπύλη στο σχήμα 3-17 ονομάζεται καμπύλη Wöhler ή καμπύλη κόπωσης.

Αν υπάρχουν οι τιμές σ_D ή σ_A για τις περιπτώσεις φόρτισης I έως III, τότε μπορεί να χαραχθεί το διάγραμμα δυναμικής αντοχής σ_D (διάγραμμα Smith) και να αναγνωσθεί για κάθε σ_m η αντίστοιχη τιμή σ_D ή σ_A .

Στο διάγραμμα αυτό (σχήμα 3-18α) πάνω από τις τιμές σ_m στην τετμημένη, λαμβάνονται οι τιμές $\sigma_m + \sigma_A$ σαν άνω όριο και οι τιμές $\sigma_m - \sigma_A$ σαν κάτω όριο της δυναμικής αντοχής. Οι τιμές αυτές μπορούν επίσης να ληφθούν και από την υπό γωνία 45° ευθεία που αντιστοιχεί στη μέση τάση σ_m δηλαδή να ληφθούν οι τιμές σ_A άνω και κάτω της ευθείας υπό γωνία 45° . Έτσι προκύπτουν οι δύο οριακές καμπύλες.

Στο διάγραμμα περιορίζεται ακόμη από το όριο διαρροής R_e , γιατί τιμές τάσεων που το υπερβαίνουν προκαλούν ανεπίτρεπτα υψηλές πλαστικές παραμορφώσεις και λαμβάνουμε τελικά σαν πρακτικό όριο φόρτισης το διαγραμμισμένο περίγραμμα.

Για χάλυβα:	$\sigma_W \approx 0,45 R_m$	$\sigma_{Sch} \approx 0,8 \dots 1,0 R_e$
	$\sigma_{bW} \approx 0,5 R_m$	$\sigma_{bSch} \approx 0,8 \dots 1,0 \sigma_{bF}$
	$\tau_{tW} \approx 0,27 R_m$	$\tau_{tSch} \approx 0,6 R_e$
Για χυτοσίδηρο:	$\sigma_W \approx 0,3 R_m$	$\sigma_{Sch} \approx 0,45 R_e$
	$\sigma_{bW} \approx 0,45 R_m$	$\tau_{tSch} \approx 0,3 R_e$
	$\tau_{tW} \approx 0,37 R_m$	
με	R_m	αντοχή θραύσης
	σ_W	αντιστρεφόμενη καταπόνηση (θλίψη – εφελκυσμός)
	σ_{bW}	αντιστρεφόμενη » (κάμψη)
	τ_{tW}	αντιστρεφόμενη » (στρέψη)
	σ_{Sch}	επαναλαμβανόμενη » (θλίψη – εφελκυσμός)
	σ_{bSch}	επαναλαμβανόμενη » (κάμψη)
	τ_{tSch}	επαναλαμβανόμενη » (στρέψη)
	R_m, R_e από πίνακα 3-4.	

Πίνακας 3-5. Τιμές αντοχής σε αντιστρεφόμενη και επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.

Για στατική καταπόνηση σε εφελκυσμό:

- συνεκτικών υλικών, η ασφάλεια έναντι πλαστικής παραμόρφωσης (διαρροής) S_F δίνεται από το λόγο του ορίου διαρροής R_e (παλαιότερα σ_F ή σ_S) προς την ονομαστική τάση σ

$$S_F = \frac{R_e}{\sigma} \quad (3.38)$$

- ψαθυρών υλικών η ασφάλεια έναντι βίαιης θραύσης S_B δίνεται από το λόγο του ορίου θραύσης R_m (παλαιότερα σ_B) προς την ονομαστική τάση σ

$$S_B = \frac{R_m}{\sigma} \quad (3.39)$$

Συχνά η ασφάλεια S_B λαμβάνεται και για συνεκτικά υλικά.

Αν έχουμε καταπόνηση σε κάμψη, διάτμηση, στρέψη κλπ. θέτουμε στις πιο πάνω σχέσεις τις αντίστοιχες τιμές.

Για δυναμική καταπόνηση θα έχουμε αντίστοιχα

$$S_D = \frac{\sigma_D}{\sigma} \quad \text{γενικά} \quad (3.40)$$

Ως αντοχή διαρκείας σ_D μπορεί να ληφθεί εδώ η αντιστρεφόμενη αντοχή σ_W ή η επαναλαμβανόμενη αντοχή σ_{Sch}

$$\text{δηλαδή} \quad S_D = \frac{\sigma_W}{\sigma} \quad \text{ή} \quad S_D = \frac{\sigma_{Sch}}{\sigma} \quad (3.41)$$

Επειδή όμως αυτές οι χαρακτηριστικές τιμές του υλικού (αντοχές σ_W , σ_{Sch}) προέκυψαν από πειράματα με δοκίμια λεία και γυαλισμένα, δε λαμβάνουν υπόψη επιρροές από πραγματικές συνθήκες όπως κατάσταση της επιφάνειας, θερμικές κατεργασίες, διαμόρφωση του τεμαχίου (απότομες μεταβολές της διατομής δημιουργούν συγκεντρώσεις τάσεων), ευαισθησία του υλικού σε εγκοπές κ.ά. που μειώνουν τη διάρκεια ζωής των τεμαχίων ιδιαίτερα σε δυναμική καταπόνηση.

Οι ανωτέρω αρνητικές επιρροές λαμβάνονται υπόψη με πρόσθετους συντελεστές και ο ακριβής πλέον υπολογισμός διεξάγεται με βάση την προκύπτουσα αντοχή διαμόρφωσης σ_G π.χ. σε αντιστρεφόμενη (σ_{WG}) ή επαναλαμβανόμενη (σ_{SchG}) καταπόνηση. Για βασικούς όμως υπολογισμούς ή όπου δεν απαιτείται υπολογισμός της αντοχής διαμόρφωσης ισχύουν οι σχέσεις (3.41).

Σε υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των διαστάσεων τεμαχίων απαιτούνται τιμές για τις ανώτατες επιτρεπόμενες τάσεις. Οι τιμές αυτές προκύπτουν με τη βοήθεια γνωστών οριακών τάσεων και απαιτούμενων ασφαλειών ($S_{\alpha\pi}$).

$$\sigma_{\epsilon\pi} = \frac{R_e}{S_{F\alpha\pi}} \quad \text{ή} \quad \sigma_{\epsilon\pi} = \frac{R_m}{S_{B\alpha\pi}} \quad \text{ή} \quad \sigma_{\epsilon\pi} = \frac{\sigma_D \text{ (ή } \sigma_W, \sigma_{Sch}, \sigma_G)}{S_{D\alpha\pi}} \quad (3.42)$$

Στον έλεγχο θα πρέπει κατόπιν να πληρούται η συνθήκη

$$\sigma \leq \sigma_{\epsilon\pi} \quad \text{ή} \quad \tau \leq \tau_{\epsilon\pi}$$

Στον πίνακα 3-6 δίνονται ορισμένες τιμές για επιτρεπόμενες τάσεις οι οποίες εμπεριέχουν ήδη την ασφάλεια S .

Εδώ όμως θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι δεν είναι δυνατόν να καθορισθούν για τις επιτρεπόμενες τάσεις και τις απαιτούμενες ασφαλείες τιμές που θα ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις, γιατί οι συνθήκες λειτουργίας μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές. Ο κατασκευαστής είναι εκείνος που μετά από μελέτη θα παίρνει κάθε φορά την κατάλληλη απόφαση.

Περίπτωση φόρτισης	Συνεκτικά υλικά (χάλυβας)			Ψαθυρά υλικά (χυτοσίδηρος)		
	στατική	επαναλαμβανόμενη	αντιστρεφόμενη	στατική	επαναλαμβανόμενη	αντιστρεφόμενη
$\sigma_{Z, δεπ}$	0,75 R_e	0,45 R_e	0,35 R_e	0,3 R_m	0,23 R_m	0,18 R_m
$\sigma_{βεπ}$	0,85 R_e	0,55 R_e	0,4 R_e	0,45 R_m	0,3 R_m	0,2 R_m
$\tau_{τεπ}$	0,5 R_e	0,3 R_e	0,2 R_e	0,35 R_m	0,25 R_m	0,2 R_m
$\tau_{αεπ}$	0,6 R_e	0,4 R_e	0,3 R_e	0,35 R_m	0,25 R_m	0,2 R_m

Πίνακας 3-6. Επιτρεπόμενες τάσεις για κατά προσέγγιση υπολογισμούς (R_e και R_m από πίνακα 3-4).

ΗΛΟΙ (καρφιά-πιρτσίνια)

Με τους ήλους μπορούν να συνδεθούν δύο 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:

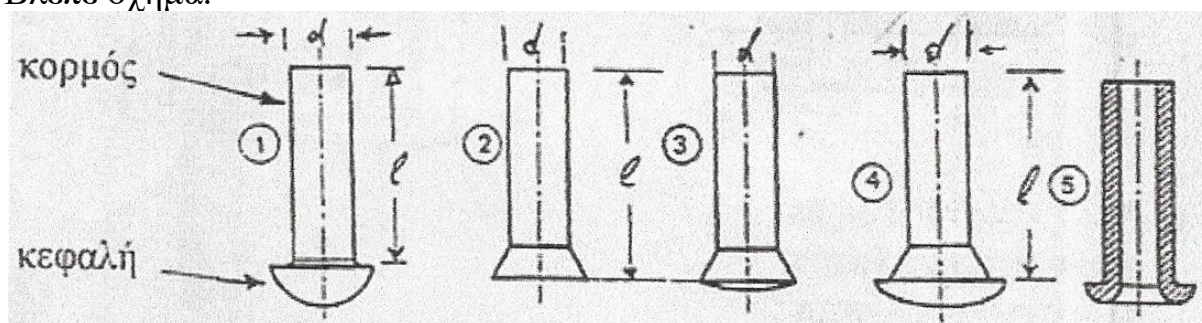
α) Σε κατασκευές που καταπονούνται από δυναμικά φορτία ή ισχυρά κρουστικά φορτία, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυναμική αντοχή σε εφελκυσμό, από τις συγκολλήσεις εξωραφών.

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 επιτόπου 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 ηλών

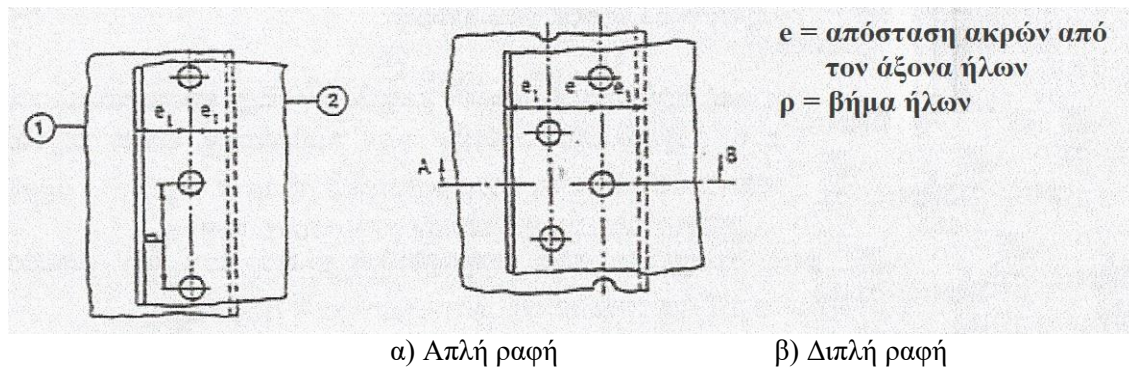
1. Ημισφαιρικός ή στρογγυλοκέφαλος.
2. Φρεζάτος ή βυθιζόμενος.
3. Φρεζάτος ή ημιβυθιζόμενος.
4. Πλατυκέφαλος.
5. Εκτονωτικός.

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

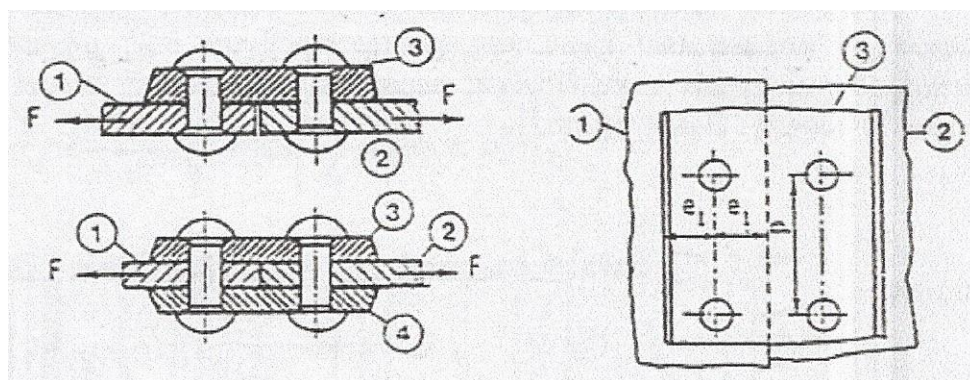
Μορφές ραφών

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

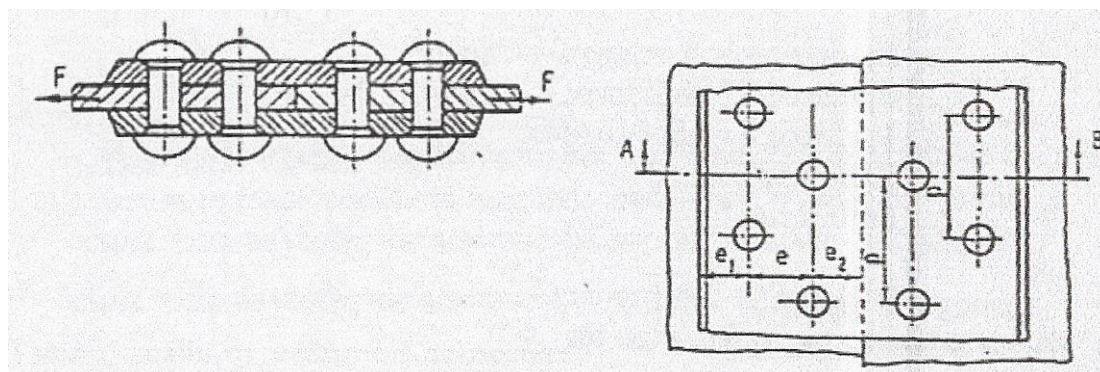
I) Σαν απλές, διπλές ή τριπλές ραφές επικαλύψεως και



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



α) Απλή πρεμνοραφή με:
 α) μια αρμοκαλύπτρα.
 β) δύο αρμοκαλύπτρες.

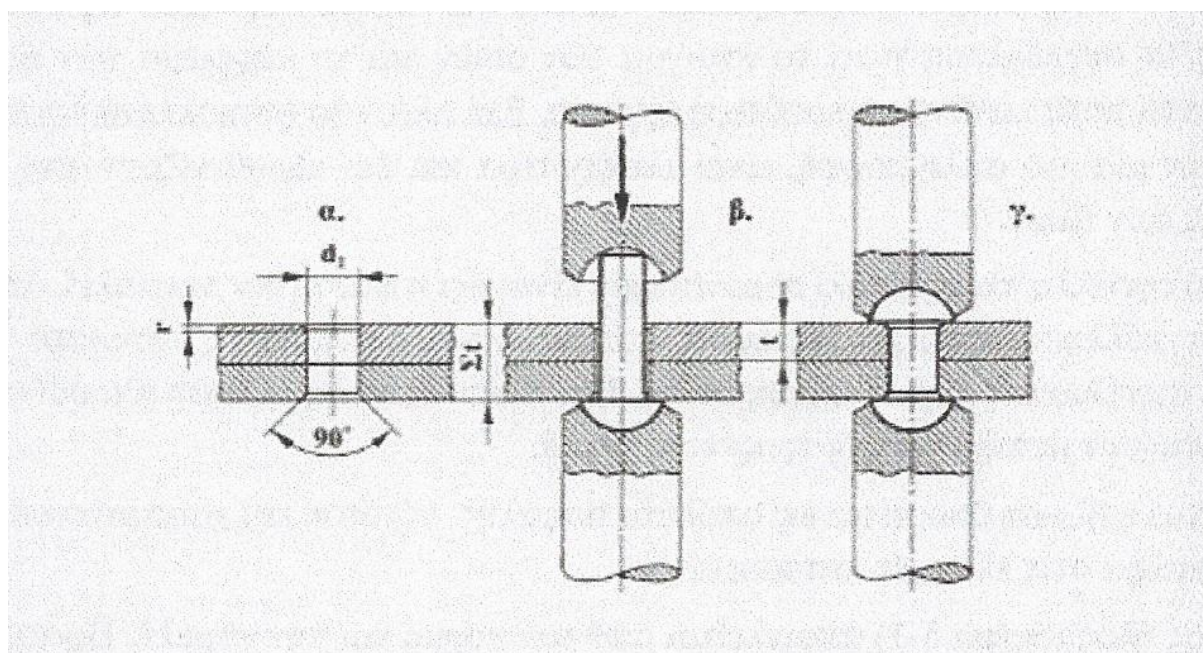


β) Διπλή ραφή με δυο αρμοκαλύπτρες.

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 του κενού μεταξύ τον 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 του 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 από 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:

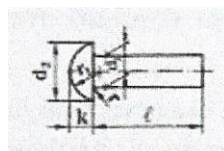
- να χρησιμοποιούνται ημιστρογγυλοί ήλοι κατά DIN 124 (πίνακας 5-1). Άλλου είδους ήλοι μόνο κατ' εξαίρεση.

- να τηρούνται οι αποστάσεις του πίνακα 5-2 των οπών μεταξύ τους και από τα άκρα.

- κάθε τεμάχιο να στερεώνεται με δύο τουλάχιστον ήλους . Σε ένα τεμάχιο δεν επιτρέπεται να τοποθετηθούν κατά τη διεύθυνση της δύναμης περισσότεροι από 6 ήλοι ανά σειρά, σε εναλλασσόμενες καταπονήσεις το πολύ 5 ήλοι ανά σειρά.

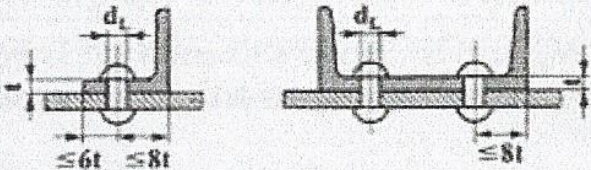
- σε ένα κομβοέλασμα να προβλέπονται κατά το δυνατόν ήλοι με την ίδια διάμετρο.

- το κομβοέλασμα να έχει το ίδιο μέσο πάχος με τις προς σύνδεση δοκούς ή ελάσματα. Ελάχιστο πάχος 4mm.



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

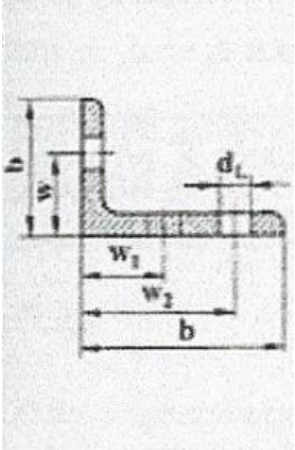
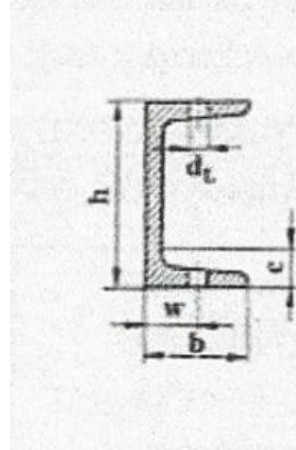
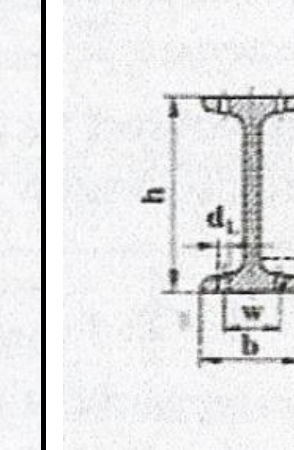
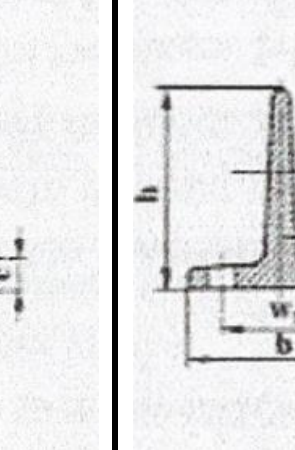
Πίνακας 5-1. Διαστάσεις σε mm των ημιστρογγυλών ήλων κατά DIN 124 για σιδηρές κατασκευές. Διάμετρος της οπής του ήλου d_i = διάμετρος του τοποθετημένου ήλου. A = επιφάνεια του τοποθετημένου ήλου = $\pi d_L^2/4$ σε mm^2 .

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	$2,2 d_L$
Μέγιστη απόσταση από άκρο	κατά τις δύο διευθύνσεις	$3d_L$ ή $6t$		κάθετα προς τη διεύθυνση της δύναμης	$2,2 d_L$
			Μέγιστη απόσταση μεταξύ οπών εάν κατασκευαστικά δεν απαιτείται μικρότερη	στην περιοχή θλίψης και για άκαμπτες κατασκευές	$6 d_L$ ή $12t$
				στην περιοχή εφελκυσμού και για σύνδεση επίσης στην περιοχή θλίψης	$10 d_L$ 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	16,5	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	9				
				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	57,5	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 σύνδεση μιας τομής τ_a	140	160	140 210	160 240	84	96	84 126	96 144	USt 36 RSt 44
Διάτμηση σε σύνδεση δύο τομών τ_a	140	160	160 210	160 240	113	128	113 168	128 192	USt 36 RSt 44
Σύνθλιψη σε σύνδεση μιας τομής σ_ℓ	320	360	320 480	360 540	210	240	210 315	240 360	USt 36 RSt 44
Σύνθλιψη σε σύνδεση 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 με R _m σε N/mm ²					Χυτοσίδηρος ¹⁾ με R _m σε N/mm ²			
		340	360	420	500	600	100	200	300	400
Εφελκυσμός, Θλίψη σ	στατική επαναλαμβανόμενη αντιστρεφόμενη	120	140	160	180	220	35	65	100	135
		85	100	120	140	170	25	40	75	100
		70	85	95	110	130	20	35	50	70
Κάμψη σ _b	στατική επαναλαμβανόμενη αντιστρεφόμενη	170	195	225	250	310	50	90	140	190
		95	110	130	155	185	28	45	80	110
		75	95	100	120	145	20	40	55	80
Σύνθλιψη σ _ε	στατική επαναλαμβανόμενη αντιστρεφόμενη	240	280	320	360	410	65	130	200	270
		170	200	240	280	340	45	85	130	170
		140	170	190	220	260	35	65	100	130
Ήλοι από χάλυβα (St)										
Καταπόνηση		Διάτμηση τ _α			Σύνθλιψη σ _ε		Εφελκυσμός σ _z			
Περίπτωση φόρτισης	στατική επαναλαμβανόμενη αντιστρεφόμενη	140			280		70			
		100			200		50			
		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).

Χαλύβδινες κατασκευές DIN 1880-1:1981-03, Κατασκευές γερανών DIN 15018	Τεμάχια από			
Είδος τάσης	S235 (St 37) Περίπτωση φόρτισης		S355 (St 52) Περίπτωση φόρτισης	
	H ¹⁾	HZ ¹⁾	H	HZ
Θλίψη και θλίψη από κάμψη για τον έλεγχο της ευστάθειας (λυγισμός, ανατροπή, δημιουργία κυκλωμάτων)	140	160	210	240
Εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη, θλίψη και θλίψη από κάμψη	160	180	240	270
Διάτμηση	92	104	139,138	156

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

Πίνακας 5-6. Επιτρεπόμενες τάσεις σε N/mm^2 για τεμάχια σιδηρών κατασκευών.

2. Καταπόνηση και υπολογισμός των ηλώσεων

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

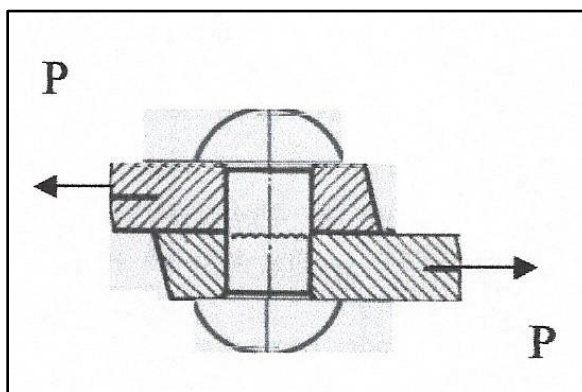
Πέρα όμως από τα όσα προκύψουν από τους υπολογισμούς αυτούς οι διάφοροι κανονισμοί δίνουν σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται σε κάθε είδος και διάταξη ηλώσεως οι ελάχιστες επιτρεπτές τιμές για τα διάφορα στοιχεία αυτών.

Οι ηλώσεις που καταπονούνται σε διάτμηση.

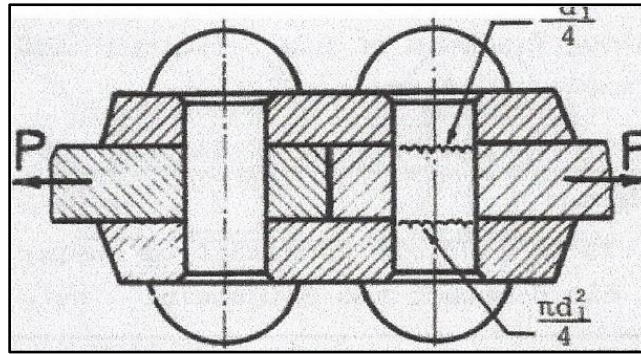
Οι ηλώσεις του **σχ.1.35** δέχονται φορτίο P το οποίο προσπαθεί να κόψει τους ήλους εγκάρσια σε μία διατομή που βρίσκεται στη γραμμή επαφής των ελασμάτων.

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

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



Σχ.1.35. Καταπόνηση ήλου απλής τομής.



Σχ.1.36. Καταπόνηση ήλου διπλής τομής.

Υπολογισμός της διαμέτρου ήλων σε 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 αριθμός των διατομών ενός ήλου που καταπονούνται σε διάτμηση, τότε η ολική επιφάνεια η οποία θα παραλάβει το φορτίο που αντιστοιχεί σε έναν ήλο είναι:

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

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

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

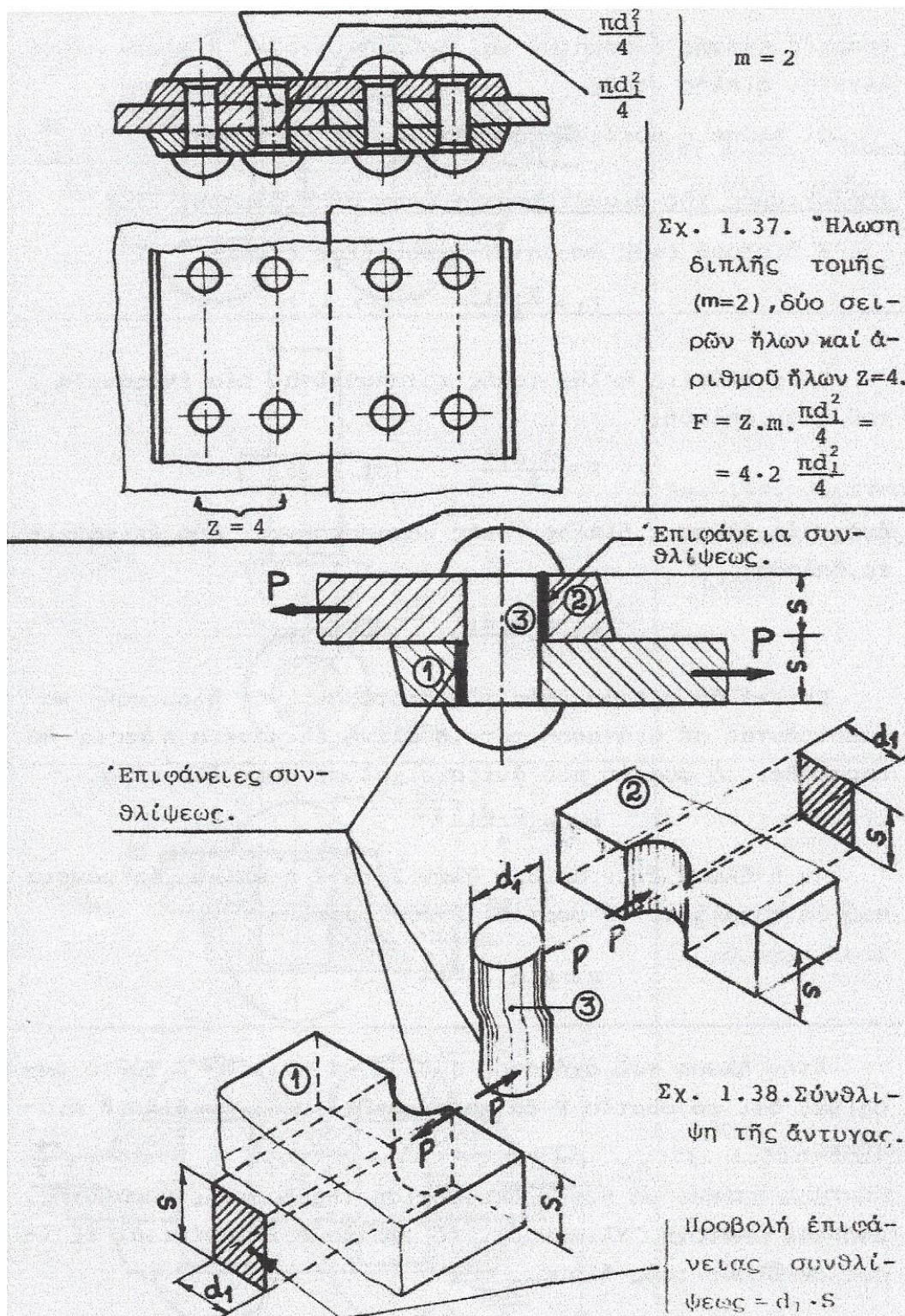
Στην ήλωση του **σχ. 1.37** Z = 4 και m = 2. Τούτο σημαίνει ότι το φορτίο P θα κατανεμηθεί σε

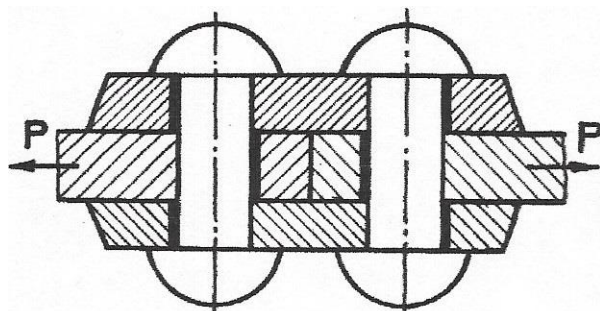
$$Z \cdot m = 4 \cdot 2 = 8 \text{ διατομές}$$

Εδώ πρέπει να γίνει υπενθύμιση της βασικής παραδοχής, από την Αντοχή Υλικών, ότι το φορτίο P κατανέμεται εξ' ίσου σε όλους τους ήλους.

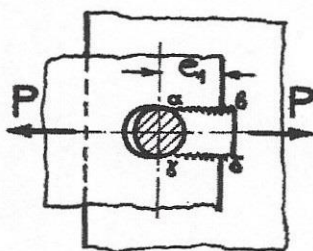
$$\tau = \frac{P}{A} \leq \tau_{\epsilon\pi}$$

$\tau_{\epsilon\pi}$ = επιτρεπόμενη τάση διατμήσεως του υλικού
(λαμβάνεται από πίνακες ή $\tau_{\epsilon\pi} = 0.8 \sigma_{\epsilon\pi}$)

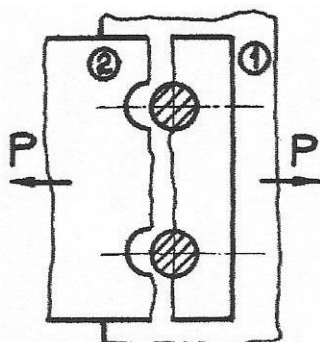




Σχ. 1.39. Σύνθλιψη της άντυγας σε ήλωση διπλής τομής



Σχ. 1.40. Διαρροή υλικού του ελάσματος



Σχ. 1.41. Αποκοπή ελάσματος λόγω εφελκυσμού

Υπολογισμός της διαμέτρου των ήλων σε σύνθλιψη.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.38 γίνεται μεταφορά του φορτίου P από 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 $\sigma_i = P / A_p = P / (d_1 S)$ [Kp/cm²]

Όπου : A_p = η προβολή της επιφάνειας συνθλίψεως σε [cm²]

d_1 = διάμετρος σφυρηλατημένου ήλου σε [cm]

S = πάχος ελάσματος σε [cm]

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

Οπότε
$$\sigma_{\ell} = \frac{P}{Zd_1 S}$$

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

Έτσι, η διάμετρος είναι

$$d_1 \geq \frac{P}{ZS\sigma_{\ell \varepsilon \pi}} \quad [\text{cm}]$$

$\sigma_{\ell \varepsilon \pi}$ = επιτρεπόμενη πίεση της άντυνας, η οποία λαμβάνεται ως

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

$\sigma_{\varepsilon \pi}$ = επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού.

Τα ελάσματα ελέγχονται ως εξής:

1. Έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυνας όπως πιο πάνω.
2. Έλεγχος για διαρροή του υλικού όπως στο σχ. 1.40 σύμφωνα με τα γνωστά από την Αντοχή των υλικών (βλ. άσκηση **No 1.2**)
3. Έλεγχος της διατομής του ελάσματος σε εφελκυσμό μετά από το άνοιγμα των τρυπών που εξασθενίζουν το υλικό (σχ. 1.40). Ο έλεγχος γίνεται με τις γνωστές σχέσεις εφελκυσμού.

Σε μερικές περιπτώσεις οι ήλοι καταπονούνται σε εφελκυσμό και ο υπολογισμός αυτών γίνεται σύμφωνα με όσα αναφέρει η Αντοχή Υλικών ($\sigma = P / A$).

Σε ηλώσεις σιδηρών κατασκευών παρουσιάζονται συχνά δύο τάσεις, ήτοι μία κάθετη (ή ορθή) τάση σ και μία εφαπτομενική ή εγκάρσια τάση τ . Στις περιπτώσεις αυτές υπολογίζεται μία ισοδύναμη τάση σ_i ,

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

η οποία πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού $\sigma_{\varepsilon \pi}$.

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.

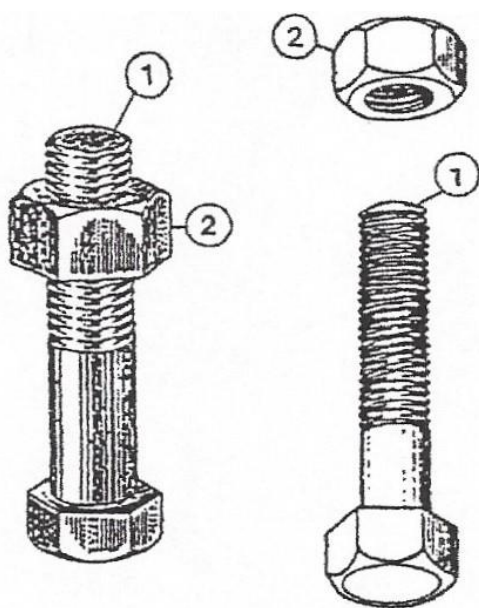
Εδώ το κύριο χαρακτηριστικό του σπειρώματος είναι η μηχανική ιδιότητα κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα του πολλαπλασιασμού ή του υποπολλαπλασιασμού του μεγέθους μιας δύναμews, λαμβάνοντας υπόψη και την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του σπειρώματος του κοχλία και του σπειρώματος του περικοχλίου.

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

$$F_u = F \epsilon \phi (\rho \pm \alpha)$$

όπου: ρ = γωνία τριβής

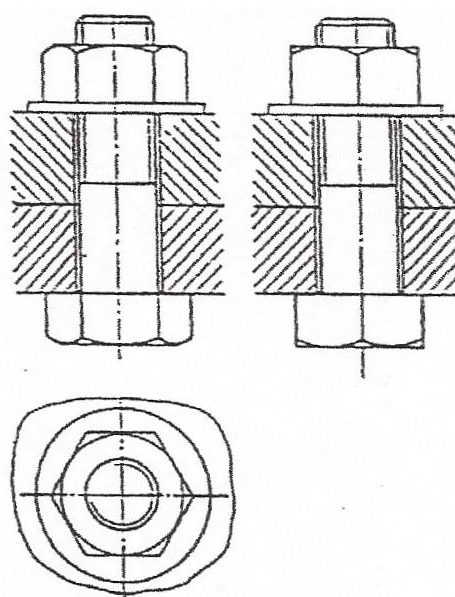
α = μέση γωνία ελικώσεως σπειρώματος



Σχ. Α. Κοχλίας σύνδεσης.

1.= Κοχλίας

2.= Περικόχλιο

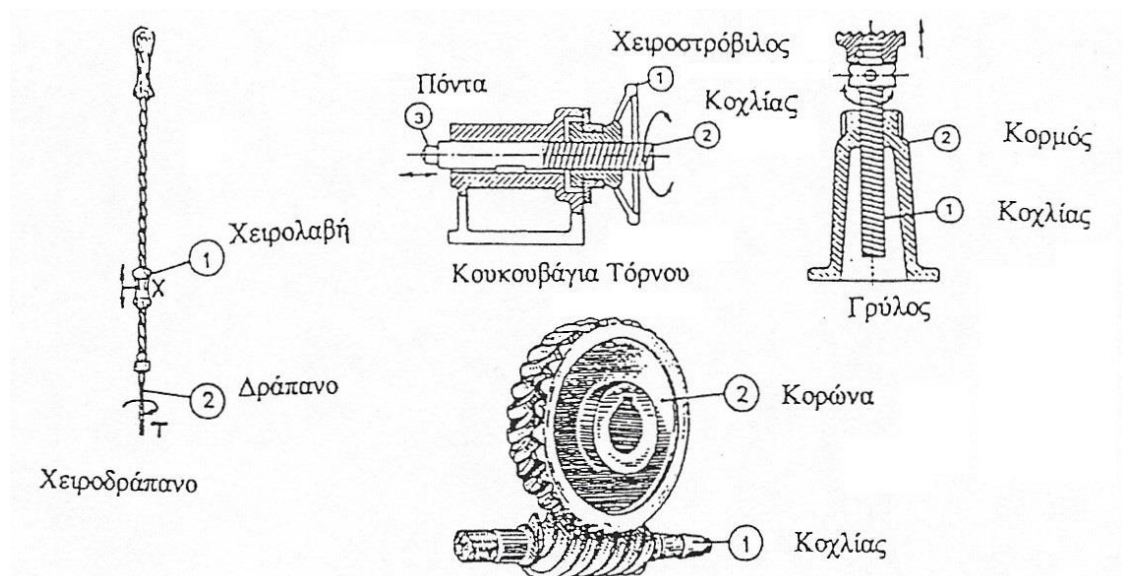


Σχ. Β. Κοχλιοσύνδεση σε πρόωση

πλάγια όψη - κάτωψη

β) Κοχλίες κίνησης: είναι κατάλληλοι για τη μετακίνηση διάφορων τεμαχίων όπου μέσω της γεωμετρικής ιδιότητας μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση σε

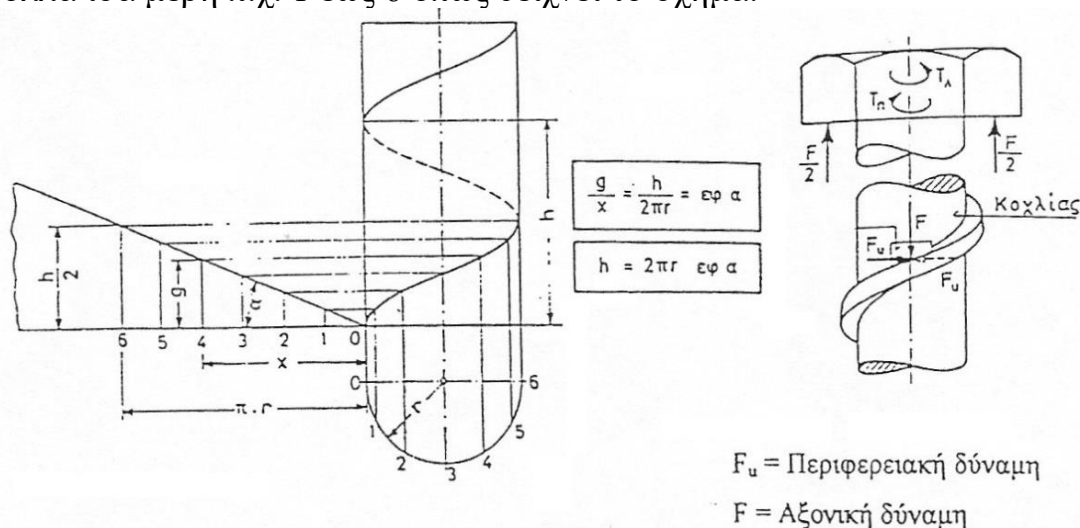
ευθύγραμμη και αντίθετα η ευθύγραμμη σε περιστροφική, ή αλλιώς έχουμε μετατροπή των ροπών στρέψης σε αξονικές δυνάμεις και αντίθετα.



Ελικοειδής γραμμή

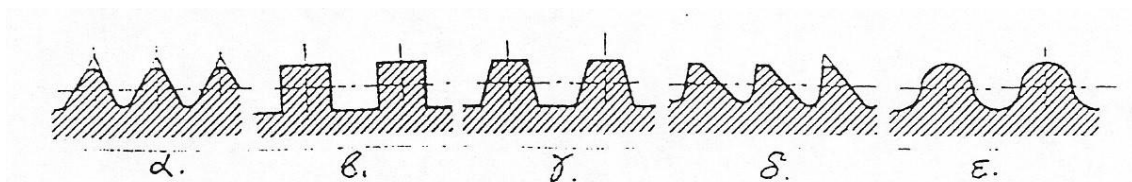
Τη βάση κατασκευής των κοχλιών αποτελεί η ελικοειδής γραμμή. Η ελικοειδής γραμμή παράγεται από μια ευθεία με γωνία κλίσεως α αν περιτυλιχθεί γύρω από έναν κύλινδρο με ακτίνα r . Εάν στη συνέχεια θεωρήσουμε ένα πρισματικό σώμα (τριγωνικό, ορθογωνικό, τραπεζοειδές ή στρογγυλό) τοποθετημένο επί της ελικοειδούς γραμμής, τότε ο κύλινδρος του σχήματός μας, μεταβάλλεται σε κοχλία με τριγωνικό, ορθογωνικό, τραπεζοειδές ή στρογγυλό σπείρωμα. Σε περιπτώσεις χάραξης περισσότερων από μια ελικοειδή γραμμή, σε διαστήματα υποπολλαπλάσια του βήματος (R) αναφερόμαστε σε κοχλίες δυο, τριών, κλπ. αρχών.

Η ελικοειδής γραμμή κατασκευάζεται σημείο προς σημείο αν διαιρέσουμε την περιφέρεια της βάσεως του κυλίνδρου και το ανάπτυγμα αυτής σε πολλά ίσα μέρη π.χ. 1 έως 6 όπως δείχνει το σχήμα.



Είδη σπειρωμάτων

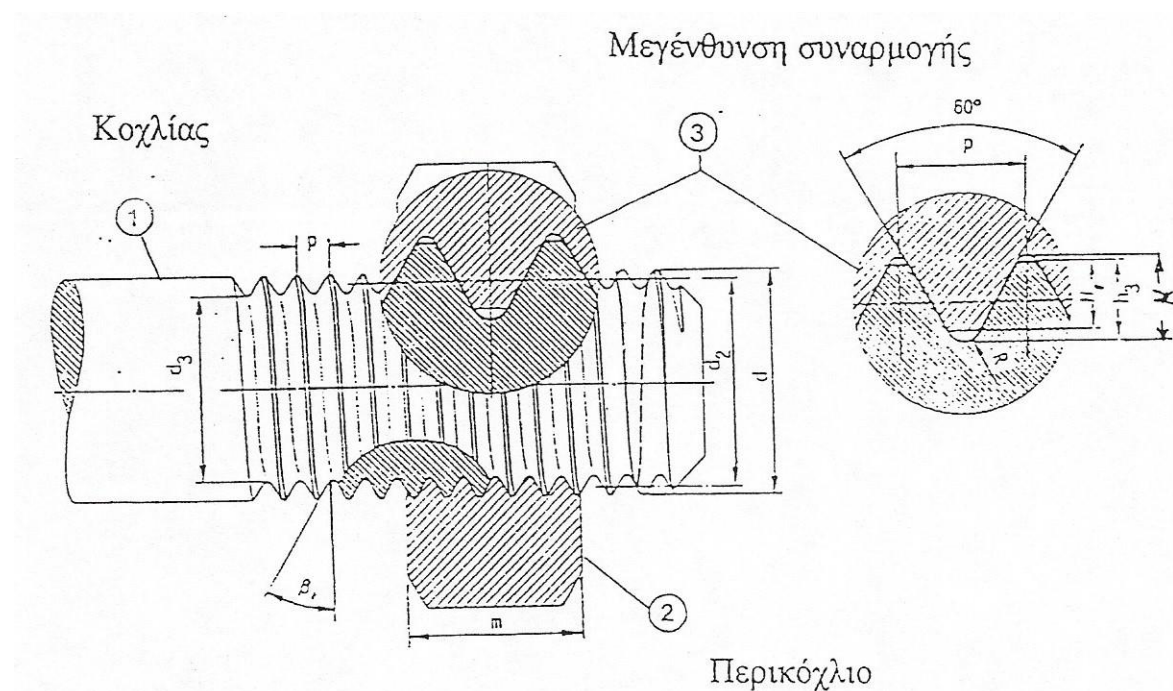
Ανάλογα με τη χρήση των κοχλίων και διαφορετικών ειδικών συνθηκών λειτουργίας έχουν κατά καιρούς διαμορφωθεί διάφορα είδη σπειρωμάτων. Στους κοχλίες συσφίξεως έχουν γενικά επικρατήσει τα τριγωνικά σπειρώματα σε διάφορες παραλλαγές διαστάσεων. Ενώ οι κοχλίες κινήσεως κατασκευάζονται με ορθογωνικά, τραπεζοειδή, πριονοειδή ή ακόμη και στρογγυλά σπειρώματα.



Σχ. Μορφές (είδη) σπειρωμάτων

α) Τριγωνικό, β) Ορθογωνικό, γ) Τραπεζοειδές, δ) Πριονωτό, ε) Στρογγυλό.

Τα βασικά στοιχεία με τα οποία καθορίζεται ένα σπείρωμα είναι :



- α) Η εξωτερική διάμετρος d (ονομαστική διάμετρος)
β) Η εσωτερική διάμετρος d_3
γ) Το βήμα h ή $P = \pi d$ εφά
δ) Η μορφή της κατανομής του σπειρώματος
ε) Η μέση διάμετρος d_2 , $d_2 = (d + d_3) / 2$
στ) ι) Η γωνία ελικώσεως (α) της εξωτερικής διαμέτρου d
ιι) Η γωνία ελικώσεως (α_3) της διαμέτρου του πυρήνα d_3
ιιι) Η μέση γωνία ελικώσεως (α_2) της μέσης διαμέτρου d_2

Τα μεγέθη που καθορίζουν τη μορφή της κατανομής ενός σπειρώματος είναι:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Οι δύο γωνίες παρειών β_1 και β_2 , | $\beta = \beta_1 + \beta_2$ |
| 2. Το ολικό ύψος της κατανομής t ή H , | $H = (h/2) \sigma\phi(\beta/2)$ |
| 3. Το πραγματικό βάθος σπειρώματος t ή h_3 , | $h_3 = (1/2) (d - d_3)$ |
| 4. Το βάθος επαφής του σπειρώματος t_2 ή H_1 | $H_1 = 1/2 (d - D)$ |
| 5. Η ακτίνα καμπυλότητας r ή R στον πυθμένα του σπειρώματος. | |

Τυποποιημένα σπειρώματα για κοχλίες συσφίξεως (σύνδεσης ή στερέωσης)

Τα σπουδαιότερα τυποποιημένα σπειρώματα που υπάρχουν στο εμπόριο είναι:

1. Το μετρικό σπείρωμα κατά ISO (International Standard Organization). Αυτό έχει επικρατήσει στη Ευρώπη και περιλαμβάνει δυο βασικές κατηγορίες: την κατηγορία του κανονικού σπειρώματος και την κατηγορία του λεπτού σπειρώματος η οποία περιλαμβάνει διάφορες υποκατηγορίες.

α) Το κανονικό μετρικό σπείρωμα έχει τριγωνική μορφή και παράγεται από ισόπλευρα τρίγωνα με γωνία παρειών $\beta = 60^\circ$. Κατασκευάζεται σε τρεις κλάσεις αντοχών: τη λεπτή (f) για μεγάλη ακρίβεια, τη μέση (m) για γενική χρήση και τη χοντρή (g) με μικρή ακρίβεια.

β) Τα λεπτά μετρικά σπειρώματα κατά ISO έχουν γενικά μικρότερο πραγματικό βάθος και μικρότερο βήμα και παρουσιάζουν κατά μέσο όρο περίπου 15% υψηλότερη αντοχή από τα χοντρά σπειρώματα έχουν όμως υψηλότερο κόστος κατασκευής. Τα σπειρώματα αυτά χρησιμοποιούνται σε κοχλίες με κοντό κορμό και σε σωλήνες με λεπτό τοίχωμα.

2. Το αγγλικό σπείρωμα Whitworth (B.S.W) χρησιμοποιείται κυρίως στις χώρες της βρετανικής κοινοπολιτείας όπου η μονάδα μέτρησης του μήκους είναι η ίντσα $1''$ (in) = 25,4 mm. Το σπείρωμα παράγεται από ισοσκελές τρίγωνο και η γωνία των πλευρών είναι 55° (και όχι 60° όπως στο μετρικό). Στη χώρα μας από τα παλαιότερα σπειρώματα που χρησιμοποιούνται ακόμα είναι το σπείρωμα σωληνών κατά Whitworth που είναι τυποποιημένο με τον κανονισμό DIN 255 και χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις γενικά και στα στοιχεία ή μηχανήματα που συνδέονται απευθείας με σωληνώσεις.

3. Το Αμερικανικό σπείρωμα Sellers. Το σπείρωμα αυτό όπως και το μετρικό σπείρωμα βασίζεται στο ισόπλευρο τρίγωνο με γωνία κορυφής 60° . Η ονομαστική του διάμετρος d δίδεται σε (in) και καθορίζει το σπείρωμα από διάμετρο $d > 1/4''$.

Τυποποιημένα σπειρώματα για κοχλίες κινήσεως

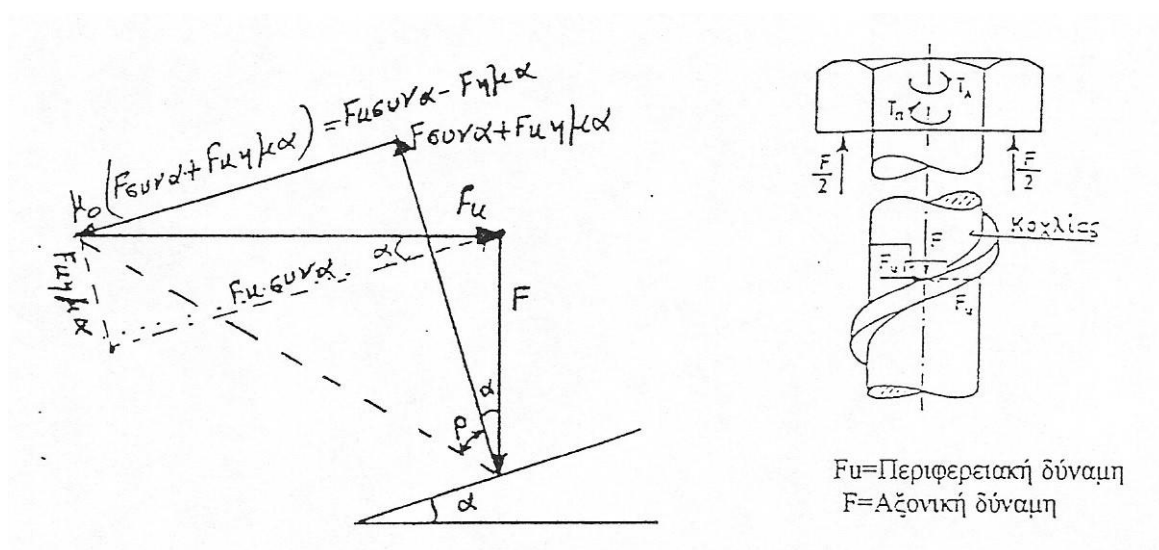
Τα σπειρώματα των κοχλίων κινήσεως δεν έχουν τυποποιηθεί διεθνώς κυρίως διότι δε χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές.

Οι Γερμανικοί κανονισμοί περιλαμβάνουν τα εξής τυποποιημένα σπειρώματα:

- α. Μετρικό τραπεζοειδές σπείρωμα κατά DIN 103.
- β. Στρογγυλό σπείρωμα κατά DIN 405.
- γ. Στρογγυλό σπείρωμα κατά DIN 15405.
- δ. Πριονοειδές σπείρωμα κατά DIN 513, 514, 515.

Το τετραγωνικό σπείρωμα. Προκύπτει από το τετραγωνικό σπείρωμα εάν λοξευτούν οι κάθετες προς τον άξονα πλευρές του κατά 15° . Το τραπεζοειδές σπείρωμα είναι στερεότερο του τετραγωνικού και χρησιμοποιείται κυρίως σε εργαλειομηχανές.

Το στρογγυλό σπείρωμα. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου είναι πιθανόν να φθαρούν από οξείδωση ή ρύπανση οι ακμές του κοχλία όπως σε ηλεκτρονικούς λαμπτήρες, συνδέσμους σιδηροδρόμων.



α = Μέση γωνία ελικώσεως σπειρώματος.

ρ = Γωνία τριβής.

μ_0 = Συντελεστής τριβής ακινησίας.

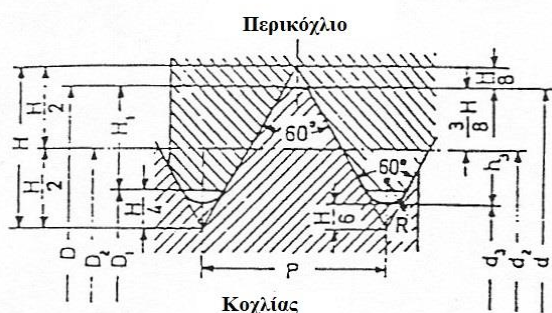
F = Αξονική δύναμη.

F_u = Περιφερειακή δύναμη (που προκαλεί την κίνηση του περικοχλίου).

ρ' = Ανοιγμένη γωνία τριβής.

$\rho' = \mu_0 / \sin \cdot (\beta/2)$, $\epsilon \rho \rho' = \epsilon \rho \rho / \sin \cdot (\beta/2)$

ΠΙΝΑΚΑΣ Κ1:Κανονικό μετρικό σπείρωμα κατά ISO (DIN 13/1). Διαστάσεις σε mm



$$H = 0,86603 P$$

$$H_1 = 0,54127 P \frac{5}{8} H$$

$$h_3 = 0,61343 P = \frac{17}{24} H$$

$$R = 0,14434 P = H/6$$

$$D_2 = d_2 = d - 0,64953 P$$

$$D_1 = d - 2H_1$$

$$d_3 = d - 1,22687 P$$

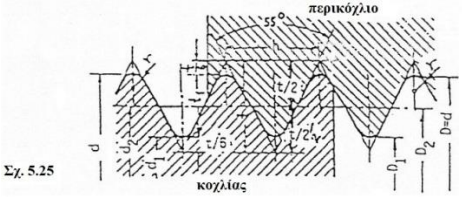
d = D		P	d ₂ =D ₂	d ₃	D ₁	h ₃	H ₁	d/R	α ₂
σειρά 1	σειρά 2								
1		0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	34,6	5,42
	1,1	0,25	0,938	0,793	0,829	0,153	0,135	30,5	4,85
1,2		0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	33,3	4,38
	1,4	0,30	1,205	1,032	1,075	0,184	0,162	32,3	4,53
1,6		0,35	1,373	1,170	1,221	0,215	0,189	31,7	4,64
	1,8	0,35	1,573	1,370	1,421	0,215	0,189	35,6	4,05
	2	0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	34,6	4,19
2		0,45	1,908	1,648	1,713	0,276	0,244	33,9	4,29
	2,2	0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	38,5	3,71
3		0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	41,6	3,40
	3,5	0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	40,4	3,51
4		0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	39,6	3,60
	4,5	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	43,3	3,25
5		0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	41,6	3,40
6		1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	44,3	3,17
8		1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	46,2	3,03
10		1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	47,5	2,94
12		1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	48,5	2,87
	14	2	12,071	11,546	11,835	1,227	1,083	55,4	2,48
16		2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	49,9	2,78
	18	2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	55,4	2,48
20		2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	61,0	2,24
	22	2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	55,4	2,48
24		3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	62,4	2,18
	27	3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	59,4	2,30
30		3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	65,3	2,08
	33	3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	62,4	2,18
36		4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	67,5	2,00
	39	4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	64,7	2,10
42		4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	69,3	1,95
	45	4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	66,5	2,04
48		5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	72,1	1,87
	52	5,5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	70,5	1,91
56		5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	73,9	1,82
	60	5,5	53,252	54,046	54,840	3,374	2,977	78,5	1,71
64		6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,248		
	68	6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,248		

Συμβολισμός: Π.χ. για σπείρωμα με d = 24 : M 24

ΠΙΝΑΚΑΣ Κ2: Τυποποιημένα λεπτά σπειρώματα κατά ISO.

dxP	d mm	P mm	d ₂ mm	d ₃ mm	R mm	d/R	A _c mm ²	A _s mm ²
M 8x1	8	1,0	7,350	6,773	0,144	56	36,0	39,2
M 10x0,75	10	0,75	9,513	9,080	0,108	92	64,7	67,9
M 10x1	10	1,0	9,350	8,773	0,144	70	60,5	64,5
M 10x1,25	10	1,25	9,188	8,466	0,180	56	56,3	61,2
M 12x1	12	1,0	11,350	10,773	0,144	83	91,1	96,1
M 12x1,25	12	1,25	11,188	10,466	0,180	67	86,1	92,1
M 12x1,5	12	1,5	11,026	10,160	0,217	55	81,1	88,1
M 16x1	16	1,0	15,350	14,773	0,144	111	171	178
M 16x1,5	16	1,5	15,026	14,160	0,217	74	157	167
M 20x1	20	1,0	19,350	18,773	0,144	139	277	285
M 20x1,5	20	1,5	19,026	18,160	0,217	92	259	271
M 20x2	20	2,0	18,701	17,546	0,289	69	242	258
M 24x1,5	24	1,5	23,026	22,160	0,217	110	386	401
M 24x2	24	2,0	22,701	21,546	0,289	83	365	384
M 30x1,5	30	1,5	29,026	28,160	0,217	138	623	642
M 30x2	30	2,0	28,701	27,546	0,289	104	596	621
M 36x1,5	36	1,5	35,026	34,160	0,217	166	917	940
M 36x2	36	2,0	34,701	33,546	0,289	125	884	914
M 36x3	36	3,0	34,051	32,319	0,433	83	821	865
M 42x1,5	42	1,5	41,026	40,160	0,217	193	1267	1294
M 42x2	42	2,0	40,701	39,546	0,289	145	1229	1264
M 42x3	42	3,0	40,051	38,319	0,433	97	1153	1206
M 48x1,5	48	1,5	47,026	46,160	0,217	221	1674	1705
M 48x2	48	2,0	46,701	45,546	0,289	166	1630	1671
M 48x3	48	3,0	46,051	44,319	0,433	111	1543	1604
M 56x1,5	56	1,5	55,026	54,160	0,217	258	2304	2341
M 56x2	56	2,0	54,701	53,546	0,289	194	2252	2301
M 56x4	56	4,0	53,402	51,093	0,577	97	2050	2144
M 64x1,5	64	1,5	63,026	62,160	0,217	295	3035	3077
M 64x2	64	2,0	62,701	61,546	0,289	221	2976	3033
M 64x4	64	4,0	61,402	59,093	0,577	111	2743	2851
M 72x1,5	72	1,5	71,026	70,160	0,217	330	3867	3914
M 72x2	72	2,0	70,701	69,546	0,289	249	3800	3862
M 72x4	72	4,0	69,402	67,093	0,577	125	3536	3659
M 72x6	72	6,0	68,103	64,639	0,866	83	3282	3460

ΠΙΝΑΚΑΣ Κ3: Αγγλικό κανονικό (χονδρόδοντο) σπείρωμα Whitworth (DIN 11)

 Σχ. 5.25 Σχέσεις υπολογισμού γεωμετρικών στοιχείων: $r = 0,96049 \cdot h \approx 0,96h$ $t_1 = 0,64033 \cdot h \approx 0,64h$ $d_1 = D_1 = d - 2t_1$ $d_2 = D_2 = d - t_1$ $d = D$ $h = \frac{1}{2} \cdot \frac{25,4}{Z} \text{ mm}$								
Ονομαστική διάμετρος d σε in	Διάμετρος σπειρώματος d=D (mm)	Διάμετρος πυρήνα d ₁ (mm)	Διατομή πυρήνα Ακ (mm ²)	Βάθος σπειρώματος t ₁ (mm)	Ακτίνα στρογγυλέματος r (mm)	Μέση διάμετρος d ₂ (mm)	Βήμα h (mm)	Σπείρες ανά ίντσα Z(-)
1/4	6,350	4,724	0,175	0,813	0,174	5,537	1,270	20
5/16	7,938	6,131	0,295	0,904	0,194	7,039	1,411	18
3/8	9,525	7,492	0,441	1,017	0,218	8,509	1,588	16
(7/16)	11,113	8,789	0,607	1,162	0,249	9,951	1,814	14
1/2	12,700	9,990	0,784	1,355	0,291	11,345	2,117	12
5/8	15,876	12,916	1,311	1,479	0,317	14,397	2,309	11
3/4	19,051	15,798	1,960	1,627	0,349	17,424	2,540	10
7/8	22,225	18,611	2,720	1,807	0,388	20,419	2,822	9
1	25,401	21,335	3,575	2,033	0,436	23,368	3,175	8
1 1/8	28,576	23,929	4,497	2,324	0,498	26,253	3,629	7
1 1/4	31,751	27,104	5,770	2,324	0,498	29,428	3,629	7
1 3/8	34,926	29,505	6,837	2,711	0,581	32,215	4,233	6
1 1/2	38,101	32,680	8,388	2,711	0,581	35,391	4,233	6
1 5/8	41,277	34,771	9,495	3,253	0,698	38,024	5,080	5
1 3/4	44,452	37,946	11,310	3,253	0,698	41,199	5,080	5
(1 7/8)	47,627	40,398	12,818	3,614	0,775	44,012	5,645	4 1/2
2	50,802	43,573	14,912	3,614	0,775	47,187	5,645	4 1/2
2 1/4	57,152	49,020	18,873	4,066	0,872	53,086	6,350	4
2 1/2	63,502	55,370	24,079	4,066	0,872	59,436	6,350	4
2 3/4	69,853	60,558	28,804	4,647	0,997	65,205	7,257	3 1/2
3	76,203	69,909	35,161	4,647	0,997	71,556	7,257	3 1/2
3 1/4	82,553	72,554	41,333	5,005	1,073	77,548	7,816	3 1/4
3 1/2	88,903	78,894	48,885	5,005	1,073	83,899	7,816	3 1/4
3 3/4	95,254	84,410	55,959	5,422	1,163	89,832	8,467	3
4	101,604	90,760	64,697	5,422	1,163	96,182	8,467	3
4 1/4	107,954	96,639	73,349	5,657	1,213	102,297	8,835	2 7/8
4 1/2	114,304	102,990	83,307	5,657	1,213	108,647	8,835	2 7/8
4 3/4	120,655	108,825	93,014	5,915	1,268	114,740	9,237	2 3/4
5	127,005	115,176	104,185	5,915	1,268	121,090	9,237	2 3/4
5 1/4	133,355	120,963	114,922	6,196	1,329	127,159	9,677	2 5/8
5 1/2	139,705	127,313	127,304	6,196	1,329	133,509	9,677	2 5/8
5 3/4	146,055	133,043	139,022	6,506	1,395	139,549	10,160	2 1/2
6	152,406	139,394	152,908	6,506	1,395	145,900	10,160	2 1/2

Συμβολισμός σπειρώματος.

Ο Συμβολισμός των σπειρωμάτων έχει τυποποιηθεί. Κάθε σπείρωμα συμβολίζεται με ένα γράμμα και έναν αριθμό που δείχνουν, τον τύπο της κατηγορίας του σπειρώματος και την ονομαστική διάμετρό του, σε ορισμένα σπειρώματα πρέπει να συμπληρωθεί ο συμβολισμός και με το αριθμητικό μέγεθος του βήματος.

Για τα περισσότερα διαδομένα σπειρώματα οι συμβολισμοί αυτοί είναι οι εξής:

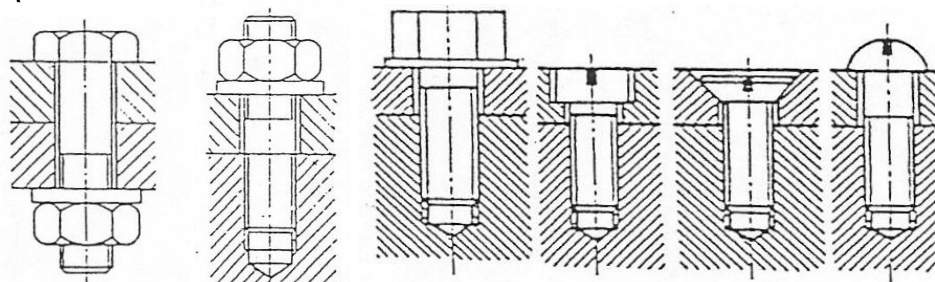
- α) ι) **M20** (με M συμβολίζεται το μετρικό σπείρωμα και με 20 η ονομαστική διάμετρος d).
- ιι) **M²⁰X1,5** (για λεπτό σπείρωμα με d = 20 mm και βήμα p = 1,5 mm).
- β) **R1 ¼** (Με R συμβολίζεται το σπείρωμα Whitworth και d = 1 ¼ in).
- γ) **Tr 40X7** (Με Tr συμβολίζεται το τραπεζοειδές σπείρωμα d = 40 mm και βήμα h = 7 mm).
- δ) **Rd40X1/6** (Με Rd συμβολίζεται το στρογγυλό σπείρωμα ε ονομαστική διάμετρο d = 40 mm και βήμα h = 1/6 in).
- ε) **S 70X10** (Με S συμβολίζεται το πριονοειδές σπείρωμα με d = 70 mm και h = 10 mm).

Όλα τα σπειρώματα κατασκευάζονται κατά κανόνα δεξιόστροφα. Όταν ένα σπείρωμα είναι αριστερόστροφο τότε πρέπει να αναφέρεται στον συμβολισμό του.

Είδος κοχλίων

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης διακρίνουμε:

- α. Τους περαστούς κοχλίες με κεφαλή και παξιμάδι, αυτός περνά και στα δυο κομμάτια.
- β. Τους φυτευτούς κοχλίες (μπουλόνια) με σπείρωμα και στα δυο άκρα. Η μια άκρη περνά ελεύθερα στο ένα κομμάτι και βιδώνεται στο άλλο. Στην άλλη άκρη τοποθετείται περικόχλιο.
- γ. Τους κοχλίες κεφαλής τους οποίους χρησιμοποιούμε για τη σύσφιξη σε τυφλή οπή.



α) Περαστός
Κοχλίας

β) Φυτευτός
Κοχλίας

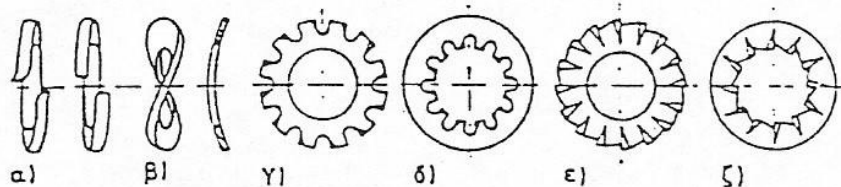
γ) Κοχλίες Κεφαλής

Ασφάλειες και ροδέλες

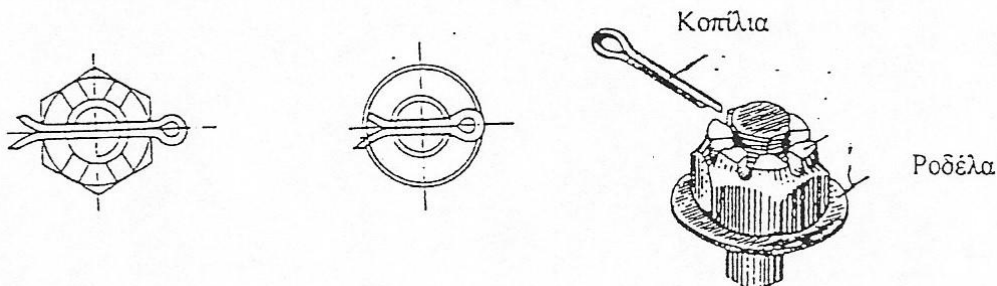
Οι κοχλίες συσφίξεως που καταπονούνται από σταθερά στατικά φορτία, δεν είναι απαραίτητο να ασφαρίζονται.

Αντίθετα, οι κοχλίες συσφίξεως που καταπονούνται από δυναμικά ή γενικότερα από κρουστικά φορτία, πρέπει να ασφαίζονται. Ο κανόνας αυτός πρέπει να τηρείται για να μη λυθεί μια κοχλιοσύνδεση λόγω μιας απρόβλεπτης ψυχρής ή θερμής καθίζησης.

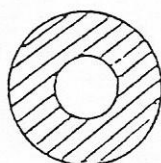
1. **Οι ασφάλειες** που ονομάζονται και «γκρόβερ» είναι ανεπίπεδες και έτσι κατά προένταση παραμορφώνονται κυρίως ελαστικά δρώντας σαν ελατήρια σε σύνδεση σειράς με αποτέλεσμα να μειώνουν τον κίνδυνο λυσίματος.



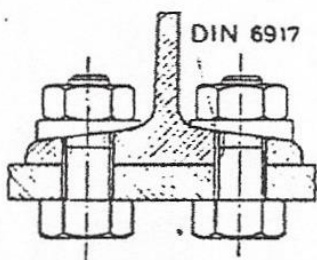
2. **Οι κοπίλιες** χρησιμοποιούνται συχνά σαν ασφάλειες διότι στερεώνουν απευθείας το περικόχλιο στον ? του κοχλία με σύνδεση μορφής και δίνουν απόλυτη ασφάλεια.



3. **Οι ροδέλες** τοποθετούμενες αυξάνουν την επιφάνεια επαφής και έτσι μειώνεται η αναπτυσσόμενη επιφανειακή τάση, κατά την προένταση μιας κοχλιοσύνδεσης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η τοπική πλαστική παραμόρφωση των στοιχείων από μαλακά μέταλλα.

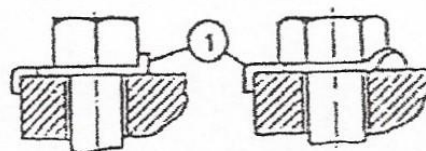
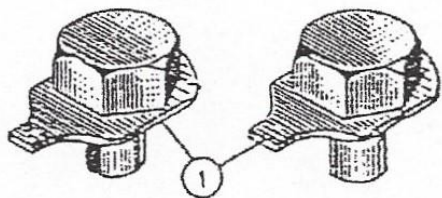


4. **Οι ροδέλες με κλίση** χρησιμοποιούνται όταν η επιφάνεια ενός στοιχείου δεν είναι κάθετη προς τον άξονα του κοχλία για να αποφευχθεί η καμπτική καταπόνηση του κορμού του κοχλία.



Τετραγωνικές ροδέλες με κλίση για συνδέσεις ράβδων με διατομή I

5. **Το έλασμα ασφαλείας.** Αυτό κάμπτεται από τη 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 έναν ορισμένο αριθμό συναρμολογήσεων και αποσυναρμολογήσεων.



7. Για την ασφάλιση των κοχλίων 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 κι έτσι κολλιέται και ασφαλίζεται ο κοχλίας και το περικόχλιο.

Οπές κοχλιώσεων

Για να περιοριστεί ο χρόνος συναρμολόγησης μια κοχλιώσεως και για να μην τραυματιστεί το σπείρωμα ενός κοχλίου κατά τη συναρμολόγηση ή την αποσυναρμολόγηση του, οι οπές των κοχλιώσεων κατασκευάζονται πάντοτε μεγαλύτερες από την ονομαστική διάμετρο του σπειρώματος.

Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες οπών κοχλιώσεων δηλαδή κατηγορίες των μικρών, των μέσων και μεγάλων διαμέτρων για κατασκευές μεγάλης, μέσης και μικρής ακρίβειας αντίστοιχα.

Στις γενικές μηχανολογικές κατασκευές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα οι μέσες διάμετροι του πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Κ4: Διάμετροι οπών κοχλίων D σε mm κατά DIN 69. Επιλογή.

Ονομαστική διάμετρος d κοχλίου	Διάμετρος D οπής		
	Μικρή	Μέση	Μεγάλη
2	2,2	2,4	2,6
2,5	2,7	2,9	3,1
3	3,2	3,4	3,6
3,5	3,7	3,9	4,1
4	4,3	4,5	4,8
5	5,3	5,5	5,8
6	6,4	6,6	7
7	7,4	7,6	8
8	8,4	9	10
10	10,5	11	12
12	13	14	15
14	15	16	17
16	17	18	19
18	19	20	21
20	21	22	24
22	23	24	26
24	25	26	28
27	28	30	32
28	29	31	33
30	31	33	35

6.5 Ποιότητα και υλικά κοχλίων και περικοχλίων

Οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ποιότητα και ο έλεγχος των κοχλίων και περικοχλίων καθορίζονται κατά DIN 267 και αναφέρονται στα έτοιμα τεμάχια χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος κατασκευής και η εμφάνιση.

Προσδιοριστικά στοιχεία για την ποιότητα των κοχλίων και περικοχλίων είναι:

Η κλάση παραγωγής που χαρακτηρίζεται με την ένδειξη A (παλαιότερα m = μέση), B (παλαιότερα mg = ημίχονδρη), C (παλαιότερα g = χονδρή) και F (παλαιότερα f = λεπτή). Οι επιτρεπόμενες ανοχές των μηκών, του σπειρώματος, του εξαγώνου και η ποιότητα επιφάνειας καθορίζονται, για τις διάφορες κλάσεις παραγωγής, σύμφωνα με τα DIN 267-2 και DIN ISO 4759-1.

Η κλάση αντοχής που χαρακτηρίζεται, για κοχλίες και περικόχλια, από δύο αριθμούς οι οποίοι χωρίζονται σε μία τελεία.

Ο πρώτος αριθμός (χαρακτηριστικός αριθμός αντοχής) δίνει το 1/100 της ελάχιστης αντοχής σε εφελκυσμό R_m σε N/mm^2 , ο δεύτερος το 10πλάσιο του λόγου ορίου διαρροής R_e προς R_m (R_e/R_m ή $R_{p0,2}/R_m$).

Για την κλάση αντοχής 5 · 6 το 5 σημαίνει: $R_m/100 = 500/100 = 5$
το 6 σημαίνει: $10 \cdot R_e/R_m = 10 \cdot 300/500 = 6$

Το 10πλάσιο γινόμενο των δύο αριθμών δίνει το ελάχιστο όριο διαρροής R_e σε N/mm^2 , δηλαδή $10 \cdot 5 \cdot 6 = 300 N/mm^2 = R_e$.

Ο κοχλίας και το περικόχλιο εφόσον συνεργάζονται πρέπει να έχουν την ίδια κλάση αντοχής.

Ο πίνακας 6-6 δίνει χαρακτηρισμό και τιμές αντοχής για χάλυβες κοχλίων και περικοχλίων.

Χαρακτηρισμός της κλάσης αντοχής για χάλυβα κοχλίων		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8 ²⁾	10.9	12.9
Αντοχή εφελ- κυσμού R _m	Ονομαστική τιμή	300	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	1200
	Ελάχιστη τιμή	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Όριο διαρροής R _e ή R _{p0,2} (από 8.8)	Ονομαστική τιμή	180	240	320	300	400	480	640	640	720	900	1080
	Ελάχιστη τιμή	190	240	340	300	420	480	640	660	720	940	1100
Χαρακτηρισμός της κλάσης αντο- χής για χάλυβα περικοχλίων	>M 16	4			5	6	8		9	10	12	
	≤M 16	5										

1) Για κοχλίες σε σιδηροκατασκευές από M12.

2) Μόνο για κοχλίες έως M16.

Πίνακας 6-6. Χαρακτηρισμός και τιμές αντοχής σε N/mm^2 για χάλυβες κοχλίων (DIN EN 20898) και περικοχλίων (DIN EN ISO 898-6).

6-6. Δυνάμεις στον κοχλία

Στη μέση διάμετρο d_2 ενός ορθογωνικού κοχλία (σχήμα 6-9α) επενεργεί η αξονική δύναμη F και η περιφερειακή F_u .

Αν παραλείψουμε την τριβή, τότε πρέπει για την ισορροπία των δυνάμεων η συνισταμένη F_e να συμπίπτει με τη διεύθυνση της καθέτου F_N (σχήμα 6-9β).

Θα έχουμε τότε

$$F_u = F \cdot \varepsilon \varphi \alpha \quad (6.2)$$

$$\mu \varepsilon \varepsilon \varphi \alpha = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_2} = \frac{P}{\pi \cdot d_2} \text{ από σχέση (6.1)}$$

Αν όμως ληφθεί υπόψη και η τριβή, το δε σπείρωμα του περικοχλίου αντικατασταθεί με ένα σώμα που ολισθαίνει και στο οποίο ενεργούν οι δυνάμεις αξονική F , περιφερειακή F_u και η F_e ως συνισταμένη της καθέτου F_N

και της δύναμης τριβής F_R , τότε σε περίπτωση ισορροπίας το πολύγωνο των δυνάμεων θα πρέπει να κλίνει.

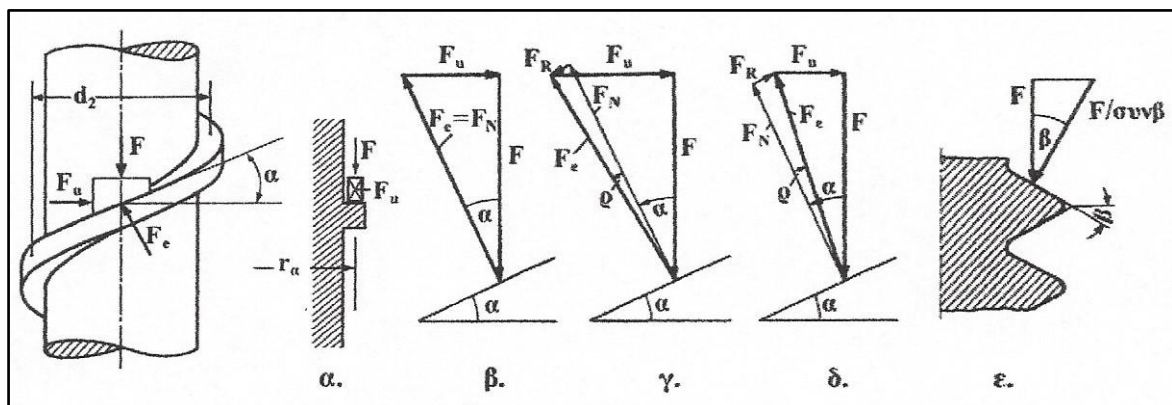
Δεδομένου ότι η δύναμη τριβής είναι πάντοτε αντίθετη στην κίνηση, για την ανύψωση του βάρους (που αντιστοιχεί στη σύσφιγξη του κοχλίου) ισχύει (σχήμα 6-9γ)

$$F_u = F \cdot \varepsilon\phi (\alpha + \varrho) \quad (6.3)$$

Για την κάθοδο του βάρους (απόσφιγξη του κοχλίου) κατά το σχήμα 6-9δ ισχύει

$$F_u = F \cdot \varepsilon\phi (\alpha - \varrho) \quad (6.4)$$

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε μετρικά, τραπεζοειδή ή παραπλήσια σπειρώματα οι πλευρές δεν είναι ορθογωνικές αλλά έχουν κλίση, οπότε στη θέση της F υπεισέρχεται η κάθετη συνιστώσα $F/\sigma\upsilon\nu\beta$ (σχήμα 6-9ε), στη θέση του συντελεστή τριβής μ ο $\mu' = \mu/\sigma\upsilon\nu\beta$ και της ϱ η ϱ' με $\mu' = \varepsilon\phi\varrho'$.



Σχήμα 6-9. Δυνάμεις στον κοχλία.

6.6.1 Ροπή τριβής στο σπείρωμα

Με τον μοχλοβραχίονα r^2 των δυνάμεων, η ροπή τριβής M_G στο σπείρωμα του κοχλίου, όταν κατά τη σύσφιγξη επιτευχθεί η αξονική δύναμη F , θα είναι

$$M_G = F_u \cdot r_2 = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon\phi (\alpha \pm \varrho') \text{ σε Nmm} \quad (6.5)$$

F αξονική δύναμη σε N

$r_2 = \frac{d_2}{2}$ ακτίνα της κατατομής του σπειρώματος σε mm από πίνακες

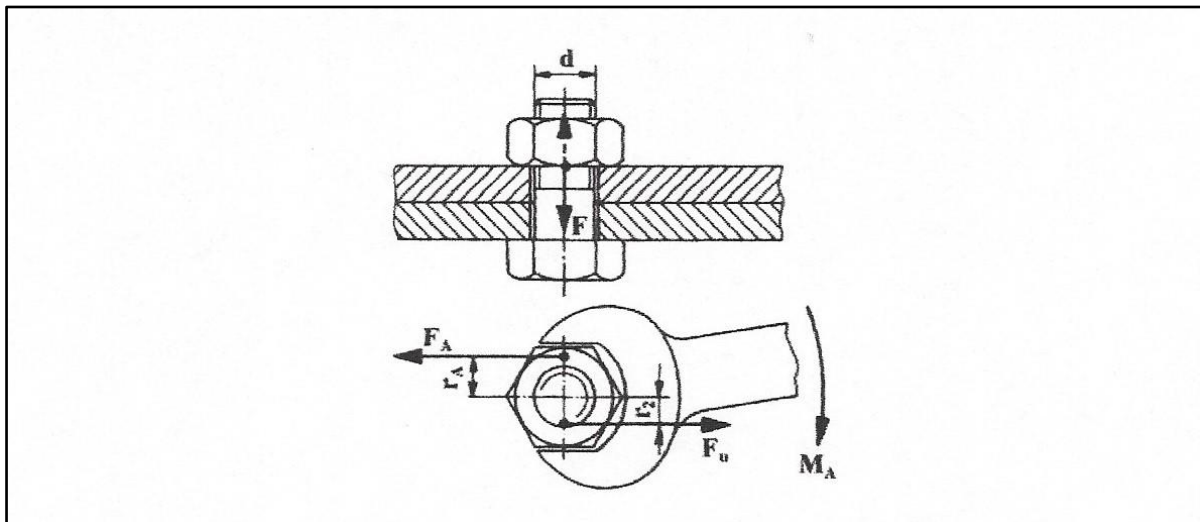
α γωνία κλίσης του σπειρώματος από σχέση (6.1). Για μετρικό σπείρωμα έως $M30$ είναι $\alpha \approx 2,3^\circ \dots 3,5^\circ$

ϱ' γωνία τριβής του σπειρώματος που εξαρτάται από την κατάσταση επιφάνειας και τη λίπανση
 $\varrho' \approx 8^\circ - 10^\circ$ ($\mu' \approx 0,14 - 0,18$) για ξηρά τριβή
 $\varrho' \approx 7,5^\circ - 8^\circ$ ($\mu' \approx 0,13 - 0,14$) για τριβή με λίπανση

Το σημείο + ισχύει για τη σύσφιγξη και το – για την απόσφιγξη του κοχλία.

6.6.2 Ροπή σύσφιγξης

Κατά τη σύσφιγξη του κοχλία, εκτός από τη ροπή τριβής M_G στο σπείρωμα, εμφανίζεται την τελευταία στιγμή δηλαδή κατά την επίτευξη της απαιτούμενης αξονικής δύναμης F , μία ροπή τριβής M_A μεταξύ της κεφαλής του κοχλία (ή περικοχλίου) και της επιφάνειας σύνδεσης (σχήμα 6-10).



Σχήμα 6-10. Ροπή στο σπείρωμα και στις επιφάνειες επαφής.

Λαμβάνουμε λοιπόν σαν ροπή σύσφιγξης M_{an}

$$\begin{aligned} M_{an} &= M_G + M_A = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon \varphi (\alpha \pm \varrho') + F \cdot \mu_A \cdot r_A = \\ &= F [r_2 \cdot \varepsilon \varphi (\alpha \pm \varrho') + \mu_A \cdot r_A] \quad \text{σε Nmm} \end{aligned} \quad (6.6)$$

F, r_2, α και ϱ' όπως στην σχέση (6.5)
 μ_A συντελεστής τριβής για τη επιφάνεια σύνδεσης. Για χάλυβα πάνω σε χάλυβα $\mu_A \approx 0,10 \dots 0,12$
 r_A μοχλοβραχίονας της δύναμης τριβής στην επιφάνεια σύνδεσης σε mm. Για εξάγωνο περικόχλιο λαμβάνεται $r_A \approx 0,7 d$

Για να προληφθεί μία υπερφόρτωση του κοχλία, η ροπή σύσφιγξης M_{an} δεν

πρέπει να τον καταπονήσει, μέσω αξονικής δύναμης F , περισσότερο από το 80% του ορίου διαρροής.

Επειδή ο συντελεστής τριβής επηρεάζεται τόσο από την επιφάνεια σύσφιγξης και τις συνθήκες λίπανσης όσο και από τη επαναλαμβανόμενη σύσφιγξη και απόσφιγξη του κοχλίου, ο ακριβής υπολογισμός της ροπής σύσφιγξης M_{an} είναι πολύ δύσκολος. Γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά, με ικανοποιητική ακρίβεια, η προσεγγιστική σχέση

$$M_{an} = 0,2 \cdot F \cdot d_2 \quad \text{σε Nmm} \quad (6.7)$$

Η απαιτούμενη αξονική δύναμη F επιτυγχάνεται με ασφάλεια με ειδικά κλειδιά σύσφιγξης, τα ροπόκλειδα. Μόλις επιτευχθεί η F το κλειδί, παρά την περιστροφή του, δε συσφίγγει πλέον τον κοχλίο.

6.7. Βαθμός απόδοσης

Στην περίπτωση ανύψωσης του βάρους, σε μία περιστροφή του περικοχλίου θα παραχθεί ωφέλιμο έργο $F \cdot P$, ενώ το έργο το οποίο θα καταβληθεί είναι $F_u \cdot d_2 \cdot \pi$.

Επομένως, ο βαθμός απόδοσης του κοχλίου θα είναι ο λόγος των δύο έργων δηλαδή

$$\eta_h = \frac{F \cdot P}{F_u \cdot d_2 \cdot \pi} = \frac{\varepsilon\varphi\alpha}{\varepsilon\varphi(\alpha + \varrho')} \quad (6.8)$$

διότι $F_u = F \cdot \varepsilon\varphi(\alpha + \varrho')$ (σχέση 6.3 με $\varrho = \varrho'$)

και $\varepsilon\varphi\alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$ (σχέση 6.1)

Στην περίπτωση καθόδου του βάρους θα είναι αντίστροφα το ωφέλιμο έργο $F_u \cdot d_2 \cdot \pi$ ενώ το έργο που θα καταβληθεί είναι $F \cdot P$. Επομένως, ο βαθμός απόδοσης του κοχλίου θα είναι εδώ

$$\eta_s = \frac{F_u \cdot d_2 \cdot \pi}{F \cdot P} = \frac{\varepsilon\varphi(\alpha - \varrho')}{\varepsilon\varphi\alpha} \quad (6.9)$$

διότι $F_u = F \cdot \varepsilon\varphi(\alpha - \varrho')$ (σχέση 6.4 με $\varrho = \varrho'$)

Αν $\varrho' \geq \alpha$, τότε γίνεται $\varepsilon\varphi(\alpha - \varrho') \leq 0$ κι επίσης $\eta_s \leq 0$. Αυτό σημαίνει ότι ο κοχλίας είναι «αφ' εαυτού σταθερός» και οποιαδήποτε αξονική δύναμη δεν

μπορεί να περιστρέψει τον κοχλία για την κάθοδο του βάρους. Αυτό είναι δυνατό μόνο αν εφαρμόσουμε μια ροπή αντίθετη από εκείνη που απαιτείται για την άνοδο του βάρους.

Η αφ' εαυτού σταθερότης χρησιμοποιείται συχνά σαν ασφάλεια για να μην κατέρχεται μόνο του το βάρος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θέση του κοχλία (κατακόρυφη, οριζόντια ή κεκλιμένη) δεν έχει ουσιαστική σημασία. Βασικά με άνοδο του βάρους εννοούμε μία κατά μήκος κίνηση αντίθετη προς τη διεύθυνση επενέργειας της δύναμης και με κάθοδο του βάρους μία κατά μήκος κίνηση κατά τη διεύθυνση επενέργειας της δύναμης.

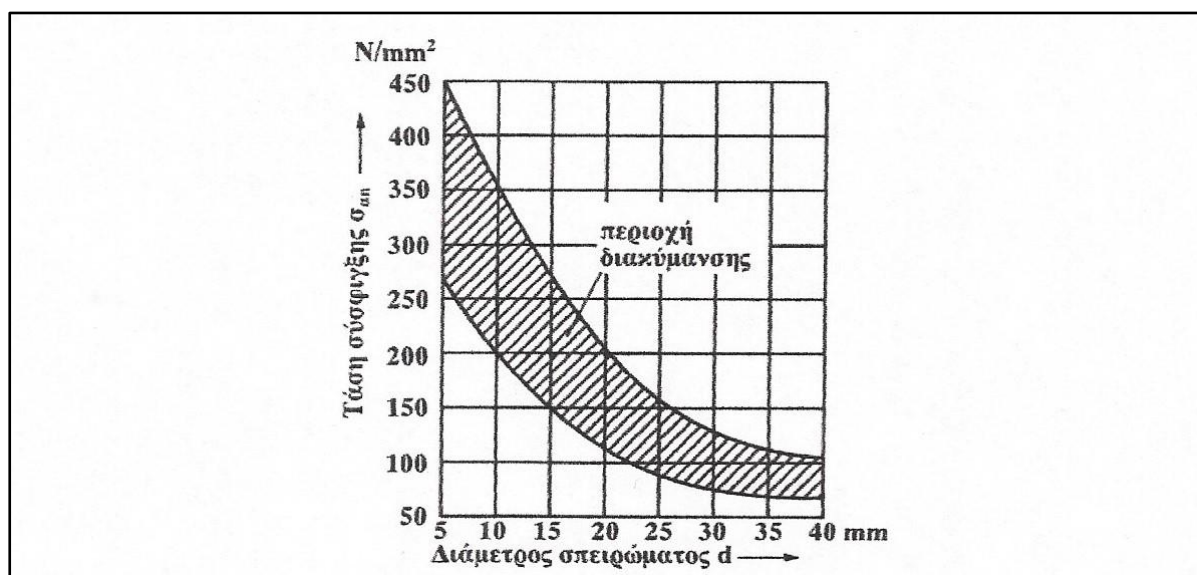
6.8. Δύναμη πρότασης – Διάγραμμα πρότασης

Με τη σύσφιγξη ενός κοχλία παράγεται στη διατομή του πυρήνα μια τάση σύσφιγξης σ_{an} που εξαρτάται από την αίσθηση σύσφιγξης του τεχνίτη και κυμαίνεται σε ευρέα όρια (σχήμα 6-11α). Η αναμενόμενη δύναμη πρότασης F_V θα είναι τότε

$$F_V = A_k \cdot \sigma_{an} \quad \text{σε N} \quad (6.10)$$

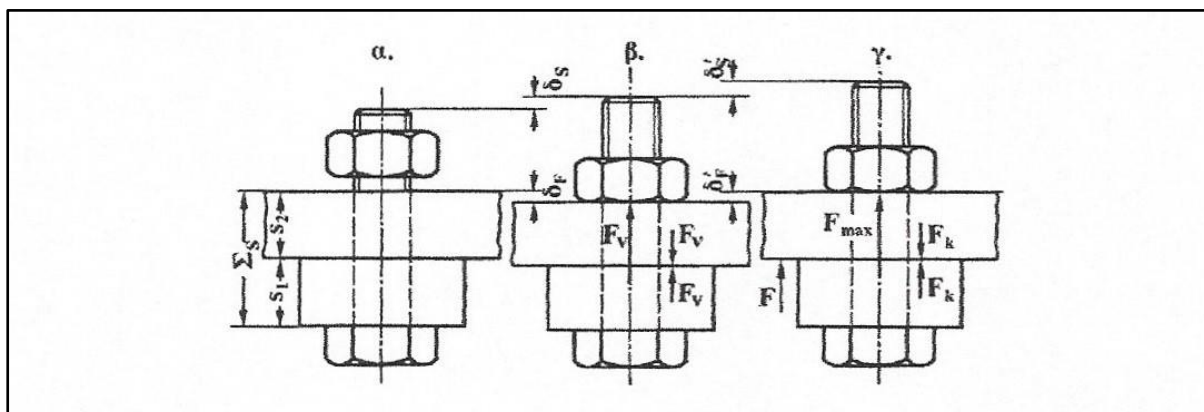
A_k διατομή πυρήνα του κοχλία σε mm^2

σ_{an} τάση που προέρχεται από τη σύσφιγξη σε N/mm^2 . Περίπου μέσος όρος στην περιοχή διακύμανσης του σχήματος 6-11α.



Σχήμα 6-11α. Τάση σύσφιγξης που εξαρτάται από την αίσθηση του τεχνίτη. [1]

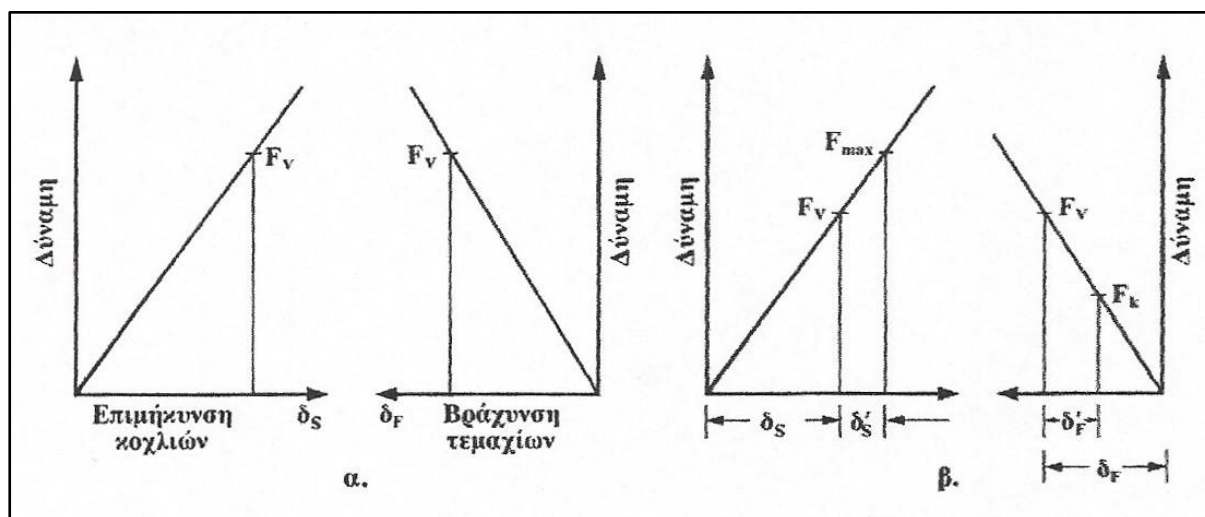
Έστω τώρα ότι έχουμε δύο τεμάχια προς σύνδεση με κοχλίες, όπως στο σχήμα 6-11.



Σχήμα 6-11. Δυνάμεις και μεταβολές των μηκών σε μία κοχλιοσύνδεση. α. χωρίς πρόταση, β. με πρόταση F_v , γ. με δύναμη λειτουργίας F . [1]

Αν συσφιχθούν οι κοχλίες μέχρι τη δύναμη πρότασης F_v , τότε αυτοί μεν θα επιμηκυνθούν κατά δ_s ενώ συγχρόνως τα συμπιεζόμενα τεμάχια θα βραχυνθούν κατά δ_F .

Η ανωτέρω κατάσταση παριστάνεται γραφικά στο σχήμα 6-12α όπου η επιμήκυνση εμφανίζεται σαν θετική και η βράχυνση σαν αρνητική γραμμική παραμόρφωση.



Σχήμα 6-12. Κατασκευή του διαγράμματος πρότασης.

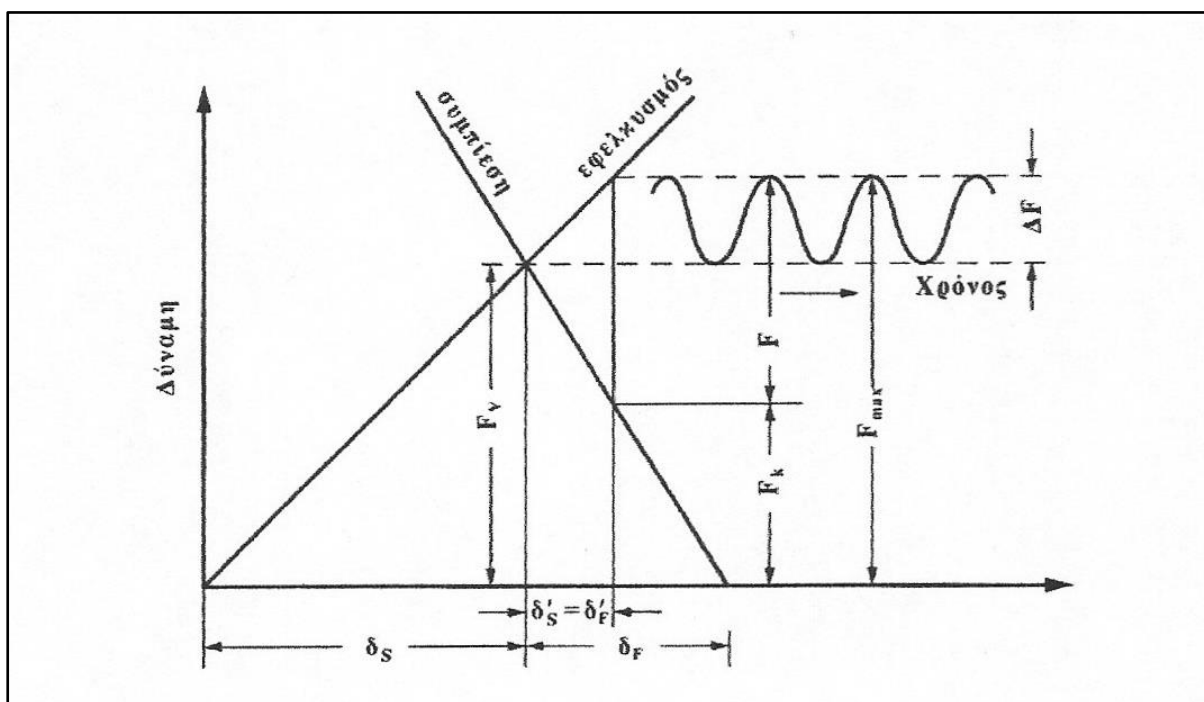
Το μέγεθος F_v είναι κοινό και για τις δύο ευθείες γιατί είναι η δύναμη που ασκείται τόσο στους κοχλίες όσο και στα τεμάχια.

Αν τώρα ενεργήσει μία δύναμη λειτουργίας F η οποία τείνει να διαχωρίσει τα δύο τεμάχια τότε οι κοχλίες θα καταπονηθούν ακόμη περισσότερο, μέχρι τη δύναμη F_{max} και θα επιμηκυνθούν κατά δ'_s επί πλέον.

Από την άλλη πλευρά τα τεμάχια θα αποσυμπιεστούν και η βράχυνση τους θα μειωθεί κατά $\delta'_F = \delta'_S$, θα εξασκείται δε τελικά πάνω σε αυτά μια μικρότερη, παραμένουσα δύναμη F_k (σχήμα 6-12β).

Η αποσυμπίεση των τεμαχίων, λόγω της δύναμης λειτουργίας F , δεν πρέπει βέβαια να είναι τόσο μεγάλη ώστε να μηδενισθεί η παραμένουσα δύναμη F_k . Γι' αυτό το λόγο πρέπει η πρόταση F_V να είναι αρκετά μεγάλη. Για προσεγγιστικούς υπολογισμούς μπορεί να ληφθεί $F_V \approx 2 \dots 3 F$.

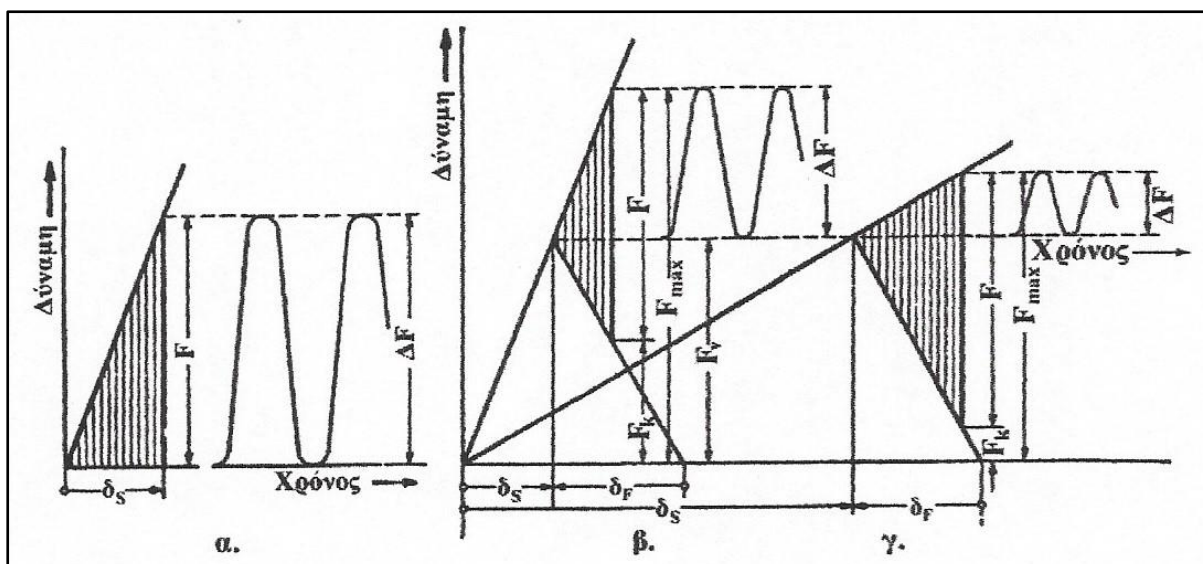
Από την ενοποίηση των διαγραμμάτων α, β του σχήματος 6-12, προκύπτει διάγραμμα πρότασης (σχήμα 6-13).



Σχήμα 6-13. Διάγραμμα πρότασης μιας κοχλιοσύνδεσης.

Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό, όταν η δύναμη λειτουργίας μεταβάλλεται από 0 έως F , εφόσον υπάρχει πρόταση F_V , η δύναμη στον κοχλία μεταβάλλεται μόνο κατά $\Delta F = F_{\max} - F_V$. Αν όμως λείπει η πρόταση, τότε η ΔF θα γίνει σημαντικά μεγαλύτερη ίση με F (σχήμα 6-14α).

Δεδομένου δε ότι από την ΔF εξαρτάται η θραύση ή μη του κοχλία λόγω δυναμικής καταπόνησης, η πρόταση δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας του κοχλία όταν καταπονείται δυναμικά.



Σχήμα 6-14. Διαγράμματα πρότασης α. χωρίς πρόταση, β. με πρόταση F_V , γ. με πρόταση F_V και κοχλίες μήκυνσης.

Εκτός από τα ανωτέρω, τα σχήματα 6-14β και 6-14γ δείχνουν ότι όσο το δ_F/δ_S είναι μεγαλύτερο (δηλαδή μη ελαστικοί κοχλίες – ελαστικά τεμάχια σύνδεσης) τόσο η ΔF γίνεται μεγαλύτερη. Συνιστάται λοιπόν επαρκής πρόταση F_V και αρκετά μικρό δ_F/δ_S .

Για τον υπολογισμό της ΔF , από την ομοιότητα των τριγώνων στο σχήμα 6-13 προκύπτει

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\delta_F}{\delta_F + \delta_S}$$

$$\text{και} \quad \Delta F = F \frac{\delta_F/\delta_S}{1 + \delta_F/\delta_S} \quad (6.11)$$

Για το δ_F/δ_S δίνονται συνήθως πειραματικές ή εμπειρικές τιμές. Πολλές φορές όμως δίνεται ο λόγος $\frac{F}{F_{\max}}$ (0,3...0,7 για κανονικές περιπτώσεις) οπότε ο υπολογισμός γίνεται με βάση τη δύναμη λειτουργίας F .

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 mm² (πίνακες 6-1, 6-2). Επειδή το όριο διαρροής είναι μεγαλύτερο, λόγω ενίσχυσης από τις σπείρες, στο τμήμα του σπειρώματος παρά το γυμνό κορμό του κοχλίου, λαμβάνεται ως επιφάνεια αναφοράς η διατομή τάσης A_S και όχι η διατομή 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 εφελκύει τον κοχλίο. Αν έχουμε πρόταση και δυναμική καταπόνηση, τότε θα είναι $F_{\max} = F_v + \Delta F$.
 Ως $\sigma_{\text{επ}}$ 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).

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

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

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

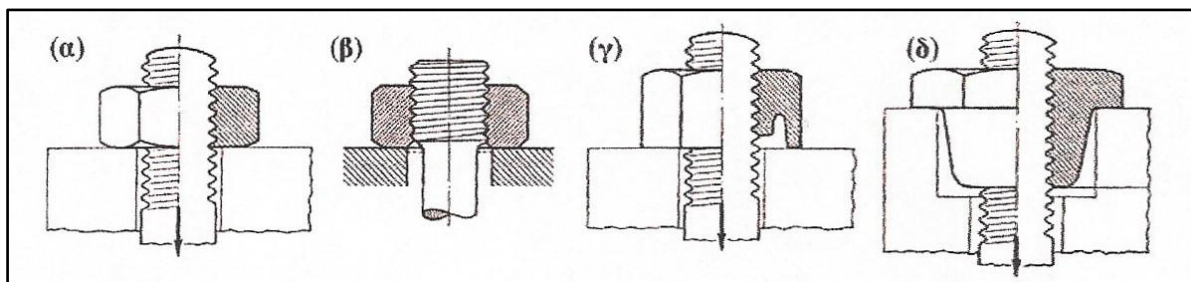
- σ_a τάση απόκλισης στον πυρήνα του κοχλίου σε N/mm²
 ΔF δύναμη διαφοράς σε N (σχέση 6.11)
 A_k διατομή του πυρήνα του κοχλίου σε mm² (πίνακας 6-1, 6-2). Επειδή οι τάσεις λόγω εγχοπών εμφανίζονται στο βάθος του σπειρώματος, ως επιφάνεια αναφοράς για δυναμική καταπόνηση λαμβάνεται η διατομή του πυρήνα A_k
 σ_{AG} διαμορφωτική αντοχή απόκλισης σε N/mm² του πυρήνα του κοχλίου που εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής του
 $\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A$ 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/mm² 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).

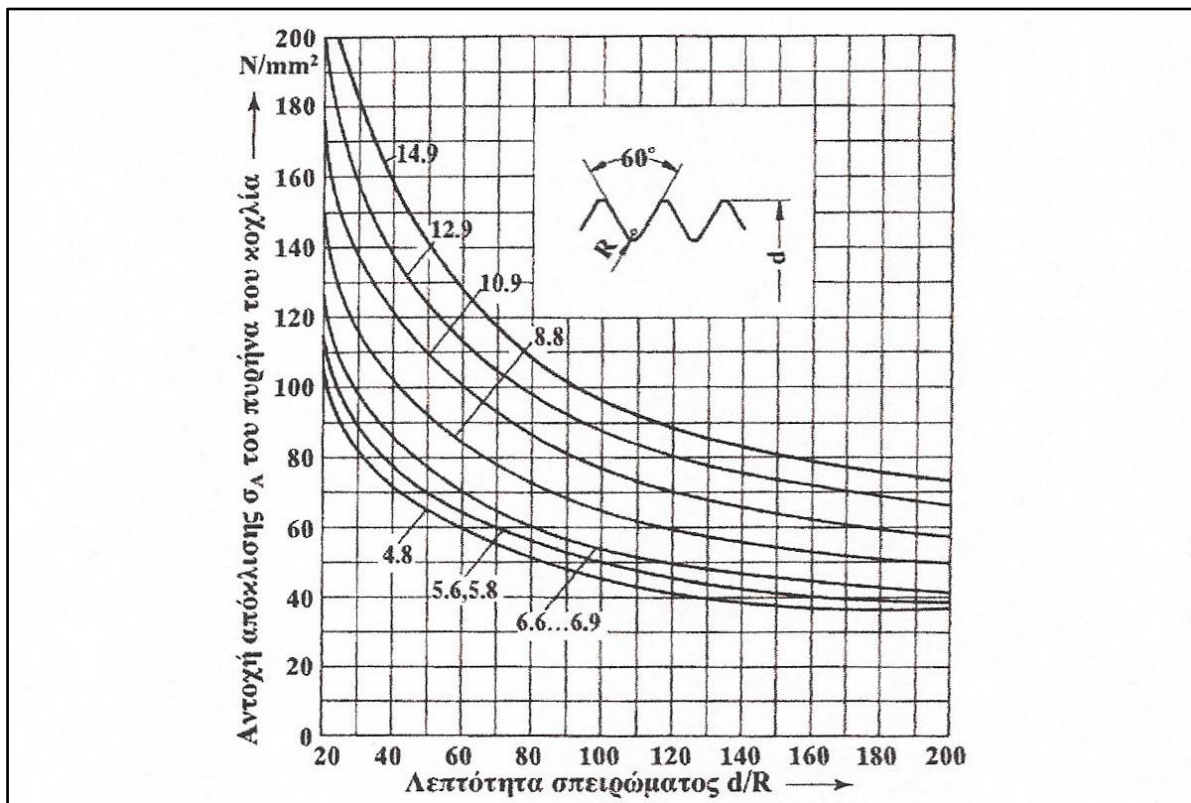
Για αρχικούς κατά προσέγγιση υπολογισμούς σε δυναμική καταπόνηση μπορεί στη σχέση (6.12) να ληφθεί $\sigma_{\text{επ}} \approx 0,3 \cdot R_e$ ή $\sigma_{\text{επ}} \approx 0,3 \cdot R_{p0,2}$.

Τρόπος κατασκευής κοχλίας	Κοπή ή εξέλαση μέσω πλακών		Εξέλαση σπειρώματος μετά τη διαμόρφωση	Βελτίωση και εξέλαση		Επιφανειακή βαφή σπειρώματος
K_1	1		1,2	1,3		1,4
Είδος περικοχλίου	πίεσεως (α)	είδος (β)	είδος (γ)	είδος (δ)	αλουμινίου	ορείχαλκου, χυτοσιδήρου
K_2	1	1,05	1,1	1,2	1,1	1,15

Πίνακας 6-7α. Συντελεστές K_1 και K_2 εξαρτώμενοι από τον τρόπο κατασκευής του κοχλία και του περικοχλίου (βλέπε πίνακα 6-7β).



Πίνακας 6-7β. Είδη περικοχλίων.

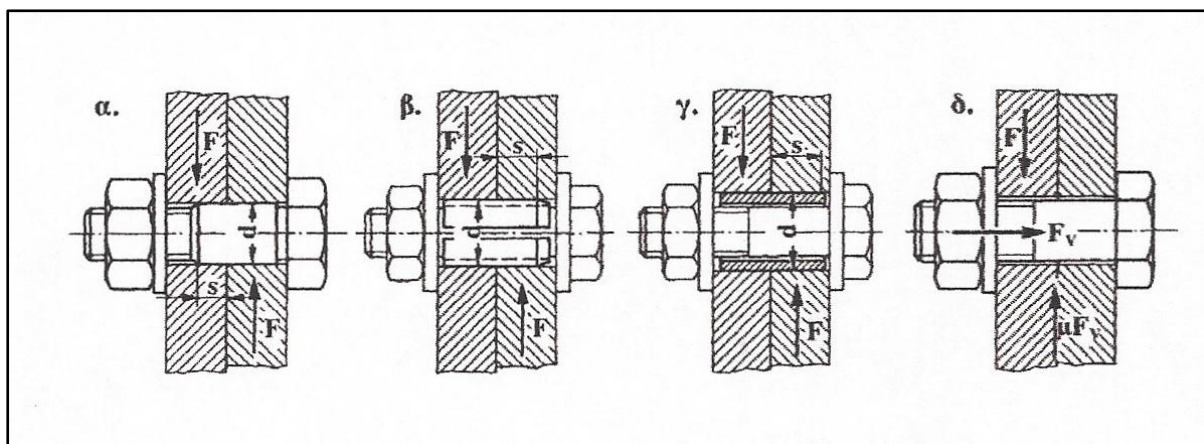


Πίνακας 6-7γ. Αντοχή απόκλισης σ_A του πυρήνα ενός κοχλία κατασκευασμένου με κοπή ή εξέλαση.[1]

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 στη οπή (όπως οι κοχλίες εφαρμογής) και μπορούν να παραλάβουν μεγάλες δυνάμεις.

Κοχλίες περαστοί (σχήμα 6-15δ) οι οποίοι πρέπει να συσφιχθούν 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_a	τάση διάτμησης σε N/mm^2
F	εγκάρσια δύναμη ανά κοχλία σε N
A	διατομή που καταπονείται σε διάτμηση (κορμός κοχλία ή δακτύλιος κατά περίπτωση) σε mm^2
m	αριθμός τομών. Για σύνδεση δύο ελασμάτων $m = 1$ (σχήμα 6-15). Για σύνδεση τριών ελασμάτων $m = 2$.
σ_e	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)
$\tau_{aεπ} \approx 0,6 \cdot R_e$	για στατική καταπόνηση
$\tau_{aεπ} \approx 0,5 \cdot R_e$	για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση
$\tau_{aεπ} \approx 0,4 \cdot R_e$	για αντιστρεφόμενη καταπόνηση
	με R_e το όριο διαρροής του κοχλία (πίνακας 6-6) ή του δακτυλίου
$\sigma_{λεπ} \approx 0,75 \cdot R_m$	ή $1,2 \cdot R_e$ για στατική καταπόνηση
$\sigma_{λεπ} \approx 0,6 \cdot R_m$	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 $\tau_{aεπ} \approx 300 N/mm^2$ και $\sigma_{λεπ}$ 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

$$\sigma = \frac{F_V}{A_K} = \frac{F}{\mu \cdot A_K} \leq \sigma_{επ} \quad (6.16)$$

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

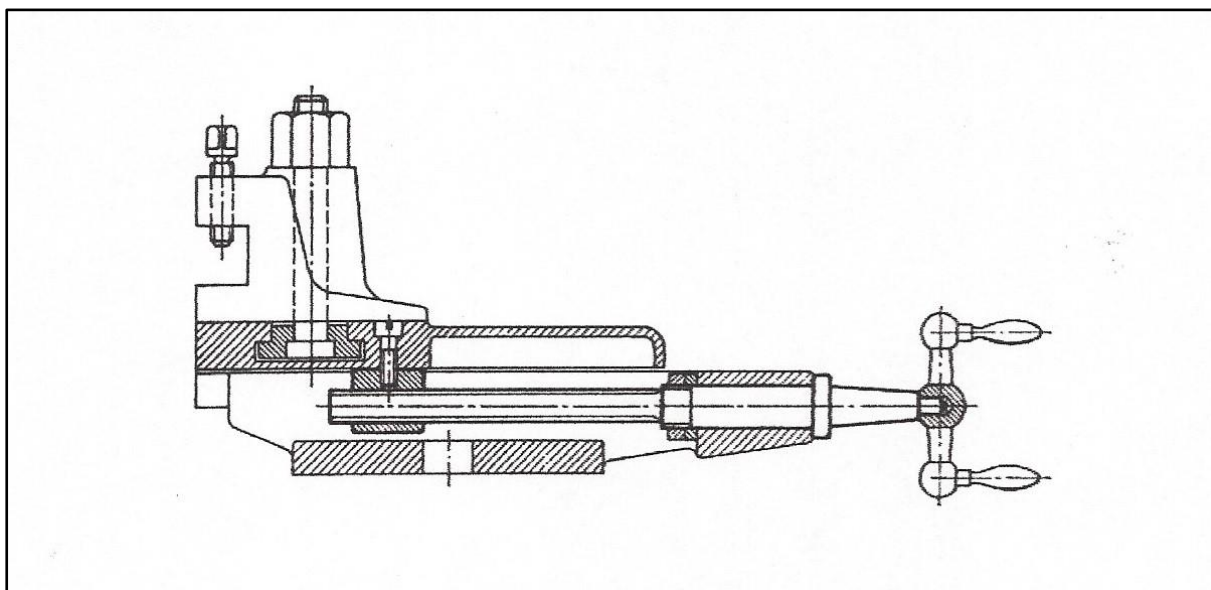
μ	συντελεστής τριβής (ηρεμίας, με ξηρά τριβή) για χάλυβα πάνω σε χάλυβα για χάλυβα πάνω σε χυτοσίδηρο ή ορείχαλκο για χυτοσίδηρο πάνω σε χυτοσίδηρο ή ορείχαλκο	$\mu = 0,12 \dots 0,20$ $\mu = 0,18 \dots 0,25$ $\mu = 0,22 \dots 0,26$
$\sigma_{\varepsilon\pi}$	επιτρεπόμενη τάση εφελκυσμού στον κοχλία σε N/mm^2 $\sigma_{\varepsilon\pi} \approx 0,7 R_e$	

6.10 Κοχλίες κίνησης

6.10.1. Γενικά

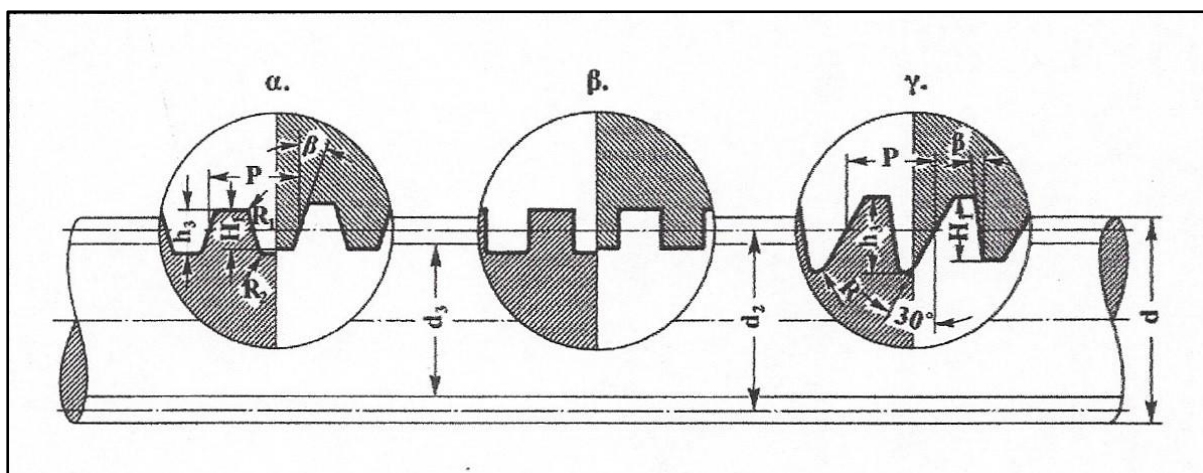
Κοχλίες που μετατρέπουν την περιστροφική σε κατά μήκος κίνηση λέγονται κοχλίες κίνησης. Οι τελευταίοι υπάρχουν σε τόννους (οδηγός ράβδος), πρέσες, αποφρακτικά όργανα κλπ. Ένα παράδειγμα παρουσιάζει το σχήμα 6-16.

Επειδή το βήμα των τριγωνικών σπειρωμάτων είναι πολύ μικρό, οι κοχλίες κίνησης κατασκευάζονται συνήθως με τραπεζοειδές σπείρωμα κατά DIN ISO 103 (πίνακας 6-5).

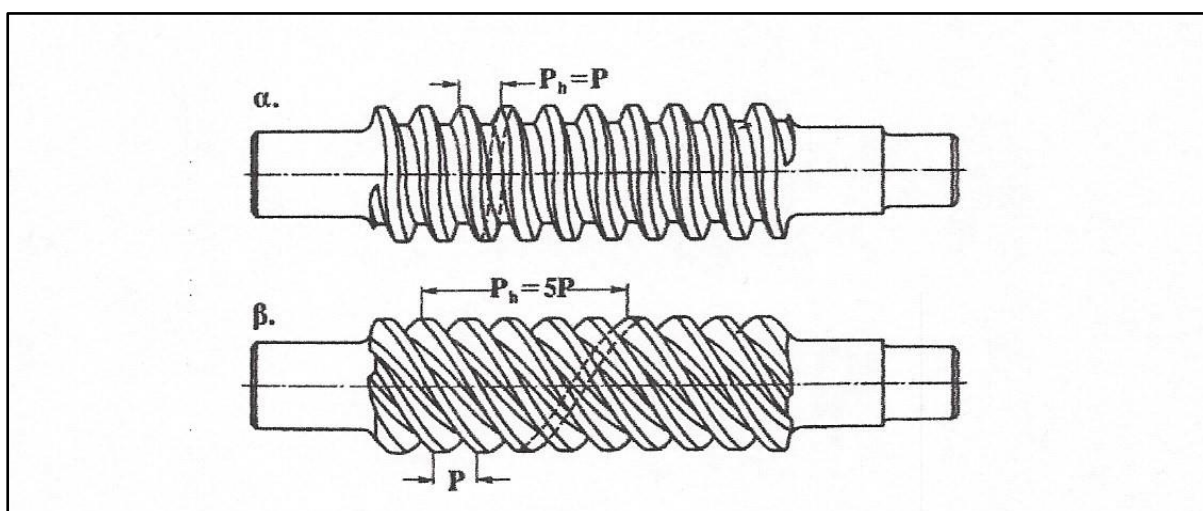


Σχήμα 6-16. Κοχλίας κίνησης σε ένα εργαλειοφορείο.

Τα τετραγωνικό σπείρωμα είναι δυσκολότερο στην κατασκευή του, δεν είναι τυποποιημένο και σχεδόν δε χρησιμοποιείται πλέον. Για την παραλαβή μονόπλευρων δυνάμεων ενδείκνυται το πριονοειδές σπείρωμα (σχήμα 6-17).



Σχήμα 6-17. Κοχλίες κίνησης με σπείρωμα. α. Τραπεζοειδές, β. τετραγωνικό, γ. πριονοειδές. Ταχύτερες κατά μήκος κινήσεις του περικοχλίου επιτυγχάνονται με κοχλίες με περισσότερες αρχές. Στην περίπτωση αυτή, ελικοειδείς γραμμές με το ίδιο βήμα είναι παράλληλες μεταξύ τους πάνω στον πυρήνα του κοχλίας (σχήμα 6-18).



Σχήμα 6.18. Κοχλίες με διαφορετικές αρχές. α. τραπεζοειδής κοχλίας με μια αρχή, β. τραπεζοειδής κοχλίας με πέντε αρχές.

Για n αρχές θα έχουμε

$$P_h = P \cdot n \quad (6.17)$$

P_h βήμα σε κοχλία με πολλές αρχές
 P βήμα σε κοχλία με μία αρχή
 n αριθμός αρχών

Περικόχλια από χυτοσίδηρο (για κοχλία σκληρυμένο) ή από ορείχαλκο δημιουργούν πολύ καλές συνθήκες ολίσθησης μεταξύ των κατατομών.

6.10.2. Υπολογισμός σε αντοχή – λυγισμό

Η αξονική δύναμη λειτουργίας F καταπονεί τον πυρήνα του κοχλία σε εφελκυσμό ή θλίψη και η ροπή στρέψης σε στρέψη.

$$\text{Τάση εφελκυσμού ή θλίψης} \quad \sigma = \frac{F}{A_k} \quad (6.18)$$

$$\text{Τάση στρέψης} \quad \tau_t = \frac{T}{W_t} = \frac{T}{0,2 \cdot d_3^3} \quad (6.19)$$

σ	τάση εφελκυσμού ή θλίψης στον κοχλία σε N/mm^2
τ_t	τάση στρέψης στον κοχλία σε N/mm^2
F	αξονική δύναμη λειτουργίας σε N
A_k	διατομή του πυρήνα του κοχλία σε mm^2
W_t	(πολική) ροπή αντίστασης σε στρέψη $\approx 0,2 \cdot d_3^3$ σε mm^3
d_3	διάμετρος του πυρήνα του κοχλία σε mm
T	ροπή στρέψης που καταπονεί τον κοχλία σε Nmm

Αν δε χρειάζεται να υπερνικηθούν άλλες δυνάμεις τριβής, τότε η T αντιστοιχεί στη ροπή τριβής M_G στο σπείρωμα (σχέση 6.5) δηλαδή

	$T = M_G = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon\phi (\alpha \pm \varrho')$
F	αξονική δύναμη στον κοχλία σε N
$r_2 = \frac{d_2}{2}$	ακτίνα κατατομής του σπειρώματος από πίνακες π.χ. για τραπεζοειδή κοχλία από πίνακα 6-5
α	γωνία σπειρώματος. $\varepsilon\phi\alpha = \frac{P_h}{d_2 \cdot \pi}$ με P_h από σχέση (6.17). Για τραπεζοειδή κοχλία με μία αρχή είναι $\alpha \approx 3^\circ \dots 5,5^\circ$ περίπου
ρ'	γωνία τριβής του σπειρώματος Για τραπεζοειδή χαλύβδινο κοχλία, χαλύβδινο περικόχλιο και ξηρά τριβή $\varrho' = 9^\circ$ ($\mu' \approx 0,16$). Για περικόχλιο από α. χυτοσίδηρο, β. ορείχαλκο, γ. φωσφορούχο ορείχαλκο και ξηρά τριβή $\varrho' \approx 10^\circ$ ($\mu' \approx 0,18$) για α. και $\varrho' \approx 12^\circ$ ($\mu' \approx 0,21$) για β. γ. Για τα ανωτέρω υλικά αλλά με λίπανση $\varrho' \approx 6^\circ$ ($\mu' \approx 0,11$)

Οι δύο ανωτέρω καταπονήσεις δίνουν μία ισοδύναμη τάση σ_v που είναι

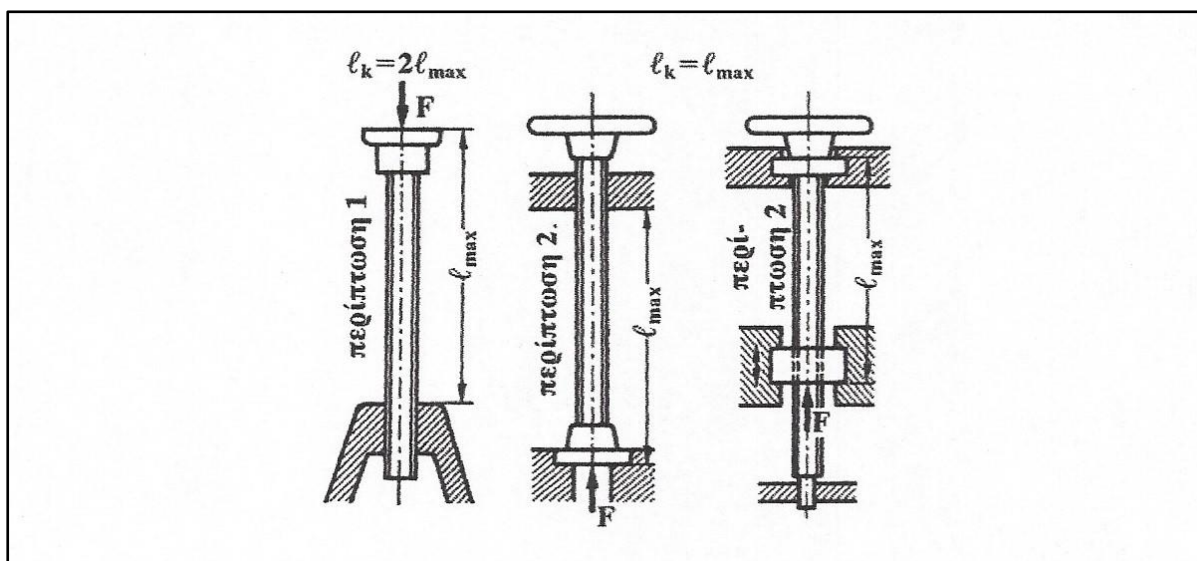
$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_t^2} \leq \sigma_{\text{veπ}} \quad \text{σε } N/mm^2 \quad (6.20)$$

σ τάση εφελκυσμού ή θλίψης σε N/mm^2 (σχέση 6.18)
 τ_t τάση στρέψης σε N/mm^2 (σχέση 6.19)
 $\sigma_{\text{νεπ}}$ επιτρεπόμενη ισοδύναμη τάση σε N/mm^2
 Λαμβάνεται $\sigma_{\text{νεπ}} \approx 0,2 \cdot R_m$ για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση
 $\sigma_{\text{νεπ}} \approx 0,13 \cdot R_m$ για αντιστρεφόμενη καταπόνηση

Η αντοχή σε εφελκυσμό R_m εξαρτάται από το υλικό του κοχλίου και είναι
 $R_m = 500 N/mm^2$ για κοχλίες από St50 και $R_m = 600 N/mm^2$ για κοχλίες από St60.

Στο προινοειδές σπείρωμα, λόγω μικρότερης συγκέντρωσης τάσεων
 (μεγαλύτερη ακτίνα καμπυλότητας στη βάση του σπειρώματος) λαμβάνεται
 $\sigma_{\text{νεπ}} \approx 0,25 \cdot R_m$ για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση
 $\sigma_{\text{νεπ}} \approx 0,16 \cdot R_m$ για αντιστρεφόμενη καταπόνηση

Κοχλίες που καταπονούνται σε θλίψη πρέπει να ελεγχθούν και σε **λυγισμό**. Το σχήμα 6-19 παρουσιάζει τις δύο περιπτώσεις λυγισμού που εμφανίζονται αποκλειστικά στους κοχλίες κίνησης.



Σχήμα 6-19. Συνήθειες περιπτώσεις λυγισμού για κοχλίες κίνησης. [1]

Η ασφάλεια έναντι λυγισμού εξαρτάται από το βαθμό λυγηρότητας λ του κοχλίου. Για χαλύβδινους κοχλίες (συνήθως St 50...St 60) ισχύει για $\lambda \geq 90$ υπολογισμός κατά Euler

$$S_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \quad (6.21)$$

Για $\lambda < 90$ υπολογισμός κατά Tetmajer

$$S_k = \frac{335 - 0.62 \cdot \lambda}{\sigma'} \geq 1.75 \dots 4 \quad (6.22)$$

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

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

$$\approx 5 \dots 10 \text{ N/mm}^2 \quad \text{για περικόχλια χυτοσιδηρά}$$

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

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

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Συγκολλήσεις είναι οι μη λύόμενες συνδέσεις των κομματιών με κρυσταλλική σύνδεση μέσω θερμότητας ή πίεσης. Δηλαδή συγκόλληση σημαίνει κρυσταλλική σύνδεση δύο στοιχείων.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την κρυσταλλική σύνδεση δυο τεμαχίων είναι:

α) Τα στοιχεία να είναι από το **ίδιο υλικό** ή από υλικά που μπορούν να δημιουργήσουν ένα κράμα.

β) Μεταξύ των στοιχείων να μην παρεμβάλλεται **ξένο υλικό** (οι επιφάνειες που θα συγκολληθούν να είναι καθαρές).

γ) Η **ενεργειακή κατάσταση** του υλικού των στοιχείων στη θέση συγκόλλησης πρέπει να αυξηθεί τόσο ώστε η κρυσταλλική σύνδεση να μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Η συγκόλληση σαν στοιχείο σύνδεσης έχει αντικαταστήσει κυρίως τις ηλώσεις και κατά ένα μέρος τις κοχλιώσεις και τη χύτευση. Η μεγάλη εφαρμογή των συγκολλήσεων οφείλεται στα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν.

Πλεονεκτήματα συγκολλητών συνδέσεων έναντι κυρίως ηλώσεων και κοχλιώσεων

1. Είναι ελαφρότερες.
2. Είναι πλέον κατάλληλες για κατασκευές που πρέπει να έχουν στεγανότητα.
3. Είναι αξιόπιστες κατασκευές. Αυτό οφείλεται στην πρόοδο παραγωγής καλών υλικών και την εξέλιξη των μεθόδων συγκόλλησης.
4. Έχουν μικρό κόστος και απαιτούν μικρό χρόνο κατασκευής.
5. Αν εκτελεστούν με ορισμένες προϋποθέσεις έχουν καλή μηχανική αντοχή.
6. Δεν εξασθενούν τα υλικά, γιατί λείπουν οι τρύπες που κάνουμε στις ηλώσεις και κοχλιώσεις.
7. Παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο οξείδωσης.

Μειονεκτήματα συγκολλητών συνδέσεων

1. Η ποιότητα της συγκόλλησης εξαρτάται από τη δεξιότητα του τεχνίτη.
2. Η τοπική μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί στρεβλώσεις των κομματιών.
3. Στην περιοχή της συγκόλλησης δημιουργείται μεταβολή του ιστού που μπορεί να μειώσει την αντοχή.
4. Είναι δύσκολη η συγκόλληση μεγάλων κομματιών όταν αυτή γίνεται επί τόπου.
5. Δεν είναι δυνατή η συγκόλληση όλων των υλικών.

Μέθοδοι συγκόλλησης

Οι μέθοδοι συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες. Στις **συγκολλήσεις τήξεως** και **στις συγκολλήσεις πίεσεως**.

α) **Κατά τη συγκόλληση τήξεως:** τα εξαρτήματα τοποθετούνται κατά κανόνα έτσι ώστε να εφάπτονται κατά μήκος μιας επιφάνειας με μεγάλο μήκος και περιορισμένο πλάτος. Η επιφάνεια αυτή ονομάζεται συγκολλητή ραφή. Η συγκόλληση γίνεται με την τήξη των άκρων των κομματιών ή με την τήξη των κομματιών και ενός συγκολλητικού υλικού ή με την τήξη μόνο του συγκολλητικού υλικού.

Τις συγκολλήσεις τήξεως τις χωρίζουμε σε δύο υποκατηγορίες:

- i) Στις αυτογενείς συγκολλήσεις και
- ii) Στις ετερογενείς συγκολλήσεις.

Στις αυτογενείς συγκολλήσεις τα συνδεόμενα κομμάτια όσο και τα συγκολλητικά έχουν την ίδια περίπου σύσταση και τήκονται και τα δύο.

Στις ετερογενείς συγκολλήσεις τήκεται μόνο το συγκολλητικό υλικό, αυτό είναι διαφορετικό από τα συνδεόμενα κομμάτια και έχει σημείο τήξεως χαμηλότερο από αυτά.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι συγκόλλησης τήξεως είναι: η **ηλεκτροσυγκόλληση** και η **οξυγονοκόλληση** (αυτογενής συγκόλληση).

i) Κατά την **ηλεκτροσυγκόλληση** η θερμότητα που χρειάζεται για την τήξη του υλικού, παράγεται με τη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος και τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου από ένα ηλεκτρόδιο.

Αν το υλικό του ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται συγχρόνως και για πρόσθετο υλικό της ραφής τότε πρέπει να είναι το ίδιο ή παρόμοιο με αυτό των δύο εξαρτημάτων με το μεταλλικό πυρήνα, το δε ειδικό περίβλημα του ηλεκτροδίου που είναι από ένα ουδέτερο υλικό λειώνει κατά τη συγκόλληση συγχρόνως με το μεταλλικό πυρήνα, έχοντας όμως μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό μέταλλο επιπλέον κι έτσι δημιουργεί το απαραίτητο ουδέτερο στρώμα μεταξύ της ραφής και της ατμόσφαιρας το οποίο δεν επιτρέπει την οξείδωση του υλικού στην περιοχή της ραφής κατά τη διάρκεια της τήξης.

Στις μηχανοποιημένες μεθόδους αυτόματης συγκόλλησης χρησιμοποιούνται γυμνά μεταλλικά ηλεκτρόδια. Η δε προστασία του υλικού της ραφής από οξείδωση γίνεται είτε με επικάλυψη με άμμο είτε με εκτόξευση ουδέτερου αερίου.

ii) Κατά την **οξυγονοκόλληση** (αυτογενή συγκόλληση) η αναγκαία θερμότητα για την τήξη παράγεται με την καύση ενός κατάλληλου αερίου. Το δε απαραίτητο προσθετό υλικό της ραφής προέρχεται από μια ράβδο συγκολλήσεως η οποία όταν λειώνει γεμίζει το διάκενο μεταξύ των δύο εξαρτημάτων, το υλικό της ραφής προστατεύεται από την οξείδωση με το καιγόμενο αέριο της φλόγας.

β) **Κατά τη συγκόλληση πίεσεως (συμπίεσης):** το ένα εξάρτημα πιέζεται πάνω στο άλλο σε ολόκληρη την επιφάνεια ραφής, η οποία δεν είναι στενόμακρη όπως στη συγκόλληση τήξεως, αλλά έχει συνήθως κυκλική επιφάνεια. Τα δύο κομμάτια συμπιέζονται ισχυρά χωρίς να προστεθεί κανένα συγκολλητικό υλικό και θερμαίνονται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξεώς τους.

Η ενέργεια που χρειάζεται για την κρυσταλλική σύνδεση μπορεί να δοθεί είτε με τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος είτε με τη θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την πλαστική παραμόρφωση των σωμάτων στη θέση σύνδεσης.

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι ότι το υλικό της ραφής δεν φθάνει στη θερμοκρασία τήξεως και το ότι δε χρειάζεται προσθετό υλικό για τη δημιουργία ραφής. Το υλικό των δύο εξαρτημάτων στη θέση της ραφής φθάνει σε μια ενεργειακή κατάσταση που τα άτομα του υλικού αρχίζουν να διαχέονται από το ένα εξάρτημα στο άλλο κι έτσι να δημιουργούν την απαραίτητη κρυσταλλική σύνδεση στη θέση της ραφής.

Η πιο γνωστή εφαρμογή της μεθόδου συγκόλλησης πίεσης είναι η **σημειακή συγκόλληση (ποντάρισμα)**.

γ) Άλλη μέθοδος είναι η **συγκολλητική επικάλυψη ή γέμισμα** κατά τη μέθοδο αυτή προστίθεται υλικό στο σημείο εκείνο που έχει φθαρεί ή έχει πάθει εκκοιλάνσεις ένα εξάρτημα και πρέπει να επισκευαστεί.

Με τη συγκόλληση τήξεως είναι συγγενείς και ορισμένες μέθοδοι κοπής μετάλλων, όπως **η κοπή με ηλεκτρονικό τόξο ή με φλόγα αερίου**. Με αυτές τις μεθόδους το μέταλλο θερμαίνεται αρχικά στη θέση κοπής μέχρι τη θερμοκρασία αναφλέξεώς του και κατόπιν εκτοξεύοντας αέρα ή καθαρό οξυγόνο καίγεται (οξειδώνεται).

Συγκολλήσεις τήξεως

Μορφές ραφών

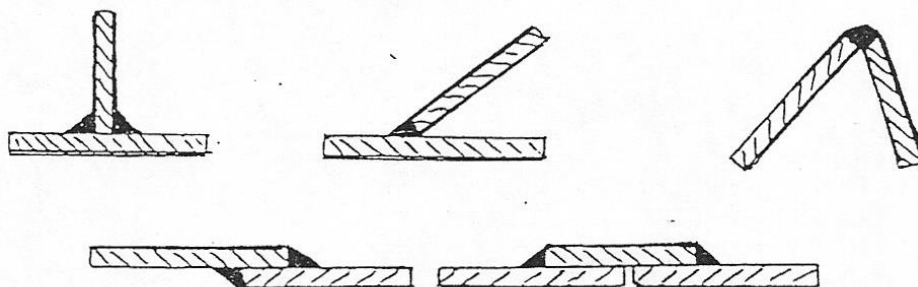
Η ονομασία των διάφορων ραφών καθορίζεται από τη διάταξη των συγκολλούμενων στοιχείων και από τη μορφή που δίνεται στη θέση της ραφής.

Οι βασικές κατηγορίες των ραφών των συγκολλήσεων τήξεως είναι:

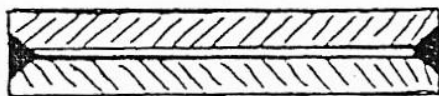
α) Οι εσωραφές: σε αυτές τα στοιχεία που συγκολλούνται βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.



β) Οι εξωραφές: σε αυτές τα στοιχεία που συγκολλούνται μπορούν να είναι παράλληλα, κάθετα ή υπό γωνία.



γ) Οι μετωπικές ραφές: τα στοιχεία που συγκολλούνται τοποθετούνται παράλληλα και συγκολλούνται στον αρμό τους.



Γενικά η εσωρραφή είναι προτιμότερη από την εξωρραφή και τη μετωπική ραφή διότι στην εσωρραφή η ροή δυνάμεως είναι ομαλότερη και επομένως η αντοχή της είναι μεγαλύτερη, επίσης η ποιότητά της μπορεί να ελεγχθεί ευκολότερα με ακτίνες X ή με υπερήχους.

Τύποι ραφών συγκόλλησης τήξης

Όνομα ραφής	Συμβολισμός	Διαμόρφωση άκρων	Μορφή ραφής	Όνομα ραφής	Συμβολισμός	Διαμόρφωση άκρων	Μορφή ραφής
Ραφή με χείλια				Ραφή διπλού U			
Ραφή I				Ραφή μισού V ή HV			
Ραφή V				Ραφή K			
Ραφή απότομων πλευρών				Ραφή μισού Y ή HY			
Ραφή X				Ραφή στενού K			
Ραφή Y				Ραφή J			
Ραφή διπλού Y				Ραφή διπλού J			
Ραφή U							

Ονομασία	Συμβολισμός/Τομή		Ονομασία	Συμβολισμός/Τομή	
Απλή εξωρραφή			Γωνιακή εξωρραφή		
Κυρτή εξωρραφή			Επίπεδη εξωρραφή		
Κοίλη εξωρραφή			Επίπεδη ραφή		
Διπλή εξωρραφή			Ραφή αρμού		

Η εκλογή της σωστής μορφής εσωρραφής εξαρτάται ουσιαστικά από το πάχος των στοιχείων που πρέπει να συνδεθούν.

Ειδικότερα ισχύουν τα εξής:

1. Οι ραφές με αναδιπλωμένες ακμές είναι μάλλον πρόχειρες συγκολλήσεις για ελάσματα με πολύ μικρό πάχος και χρησιμοποιούνται κυρίως στη σύνδεση

ελασμάτων επικάλυψης, επενδύσεως. Οι αναδιπλωμένες ακμές μετά τη συγκόλληση λειώνουν και κατεβαίνουν στο επίπεδο των ελασμάτων.

2. Οι ραφές τύπου (I) είναι απλές και οι μόνες, που δεν απαιτούν μηχανική προκατεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στοιχεία με περιορισμένο πάχος και δεν έχουν υψηλή αντοχή.

3. Οι ραφές τύπου (V) χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση στοιχείων με μέτριο πάχος.

4. Οι ραφές τύπου (X) συνδέουν στοιχεία με μεγάλο πάχος αλλά απαιτούν αρκετή μηχανική προεργασία.

5. Οι ραφές τύπου (Y) όπως οι ραφές (V) χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση στοιχείων με μέτριο πάχος.

6. Οι ραφές τύπου (U&Y) χρησιμοποιούνται κυρίως όταν τα στοιχεία έχουν σχετικά μεγάλο πάχος και δεν μπορεί να εκτελεστεί η ραφή τύπου (X) διότι η μια πλευρά της ραφής είναι απρόσιτη. Η δε μηχανική προκατεργασία των ελασμάτων είναι δυσκολότερη κι έχει υψηλό κόστος κατασκευής.

7. Οι διπλές ραφές τύπου (V&U) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία μεγάλου πάχους.

8. Οι ραφές τύπου (HV) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία με μέτριο πάχος όταν στο ένα από αυτά δεν μπορεί να γίνει μηχανική κατεργασία.

9. Οι ραφές τύπου (K) και οι διπλές ραφές τύπου (J) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία με μεγάλο πάχος όταν στο ένα από αυτά δεν μπορεί να γίνει μηχανική προκατεργασία.

Γενικές συστάσεις για τη σχεδιομελέτη των συγκολλητικών κατασκευών.

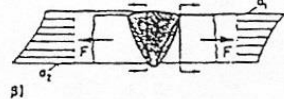
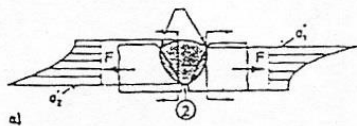
Κατά τη σχεδιομελέτη ενός συγκολλητικού εξαρτήματος πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη διάταξη και στη μορφή των συγκολλήσεων όπως και στη διάταξη, στη μορφή και στην προκατεργασία των απλών στοιχείων, ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή αντοχή με το ελάχιστο δυνατό βάρος και κόστος της κατασκευής.

Για την καλή εκτέλεση των συγκολλήσεων παίζουν επίσης πολύ σπουδαίο ρόλο, η ικανότητα και η πρακτική πείρα του συγκολλητή που θα εκτελέσει τις συγκολλήσεις, όπως και η εφευρετικότητα και η πείρα του μηχανικού που θα μελετήσει και επιτηρήσει την εκτέλεση της κατασκευής.

Παρακάτω αναφέρονται τα σπουδαιότερα σημεία που πρέπει ιδιαίτερα να προσεχθούν κατά τη μελέτη και την εκτέλεση των συγκολλητών εξαρτημάτων.

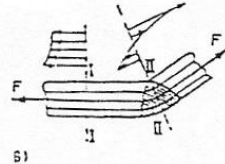
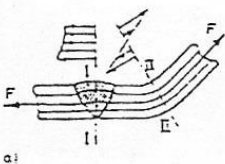
1. Η χρησιμοποίηση κατά το δυνατό περισσότερων προκατασκευασμένων στοιχείων για τη σύνθεση πολυπλοκότερων συγκολλητών εξαρτημάτων.

2. Το πάχος όλων των ραφών μιας συνδέσεως πρέπει να είναι το ίδιο.
3. Πρόβλεψη στηρίξεως των απλών στοιχείων που συνθέτουν μια συγκολλητή κατασκευή, για τη σωστή τοποθέτησή τους πριν από τη συγκόλληση.
4. Προτίμηση των ραφών μικρού πάχους, οι μακρόστενες είναι οικονομικά συμφερότερες. Κατά τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων με πάχος έως 5mm σε διάταξη (T), πρέπει να αποφεύγονται οι συνεχείς διπλές εξωρραφές, όπως και οι διακεκομμένες διπλές εξωρραφές διότι σε αυτές με τη διπλή τήξη των ίδιων θέσεων υπάρχει κίνδυνος να αλλοιωθεί η σύνθεση του υλικού ή ακόμη και να καεί το υλικό σε ορισμένες θέσεις.
5. Αποφυγή δημιουργίας εγχοπών στην περιοχή της ραφής.



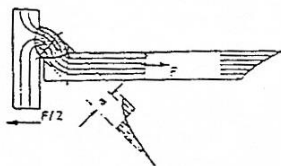
Εκτέλεση εσωρραφής με:
α) κακή ποιότητα.
β) καλή ποιότητα.

6. Αποφυγή τοποθέτησεως των ραφών σε θέσεις όπου αλλάζει η διεύθυνση της ροής δυνάμεων διότι οι τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτή τη θέση είναι αρκετά υψηλότερες.

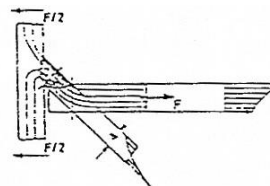


Κατανομή τάσεως στις
διατομές I-I και II-II
-Με συγκόλληση και
-χωρίς συγκόλληση

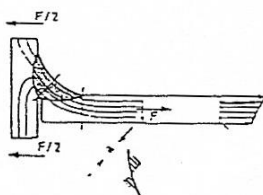
Όταν μια ραφή για κατασκευαστικούς λόγους πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετηθεί σε μια θέση όπου η ροή της δύναμης αλλάζει, τότε πρέπει η μορφή της ραφής να είναι τέτοια ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στη ροή της δύναμης.



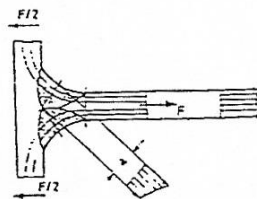
α) απλή κυρτή εξωρραφή.



β) απλή επίπεδη εξωρραφή.



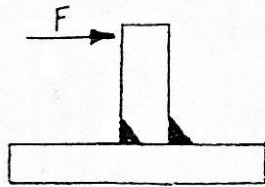
γ) απλή κοίλη εξωρραφή.



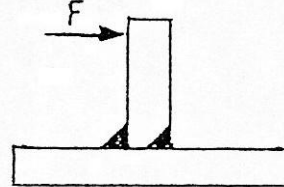
δ) διπλή κοίλη εξωρραφή.

Σχ. Ροή δυνάμεως και κατανομή τάσεως στη σύνδεση δύο ελασμάτων με διάταξη T:

7. Αποφυγή συναντήσεων πολλών ραφών σε ένα σημείο διότι η τοπική θέρμανση και απόψυξη του υλικού δημιουργούν εσωτερικές τάσεις που παραμορφώνουν τα στοιχεία.
8. Αποφυγή φόρτισης της ρίζας μιας ραφής σε εφελκυσμό. Η ρίζα μιας ραφής δεν πρέπει να φορτίζεται σε εφελκυσμό, διότι έχει πάντοτε κατασκευαστικές ατέλειες.

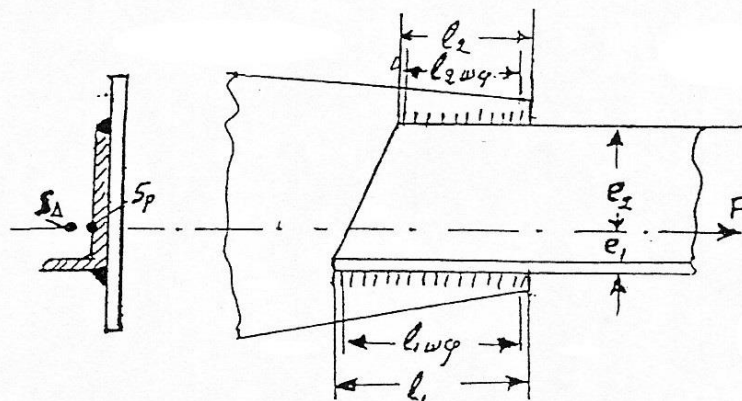


α). Δυσμενή θέση ραφών



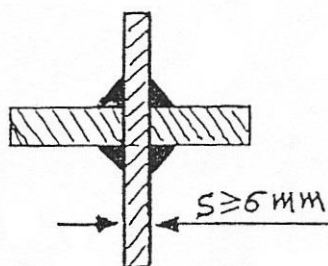
β). Σωστή θέση ραφών

9. Αποφυγή ραφών μεγάλου μήκους και πάχους διότι αναπτύσσονται εναπομένουσες τάσεις λόγω της ανομοιόμορφης διαστολής και συστολής των στοιχείων.
10. Επιδίωξη οικονομίας του υλικού και περιορισμού των μηχανικών προκατεργασιών με σκοπό τη μείωση του κόστους κατασκευής.
11. Αποφυγή μηχανικής κατεργασίας των συγκολλητικών ραφών λόγω του ότι το υλικό στην περιοχή των ραφών αποκτά κατά κανόνα μετά τη συγκόλληση μεγαλύτερη σκληρότητα.
12. Για τη σύνθεση των σιδηρών κατασκευών όπως είναι τα δικτυώματα, οι γερανοί, οι γέφυρες, τα υπόστεγα, κτλ. χρησιμοποιούνται κυρίως προκατασκευασμένα στοιχεία όπως τα ελάσματα, οι σωλήνες, οι μορφοδοκοί με διατομή I, U, L, Τ με υλικό κοινού χάλυβα St37 & St52 που μπορεί εύκολα να συγκολληθεί.
13. Το κέντρο βάρους S_p της ολικής επιφάνειας της ραφής μιας μορφοδοκού πρέπει να βρίσκεται σε ελάχιστη απόσταση από το κέντρο βάρους.



Επίσης η διεύθυνση της εφελκυστικής ή θλιπτικής δύναμης φόρτισης F πρέπει να περνά από το κέντρο βάρους S_{Δ} της διατομής των μορφοδοκών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η καμπτική φόρτιση των μορφοδοκών και των ραφών. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κέντρων βάρους S_P και $S_{P\Delta}$ πετυχαίνεται με κατάλληλη διάταξη των τμημάτων της ραφής. Έτσι στο σχήμα του παραδείγματος πρέπει να ισχύει η σχέση $L_{1\omega\phi} \cdot e_1 = L_{2\omega\phi} \cdot e_2$

14. Αν στις δυο πλευρές ενός ελάσματος πρέπει να συγκολληθούν δυο άλλα ελάσματα στο ίδιο ύψος, όπως στο παρακάτω σχήμα, τότε το ελάχιστο πάχος αυτού του ενδιάμεσου ελάσματος (S) πρέπει να είναι $S \geq 6 \text{ mm}$.



15. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται:

- α) μορφοδοκοί που έχουν διατομή L με διαστάσεις μικρότερες από 50×50 .
- β) ελάσματα με πάχος μικρότερο από 5 mm στους γερανούς.
- γ) ελάσματα με πάχος μικρότερο από 4 mm στις σιδηρές κατασκευές.

Εξαιρέσεις μπορούν αν γίνουν μόνο για κατασκευές που παραλαμβάνουν μικρά φορτία.

16. Δυο στοιχεία δεν επιτρέπεται να συνδεθούν συγχρόνως με συγκόλληση και ήλωση ή κοχλίωση.
17. Οι λέβητες και τα δοχεία πίεσης κατασκευάζονται από ελασμένα χαλυβδόφυλλα και σωλήνες. Για τις συνδέσεις των ελασμάτων των τοιχωμάτων το μόνο επιτρεπτό είδος ραφής είναι η εσωρραφή. Από τις διάφορες εσωρραφές προτιμούνται οι ραφές τύπου X , για σε λεπτότερα ελάσματα οι ραφές τύπου V με πρόσθετη συγκόλληση της ρίζας τους.
18. Οι οπές που πρέπει να ανοίγονται αναγκαστικά στα τοιχώματα των λεβήτων (δοχεία πίεσης) πρέπει οπωσδήποτε να έχουν κυκλική διατομή, με τις μικρότερες δυνατές διαστάσεις έτσι ώστε οι τάσεις εγκοπών που αναπτύσσονται στις οπές να είναι χαμηλές. Οι οπές που έχουν μεγάλες διατομές πρέπει να ενισχύονται με έλασμα συγκολλώντας το στο τοίχωμα.

Ποιότητα μιας συγκολλητής ραφής

Η ποιότητα της συγκολλητής ραφής επηρεάζει την αντοχή της σε μεγάλο βαθμό, ιδιαίτερα όταν η φόρτιση είναι δυναμική, που μπορεί να οδηγήσει στην κόπωση του υλικού.

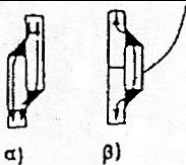
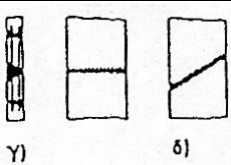
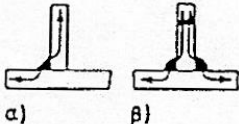
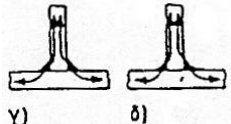
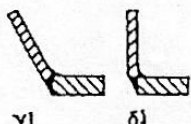
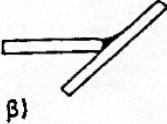
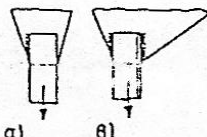
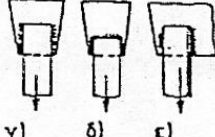
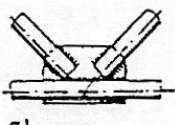
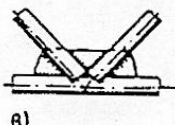
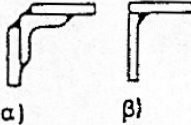
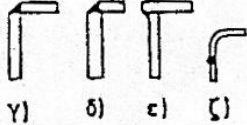
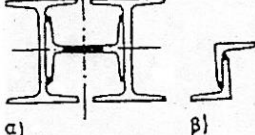
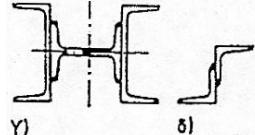
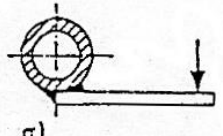
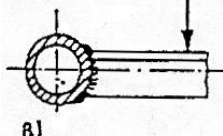
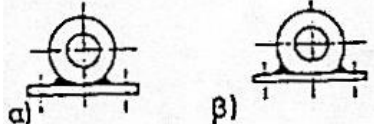
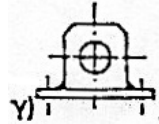
Οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποιότητα μιας συγκολλητής ραφής είναι:

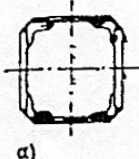
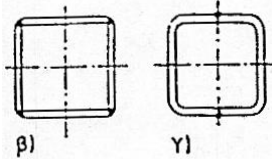
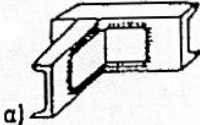
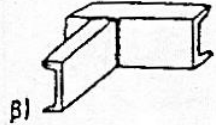
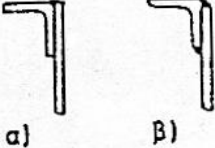
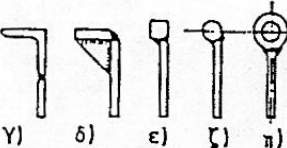
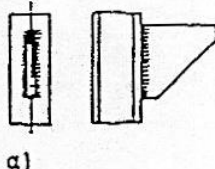
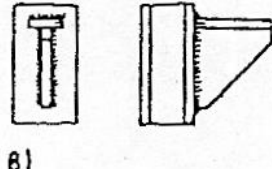
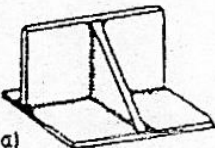
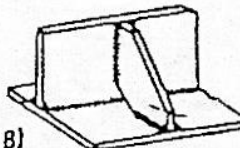
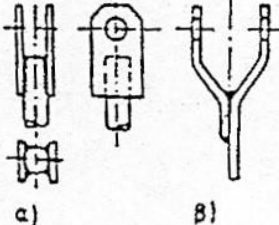
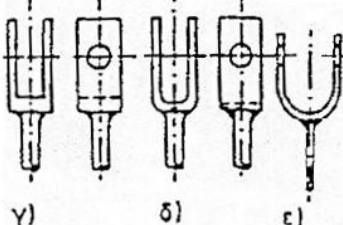
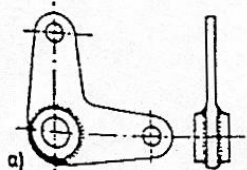
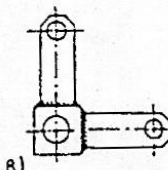
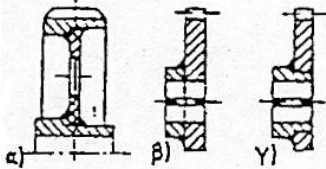
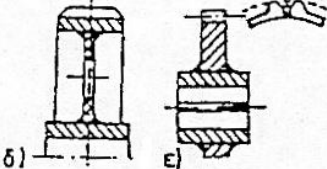
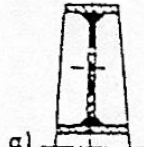
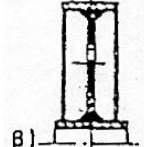
- α) Η συγκολλητικότητα του υλικού των συνδεόμενων στοιχείων.
- β) Ο σωστός καθαρισμός και η κατάλληλη μηχανική προκατεργασία της θέσης της ραφής.
- γ) Η καταλληλότητα του τύπου της ραφής και η σωστή διαμόρφωση των στοιχείων στη θέση της ραφής, που δίνεται με τη μηχανική προκατεργασία.
- δ) Η σωστή εκλογή της μεθόδου συγκόλλησης και η καταλληλότητα του πρόσθετου υλικού (αν χρειάζεται).
- ε) Η ικανότητα και η εμπειρία του συγκολλητή με την οποία τουλάχιστον εξασφαλίζεται ραφή με σταθερό πάχος.
- στ) Η εξασφάλιση της τελικής άριστης ποιότητας της ραφής με μια κατάλληλη μέθοδο ελέγχου (π.χ. έλεγχος με ακτίνες X ή με υπέρηχους ή και με μια μέθοδο εντοπισμού επιφανειακών ρωγμών).

Οι παραπάνω παράγοντες αποτελούν και τα βασικά κριτήρια σύμφωνα με τα οποία οι συγκολλητές ραφές κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ποιότητας I, II και III.

- **Η κατηγορία ποιότητας III**, πρέπει να εξασφαλίζει την τήρηση των περιπτώσεων α) έως και δ).
- **Η κατηγορία ποιότητας II**, πρέπει να εξασφαλίζει την τήρηση των περιπτώσεων α) έως και ε).
- **Η κατηγορία ποιότητας I**, πρέπει να εξασφαλίζει την τήρηση όλων των περιπτώσεων δηλαδή από την α) έως και την στ). Αυτή η κατηγορία είναι η καλύτερη δυνατή ποιότητα μιας συγκόλλησης.

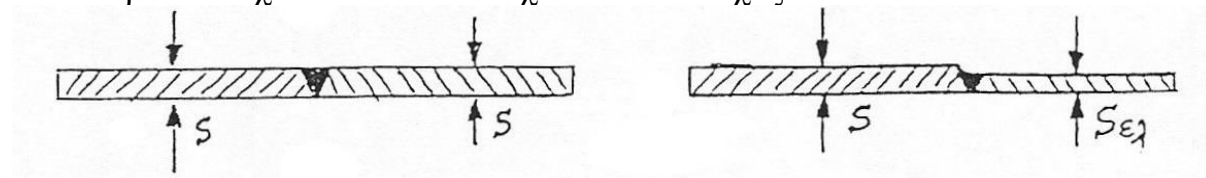
Οι ραφές που εκτελούνται με ειδικές συσκευές αυτόματης συγκόλλησης κατατάσσονται στην κατηγορία ποιότητας II.

α/ α	Ελαττωματικές Κατασκευές	Βελτιωμένες κατασκευές	Παρατηρήσεις
1			Οι εσωραφές είναι γενικά προτιμότερες από τις εξωραφές λόγω ευνοϊκότερης ροής δυνάμεως.
2			Οι εξωραφές πρέπει να γίνονται κατά το δυνατό διπλές και κατά προτίμηση κοίλες, λόγω ευνοϊκότερης ροής δύναμης και προτιμούνται σε δυναμική καταπόνηση.
3			Η ρίζα της ραφής δεν πρέπει να καταπονείται εφελκυστικά.
4			Μείωση κόστους με τον περιορισμό ή την απλοποίηση κατά το δυνατό των μηχανικών προκατεργασιών.
5			Η θέση της ραφής πρέπει να είναι εύκολα προσιτή για την καλή εκτέλεση της συγκόλλησης.
6			Οι δοκοί των σιδηρών κατασκευών πρέπει να συγκολλούνται με τέτοιο τρόπο ώστε η κατανομή των τάσεων να κατανέμεται σε όλη την επιφάνεια της ραφής ισομερώς.
7			Η σύνδεση των δοκών πρέπει να γίνεται απευθείας και όχι μέσω πλακών όπως στις ηλώσεις.
8			Δυσπρόσιτες συγκολλήσεις δεν εκτελούνται σωστά και γι' αυτό το λόγο έχουν μειωμένη αντοχή.
9			
10			
11			

α/ α	Ελαττωματικές Κατασκευές	Βελτιωμένες κατασκευές	Παρατηρήσεις
12			Στην: (α) έχουμε πολλές ραφές. Κατασκευή πολύ ακριβή, για χοντρά ελάσματα, η (β) είναι συμφερότερη ενώ για λεπτά η (γ).
13			Να προτιμούνται συνεχεία ραφές περιφερειακά για τις γωνιακές συνδέσεις.
14			Για ενισχύσεις άκρων δεν πρέπει να λαμβάνονται σαν πρότυπα οι ηλωμένες κατασκευές, όπως στην: α) και β) περίπτωση.
15			Πρέπει να ενισχύεται η θέση της ραφής όπου αναπτύσσονται εφελκυστικές και καμπτικές τάσεις.
16			Αποφυγή σύμπτωσης πολλών ραφών σε ένα σημείο.
17			Στις κατασκευές διχάλων στο α) και β) δεν είναι προσιτές οι συγκολλήσεις.
18			Η κατασκευή του γωνιακού μοχλού β) είναι οικονομικότερη και πιο απλή.
19			Στην κατασκευή οδοντωτού τροχού όταν χρησιμοποιούνται ιδιοσυσκευές, μπορούν να περιοριστούν οι μηχανικές προκατεργασίες.
20			Στις τροχαλίες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται πλάγια νεύρα στο β) περιορίζονται οι μηχανικές προεργασίες και μειώνεται το βάρος.

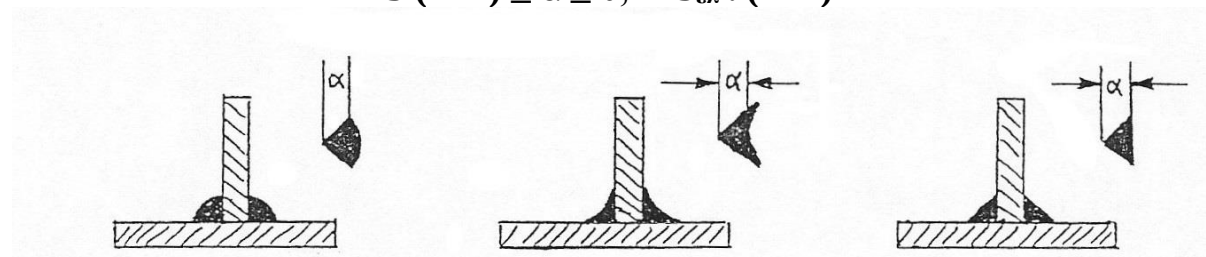
Πάχος ραφών

ι) Το πάχος (α) των εξωρραφών παίρνει την τιμή του πάχους (S) των συγκολλούμενων στοιχείων όταν αυτά έχουν το ίδιο πάχος ή το πάχος $S_{ελ}$ του λεπτότερου στοιχείου όταν αυτά έχουν άνισο πάχος.



ιι) Το πάχος των εξωρραφών παίρνει την τιμή του ύψους ενός ιδεατού ισοσκελούς τριγώνου που μπορεί να εγγραφεί στην εγκάρσια διατομή της ραφής. Το μέγιστο πάχος της εξωρραφής πρέπει να είναι:

$$3 \text{ (mm)} \leq \alpha \leq 0,7 \cdot S_{ελ} \cdot \text{(mm)}$$



Όταν μια συγκόλληση εκτελεστεί από ειδικευμένο τεχνίτη και με υλικό άριστης ποιότητας μπορεί σαν απλή ραφή να έχει πάχος.

$$3 \text{ (mm)} \leq \alpha \leq 10 \text{ mm.}$$

Κατά τον υπολογισμό μελέτης πρέπει να εκλέγονται τυποποιημένα πάχη απλών ή πολλαπλών ραφών αυτά είναι:

Τυποποιημένα πάχη απλών και πολλαπλών ραφών σε (mm).

$\alpha = 3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 8 - 9 - 10$ κλπ.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΠΙΕΣΗΣ

Από τις συγκολλήσεις πίεσης, οι σημειακές συγκολλήσεις έχουν το πλατύτερο πεδίο εφαρμογών.

Σημειακές συγκολλήσεις

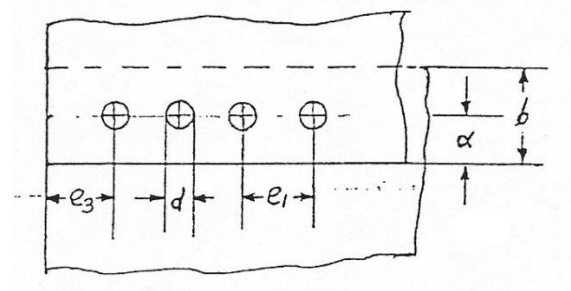
Η μέθοδος της σημειακής συγκόλλησης (ποντάρισμα) χρησιμοποιείται για τη σύνδεση λεπτών ελασμάτων, σε διάφορες γενικές μηχανολογικές κατασκευές, όπως σε ελαφρές κατασκευές στην αυτοκινητοβιομηχανία και

στην κατασκευή συσκευών. Η μέθοδος αυτή είναι απλή και οικονομικά συμφέρουσα για μαζική παραγωγή.

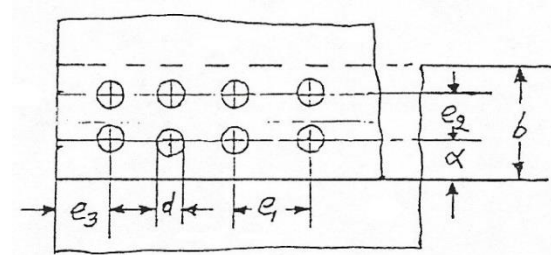
Ειδικές συστάσεις για τις σημειακές συγκολλήσεις

Ανάλογα με τη διάταξη των σημείων συγκόλλησης μιας ραφής γίνεται διαχωρισμός σε:

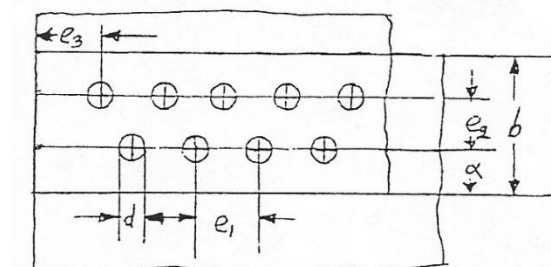
α) **Απλές ραφές:** αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν φέρουσες συνδέσεις ή σαν συνδέσεις επικάλυψης.



β) **Διπλές ή πολλαπλές ραφές:** αυτές χρησιμοποιούνται σαν φέρουσες συνδέσεις.



γ) **Μετατοπισμένες διπλές ή πολλαπλές ραφές:** αυτές χρησιμοποιούνται σαν φέρουσες και στεγανές συνδέσεις, κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι εξασφαλίζουν πλήρη στεγανότητα.



Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται συστάσεις για την εκλογή του μεγέθους των διαμέτρων (d) των σημείων συγκόλλησης συναρτήσει του πάχους (S) των συνδεομένων ελασμάτων και για την εκλογή των αποστάσεων e_1 , e_2 , e_3 και α μεταξύ των σημείων συγκόλλησης μιας ραφής.

ΠΙΝΑΚΑΣ Σ1: Συστάσεις για την εκλογή των διαστάσεων των σημειακών συγκολλήσεων.

Πάχος S σε (mm) των συνδεόμενων ελασμάτων	0,5 έως 1	1 έως 1,5	1,5 έως 2	2 έως 3	2 έως 5
Διάμετρος d σε (mm) του σημείου συγκόλλησης	4 έως 8	6 έως 10	8 έως 10	10 έως 12	10 έως 14

Οι αποστάσεις των συγκολλήσεων πίεσης μεταξύ:
(βλέπε τα πιο πάνω σχήματα).

- i) των σημείων ραφής: $e_1 = (3 \text{ έως } 6) d$
- ii) των σειρών των σημείων ραφής: $e_2 = 2,5 d$ για διπλή ραφή
 $e_2 = 0,7 e_1$ για μετατοπισμένη διπλή ραφή
- iii) από τα άκρα των ελασμάτων: $e_3 = (2,5 \text{ έως } 4,5) d$
 $a = (2 \text{ έως } 4) d$
 $b = \Sigma e_2 + 2a$

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

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

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

$$A_w = \Sigma(\alpha \times \ell)$$

F σε N

$\sigma_{w\epsilon\pi}, \tau_{w\epsilon\pi}$ σε N/mm²

σε mm² επιφάνεια ραφών, ίση με το άθροισμα όλων των επί μέρους επιφανειών ραφών (μετωπικών ή γωνιακών) της συγκόλλησης με $\alpha =$ πάχος ραφής και $\ell =$ μήκος της ραφής σε mm
η αντίστοιχη δύναμη εφελκυσμού, θλίψης ή διάτμησης
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

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

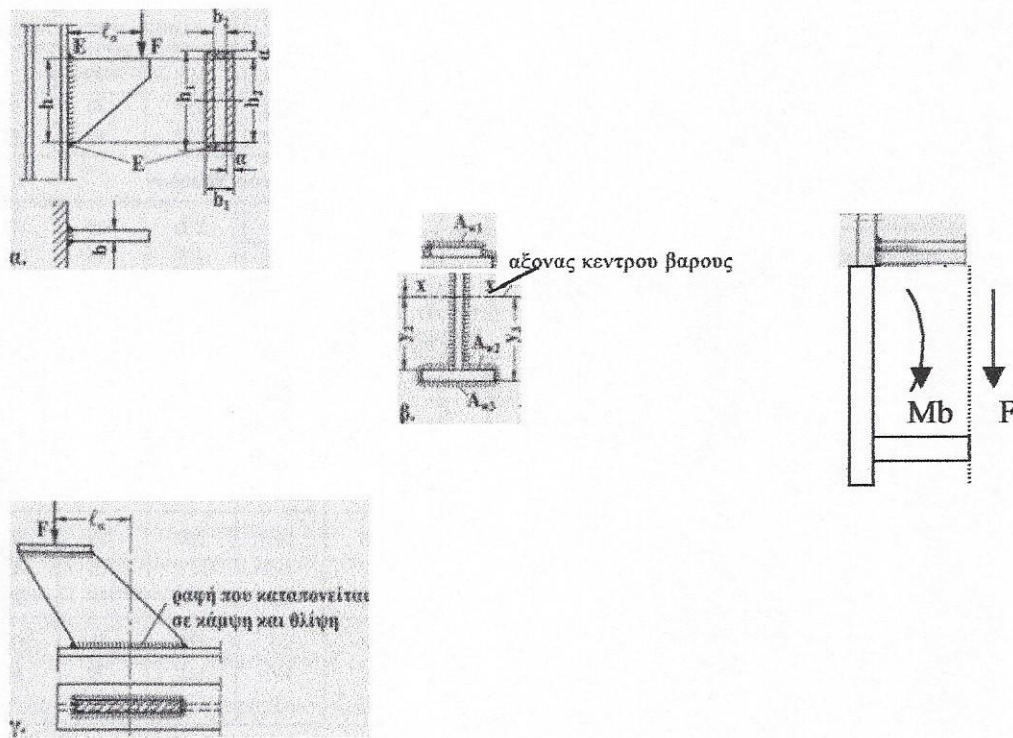
M_b ροπή αντίστασης της επιφάνειας συγκόλλησης σε Nmm

W_w ροπή κάμψης για τη ραφή συγκόλλησης σε mm³

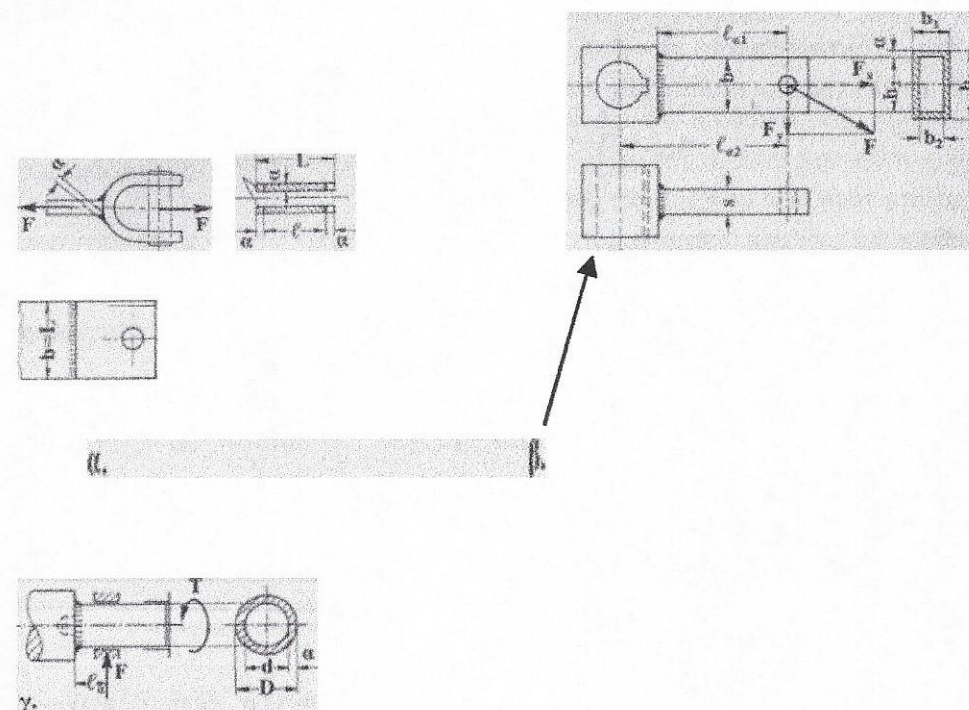
Για την περίπτωση του σχήματος 4-8α είναι $W_w = (b_1 \times h_1^3 - b_2^2 \times h_2^3) / 6 \times h_1$. Για λεπτά τεμάχια με $b \leq 1,4 - \alpha$ (σχήμα 4-8α) δε λαμβάνεται υπόψη το τμήμα συγκόλλησης Ε παρά μόνο οι κάθετες ραφές μήκους h_2 , οπότε $W_w = 2 \alpha h_2^2 / 6$. Για περιφερειακές ραφές (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 2^{ου} βαθμού (αδράνειας) των επί μέρους επιφανειών ραφής ως προς τον άξονα του κέντρου βάρους της κατασκευής και y ίσο με την απόσταση του σημείου ρίζας της ραφής από τον άξονα του κέντρου βάρους π.χ. κατά Steiner στο σχήμα 4-8β θα είναι $J_{w1} = A_{w1} \times y_1^2$ με $A_{w1} = \alpha_1 \times \ell_1$. Η επιφανειακή ροπή της επιφάνειας A_{w1} ως προς τον άξονα της παραλείπεται ως αμελητέα.

$\sigma_{w\epsilon\pi}$ 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. συγκολλητό δίχαλο με ραφές που καταπονούνται σε εφελκυσμό, β. συγκολλητός μοχλός με περιφερειακή ραφή που καταπονείται σε κάμψη και εφελκυσμό, γ. συγκολλητός στρόφαός με περιφερειακή ραφή που καταπονείται σε κάμψη και στρέψη.

4.3. Στρέψη

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 Σύνθετη 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

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

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

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

σ_w κάθετη τάση που υπάρχει στη ραφή σε N/mm². Συνήθως τάση κάμψης σ_{wb} ή άθροισμα κάθετων τάσεων σ_{wmax}

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

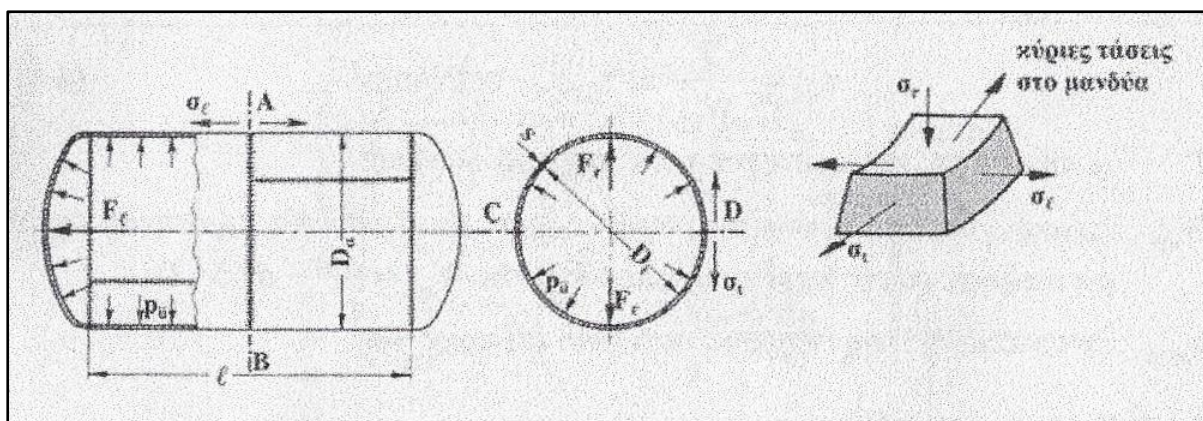
Στο δοχείο πίεσης του σχήματος 4-10 με μία υπερπίεση σε N/mm² η αξονική δύναμη F_e και η ακτινική F_r θα είναι

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

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

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

Η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής διαμέτρου παραλείπεται αρχικά.



Σχήμα 4-10. Καταπόνηση του μανδύα ενός συγκολλητού 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.

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

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

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

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 πάχους στου δοχείου θα γίνει βάσει της σ_t

Θα έχουμε επομένως

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

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

$\sigma_{\text{επ}} = \frac{K}{S}$ και επιπλέον οι συντελεστές ν και c θα προκύψει τελικά το απαιτούμενο πάχος s του τοιχώματος του δοχείου ή του σωλήνα (για $D_o/D_i < 1,2$)

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

D_o 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 ασφαλείας (πίνακας 4-6)
- v* συντελεστής εξασθένησης που λαμβάνει υπόψη τη μειωμένη αντοχή της ραφής έναντι του υλικού του τεμαχίου
 $v = (0,7) \dots 0,8$ για καλές ραφές
 $v = 0,9 \dots 1,0$ για τέλειες, ελεγμένες και εγγυημένες ραφές
 $v = 1,0$ για τεμάχια χωρίς ραφή
- c* συντελεστής φθοράς που λαμβάνει υπόψη την οξείδωση. Για ελάσματα πάχους $s < 30 \text{ mm}$ είναι $= 1 \text{ mm}$. Για ισχυρές οξειδώσεις $c > 1 \text{ mm}$. Για χάλυβες προφυλαγμένους από οξείδωση και για $s > 30$ είναι $c = 0$.

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

Σε σιδηροκατασκευές (DIN 4100)			Είδος χάλυβα					
			St 37 φόρτιση		St 52 φόρτιση			
Είδος ραφής	Ποιότητα ραφής	Είδος τάσης	H*	HZ**	H	HZ		
-μετωπική ραφή -K-ραφή με διπλή Γωνιακή ραφή	Όλες οι ποιότητες ραφών	Θλίψη και θλίψη από κάμψη	160	180	240	270		
-HV-ραφή με Γωνιακή ραφή -DHY-ραφή με διπλή γωνιακή ραφή	Αποδειγμένα απηλλαγμένη από ρωγμές και χωρίς ελαττώματα στη ρίζα	Εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη κάθετα προς τη διεύθυνση της ραφής	160	180	240	270		
	Μη 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 των 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 -K-ραφή	Ειδική ποιότητα	Εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη κάθετα προς τη διεύθυνση της ραφής	160	180	195	220	240	270
-K-ραφή	Κανονική ποιότητα		140	160	170	195	210	240
-γωνιακή ραφή	Όλες οι ποιότητες		113	127	138	156	170	191
-όλα τα είδη των ραφών	Όλες οι ποιότητες	Ισοδύναμη τάση	160	180	195	220	240	270
-μετωπική ραφή -K-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 των 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).

** Περιπτώσεις 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 θερμότητας κ.ά.

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

Ραφές συγκόλλησης								
Είδος ραφής	Είδος τάσης	Ομάδα αξιολόγησης(1)	Περίπτωση φόρτισης					
			Στατική		Επαναλαμβανόμενη		Αντιστρεφόμενη	
			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 επίπεδη ραφή και συνεχής 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

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		
	HIPI	245	242	238	227	217	206	186	157	137	118	98	29		
	HIPII	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	137	30	
	15 Mo 3	265	262	256	252	249	245	225	196	176	167	157	157	59	31
	13 CrMo 4	294	291	285	281	278	274	255	235	216	206	196	176	94	49
Ελάσματα από χάλυβα 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						
	St 52-3	314	291	255	255	240	226	206	186						
Μορφοποιημέ- νος & σφυρί- λατος χάλυβας DIN 17100	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	225	205	205	191	178	161	139						
Σωλήνες χωρίς ραφή DIN 17175	St35.8	235	227	214	214	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 CrMo V 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 CrNiMi 18 12	185	185	165	155	146	137	127	119	113	108	103	100	99	98

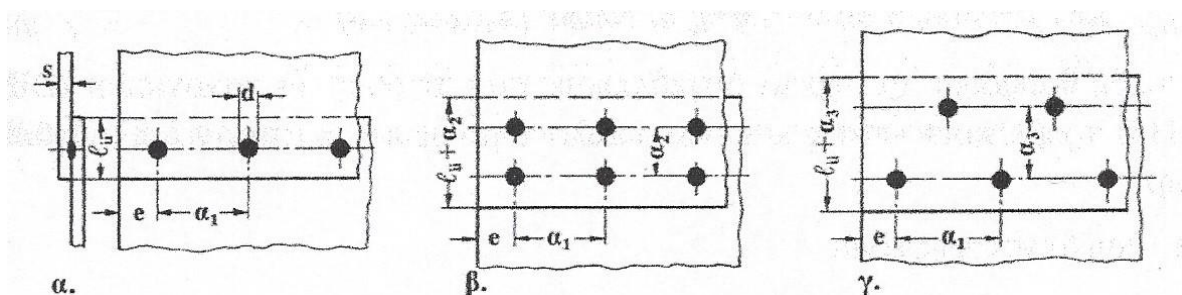
Πίνακας 4-5. Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες.

Συντελεστής ασφαλείας	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 ασφαλείας S .

Πάχος ελάσματος s	Απόσταση σημείων α_1		Απόσταση σειρών σε ραφή		Ελάχιστη επικάλυψη ℓ_u	Διάμετρος σημείου d
	ελάχιστη	συνήθης	αλυσίδας α_2	ζικ-ζακ α_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								
	μιας τομής	90		100			135		155
	σ_{wl}	255		290			380		430
	δύο τομών	355		400			525		600
Αν λυγισμός, ανατροπή ή απόκλιση από την ευθεία είναι αδύνατον να εμφανιστούν	τ_w								
	μιας τομής	105		115			155		175
	σ_{wl}	290		325			430		485
	δύο τομών	400		450			600		675
Κατασκευές μηχανών και συσκευών (ενδεικτικές τιμές)									
Αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό		$R_m =$		25	30	35	40	45	50
				0	0	0	0	0	0
τ_w	στατική επαναλαμβανόμενη αντιστρεφόμενη	60	75	90	10	11	12	13	15
		40	50	55	0	0	5	5	0
		20	25	30	65	70	80	90	95
μιας τομής	σ_{wl}	20	25	30	35	35	40	45	50
		16	20	23	26	30	33	36	40
		5	0	5	5	0	5	5	0
		11	13	15	17	19	21	24	26
		0	5	0	5	5	5	0	0
δύο τομών	σ_{wl}	55	65	75	90	10	11	12	13
		0	0	0	0	0	0	0	0
		27	33	39	44	50	55	61	66
		5	5	0	5	0	5	0	5
		18	21	25	28	32	35	39	42
		0	5	0	5	0	5	0	5
		0	11	12	14	16	18	19	21
		90	0	5	5	0	0	5	5

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

1.Καταπονήσεις σε συγκολλήσεις σιδηρών κατασκευών.

α) Οι εφελκυστικές, θλιπτικές ή διατμητικές τάσεις υπολογίζονται σε kp / cm^2 από τον τύπο:

όπου: F = η εφελκυστική, θλιπτική ή διατμητική δύναμη σε kp που εφαρμόζεται στην επιφάνεια υπολογισμού της ραφής

$A_{\omega\phi} = \Sigma(a\ell_{\omega\phi})$ το άθροισμα των ωφέλιμων επιφανειών υπολογισμού μιας συγκολλητικής σύνδεσης σε cm^2 .

a = το πάχος των ραφών σε cm

$\ell_{\omega\phi}$ = το ωφέλιμο μήκος κάθε συγκολλητικής ραφής σε cm

Το ωφέλιμο μήκος των εξωρραφών,

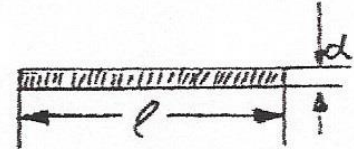
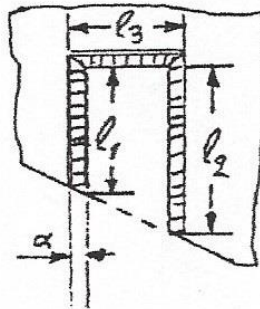
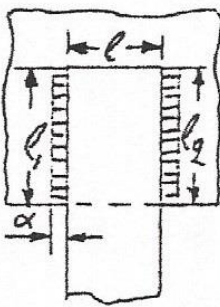
α) των κατασκευών που έχουν τη μορφή των σχημάτων, α,β,γ:

Συνίσταται να είναι: **$15 a \leq \ell_{\omega\phi} \leq 100 a$,**

β) ενώ των κατασκευών των σχημάτων δ και ε:

Συνίσταται να είναι:

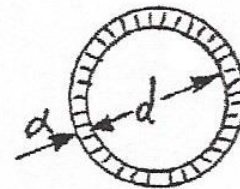
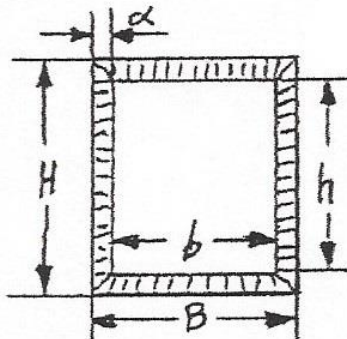
$$10 \alpha \leq I_{\omega\phi} \leq 100 \alpha.$$



α) $I_{\omega\phi} = I_1 + I_2 - 4.a$

β) $I_{\omega\phi} = I_1 + I_2 + I_3 - 2.a$

γ) $I_{\omega\phi} = I - 2.a$



δ) $I_{\omega\phi} = 2.H + 2.b$

ε) $I_{\omega\phi} = \pi.(d + a/2)$

β) Η μέγιστη καμπτική εφελκυστική ή θλιπτική τάση που αναπτύσσεται στην επιφάνεια υπολογισμού, υπολογίζεται σε kp / cm^2 από τον τύπο:

$$(\sigma_b)_{\sigma\gamma} =$$

όπου: $M =$ η καμπτική ροπή σε kp / cm που εμφανίζεται στην επιφάνεια υπολογισμού της ραφής.

$J_{\omega\phi} =$ Η ροπή αδράνειας σε κάμψη της ραφής γύρω από τον ουδέτερο άξονα κάμψης σε cm^4 .

$y =$ Η απόσταση του πιο απομακρυσμένου σημείου ραφής από τον ουδέτερο άξονα κάμψης σε cm .

Όταν η καταπόνηση είναι απλή πρέπει:

$$(\sigma_z)_{\sigma\gamma} \leq \sigma_{\epsilon\pi} \quad \text{ή} \quad (T_s) \leq T_{\epsilon\pi} \quad \text{ή} \quad (\sigma_b)_{\sigma\gamma} \leq \sigma_{\epsilon\pi}$$

(Σημείωση: Στις συγκολλήσεις των σιδηρών κατασκευών γενικά δεν επιτρέπεται να εφαρμόζονται στρεπτικές τάσεις).

Σε περίπτωση σύνθετης καταπόνησης συνίσταται ο υπολογισμός της ισοδύναμης τάσης. Να βρίσκεται από τον τύπο:

$$(\sigma_{16})_{\text{συγ}} = \sqrt{[(\sigma_z)_{\text{συγ}} \pm (\sigma_b)_{\text{συγ}}]^2 + (T_s)_{\text{συγκ}}^2 + (T'_s)_{\text{συγ}}^2}$$

η τιμή $(\sigma_{16})_{\text{συγ}}$ πρέπει να είναι μικρότερη της $\sigma_{\text{επ}}$:

$$(\sigma_{16})_{\text{συγ}} \leq \sigma_{\text{επ}}$$

Ο δε συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται από τον τύπο :

$$S = \frac{\sigma_{\text{επ}}}{(\sigma_{\text{ισ}})_{\text{μεγ}}}$$

και μάλιστα πρέπει:

ι) Για στατική φόρτιση $S = 1,5$ έως $2,5$

ιι) Για δυναμική φόρτιση $S = 2$ έως 3

γ) Η εφελκυστική τάση που αναπτύσσεται σε λέβητες ή δοχεία πίεσης υπολογίζεται σε kp / mm^2 από τον τύπο:

$$\sigma_L = F_L / 2A_L$$

όπου: $F_L = H$ εγκάρσια δύναμη σε kp που δημιουργείται από την υπερπίεση.

$A_L = H$ διατομή κάθε μιας από τις δύο διαμήκεις συγκολλητές ραφές σε mm^2 .

2. Καταπονήσεις σε συγκολλήσεις γενικών μηχανολογικών κατασκευών από χάλυβα

Οι απλές ονομαστικές τάσεις $(\sigma_z)_{\text{συγ}}$, $(\sigma_b)_{\text{συγ}}$, $(T_t)_{\text{συγ}}$ και $(T_s)_{\text{συγ}}$ υπολογίζονται όπως και στις σιδηρές κατασκευές.

Ο υπολογισμός της ισοδύναμης τάσης $(\sigma_{\text{ισ}})_{\text{συγ}}$ των διαφόρων απλών τάσεων διαφέρει, δίνεται από τους παρακάτω τύπους:

I) $\sigma_{\text{ισ}} = 0,5 (\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau})$ θεωρία μέγιστης ορθής τάσης.

II) $\sigma_{\text{ισ}} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ κατά DIN 4100. Για σιδηρές κατασκευές.

III) $\sigma_{\text{ισ}} = \sqrt{\sigma^2 + 1,8\tau^2}$ Εμπειρικού τύπου Niemann.

Μπορεί επίσης να υπολογισθεί απευθείας ο ισοδύναμος συντελεστής ασφάλειας ($\sigma_{\text{ισ}}$), από τους επί μέρους συντελεστές ασφαλείας, ως εξής:

$$\frac{1}{S_{\text{ισ}}^2} = \left(\frac{1}{S_Z} + \frac{1}{S_b} \right)^2 + \left(\frac{1}{S_t} + \frac{1}{S_S} \right)^2$$

με αντικατάσταση για:

- Εφελκυστική καταπόνηση $S_Z = (\sigma_{Z\text{συγ}})_{\text{επ}} / (\sigma_Z)_{\text{συγ}}$
- Καμπτική καταπόνηση $S_b = (\sigma_{b\text{συγ}})_{\text{επ}} / (\sigma_b)_{\text{συγ}}$
- Στρεπτική καταπόνηση $S_t = (\sigma_{t\text{συγ}})_{\text{επ}} / (T_t)_{\text{συγ}}$
- Διατμητική καταπόνηση $S_S = (T_{S\text{συγ}})_{\text{επ}} / (T_S)_{\text{συγ}}$

Οι επιτρεπόμενες τιμές σε περίπτωση στατικής καταπόνησης της ραφής υπολογίζεται ως εξής:

$$(\sigma_{\text{συγ}} \text{ ή } T_{\text{συγ}})_{\text{επ}} = V \cdot V1 \cdot V2 (\sigma_{\text{επ}} \text{ ή } T_{\text{επ}})$$

Οι επιτρεπόμενες τιμές σε περίπτωση στατικής καταπόνησης της ραφής υπολογίζονται ως εξής:

$$(\sigma_{a\text{συγ}} \text{ ή } \tau_{a\text{συγ}})_{\text{επ}} = V \cdot V1 \cdot V3 (\sigma_A \text{ ή } \tau_A)$$

όπου : V = είναι ο συντελεστής ποιότητας ο οποίος εξαρτάται από την ποιότητα εκτέλεσης της συγκόλλησης.

α) Για κατηγορία ποιότητας (I) το: $V = 0,9$

β) Για κατηγορία ποιότητας (II) το: $V = 0,8 + 0,7$

γ) Για κατηγορία ποιότητας (III) το: $V = 0,5$.

όπου : $V1$ = συντελεστής εναπομενουσών τάσεων

α) για στατική φόρτιση $V1 = 1$

β) για δυναμική φόρτιση $V1 = 0,9$

όπου : $V2$ =στατικός συντελεστής μορφής

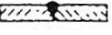
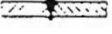
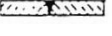
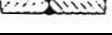
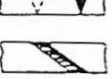
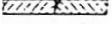
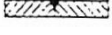
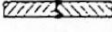
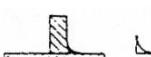
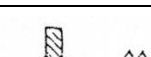
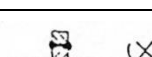
α) για στατική φόρτιση $V2 = 1$

β) για δυναμική φόρτιση $(V3)$

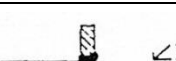
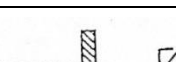
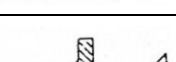
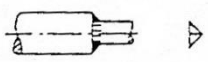
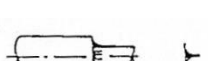
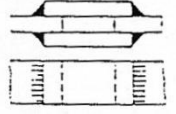
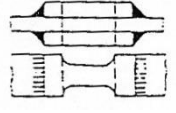
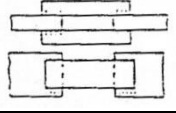
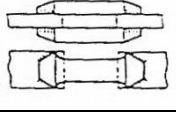
$V3$ = (δίδεται από πίνακες ανάλογα με τη μορφή και το τύπο ραφής βλέπε παράρτημα ΠΣ1/229).

Οι δε επιτρεπόμενες τιμές σ_{zp} , σ_{ba} , τ_{ta} , σ_{zA} , σ_{bA} και τ_{tA} , είναι οι τιμές

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΣ1. Συντελεστής μορφής ν για δυναμική καταπόνηση.

Ονομασία	Μορφή και τύπος ραφής (Σχήμα, συμβολισμός)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ		
		Εφελκυσμός Θλίψη	Κάμψη	Διάτμηση Στρέψη
Εσωρραφές	Τύπου I  II	0,5	0,6	0,4
	Τύπου V  ∇	0,5	0,6	0,4
	(με συγκόλληση ρίζας)  ∇	0,7	0,84	0,56
	(με λειασμένη επιφάνεια)  ∇	0,92	1,1	0,73
	Τύπου X  X	0,7	0,84	0,56
	Τύπου πλάγια  ∇	0,8	0,98	0,65
	Τύπου HV  ∇	0,5	0,6	0,42
	Τύπου Y  Y	0,65	0,8	0,55
	Τύπου U  U	0,65	0,8	0,55
	Τύπου K  K	0,7	0,8	0,55
Εξωρραφές τύπου T		0,32	0,69	0,32
		0,35	0,7	0,35
		0,41	0,87	0,41
		0,22	0,11	0,22
		0,23	0,11	0,23
		0,63	0,8	0,5
		0,56	0,8	0,45
	 (X)	0,7	0,84	0,56

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΣ1. (Συνέχεια)

Ονομασία	Μορφή και τύπος ραφής (Σχήμα, συμβολισμός)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ		
		Εφελκυσμός Θλίψη	Κάμψη	Διάτμηση Στρέψη
Γωνιακές Εξωρραφές		0,22	0,11	0,22
		0,3	0,6	0,3
		0,4	0,8	0,4
		0,45	0,55	0,37
		0,6	0,75	0,5
		0,22	0,11	0,22
		0,35	0,7	0,35
		0,4	0,8	0,4
Κυλινδρικές εξωρραφές		0,35	0,7	0,35
		0,41	0,87	0,41
Ειδικές μετωπικές εξωρραφές		0,22	-	-
		0,25	-	-
Ειδικές πλευρικές εξωρραφές		0,25	-	-
		0,48	-	-

στατικής και αρχικής δυναμικής αντοχής, που ισχύουν για το υλικό των συγκολλούμενων στοιχείων και δίνονται από διαγράμματα δυναμικής αντοχής (βλέπε παράρτημα ΠΑ1 – ΠΑ4/217).

Η στατική και η δυναμική αντοχή του υλικού της ίδιας της ραφής είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από την αντοχή του υλικού των συνδεόμενων στοιχείων.

Ο συντελεστής ασφάλειας S θα πρέπει να είναι:

- α) Για στατική καταπόνηση $1,5 \leq S \leq 2,5$
β) Για δυναμική φόρτιση $2 \leq S \leq 3.$

4. Καταπονήσεις σε συγκολλήσεις πίεσης

Ο υπολογισμός αντοχής των σημειακών συγκολλήσεων γίνεται προσεγγιστικά.

α) Στις ελαφρές σιδηρές κατασκευές η μέση διατμητική τάση (T_m) που αναπτύσσεται σε κάθε τομή υπολογίζεται από τον τύπο σε kp / mm^2

$$T_m = F / (n \cdot z \cdot A\pi)$$

όπου : F = η δύναμη φόρτισης σε kp
 n = ο αριθμός τομών (1 = δυο ελάσματα, 2 = τρία ελάσματα)
 z = ο συνολικός αριθμός συγκολλήσεων (σημείων)
 $A\pi$ = η επιφάνεια διατομής του σημείου συγκόλλησης
 $d\pi$ = η διάμετρος της ραφής (σημείου)

β) Η δε μέση επιφανειακή πίεση δίδεται σε kp / mm^2 από τον τύπο:

$$P_m = F / (z \cdot d\pi \cdot S)$$

όπου: F = η δύναμη φόρτισης ενός ελάσματος σε kp
 z = ο συνολικός αριθμός των σημείων συγκόλλησης
 $d\pi$ = η διάμετρος της ραφής (σημείου) σε mm
 S = το πάχος του ελάσματος σε mm

Στις συγκολλήσεις των γενικών μηχανολογικών κατασκευών που καταπονούνται σε στατικά φορτία υπολογίζονται, η μέση διατμητική τάση (T_m) και ο συντελεστής ασφάλειας (S_m).

$$T_m = F / (n \cdot z \cdot A_d)$$

$$S_m = (T_m)\theta / T_m$$

όπου : Ad = η επιφάνεια διατμήσεως σε mm^2 ενός σημείου συγκόλλησης.

$(T_m)\theta$ = η διατμητική τάση θραύσεως σε kp / mm^2

S_m = συντελεστής ασφάλειας σε θραύση

ΠΙΝΑΚΑΣ Σ2: επιτρεπόμενες τάσης στατικής αντοχής ($\sigma_{\text{επ}}$) ή ($\tau_{\text{επ}}$) σε kp / cm^2 για συγκολλητές ραφές σιδηρών κατασκευών κατά DIN 4100.

Είδος ραφής	Ποιότητα ραφής	Είδος φορτίσεως	ΥΛΙΚΟ			
			St 37		St 52	
			?		?	
			$\sigma_{\text{επ}}$ ή $\tau_{\text{επ}}$?	σε kp/cm^2	$\sigma_{\text{επ}}$ ή $\tau_{\text{επ}}$?	σε kp/cm^2 ?
Εσωρραφή, Εξωρραφές τύπου K με μίσχο και τύπο HV με συγκολλη- μένα ρίζα.	I και II	Θλίψη και θλίψη κάμψεως	1600 (1920)	1800	2400 (2880)	2700
	I	Εφελκυσμός και εφελκυσμός κάμψεως				
	II					
Απλή εξωρραφή. Εξωρραφή τύπου HV	I και II	Θλίψη και θλίψη κάμψεως. Εφελκυσμός και εφελκυσμός κάμψεως. Σύνθετη καταπόνηση	1350 (1620)	1500	1700 (2040)	1900
Όλες οι ραφές		Διάτμηση				

Οι ποιότητες των ραφών ορίζονται στη σελ. 67

Περίπτωση φόρτισης H έχουμε: Όταν στον υπολογισμό περιλαμβάνονται όλα τα κατακόρυφα φορτία μιας κατασκευής (π.χ. ίδιο βάρος, κινητό ή σταθερό ωφέλιμο φορτίο, χιόνι κλπ.) ενώ τα οριζόντια φορτία θεωρούνται αμελητέα.

Περίπτωση φόρτισης HZ έχουμε: Όταν στον υπολογισμό εκτός από όλα τα κατακόρυφα φορτία λαμβάνονται υπόψη και τα οριζόντια φορτία της κατασκευής (π.χ. δυνάμεις επιταχύνσεως ή επιβραδύνσεως των κινουμένων φορτίων, πίεση ανέμου, αναγκαστικές δυνάμεις από θερμικές διαστολές ή συστολές κλπ.)

Οι τιμές σε παρένθεση () μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όταν τα μόνα φορτία, που καταπονούν μια κατασκευή είναι τα κατακόρυφα φορτία.

ΕΛΑΤΗΡΙΑ

Τα ελατήρια είναι στοιχεία μηχανών, τα οποία όταν φορτίζονται με εξωτερικές δυνάμεις μπορούν να υποστούν μια ελαστική παραμόρφωση κι έτσι μπορούν 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 ασφαλείας, ηλεκτρικών διακοπών κλπ.
- 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 κλπ.
- Τη μείωση κρουστικών φορτίων όπως στην ανάρτηση των τροχών οχημάτων, στους ελαστικούς συνδέσμους, στη στήριξη μηχανικών πιεστηρίων και σφυρών στο δάπεδο κλπ.
- Την κίνηση μηχανημάτων και μηχανισμών, όπως στα ρολόγια, στα τύμπανα αυτόματης τυλίξεως, στα παιχνίδια, στις βαλβίδες, στις κλειδαριές κλπ.
- Διάφορες εφαρμογές της δυναμικής μηχανών όπως α) για την εξουδετέρωση του κίνδυνου του συντονισμού μηχανών, μηχανισμών και οργάνων, β) για την κατασκευή διάφορων ταλαντωτών (μεταφοράς ύλης, κοσκινίσματος), γ) για την κατασκευή δονητών οδοστρωμάτων, κλπ.

Τα ελατήρια χωρίζονται:

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

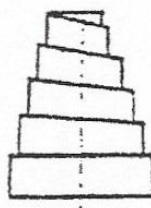
2. Ανάλογα με τη μορφή τους σε:

- 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

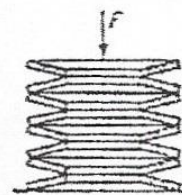
Μερικά είδη φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



α)Θλιπτικό ελατήριο



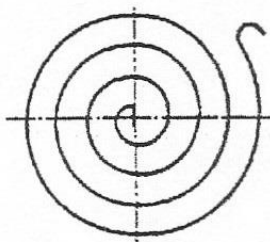
β, γ)Κωνικά ελατήρια



δ)Δισκοειδές ελατήριο



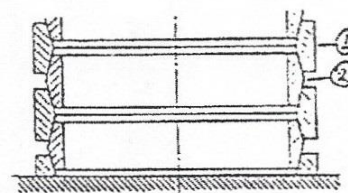
ε)Ελατήριο έλξεως



ζ)Σπειροειδές ελατήριο



η) Ελατήριο κάμψεως(σούστα)



θ)Ειδικό ελατήριο

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

I. Την παραμόρφωση συναρτήσει της φόρτισης.

II. Την καταπόνηση (τάσης) του υλικού συναρτήσει της φόρτισης.

III. 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 σε αυτό μία παραμόρφωση, αυτή η παραμόρφωση εξαρτάται από τη δύναμη που ενεργεί, το υλικό του ελατηρίου, τις διαστάσεις του και τη μορφή του.

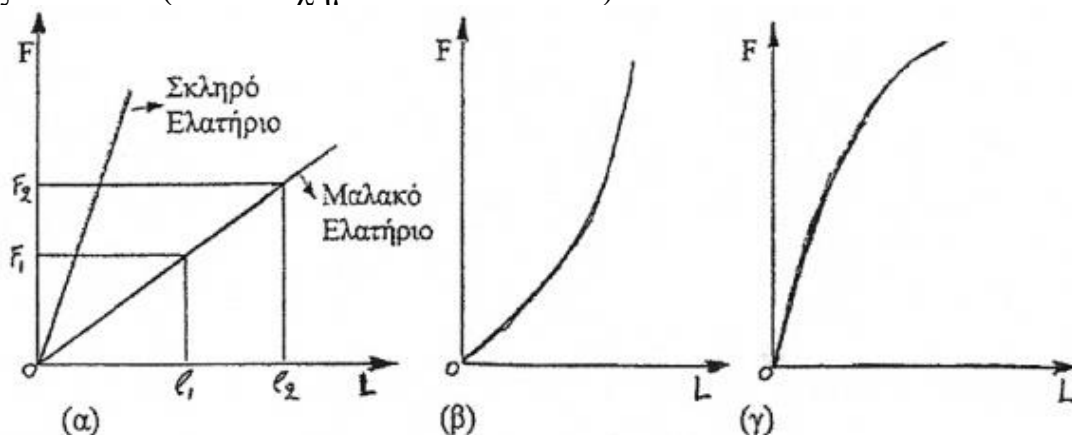
Κάθε ελατήριο παραμορφώνεται από μια δύναμη F , το δε σημείο εφαρμογής της δύναμης μετατοπίζεται κατά τη διαδρομή L .

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 τη 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 δύναμης F προς τη διαδρομή L που είναι ίσος με τη $\epsilon_{\text{φα}} = F_1 / L_1$. 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 αυτήν την περίπτωση η σκληρότητα του ελατηρίου ονομάζεται σταθερά ελατηρίου (C).

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



Η καμπύλη του (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 πίεσης όπου μετά από ορισμένη φόρτιση 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

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

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

Η μέγιστη δύναμη $F_{\max}$ είναι

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

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 $F = F_{\max}$ από τη σχέση (7.4)

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

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 $F = F_{\max}$ από τη σχέση (7.4) και $s = s_{\max}$ από τη σχέση (7.6), μετά από μετασχηματισμό θα έχουμε για το μέγιστο έργο του ελατηρίου.

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

q_3 συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μορφή ελατηρίου
 $q_3 = 1/18$ για ορθογωνικό ελατήριο
 $q_3 = 1/6$ για τριγωνικό ελατήριο
 $q_3 = 1/9 \frac{3}{2} \frac{b'}{b} \cdot \frac{1}{1} \frac{b'}{b}$ 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)

$\sigma_{b\epsilon\pi}$ σε N/mm^2 (πίνακας 7-1 και 7-3)

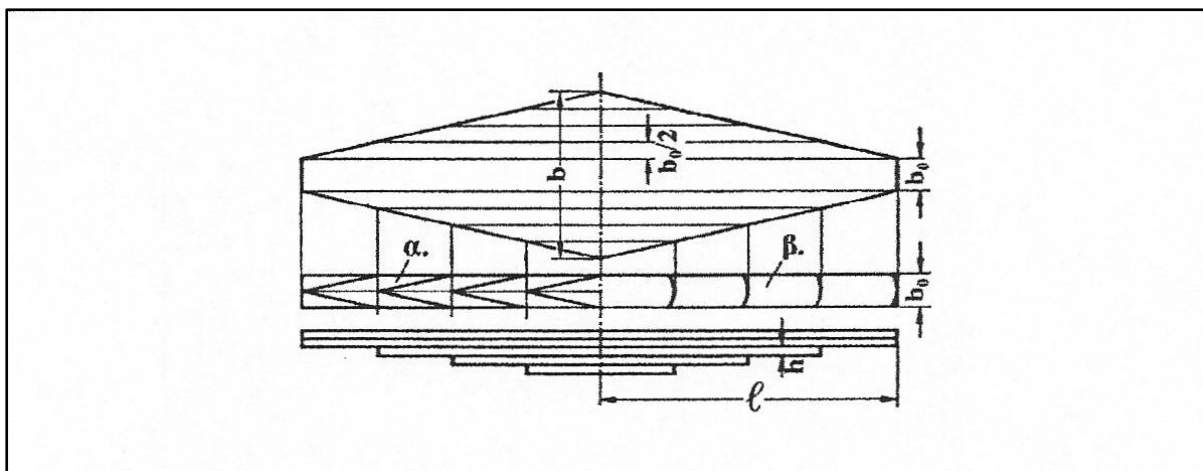
Οι ανωτέρω εξισώσεις ισχύουν με ακρίβεια μόνο για σχετικά μικρά βέλη κάμψης

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		
$\sigma_{b\epsilon\pi}$	$\approx 0,7 R_m$				$\approx 0,5 R_m$				$\approx 0,3 R_m$		

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

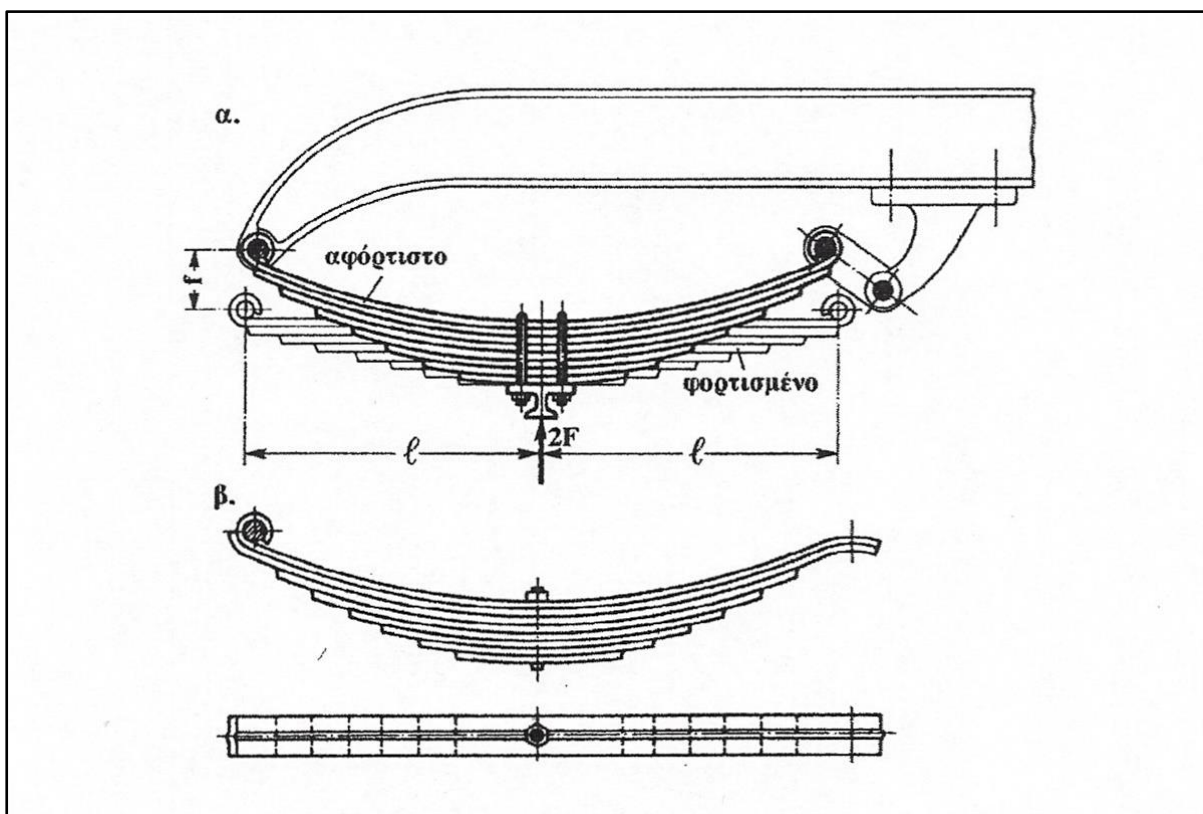
7.5.2. Ελατήρια με πολλαπλές λάμες

Το ελατήριο με πολλαπλές λάμες αναπτύχθηκε από το αμφίπλευρο τραπεζοειδές ελατήριο. Για μεγάλα φορτία και βέλη κάμψης θα προέκυπταν πολύ μεγάλα πλάτη. Την πλατιά 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 άγκιστρα ή με πείρο.



Σχήμα 7-5. Προέλευση του ελατηρίου με πολλαπλές λάμες. α. θεωρητική μορφή, β. 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. α. ανάρτηση με στέλεχος συγκράτησης, β. 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 αποφόρτιση 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 δε ληφθεί υπόψη, για έναν αριθμό λαμών z και ένα μέγιστο πλάτος b του τραπεζοειδούς ελατηρίου, το πλάτος της κάθε μιας λάμας b_0 θα είναι

$$b_0 = \frac{b}{z} \quad \text{σε mm} \quad (7.8)$$

Η τάση κάμψης s_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_0/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

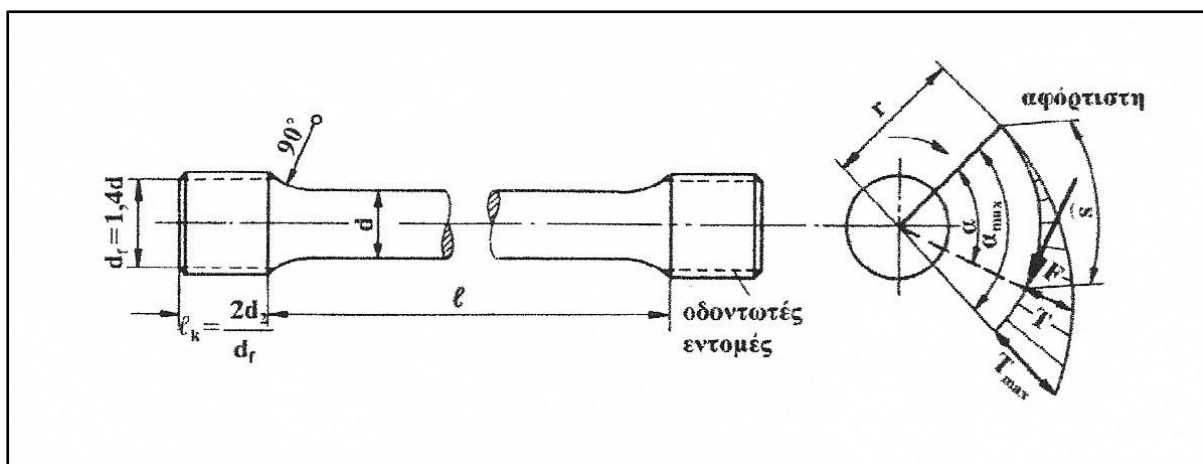
ℓ, b, h από σχήμα 7-5

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). Λόγω 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.

Ράβδοι 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:

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

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 mm^3

d διάμετρος στελέχους της ράβδου σε mm

$\tau_{t\epsilon\pi}$ επιτρεπόμενη τάση στρέψης σε N/mm^2 (πίνακας 7-1)

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

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

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 $\alpha^\circ = 180^\circ / \pi \cdot \hat{\alpha}$ 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

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

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

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

$T, \alpha^\circ, d, G, \ell$ 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 σύσφιξης, ελατήρια αξόνων σε οχήματα, ελατήρια επαναφοράς σε πέδες με σιαγόνες, ελατήρια σε στρώματα κ.ά.

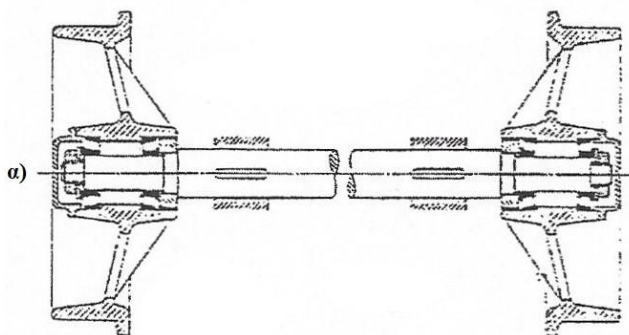
Τα ελικοειδή ελατήρια μπορούν να θεωρηθούν σαν ράβδοι στρέψης με ελικοειδή περιέλιξη που δέχονται στον άξονά τους μια θλιπτική ή εφελκυστική δύναμη. Κατασκευάζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με κυκλική διατομή σπανιότερα με τετραγωνική ή ορθογωνική διατομή.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

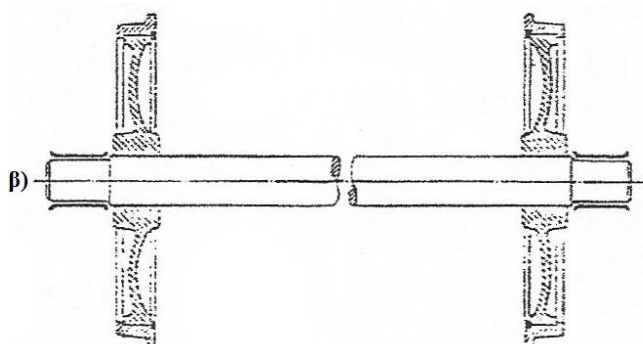
Άτρακτοι – Άξονες

Άτρακτοι: ονομάζονται εκείνα τα στοιχεία μηχανών που μεταφέρουν μια ροπή στρέψης, ενώ συγχρόνως περιστρέφονται. Δηλαδή το κύριο χαρακτηριστικό των ατράκτων είναι ότι έχουμε μεταφορά ισχύος και το ότι καταπονούνται κύρια σε στρέψη.

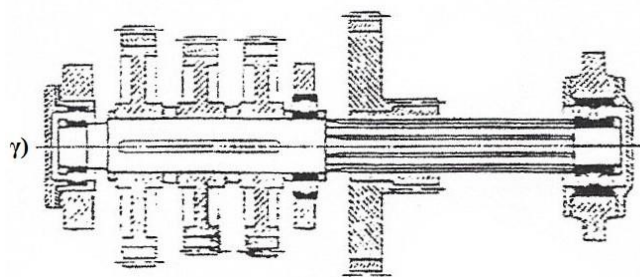
Άξονες: ονομάζονται εκείνα τα στοιχεία μηχανών που δέχονται καμπτικές, αξονικές και διατμητικές δυνάμεις αλλά δε μεταφέρουν ροπή στρέψης δηλαδή δε μεταφέρουν ισχύ.



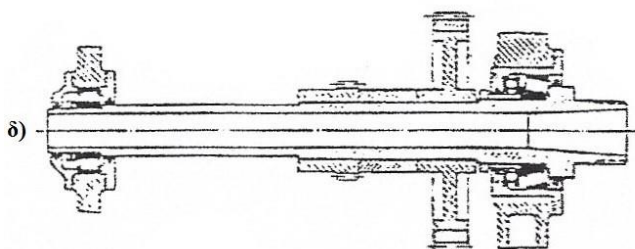
α) Ολόσωμος άξονας που δεν περιστρέφεται



β) Ολόσωμος άξονας που περιστρέφεται



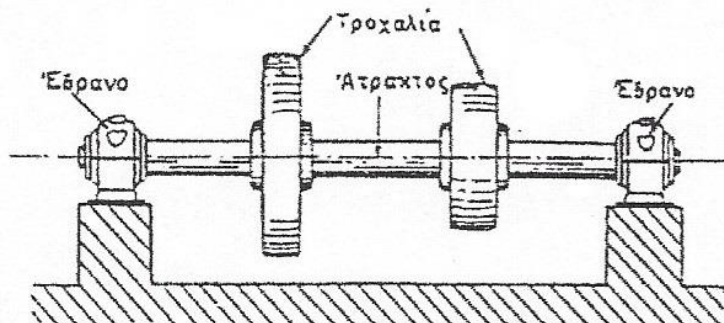
γ) Ολόσωμη άτρακτος



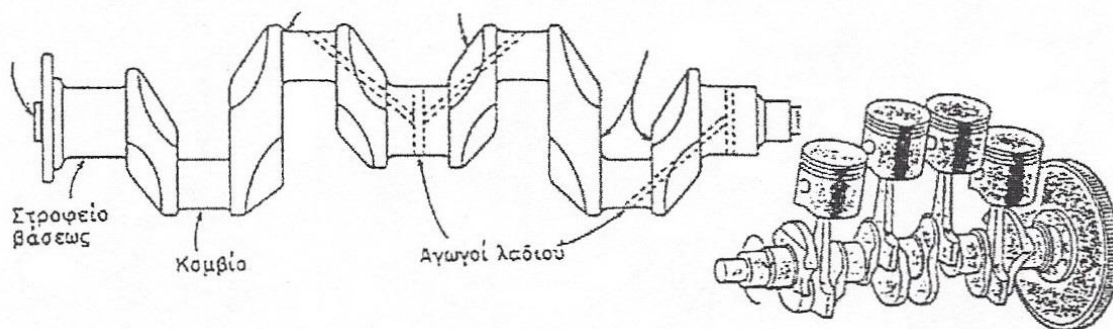
δ) Κούφια άτρακτος

Είδη ατράκτων

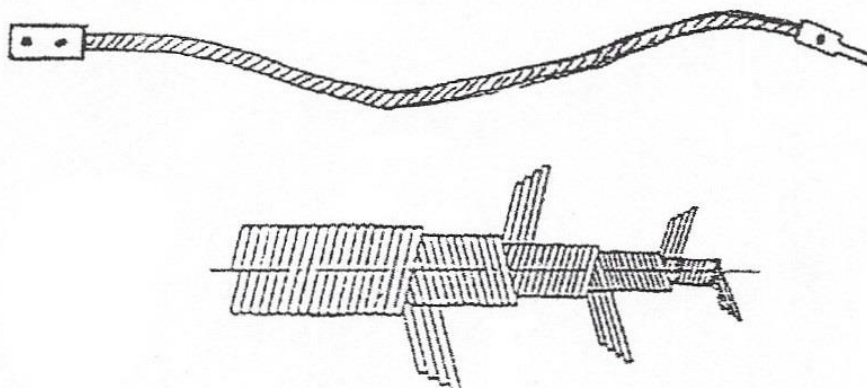
α) **Οι ευθείες άτρακτοι:** είναι το γνωστότερο είδος ατράκτων, αυτοί έχουν κατά κανόνα πλήρη ή κοίλη κυκλική διατομή με διαφορές διαβαθμίσεις.



β) **Οι στροφαλοφόροι άτρακτοι:** αυτοί μετατρέπουν την παλινδρομική κίνηση των εμβολών σε περιστροφική ή αντίθετα την περιστροφική σε παλινδρομική (εμβολοφόροι κινητήρες, εμβολοφόρες εργομηχανές).



γ) **Οι ελαστικοί άτρακτοι:** αυτοί έχουν κυλινδρική μορφή χωρίς διαβαθμίσεις, μεταδίδουν σχετικά χαμηλές ροπές στρέψης από το ένα άκρο στο άλλο τους και κατά κανόνα δε εδράζονται, χαρακτηριστικό των ελαστικών ατράκτων είναι ότι σε αυτούς δεν μπορούν να στηριχθούν άλλα στοιχεία.



Στην πράξη έχει επικρατήσει οι άτρακτοι να ονομάζονται άξονες λόγω της ίδιας μορφής με τις ευθείες ατράκτους. Έτσι αντί για τους όρους «στροφαλοφόρος άτρακτος, ελικοφόρος άτρακτος, κεντρική άτρακτος κ.τ.λ.». Χρησιμοποιούνται οι όροι «στροφαλοφόρος άξονας, ελικοφόρος άξονας, κεντρικός άξονας κ.τ.λ.».

Είδη αξόνων

α) **Σταθεροί άξονες:** αυτοί συνδέονται σταθερά με ένα κέλυφος ή μία βάση ή κάτι άλλο. Και είναι ακίνητοι.

β) **Περιστρεφόμενοι άξονες:** αυτοί συνδέονται σταθερά με διαφορά στοιχεία (π.χ. τροχούς, μοχλούς) και εδράζονται σε ένα κέλυφος, ή σε μία βάση ή κάτι άλλο και περιστρέφονται μαζί με τα στοιχεία που στηρίζονται σε αυτούς.

Οι άτρακτοι και οι άξονες είναι από τα βασικότερα στοιχεία μηχανών και δεν υπάρχει κινητήρας ή εργομηχανή που να μην περιλαμβάνει τουλάχιστον μια άτρακτο που είναι το κεντρικό στοιχείο κάθε περιστροφικής κίνησης.

Σαν αποτέλεσμα η σχεδιομελέτη ή ακόμη και ο υπολογισμός έλεγχου της αντοχής μιας ατράκτου είναι ένα από τα συχνότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσει ο κατασκευαστής (μελετητής).

Υπολογισμός μελέτης

Ο σκοπός του υπολογισμού μελέτης μιας ευθείας ατράκτου είναι ο προσδιορισμός των διαστάσεων της διατομής στις κρίσιμες θέσεις αντοχής σε συνδυασμό με την εκλογή του υλικού της.

Ο υπολογισμός μελέτης μιας ατράκτου περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- α) Τον υπολογισμό των εξωτερικών της φορτίων.
 - β) Τη σχεδίαση των διαγραμμάτων (των καμπτικών δυνάμεων, των στρεπτικών ροπών και των διατμητικών δυνάμεων).
 - γ) Τον προσδιορισμό των κρίσιμων θέσεων μηχανικής αντοχής.
 - δ) Τον υπολογισμό της ελάχιστης απαιτούμενης διαμέτρου στις κρίσιμες θέσεις μηχανικής αντοχής.
 - ε) Την εκλογή του κατάλληλου υλικού.
-
- **Εξωτερικά φορτία:** Ο υπολογισμός των εξωτερικών φορτίων μια ατράκτου δεν είναι πάντοτε απλός, πολλές φορές πρέπει να γίνουν ειδικές παραδοχές και απλουστεύσεις, (π.χ. με προσεγγιστικές μεθόδους και εμπειρικούς συντελεστές).
 - **Διαγράμματα φόρτισης:** Η σχεδίαση των διαγραμμάτων φόρτισης μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τις κρίσιμες θέσεις μηχανικής αντοχής στις οποίες αναπτύσσονται υψηλές τάσεις και υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί βλάβη.
 - **Η ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος:** Ο υπολογισμός μελέτης του προσδιορισμού της ελάχιστης απαιτούμενης διαμέτρου σε μια κρίσιμη θέση μπορεί να γίνει με δυο τρόπους.

Ο ένας τρόπος χρησιμοποιείται για μια πρόχειρη εκτίμηση των διαστάσεων, είναι σύντομος και λαμβάνει υπόψη μόνο τη στρεπτική φόρτιση της ατράκτου. Ο δε άλλος τρόπος είναι επίπονος αλλά είναι ακριβέστερος και λαμβάνει υπόψη και τη στρεπτική και την καμπτική φόρτιση της ατράκτου.

Πρόχειρος υπολογισμός μελέτης ατράκτου

Ο υπολογισμός αυτός βασίζεται στο γεγονός του ότι οι κρίσιμες θέσεις καταπονούνται κατά κανόνα από στρεπτικό φορτίο.

Η στρεπτική ροπή υπολογίζεται από τους τύπους:

α)

$$T = \frac{P}{\omega} \cdot (Kp \cdot m)$$

όπου: $\omega = \eta$ γωνιακή ταχύτητα σε (s^{-1})

$P = H$ ισχύς σε ($kp \cdot m/s$)

β)

$$T = 716,2 \cdot \frac{P}{n} (Kp \cdot m)$$

όταν : (P) δίδεται σε (Ps) και

το (η) δίδεται σε RPM / min

1PS = 736 Watt = 75 $kp \cdot m / s$

1KW = 1,36 Ps = 102 $kp \cdot m / s$

Η ελάχιστη απαιτούμενη εξωτερική διάμετρος δίδεται από τους τύπους:

α) Για πλήρη κυκλική διατομή

$$D_{\pi} \geq 39,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_{st} \cdot T}{\tau_{tp}}} \cdot (\text{mm})$$

β) Για δακτυλιοειδή διατομή

$$D_{\delta} \geq 39,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_{st} \cdot T}{\tau_{tp} \cdot (1 - K^4)}} \cdot (\text{mm})$$

όπου : T = στρεπτική ροπή σε kp.m

T_{tp} = όριο ροής σε στρέψη του υλικού σε kp mm^2 . εκλέγεται από τα διαγράμματα του παραρτήματος (ΠΑ1=ΠΑ4)

C_{st} = ο συντελεστής κρούσεων (δίδεται από πίνακες) (Α2/17)

$K = d/D$

d = εσωτερική διάμετρος ατράκτου

D = εξωτερική διάμετρος ατράκτου

Στη συνέχεια η εκλογή της εξωτερικής διαμέτρου D γίνεται από τους τυποποιημένους πίνακες για να μην υπάρχει πρόβλημα συναρμογής με τα άλλα στοιχεία περιστροφικής κίνησης που είναι και αυτά τυποποιημένα (δηλαδή έδρανα, περικόχλια, ασφάλειες κλπ.)

Οι τυποποιημένες διαστάσεις σε (mm) της εξωτερικής διαμέτρου μιας ατράκτου δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας ΑΑ1: Τυποποιημένες διαστάσεις διαμέτρων Ατράκτων σε (mm).

10	12	14	16	18	20	22	25	30	35	40	45
50	55	60	70	80	90	100	110	125	140	160	180
200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	

Όταν σε μια κρίσιμη θέση για την οποία γίνεται ο υπολογισμός μελέτης, προβλέπεται να κατασκευαστεί σφηναύλακας ή πολύσφηνο τότε η ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος D_{π} για μεν την περίπτωση του σφηναύλακα είναι η διάμετρος του πλήρους πυρήνα της διατομής, για δε την περίπτωση του πολύσφηνου είναι η μέση διάμετρος της κατατομής του πολύσφηνου, π.χ. $D_{\pi} = (D+d)/2$.

Επίσης, οι ομοαξονικές οπές δεν επηρεάζουν τη μηχανική αντοχή καθώς και οι εγκάρσιες οπές που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση και έχουν λόγο $d/D < 0,1$. (Παρουσιάζουν περιορισμένη μείωση της αντοχής της ατράκτου με αποτέλεσμα να μη λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη).

Υλικά ατράκτων

Η εκλογή του κατάλληλου υλικού συνοδεύεται άμεσα τόσο με τον υπολογισμό της αντοχής της ατράκτου όσο και με οικονομοτεχνικούς παράγοντες. Έτσι η βασική αρχή για την εκλογή του υλικού είναι: Το υλικό μιας ατράκτου δεν πρέπει να έχει μεγαλύτερη αντοχή από την ελάχιστη απαιτούμενη για κάθε περίπτωση εφαρμογής. Διότι όσο υψηλότερη είναι η στατική αντοχή ενός υλικού τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος αγοράς και κατεργασίας του.

Σε περιπτώσεις που υπάρχει κάποιος περιορισμός π.χ. βάρους ή όγκου, τότε πρέπει αναγκαστικά να εκλέγονται υλικά και κατεργασίες με υψηλότερο κόστος.

Τα τυποποιημένα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες μηχανολογικές εφαρμογές κατασκευής ατράκτων είναι:

α) Για μηχανολογικές κατασκευές που δεν υπάρχει περιορισμός βάρους και για χαμηλά φορτία εκλέγονται κοινοί χάλυβες κατασκευών St 37 και St 42 κατά DIN 17100, οι χάλυβες αυτοί έχουν χαμηλό κόστος κατεργασίας και μπορούν αν συγκολληθούν.

β) Για καταπονήσεις με μεσαία φορτία κοινός χάλυβας St 50 κατά DIN17100, αυτός έχει αρκετά υψηλή αντοχή και χαμηλό κόστος κατεργασίας δεν μπορεί όμως να συγκολληθεί και να βαφεί εύκολα.

γ) Για καταπόνηση με υψηλή φόρτιση εκλέγονται κοινοί χάλυβες κατασκευών St 60 και St 70 κατά DIN 17100.

δ) Για υψηλή καταπόνηση ατράκτων εκλέγονται χάλυβες βελτιωμένοι: C35, Ck35, C45, Ck45, κλπ. κατά DIN 17200.

ε) Για υψηλή καταπόνηση και υψηλή αντοχή φθοράς εκλέγονται χάλυβες ενανθρακώσεως C15, Ck15, 15Cr3, 16MnCr5, κλπ.

Οι επιτρεπόμενες τιμές αντοχής των βασικότερων χαλύβων που αναφέρθηκαν παραπάνω περιλαμβάνονται στα διαγράμματα δυναμικής αντοχής των σχημάτων ΠΑ1 έως και ΠΑ4, στο παράρτημα των σημειώσεων.

στ) Στην περίπτωση που πρέπει το υλικό να έχει αντοχή σε χημική διάβρωση εκλέγονται ανοξείδωτοι χάλυβες x7Gr13 και X12GrNi18/8 κατά DIN17440.

Το όριο θραύσεως σε εφελκυσμό αυτών των χαλύβων είναι αντίστοιχα $\sigma_{z0} = 45$ και 50 Kp/mm ενώ το όριο ροής $\sigma_{zp} = 25$ και 22 Kp/mm .

ζ) Για την κατασκευή ατράκτων υψηλής φόρτισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο ανοξείδωτος χάλυβας X22CrNi17. Με $\sigma_{z0} = 80 \text{ Kp/mm}$ και $\sigma_{zp} = 60 \text{ Kp/mm}$.

8.2.2. Υπολογισμός σε κάμψη

Η τάση κάμψης σ_b , στην κατά περίπτωση επικίνδυνη διατομή, προκύπτει από τη γενική σχέση

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{b\epsilon\pi} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (8.1)$$

M_b ροπή κάμψης στην επικίνδυνη διατομή σε Nmm

W_b ροπή αντίστασης έναντι κάμψης στην επικίνδυνη διατομή σε mm³
Για πλήρεις άξονες είναι $W_b \approx 0,1 \cdot d^3$

$\sigma_{b\epsilon\pi}$ επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm² (πίνακας 8-1)

Μετά το μετασχηματισμό της σχέσης (8.1) προκύπτει η διάμετρος του άξονα

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,1 \cdot \sigma_{b\epsilon\pi}}} \quad \text{σε mm} \quad (8.2)$$

8.2.3. Υπολογισμός σε στρέψη

Καθαρή στρέψη σε μία άτρακτο εμφανίζεται κατά προσέγγιση π.χ. σε μια απ' ευθείας σύνδεση ενός κινητήρα ή μειωτήρα με την άτρακτο μιας αντλίας, ενός ανεμιστήρα κλπ.

Στις περιπτώσεις αυτές η τάση στρέψης τιπροκύπτει από τη γενική σχέση

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{\text{τεπ}} \quad \text{σε N/mm}^2 \quad (8.3)$$

T από την άτρακτο μεταφερόμενη ροπή στρέψης σε Nmm.

$T = 9,55 \cdot 10^6 \frac{P}{n}$ σε Nmm με P μεταφερόμενη ισχύς σε kW και οι αντίστοιχες στροφές n σε RPM.

W_t πολική ροπή αντίστασης της διατομής της ατράκτου σε mm³.

Για πλήρεις ατράκτους είναι $W_t \approx 0,2 \cdot d^3$.

$\tau_{\text{τεπ}}$ επιτρεπόμενη τάση στρέψης σε N/mm² (πίνακας 8-1).

Είδος χάλυβα	Τύπος χάλυβα	$\tau_{\text{τεπ}}$	$\sigma_{\text{τεπ}}$	R_m	R_e	σ_{bF}	σ_w	τ_w
Χάλυβες ¹⁾ κατασκευών DIN 17100	S235JRG2 (St 37-2)	18	37	340	215	260	150	105
	S275JR (St 44-2)	22	45	410	255	305	185	130
	E295 (St 50-2)	26	52	470	275	330	210	145
	E335 (St 60-2)	32	63	570	315	380	255	180
Βελτιωμένοι χάλυβες ²⁾ DIN 17200	C35E (Ck 35)	27	53	480	270	325	215	150
	C45E (Ck 45)	32	64	580	305	365	260	180
	25CrMo4	39	77	700	450	540	315	220
	34CrMo4	44	88	800	550	660	360	250
	42CrMo4	50	100	900	650	780	405	285
	50CrMo4	50	100	900	700	840	405	285
Χάλυβες ³⁾ επιφανειακής βαφής DIN 17210	34CrNiMo6	55	100	1000	800	900	450	315
	16MnCr5	36	72	650	450	540	290	205
	20MnCr5	44	88	800	550	660	360	250
	15CrNi6	44	88	800	550	660	360	250

¹⁾ πάχος 40...63 mm, ²⁾ πάχος 40...100 mm, ³⁾ πάχος 65 mm.

Πίνακας 8-1. Επιτρεπόμενες τάσεις για κατά προσέγγιση υπολογισμούς και τιμές αντοχής σε N/mm² για άξονες και ατράκτους.

R_m = αντοχή σε εφελκυσμό, R_e = όριο διαρροής ή 0,2% όριο μήκυνσης, σ_{bF} = όριο διαρροής για κάμψη, σ_w = αντιστρεφόμενη αντοχή σε εφελκυσμό – θλίψη, τ_w = επαναλαμβανόμενη αντοχή σε διάτμηση.

Μετά το μετασχηματισμό της σχέσης (8.3) προκύπτει η διάμετρος της ατράκτου

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot \tau_{\tau\pi}}} \quad \text{σε mm} \quad (8.4)$$

8.2.4. Κατά προσέγγιση υπολογισμός σε σύνθεση καταπόνηση

Πολλές φορές η ροπή κάμψης δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί από την αρχή, γιατί δεν είναι ακόμη γνωστές (ή είναι γνωστές μόνο χονδρικά) οι απαραίτητες αποστάσεις των εδράνων, τροχών, τροχαλιών κλπ. καθώς και οι δυνάμεις που εξασκούνται από τα στοιχεία αυτά πάνω στην άτρακτο.

Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται πλούσια η άτρακτος σε στρέψη, λαμβάνοντας υπόψη με συντελεστές ότι υπάρχει και η άγνωστη ακόμα καταπόνηση σε κάμψη. Από τη ροπή στρέψης T σε Nm ή την ισχύ P σε kW στις n στροφές ανά λεπτό (RPM) προκύπτει, από τη γενική σχέση (8.3), η διάμετρος της ατράκτου d

$$d \approx C_1 \sqrt[3]{T} \approx C_2 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad \text{σε mm} \quad (8.5)$$

C_1, C_2 συντελεστές που εξαρτώνται από την επιτρεπόμενη τάση στρέψης, η οποία λαμβάνεται εδώ σχετικά μικρή εν όψει και της πρόσθετης καταπόνησης σε κάμψη.

$C_1 = 6,9$ και $C_2 = 146$ με $\tau_{\tau\pi} = 15 \text{ N/mm}^2$ για St37, St42 και χάλυβες παρόμοιας αντοχής

$C_1 = 6,3$ και $C_2 = 133$ με $\tau_{\tau\pi} = 20 \text{ N/mm}^2$ για St50, St60 και χάλυβες παρόμοιας αντοχής

$C_1 = 5,8$ και $C_2 = 123$ με $\tau_{\tau\pi} = 25 \text{ N/mm}^2$ για χάλυβες υψηλότερες αντοχής

8.2.5. Ακριβής υπολογισμός σε σύνθετη καταπόνηση

Μετά τον κατά προσέγγιση υπολογισμό με τη βοήθεια της σχέσης (8.5) και αφού προσδιοριστούν πλέον οι ακριβείς διαστάσεις και δυνάμεις, μπορεί να γίνει ο έλεγχος της ατράκτου σε κάμψη και στρέψη.

Κατά το κριτήριο του μέγιστου έργου παραμόρφωσης η ισοδύναμη τάση σ_v θα είναι

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_o \cdot \tau_t)^2} \leq \sigma_{\text{βεπ}} \text{ σε N/mm}^2 \quad (8.6)$$

σ_b τάση κάμψης που υπάρχει στην άτρακτο σε N/mm^2 από τη σχέση (8.1)

τ_t τάση στρέψης που υπάρχει στην άτρακτο σε N/mm^2 από τη σχέση (8.3)

α_o λόγος καταπόνησης για δυναμική φόρτιση

$\alpha_o = \frac{\sigma_{bw}}{1,73 \cdot \tau_{tSch}}$ όταν η καμπτική και η στρεπτική καταπόνηση και επαναλαμβανόμενη στρεπτική καταπόνηση.

Κανονικά δεν απαιτείται υπολογισμός του α_o ιδιαίτερα για τους γενικούς χάλυβες κατασκευών. Λαμβάνεται

$\alpha_o = 0,1$ όταν η καμπτική και η στρεπτική καταπόνηση ανήκουν στην ίδια περίπτωση φόρτισης π.χ. και οι δύο είναι επαναλαμβανόμενες ή αντιστρεφόμενες

$\alpha_o = 0,7$ για αντιστρεφόμενη κάμψη και επαναλαμβανόμενη στρέψη (περίπτωση που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές)

$\alpha_o = 0,4$ για αντιστρεφόμενη κάμψη και στατική στρέψη

$\sigma_{\text{βεπ}}$ επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm^2 (πίνακας 8-1)

Αν είναι γνωστές (ή μπορούν να υπολογισθούν με αρκετή ακρίβεια) οι ροπές κάμψης και στρέψης, τότε ο υπολογισμός της ατράκτου μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της ισοδύναμης ροπής M_v

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 (\alpha_o \cdot T)^2} \quad \text{σε Nmm (Nm)} \quad (8.7)$$

M_b ροπή κάμψης στην επικίνδυνη διατομή σε Nmm (Nm)

$M_b = F_A \cdot \ell_1 = F_B \cdot \ell_2$ σχήμα 8-9, F_A και F_B από τις συνθήκες ισορροπίας

T ροπή στρέψης που μεταφέρεται από την άτρακτο σε Nmm (Nm) . Βλέπε σημείωση κάτω από σχέση (8.3)

α_o λόγος καταπόνησης (βλέπε πιο πάνω)

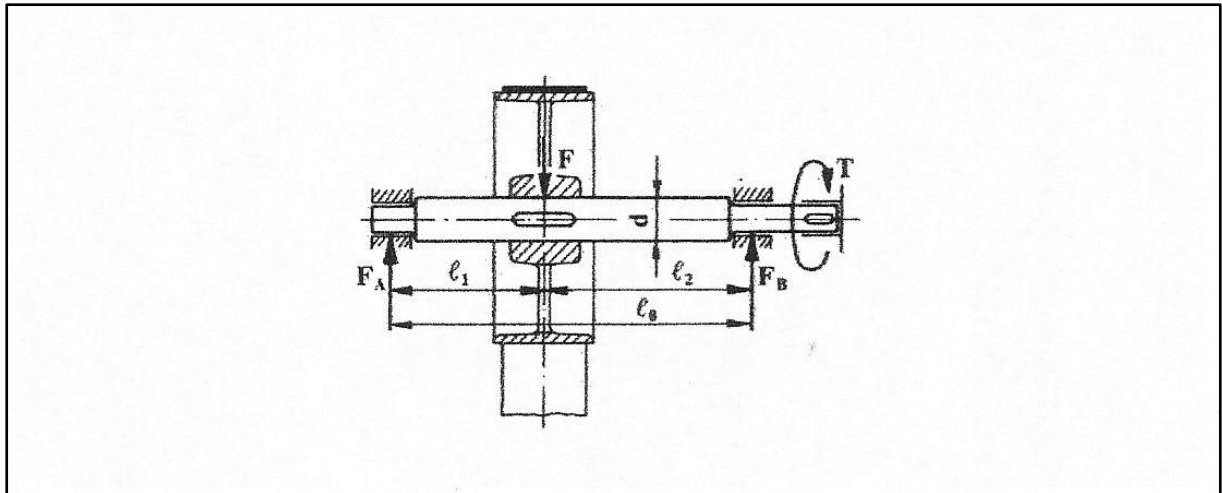
Ο υπολογισμός της διαμέτρου d της ατράκτου γίνεται τώρα με τη βοήθεια της ισοδύναμης ροπής M_v από τη γενική σχέση $\sigma_b = \frac{M_v}{W_b} \leq \sigma_{\text{βεπ}}$ σαν να υπήρχε καταπόνηση μόνο σε κάμψη.

Τελικά έχουμε

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \cdot \sigma_{b\epsilon\pi}}} \quad \text{σε mm} \quad (8.8)$$

M_v ισοδύναμη ροπή σε Nmm από σχέση (8.7)

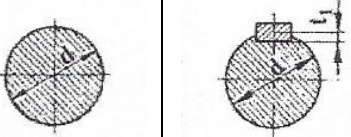
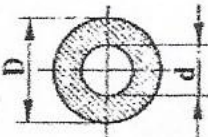
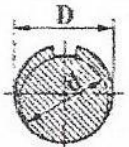
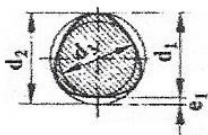
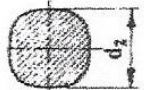
$\sigma_{b\epsilon\pi}$ επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm² (πίνακας 8-1)



Σχήμα 8-9. Άτρακτος που καταπονείται συγχρόνως σε κάμψη και στρέψη.

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ή στρεπτικής τάσης είναι απαραίτητες οι ροπές αντίστασης των διατομών σε κάμψη W_b και στρέψη W_t . Τα στοιχεία αυτά (W_b και W_t) καθώς και οι αντίστοιχες ροπές αδράνειας I_b και I_t δίνονται στον πίνακα 8-2.

Προσοχή στη χρησιμοποίηση της κατάλληλης διαμέτρου (δή D) για τα διάφορα είδη ατράκτων (πλήρης, με σφηνόδρομο, με πολύσφηνο κλπ.) π.χ. η διάμετρος πυρήνα d είναι μικρότερη από την D κατά το βάθος του σφηνόδρομου και αυτό λαμβάνεται υπόψη σε καταπονήσεις στρέψης.

					
	Άτρακτος πλήρης ή με αύλακα για οδηγό σφήνα ή κωνικό σφήνα		Άτρακτος με αύλακα	Άτρακτος διάτρητη	Άτρακτος με οπή
W_b	$\approx 0,1d^3$		$\approx 0,012(D+d)^3$	$\approx 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\approx 0,1D^3 - 0,17dD^2$
W_t	$2W_b$	$\approx 0,2(d-t)^3$	$\approx 0,2d^3$	$= 2W_b$	$\approx 2W_b$
I_b	$\approx 0,05d^4$		$\approx 0,003(D+d)^4$	$\approx 0,05(D^4 - d^4)$	$\approx 0,05D^4 - 0,083dD^4$
I_t	$\approx 0,1d^4$	$\approx 0,1(d-t)^4$	$\approx 0,1d^4$	$= 2I_b$	$\approx 2I_b$
					
	Άτρακτος με οδόντες		Άτρακτος με πολύσφηνο	Άτρακτος με πολύγωνο P3G	Άτρακτος με πολύγωνο P4C
W_b	$\approx 0,012(D+d)^3$		$\approx 0,012(D+d)^3$	I_t/d_1	$\approx 0,15d_2^3$
W_t	$= 2W_b$		$= 2W_b$	$\approx 2I_t/d_1$	$\approx 0,2d_2^3$
I_b	$\approx 0,003(D+d)^4$		$\approx 0,003(D+d)^4$	$\approx I_t/2$	$\approx 0,075d_2^4$
I_t	$= 2I_b$		$= 2I_b$	$\frac{\pi d_1^2}{4} \left(\frac{d_1^2}{8} - 3e_1^2 \right) - 6\pi \cdot e_1^4$	$\approx 0,1d_2^4$

Πίνακας 8-2. Ροπές αντίστασης W_b και W_t έναντι κάμψης και στρέψης καθώς και επιφανειακές ροπές 2^{ov} βαθμού (ροπές αδράνειας) I_b και I_t διαφόρων διατομών ατράκτων.

Υπολογισμός παραμορφώσεων

α) Η στρεπτική φόρτιση μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση μεταξύ δυο θέσεων της ατράκτου που ονομάζεται και στρέβλωση.

β) Η καμπτική φόρτιση που δημιουργείται με την εφαρμογή εγκάρσιων δυνάμεων μπορεί να προκαλέσει σε κάθε θέση μιας ατράκτου ένα βέλος κάμψης.

Κατά τη λειτουργία θα πρέπει το μέγεθος της στρέβλωσης ή του βέλους κάμψης να είναι τέτοιο ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία των στοιχείων που στηρίζονται στην άτρακτο (όπως έδρανα, γρανάζια κλπ.). Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται ειδικός υπολογισμός σε ατράκτους που μπορεί να έχουν μεγάλες παραμορφώσεις.

Ταλαντώσεις – συντονισμός

Ως γνωστόν ο αριθμός ταλαντώσεων είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μεγαλύτερη είναι η σταθερά ελατηρίου και όσο μικρότερη η μάζα του σώματος, είναι δε ανεξάρτητος από το μέγεθος της διεγερτικής δύναμης που καθορίζει μόνο το πλάτος της ταλαντώσεως. Επομένως, όλα τα σώματα έχουν μια ορισμένη «ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ».

Όταν η διέγερση γίνει μόνο μια φορά οι ταλαντώσεις αποσβένονται λόγω των τριβών, αντίσταση αέρα κλπ. Αν όμως ένα σώμα διεγείρεται συνεχώς και μάλιστα στο ρυθμό της ιδιοσυχνότητας τότε θα πέσει σε ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟ. Με αποτέλεσμα το πλάτος της ταλάντωσης να γίνει μεγαλύτερο μετά από κάθε διέγερση ώστε να συμβεί ακόμα και θραύση.

Κρίσιμος αριθμός στροφών για κάμψη

Σε περιστρεφόμενες ατράκτους οι διεγερτικές δυνάμεις που προκαλούν ταλαντώσεις προέρχονται από τις εκκεντρότητες που πρακτικά πάντοτε υπάρχουν επάνω στις μάζες που περιστρέφονται (τροχοί, τροχαλίες, συμπλέκτες, κλπ.). Η εκκεντρότητα προκαλεί μια πρόσθετη φυγόκεντρη δύναμη $F_{\text{που με τη σειρά της προκαλεί στην άτρακτο ένα βέλος κάμψης } Y$. Αυτή η φυγόκεντρη δύναμη αποτελεί τη δύναμη διέγερσης των ταλαντώσεων.

Αν λοιπόν η άτρακτος και μαζί η φυγόκεντρο δύναμη περιστρέφονται με έναν αριθμό στροφών το λεγόμενο κρίσιμο αριθμό στροφών, που συμπίπτει με την ιδιοσυχνότητα τότε έχουμε συντονισμό.

Επίσης, σε αριθμούς στροφών που είναι πολλαπλάσιοι ή υποπολλαπλάσιοι του κρίσιμου αριθμού στροφών, παρατηρείται συντονισμός με αποτέλεσμα κατά την εκκίνηση ή το σταμάτημα ενός μηχανήματος να εμφανίζονται κραδασμοί.

Κρίσιμος αριθμός στροφών για στρέψη

Στρεπτικές ταλαντώσεις μπορούν να εμφανισθούν σε ατράκτους που διεγείρονται από κρουστικές ροπές στρέψης που έχουν την ίδια συχνότητα με την ιδιοσυχνότητα της ατράκτου σε στρεπτικές ταλαντώσεις. Αυτός ο κίνδυνος υπάρχει ιδιαίτερα σε στροφαλοφόρους άξονες εμβολοφόρων μηχανών.

Είναι δυνατό να παρατηρηθεί σε κινητήρες αυτοκινήτων σε ένα ορισμένο αριθμό στροφών (συντονισμός) και οι κραδασμοί να εξαπλωθούν σε ολόκληρο το όχημα.

Για να επιτευχθεί ένας υψηλός κρίσιμος αριθμός στροφών με στόχο την αποφυγή του κρίσιμου αριθμού στροφών στην πράξη πρέπει να λαμβάνονται τα κάτωθι μέτρα.

- I) Να τοποθετούνται τα έδρανα κοντά στους περιστρεφόμενους τροχούς, τροχαλίες κλπ. (για να αποφεύγεται το μεγάλο βέλος κάμψης).
- II) Να γίνεται προσεκτική ζυγοστάθμιση των περιστρεφόμενων μερών (για να είναι μικρή η επίδραση των φυγοκέντρων δυνάμεων).
- III) Να κατασκευάζονται από ελαφριά υλικά οι περιστρεφόμενες τροχαλίες, οι τροχοί, οι συμπλέκτες κλπ. (για να μην προκαλούν μεγάλο βέλος κάμψης).

ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΑΤΡΑΚΤΩΝ – ΠΛΗΜΝΩΝ

Ο βασικός και κύριος ρόλος της ατράκτου είναι να μεταφέρει μια ροπή στρέψης, μέσω της πλήμνης.

Πλήμνη: ονομάζεται το τμήμα των στοιχείων (που μπορεί να είναι απλός τροχός, τροχαλία, τύμπανο, μοχλός, κλπ.) που συνδέεται με την άτρακτο και διαμορφώνεται ανάλογα με τη μορφή κάθε συγκεκριμένου στοιχείου αφενός και αφετέρου ανάλογα με το είδος της σύνδεσής του με μια άτρακτο.

Οι συνδέσεις ατράκτων – πλημνών μπορεί να χωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες:

Στις συνδέσεις μορφής και της σύνδεσης τριβής.

α) Συνδέσεις μορφής: Είναι αυτές που η μετάδοση της ροπής στρέψης προκύπτει:

1. Από την άμεση εμπλοκή της μορφής όπως με πολύσφηνα και πολυγωνικές συνδέσεις, βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι δεν επεισέρονται δυνάμεις τριβής, αλλά η περιφερειακή δύναμη $F_{\text{μεταδίδεται}}$ μέσω των παρειών του σφήνα και
2. Με την έμμεση εμπλοκή μορφής με πρόσθετα στοιχεία, όπως οι οδηγόι σφήνες, οι διαμήκεις σφήνες, οι κινητές σφήνες, οι κοίλες-επίπεδες εφαρμοστές σφήνες, οι δισκοειδείς σφήνες και οι εγκάρσιοι σφήνες, σε αυτές η μετάδοση της δύναμης $F_{\text{υγίνεται}}$ μέσω των παρειών των σφηνών.

β) Συνδέσεις τριβής: Είναι αυτές που η μετάδοση της ροπής στρέψης προκύπτει:

1. Από την άμεση σύνδεση τριβής όπου τα δυο σώματα εφάπτονται άμεσα με μια κυλινδρική ή κωνική επιφάνεια που συσφίγγονται. Τέτοιες συνδέσεις ατράκτων – πλημνών είναι οι κωνικές συνδέσεις, οι συνδέσεις μηχανικής συσφίξεως και οι συναρμογές συσφίξεως.
2. Με την έμμεση σύνδεση τριβής με πρόσθετα στοιχεία με ειδική μορφή τα οποία προεντεινόμενα αναπτύσσουν ακτινικές δυνάμεις πίεσεως στα δυο συνδεόμενα σώματα. Τέτοια πρόσθετα στοιχεία είναι οι κωνικοί δακτύλιοι προεντάσεως και οι αστεροειδείς δίσκοι προεντάσεως.

Όλες οι συνδέσεις τριβής εξασφαλίζουν την περισσότερο ομοιόμορφη κατανομή της στρεπτικής καταπόνησης της ατράκτου από ότι οι συνδέσεις μορφής, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σαν συνδέσεις ασφάλειας ένεκα της ολίσθησης.

Επίσης από άποψη δυναμικής και στατικής αντοχής υπερτερούν των συνδέσεων μορφής.

Μειονεκτούν ως προς το ότι μερικές συνδέσεις τριβής έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και συναρμολόγησης ενώ άλλες αποσυναρμολογούνται

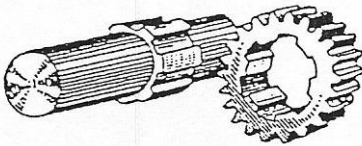
πολύ δύσκολα και άλλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στα άκρα των ατράκτων.

Τα πολύσφηνα:

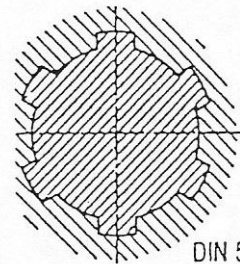
Τα πολύσφηνα χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά μεγάλων στρεπτικών ροπών, για σταθερές συνδέσεις μεταξύ ατράκτων και πλημνών και για συνδέσεις που μετακινούνται αξονικά.

Η τυποποίηση των πολύσφηνων περιλαμβάνει τρεις βασικές γεωμετρίες.

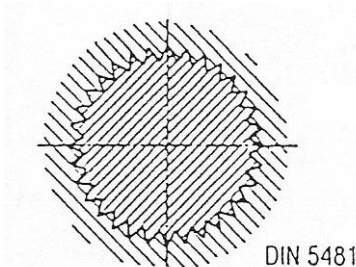
- i) Τα πολύσφηνα με ορθογωνικούς σφήνες, αυτοί ανάλογα με τη στρεπτική καταπόνηση του άξονα διακρίνονται σε ελαφρά, μέσα και βαρέα.
- ii) Τα πολύσφηνα με τριγωνικούς σφήνες.
- iii) Τα πολύσφηνα με εξελιγμένους σφήνες, αυτοί παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή αλλά έχουν αυξημένο κόστος κατασκευής.



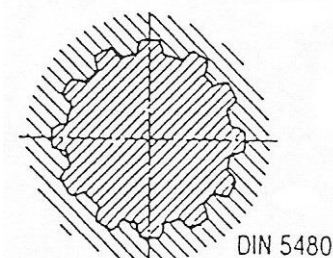
Πολύσφηνο.



α) Με ορθογωνική μορφή.



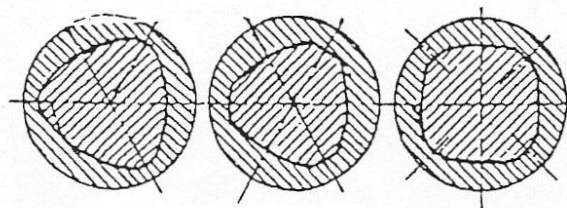
β) Με τριγωνική μορφή.



γ) Με εξελιγμένη μορφή.

Πολυγωνικές συνδέσεις

Στις πολυγωνικές συνδέσεις η άτρακτος και η οπή της πλήμνης κατασκευάζονται με τριγωνική ή τετραγωνική διατομή με στρογγυλεμένες κορυφές. Όπως είναι φυσικό η διαμόρφωσή τους παρουσιάζει κάποια δυσκολία με αποτέλεσμα να έχουμε αυξημένο κόστος κατασκευής.



Οδηγοί σφήνες:

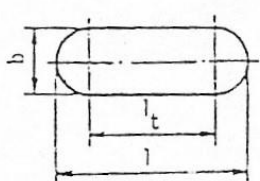
Οι οδηγοί σφήνες αποτελούν την πιο συνηθισμένη σύνδεση μεταξύ τροχαλίων, οδοντωτών τροχών κλπ. Η σύνδεση αυτή είναι απλή στη χρήση και φθηνή, οι σφήνες αυτές τοποθετούνται κατά μήκος της ατράκτου.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της σύνδεσης είναι:

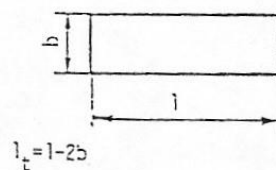
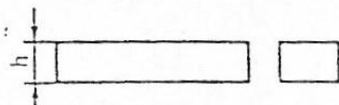
- α) Έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής.
- β) Η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγησή τους είναι εύκολη.
- γ) Η κέντρωση της πλήμνης με την άτρακτο είναι ακριβής.
- δ) Μπορεί να γίνεται αξονική μετατόπιση της πλήμνης κατά τη λειτουργία.

Τα μειονεκτήματά της είναι:

- α) Δεν είναι κατάλληλη στο να παραλαμβάνει εναλλασσόμενη στρεπτική φόρτιση.
- β) Αναπτύσσονται υψηλές στρεπτικές και καμπτικές τάσεις εγκοπών λόγω του σφηνάυλακα.
- γ) Όταν δεν επιτρέπεται να μετατοπιστεί η πλήμνη κατά τη λειτουργία πρέπει να ασφαρίζεται πρόσθετα αξονικά με την άτρακτο.



α) σφήνας με στρογγυλά άκρα.

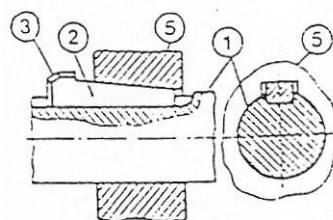
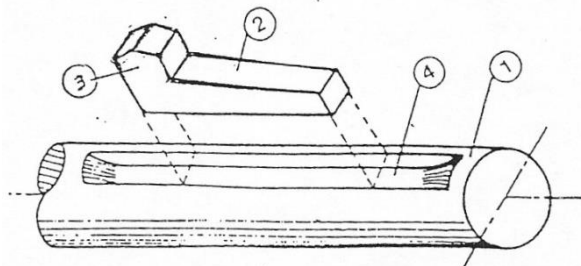


β) σφήνας με επίπεδα άκρα.

Κινητές σφήνες

Οι σφήνες αυτές εφάπτονται στην άνω και κάτω επιφάνειά τους και συνήθως όχι στις παρειές. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι το μήκος τους είναι μικρότερο από το μήκος του σφηνοδρόμου της ατράκτου έτσι μπορεί ο σφήνας να ολισθαίνει κατά μήκος του σφηνοδρόμου κι έτσι μπορεί να βγαίνει χωρίς να απαιτείται μετακίνηση της πλήμνης.

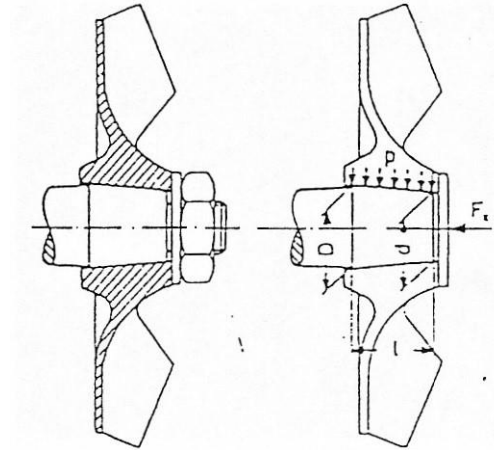
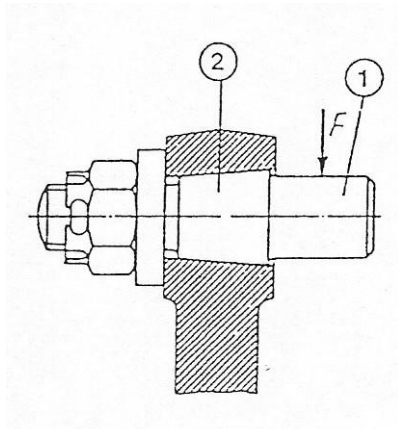
Οι κινητές σφήνες χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε απλές μηχανολογικές κατασκευές με κρουστικά ή εναλλασσόμενα δυναμικά φορτία.



Κινητός σφήνας (1=Άτρακτος, 2=Σφήνας, 3=Νύχι, 4=Σφηνόδρομος, 5=Πλήμνη)

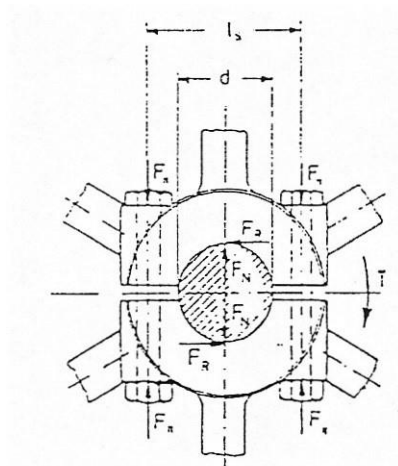
Κωνικές συνδέσεις τριβής

Οι κωνικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη σύνδεση μιας πλήμνης στο άκρο της ατράκτου, είναι φθηνές, έχουν καλή κέντρωση και χαμηλή καταπόνηση του υλικού της ατράκτου.

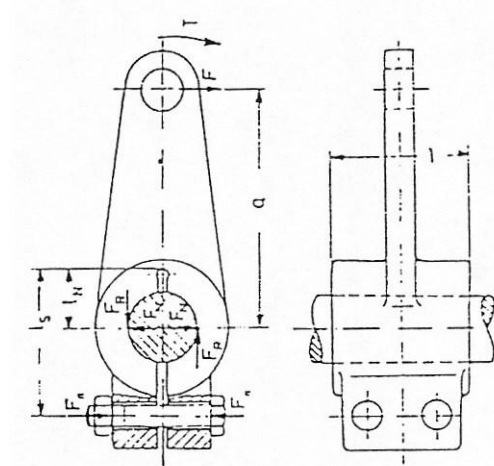


Συνδέσεις μηχανικής συσφίξεως

Οι συνδέσεις μηχανικής συσφίξεως με σχισμή στην πλήμνη ή με διαιρετή πλήμνη συνδέονται με κοχλίες. Η συναρμολόγηση και η αποσυναρμολόγηση μπορούν να γίνουν εύκολα. Οι συνδέσεις αυτές μπορούν να παραλάβουν κρουστικά φορτία και να δεχθούν στρεπτική ροπή και αξονική φόρτιση συγχρόνως.



α) Με διαιρετή πλήμνη



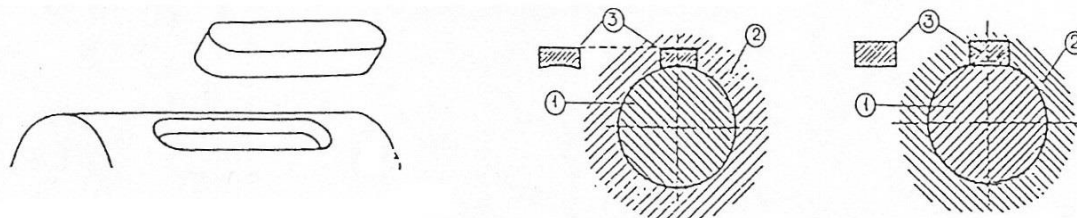
β) Με σχισμή στην πλήμνη

Συναρμογές συσφίξεως

Είναι οι πιο διαδεδομένη άμεση σύνδεση τριβής. Η οπή της πλήμνης κατασκευάζονται ορισμένα (μm) μικρότερη από το κυλινδρικό τμήμα της ατράκτου. Η σύνδεση γίνεται με ελαστική διεύρυνση της οπής και ελαστική ακτινική συμπίεση της ατράκτου ή με θερμική διαστολή και συστολή αντίστοιχα.

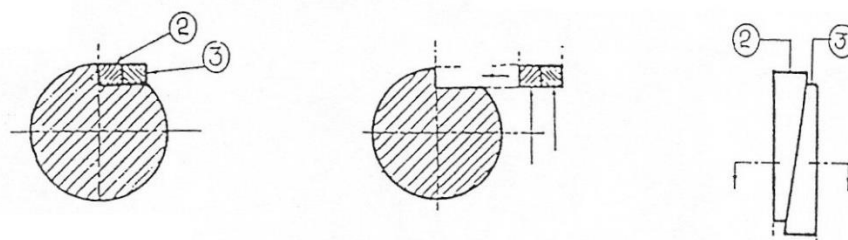
Εφαρμοστές – Κοίλες – Επίπεδες σφήνες

Οι σφήνες αυτοί παρουσιάζουν το ίδιο βασικό χαρακτηριστικό με τους κινητούς, η μετάδοση της ροπής στρέψης γίνεται μέσω της δύναμης τριβής στην άνω και κάτω επιφάνεια του σφήνα και όχι μέσω μιας κάθετης δύναμης στις παρειές του η διαφορά τους ως προς τους κινητούς έγκειται στο ότι δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα κατά μήκος της ατράκτου.



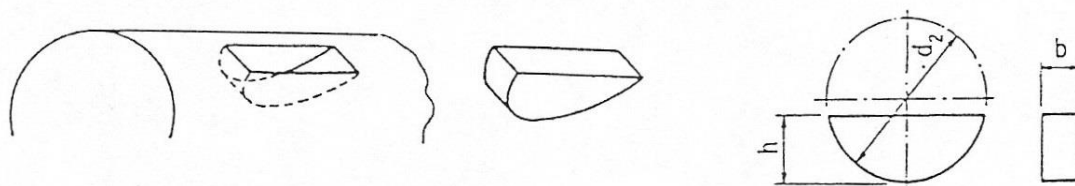
Εφαπτομενικές σφήνες

Οι σφήνες αυτές χρησιμοποιούνται πάντα κατά ζεύγη για πολύ μεγάλες ροπές στρέψης, για απότομες μεταβολές και για εναλλασσόμενη φορά περιστροφής.



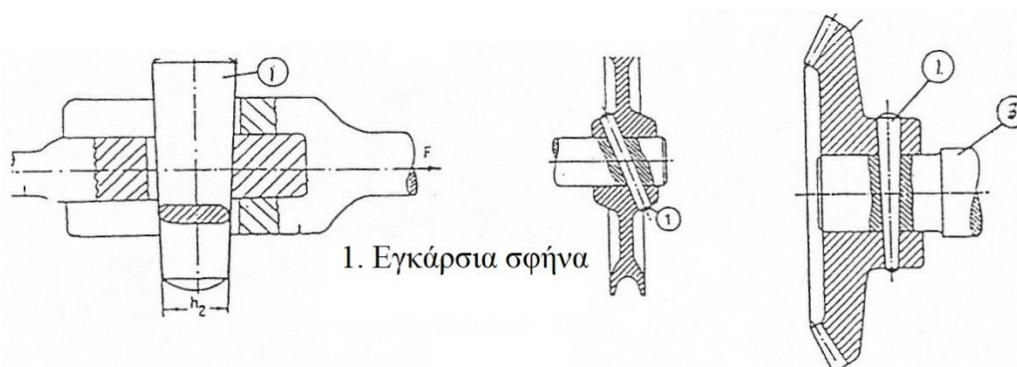
Δισκοειδείς σφήνες

Οι δισκοειδείς σφήνες έχουν μορφή ενός σχεδόν ημικυκλικού δίσκου. Τοποθετούνται στις ατράκτους σε αντίστοιχα αυλάκια με ημικυκλική μορφή, που κατασκευάζονται σε φρέζα με δισκοειδή κοπτικά εργαλεία. Οι σφήνες αυτοί έχουν μικρό κόστος κατασκευής, συναρμολογούνται εύκολα, δεν μπορούν να παραλάβουν εναλλασσόμενη στρεπτική φόρτιση, οι ροπές στρέψης που μπορούν να μεταδώσουν είναι σχετικά μικρές.



Εγκάρσιες σφήνες

Οι εγκάρσιες σφήνες είναι επίπεδοι δίσκοι με τα άκρα τους στρογγυλεμένα και χρησιμοποιούνται μόνον όταν δε μεταφέρονται με αυτές μεγάλες δυνάμεις.

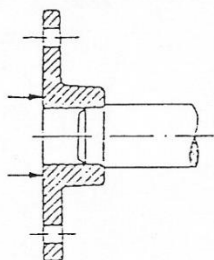


Τα βασικά πλεονεκτήματα των συναρμογών συσφίξεως είναι:

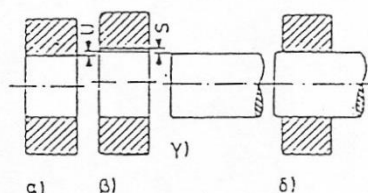
- α) Το χαμηλό κόστος κατασκευής.
- β) Μπορούν να μεταδώσουν στρεπτικά και αξονικά φορτία συγχρόνως.
- γ) Παραλαμβάνουν κρουστικά φορτία.

Μειονεκτήματα τους είναι:

- α) Η δύσκολη αποσυναρμολόγηση και
- β) η πρόσθετη καταπόνηση της πλήμνης από μια υψηλή επιφανειακή πίεση.



Αξονική συναρμολόγηση μιας συναρμογής συσφίξεως

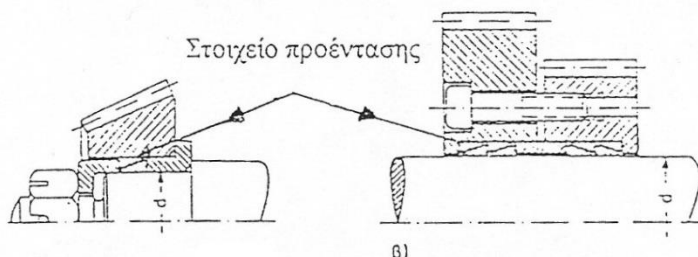
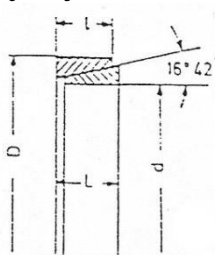


Εγκάρσια συναρμολόγηση συναρμογής συσφίξεως

- α) Πλήμνη σε θερμοκρασία φυσικού περιβάλλοντος
- β) Πλήμνη μετά από τη θέρμανσή της
- γ) Ατράκτος σε θερμοκρασία φυσικού περιβάλλοντος
- δ) Συναρμογή συσφίξεως μετά την τοποθέτηση της πλήμνης πάνω στην άτρακτο και τη ψύξη της σε θερμοκρασία φυσικού περιβάλλοντος.

Κωνικοί δακτύλιοι προεντάσεως

Οι κωνικοί δακτύλιοι προεντάσεως τοποθετούνται ο ένας μέσα στον άλλο και συναρμολογούνται με ελεύθερη συναρμογή μεταξύ πλήμνης και ατράκτου. Με τη βοήθεια ενός περικοχλίου και ενός δίσκου πίεσεως εφαρμόζεται μια αξονική δύναμη όποτε ο ένας δακτύλιος βραχύνεται και ο άλλος διαστέλλεται ελαστικά με αποτέλεσμα να πετυχαίνεται μια συναρμογή συσφίξεως.



Συνδέσεις ατράκτου πλήμνης με κωνικούς δακτυλίους προεντάσεως

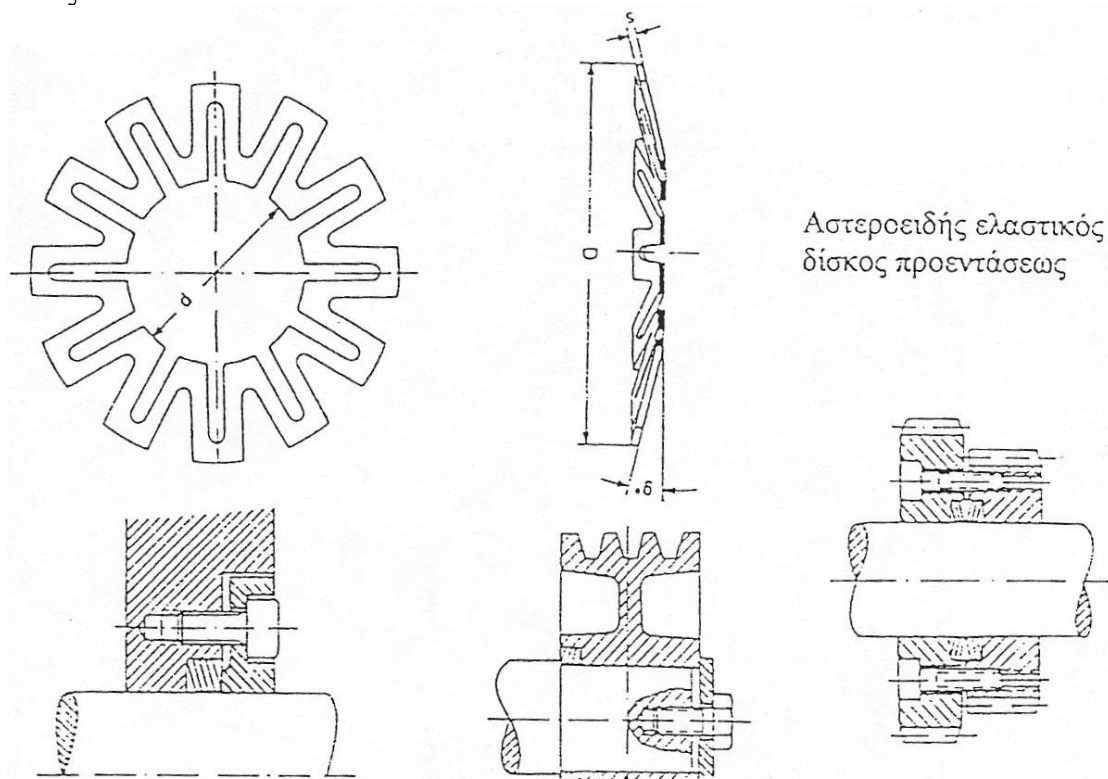
- α) Με ένα ζεύγος δακτυλίων
- β) Με τέσσερα ζεύγη δακτυλίων

Αστεροειδείς δίσκοι προεντάσεως

Οι αστεροειδείς δίσκοι προεντάσεως έχουν τη μορφή ελαφρά κωνικών δίσκων με λεπτό πάχος, μοιάζουν δηλαδή με δισκοειδή ελατήρια. Εφαρμόζοντας με τη βοήθεια κοχλίων, αξονικές δυνάμεις στην

εσωτερική και εξωτερική τους διάμετρο παραμορφώνονται και αποκτούν συναρμογή συσφίξεως με την άτρακτο και την οπή της πλήμνης.

Χρησιμοποιούνται συνήθως σαν πακέτο, που περιλαμβάνει τρεις έως έξι δίσκους.



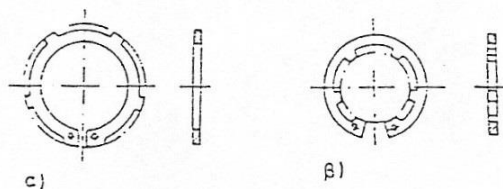
Αστεροειδής ελαστικός δίσκος προεντάσεως

Σχ. Συνδέσεις ατράκτων – πλήμνων με αστεροειδείς ελαστικούς δίσκους προεντάσεως σε διάφορες εφαρμογές.

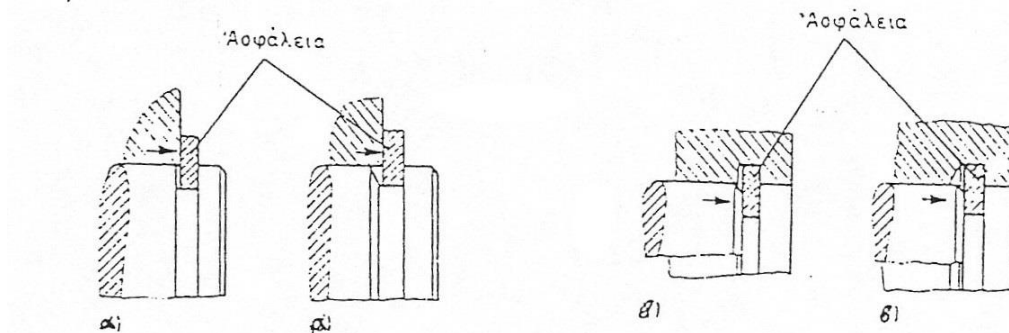
Ασφάλειες Ατράκτων και Αξόνων

Με το όνομα ασφάλειες ατράκτων και αξόνων χαρακτηρίζονται εκείνα τα στοιχεία τα οποία μπορούν να μεταφέρουν αξονικές δυνάμεις.

Στις περισσότερες τους εφαρμογές απλώς ασφαλίζουν διάφορα στοιχεία σε μια συγκεκριμένη θέση.



Σχ. Ασφάλειες κατά:
α) DIN 983 για ατράκτους
β) DIN 984 για οπές

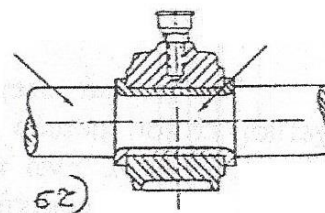
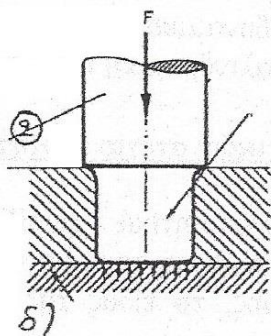
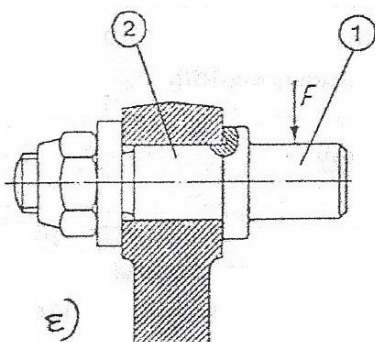
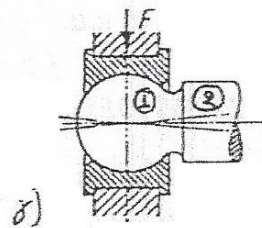
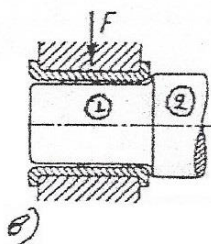
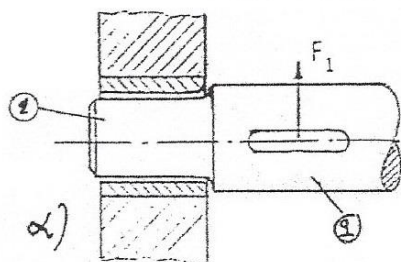


ΣΤΡΟΦΕΙΣ

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 δακτυλιοειδείς στροφείς
3. Ανάλογα με τη θέση τους στην άτρακτο ή τον άξονα
 - i) Ακράιοι 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.

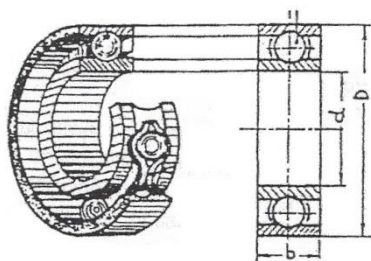
ΕΔΡΑΝΑ ΑΤΡΑΚΤΩΝ – ΑΞΟΝΩΝ

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.

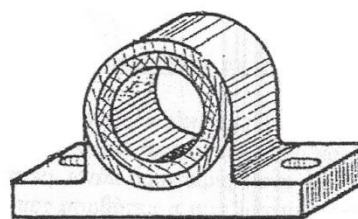
Γενικά τα έδρανα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

α) Στα έδρανα κυλίσεως «ΡΟΥΛΕΜΑΝ»

β) Στα έδρανα ολισθήσεως «ΚΟΥΖΙΝΕΤΑ»



α) Έδρανο κύλισης



β) Έδρανο ολίσθησης

Τα πλεονεκτήματα των εδράνων κυλίσεως έναντι των εδράνων ολισθήσεως 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.

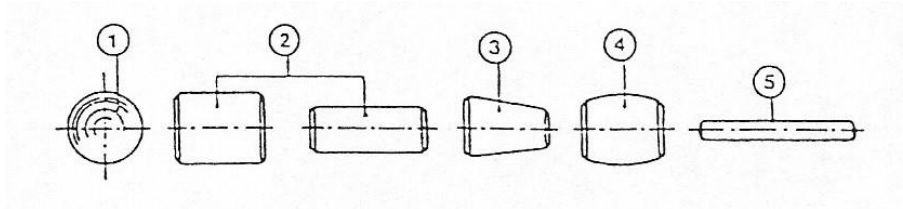
Τα μειονεκτήματα των εδράνων κυλίσεως έναντι των εδράνων ολισθήσεως είναι:

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 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.

Τα σώματα κυλίσεως μπορεί να έχουν μορφή σφαίρας, κυλίνδρου, βαρελοειδούς κυλίνδρου, κόλουρου κώνου, βαρελοειδούς κόλουρου κώνου ή βελόνας και συγκρατούνται μεταξύ τους σε ίσες αποστάσεις με τη βοήθεια ενός κλωβού.



Σώματα κυλίσεως

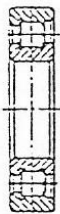
1.Σφαίρα, 2.Κύλινδροι, 3.Κώνος, 4.Βαρελοειδές, 5.Βελόνα.

-Ανάλογα με τη γενική τους μορφή τα έδρανα κυλίσεως διακρίνονται σε:

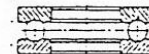
α) Δακτυλιοειδή

β) Δισκοειδή

γ) Λοξά



α)



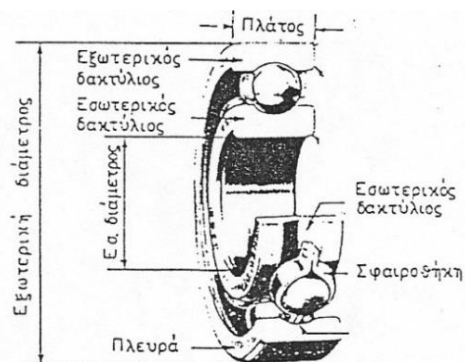
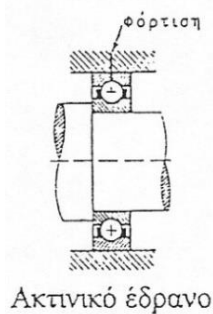
β)



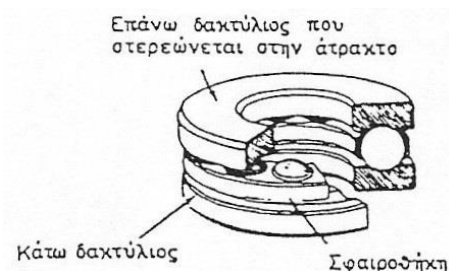
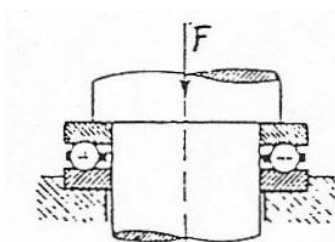
γ)

-Ανάλογα με τη διεύθυνση του κύριου φορτίου τα έδρανα κυλίσεως χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

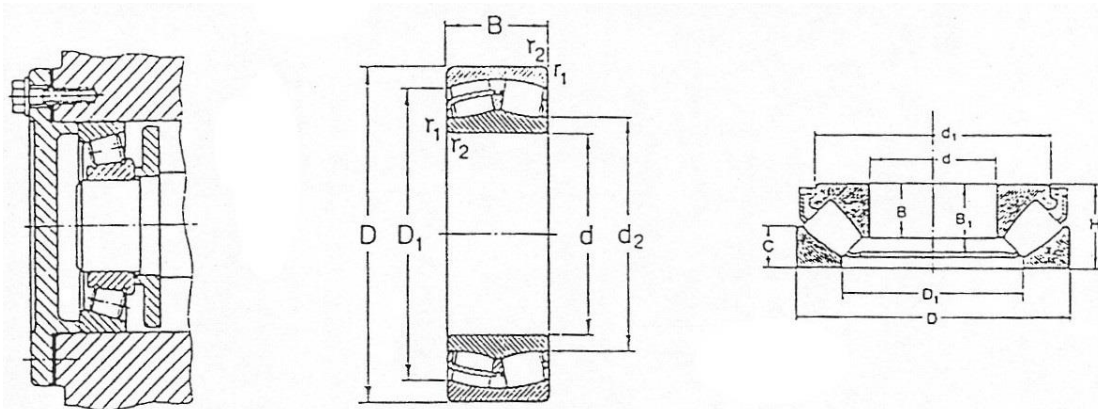
I) Στα εγκάρσια ή ακτινικά έδρανα: αυτά παραλαμβάνουν εγκάρσια φορτία και έχουν πάντοτε δακτυλιοειδή μορφή.



II) Στα αξονικά ή ωστικά έδρανα: αυτά παραλαμβάνουν μόνο αξονικά φορτία και έχουν δισκοειδή μορφή.



III) Στα έδρανα συνδυασμένης φόρτισης: αυτά παραλαμβάνουν και εγκάρσια και αξονικά φορτία και έχουν δακτυλιοειδή ή δισκοειδή μορφή.



-Ανάλογα με τη μορφή των σωμάτων κυλίσεως τα έδρανα κυλίσεως ονομάζονται:

- α) Ένσφαιρα
- β) Κυλινδρικά
- γ) Βαρελωτά
- δ) Κωνικά
- ε) Βελονωτά
- ζ) Απλά ή διπλά (με μια ή δυο σειρές σωμάτων)

-Ανάλογα με τον κατασκευαστικό τρόπο λειτουργίας τα έδρανα κυλίσεως ονομάζονται:

- α) Σταθερά
- β) Κινητά
- γ) Αυτορρυθμιζόμενα

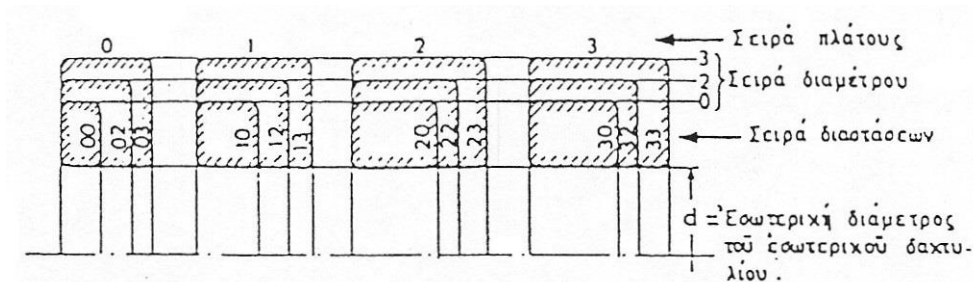
Τυποποίηση εδράνων κυλίσεως

Τα έδρανα κυλίσεως κατασκευάζονται σε μαζική παραγωγή και από λίγα ειδικευμένα εργοστάσια, από καλά υλικά με μεγάλη ακρίβεια και τυποποιημένα.

Η τυποποίηση των διαστάσεων έγινε με βάση των διαστάσεων των τυποποιημένων διαμέτρων των ατράκτων και στη συνέχεια με βάση την εσωτερική διάμετρο προτυποποιήθηκε μια σειρά από διαστάσεων πλάτους και εξωτερικών διαμέτρων.

Συμβολισμός των εδράνων κυλίσεως

Σε κάθε ρουλεμάν υπάρχει ένας χαρακτηριστικός αριθμός ο οποίος συντίθεται από το συμβολισμό της σειράς του εδράνου και από το συμβολισμό της εσωτερικής οπής.



Προτυποποίηση διαστάσεων εδράνων σύμφωνα με τον κανονισμό DIN 616.

Σύμφωνα με τον κανονισμό κατά DIN 623, πριν από το συμβολισμό της σειράς μπορούν να τοποθετηθούν ορισμένα γράμματα που ονομάζονται προτιθέμενα σύμβολα, και σημαίνει ότι ο συμβολισμός αναφέρεται μόνο σε συγκεκριμένα τεμάχια ενός εδράνου, επίσης μετά το συμβολισμό της οπής μπορούν να τοποθετηθούν ορισμένα ακολουθούντα σύμβολα με τα οποία προσδιορίζονται ειδικές παρεκκλίσεις.

α	β	γ	δ
---	---	---	---

α) προτιθέμενα σύμβολα

β) βασικός συμβολισμός (συμβολισμός σειράς και εσωτερικής διαμέτρου εδράνου) π.χ. 62 / 5 = σειρά 62 με $d = 5 \text{ mm}$

γ) ακολουθούντα σύμβολα

Υπολογισμός αντοχής εδράνων κυλίσεως

Η εκλογή του κατάλληλου είδους και μεγέθους του εδράνου καθορίζεται βασικά από το είδος και το μέγεθος της ονομαστικής φόρτισης, από την ταχύτητα περιστροφής και από διάφορες ειδικές συνθήκες λειτουργίας όπως θερμοκρασία και αυξομειώσεις κρούσεων.

Η αντοχή ενός εδράνου κυλίσεως εξαρτάται βασικά από:

- Τις μηχανικές ιδιότητες υλικού.
- Τη μορφή.
- Το μέγεθος.
- Τον αριθμό των σωμάτων κυλίσεως.
- Τη μορφή και μέγεθος των αυλακιών κυλίσεως των δακτυλίων.
- Τον συνολικό αριθμό κυλίσεως των σωμάτων κυλίσεως σε κάθε ένα σημείων των αυλακιών κυλίσεως.
- Την κατανομή του φορτίου στα σώματα κυλίσεως.

Όταν οι παραπάνω παράγοντες είναι γνωστοί μπορεί να εκτελεστεί ένας

ακριβής υπολογισμός αντοχής εδράνου με τη βοήθεια των εξισώσεων Hertz. (υπολογισμός της επιφανειακής πίεσης)

Ο σπουδαιότερος όρος που εμφανίζεται στον υπολογισμό είναι η διάρκεια ζωής του εδράνου κυλίσεως.

Διάρκεια ζωής είναι ο συνολικός αριθμός στροφών κατά τον οποίο ένα έδρανο μπορεί να λειτουργεί κανονικά, έως ότου εμφανισθούν τα πρώτα σημεία κοπώσεως.

Επειδή τα έδρανα έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής αν και είναι ίδια και δέχονται τις ίδιες δυνάμεις καθιερώθηκε για τις ανάγκες υπολογισμού αντοχής ή ονομαστική διάρκεια ζωής.

Ονομαστική διάρκεια ζωής είναι η διάρκεια ζωής που επιτυγχάνουν ή υπερβαίνουν τουλάχιστον τα 90% των εδράνων του ίδιου τύπου και διαστάσεων.

Η ονομαστική διάρκεια ζωής δίδεται από τον τύπο:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^k$$

όπου: L = ονομαστική διάρκεια ζωής σε εκατομμύρια στροφές.

n = αριθμός στροφών σε RPM.

P = ισοδύναμο φορτίο εδράνου σε KP

K = 3 για έδρανα σφαιρικά και

K = 10/3 για όλα τα άλλα.

C = αριθμός δυναμικής αντοχής ο οποίος είναι το σταθερό εκείνο φορτίο για το οποίο η ονομαστική διάρκεια ζωής είναι ένα εκατομμύριο στροφές ή 500 ώρες (L = 1).

Για τον υπολογισμό μελέτης όταν δηλαδή πρόκειται να εκλεγεί το κατάλληλο έδρανο εκλέγεται το κατάλληλο μέγεθος διάρκειας ζωής από πίνακα όποτε:

Ο απαιτούμενος αριθμός δυναμικής αντοχής σε KP υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C = P \cdot \left(\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$

όπου : L_h = διάρκεια ζωής σε h.

Το ισοδύναμο φορτίο (P) είναι το ιδεατό εγκάρσιο ή αξονικό φορτίο για το οποίο το έδρανο έχει την ίδια διάρκεια ζωής με αυτή που έχει όταν καταπονείται με το πραγματικό του φορτίο.

Αν η συνδυασμένη φόρτιση ενός εγκάρσιου εδράνου αναλυθεί σε μια

εγκάρσια συνιστώσα F_r και μια αξονική F_a τότε το αντίστοιχο ισοδύναμο φορτίο του εγκάρσιου εδράνου υπολογίζεται από τον τύπο: $P = XFr + YFa$. Οι τιμές των συντελεστών x & y ποικίλουν ανάλογα με το είδος του εδράνου.

Λίπανση εδράνων κυλίσεως

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 οπότε αναγκαστικά και τα υπόλοιπα θα λιπανθούν με ορυκτέλαιο.

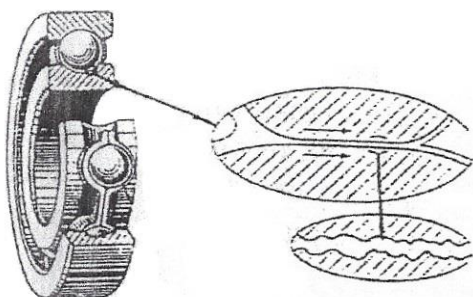
γ) Όταν η θέση που έχει τοποθετηθεί το έδρανο δεν είναι εύκολα προσιτή και πρέπει να γίνεται συντήρηση και αλλαγή λιπαντικού, τότε το λάδι είναι προτιμότερο από το λίπος.

Τρόποι λιπάνσεως με ορυκτέλαιο

- ι) 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 (ή 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, προτού 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 η 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 C₀ 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.

11.7.2. Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου, ανάλογα με τι 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 $f_0 \cdot F_a / C_0$. Ο συντελεστής f_0 δίνεται στον πίνακα 11-5 ή ακριβέστερα στον πίνακα 11-5α.

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

Για έδρανα που φορτίζονται μόνο αξονικά δηλαδή για $F_r = 0$ είναι $P = F_a$.

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

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

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

Σε εδράσεις με δύο στριβείς 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 γι' αυτό 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 με μία υπάρχουσα αξονική F_a , ενώ τα έδρανα 2 φορτίζονται μόνο με την ακτινική δύναμη F_{r2} .

Οι αξονικές δυνάμεις συνολικά (εξωτερική αξονική F_{a1} και πρόσθετες αξονικές συνιστώσες) στα έδρανα 1 και 2 είναι αντίστοιχα F_{a1} και F_{a2} . Οι δυνάμεις αυτές, που αντικαθιστούν στη σχέση (11.1) τις αξονικές δυνάμεις F_a 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 τελεστές Y_1 και Y_2 για κάθε έδρανο από πίνακες ρουλμάν στο τέλος του κεφαλαίου ή από καταλόγους ρουλμάν. Ισχύουν για $F_{a1} / F_{r1} > e$ και $F_{a2} / F_{r2} > e$.

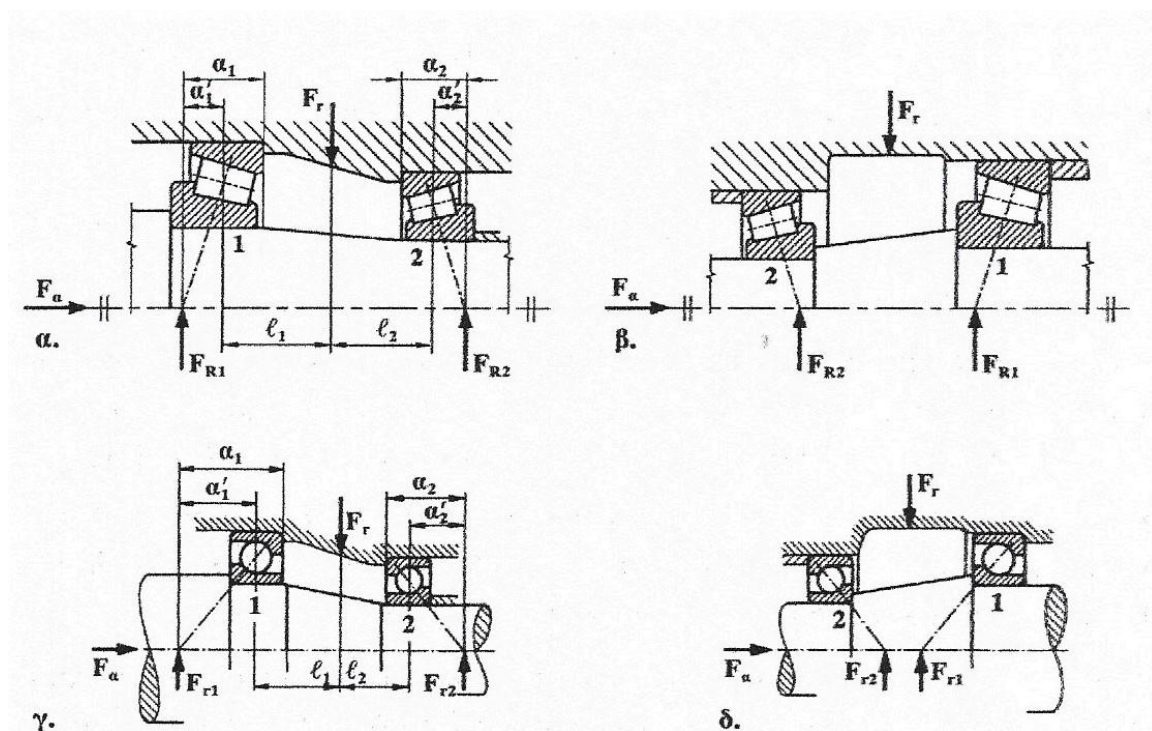
Οι ακτινικές δυνάμεις F_{r1} και F_{r2} προκύπτουν από τη συνθήκη ισορροπίας

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

(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.



Σχέσεις δυνάμεων	Αξονικές δυνάμεις F_{a1} και F_{a2} που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ισοδύναμου δυναμικού φορτίου P	
	έδρανο 1	έδρανο 2
1. $\frac{F_{r1}}{Y_1} \leq \frac{F_{r2}}{Y_2}$	$F_{a1} = F_a + 0,5 \cdot \frac{F_{r2}}{Y_2}$	F_{a2} δε λαμβάνεται υπόψη
2. $\frac{F_{r1}}{Y_1} > \frac{F_{r2}}{Y_2} ; F_a > 0,5 \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$	$F_{a1} = F_a + 0,5 \cdot \frac{F_{r2}}{Y_2}$	F_{a2} δε λαμβάνεται υπόψη
3. $\frac{F_{r1}}{Y_1} > \frac{F_{r2}}{Y_2} ; F_a \leq 0,5 \left(\frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right)$	F_{a2} δε λαμβάνεται υπόψη	$F_{a2} = 0,5 \cdot \frac{F_{r1}}{Y_1} - F_a$

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

- κωνικά σε α. διάταξη Ο β. διάταξη Χ
- γωνιώδους επαφής σε γ. διάταξη Ο β. διάταξη Χ.

11.7.3. Μεταβλητά φορτία και στροφές

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

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

Στην περίπτωση που το φορτίο του εδράνου Φαυξάνει 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

$$P_1 = \frac{P_{\min} + 2P_{\max}}{3} \quad (11.3)$$

$P_{\min}, P_{\max}$ 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 σχημάτων, το ιδεατό φορτίο υπολογίζεται από τη σχέση

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

$P_1, P_2 \dots P_n$ 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 Νή kN (από καταλόγους ρουλμάν)
 P πραγματικό φορτίο στο έδρανο (ακτινικό P_r ή αξονικό P_a ή ισοδύναμο κατά τη σχέση (11.1) σε Νή 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 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

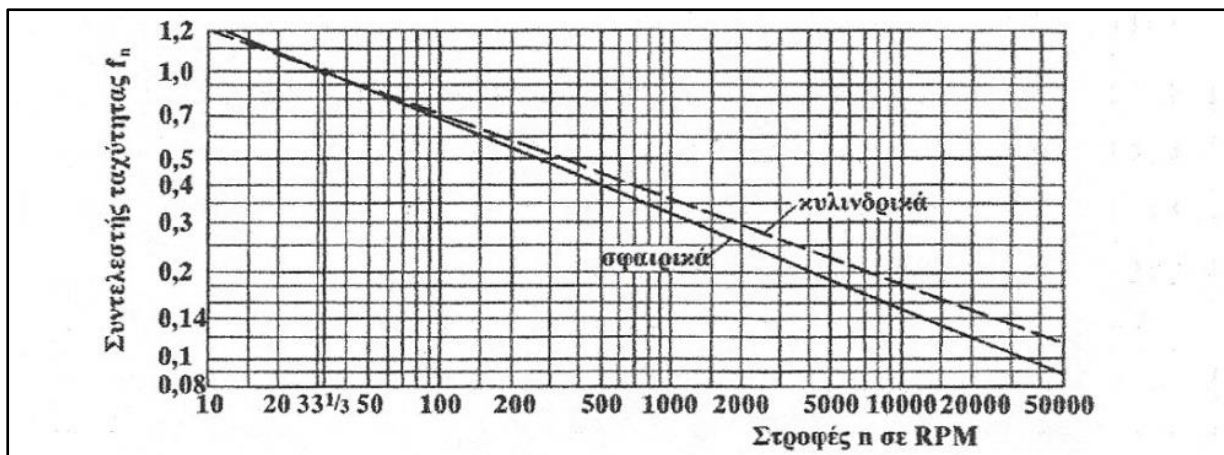
$$f_L = f_n \cdot f_t \cdot \frac{C}{P} \quad (11.8\alpha)$$

C και P όπως στη σχέση (11.5)

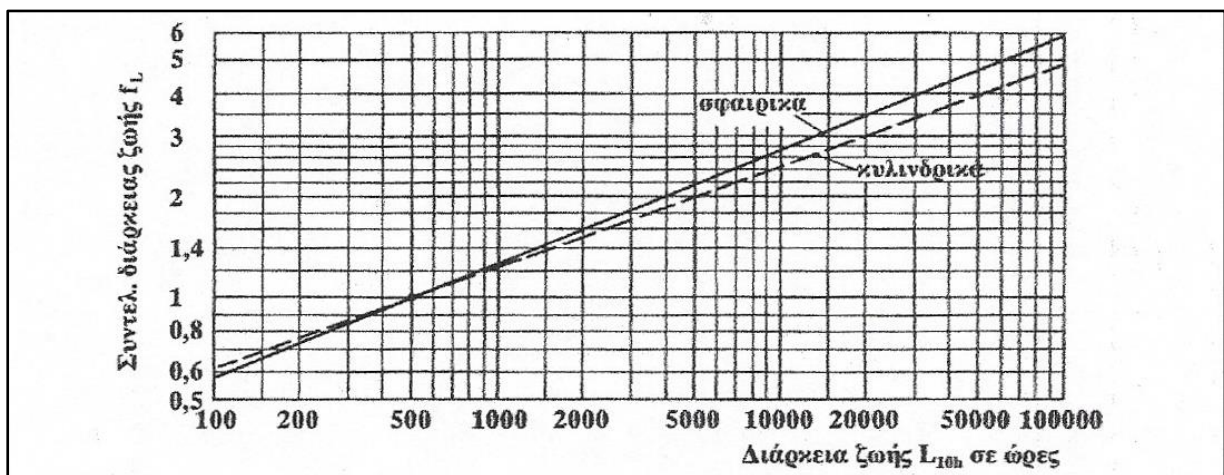
f_n συντελεστής ταχύτητας από σχέση (11.6) ή σχήμα 11-13

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

f_t συντελεστής θερμοκρασίας με $f_t=1$ για $t=150^\circ\text{C}$, $f_t=0,9$ για $t=200^\circ\text{C}$
 $f_t=0,75$ για $t=250^\circ\text{C}$, $f_t=0,6$ για $t=300^\circ\text{C}$
 t =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	Μοτοσυκλέτες, μικρά αυτοκίνητα	1000		2000
9	Αυτοκίνητα επιβατικά, μικρά φορτηγά	1500		2500
10	Φορτηγά αυτοκίνητα, λεωφορεία	2000		5000
11	Έδρανα βαγονέτων		5000	
12	Έδρανα αξόνων τροchioδρόμων	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 τροχαλιών συρματοσχοινών μεταφοράς	40000		60000
31	Μηχανήματα χαρτοποιίας (συνεχής λειτουργία)	50000		80000
32	Σφυροθραυστήρες	20000		30000
33	Πρέσες μπρικετών	20000		30000

Πίνακες 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
1000	1,44	1,82	1,96	1,96	2,29	2,47	2,62	2,88	3,11	3,30	3,56	3,78	3,91	4,16	4,48
1250	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
1600	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
2000	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
2500	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
3200	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
4000	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
500	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
6300	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
8000	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
10000	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
12500	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
16000	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
20000	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
25000	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
32000	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
40000	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
50000	5,31	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	12,2	13,1	13,8	14,4	15,3	16,5
63000	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
80000	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
100000	6,69	8,43	9,65	9,65	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	15,3	16,5	17,5	18,2	19,3	20,8
200000	8,43	10,6	12,2	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
1000	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
1250	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
1600	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
2000	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
2500	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
3200	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
4000	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
500	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
6300	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
8000	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
10000	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
12500	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
16000	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
20000	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
25000	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
32000	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
40000	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
50000	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
63000	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
80000	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
100000	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
200000	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

Πίνακες 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
1000	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
1250	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
1600	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
2000	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
2500	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
3200	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
4000	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
500	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
6300	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
8000	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
10000	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
12500	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
16000	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
20000	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
25000	3,65	4,50	4,81	5,08	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	7,7	8,23	8,69	8,97	9,48	10,1
32000	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
40000	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
50000	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
63000	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
80000	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
100000	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
200000	6,81	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	14,4	15,4	16,7	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	4,70	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	5,85	6,25	6,81	7,70	8,39
1000	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
1250	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
1600	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
2000	5,02	5,18	5,45	5,85	6,18	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	8,86	9,48	10,3	11,7	12,7
2500	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
3200	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
4000	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
500	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
6300	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
8000	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
10000	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
12500	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
16000	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
20000	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
25000	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
32000	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
40000	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
50000	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
63000	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
80000	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
100000	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
200000	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

Πίνακες 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 άγκιστρα 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

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

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 ακριβείας

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

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

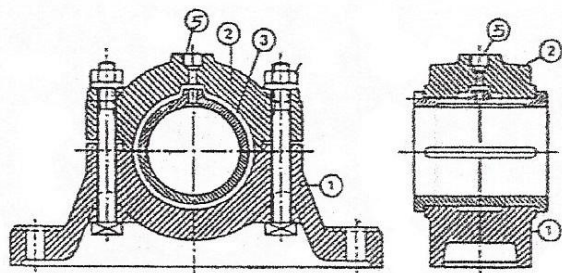
11.7.6. Πίνακες ρουλμάν

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

Είδη και ονομασία εδράνων ολισθήσεως

Τα έδρανα ολισθήσεως αποτελούνται από:

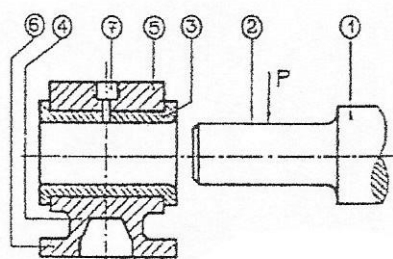
1. Το σώμα
2. Το κάλυμμα
3. Τον τριβέα
4. Το σύστημα στεγανοποίησης
5. Το σύστημα λίπανσης



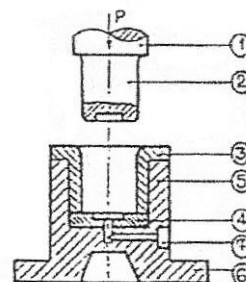
Ανάλογα με τη διεύθυνση του κύριου φορτίου τα έδρανα ολισθήσεως χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες.

I) Στα εγκάρσια έδρανα ολίσθησης: είναι αυτά που παραλαμβάνουν μόνο εγκάρσιες δυνάμεις.

II) Στα αξονικά ή ωστικά έδρανα ολίσθησης: είναι αυτά που παραλαμβάνουν μόνο αξονικές δυνάμεις.



Σχ.α) Εγκάρσιο έδρανο ολισθήσεως.



β) Αξονικό έδρανο ολισθήσεως.

1.Άτρακτος, 2.Στροφέας, 3.Τριβέας, 4.Σώμα εδράνου, 5.Κάλυμμα εδράνου, 6.Βάση, 7.Υποδοχή λιπαντήρα.

Συνθήκες λίπανσης και τριβής

Μια πολύ καλή λίπανση είναι η σπουδαιότερη προϋπόθεση για την ασφαλή λειτουργία των εδράνων ολισθήσεως. Για να μειωθεί η τριβή στα έδρανα και η φθορά των υλικών, θα πρέπει οι επιφάνειες ολισθήσεως να μην εφάπτονται αλλά να παρεμβάλλεται ανάμεσα το φιλμ του λιπαντικού.

Για να εξασφαλιστεί η υγρή τριβή πρέπει το ελάχιστο πάχος ($h_{ελ}$) του υδροδυναμικού σφήνα να μην είναι μικρότερο από το οριακό μέγεθος ($h_{επ}$) δηλαδή $h_{ελ} \geq h_{επ}$ κάτω από το οποίο υπάρχει κίνδυνος λειτουργίας στην περιοχή της ημυγρής τριβής.

Έδρανα ολισθήσεως υδροδυναμικής λειτουργίας

Το κύριο πλεονέκτημα των εδράνων ολισθήσεως υδροδυναμικής λειτουργίας είναι ότι η τριβή είναι υγρή κι επομένως δε δημιουργείται φθορά με αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής των υδροδυναμικών τριβέων ολισθήσεως να είναι και πρακτικά άπειρα.

Ένα μέγεθος που περιορίζει τα όρια λειτουργίας ενός υδροδυναμικού εδράνου είναι η ανωτέρω επιτρεπόμενη θερμοκρασία ($\Theta_{\text{επ}}$).

Η μέση θερμοκρασία λειτουργίας (Θ_{m}) ενός εδράνου πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπόμενη τιμή ($\Theta_{\text{επ}}$) δηλαδή: $\Theta_{\text{m}} \leq \Theta_{\text{επ}}$.

Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας (Θ_{m}) μειώνει το ιξώδες του λιπαντικού και την αντοχή του υλικού σε επιφανειακή πίεση καθώς επίσης και την αντοχή σε φθορά.

Η παραγόμενη θερμότητα ενός εδράνου ολισθήσεως υδροδυναμικής λειτουργίας προέρχεται από την μετατροπή του μηχανικού έργου σε θερμότητα λόγω εσωτερικής τριβής του υγρού λιπαντικού.

Η ποσότητα αυτής της θερμότητας αυξάνεται με το φορτίο του στροφέα F , την ταχύτητα ολισθήσεως (u) και τον συντελεστή τριβής (μ) του εδράνου. Ο υπολογισμός ενός υδροδυναμικού εδράνου ολισθήσεως έχει δυο σκέλη.

1. Τον καθαρά υδροδυναμικό υπολογισμό, ο οποίος εξασφαλίζει τη λειτουργία στην περιοχή της υγρής τριβής.
2. Το θερμικό υπολογισμό, ο οποίος εξασφαλίζει τη λειτουργία, του εδράνου σε θερμοκρασία μικρότερη της επιτρεπτής $\Theta_{\text{m}} \leq \Theta_{\text{επ}}$.

Έδρανα ολισθήσεως υδροστατικής λειτουργίας

Το κύριο πλεονέκτημα των υδροστατικών εδράνων ολισθήσεως είναι ότι λειτουργούν στην περιοχή της υγρής τριβής ακόμα και για πολύ χαμηλές ταχύτητες ολισθήσεως.

Βέβαια για τη διατήρηση του απαιτούμενου πάχους του υδροστατικού στρώματος του λιπαντικού πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντλία υψηλής πίεσης, όπου το σύστημα τροφοδοτεί συνεχώς τα σημεία λίπανσης, με την κατάλληλη πίεση και ποσότητα λιπαντικού, ώστε οι δυο επιφάνειες να παραμένουν διαρκώς διαχωρισμένες.

Φαινόμενα τριβής

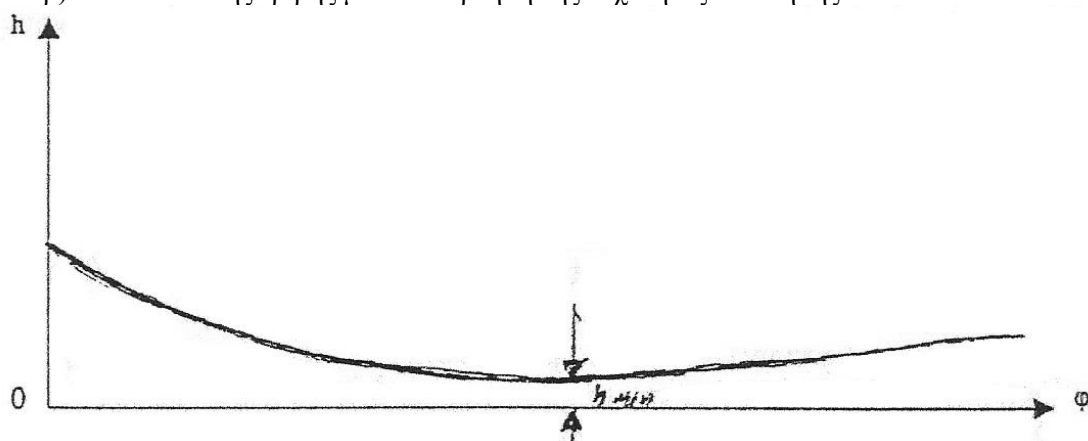
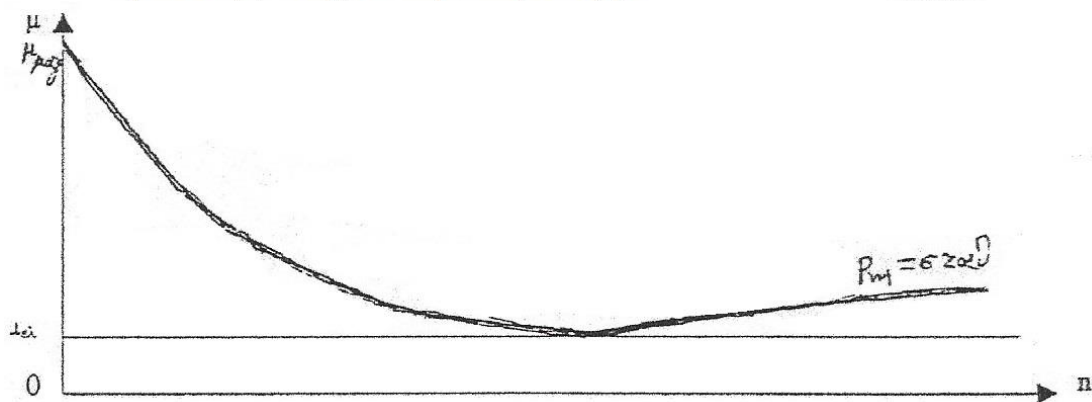
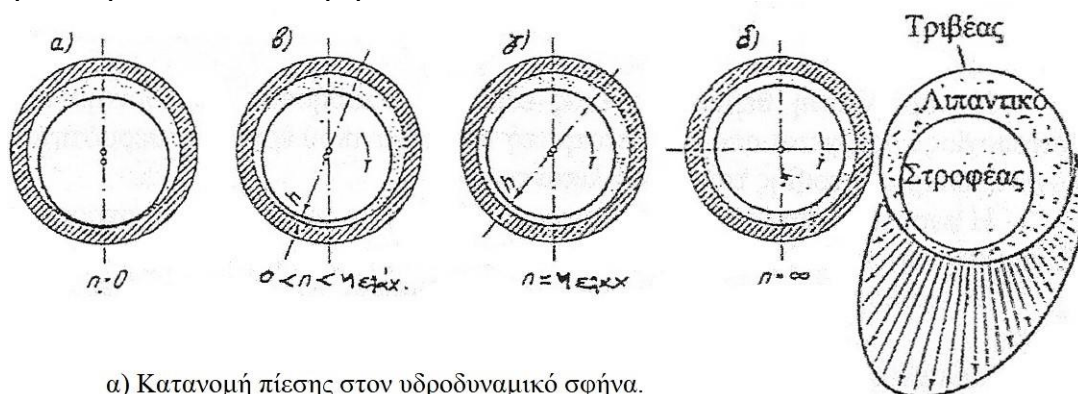
Από την ταχύτητα ολίσθησης V εξαρτάται η τιμή του συντελεστή τριβής μεταξύ τριβέα και στροφέα. Όταν ο στροφέας είναι ακίνητος ($n=0$) τότε ισορροπεί στην κατώτατη θέση μέσα στην οπή του εδράνου, οι μικροσκοπικές ανωμαλίες των επιφανειών στροφέα-τριβέα βρίσκονται σε πλήρη εμπλοκή. Με την εκκίνηση του στροφέα και την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του, ο συντελεστής τριβής μ μειώνεται, γιατί οι επιφάνειες δε βρίσκονται πια σε πλήρη

εμπλοκή. Ο στροφέας τείνει να αναρριχηθεί επάνω στην αντίστοιχη πλευρά της οπής, πρόκειται για ημιυγρή τριβή.

Ο συντελεστής τριβής μειώνεται μέχρι την τιμή μελ σε μια ταχύτητα $V_{ελ}$, που ονομάζεται κρίσιμη ταχύτητα ολίσθησης. Οι επιφάνειες μόλις αποσυμπλέχθηκαν, η θέση ισορροπίας του στροφέα είναι πάλι στην κατώτατη θέση.

Όσο αυξάνει η ταχύτητα V , οι πιέσεις που αναπτύσσονται στον υδροδυναμικό σφήνα του λιπαντικού απωθούν το στροφέα από την επιφάνεια του τριβέα και τον υποχρεώνουν να αιωρείται μέσα στο λιπαντικό. Η τριβή τώρα είναι υγρή.

Για μεγάλη ταχύτητα ($V \rightarrow \infty$), ο στροφέας ισορροπεί στο μέσο της οπής και η πίεση P είναι σταθερή.



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΤΡΑΚΤΩΝ

Γενικά

Βασική λειτουργία των στοιχείων μηχανών είναι να συνδέουν δυο ατράκτους των οποίων οι άξονες συμμετρίας και περιστροφής θεωρητικά συμπίπτουν. Πιο συγκεκριμένα οι συνδέσεις ατράκτων μεταδίδουν μια στρεπτική ροπή (T) και μια γωνιακή ταχύτητα (ω).

Το γινόμενο των δυο αυτών μεγεθών μας δίνει την ισχύ (P) σε Watt.

$$P = T \bullet \omega [N \bullet m] \bullet [S^{-1}] = [W]$$

Οι συνδέσεις ατράκτων εξασφαλίζουν επομένως τη ροή ισχύος από μια άτρακτο σε μια άλλη.

Στις περισσότερες εφαρμογές των συνδέσεων ατράκτων πρέπει να τηρούνται και διάφορες άλλες ειδικές τεχνικές προδιαγραφές, όπως:

- α) Η κατά βούληση σύμπλεξη και αποσύμπλεξη των ατράκτων.
- β) Η απόσβεση κρουστικών ή δυναμικών στρεπτικών φορτίων.
- γ) Η εξουδετέρωση των διαφόρων σφαλμάτων ευθυγράμμισης τα οποία προκύπτουν από σφάλματα κατασκευής ή συναρμολόγησης ή ακόμη και από θερμική διαστολή ή συστολή.

Ανάλογα με το αν υπάρχει ή δεν υπάρχει η δυνατότητα να διακόπτεται η μετάδοση της ισχύος κατά τη λειτουργία προκύπτουν δυο βασικές κατηγορίες σύνδεσης ατράκτων.

- α) Η κατηγορία των συνδέσμων: οι οποίοι διατηρούν τις ατράκτους συνεχώς σε σύνδεση.
- β) Η κατηγορία των συμπλεκτών: οι οποίοι εκτός του ότι κάνουν τη σύμπλεξη και αποσύμπλεξη μπορούν να διακόπτουν και να αποκαθιστούν τη ροή ισχύος κατά τη λειτουργία είτε κατά βούληση του χειριστή είτε αυτόματα ενεργοποιούμενοι από ένα εξωτερικό σήμα και σύμφωνα με το συγκεκριμένο κύκλο εργασίας είτε αυτοενεργοποιούμενοι από μια παράμετρο λειτουργίας.

Η κατηγορία **σύνδεσμοι** χωρίζεται σε δυο κύριες υποκατηγορίες.

- ι) Στους σταθερούς συνδέσμους: οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που είναι αναγκαία η σταθερή και άκαμπτη ένωση.
- ii) Στους κινητούς συνδέσμους: οι οποίοι μπορούν ανάλογα με τη διαμόρφωση τους να εξουδετερώνουν ένα ή περισσότερα σφάλματα ευθυγράμμισης (και λέγονται σύνδεσμοι ευθυγραμμίσεως) ή και να αποθηκεύουν ελαστικά ένα μέρος της ενέργειας που μεταδίδεται από κρουστικά ή γενικότερα δυναμικά στρεπτικά φορτία (οπότε λέγονται σύνδεσμοι ελαστικοί).

Η κατηγορία **συμπλέκτες** επίσης χωρίζεται σε δυο κύριες υποκατηγορίες.

- ι) Στους σύγχρονους συμπλέκτες: στους οποίους η κινούμενη άτρακτος έχει την ίδια γωνιακή ταχύτητα με την κινητήρια άτρακτο.
- ιι) Στους ασύγχρονους συμπλέκτες: στους οποίους η κινούμενη άτρακτος έχει χαμηλότερη γωνιακή ταχύτητα από την κινητήρια άτρακτο.

Επίσης και οι σύγχρονοι και οι ασύγχρονοι συμπλέκτες χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο ενεργοποίησης τους σε δυο περαιτέρω υποκατηγορίες.

- ι) Στους συμπλέκτες εξωτερικής ενεργοποίησης: οι οποίοι συμπλέκουν ή αποσυμπλέκουν ενεργοποιούμενοι από ένα εξωτερικό σήμα το οποίο δεν έχει σχέση με τη λειτουργία τους και μπορεί να είναι μηχανικό, πνευματικό, υδραυλικό ή ηλεκτρικό.
- ιι) Στους αυτοενεργοποιούμενους συμπλέκτες: οι οποίοι συμπλέκουν ή αποσυμπλέκουν ενεργοποιούμενοι από το μέγεθος ή τη φορά της στρεπτικής ροπής ή της γωνιακής ταχύτητας.

Τα προβλήματα που πρέπει να εξετασθούν για να γίνει η αρχική εκλογή του είδους μιας σύνδεσης ατράκτων είναι:

- α) Η απαιτούμενη ισχύς της εργομηχανής και η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα συναρτήσει τόσο του χρόνου όσο και της ταχύτητας περιστροφής.
- β) Η απαιτούμενη στρεπτική ροπή της εργομηχανής και η αναπτυσσόμενη ροπή του κινητήρα κατά τη φάση της εκκίνησης και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.
- γ) Οι στρεπτικές ταλαντώσεις και τα κρουστικά στρεπτικά φορτία, που μπορούν να μεταδοθούν από την εργομηχανή στον κινητήρα ή αντίθετα.
- δ) Η ενδεχόμενη ανάγκη χρησιμοποίησης αποθήκης μηχανικής κινητικής ενέργειας.
- ε) Η εξουδετέρωση των σφαλμάτων ευθυγράμμισης μεταξύ της ατράκτου εξόδου του κινητήρα και της ατράκτου εισόδου της εργομηχανής.

Διατάξεις κίνησης εργομηχανών από κινητήρες.

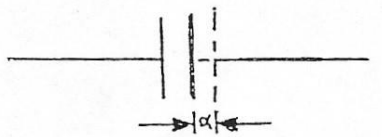
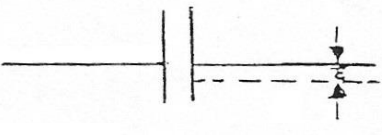
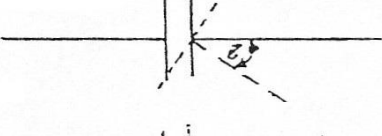
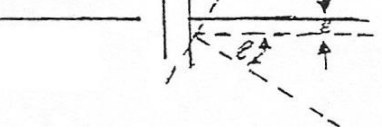
Οι σύνδεσμοι γενικότερα χρησιμεύουν στο να συνδέουν κινητήρες με κινούμενα μηχανήματα, ο απλούστερος τρόπος σύνδεσης ενός κινητήρα με ένα μηχανήμα είναι ή απ' ευθείας σύνδεσή του με ένα σύνδεσμο.

Σε περίπτωση που ο αριθμός στροφών του κινητήρα δε συμπίπτει με τον αριθμό στροφών λειτουργίας του κινούμενου μηχανήματος, πρέπει να παρεμβληθεί και ένας μειωτήρας στροφών. Ο σύνδεσμος τότε τοποθετείται στην πλευρά που έχει τις περισσότερες στροφές και τη χαμηλότερη ροπή στρέψης. Με αυτόν τον τρόπο το φορτίο του συνδέσμου είναι μικρότερο.

Αν η λειτουργία του κινητήρα ή του κινούμενου μηχανήματος είναι τέτοια, ώστε να αναπτύσσονται κρουστικά φορτία, τότε αυτά πρέπει να μειωθούν ή και να εξουδετερωθούν για να μη μεταφερθούν σε άλλες μονάδες της διάταξης. Αυτό πετυχαίνεται με τη βοήθεια των σφονδύλων και των ελαστικών συνδέσμων.

Για αν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός συνδέσμου πρέπει οι ιδεατοί άξονες περιστροφής των συνδεόμενων ατράκτων να συμπίπτουν.

Οι κινητοί σύνδεσμοι επιτρέπουν τα εξής σφάλματα.

- | | | |
|----|---|-----------------------------|
| α) |  | Αξονική μετάθεση (α). |
| β) |  | Παράλληλη μετάθεση (ε). |
| γ) |  | Γωνία κλίσεως (β). |
| δ) |  | Σύνθετο σφάλμα (ε) και (β). |
- Οι επικρατέστερες μονάδες μέτρησης της ισχύος (P) είναι τα **(KW)** και η λεγόμενη ιπποδύναμη **(PS)**.

$$\text{Όπου: } 1\text{KW} = 1,36 \text{ PS} \quad \text{ή} \quad 1\text{PS} = 0,735 \text{ kW.}$$

Η ισχύς υπολογίζεται σε (PS) από τον τύπο:

$$P = \frac{T \cdot n}{716,2} \cdot (\text{PS})$$

όπου: $T = \text{ροπή στρέψης σε (kpm)}$
 $n = \text{στροφές σε RPM (στρ/min)}$

Η ισχύς υπολογίζεται σε (kW) από τον τύπο:

$$P = \frac{T \cdot n}{973,5} \cdot (\text{KW})$$

Ο προσδιορισμός του αριθμού στροφών μιας ατράκτου είναι εύκολος ο δε προσδιορισμός της ροπής στρέψης δεν είναι πάντα εύκολος, διότι το μέγεθος της ροπής στρέψης, που μεταφέρει ένας σύνδεσμος εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος των κινητήρων και των κινούμενων μηχανημάτων μιας διάταξης.

Η καταλληλότητα ενός κινητήρα για την κίνηση μιας εργομηχανής κρίνεται σε δυο στάδια:

- α) Με το στάδιο εκκίνησης.
- β) Με το στάδιο λειτουργίας.

Κατά το στάδιο εκκίνησης πρέπει ο κινητήρας να μπορεί να επιταχύνει την εργομηχανή μέχρι όπου η περιστροφική ταχύτητα της ατράκτου φθάσει την ταχύτητα λειτουργίας της. Το περίσσευμα αυτό της ροπής ονομάζεται ροπή επιταχύνσεως.

Κατά το στάδιο λειτουργίας πρέπει να είναι εξασφαλισμένη η σταθερότητα του σημείου λειτουργίας, όπου πρέπει να υπάρχει ευστάθεια μεταξύ της στρεπτικής ροπής λειτουργίας και της περιστροφικής ταχύτητας λειτουργίας.

Οι βασικές αρχές οι οποίες πρέπει να ισχύουν σε όλες τις διατάξεις συνδέσεων κινητήρα με εργομηχανή είναι:

α) Όταν η απαιτούμενη ισχύς εισόδου (P_E) της εργομηχανής είναι σταθερή. Το μέγεθος της ισχύος (P_K) του κινητήρα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή το πολύ ίσο με την ισχύ (P_E) αν πάρουμε υπόψη και το βαθμό απόδοσης της όλης διάταξης τότε:

$$P_{KOV} \geq \frac{P_E}{n_{ολ}}$$

β) Όταν η απαιτούμενη ισχύς (P_E) της εργομηχανής έχει διακυμάνσεις τότε:

$$P_{KOV} \geq P_{Km} = \frac{P_{Em}}{n_{ολ}}$$

όπου: P_{Km} = μέση τιμή ισχύος κινητήρα.
 P_{Em} = μέση τιμή ισχύος εργομηχανής.

$$P_{Em} = \int_0^{t_0} \frac{P_E(t)}{dt} dt = \int_0^{t_0} T_E(t) \cdot \frac{\omega_E(t)}{dt} dt = \int_0^{t_0} T_E(t) \cdot \omega_E(t) \cdot dt$$

Όπου: $P_E(t)$ = απαιτούμενη ισχύ εισόδου της εργομηχανής συναρτήσει του χρόνου (t).

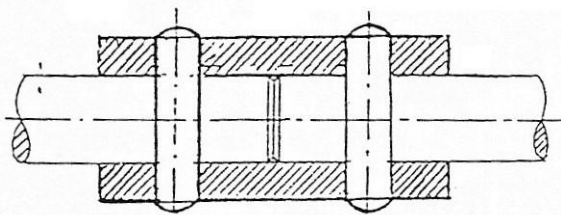
$T_E(t)$ = η απαιτούμενη στρεπτική ροπή εισόδου της εργομηχανής συναρτήσει του χρόνου (t).

$\omega_E(t)$ = η απαιτούμενη γωνιακή επιτάχυνση της εργομηχανής συναρτήσει του χρόνου (t).

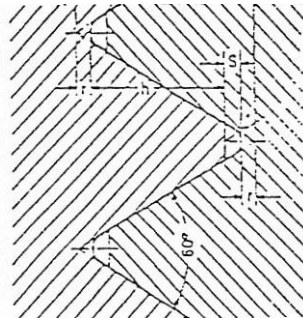
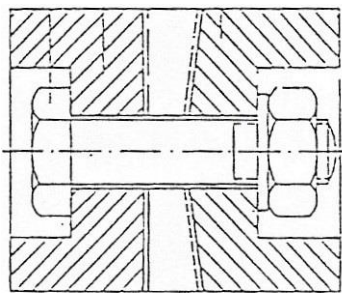
t_0 = ο χρόνος ενός κύκλου εργασίας της εργομηχανής.

A) Σταθεροί σύνδεσμοι μορφής.

1. Σωληνοειδής σύνδεσμος με πείρους: Αποτελείται από ένα μονοκόμματο σωληνοειδές τμήμα μέσα στο οποίο συναρμολογούνται τα δυο άκρα των ατράκτων με ελεύθερη συναρμόγηση ή αμφίβολη σύσφιγξη. Ο σύνδεσμος αυτός δεν μπορεί να εξουδετερώσει κανένα σφάλμα ευθυγράμμισης.



2. Οδοντωτός σύνδεσμος τύπου HIRTH: Αποτελείται από δυο κυλινδρικά τμήματα που συνδέονται μεταξύ τους με μια ή περισσότερες βίδες, στα τμήματα που εφάπτονται υπάρχει οδόντωση που μπορεί να μεταδώσει και εναλλασσόμενο στρεπτικό φορτίο χωρίς πρόβλημα, ο σύνδεσμος αυτός δεν μπορεί να εξουδετερώσει σφάλματα ευθυγράμμισης.

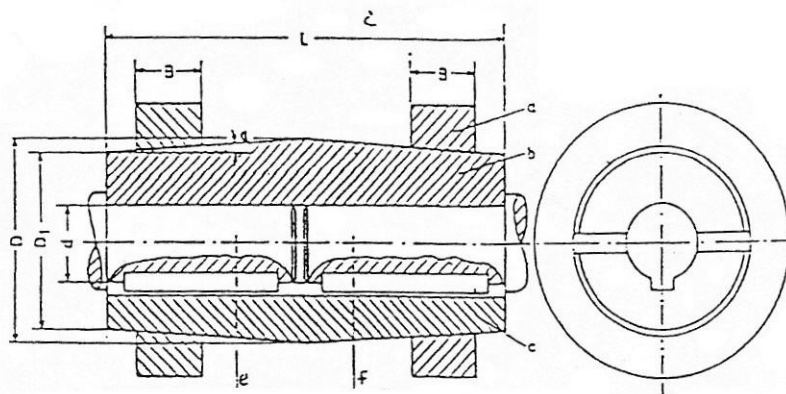


Εκτύλιξη της κατατομής τύπου Hirth στην εξουδετέρωση διάμετρο της οδόντωσης

Σχ. Σύνδεση των δύο μερών ενός συνδέσμου μετωπικής οδόντωσης τύπου Hirth με κοχλίες.

B) Σταθεροί σύνδεσμοι τριβής

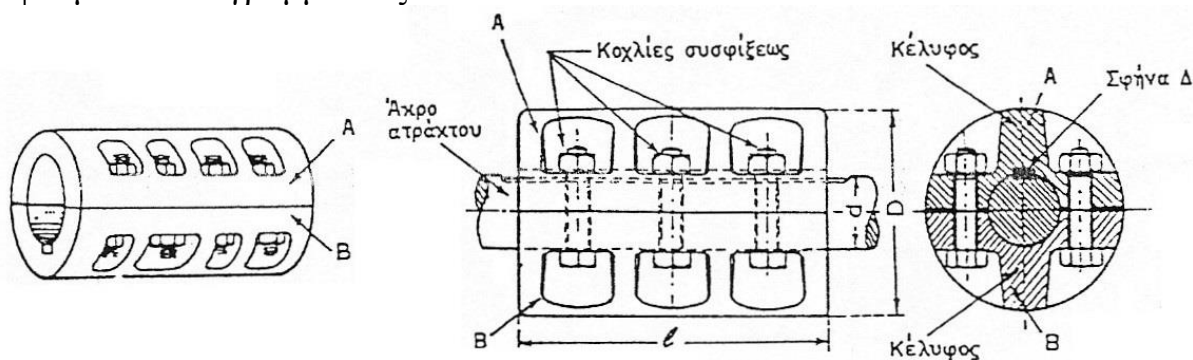
1. Σωληνοειδής σύνδεσμος συσφίξεως: αποτελείται από έναν διαιρετό σωλήνα με δυο εξωτερικές κωνικές επιφάνειες στις οποίες περνιούνται και συσφίγγονται μηχανικά δυο δακτυλίδια με αντίστοιχη εσωτερική κωνική επιφάνεια, η μετάδοση της ροπής γίνεται με τη σύνδεση τριβής μεταξύ ατράκτων και διαιρετού σωλήνα, δεν εξουδετερώνει σφάλματα ευθυγραμμίσεως.



Σχ. Σωληνωτός σύνδεσμος με κωνικούς δακτυλίους συσφίξεως

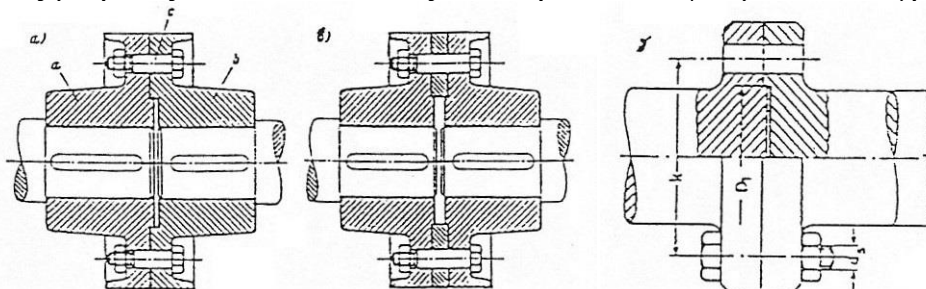
- a. κωνικό δακτυλίδι συσφίξεως
- b. και c. διαιρετός σωληνοειδής σύνδεσμος
- e. και f. συνδεόμενες άτρακτοι.

2. Δισκοειδείς σύνδεσμοι κατά DIN 115: αποτελούνται από ένα χυτοσιδερένιο διαιρετό κέλυφος το οποίο με τη βοήθεια κοχλιών συσφίγγεται μηχανικά στις δυο άτρακτους που πρέπει να συνδεθούν, οι διάμετροι των συνδεόμενων άτρακτων μπορεί να είναι και διαφορετικών διαστάσεων. Δεν εξουδετερώνει σφάλματα ευθυγραμμίσεως.



Σχ. Κελυφωτός σύνδεσμος κατά DIN 115.

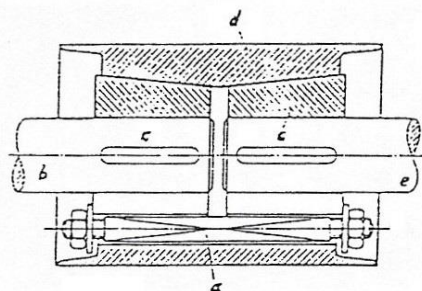
3. Δισκοειδείς σύνδεσμοι κατά DIN 116 κ' 760: αποτελούνται από δυο χυτοσιδερένια μέρη ίδιας μορφής και ίδιων διατάσεων, τα οποία τοποθετούνται στα άκρα των άτρακτων με ελαφρά σύσφιξη και συνδέονται με αυτά με σύνδεση μορφής μέσω οδηγών σφηνών, τα δυο αυτά τμήματα συνδέονται μεταξύ τους με βίδες, και αυτοί δεν εξουδετερώνουν σφάλματα ευθυγράμμισης.



Σχ. α,β, Δισκοειδείς σύνδεσμοι κατά DIN 116 Σχ. γ, Δισκοειδής σύνδεσμος κατά DIN 760.
(Τύπος A και B)

4. Σύνδεσμος τύπου Sellers: αποτελείται από το εξωτερικό χυτοσιδερένιο κέλυφος που έχει μια διπλή κωνική οπή, στην οπή τοποθετούνται δυο αντίστοιχα κωνικά χαλύβδινα δακτυλίδια με σχισμή. Η σχισμή αυτή επιτρέπει την σχετικά εύκολη παραμόρφωσή του σε εγκάρσια διεύθυνση όταν κατά τη συναρμολόγηση προεντείνονται με κοχλίες κι έτσι με την εγκάρσια παραμόρφωση των δακτυλιδιών δημιουργείται η σύνδεση τριβής με τις δυο ατράκτους.

Οι δυο οδηγοί σφήνες των ατράκτων που παριστάνονται στο σχήμα τοποθετούνται απλώς για πρόσθετη ασφάλεια. Ο σύνδεσμος αυτός δεν μπορεί να εξουδετερώσει κανένα σφάλμα ευθυγράμμισης.

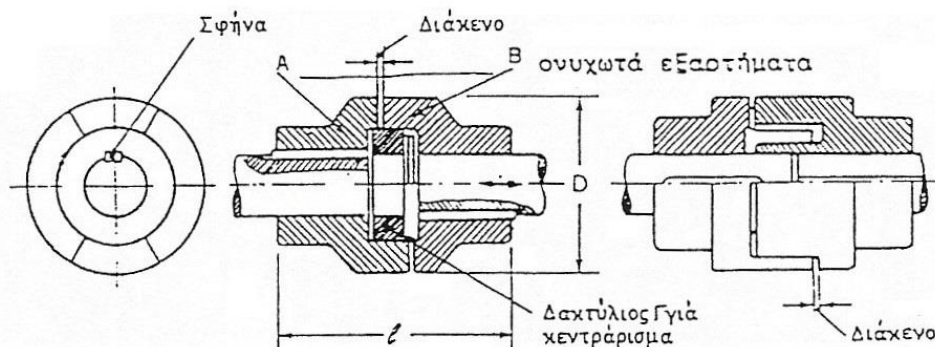


- a. βίδα προεντάσεως
- b. άτρακτος
- c. κωνικός δακτύλιος
- d. κέλυφος
- e. άτρακτος

Σχ. Σύνδεσμος τύπου Sellers.

Γ) Κινητοί σύνδεσμοι μορφής

1. Απλός ονυχωτός σύνδεσμος ευθυγραμμίσεως: αποτελείται από δυο χυτοσιδερένια εξαρτήματα ίδιας μορφής και ίδιων διαστάσεων. Οι μετωπικές τους επιφάνειες έχουν διαμορφωθεί με νύχια, οπότε τα νύχια του ενός εμπλέκονται μέσα στα νύχια του άλλου κι έτσι μεταδίδεται η στρεπτική ροπή με σύνδεση μορφής. Ο δε ονυχωτός σύνδεσμος συνδέεται με τις ατράκτους εισόδου εξόδου με οδηγούς σφήνες. Μπορεί να εξουδετερώνει μόνο αξονικά σφάλματα.

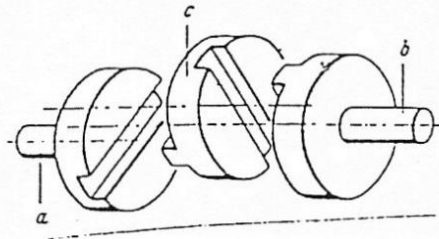


Σχ. Απλός ονυχωτός σύνδεσμος.

2. Σύνδεσμος ευθυγραμμίσεως τύπου Oldham: αποτελείται από τρεις δίσκους σε σύνδεση σειράς. Σε κάθε μια από τις δυο μετωπικές επιφάνειες του μεσαίου δίσκου έχει διαμορφωθεί διαμετρικό νύχι με ορθογωνική διατομή.

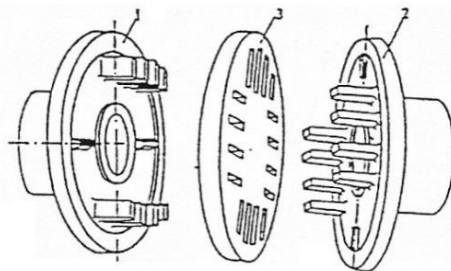
Οι εξωτερικοί δίσκοι έχουν τέτοια διαμόρφωση ώστε να εφαρμόζουν στο μεσαίο δίσκο. Οι δίσκοι συνδέονται με τις ατράκτους με οδηγό σφήνα. Ο

σύνδεσμος αυτό μπορεί να εξουδετερώσει μικρά αξονικά και εγκάρσια σφάλματα.



- a.Κινητήριος δίσκος
- b.Κινούμενος δίσκος
- c.Ενδιάμεσος δίσκος

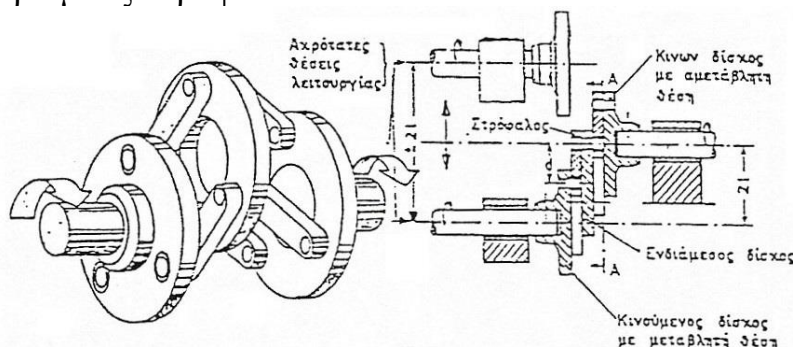
3. Σύνδεσμος ευθυγραμμίσεως τύπου Ringspamm: είναι παρόμοιο με το τύπου Oldham η μόνη διαφορά του είναι ότι ο μεσαίος δίσκος έχει μια σειρά από διαμπερείς οπές στις οποίες τοποθετούνται αντίστοιχα νύχια των εξωτερικών δίσκων, έχει καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές από του τύπου Oldham, μπορεί να εξουδετερώνει εγκάρσια, αξονικά και σφάλματα γωνίας κλίσεως.



- 1 και 2. Ονυχωτοί εξωτερικοί δίσκοι
- 3. διάτρητος μεσαίος δίσκος.

Σχ. Σύνδεσμος τύπου Ringspamm

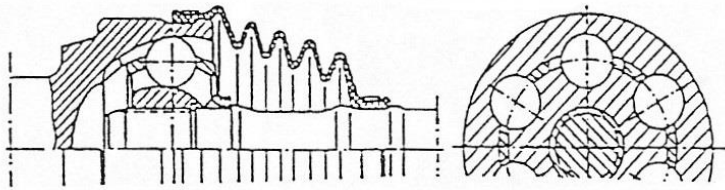
4. Στροφαλοφόρος σύνδεσμος ευθυγραμμίσεως (Schmidt): αποτελείται από τρεις δίσκους ίδιων διαστάσεων, ο μεσαίος δίσκος συνδέεται με κάθε ένα από τους εξωτερικούς δίσκους μέσω τουλάχιστον τριών στροφάλων ίδιου μήκους οι στρόφαλοι αυτοί εδράζονται στο ένα άκρο τους σε έναν εξωτερικό δίσκο και στο άλλο άκρο τους στον εσωτερικό δίσκο οι θέσεις εδράσεως ισαπέχουν από τα κέντρα των δίσκων. Το μόνο σφάλμα που μπορεί να εξουδετερώσει είναι το αξονικό. Ο σύνδεσμος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για υψηλούς αριθμούς στροφών.



Σχ. Γενική διάταξη ενός συνδέσμου τύπου Schmidt.

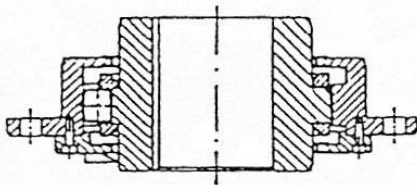
5. Ενσφαιροι αρθρωτοί σύνδεσμοι: αυτοί αποτελούν μια άρθρωση η οποία μπορεί να μεταδώσει μόνο μια στρεπτική ροπή. Η κατασκευή τους στηρίζεται στη διαμόρφωση ενός σφαιρικού κι ενός κυλινδρικού ή δυο σφαιρικών πολύσφηνων με αυλάκια που να μπορούν να κυλίσουν σε αυτά μια σειρά από σφαίρες, οι σφαίρες συγκρατούνται με έναν κλωβό και περιστρέφονται σε έναν

κύκλο, μπορούν να μεταδώσουν ροπή μέχρι και 1100 Kpm. Έχουν βρει μεγάλη εφαρμογή στα επιβατικά αυτοκίνητα. Μπορούν να εξουδετερώσουν σφάλματα γωνίας κλίσεως μέχρι και 45°.

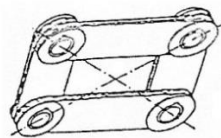
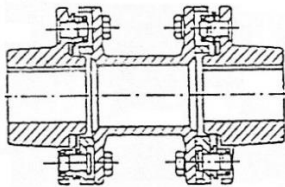


Σχ. Ένσφαιρος σύνδεσμος για εξουδετέρωση σφάλματος γωνίας κλίσεως μικρότερη των 38°

6. Βαρελωτοί αρθρωτοί σύνδεσμοι: η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με τους ένσφαιρους συνδέσμους. Η βασική διαφορά είναι ότι αντί σφαιρών έχουν βαρελοειδή σώματα κυλίσεως.



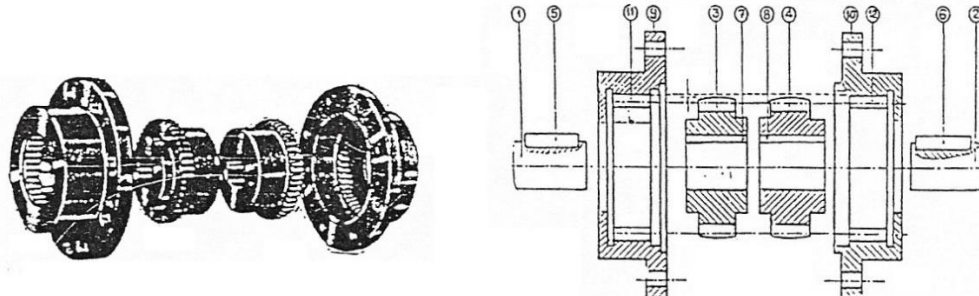
7. Εύκαμπτοι αρθρωτοί σύνδεσμοι: έχουν σαν βασικό στοιχείο έναν ενδιάμεσο μεταλλικό δίσκο μικρού πάχους ή έναν αριθμό από ελάσματα μικρού πάχους, αυτά τα στοιχεία μπορούν να μεταφέρουν μια στρεπτική ροπή χωρίς αξιοσημείωτη στρέβλωση, ενώ με μικρές δυνάμεις παραμορφώνονται εύκολα σε κάμψη, εξουδετερώνουν αξονικά και γωνίας κλίσεως σφάλματα.



Σχ. Μορφή εύκαμπτου συνδέσμου

Εύκαμπτα μεταλλικά στοιχεία των συνδέσμων

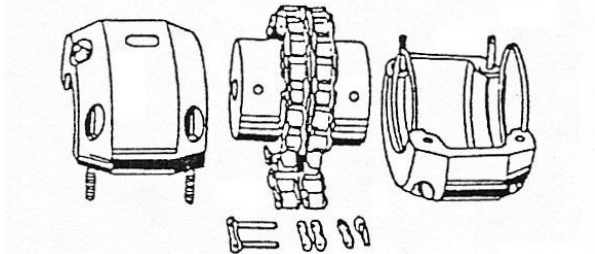
8. Οδοντωτοί αρθρωτοί σύνδεσμοι: διαμορφώνονται κατά κανόνα με δυο οδοντωτές αρθρώσεις με δόντια εξελιγμένης μορφής που έχουν ίδια μορφή και διαστάσεις, με δόντια με ευθείες και κυρτές παρειές. Για σωστή λειτουργία όλοι οι οδοντωτοί σύνδεσμοι έχουν λίπανση λουτρού λαδιού. Μπορούν να εξουδετερώσουν σφάλματα γωνίας κλίσεως και σφάλματα αξονικά.



Σχ. Σύνδεσμος οδοντωτών τροχών

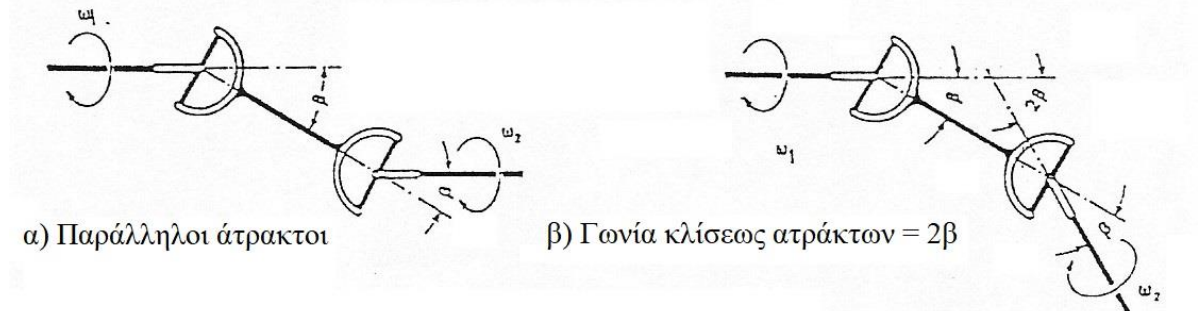
1,2 Άτρακτος. 3,4. Οδοντωτοί τροχοί. 5,6. Εφαρμοστοί σφήνες. 7,8. Σφηνόδρομοι για τους σφήνες. 9,10. Δίσκοι. 11,12. Εσωτερικές οδοντώσεις των δίσκων.

9. Αλυσωτοί αρθρωτοί σύνδεσμοι: αποτελούνται από δυο οδοντωτούς τροχούς για αλυσοκίνηση και ένα ατέρμονα τμήματος διπλής αλυσίδας που εμπλέκεται συγχρόνως σ' όλα τα δόντια και των δυο τροχών. Μπορεί να εξουδετερώσει σφάλμα γωνίας κλίσεως και αξονικό σφάλμα.



Σχ. Όψη ενός αποσυναρμολογημένου απλού αλυσωτού συνδέσμου με προστατευτικό κέλυφος.

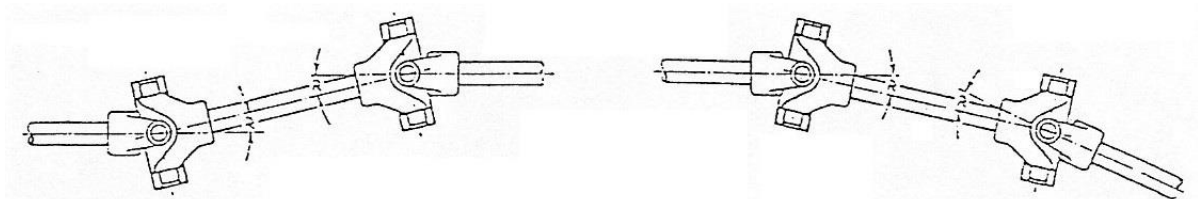
10. Σταύροι αρθρωτοί σύνδεσμοι: αποτελούνται από δυο διχαλωτά εξαρτήματα τα οποία τοποθετούνται σε διάταξη 90° και συνδέονται συνήθως με εδράσεις κυλίσεως με ένα τρίτο εξάρτημα που έχει τη μορφή ενός ισοσκελούς σταυρού. Χρησιμοποιούνται για την εξουδετέρωση μεγάλων γωνιακών σφαλμάτων.



α) Παράλληλοι άτρακτοι

β) Γωνία κλίσεως ατράκτων = 2β

Σωστή διάταξη ενός διπλού σταυρού KARDAN για την επίτευξη ομοιόμορφης κίνησης της ατράκτου εξόδου 2.



γ) Σύνδεση παράλληλων ατράκτων

δ) Σύνδεση ατράκτων που σχηματίζουν μεγάλη γωνία

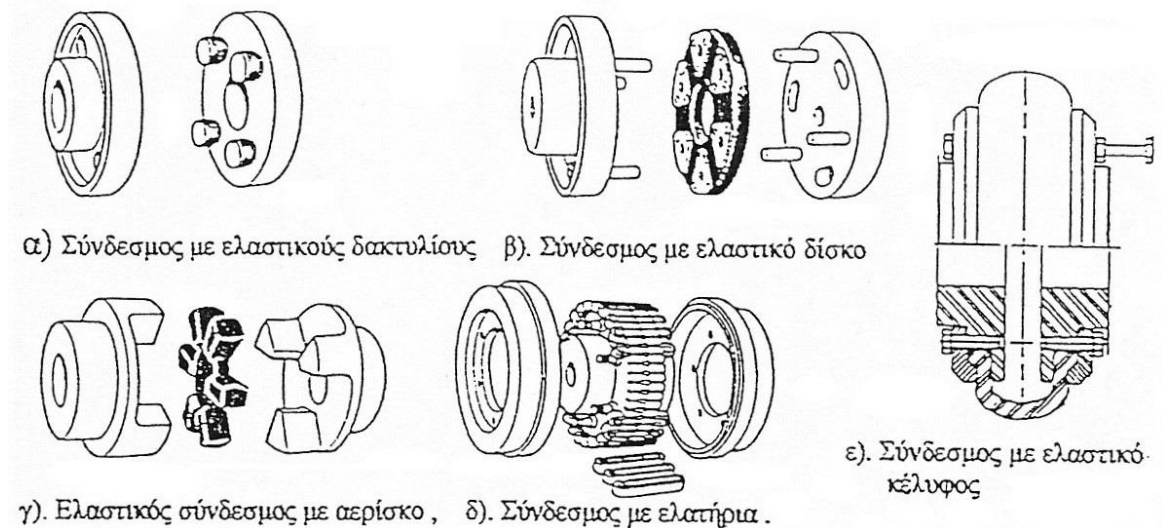
Δ) Ελαστικοί κινητοί σύνδεσμοι.

Οι ελαστικοί σύνδεσμοι ανάλογα με τις ιδιότητες μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι στρεπτικά ή και καμπτικά ελατήρια που συνδέονται σε σύνδεση σειράς με τις ατράκτους. Επίσης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αποσβεστήρες που όμως συνδέονται σε παράλληλη σύνδεση με τις ατράκτους.

Η ελαστικότητα σε κάμψη τους δίνει την ικανότητα να εξουδετερώνουν σφάλματα γωνίας κλίσεως αλλά και αξονικά και εγκάρσια σφάλματα

συνδεόμενων ατράκτων, η δε ελαστικότητα σε στρέψη μειώνει το μέγεθος των κρουστικών στρεπτικών φορτίων.

Οι ελαστικοί σύνδεσμοι κατασκευάζονται από μεταλλικά ελατήρια και από λαστιχένια ελατήρια.



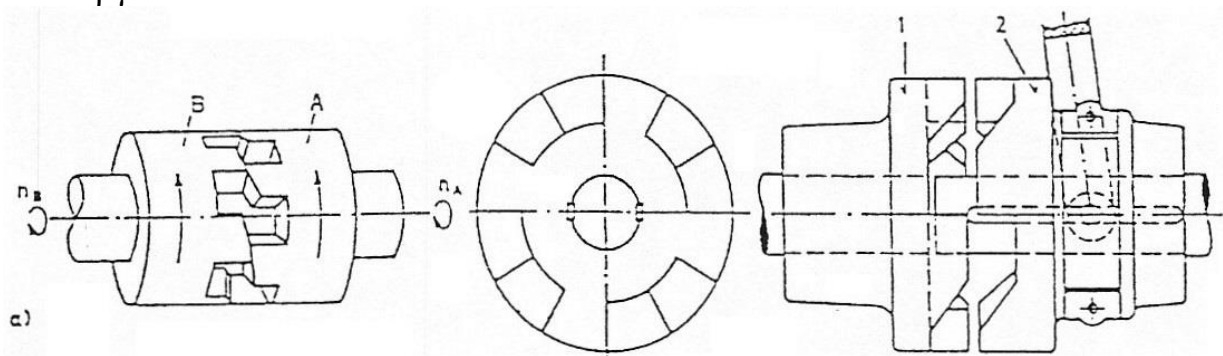
ΣΥΜΠΛΕΚΤΕΣ

Για να συνδεθούν δύο άτρακτοι με συμπλέκτες, πρέπει να μην υπάρχουν σφάλματα ευθυγράμμισης, εφόσον η σύμπλεξη και η αποσύμπλεξη γίνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Α) Σύγχρονοι συμπλέκτες μορφής

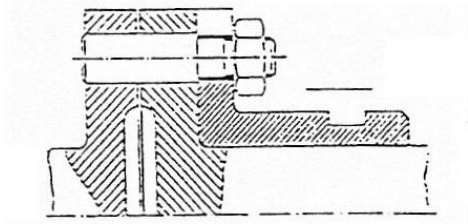
1. Ονυχωτός συμπλέκτης: αποτελείται από δυο κύρια εξαρτήματα, από αυτά το ένα συνδέεται σταθερά με την άτρακτο ενώ το δεύτερο μπορεί να ολισθαίνει αξονικά πάνω στη δεύτερη άτρακτο και να συνδέεται με αυτή μόνο με έναν οδηγό σφήνα ή ένα πολύσφηνο μεταδίδοντας έτσι τη στρεπτική ροπή.

Η μετωπική επιφάνεια των δυο εξαρτημάτων είναι ονυχωτή. Η σύμπλεξη και αποσύμπλεξη γίνεται με τη βοήθεια διχαλωτού μοχλού. Και μάλιστα η σύμπλεξη γίνεται πάντοτε σε στάση, ενώ η αποσύμπλεξη μπορεί να γίνει και σε λειτουργία.



Σχ. Διάφορες μορφές απλών ονυχωτών συμπλεκτών.

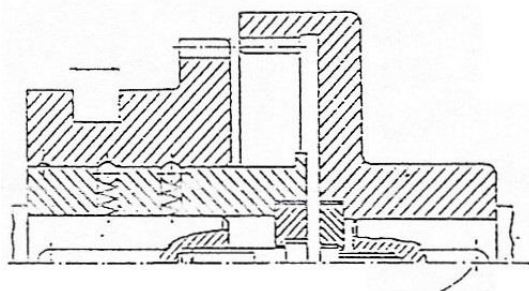
2. Συμπλέκτης με πείρους: η λειτουργία αυτού του συμπλέκτη είναι ίδια με του ονυχωτού, η μόνη διαφορά είναι ότι αντί για νύχια έχει πείρους στο ένα τμήμα και αντίστοιχες τρύπες στο άλλο.



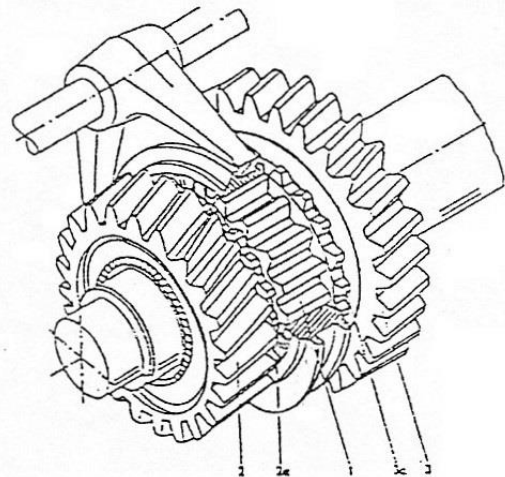
Σχ. Απλός συμπλέκτης μορφής με πείρους

3. Οδοντωτοί συμπλέκτες: Το τμήμα με την εσωτερική οδόντωση συνδέεται σταθερά με την άτρακτο εισόδου. Το τμήμα με την εξωτερική οδόντωση είναι αξονικά κινητό μπορεί όμως να μεταδώσει στρεπτική ροπή στην άτρακτο εξόδου. Η σύμπλεξη γίνεται όταν οι άτρακτοι είναι σύγχρονες.

Στα κιβώτια ταχυτήτων οχημάτων, όταν οι ταχύτητες δε συγχρονίζονται χρησιμοποιούνται οι διπλοί οδοντωτοί συμπλέκτες, όταν η σύμπλεξη απαιτεί συγχρονισμό εφαρμόζονται διάφορες διατάξεις συγχρονισμού.



α) Απλός οδοντωτός συμπλέκτης



β) Διπλός οδοντωτός συμπλέκτης
(χρησιμοποιείται σε κιβώτια ταχυτήτων)

1. Σταθερό τμήμα συμπλέκτη σταθερά συνδεδεμένο με άτρακτο.
2. και 3. Οδοντωτοί τροχοί, που συνδέονται με έδρανα κυλίσεως.
- 2α. και 3α. εξωτερικές οδοντώσεις διαμορφωμένες στους οδοντωτούς τροχούς 2. και 3.
3. Κινητό τμήμα συμπλέκτη με εσωτερική οδόντωση για σύμπλεξη του τροχού 2 ή 3 με το σταθερό τμήμα 1 και επομένως έμμεση σύνδεση με την άτρακτο.

B) Σύγχρονοι συμπλέκτες τριβής

Συμπλέκτες Υγρής και Ξερής τριβής

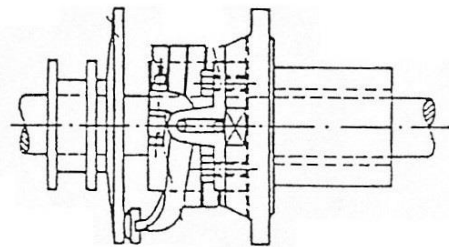
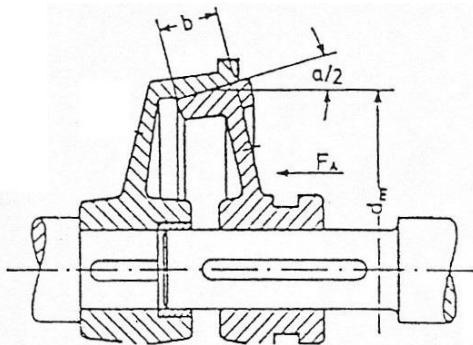
Οι συμπλέκτες τριβής με εξωτερική ενεργοποίηση μεταδίδουν τη στρεπτική ροπή με σύνδεση ξερής ή υγρής τριβής. Οι επιφάνειες τριβής

κατασκευάζονται κατά κανόνα από διαφορετικά υλικά έτσι ώστε η αναπόφευκτη φθορά να δημιουργείται μόνο σε εξαρτήματα, τα οποία μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν μετά από μία ικανοποιητική διάρκεια ζωής.

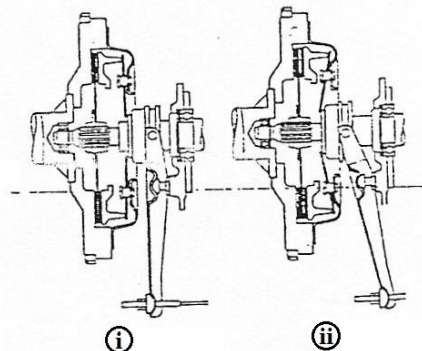
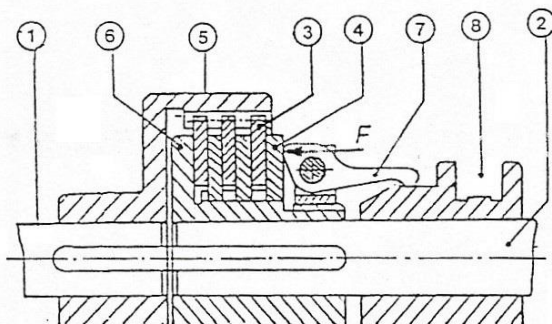
Γενικά οι συμπλέκτες ξερής τριβής μεταδίδουν μεγαλύτερη ροπή ανά μονάδα βάρους συμπλέκτη.

Αντίθετα οι συμπλέκτες υγρής τριβής έχουν καλύτερη ψύξη στις επιφάνειες επαφής και έτσι χρησιμοποιούνται όταν η απώλεια ισχύος και επομένως η ελκυσόμενη θερμότητα λόγω τριβής είναι πολύ υψηλή.

Οι πλέον γνωστοί και βασικοί σύγχρονοι συμπλέκτες τριβής είναι, ο συμπλέκτης με κώνο τριβής και εκείνος με δίσκο ή δίσκους τριβής.



α) Απλός κωνικός συμπλέκτης τριβής β) Συμπλέκτης τριβής με χαλύβδινο ελατήριο



γ) Συμπλέκτης με δίσκους τριβής

δ) Απλός δισκοειδής συμπλέκτης τριβής

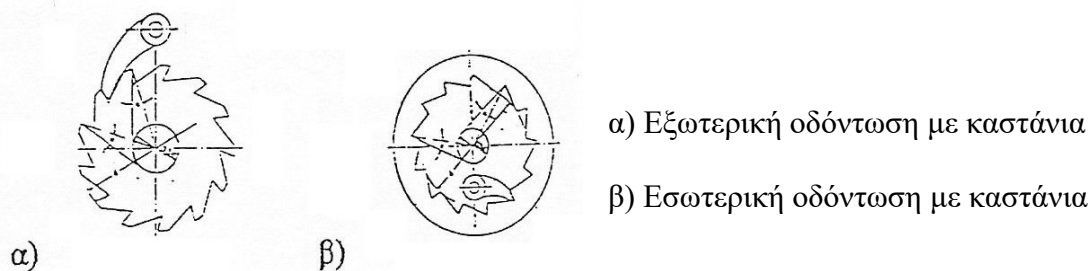
1. Κινητήρια άτρακτος
2. Κινούμενη άτρακτος
- 3,4. Κινητήριο και κινούμενο στοιχείο
- 5,6. Εφαρμοστοί σφήνες
- 7,8. Επίπεδοι μεταλλικοί δίσκοι
9. Μοχλός
10. Πείρος άρθρωσης
11. Μετακινούμενος δακτύλιος με υποδοχή για δίχλαλο

- Φάσεις λειτουργίας συμπλέκτη
i) σύμπλεξη ii) αποσύμπλεξη

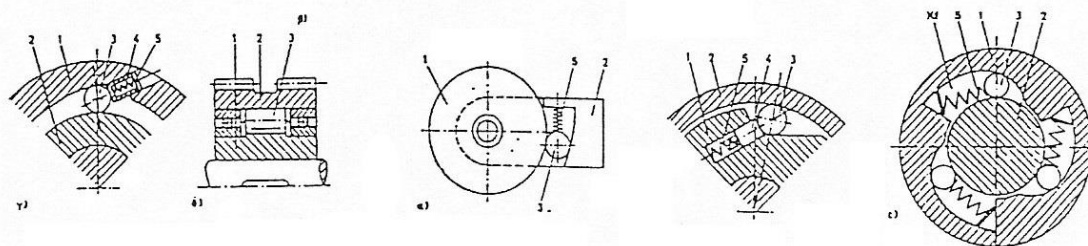
1. Δίσκος τριβής
2. Σφόνδυλος
3. Δίσκος πίεσεως
4. Ελατηριωτό διάφραγμα
5. Μοχλός συμπλέξεως-αποσυμπλέξεως

Συμπλέκτες φοράς: αυτοί ενεργοποιούνται μεταδίδοντας στρεπτική ροπή ανάλογα με τη φορά περιστροφής της ατράκτου εισόδου σε σχέση με την άτρακτο εξόδου, κρατώντας δηλαδή ακίνητη την άτρακτο εξόδου, τότε η άλλη άτρακτος μπορεί να κινηθεί ελεύθερα μόνο στη μια φορά περιστροφής.

Τους συμπλέκτες αυτούς τους διακρίνουμε σε συμπλέκτες φοράς μορφής και συμπλέκτες φοράς τριβής.



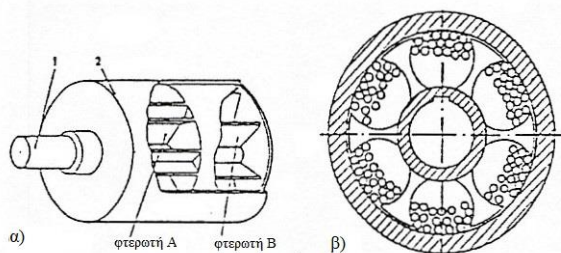
Σχ. Βασικός μηχανισμός ενός συμπλέκτη φοράς μορφής με καστάνια.



Σχ. Διάφορες μορφές συμπλεκτών φοράς τριβής με κυλινδρικά σώματα πίεσεως.

- 1,2. Κινητήριο
3. Σώμα πίεσεως
4. Πείρος
5. Ελατήριο πίεσεως

Φυγοκεντρικοί συμπλέκτες είναι κατά κανόνα συμπλέκτες τριβής και εκμεταλλεύονται τη φυγόκεντρη δύναμη ($F\phi$) που αναπτύσσεται σε μια μάζα m . Όταν αυτή περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με γωνιακή ταχύτητα (ω) και το κέντρο βάρους αυτής της μάζας απέχει από τον άξονα περιστροφής μια απόσταση r , τότε η δύναμη $F\phi$ υπολογίζεται από τον τύπο $F\phi = m \cdot r \cdot \omega^2$



Σχ. Μορφές φυγοκεντρικών συμπλεκτών με σφαιρίδια

α) Συμπλέκτης τύπου Siemens με δύο ανεξάρτητες φτερωτές. Η φτερωτή A συνδέεται με την κινητήρια άτρακτο, ενώ η φτερωτή B με την κινούμενη άτρακτο. Η μεταφορά της στρεπτικής ροπής γίνεται μέσω του κελύφους 2 (έως 80 kW).

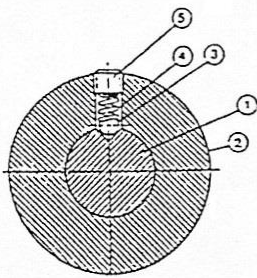
β) Συμπλέκτης τύπου Zentimatik απλός με χαλύβδινες βελόνες (Για μεταφορά ισχύος έως 5000 PS).

Συμπλέκτης υπερφορτίσεως: αυτοί ενεργοποιούνται με μια στρεπτική υπερφόρτιση. Η ενεργοποίησή τους σημαίνει αποσύνδεση των δυο ατράκτων που συνδέουν. Οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν ένα ανώτατο όριο επιτρεπτό

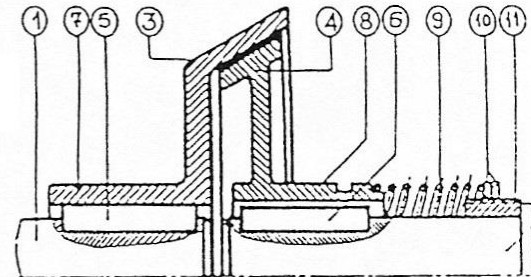
στρεπτικής φόρτισης το οποίο είναι προκαθορισμένο έτσι ώστε τα συνδεόμενα τμήματα να προστατεύονται από υπερφορτίσεις που είναι ανεπιθύμητες.

Οι συμπλέκτες υπερφορτίσεως μορφής συνδέουν δυο ατράκτους με σύνδεση μορφής από τις οποίες η μια έχει συγκεκριμένη αντοχή σε θραύση.

Οι συμπλέκτες υπερφορτίσεως τριβής μπορούν αφενός μεν να αποσυμπλεκτούν και στη συνέχεια χωρίς εξωτερική επέμβαση να ξανασυνδέουν τις δυο ατράκτους.



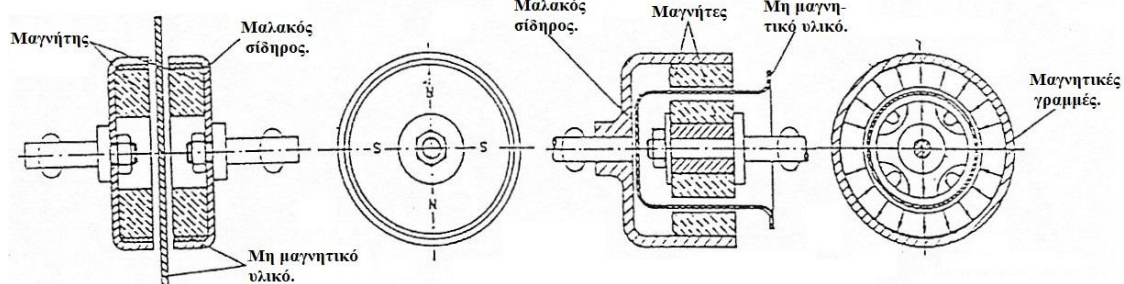
- α) Συμπλέκτης υπερφόρτισης με σφαίρα (μπίλια) και ελατήριο
- 1,2. Κινητήριο και κινούμενο στοιχείο
 3. Κοχλίας πίεσης ελατηρίου
 4. Σφαίρα
 5. Ελατήριο



- β) Συμπλέκτης υπερφόρτισης με κώνο τριβής
- 1,2. Κινητήρια και κινούμενη άτρακτος
 - 3,4. Εσωτερικός και εξωτερικός κώνος
 5. Εφαρμοστής σφήνας
 6. Οδηγός σφήνας
 - 7,8. Πλήμνες
 9. Ελατήριο
 10. Περικόχλιο
 11. Δακτύλιος με εξωτερικό σπείρωμα

Μαγνητικοί συμπλέκτες σε αυτούς χρησιμοποιούνται διαρκείς μαγνήτες. Όταν η φόρτιση τους ξεπεράσει τη ροπή ανατροπής τότε λειτουργούν σαν ασύγχρονοι.

Έχουν κατά κανόνα μεγάλο βάρος, είναι ευαίσθητοι στις αλλαγές θερμοκρασίας περιβάλλοντος και είναι κατάλληλοι για μετάδοση χαμηλών στρεπτικών ροπών.



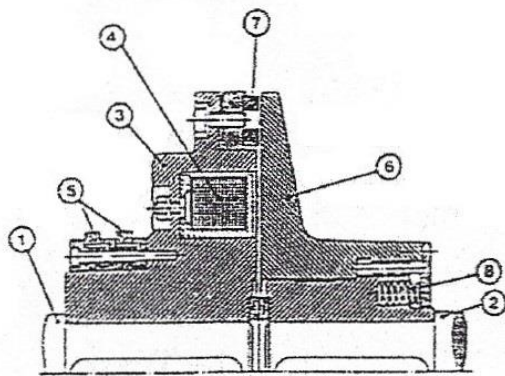
α) Μαγνητικός δισκοειδής συμπλέκτης

β) Μαγνητικός κυλινδρικός συμπλέκτης

Γ) Ασύγχρονοι συμπλέκτες

1. Ηλεκτρομαγνητικοί συμπλέκτες: αυτοί έχουν διαφορετικό αριθμό πόλων στάτη και δρομέα με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η λειτουργία στάτη και

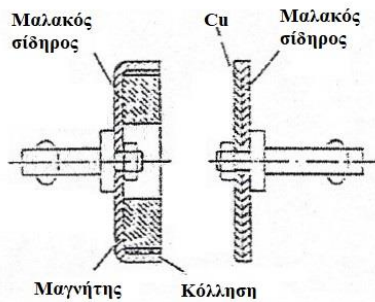
δρομέα με διαφορετικό αριθμό στροφών.



- 1.Κινητήρια άτρακτος.
- 2.Κινούμενη άτρακτος.
- 3.Κινητήριο στοιχείο.
- 4.Πηνίο.
- 5.Ψήκτρες.
- 6.Κινούμενο στοιχείο.
- 7.Δακτύλιος.
- 8.Ελατήριο.

Σχ. Ηλεκτρομαγνητικός συμπλέκτης Pinch-Bamag.

2. Συμπλέκτες δινορευμάτων: η λειτουργία τους στηρίζεται στα δινορεύματα που δημιουργούνται στον στάτη εξαιτίας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του δρομέα.

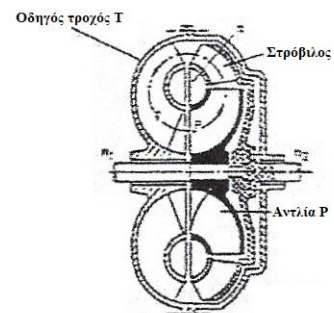


Σχ. Ασύγχρονος μαγνητικός συμπλέκτης δινορευμάτων.

3. Υδροδυναμικοί συμπλέκτες: η μετάδοση ισχύος σε αυτούς γίνεται μέσω ενός ρευστού. Ο συμπλέκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια ανεξάρτητη διάταξη κίνησης που περιλαμβάνει έναν κινητήρα ο οποίος μέσω ενός υγρού κινεί μια εργομηχανή, ο κινητήρας είναι μια στροβιλοαντλία και η εργομηχανή μια στροβιλομηχανή.



α) Σχηματική εξήγηση του τρόπου λειτουργίας ενός υδροδυναμικού συμπλέκτη στην κίνηση ενός σκάφους.

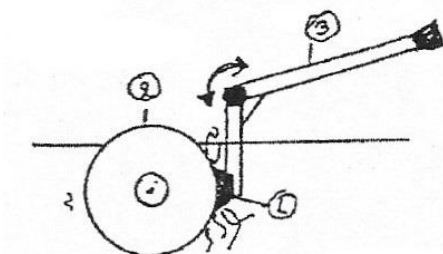


β) Υδραυλικός συμπλέκτης.

ΠΕΔΕΣ (ΦΡΕΝΑ)

A) Φρένα οχημάτων.

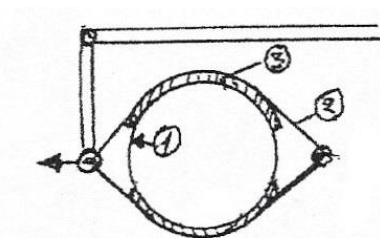
Τα φρένα με τύμπανο: Το πρώτο φρένο αρχικά χρησιμοποιήθηκε στις άμαξες όπου ένας ξύλινος τάκος φρενάριζε τη στεφάνη της ρόδας μέσω ενός χειρομοχλού ή ποδομοχλού.



- 1--Τάκος
- 2--Στεφάνη
- 3--Χειρομοχλός

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα φρένα με εξωτερικό αγκάλιασμα ενός κυλινδρικού τυμπάνου.

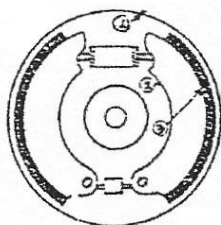
Το υλικό τριβής ήταν από κομμάτι ξύλου ή από κάποιο υφαντό υλικό.



- 1--Τύμπανο
- 2--Μεταλλική ταινία
- 3--Υλικό τριβής

Για να βελτιώσουν στα φρένα και να μειώσουν τη φθορά ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες οι κατασκευαστές δημιούργησαν τα φρένα με εσωτερικά τύμπανα όπου υπάρχει ένα ζεύγος σιαγώνων που η εξωτερική τους επιφάνεια είναι καλυμμένη με μια επιφάνεια υλικού τριβής.

Οι σιαγόνες είναι σταθερές και γύρω από αυτές κινείται ένα τύμπανο που αποτελεί μέρος του τροχού και γυρίζει μαζί του. Όταν οι σιαγόνες κατά κάποιο τρόπο ανοίξουν έρχονται σε επαφή με το εσωτερικό κυλινδρικό μέρος του τυμπάνου και λόγω της μεγάλης τριβής που δημιουργείται, γίνεται η πέδηση.

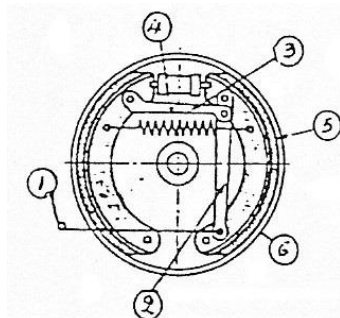


- 1--Τύμπανο
- 2--Σιαγώνα
- 3--Υλικό τριβής

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς της δύναμης εφαρμογής στις επιφάνειες τριβής του τυμπάνου διακρίνουμε τέσσερα βασικά είδη φρένων, τα μηχανικά φρένα, τα υδραυλικά φρένα, τα αερόφρενα και τα σερβοϋδραυλικά.

Όταν η δύναμη που φέρνει σε επαφή τις επιφάνειες τριβής μεταφέρεται μόνο με μηχανικά μέσα το όλο σύστημα ονομάζεται **μηχανικό σύστημα πέδησης** (το χειρόφρενο των αυτοκινήτων). Τα βασικότερα εξαρτήματα που

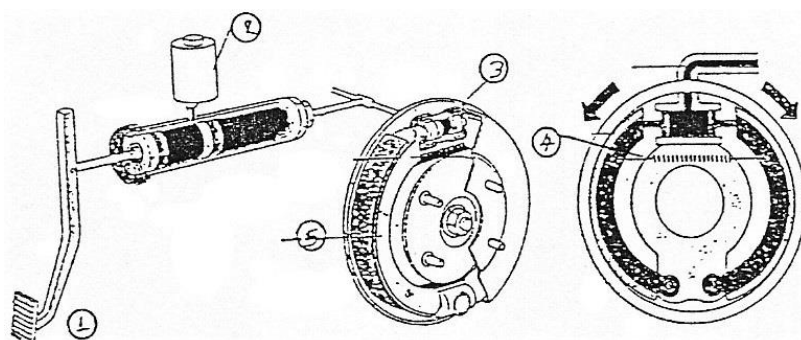
περιλαμβάνει αυτό το σύστημα είναι: Τα τύμπανα, οι σιαγώνες με τα φερμουϊτ, οι ντίζες-αρθρώσεις, το πεντάλ ή χειρόφρενο και τα ελατήρια φρένων.



- 1.Συρματόσχοινο
- 2.Βραχίονας
- 3.Συνδετική ράβδος
- 4.Επανατατικό ελατήριο
- 5.Σιαγώνες
- 6.Τύμπανο

Διάταξη λειτουργίας χειρόφρενου

Όταν μεταφέρεται και με υδραυλικό σύστημα (σύμφωνα με το νόμο του Pascal) ονομάζεται **υδραυλικό σύστημα πέδησης**. Τα βασικότερα εξαρτήματα που περιλαμβάνει αυτό το σύστημα είναι: Η κεντρική αντλία υγρών, το πεντάλ, η δεξαμενή υγρών, τα σωληνάκια για τη μεταφορά των υγρών, οι σιαγώνες με τα φερμουϊτ και τα κυλινδράκια των τροχών.



- 1.Πεντάλ
- 2.Δοχείο υγρού φρένων
- 3.Έμβολο
- 4.Επανατατικό ελατήριο
- 5.Σιαγώνες

Διάταξη λειτουργίας υδραυλικού φρένου

Όταν μεταφέρεται με πεπιεσμένο αέρα ονομάζεται **αερόφρενο**, υπάρχει ειδικό κομφλέρ (κομπρεσέρ) που παράγει και αποθηκεύει τον αέρα σε ειδικά δοχεία. Είναι το πιο αποτελεσματικό σύστημα φρένων ειδικά για μεγάλα και βαριά οχήματα. Τα βασικότερα εξαρτήματα του αερόφρενου είναι: ο αεροσυμπιεστής, τα αεροφυλάκια, ο ρυθμιστής πίεσης, ο αεροθάλαμος των φρένων, οι διάφορες βαλβίδες ασφαλείας, το πιεσόμετρο, οι σιαγώνες ,ε τα φερμουϊτ και οι σωληνώσεις με τους διακλαδωτήρες.

Αν το υδραυλικό φρένο ή το αερόφρενο έχει και βοηθητικό μηχανισμό πέδησης, το μηχανισμό του κενού δηλαδή την υποπίεση, το ονομαζόμενο Servo, τότε ονομάζεται το σύστημα πέδησης **Σερβοϋδραυλικό φρένο**.

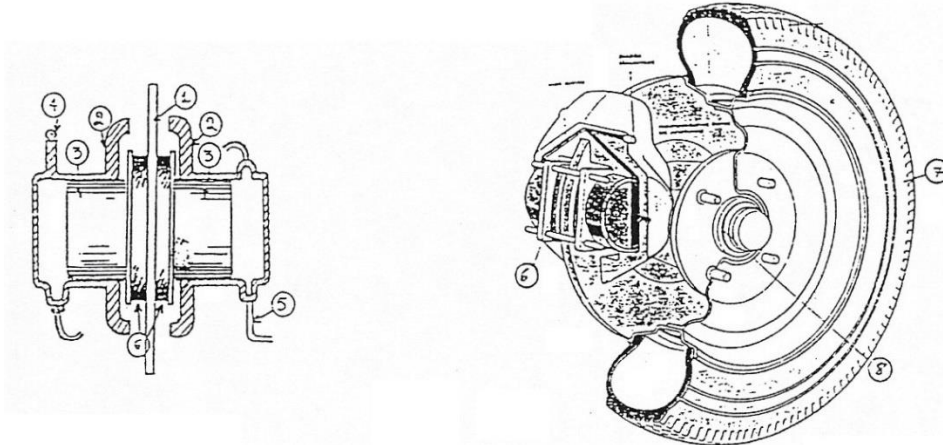
Ο σερβομηχανισμός χρησιμοποιεί τη διαφορά πίεσεως μεταξύ της ατμόσφαιρας και του εξαερωτήρα (καρμπυρατέρ) σαν πηγή ενέργειας.

Τα φρένα με δίσκους (δισκόφρενα).

Τα δισκόφρενα αποτελούνται ουσιαστικά από έναν περιστρεφόμενο

δίσκο, ο οποίος μπορεί να συσφιχθεί μεταξύ δυο πελμάτων από υλικό τριβής τα φρένα τύπου διαβήτη, που χρησιμοποιούνται συχνά στα ποδήλατα, είναι ένα γνωστό παράδειγμα, αλλά τα δισκόφρενα των αυτοκινήτων λειτουργούν υδραυλικά τα περισσότερα και τα πέλματα (τα τακούνια) καλύπτουν το ένα έκτο έως το ένα ένατο της λείας επιφάνειας το δίσκου τριβής.

Επειδή ο δίσκος υπόκειται σε μικρότερη φθορά από το τύμπανο, μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες, χωρίς να παρουσιάσει βλάβη. Για το λόγο αυτό ο δίσκος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ μεγαλύτερα φορτία από τα φρένα τυμπάνου.



Δισκόφρενο:

1.Δισκόπλακα, 2.Δαγκάνα, 3.Πιστόνι, 4.Εξαερωτήρας, 5.Σωληνάκι υγρού, 6.Πλακάκια φρένων (τακούνια), 7.Ελαστικό, 8.Πλήμνη τροχού.

Στα περισσότερα σημερινά αυτοκίνητα τα δισκόφρενα χρησιμοποιούνται στους μπροστινούς τροχούς και τα ταμπουρόφρενα αντίστοιχα στους πισινούς τροχούς, σε αρκετές περιπτώσεις τα ταμπουρόφρενα αντικαθιστούνται από τα δισκόφρενα προοδευτικά, λόγω του ότι τα δισκόφρενα έναντι των ταμπουροφρένων παρουσιάζουν συνήθως:

- Αυξημένη επιφάνεια τριβής.
- Το ίδιο ικανοποιητικό φρενάρισμα και προς τα εμπρός και προς τα πίσω.
- Είναι αυτορυθμιζόμενα.
- Καλή απαγωγή θερμότητας.
- Είναι αυτοκαθαριζόμενα.
- Το πεντάλ του φρένου χρειάζεται μικρότερη δύναμη.
- Έχει λιγοστά εξαρτήματα, είναι πιο ελαφρύ.
- Παρουσιάζει μικρότερες φθορές.
- Παρουσιάζει φθηνότερη συντήρηση.

B) Μηχανικές πέδες (φρένα) για ανυψωτικές μηχανές.

Τις πέδες των ανυψωτικών μηχανών ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν τις κατατάσσουμε σε τρία είδη:

1. Πέδες καθόδου: αυτές ρυθμίζουν την ταχύτητα καθόδου ενός σώματος

που πέφτει παραλαμβάνοντας ένα μέρος της ενέργειάς του.

2. Πέδες πορείας ή κύλισης: αυτές παραλαμβάνουν την κινητική ενέργεια του σώματος και σταματούν την κίνηση.
3. Πέδες συγκράτησης: αυτές συγκρατούν αιωρούμενο το σώμα στο σημείο της επιθυμητής θέσης της ανόδου ή της καθόδου.

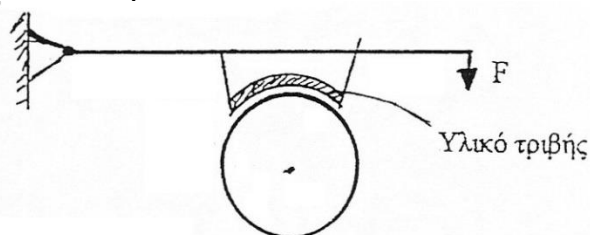
Με βάση την κατασκευαστική τους διαμόρφωση οι πέδες διακρίνονται σε:

- i) Πέδες σιαγώνων.
- ii) Ταινιοπέδες.
- iii) Δισκοειδείς και κωνικές πέδες.
- iv) Ειδικής μορφής πέδες.

Πέδες με μια σιαγώνα

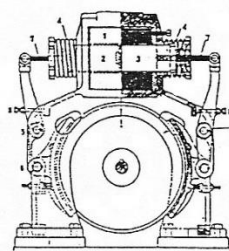
Αποτελούνται από μια τροχαλία και μια σιαγώνα που μπορεί να πιέζεται πάνω στην τροχαλία.

Οι πέδες αυτού του είδους χρησιμοποιούνται σε μηχανήματα μικρής ισχύος και το μειονέκτημά τους είναι ότι καταπονούν σε κάμψη την άτρακτο επειδή την πιέζουν μονόπλευρα.



Πέδες με δύο σιαγώνες

Οι πέδες αυτές αποτελούνται από ένα τύμπανο και δυο σιαγώνες που είναι τοποθετημένες η μια απέναντι από την άλλη και ελέγχονται μηχανικά ή ηλεκτρικά. Από τις πέδες με δυο σιαγώνες οι πιο διαδεδομένες είναι οι ηλεκτρικές. Το φρένο αυτό συνήθως αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη ο οποίος μέσω ενός συστήματος μοχλών κινεί δυο μπράτσα με φερμουίτ (υλικό τριβής). Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης αδρανεί τα μπράτσα, με την πίεση ισχυρών ελατηρίων, πιέζουν το τύμπανο και το ακινητοποιούν, κατά συνέπεια ακινητοποιείται και το φορτίο της άτρακτου. Όταν στο πηνίο του φρένου δοθεί ρεύμα τα μπράτσα σηκώνονται και απελευθερώνουν το τύμπανο, επιτρέποντας έτσι να περιστραφεί η άτρακτος. Στις πέδες αυτές τα μπράτσα είναι υπολογισμένα έτσι ώστε και μόνο το ένα να μπορεί να ακινητοποιεί το φορτίο.

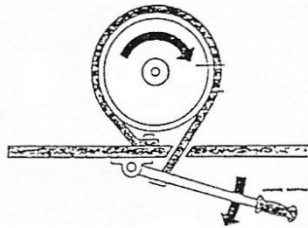


Ηλεκτρομαγνητική πέδη διπλού πυρήνα.

Ταινιοπέδες

Οι ταινιοπέδες αποτελούνται από μια τροχαλία, γύρω από την οποία συσφίγγεται γυμνή ή επενδεδυμένη με αντιτριβιτικά υλικά, μια μεταλλική ταινία η οποία έλκεται από έναν μηχανισμό. Αν το φρένο εφαρμόζεται στην ίδια κατεύθυνση με εκείνη που περιστρέφεται το τύμπανο, η αυτοενεργοποίηση αυξάνει την τριβή και έτσι αυξάνεται και η αποτελεσματικότητα του φρένου.

Οι ταινιοπέδες μειονεκτούν έναντι των πεδών με σιαγώνες στο ότι καταπονούν την άτρακτο σε κάμψη.

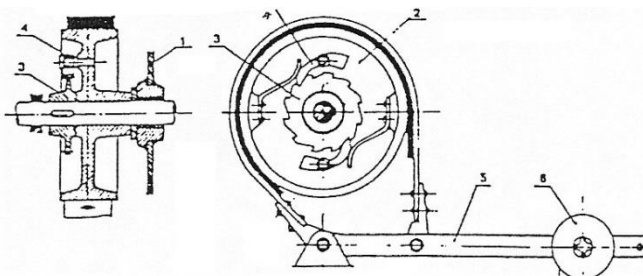


Απλό φρένο ταινίας χειροκίνητο

- 1.Μοχλός φρένου
- 2.Περιστρεφόμενο τύμπανο
- 3.Ταινία

Συνδυασμός ταινιοπέδης και τροχού αναστολής

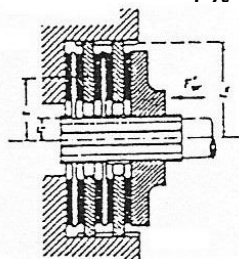
Χρησιμοποιείται σε χειροκίνητα βαρούλκα τόσο για τη συγκράτηση του βάρους όσο και για την ομαλή κάθοδο του βάρους. Το τύμπανο πέδησης (2) είναι ακίνητο ενώ ο τροχός αναστολής (3) είναι σφηνωμένος επάνω στην άτρακτο του βαρούλκου και γλιστράει μπροστά από το μάνδαλο (4).



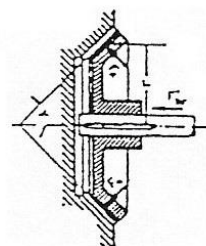
- 1.Πλαίσιο
- 2.Τύμπανο πέδησης
- 3.Τροχός αναστολής
- 4.Μάνδαλο
- 5.Μοχλός πέδησης
- 6.Αντίβαρο πέδης

Πέδες δίσκων και κωνικές πέδες

Τα φρένα δίσκων είναι παρόμοια με των οχημάτων. Τα κωνικά φρένα χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο σε ορισμένες κατασκευές, η ροπή πέδησης προέρχεται από την τριβή των επιφανειών οι οποίες μετακινούνται αξονικά και στη θέση του δίσκου υπάρχει κώνος. (βλέπε σχήμα)



Φρένο πολλαπλών δίσκων



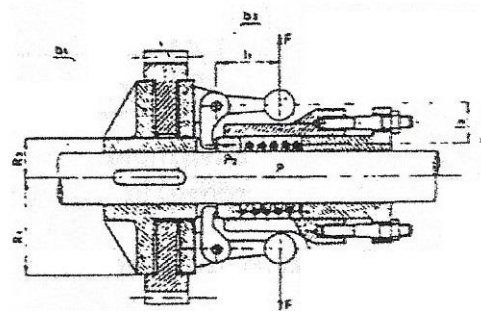
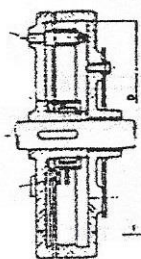
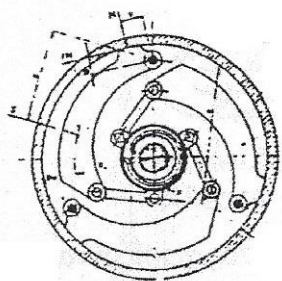
Κωνικό φρένο

Φυγοκεντρική πέδη

Διακρίνουμε δυο είδη φυγοκεντρικών πεδών:

α) Τις φυγοκεντρικές πέδες με σιαγώνες οι οποίες στρέφονται γύρω από τον πείρο ο οποίος είναι σταθερά προσαρμοσμένος επάνω στον τροχό και όταν ο τροχός αναπτύξει ένα ορισμένο αριθμό στροφών οι σιαγώνες μέσω των φυγόκεντρων δυνάμεων τείνουν προς τα έξω πιέζοντας το δίσκο τριβής με αποτέλεσμα να φρενάρουν το σύστημα.

β) Η φυγοκεντρική πέδη με βαρίδια λειτουργεί με την ίδια αρχή λειτουργίας όπου τα βαρίδια με την επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης τείνουν να συσφίξουν τους δυο συνεργαζόμενους τροχούς σε συνεργασία με τον τροχό αναστολής.



α) Φυγοκεντρική πέδη σιαγώνων

β) Φυγοκεντρική πέδη με βαρίδια

Εκτός από τα είδη των φρένων που αναφέραμε υπάρχουν και άλλα είδη. Η εκλογή του ενός ή του άλλου τύπου φρένων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από τις συνθήκες λειτουργίας και την κατασκευή τους.

Προσάρτημα 1

Μηχανολογικά υλικά

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Μηχανολογικά υλικά είναι εκείνα, που έχουν χρήσιμες και εκμεταλλεύσιμες μακροσκοπικές ιδιότητες για την κατασκευή μηχανών, μηχανημάτων και συσκευών.

Ο βασικότερος παράγοντας επιτυχίας του σχεδιασμού μιας κατασκευής είναι η σωστή εκλογή των υλικών από τα οποία πρέπει να κατασκευασθούν το καθένα από τα στοιχεία της. Προϋπόθεση για τη σωστή εκλογή είναι η γνώση όλων των τεχνικών ιδιοτήτων των μηχανολογικών υλικών. Από τα τεχνικά ενδιαφέροντα υλικά που χρησιμοποιούνται σε πρώτη θέση είναι ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος και κατόπιν τα μη σιδηρούχα μέταλλα, τα κεραμεικικά κράματα και τα μη μεταλλικά υλικά, από τα οποία τα σπουδαιότερα είναι τα συνθετικά υλικά.

Με την εξέλιξη της Μηχανολογίας και ειδικότερα της Τεχνολογίας των Υλικών εμφανίζονται συνέχεια νέα υλικά με όλο και περισσότερο βελτιωμένες ιδιότητες και μάλιστα προσαρμοσμένες στους συνεχώς διευρυνόμενους στόχους και απαιτήσεις του ανθρώπου. Παράλληλα με την εξέλιξη των νέων υλικών βελτιώνονται και τα είδη γνωστά υλικά.

Η έρευνα στον τομέα των υλικών βρίσκεται σήμερα σε μεγάλη άνθιση και υπόσχεται εξελίξεις για το μέλλον, έτσι οι συστάσεις που δίδονται στο τεύχος αυτό έχουν μόνο προσωρινή ισχύ δεδομένου ότι ένας μηχανικός πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς για τις συνεχείς βελτιώσεις των γνωστών και νέων υλικών που εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα στην αγορά.

Επίσης άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την εκλογή ενός υλικού, είναι το κόστος αγοράς και η δυνατότητα μιας εύκολης και φθηνής διαμόρφωσης ή μηχανικής κατεργασίας του υλικού.

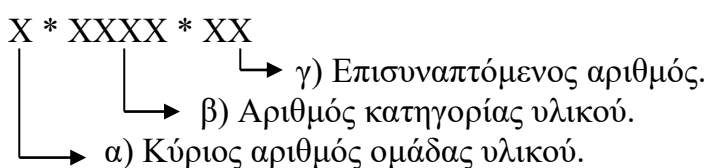
ΟΝΟΜΑΣΙΑ – ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχουν τρία είδη συμβολισμού υλικών

1. Ο διεθνής συμβολισμός κατά ISO
2. Ο συμβολισμός σύμφωνα με μια καθορισμένη κρατική τυποποίηση
3. Ο συμβολισμός σύμφωνα με την εσωτερική τυποποίηση μιας εταιρείας παραγωγής υλικών

1. Διεθνής Συμβολισμός κατά ISO και κατά DIN 17007

Ο νέος συμβολισμός όλων των μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών γίνεται με μια σειρά 7 αριθμών. Η επταψήφια αυτή σειρά αριθμών ονομάζεται αριθμός υλικού (Material number, werkstoffnummer) και αναλύεται στις εξής τρεις βασικές ομάδες αριθμών.



α) Ο κύριος αριθμός ομάδας υλικού καθορίζει τη γενική κατηγορία στην οποία κατατάσσεται ένα υλικό.

Πχ. 0: Σίδηρος, ή σίδηρος με αμελητέες προσθήκες.

1: Χάλυβας.

2: Βαριά μέταλλα.

3: Ελαφρά μέταλλα.

4-8: Μη μεταλλικά υλικά.

9: Για την ονομασία οποιουδήποτε υλικού μέσα στην εταιρεία.

β) i. Τα δύο πρώτα ψηφία του αριθμού κατηγορίας υλικού, καθορίζουν τη χημική σύνθεση, τις ιδιότητες και την καταλληλότητα για περαιτέρω κατεργασία.

ii. Τα δύο τελευταία ψηφία του αριθμού κατηγορίας υλικού χρησιμεύουν για την αρίθμηση και κατάταξη των υλικών μιας κατηγορίας.

γ) Ο επισυναπτόμενος διψήφιος αριθμός τοποθετείται όταν πρέπει να προσδιοριστεί ο τρόπος παρασκευής, θερμικής ή μηχανικής προκατεργασίας του υλικού.

(Παρατήρηση: Ο συμβολισμός αυτός δεν εφαρμόζεται ακόμη σε μεγάλη έκταση.)

2. Συμβολισμός κραμάτων Σιδήρου – Άνθρακα κατά DIN 17006

Ο συμβολισμός αυτός έχει επικρατήσει στην Ελλάδα και είναι η τυποποίηση που χρησιμοποιείται από τη Γερμανία.

α) **Οι κοινοί χάλυβες κατασκευών:** Χάλυβες που δεν έχουν τυποποιηθεί σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση, αλλά με τη μηχανική τους αντοχή συμβολίζεται με τα γράμματα **St** (που είναι σύντμηση της λέξεως Stall = Χάλυβας). Τα γράμματα αυτά ακολουθούνται από έναν αριθμό, που καθορίζει το **ελάχιστο όριο θραύσεως** των χαλύβων της κατηγορίας αυτής σε Kp/mm². Οι χάλυβες αυτοί ονομάζονται κοινοί χάλυβες κατασκευών. Χρησιμοποιούνται σε δομικές κατασκευές κάθε είδους και σε μηχανολογικές κατασκευές χαμηλής και μέση καταπόνησης.

Για κάθε χάλυβα αυτής της κατηγορίας προβλέπονται τρεις ποιότητες και συμβολίζονται με τα ψηφία 1 – 2 – 3.

Παράδειγμα: St37-3 = Χάλυβας κοινός με ελάχιστο όριο θραύσεως 37 Kp/mm² και ποιότητα 3.

β) **Οι χάλυβες χωρίς προσθήκες:** Αυτοί συμβολίζονται με το γράμμα **(C)** το οποίο είναι και το χημικό σύμβολο της βασικής προσθήκης τους, δηλαδή του άνθρακα. Το σύμβολο C ακολουθείται από έναν αριθμό ο οποίος διαιρούμενος με το 100 δίνει την επί τοις εκατό περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. (Οι προσθήκες αυτών των χαλύβων σε άλλα στοιχεία εκτός του άνθρακα είναι πολύ περιορισμένες)

Παράδειγμα: C35 συμβολίζει ένα χάλυβα χωρίς προσθήκες με περίπου 35% άνθρακα.

γ) **Τα χαλυβοκράματα:** Είναι χάλυβες με υπολογίσιμες προσθήκες, μπορούν να φθάσουν σε ένα συνολικό ποσοστό προσθηκών έως 5%

Ο συμβολισμός τους γίνεται ως εξής:

- i. Προτάσσεται ένας αριθμός που δίνει την περιεκτικότητα σε άνθρακα επί τις % , (αν διαιρεθεί δια 100).
- ii. Ακολουθούν τα σύμβολα ενός έως το πολύ τριών χημικών στοιχείων τα οποία είναι κύριες προσθήκες του χάλυβα και κατατάσσονται σύμφωνα με το μέγεθος της περιεκτικότητας από αριστερά προς τα δεξιά.
- iii. Ο συμβολισμός ολοκληρώνεται με την προσθήκη ενός αριθμού μετά τα χημικά σύμβολα των προσθηκών, ο οποίος αν διαιρεθεί με ένα για κάθε στοιχείο διαφορετικό συντελεστή, τότε δίνει τη μέση τιμή της περιεκτικότητας της αντίστοιχης προσθήκης. Οι τυποποιημένοι αυτοί συντελεστές διαιρέσεως δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί :

Προσθήκες χαλυβοκραμάτων					
Προσθήκη	Χημικό σύμβολο	Συντελεστής διαιρέσεως	Προσθήκη	Χημικό σύμβολο	Συντελεστής διαιρέσεως
Αλουμίνιο	Al	10	Νικέλιο	Ni	4
Βηρύλλιο	Be	10	Νιόβιο	Nb	10
Μόλυβδος	Pb	10	Φώσφορος	P	100
Βόριο	B	10	Θείο	S	100
Δημήτριο	Ce	100	Πυρίτιο	Si	4
Χρώμιο	Cr	4	Άζωτο	N	100
Κοβάλτιο	Co	4	Ταντάλιο	Ta	10
Χαλκός	Cu	10	Τιτάνιο	Ti	10
Μαγγάνιο	Mn	4	Βανάδιο	Va	10
Μολυβδαίνιο	Mo	10	Βολφράμιο	W	4
Παράδειγμα: 18 CrNi 8 συμβολίζει ένα χαλυβόκραμα με 0,18% σε C, 2% σε Cr και $\leq 2\%$ σε Ni.					

δ) Οι ειδικοί χάλυβες: είναι χαλυβοκράματα με συνολική περιεκτικότητα σε προσθήκες πάνω από 5%

Ο συμβολισμός τους αρχίζει με το γράμμα (X) ακολουθεί ένας αριθμός ο οποίος αν διαιρεθεί με το 100 δίνει την περιεκτικότητα σε άνθρακα, στη συνέχεια ακολουθούν τα σύμβολα των κύριων προσθηκών και οι αντίστοιχοι αριθμοί που δηλώνουν απ' ευθείας της επί τις % περιεκτικότητα των προσθηκών.

Παράδειγμα: X 10 Cr Ni 18.8 συμβολίζει έναν ειδικό χάλυβα με 0,1% σε C, 18% σε Cr και 8% σε Ni.

ε) Οι χυτοσίδηροι και οι χυτοχάλυβες: Έχουν ιδιαίτερη ονομασία, που αποτελείται από το συμβολισμό του είδους του χυτοσιδήρου ή του χυτοχάλυβα, με ένα έως τρία γράμματα, μία παύλα και έναν αριθμό, ο οποίος δίδει το ελάχιστο όριο θραύσεως σε Kp/mm².

Ο συμβολισμός τους γίνεται ως εξής:

G- : Χυτευμένο υλικό

GG- : Φαίος χυτοσίδηρος
 GH- : Σκληρός (λευκός) Χυτοσίδηρος
 GS- : Χυτοχάλυβας
 GT- : Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος γενικά
 GTS- : Μέλανος μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος
 GTW-: Λευκός μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος
 Ο συμβολισμός αυτός μπορεί να συνοδεύεται και από εξής στοιχεία αν χρειάζεται.
 K: Χύτευση αποψύξεως.
 Z: Φυγοκεντρική χύτευση.

Παράδειγμα: GG- 18 συμβολίζει ένα φαίο χυτοσίδηρο με όριο θραύσεως 18 Kp/mm².

Πριν από τον κύριο συμβολισμό ενός χάλυβα μπορούν ανάλογα με τις ανάγκες να τοποθετηθούν διάφορα γράμματα για την περαιτέρω διευκρίνιση του τρόπου παρασκευής και ποιότητας ενός χάλυβα.

B: Μέθοδος Μπέσσεμερ
 E: Ηλεκτρική κάμιнос γενικά
 F: Φλογοβόλος κάμιнос
 J: Επαγωγική ηλεκτρική κάμιнос
 Le: Ηλεκτρική κάμιнос βολταϊκού τόξου
 M: Κάμιнос Σήμενς – Μάρτιν
 PP: Πολτοπαγής χάλυβας
 T: Μέθοδος Τόμας
 Παράδειγμα: T St 37 συμβολίζει έναν κοινό χάλυβα κατασκευών με ελάχιστο όριο θραύσεως 37 Kp/mm² ο οποίος έχει παρασκευαστεί κατά τη μέθοδο Τόμας.

Στους χυτοσιδήρους οι παρά πάνω συμβολισμοί τοποθετούνται μεταξύ των γραμμάτων και των αριθμών του συμβολισμού τους π.χ. GG-E 18.

Για το συμβολισμό ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ενός χάλυβα ή χυτοσιδήρου χρησιμοποιούνται τα παρά κάτω γράμματα:

P: Καταλληλότητα για συγκόλληση πίεσης
 Q: Καταλληλότητα για ψυξηλασία γενικά
 S: Καταλληλότητα για συγκόλληση τήξεως
 K: Μικρή περιεκτικότητα σε P ή S
 G: Μεγάλη περιεκτικότητα σε P ή S
 L: Χημική σταθερότητα σε διάβρωση από διαλύματα βάσεων.
 R: Καθησυχασμένη χύτευση
 Z: Καταλληλότητα για ολκή
 H: Ημικαθησυχασμένη χύτευση
 U: Μη καθησυχασμένη χύτευση
 A: Σταθερότητα στη γήρανση
 Παράδειγμα: A St 37: συμβολίζει ένα χάλυβα κατασκευών με ελάχιστο όριο θραύσεως 42 Kp/mm², που έχει σταθερότητα σε γήρανση.

Μετά το συμβολισμό ενός κράματος σιδήρου – άνθρακα μπορούν να τοποθετηθούν τα εξής γράμματα για να συμβολιστεί ότι το υλικό έχει υποβληθεί στις αντίστοιχες κατεργασίες.

B: Θερμική κατεργασία για άριστες ιδιότητες μηχανικής κατεργασίας
 E: Ενανθράκωση και επιφανειακή βαφή
 G: Ανόπτηση
 HF: Επιφανειακή φλογοβαφή
 HJ: Επιφανειακή βαφή υφίσχνα επαγωγικά ρεύματα
 K: Ψυξηλασία γενικά
 NT: Αναζώτωση
 U: Καμιά κατεργασία
 A: Επαναφορά
 H: Βαφή γενικά
 N: Εξομάλυνση
 S: Αποτατική ανόπτηση
 V: Επιβελτίωση.

Παράδειγμα: 16 Mn Gr 5Eσυμβολίζει ένα κράμα χάλυβα με 0,16% σε άνθρακα, 1,25% Mn και $\leq 1,25\%$ σε Gr που έχει ενανθρακωθεί και βαφεί επιφανειακά.

Όταν οι παραπάνω κατεργασίες εκτελεστούν, για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τιμή ορίου θραύσεως, τότε τα παραπάνω γράμματα ακολουθούνται από έναν αριθμό, που καθορίζει το όριο θραύσεως σε Kp/mm².

Παράδειγμα: C 35 V 70 συμβολίζει ένα χάλυβα χωρίς προσθήκες με 0,35% σε άνθρακα, ο οποίος μετά από επιβελτίωση έχει όριο θραύσεως 70 Kp/mm².

Συμβολισμός μη σιδηρούχων μεταλλικών κραμάτων κατά DIN 1700:

Στα μη σιδηρούχα μεταλλικά κράματα περιλαμβάνονται, ο ορείχαλκος, τα κρατερώματα (μπρούντζοι), τα λευκά μέταλλα και όλα τα κράματα του αλουμινίου, του μαγνησίου, του νικελίου, του μολύβδου, του αντιμονίου, του ψευδαργύρου και άλλων μετάλλων.

Ο συμβολισμός των μη σιδηρούχων κραμάτων αποτελείται από μια σειρά συμβόλων, που διευκρινίζουν τον τρόπο κατασκευής, τη σύνθεση, τις χαρακτηριστικές ιδιότητες και τη χρησιμοποίηση ενός κράματος.

Ο τρόπος κατασκευής συμβολίζεται με τα εξής γράμματα :

- G- : Χύτευση γενικά.
- GD- : Χύτευση πίεσεως (σε χυτοπρέσσα)
- GK- : Χύτευση σε μεταλλικά καλούπια
- GZ- : Φυγοκεντρική χύτευση
- V- : Κεραμευτική σύνθεση και πυροσωμάτωση

Μετά το συμβολισμό κατασκευής ακολουθεί ο συμβολισμός χρησιμοποίησης ενός κράματος που καθορίζεται με τα εξής γράμματα:

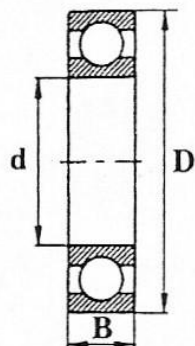
- GI : Υλικά εδράνων ολισθήσεως
- L : Υλικά κολλήσεως

Η σύνθεση ενός κράματος προσδιορίζεται με τα χημικά σύμβολα των μετάλλων, τα οποία τοποθετούνται κατά σειρά από αριστερά προς τα δεξιά ανάλογα με το μέγεθος της περιεκτικότητάς τους σ' ένα κράμα.

Στο συμβολισμό των μη σιδηρούχων κραμάτων μπορούν να συμπεριληφθούν και αριθμοί για τον προσδιορισμό της μέσης περιεκτικότητας των διαφόρων προσθηκών τους.

Προσάρτημα 2

Πίνακες ρουλμάν

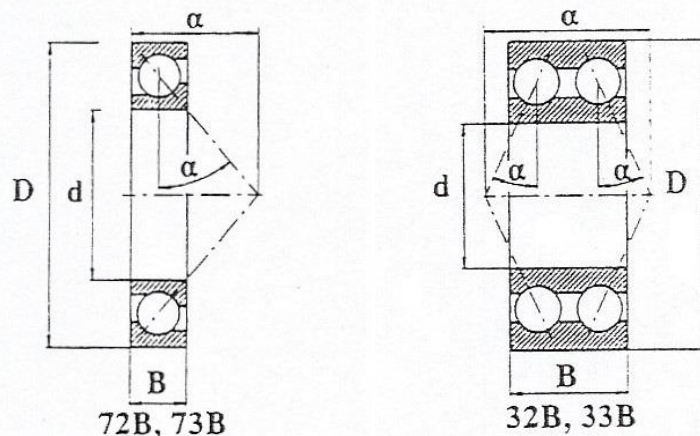


Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	d mm	Σειρά 160				Σειρά 60				Σειρά 62				Σειρά 63				Σειρά 64			
		D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN
00	10					26	8	4,55	1,96	30	9	6	2,6	35	11	8,15	3,45				
01	12					28	8	5,1	2,36	32	10	6,95	3,1	37	12	9,65	4,15				
02	15	32	8	5,60	2,85	32	9	5,6	2,85	35	11	7,8	3,75	42	13	11,4	5,4				
03	17	35	8	6,00	3,25	35	10	6	3,25	40	12	9,5	4,75	47	14	13,4	6,55	62	17	23,6	11
04	20	42	8	6,95	4,05	42	12	9,3	5	47	14	12,7	6,55	52	15	17,3	8,5	72	19	30,5	15
05	25	47	8	7,20	4,65	47	12	10	5,85	52	15	14,3	8	62	17	22,4	11,4	80	21	36	19,3
06	30	55	9	11,2	7,35	55	13	12,7	8	62	16	19,3	11,2	72	19	29	16,3	90	23	42,5	23,3
07	35	62	9	12,2	8,8	62	14	16,3	10,4	72	17	25,5	15,3	80	21	33,5	19	100	25	55	31
08	40	68	9	13,2	10,2	68	15	17	11,8	80	18	29	18	90	23	42,5	25	110	27	63	36,5
09	45	75	10	15,6	12,2	75	16	20	14,3	85	19	32,5	20,4	100	25	53	32	120	29	76,5	45
10	50	80	10	16,0	13,2	80	16	20,8	15,6	90	20	36,5	24	110	27	62	38	130	31	86,5	52
11	55	90	11	19,3	16,3	90	18	28,5	21,2	100	21	43	29	120	29	76,5	47,5	140	33	100	62
12	60	95	11	20,0	17,6	95	18	29	23,2	110	22	52	36	130	31	81,5	52	150	35	110	69,6
13	65	100	11	21,1	19,6	100	18	30,5	25	120	23	60	41,5	140	33	93	60	160	37	118	78
14	70	110	13	28,0	25,0	110	20	39	31,5	125	24	62	44	150	35	104	68	180	42	143	104
15	75	115	13	28,5	27,0	115	20	40	34	130	25	65,5	49	160	37	114	76,5	190	45	153	114
16	80	125	14	32,0	31,0	125	22	47,5	40	140	26	72	53	170	39	122	86,5	200	48	163	125
17	85	130	14	34,0	33,5	130	22	50	43	150	28	83	64	180	41	125	88	210	52	173	137
18	90	140	16	41,5	39,0	140	24	58,5	50	160	30	96,5	72	190	43	134	102	225	54	196	163
19	95	145	16	40,0	45,0	145	24	60	54	170	32	108	81,5	200	45	143	112				
20	100	150	16	44,0	44,0	150	24	60	54	180	34	122	93	215	47	163	134				
21	105	160	18	54,0	54,0	160	26	71	64	190	36	132	104	225	49	173	146				
22	110	170	19	57,0	57,0	170	28	80	71	200	38	143	116	240	50	190	166				
24	120	180	19	61,0	64,0	180	28	83	78	215	40	146	122	260	55	212	190				
26	130	200	22	78,0	81,5	200	33	104	100	230	40	166	146	280	58	228	216				
28	140	210	22	80,0	86,5	210	33	108	108	250	42	176	166	300	62	255	245				
30	150	225	24	91,5	98,0	225	35	122	125	270	45	176	170	320	65	285	300				
(d+D)/2 mm		25	40	60	≥100	20	60	150	400	6	15	60	400	10	20	100	400	40	60	80	≥100
f ₀ =		14	15,5	16	16,3	12	15,2	15,9	15,6	12,7	12,3	14	15,1	12,9	11,7	13,3	13,9	10,9	11,9	12,1	12,2
Για κανονικό διάκενο		f ₀ · F _a /C ₀				0,3		0,5		0,9		1,6		3,0		6,0		για F _a /F _r >e: X = 0,56			
		e				0,22		0,24		0,28		0,32		0,36		0,43		για F _a /F _r ≤e: X = 1, Y = 0			
		για F _a /F _r >e είναι Y =				2		18		1,59		1,4		1,2		1		για F _a /F _r ≤0,8 : P ₀ = F _r για F _a /F _r > 0,8 : X ₀ = 0,6, Y ₀ = 0,5			
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο: P = F _r						για F _a /F _r ≤e		και		P = 0,56 · F _r + Y · F _a				για F _a /F _r >e							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο: P ₀ = F _r						για F _a /F _r ≤0,8		και		P = 0,6 · F _r + 0,5 · F _a				για F _a /F _r > 0,8							

Πίνακας 11-5. Τριβείς σφαιρικοί με βαθύ αύλακα (DIN 625). Διαστάσεις και φορτία.

Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	Συντελεστής f_0 για σφαιρικά έδρανα με βαθύ αύλακα								
	Σειρά								
	618	160	161	60	62	622	63	623	64
3					12,9				
4					12,2		13,2		
5					13,2		13		
6					13				
7				13	12,4				
8				12,4	13				
9				13	12,4				
00			12,4	12,4	12,1	12,1	11,3		
01			13	13	12,3	12,2	11,1		
02		13,9		13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	
03		14,3		14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4
04		14,9		13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	11
05		15,4		14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	12,1
06		15,2		14,8	13,8	13,8	13	13	12,2
07		15,6		14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	12,1
08		16		15,3	14	14	13	13	12,2
09		15,9		15,4	14,3	14,1	13	13	12,1
10		16,1		15,6	14,3	14,3	13	13	13,1
11		16,1		15,4	14,3		12,9		13,2
12		16,3		15,5	14,3		13,1		13,2
13		16,4		15,7	14,3		13,2		12,3
14		16,2		15,5	14,4		13,2		12,1
15		16,4		15,7	14,7		13,2		12,2
16		16,4		15,6	14,6		13,2		12,3
17		16,4		15,7	14,7		13,1		12,3
18		16,3		15,6	14,5		13,9		12,2
19		16,5		15,7	14,4		13,9		
20		16,5		15,9	14,4		13,8		
21		16,3		15,8	14,3		13,8		
22		16,3		15,6	14,3		13,8		
24		16,5		15,9	14,8		13,5		
26		16,4		15,8	14,5		13,6		
28		16,5		16	14,8		13,6		
30		16,4		16	15,2		13,7		
32		16,5		16	15,2		13,9		
34		16,4		15,7	15,3		13,9		
36		16,3		15,6	15,3		13,9		
38		16,4		15,8	15		14		
40		16,3		15,6	15,3		14,1		
44		16,3		15,6	15,2		14,1		
48		16,5		15,8	15,2		14,2		
52		16,4		15,7	15,2				
56		16,5		15,9	15,3				
60		16,4		15,7					
64	15,9	16,5		15,9					
68	15,9	16,3		15,8					
72	15,8	16,4		15,9					
76	16	16,5							
80	15,9								
84	15,9								
88	15,8								
92	16								
96	16								
/500	15,9								
/530	15,9								

Πίνακας 11-5α. Ακριβέστερος προσδιορισμός του συντελεστή f_0 .

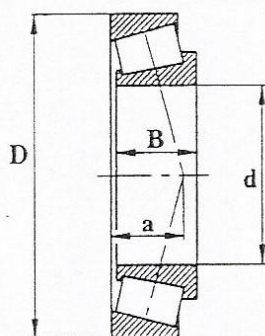


Χαρακτηριστικός αριθμός σειράς	d mm	Σειρά 72...B					Σειρά 73...B					Σειρά 32...B ¹⁾ , 32 ¹⁾²⁾					Σειρά B ¹⁾ , 33 ¹⁾³⁾																	
		D mm	B mm	α mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	α mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	α mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	α mm	C kN	C ₀ kN													
00	10	30	9	13	5	2,5						30	14	15	7,8	4,55																		
01	12	32	10	14	6,95	3,4	37	12	16	10,6	5	32	15,9	17	10,6	5,85																		
02	15	35	11	16	8	4,3	42	13	18	12,9	6,55	35	15,9	18	11,8	7,1	42	19	22	16,3	10													
03	17	40	12	18	16	4,4	47	14	20	16	8,3	40	17,5	20	14,6	9	47	22,2	24	20,8	12,5													
04	20	47	14	21	13,4	7,65						47	20,6	24	19,6	12,5	52	22,2	26	32,2	15													
05	25	52	15	24	14,6	9,3	62	17	27	26	15	52	20,6	27	21,2	14,6	62	25,4	31	30	20													
06	30	62	16	27	20,4	13,4	72	19	31	32,5	20	62	23,8	31	30	21,2	72	30,2	36	41,5	28,5													
07	35	72	17	31	27	18,3	80	21	35	39	25	72	27	36	39	28,5	80	34,9	42	51	34,5													
08	40	80	18	34	32	23,2	90	23	39	50	32,5	80	30,2	41	48	36,5	90	36,5	46	62	45													
09	45	85	19	37	36	26,5	100	25	43	60	40	85	30,2	43	48	37,5	100	39,7	50	68	51													
10	50	90	20	39	37,5	28,5	110	27	47	69,5	47,5	90	30,3	45	51	42,5	110	44,4	55	81,5	62													
11	55	100	21	43	46,5	36	120	29	51	78	56	100	33,3	50	58,5	49	120	49,2	61	102	78													
12	60	110	22	47	56	44	130	31	55	90	65,5	110	36,5	55	72	61	130	54	67	125	98													
13	65	120	23	50	64	53	140	33	60	102	75	120	38,1	60	80	73,5	140	58,7	71	150	118													
14	70	125	24	53	69,5	58,5	150	35	64	114	86,5	125	39,7	62	83	76,5	150	63,5	109	143	166													
15	75	130	25	56	68	58,5	160	37	68	127	100	130	41,3	65	91,5	85	160	68,5	117	163	193													
16	80	140	26	59	80	69,5	170	39	72	140	114	140	44,4	69	98	93	170	68,3	123	176	212													
17	85	150	28	63	90	80	180	41	76	150	127	150	49,2	106	112	150	180	73	131	190	228													
18	90	160	30	67	106	93	190	43	80	160	140	160	52,4	113	125	170	190	73	136	216	275													
19	95	170	32	72	116	110	200	45	84	173	153	170	55,6	120	140	186	200	77,8	143	220	320													
20	100	180	34	76	129	114	215	47	90	193	180	180	60,3	127	160	224	215	82,6	158	240	320													
Σειρά				e		F _a /F _r ≤ e		F _a /F _r > e				Σειρά			e		F _a /F _r ≤ e		F _a /F _r > e															
72...B, 73...B				1,14		1		0		0,35		0,57		0,5		0,26		32...B, 33...B			0,68		1		0,92		0,67		1,41		1		0,76	
												32 και 33			0,95		1		0,66		0,6		1,07		1		0,58							

1) διπλής σειράς, 2) από χαρακτηριστικό αριθμό 17 χωρίς B, 3) από χαρακτηριστικό αριθμό 14 χωρίς B

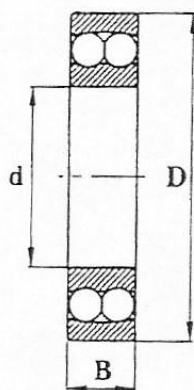
	F _a /F _r ≤ e	F _a /F _r > e	e	Σειρά τριβέων
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P: - Για μεμονωμένο τριβέα	P = F _r	P = 0,35 · F _r + 0,57 · F _a	1,14	72B, 73B
- Για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X	P = F _r + 0,55 · F _a	P = 0,57 · F _r + 0,93 · F _a	1,14	72B, 73B
	P = F _r + 0,66 · F _a	P = 0,6 · F _r + 1,07 · F _a	0,95	32, 33
	P = F _r + 0,92 · F _a	P = 0,67 · F _r + 1,41 · F _a	0,68	32B, 33B
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P₀: - Για μεμονωμένο τριβέα	P ₀ = F _r	P = 0,5 · F _r + 0,26 · F _a	1,9	72B, 73B
- Για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X	P ₀ = F _r + 0,52 · F _a		-	72B, 73B
	P ₀ = F _r + 0,58 · F _a		-	32, 33
	P ₀ = F _r + 0,76 · F _a		-	32B, 33B

Πίνακας 11-6. Τριβείς σφαιρικοί γωνιώδους επαφής (DIN 628). Διαστάσεις και φορτία.



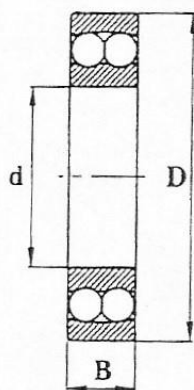
Χαρακτηριστικός αριθμός σπής	d mm	Σειρά 313								Σειρά 323							
		D mm	B mm	α mm	C kN	e	Y	C_0 kN	Y_0	D mm	B mm	α mm	C kN	e	Y	C_0 kN	Y_0
03	17									47	19	12	36,5	0,29	2,1	36,5	1,2
04	20									52	21	14	46,5	0,30	2,0	48	1,1
05	25	62	17	20	38	0,83	0,7	39	0,4	62	24	16	63	0,30	2,0	65,5	1,1
06	30	72	19	24	45,5	0,83	0,7	47,5	0,4	72	27	18	82,5	0,31	1,9	90	1,1
07	35	80	21	26	60	0,83	0,7	65,5	0,4	80	31	20	100	0,31	1,9	114	1,1
08	40	90	23	30	76,5	0,83	0,7	83	0,4	90	33	23	120	0,35	1,7	146	1,0
09	45	100	25	33	96,5	0,83	0,7	110	0,4	100	36	25	156	0,35	1,7	193	1,0
10	50	110	27	35	112	0,83	0,7	127	0,4	110	40	29	186	0,35	1,7	236	1,0
11	55	120	29	39	125	0,83	0,7	140	0,4	120	43	30	212	0,35	1,7	270	1,0
12	60	130	31	41	146	0,83	0,7	170	0,4	130	46	32	245	0,35	1,7	310	1,0
13	65	140	33	44	163	0,83	0,7	190	0,4	140	48	34	270	0,35	1,7	345	1,0
14	70	150	35	47	186	0,83	0,7	220	0,4	150	51	37	310	0,35	1,7	405	1,0
15	75	160	37	50	204	0,83	0,7	240	0,4	160	55	39	360	0,35	1,7	475	1,0
16	80	170	39	53	228	0,83	0,7	270	0,4	170	58	42	400	0,35	1,7	540	1,0
17	85	180	41	55	255	0,83	0,7	305	0,4	180	60	44	430	0,35	1,7	585	1,0
18	90	190	43	58	275	0,83	0,7	325	0,4	190	64	47	490	0,35	1,7	655	1,0
19	95	200	45	61	305	0,83	0,7	365	0,4	200	67	49	530	0,35	1,7	710	1,0
20	100	215	51	68	380	0,83	0,7	480	0,4	215	73	53	610	0,35	1,7	850	1,0
21	105									225	77	56	670	0,35	1,7	930	1,0
22	110									240	80	58	735	0,35	1,7	1020	1,0
24	120									260	86	66	670	0,39	1,5	965	0,8
						$F_a/F_r \leq e$				$F_a/F_r > e$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P:																	
- Για μεμονωμένο τριβέα						$P = F_r$				$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$							
- Για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X						$P = F_r + 1,12 \cdot Y \cdot F_a$				$P = 0,67 \cdot F_r + 1,68 \cdot Y \cdot F_a$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P:						$P_0 = F_r$				για $F_a/F_r \leq 1/2 Y_0$							
- Για μεμονωμένο τριβέα						$P_0 = 0,5 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$				για $F_a/F_r \leq 1/2 Y_0$							
- Για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X						$P_0 = F_r + 2 \cdot Y_0 \cdot F_a$											

Πίνακας 11-7. Τριβείς κωνικοί (DIN 720). Διαστάσεις και φορτία.



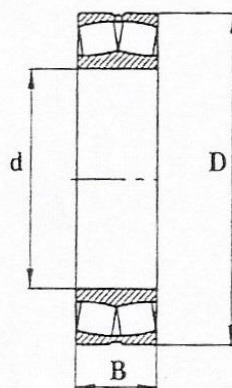
Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	d mm	Σειρά 12								Σειρά 22							
		D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C ₀ kN	Y ₀	D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C ₀ kN	Y ₀
00	10	30	9	5,5	0,32	1,95	3,02	1,2	2,05	30	14	8,3	0,58	1,09	1,69	1,73	1,14
01	12	32	10	5,6	0,37	1,69	2,62	1,27	1,77	32	14	9	0,53	1,2	1,85	1,96	1,25
02	15	35	11	7,5	0,34	1,86	2,88	1,76	1,95	35	14	9,15	0,46	1,37	2,13	2,08	1,44
03	17	40	12	8	0,33	1,93	2,99	2,04	2,03	40	16	11,4	0,46	1,37	2,12	2,75	1,43
04	20	47	14	10	0,28	2,24	3,46	2,65	2,34	47	18	14,3	0,44	1,45	2,24	3,55	1,51
05	25	52	15	12,2	0,27	2,37	3,66	3,35	2,48	52	18	17	0,35	1,78	2,75	4,4	1,86
06	30	62	16	15,6	0,25	2,53	3,91	4,65	2,65	62	20	25,5	0,3	2,13	3,29	6,95	2,23
07	35	72	17	16	0,22	2,8	4,34	5,2	2,94	72	23	32	0,3	2,13	3,29	9	2,23
08	40	80	18	19,3	0,22	2,9	4,49	6,55	3,04	80	23	31,5	0,26	2,43	3,76	9,5	2,54
09	45	85	19	22	0,21	3,04	4,7	7,35	3,18	85	23	28	0,26	2,43	3,76	9	2,54
10	50	90	20	22,8	0,2	3,17	4,9	8,15	3,32	90	23	28	0,24	2,61	4,05	9,5	2,74
11	55	100	21	27	0,19	3,31	5,12	10	3,47	100	25	39	0,22	2,92	4,52	12,7	30,6
12	60	110	22	30	0,18	3,47	5,37	11,6	3,64	110	28	47,5	0,23	2,69	4,16	16,6	2,82
13	65	120	23	31	0,18	3,57	5,52	12,5	3,74	120	31	57	0,23	2,78	4,31	19,3	2,92
14	70	125	24	34,5	0,19	3,36	5,21	13,7	3,52	125	31	44	0,27	2,34	3,62	17	2,45
15	75	130	25	39	0,19	3,32	5,15	15,6	3,48	130	31	44	0,26	2,47	3,82	18	2,59
16	80	140	26	40	0,16	3,9	6,03	17	4,08	140	33	49	0,25	2,48	3,84	20	2,6
17	85	150	28	49	0,17	3,73	5,78	20,4	3,91	150	36	58,5	0,26	2,46	3,81	23,6	2,58
18	90	160	30	57	0,17	3,74	5,79	23,6	3,92	160	40	71	0,27	2,33	3,61	28,5	2,44
19	95	170	32	64	0,17	3,73	5,78	27	3,91	170	43	83	0,27	2,32	3,59	34	2,43
20	100	180	34	69,5	0,18	3,58	5,53	29	3,75	180	46	98	0,27	2,33	3,61	40,5	2,44
21	105	190	36	75	0,18	3,54	5,48	32	3,71								
22	110	200	38	88	0,17	3,61	5,59	38	3,78	200	53	125	0,28	2,23	3,45	52	2,33
24	120	215	42	120	0,2	3,11	4,81	53	3,25								
26	130	230	46	125	0,19	3,24	5,02	56	3,4								
28	140	250	50	163	0,21	3,05	4,71	75	3,19								
30	150	270	54	183	0,22	2,89	4,48	88	3,03								
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P = F_r + Y \cdot F_a$								για $F_a/F_r \leq e$							
		$P = 0,65 \cdot F_r + Y \cdot F_a$								για $F_a/F_r > e$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$															

Πίνακας 11-8. Τριβείς δίσφαιροι αυτορρόθμιστοι (DIN 630). Διαστάσεις και φορτία.



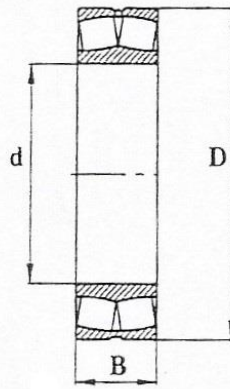
Χαρακτηριστικός αριθμός σπίλς	d mm	Σειρά 13								Σειρά 23							
		D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C ₀ kN	Y ₀	D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C ₀ kN	Y ₀
00	10																
01	12																
02	15									42	17	16	0,51	1,23	1,91	3,75	1,29
03	17	47	14	12,5	0,32	1,94	3	3,2	2,03	47	19	13,4	0,53	1,19	1,85	3,2	1,25
04	20	52	15	12,5	0,29	2,17	3,35	3,35	2,27	52	21	17	0,51	1,23	1,9	4,25	1,29
05	25	62	17	18	0,28	2,29	3,54	5	2,4	62	24	24,5	0,48	1,32	2,04	6,55	1,38
06	30	72	19	21,2	0,26	2,39	3,71	6,3	2,51	72	27	31,5	0,45	1,4	2,17	8,65	1,47
07	35	80	21	25	0,26	2,47	3,82	8	2,59	80	31	39	0,47	1,35	2,1	11,2	1,42
08	40	90	23	29	0,25	2,52	3,9	9,65	2,64	90	33	45	0,43	1,45	2,25	13,4	1,52
09	45	100	25	38	0,25	2,5	3,87	12,9	2,62	100	36	54	0,43	1,48	2,29	16,3	1,55
10	50	110	27	41,5	0,24	2,6	4,03	14,3	2,73	110	40	64	0,43	1,47	2,27	20	1,54
11	55	120	29	51	0,24	2,66	4,12	18	2,79	120	43	75	0,42	1,51	2,33	23,6	1,58
12	60	130	31	57	0,23	2,77	4,28	20,8	2,9	130	46	86,5	0,41	1,55	2,4	28	1,62
13	65	140	33	62	0,23	2,75	4,26	22,8	2,88	140	48	95	0,39	1,62	2,51	32,5	1,7
14	70	150	35	75	0,23	2,79	4,32	27,5	2,93	150	51	110	0,38	1,65	2,55	37,5	1,73
15	75	160	37	80	0,23	2,77	4,29	30	2,9	160	55	122	0,38	1,64	2,54	42,5	1,72
16	80	170	39	88	0,22	2,87	4,44	32,5	3	170	58	137	0,37	1,7	2,62	48	1,78
17	85	180	41	98	0,22	2,88	4,46	38	3,02	180	60	140	0,37	1,68	2,61	51	1,76
18	90	190	43	108	0,22	2,83	4,38	43	2,97	190	64	153	0,39	1,63	2,53	57	1,71
19	95	200	45	132	0,23	2,73	4,23	51	2,86	200	67	163	0,38	1,66	2,57	64	1,74
20	100	215	47	143	0,23	2,68	4,15	58,5	2,81	215	73	193	0,38	1,67	2,58	78	1,75
21	105	225	49	156	0,23	2,75	4,25	65,5	2,88								
22	110	240	50	163	0,23	2,79	4,32	71	2,92	240	80	216	0,37	1,69	2,62	95	1,77
24	120																
26	130																
28	140																
30	150																
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P = F_r + Y \cdot F_a$ $P = 0,65 \cdot F_r + Y \cdot F_a$								για $F_a/F_r \leq e$ για $F_a/F_r > e$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$															

Πίνακας 11-8. (συνέχεια). Τριβείς δίσφαιροι αυτορρόθμιστοι (DIN 630). Διαστάσεις και φορτία.



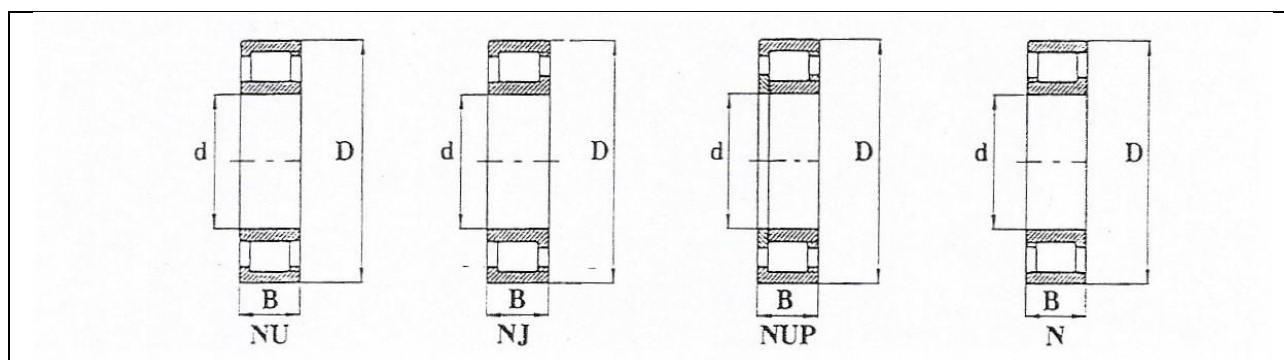
Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	d mm	Σειρά 222								Σειρά 213							
		D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C _o kN	Y ₀	D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C _o kN	Y ₀
04	20									52	15	34,5	0,3	2,25	3,34	33,5	2,2
05	25	52	18	42,5	0,34	1,98	2,94	44	1,93	62	17	44	0,28	2,43	3,61	43	2,37
06	30	62	20	58,5	0,31	2,15	3,2	62	2,1	72	19	62	0,27	2,49	3,71	63	2,43
07	35	72	23	78	0,31	2,16	3,22	83	2,12	80	21	71	0,26	2,55	3,8	73,5	2,5
08	40	80	23	90	0,28	2,41	3,59	96,5	2,35	90	23	91,5	0,26	2,62	3,9	100	2,56
09	45	85	23	95	0,26	2,62	3,9	108	2,56	100	25	108	0,26	2,62	3,9	120	2,56
10	50	90	23	100	0,24	2,81	4,19	116	2,75	110	27	122	0,24	2,79	4,15	137	2,73
11	55	100	25	116	0,23	2,92	4,35	140	2,86	120	29	146	0,24	2,76	4,11	166	2,7
12	60	110	28	146	0,24	2,84	4,23	173	2,78	130	31	166	0,24	2,87	4,27	193	2,8
13	65	120	31	173	0,24	2,82	4,19	208	2,75	140	33	196	0,24	2,84	4,23	228	2,78
14	70	125	31	173	0,23	2,95	4,4	216	2,89	150	35	220	0,23	2,92	4,35	265	2,86
15	75	130	31	176	0,22	3,1	4,62	224	3,03	160	37	250	0,23	2,95	4,4	305	2,89
16	80	140	33	216	0,22	2,11	4,67	275	3,07	170	39	275	0,23	2,92	4,35	340	2,86
17	85	150	36	260	0,22	3,04	4,53	325	2,97	180	41	305	0,22	3,01	4,48	375	2,94
18	90	160	40	285	0,23	2,9	4,31	360	2,83	190	43	335	0,22	3,01	4,48	415	2,94
19	95	170	43	315	0,24	2,87	4,27	400	2,8	200	45	360	0,22	3,04	4,53	450	2,97
20	100	180	46	360	0,24	2,84	4,23	465	2,78	215	47	425	0,22	3,14	4,67	530	3,07
22	110	200	53	455	0,25	2,71	4,04	585	2,65	240	50	510	0,21	3,24	4,82	640	3,16
24	120	215	58	540	0,25	2,71	4,04	720	2,65								
26	130	230	64	630	0,26	2,62	3,9	880	2,56								
28	140	250	68	735	0,25	2,67	3,97	1020	2,61								
30	150	270	73	850	0,25	2,69	4	1200	2,63								
32	160	290	80	965	0,26	2,64	3,93	1370	2,58								
34	170	310	86	1100	0,26	2,6	3,87	1530	2,54								
36	180	320	86	1140	0,25	2,71	4,04	1630	2,65								
38	190	340	92	1200	0,28	2,39	3,56	1830	2,34								
40	200	360	98	1320	0,29	2,35	3,5	2000	2,3								
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P = F_r + Y \cdot F_a$ $P = 0,67 \cdot F_r + Y \cdot F_a$								$\gamma \alpha F_a/F_r \leq e$ $\gamma \alpha F_a/F_r > e$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$															

Πίνακας 11-9. Τριβείς βαρελοειδείς διπλής σειράς (DIN 635). Διαστάσεις και φορτία.



Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	d mm	Σειρά 222								Σειρά 213							
		D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C _o kN	Y ₀	D mm	B mm	C kN	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$ Y	$\frac{F_a}{F_r} > e$ Y	C _o kN	Y ₀
04	20																
05	25																
06	30																
07	35																
08	40	90	33	129	0,36	1,86	2,77	143	1,82								
09	45	100	36	156	0,36	1,9	2,83	176	1,86								
10	50	110	40	190	0,36	1,86	2,77	216	1,82								
11	55	120	43	224	0,36	1,89	2,81	255	1,84								
12	60	130	46	260	0,35	1,91	2,85	300	1,87								
13	65	140	48	290	0,34	2	2,98	355	1,96								
14	70	150	51	325	0,34	2	2,98	375	1,96								
15	75	160	55	375	0,34	1,99	2,96	440	1,94								
16	80	170	58	415	0,34	1,99	2,96	500	1,94								
17	85	180	60	455	0,33	2,04	3,04	540	2								
18	90	190	64	510	0,33	2,03	3,02	620	1,98								
19	95	200	67	560	0,33	2,03	3,02	680	1,98								
20	100	215	73	655	0,34	2	2,98	815	1,96								
22	110	240	80	800	0,33	2,07	3,09	1060	2,03	170	45	335	0,23	2,9	4,31	510	2,83
24	120	260	86	900	0,33	2,06	3,06	1140	2,01	180	46	360	0,22	3,04	4,53	570	2,97
26	130	280	93	1040	0,33	2,06	3,06	1340	2,01	200	52	455	0,23	2,95	4,4	720	2,89
28	140	300	102	1220	0,34	2	2,98	1600	1,96	210	53	480	0,22	3,07	4,57	780	3
30	150	320	108	1370	0,33	2,02	3	1830	1,97	225	56	530	0,22	3,1	4,62	865	3,03
32	160	340	114	1430	0,37	1,8	2,69	1900	1,76	240	60	600	0,22	3,1	4,62	1000	3,03
34	170	360	120	1600	0,37	1,83	2,72	2120	1,79	260	67	735	0,23	2,98	4,44	1200	2,92
36	180	380	126	1760	0,37	1,83	2,72	2360	1,79	280	74	865	0,23	2,9	4,31	1430	2,83
38	190	400	132	1860	0,37	1,83	2,72	2500	1,79	290	75	915	0,23	2,98	4,44	1530	2,92
40	200	420	138	2080	0,36	1,87	2,79	2800	1,83	310	82	1060	0,23	2,9	4,31	1760	2,83
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P = F_r + Y \cdot F_a$ $P = 0,67 \cdot F_r + Y \cdot F_a$								για $F_a/F_r \leq e$ για $F_a/F_r > e$							
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο:		$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$															

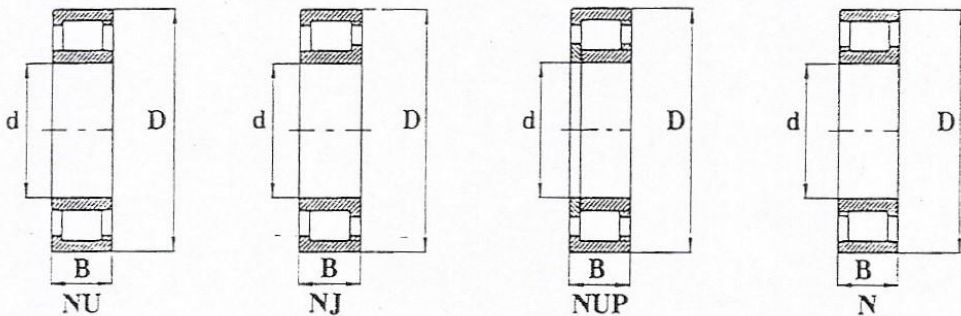
Πίνακας 11-9. (συνέχεια). Τριβείς βαρελοειδείς διπλής σειράς (DIN 635). Διαστάσεις και φορτία.



Χαρακτηριστικός αριθμός σφίγς	d mm	NU10				NU2, NJ2, NUP2, N2				NU22, NJ22, NUP22 ¹⁾			
		D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN
02	15					35	11	12,7	10,4				
03	17					40	12	17,6	14,6				
04	20					47	14	27,5	24,5	40	16	24	22
05	25	47	12	13,4	12	52	15	29	27,5	47	18	32,5	31
06	30	55	13	16,6	16	62	16	39	37,5	52	18	34,5	34,5
07	35	62	14	23,6	17,5	72	17	50	50	62	20	49	50
08	40	68	15	29	32	80	18	53	53	72	23	62	65,5
09	45	75	16	32,5	35,5	85	19	61	63	80	23	71	75
10	50	80	16	36	41,5	90	20	64	68	85	23	73,5	81,5
11	55	90	18	41,5	50	100	21	83	95	90	23	78	88
12	60	95	18	44	55	110	22	95	104	100	25	98	118
13	65	100	18	45	58,5	120	23	104	120	110	28	129	153
14	70	110	20	64	81,5	125	24	120	137	120	31	150	183
15	75	115	20	65,5	85	130	25	132	156	125	31	156	196
16	80	125	22	76,5	98	140	26	140	170	130	31	163	208
17	85	130	22	78	104	150	28	163	193	140	33	186	245
18	90	140	24	93	125	160	30	183	216	150	36	216	275
19	95	145	24	96,5	129	170	32	220	265	160	40	240	315
20	100	150	24	98	134	180	34	250	305	170	43	285	375
21	105	160	26	112	153	190	36	260	320	180	46	335	440
22	110	170	28	140	190	200	38	290	365				
24	120	180	28	150	208	215	40	335	415	200	53	380	520
26	130	200	33	180	250	230	40	360	450	215	58	450	610
28	140	210	33	183	265	250	42	390	510	230	64	530	735
30	150	225	35	208	310	270	45	440	585	250	68	570	830
32	160	240	38	245	355	290	48	500	670	270	73	655	980
34	170	260	42	300	430	310	52	585	780	290	80	800	1180
36	180	280	46	360	520	320	52	610	830	310	86	950	1400
38	190	290	46	365	550	340	55	680	930	320	86	1000	1500
40	200	310	51	400	600	360	58	750	1040	340	92	1100	1660
										360	98	1220	1860

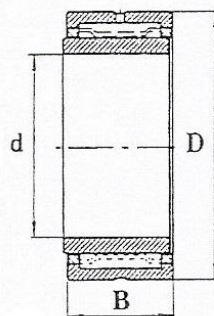
1)NUP μόνο μέχρι το χαρακτηριστικό αριθμό 36

Πίνακας 11-10. Τριβείς κυλινδρικοί (DIN 5412). Διαστάσεις και φορτία.

													
Χαρακτηριστικός αριθμός σφίγς	d mm	NU3, NJ3, NUP3, N3				NU23, NJ23, NUP23				NU4, NJ4, NUP4, N4 ¹⁾			
		D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN
03	17	47	14	23,5	21,2								
04	20	52	15	31,5	27	52	21	41,5	39				
05	25	62	17	41,5	37,5	62	24	57	56	80	21	45	38
06	30	72	19	51	48	72	27	73,5	75	90	23	71	64
07	35	80	21	64	63	80	31	91,5	98	100	25	75	69,5
08	40	90	23	81,5	78	90	33	112	120	110	27	93	86,5
09	45	100	25	98	100	100	36	137	153	120	29	106	100
10	50	110	27	110	114	110	40	163	186	130	31	129	125
11	55	120	29	134	140	120	43	200	228	140	33	140	137
12	60	130	31	150	156	130	46	224	260	150	35	166	170
13	65	140	33	180	190	140	48	245	285	160	37	183	186
14	70	150	35	204	220	150	51	275	325	180	24	224	232
15	75	160	37	240	265	160	55	325	390	190	25	260	270
16	80	170	39	255	275	170	58	355	425	200	28	300	310
17	85	180	41	270	300	180	60	365	450	210	52	335	355
18	90	190	43	315	345	190	64	430	530	225	54	365	390
19	95	200	45	335	380	200	67	455	585	240	55	390	430
20	100	215	47	380	425	215	73	570	720	250	58	440	490
21	105	225	49	335	380					260	60	490	540
22	110	240	50	415	475	240	80	630	800	280	65	540	610
24	120	260	55	520	600	260	86	780	1020	310	72	670	780
26	130	280	58	570	670	280	93	915	1220				
28	140	300	62	670	800	300	102	1020	1400				
30	150	320	65	800	1000	320	108	1160	1600				
32	160	340	68	865	1060	340	114	1320	1830				
34	170	360	72	800	1020	360	120	1220	1760				
36	180	380	75	900	1160	380	126	1370	2000				
38	190	400	78	965	1250	400	132	1500	2200				
40	200	420	80	965	1250	420	138	1500	2200				

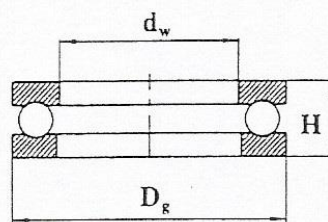
1) NUP από χαρακτηριστικό αριθμό 06 και μετά, N μόνο από χαρακτηριστικό αριθμό 06 έως 20.

Πίνακας 11-10. (συνέχεια). Τριβείς κυλινδρικοί (DIN 5412). Διαστάσεις και φορτία.



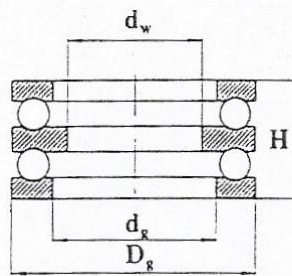
Χαρακτηριστικός αριθμός σπής	d mm	Σειρά NA 49				Σειρά NA 69				Χαρακτηριστικός αριθμός σπής	d mm	Σειρά NA 48			
		D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN			D mm	B mm	C kN	C ₀ kN
00	10	22	13	8,5	9,2	από 07 διπλής σειράς				22	110	140	30	94	216
01	12	24	13	9,4	10,9	24	22	16	21,6	24	120	150	30	99	239
02	15	28	13	10,6	13,6	28	23	17,3	25,5	26	130	165	35	118	310
03	17	30	13	11	14,6	30	23	18,6	29	28	140	175	35	120	325
04	20	37	17	21	25,5	37	30	36	51	30	150	190	40	152	400
05	25	42	17	23,6	31,5	42	30	39	59	32	160	200	40	160	435
06	30	47	17	25	35,5	47	30	43,5	71	34	170	215	45	185	510
07	35	55	20	31,5	50	55	36	48	86	36	180	225	45	194	550
08	40	62	22	43	67	62	40	66	116	38	190	240	50	227	690
09	45	68	22	45	73	68	40	69	127	40	200	250	50	230	720
10	50	72	22	47	80	72	40	73	139	44	220	270	50	243	790
11	55	80	25	58	100	80	45	90	176	48	240	300	60	355	1080
12	60	85	25	60	108	85	45	94	191	52	260	320	60	370	1160
13	65	90	25	61	112	90	45	95	198	56	280	350	60	450	1300
14	70	100	30	84	156	100	54	128	265	60	300	380	80	620	1770
15	75	105	30	86	162	105	54	130	275	64	320	400	80	630	1850
16	80	110	30	89	174	110	54	135	300	68	340	420	80	640	1940
17	85	120	35	111	137	120	63	166	400	72	360	440	80	660	2020
18	90	125	35	114	250	125	63	172	425	76	380	480	100	1000	2900
19	95	130	35	116	260	130	63	174	440						
20	100	140	40	128	270										
22	110	150	40	132	290										
24	120	165	45	181	390										
26	130	180	50	203	470										
28	140	190	50	209	500										

Πίνακας 11-11. Τριβείς βελονοειδείς (DIN 617). Διαστάσεις και φορτία.



Χαρακτηριστικός αριθμός σφής	d _w mm	Σειρά 511				Σειρά 512				Σειρά 513				Σειρά 514			
		D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN	D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN	D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN	D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN
00	10	24	9	10	14	26	11	12,7	17								
01	12	26	9	10,4	15,3	28	11	13,2	19								
02	15	28	9	9,3	14	32	12	16,6	25								
03	17	30	9	9,65	15,3	35	12	17,3	27,5								
04	20	35	10	12,7	20,8	40	14	22,4	37,5								
05	25	42	11	15,6	29	47	15	28	50	52	18	34,5	55	60	24	56	90
06	30	47	11	16,6	33,5	52	16	25,5	47,5	60	21	38	65,5	70	28	72	125
07	35	52	12	17,6	37,5	62	18	35,5	67	68	24	50	88	80	32	86,5	156
08	40	60	13	23,2	50	68	19	46,5	98	78	26	61	112	90	36	112	204
09	45	65	14	24,5	57	73	20	39	80	85	28	75	140	100	39	129	245
10	50	70	14	24,5	60	78	22	50	106	95	31	88	173	110	43	156	310
11	55	78	16	31	78	90	25	61	134	105	35	102	208	120	48	180	360
12	60	85	17	36,5	93	95	26	62	140	110	35	102	208	130	51	200	400
13	65	90	18	37,5	98	100	27	64	150	115	36	106	220	140	56	216	450
14	70	95	18	37,5	104	105	27	65,5	160	125	40	137	300	150	60	236	500
15	75	100	19	44	137	110	27	67	170	135	44	163	360	160	65	250	560
16	80	105	19	45	140	115	28	75	190	140	44	160	360	170	68	270	620
17	85	110	19	45,5	150	125	31	98	250	150	49	190	425	180	72	290	680
18	90	120	22	60	190	135	35	120	300	155	50	196	465	190	77	305	750
20	100	135	25	65	270	150	38	122	320	170	55	232	560	210	85	365	965
22	110	145	25	85,5	290	160	38	129	360	190	63	275	720	230	95	415	1140
24	120	155	25	90	310	170	39	140	400	210	70	325	915	250	102	425	1220
26	130	170	30	112	390	190	45	183	540	225	75	360	1060	270	110	520	1600
28	140	180	31	112	400	200	46	190	570	240	80	400	1220	280	112	510	1600
30	150	190	31	110	400	215	50	236	735	250	80	405	1290	300	120	560	2180
32	160	200	31	112	430	225	51	245	780	270	87	455	1500				
34	170	215	34	132	500	240	55	285	930	280	87	465	1630				
36	180	225	34	134	530	250	56	290	1000	300	95	520	1830				
38	190	240	37	170	655	270	62	335	1160	320	105	600	2200				
40	200	250	37	170	655	280	62	340	1220	340	110	620	2400				
44	220	270	37	176	735	300	63	355	1340								
48	240	300	45	232	965	340	78	465	1860								
52	260	320	45	236	1020	360	79	475	2000								
56	280	350	53	315	1340	380	80	490	2160								
60	300	380	62	365	1600	420	95	610	2750								
64	320	400	63	375	1700	440	95	620	2900								

Πίνακας 11-12. Τριβείς αξονικοί σφαιρικοί απλής ενέργειας (DIN 711). Διαστάσεις και φορτία.



Χαρακτηριστικός αριθμός σπής	d _w mm	Σειρά 522					Σειρά 523				
		d _g mm	D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN	d _g mm	D _g mm	H mm	C kN	C ₀ kN
00	10	17	32	22	16,6	25					
02	15	22	40	26	22,4	37,5					
04	20	27	47	28	28	50	27	52	34	34,5	55
05	25	32	52	29	25,5	47,5	32	60	38	38	65,5
06	30	37	62	34	35,5	67	37	68	44	50	88
	30	42	68	35	46,5	98	42	78	49	61	112
07	35	47	73	37	39	80	47	85	52	75	140
08	40	52	78	39	50	106	52	95	58	88	173
09	45	57	90	45	61	134	57	105	64	102	208
10	50	62	95	46	62	140	62	110	64	102	208
11	55	67	100	47	64	150	67	115	65	106	220
	55	72	105	47	65,5	160	72	125	72	137	300
12	60	77	110	47	67	170	77	135	79	163	360
13	65	82	115	48	75	190	82	140	79	160	360
14	70	88	125	55	98	250	88	150	87	190	425
15	75	93	135	62	120	300	93	155	88	196	465
17	85	103	150	67	122	320	103	170	97	232	560
19	95	113	160	67	129	360	113	190	110	275	720
20	100	123	170	68	140	400	123	210	123	325	915
22	110	133	190	80	183	540	133	225	130	360	1060
24	120	143	200	81	190	570	144	240	140	400	1220
26	130	153	215	89	236	735	154	250	140	405	1290
28	140	163	225	90	245	780					
30	150	173	240	97	285	930					

Πίνακας 11-13. Τριβείς αζονικοί σφαιρικοί διπλής ενέργειας (DIN 715). Διαστάσεις και φορτία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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