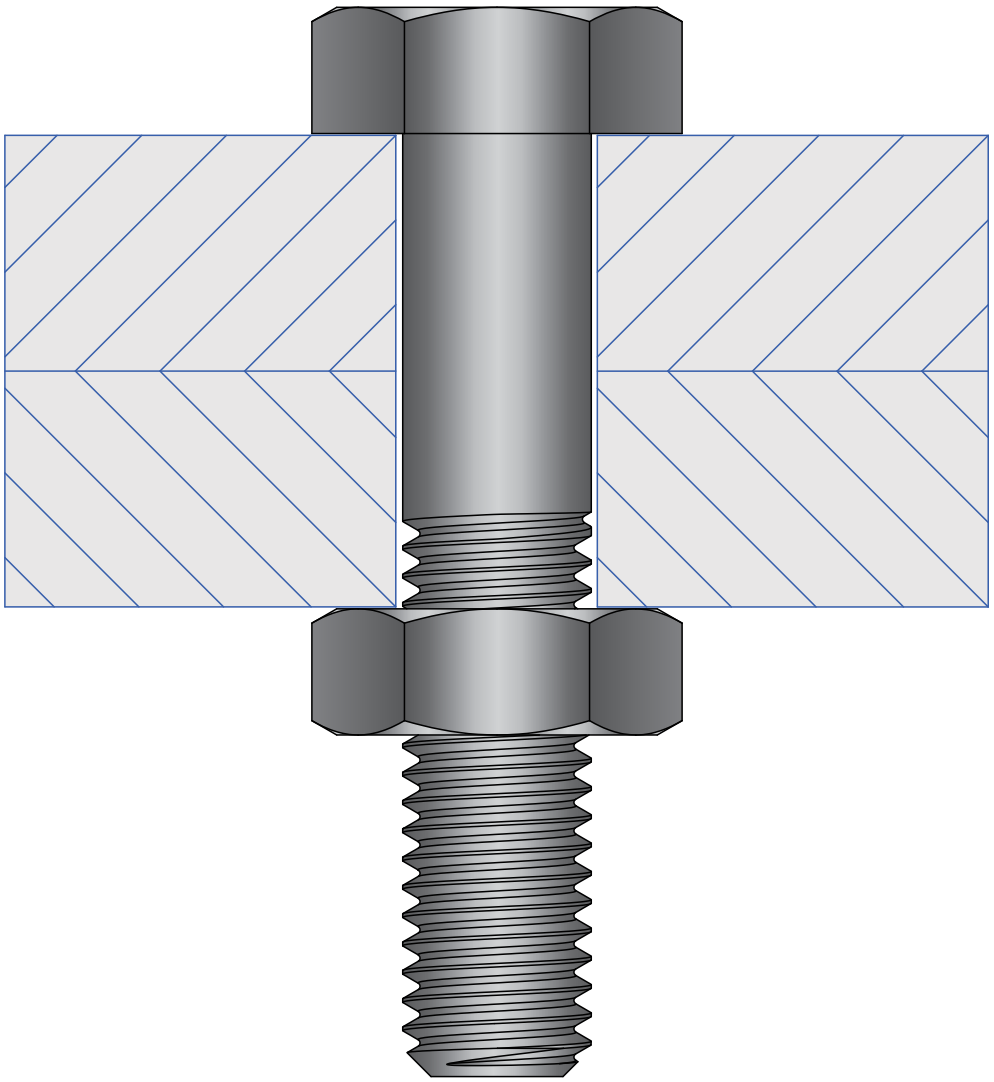
ΚΟΧΛΙΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

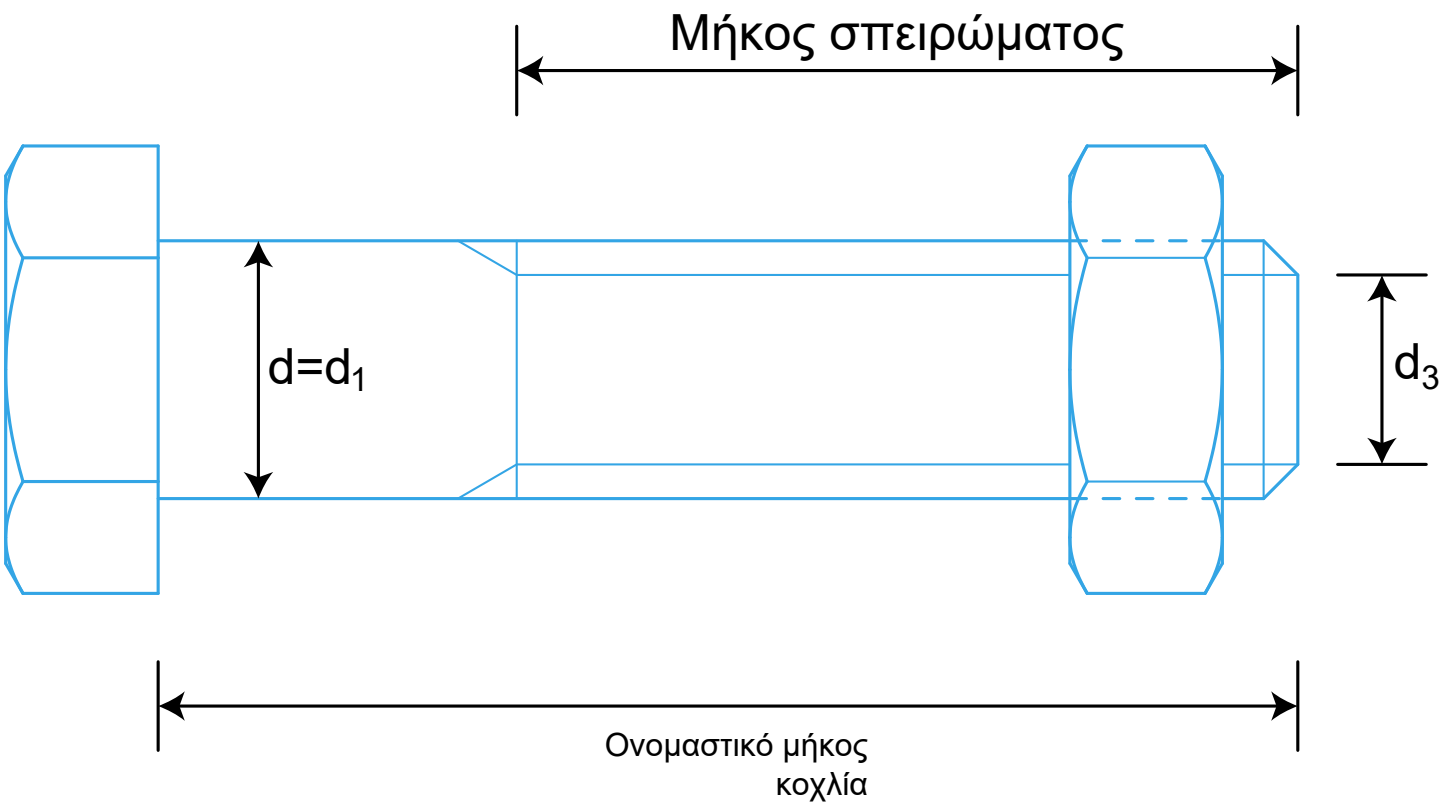


7. Κοχλίες

Οι κοχλίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ως προς την αποστολή τους: τους κοχλίες συνδέσεως και τους κοχλίες κινήσεως. Οι κοχλίες συνδέσεως έχουν αποστολή την ασφαλή και λυόμενη (μη μόνιμη) σύνδεση, ανεξάρτητων στοιχείων μιας κατασκευής η μηχανής μεταξύ τους. Οι κοχλίες κινήσεως μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση του κορμού τους σε ευθύγραμμη κίνηση του περικοχλίου τους (π.χ τόρνος, ανυψωτήρας αυτοκινήτων κλπ).

7.1 Είδη και τυποποίηση κοχλιών

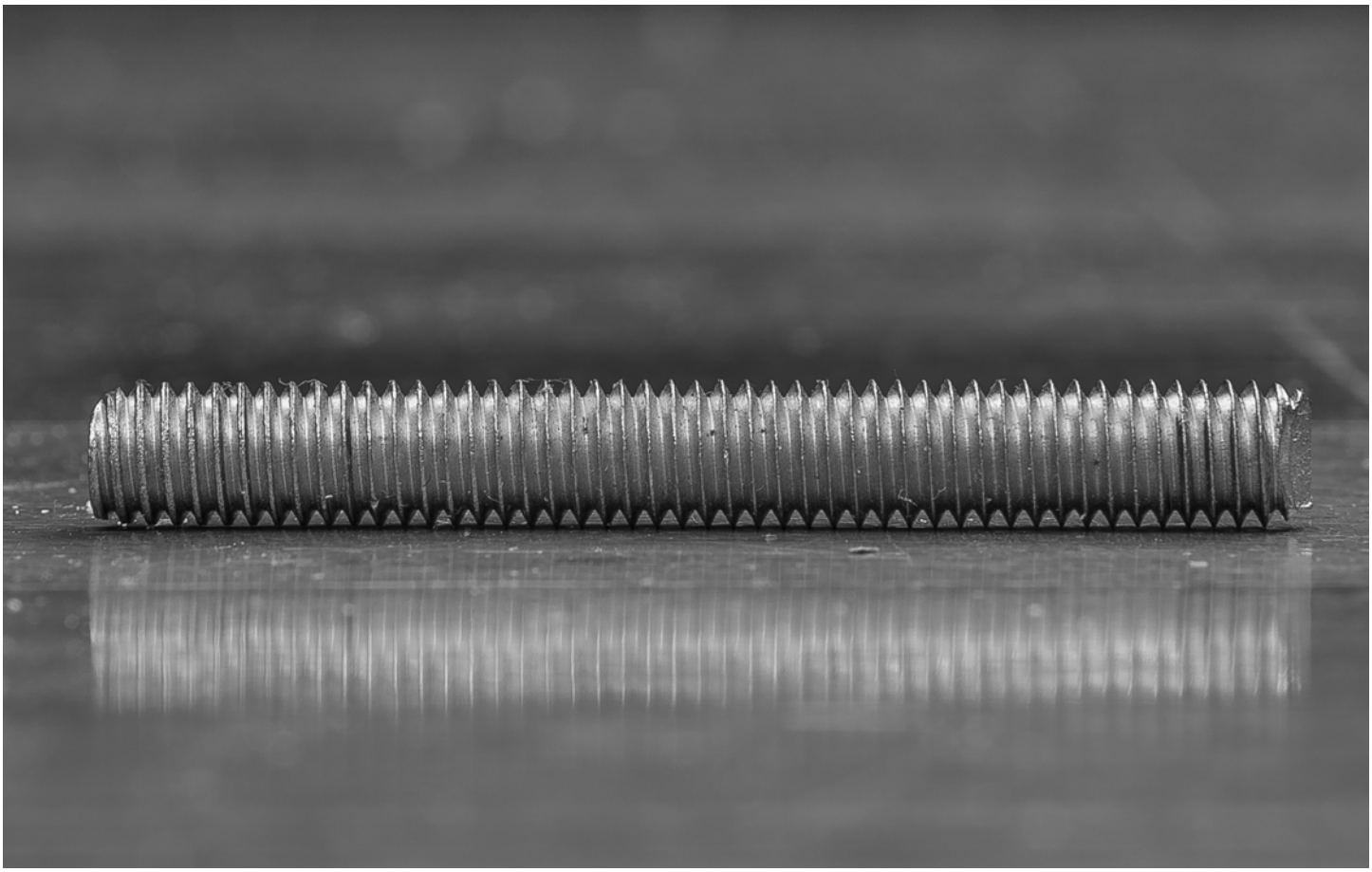
Ένας τυπικός κοχλίας διαμέτρου d, εξαγωνικής κεφαλής φαίνεται στο Σχήμα 7.1. Οι χαρακτηριστικές διάμετροι του κοχλία είναι: η διάμετρος d του κορμού, βάσει της οποίας τυποποιείται ο κοχλίας, η εξωτερική διάμετρος d_1 του σπειρώματος που είναι συνήθως ίση με την d, η εσωτερική διάμετρος d_3 του σπειρώματος που αντιστοιχεί στη μικρότερη καταπονούμενη επιφάνεια του κοχλία. Υπάρχουν κοχλίες όπου η διάμετρος του κορμού είναι ίση με την εσωτερική διάμετρο του σπειρώματος $d = d_3$.



Σχήμα 7.1: Βασικά τμήματα κοχλία περικοχλίου

Τρία είδη κοχλιών μπορούμε να διακρίνουμε ανάλογα με την μορφή και την χρήση τους:

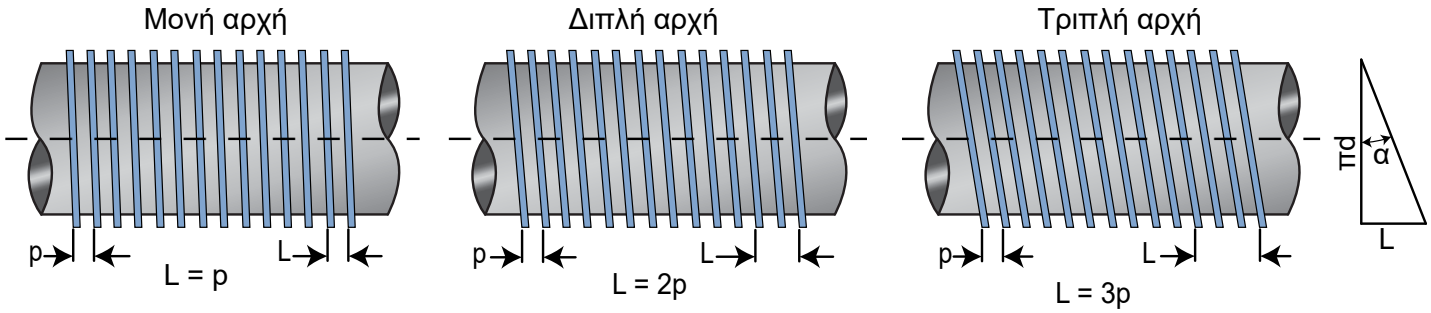
a) Το σύστημα κοχλία – περικοχλίου, που χρησιμοποιείται για να συνδέσει δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα στοιχεία, περνώντας τον κοχλία από τις αντίστοιχες οπές και βιδώνοντας το περικόχλιο
b) Τον βιδωτό κοχλία, δηλαδή αυτόν που βιδώνεται σε τρύπα με σπείρωμα αντί περικοχλίου για να δημιουργήσει τη σύνδεση.
c) Τον ακέφαλο κοχλία με σπείρωμα και στις δύο άκρες, όχι συμμετρικοί κατ' ανάγκη.



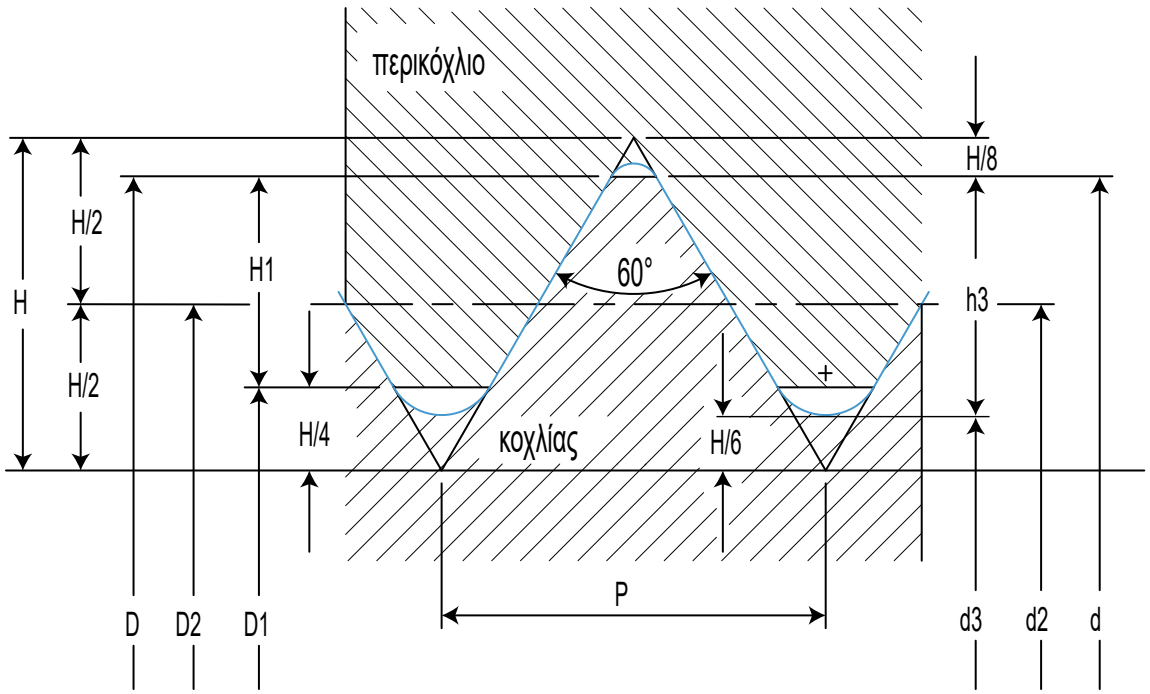
Εικόνα 7.1: Ακέφαλος κοχλίας

7.1.1 Είδη και τυποποίηση κοχλιών

Η αρχή λειτουργίας του κοχλία είναι η μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ευθύγραμμη και στηρίζεται στην ύπαρξη του σπειρώματος. Το σπείρωμα λειτουργεί σαν κεκλιμένο επίπεδο γύρω από τον κορμό του κοχλία. Μπορεί να έχει μια, δυο ή τρείς αρχές (Σχήμα 7.2). με μια πλήρη περιστροφή του, πd, ο κοχλίας προχωράει κατά L, όπου $L = p$ για μονή αρχή, $L = 2p$ για διπλή αρχή και $L = 3p$ για τριπλή αρχή. Η γωνία κλίσης του σπειρώματος α βρίσκεται από την σχέση: $\tan a = L/(\pi d)$.
Τα σπειρώματα διακρίνονται σε Μετρικά (M) κανονικά ή λεπτά, Τραπεζοειδή (Tr), Πριονωτά (S), Τετραγωνικά, Στρογγυλά (R_d).



Σχήμα 7.2: Σπειρώματα σε μονή, διπλή και τριπλή αρχή



$$H = 0.86603P$$

$$h_3 = 0.61343P$$

$$H_1 = 0.54127P$$

$$r = \frac{H}{6}0.14434P$$

Σχήμα 7.2: Γεωμετρία μετρικού σπειρώματος

Η καταπονούμενη επιφάνεια του κοχλία είναι $A = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_2 - d_3}{2}\right)^2$ αν η φόρτιση είναι στατική, και

$A = \frac{d_3^2}{4}$ αν είναι δυναμική.

Πίνακας 7.1: Τυποποίηση κοχλιών κανονικών μετρικών σπειρωμάτων

ΤΥΠΟΣ	Βήμα σπειρώματος P	Κύρια διάμετρος d = D	Μέση διάμετρος d_2 = D_2	Εσωτερική διάμετρος κοχλία d_3	Εσωτερική διάμετρος περικοχλίου D_1	Βάθος σπειρώματος h_3	Φορτιζόμενη επιφάνεια A, mm^2
M 0.4	0.10	0.40	0.335	0.277	0.292	0.061	0.074
M 0.6	0.15	0.60	0.503	0.416	0.438	0.092	0.166
M 0.8	0.20	0.80	0.670	0.555	0.584	0.123	0.295
M 1	0.25	1.00	0.838	0.693	0.729	0.153	0.460
M 1.2	0.30	1.20	1.038	0.893	0.924	0.158	0.732
M 1.4	0.35	1.40	1.205	1.032	1.075	0.184	0.983
M 1.6	0.40	1.60	1.373	1.1710	1.221	0.215	1.27
M 1.8	0.35	1.80	1.573	1.371	1.421	0.215	1.70
M 2	0.40	2.00	1.740	1.509	1.567	0.245	2.07
M 2.2	0.45	2.00	1.908	1.648	1.713	0.276	2.48
M 2.5	0.45	2.50	2.208	1.948	2.013	0.276	3.39
M 3	0.50	3.00	2.675	2.387	2.459	0.307	5.03
M 3.5	0.60	3.50	3.110	2.764	2.850	0.368	6.78
M 4	0.70	4.00	3.545	3.141	3.242	0.429	8.78
M 4.5	0.75	4.50	4.013	3.580	3.688	0.460	11.30
M 5	0.80	5.00	4.480	4.019	4.134	0.491	14.20
M 6	1.00	6.00	5.350	4.773	4.918	0.613	20.10
M 7	1.00	7.00	6.350	5.773	5.918	0.613	28.90
M 8	1.25	8.00	7.188	6.466	6.647	0.767	36.60
M 10	1.50	10.00	9.026	8.160	8.876	0.920	58.30
M 12	1.75	12.00	10.863	9.858	10.106	1.074	84
M 14	2.00	14.00	12.701	11.546	11.835	1.227	115
M 16	2.00	16.00	14.701	13.546	13.835	1.227	157
M 18	2.50	18.00	16.376	14.933	15.294	1.534	192
M 20	2.50	20.00	18.376	16.933	17.294	1.534	245
M 22	2.50	22.00	20.376	18.933	19.294	1.534	303
M 24	3.00	24.00	22.051	20.320	20.752	1.840	353
M 27	3.00	27.00	25.051	23.320	23.752	1.840	459
M 30	3.50	30.00	27.727	25.706	26.211	2.147	561
M 33	3.50	33.00	30.727	28.706	29.211	2.147	694
M 36	4.00	36.00	33.402	31.093	31.670	2.454	817
M 39	4.00	39.00	36.402	34.903	34.670	2.454	976
M 42	4.50	42.00	39.077	36.416	37.129	2.760	1104
M 45	4.50	45.00	42.077	39.416	40.129	2.760	1300
M 48	5.00	48.00	44.752	41.795	42.587	3.067	1465
M 52	5.00	52.00	48.752	45.795	46.587	3.067	1755
M 56	5.50	56.00	52.428	49.177	50.046	3.067	2022
M 60	5.50	60.00	56.428	53.177	54.046	3.374	2360

7.2 Κατηγορίες υλικών κοχλιών

Οι χαλύβδινοι κοχλίες κατατάσσονται σε κατηγορίες ως προς την αντοχή τους. Το σύμβολο της κατηγορίας αντοχής των κοχλιών αποτελείται από δύο ψηφία, x και y, χωρισμένα σε τελεία (x.y). Το πρώτο ψηφίο μας δίνει,

αν πολλαπλασιαστεί με το 100, το όριο θραύσης του υλικού των κοχλιών σε MPa. Το δεύτερο ψηφίο μας δίνει το όριο διαρροής ως ποσοστό του ορίου θραύσης. Για παράδειγμα: κατηγορία (x.y) = (4.8) σημαίνει:
$S_u = x * 100 = 4 * 100 = 400\ MPa$ και $S_y = (y * 10)\% * S_u = (8 * 10)\% * 400 = 320\ MPa$.

Οι συντελεστές τριβής στους κοχλίες εξαρτώνται από την ποιότητα των επιφανειών και κατεργασίας και την λίπανση ή όχι των σπειρωμάτων.

Πίνακας 7.2: Μηχανικές ιδιότητες χαλύβδινων κοχλιών μετρικών σπειρωμάτων (DIN-ISO_898_part_1)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΑ	S_u	S_y	$S_y0.2$	δ_u (% επιμήκυνση μετά τη θραύση)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ	S_u
	(MPa)	(MPa)	(MPa)			(MPa)
3.6	300	180	-	25	5	500
4.6	400	240	-	22	5	500
4.8	400	320	-	14	5	500
5.6	500	300	-	20	5	500
5.8	500	400	-	10	5	500
6.6	600	360	-	16	6	600
6.8	600	480	-	8	6	600
6.9	600	-	540	12	6	600
8.8	800	-	640	12	8	800
10.9	1000	-	900	9	10	1000
12.9	1200	-	1080	8	12	1200
14.9	1400	-	1260	7	14	1400

Πίνακας 7.3: Συντελεστής τριβής κοχλιών

ΥΛΙΚΟ		ΛΙΠΑΝΣΗ		
ΚΟΧΛΙΑ	ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ	ΧΩΡΙΣ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΛΙΠΑΝΣΙ ΜΕ ΛΑΔΙ	ΣΚΟΝΗ MoS
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ				
Mn-Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.18	0.14 έως 0.15	0.10 έως 0.11
Zn-Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.21	0.14 έως 0.17	0.10 έως 0.12
Zn	ΧΩΡΙΣ	0.125 έως 0.18	0.125 έως 0.17	
Cd	ΧΩΡΙΣ	0.08 έως 0.12	0.08 έως 0.11	
Zn	Zn	0.125 έως 0.17	0.14 έως 0.19	
Cd	Cd	0.08 έως 0.12	0.14 έως 0.15	

7.3 Ανάλυση δυνάμεων στους κοχλίες

7.3.1 Ροπή σύσφιγξης σε κοχλίες

Είναι χρήσιμο να συσχετίσουμε την δύναμη σύσφιγξης F_u ενός περικοχλίου στον κοχλία του, με την αναπτυσσόμενη εφελκυστική δύναμη στο σώμα του κοχλία F, η οποία αναπτύσσεται λόγω της σύσφιγξης. Στο Σχήμα 7.3, μια σπείρα κοχλία αναπτύσσεται σε ορθογώνιο τρίγωνο με γωνία κεκλιμένου επιπέδου, α. Το κινούμενο πάνω της σώμα είναι το περικόχλιο πάνω στο οποίο σχεδιάζονται οι ασκούμενες δυνάμεις.

Δείχνονται εκτός των δύο προαναφερθεισών δυνάμεων και η αντίδραση N του κεκλιμένου σπειρώματος και η δύναμη τριβής $F_\tau = \mu N$, όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής μεταξύ των σπειρωμάτων κοχλία περικοχλίου. Οι δυνάμεις σύσφιγξης και τριβής αλλάζουν φορά κατά την αποσύσφιγξη. Η ισορροπία των δυνάμεων μας δίνει για την σύσφιγξη Σχήμα 7.3(α),

$$\sum F_x = F_u - N\sin\alpha - F_\tau\cos\alpha = 0 \Rightarrow F_u = N(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$$

$$\sum F_y = -F + N\cos a - F_\tau\sin a = 0 \Rightarrow F = N(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)$$

ενώ κατά την αποσύσφιγξη, Σχήμα 7.3(β), έχουμε

$$\sum F_x = -F_u - N\sin\alpha + F_\tau\cos\alpha = 0 \Rightarrow F_u = N(\mu\cos\alpha - \sin\alpha)$$

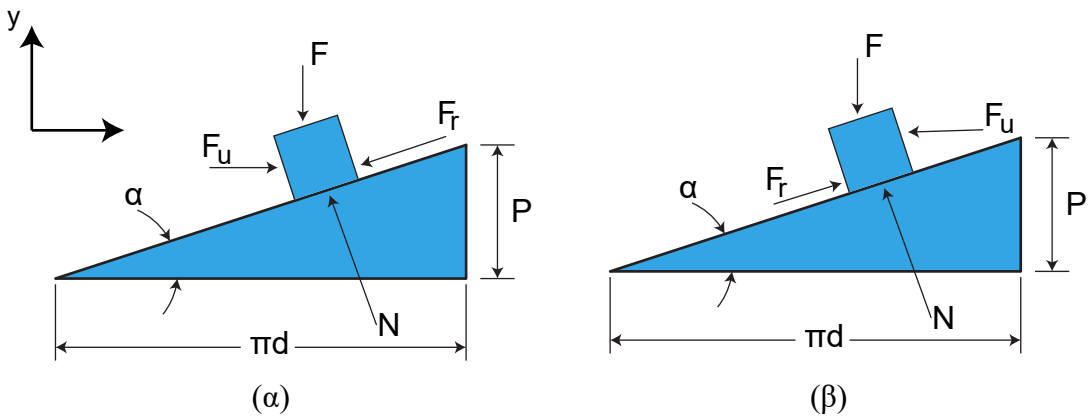
$$\sum F_y = -F + N\cos a + F_\tau\sin a = 0 \Rightarrow F = N(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)$$

Αν διαιρέσουμε τις παρακάτω εξισώσεις κατά μέλη, θεωρώντας ότι ο συντελεστής τριβής αντιστοιχεί σε επιπρόσθετη γωνία ρ του κεκλιμένου επιπέδου όπου $\tan\rho = \mu$ και διαιρώντας αριθμητή και παρονομαστή με $\cos\alpha \neq 0$ λαμβάνουμε,

$$F_u = F\frac{\mu\cos\alpha \pm \sin\alpha}{\cos\alpha \mp \mu\sin\alpha} = F\frac{\tan\rho \pm \tan\alpha}{1 \mp \tan\rho\tan\alpha} = F\tan(\rho \pm \alpha)$$

΄όπου το άνω πρόσημο αναφέρεται στην σύσφιγξη και το κάτω πρόσημο στην αποσύσφιγξη. Η απαιτούμενη ροπή σύσφιγξης M_α και αποσύσφιγξης M_σ υπολογίζονται από την ανωτέρω δύναμη επί την απόσταση στην οποία αυτή εφαρμόζεται:

$$M_\sigma = F\tan(\rho + \alpha)\frac{d_2}{2} \;\; \kappa\alpha\iota \;\; M_a = F\tan(\rho - \alpha)\frac{d_2}{2}$$



Σχήμα 7.3: Στατική του κοχλία-περικοχλίου με τριβή κατά την σύσφιγξη και αποσύσφιγξη

Η ανάλυση που παρατέθηκε πιο πάνω ισχύει για τετραγωνικά σπειρώματα. Στην γενική περίπτωση το σπείρωμα έχει κλίση και ως προς το άλλο επίπεδο πχ τραπεζοειδές σπείρωμα, ή κανονικό μετρικό. Στο Σχήμα 7.4 έχει σχεδιαστεί η αντίδραση του κεκλιμένου επιπέδου η $N = OD$. Η προβολή της στο επίπεδο OAC είναι $N\cos\theta = OC$. Η δύναμη αυτή στο επόμενο σχήμα χρησιμοποιείται στην ισορροπία δυνάμεων.

$$\sum F_x = F_u - N\cos\theta_n \sin\alpha - \mu N\cos\alpha = 0 \Rightarrow F_u = N(\cos\theta_n \sin\alpha + \mu\cos\alpha)$$

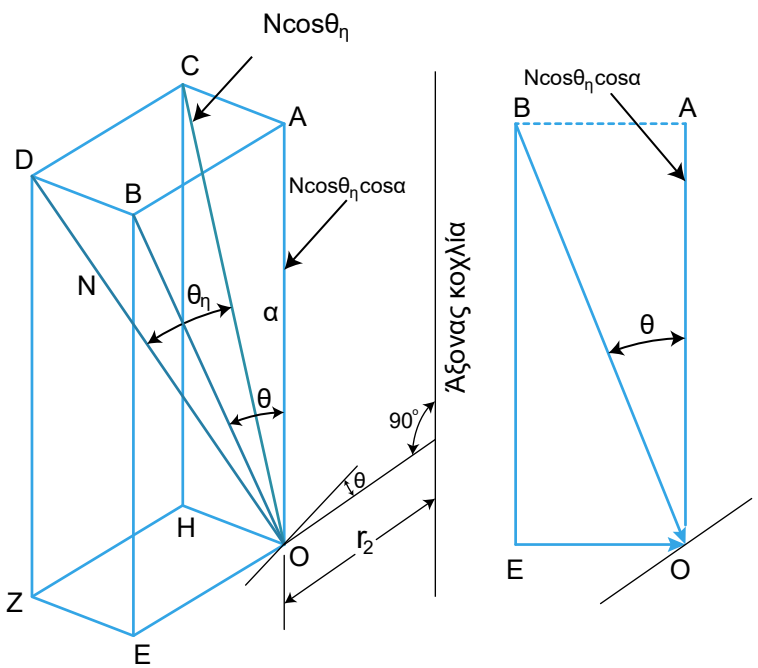
$$\sum F_y = -F + N\cos\theta_n \cos a - \mu N \sin a = 0 \Rightarrow F = N(\cos\theta_n \cos a - \mu \sin\alpha)$$

Διαιρούμε κατά μέλη και αφού αντικαταστήσουμε $\mu = \tan\rho$ και όπου

$$\tan\rho' = \frac{\tan\rho}{\cos\theta_n} = \frac{\tan\rho}{\cos(\beta/2)}$$

και β η γωνία του σπειρώματος (π.χ. $\beta = 60°$ για μετρικό σπείρωμα και $\beta = 55°$ για Whiteworth, $\beta = 30°$ για τραπεζοειδές σπείρωμα, κλπ), και λαμβάνουμε,

$$\frac{F_u}{F} = \frac{\cos\theta_n \sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\cos\theta_n \cos a - \mu\sin\alpha} = \frac{\cos\theta_n\ \tan\alpha + \tan\rho}{\cos\theta_n - \tan\rho\tan\alpha} = \frac{\frac{\tan\rho}{\cos\theta_n} + \tan\rho}{1 - \frac{\tan\rho}{\cos\theta}\tan\alpha} = \frac{\tan\rho' + \tan\alpha}{1 - \tan\rho'\tan\alpha} = \tan(\rho' + \alpha)$$



(α) (β)

Σχήμα 7.4: Η αντίδραση στο σπείρωμα λόγω της κλίσης α και $\theta_\pi = \beta / 2$ του σπειρώματος

Η σχέση των γωνιών όπως προκύπτουν από το Σχήμα 7.4 είναι:

$$\tan\theta_\eta = \frac{CD}{OC} = \frac{AB}{OC} = \frac{AB}{OA}\frac{OA}{OC} = \tan\theta\cos\alpha$$

Όπου $\theta = \beta/2$, β είναι η γωνία του σπειρώματος και θ_η η γωνία μεταξύ της καθέτου αντίδρασης στο κεκλιμένο κατά α και $\beta/2$ σπείρωμα. Άρα η ροπή σύσφιγξης του κοχλία μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$M = F_u\frac{d_2}{2} = F\tan(\rho' \pm \alpha)\frac{d_2}{2}$$

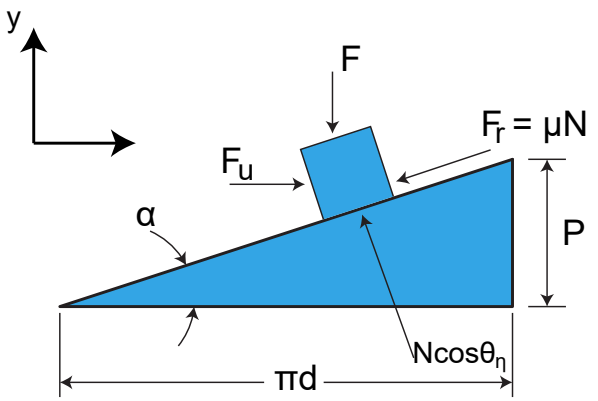
Αν λάβουμε υπ' όψη και την τριβή μεταξύ περικοχλίου και ελάσματος με μ_π τον συντελεστή τριβής και $d_m = (d_1 + d_\pi)/2$, όπου d_π η διάμετρος του περικοχλίου, τότε η συνολική ροπή σύσφιγξης θα είναι:

$$M_{o\lambda} = F\left[\tan(\rho' \pm \alpha)\frac{d_2}{2} + \mu_\pi\frac{d_m}{2}\right]$$

7.3.2 Απόδοση κοχλιών

Σαν απόδοση ενός συστήματος κοχλία περικοχλίου ορίζεται το πηλίκο της απαιτούμενης ροπής, για την σύσφιγξη ή την αποσύσφιγξη, όταν αγνοήσουμε την τριβή, προς την απαιτούμενη ροπή όταν λάβουμε υπ' όψη την τριβή. Έτσι οι αποδόσεις για την σύσφιγξη ή την αποσύσφιγξη δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$\eta = \frac{Ροπή\ χωρίς\ τριβή}{Ροπή\ με\ τριβή}, \quad \eta_\sigma = \frac{\tan\alpha}{\tan(\alpha+\rho')} = \frac{\cos\theta_n - \mu\tan\alpha}{\cos\theta_n + \mu\cot\alpha}, \quad \eta_\sigma = \frac{\tan\alpha}{\tan(\alpha-\rho')} = \frac{\cos\theta_n + \mu\tan\alpha}{\cos\theta_n - \mu\cot\alpha}$$



Σχήμα 7.5: Ισορροπία δυνάμεων λόγω της κλίσης α και $\theta_\pi = \beta / 2$ του σπειρώματος

7.3.3 Ευστάθεια κοχλιών

Αν για την αποσύσφιγξη χρειάζεται ροπή θετική, δηλαδή τότε ο κοχλίας είναι ευσταθής (ασφαλής ως προς την αποσύσφιγξη).

$$M_\alpha > 0 \quad \text{ή} \quad \tan(\rho - \alpha) > 0 \quad \text{ή} \quad \tan\rho - \tan\alpha > 0 \quad \text{ή} \quad \mu > \tan\alpha$$

αν δεν λάβουμε υπ' όψη μας την γωνία κλίσης του σπειρώματος $\beta / 2$, και

$$\tan(\rho' \pm \alpha)\frac{d_2}{2} > 0 \Rightarrow \frac{\tan\rho' - \tan\alpha}{1 + \tan\rho'\tan\alpha} > 0 \Rightarrow \frac{\frac{\tan\rho}{\cos\theta_n} - \tan\alpha}{1 + \frac{\tan\rho}{\cos\theta_n}\tan\alpha} > 0 \Rightarrow \frac{\mu}{\cos\theta_n} > \tan\alpha$$

αν την λάβουμε. Η σχέση αυτή μας λέει ότι το σύστημα κοχλία-περικοχλίου είναι ασφαλές ως προς την αποσύσφιγξη εφ' όσον ο συντελεστής τριβής μ ή ο $\mu/\cos\theta_n$ είναι μεγαλύτερος από την εφαπτομένη της γωνίας του σπειρώματος.

7.4 Κοχλίες υπό πρόταση σε στατική φόρτιση

7.4.1 Πρόταση κοχλιών

Η τιμή της πρότασης κατά Niemann είναι 1.5 φορές το στατικό φορτίο ή 2 έως 2.5 φορές το δυναμικό. Μια προσεγγιστική σχέση για την εκτίμηση της μέγιστης πρότασης σε ένα κοχλία διαμέτρου *d cm*, είναι,

$$F_i = 2840d\ kp$$

και η απαιτούμενη ροπή σύσφιγξης M_i,

$$M_i = CdF_i\ kpcm$$

όπου $C = 0.2$ για σπείρωμα χωρίς λιπαντικό και $C = 0.18$ για σπείρωμα με λιπαντικό.

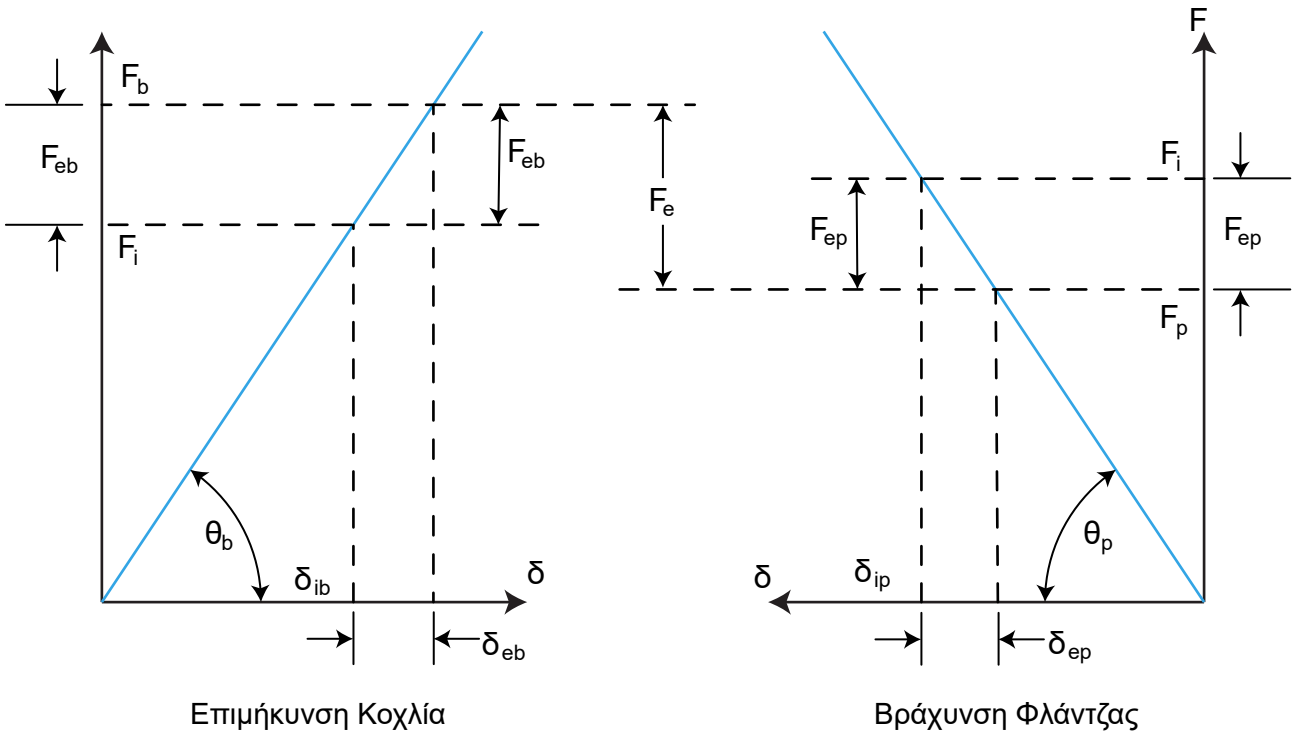
7.4.2 Κοχλίες υπό πρόταση – Στατική φόρτιση

Ας υποθέσουμε ότι ένας κοχλίας που συνδέει δύο φλάντζες έχει υποστεί αρχική πρόταση F_i. Θεωρώντας ότι ο κοχλίας δέχεται δυνάμεις ώστε να λειτουργεί στην ελαστική περιοχή σχεδιάζουμε στο Σχήμα 7.6, το διάγραμμα δύναμης παραμόρφωσης του κοχλία (αριστερά και της φλάντζας (δεξιά). Μετά την επιβολή της πρότασης F_i ο κοχλίας έχει υποστεί μια αρχική επιμήκυνση δ_{ib}, ενώ οι συμπιεζόμενες φλάντζες μια αρχική βράχυνση δ_{ip}. Αν k_b και k_p οι σταθερές ελατηρίου του κοχλία και των φλαντζών αντίστοιχα, τότε η πρόταση μπορεί να εκφραστεί με τις σχέσεις:

$$F_i = k_b\delta_{ib}, \qquad k_b = \frac{A_bE_b}{L_b}$$

$$F_i = k_p \delta_{ip}, \qquad k_p = \frac{A_p E_p}{L_p}$$

Όπου k_b και k_p σταθερές ελατηρίου του κοχλία και των φλαντζών αντίστοιχα, A_b και A_p οι καταπονούμενες επιφάνειες κοχλία και φλαντζών αντίστοιχα, E_b και E_p τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας και L_b και L_p τα μήκη του εφελκυόμενου τμήματος του κοχλία και του συμπιεζόμενου πάχους των φλαντζών.



Σχήμα 7.6: Διάγραμμα πρότασης σε σύστημα κοχλίας – φλάντζας

Έστω τώρα ότι εφαρμόζουμε στις φλάντζες κάποιο εξωτερικό φορτίο λειτουργίας F_e. Τότε ο κοχλίας θα υποστεί επιπρόσθετη επιμήκυνση κατά δ_{eb} ενώ οι φλάντζες θα υποστούν μείωση της αρχικής τους συμπίεσης κατά δ_{ep}. Εφόσον δεν υπάρχει απομάκρυνση των φλαντζών, οι δύο μεταβολές μήκους πρέπει να είναι ίσες. Επομένως ένα μέρος της δύναμης λειτουργίας F_e, η δύναμη F_{eb}, επιμηκύνει τον κοχλία και το υπόλοιπο F_{ep} μειώνει την συμπίεση των φλαντζών.

$$F_e = F_{eb} + F_p \qquad (a)$$

Επίσης η επιμήκυνση του κοχλία και η βράχυνση των φλαντζών είναι ίσες, εφ' όσον δεν υπάρχει αποκόλληση των φλαντζών.

$$\delta_{eb} = \delta_{ep} \quad \text{ή} \quad \frac{F_{eb}}{k_b} = \frac{F_{ep}}{k_p} \qquad (\beta)$$

οπότε από τις (α) και (β) έχουμε:

$$F_{eb} = \frac{k_b}{k_b + k_p} F_e = C_b F_e$$

$$F_{ep} = \frac{k_b}{k_b + k_p} F_e = C_p F_e = (1 - C_b)\, F_e$$

Όπως φαίνεται και από το σχήμα οι δυνάμεις που καταπονούν κοχλία και φλάντζες, όταν υπάρχει πρόταση είναι αντίστοιχα:

$$F_b = F_{eb} + F_i$$

$$F_p = F_i - F_{ep}$$

Από την τελευταία σχέση προκύπτει ότι συνθήκη μη λύσης της σύνδεσης είναι η δύναμη που συμπιέζει τα ελάσματα να είναι πάντα θετική:

$$F_p \geq 0 \Leftrightarrow F_i \geq F_{ep}$$

7.5 Κοχλίες υπό πρόταση σε δυναμική φόρτιση

Αν το φορτίο λειτουργίας F_e είναι μεταβαλλόμενο τότε έχει μέγιστη και ελάχιστη τιμή. Ο κοχλίας θα παραλαμβάνει φορτίο F_i μέχρι $F_i + F_e$. Οπότε το μέγιστο και ελάχιστο φορτίο λειτουργίας του κοχλία θα είναι:

$$F_{b(\max)} = F_{eb} + F_i \quad \kappa\alpha\iota \quad F_{b(min)} = F_i$$

Άρα η μέση τιμή του μεταβαλλόμενου φορτίου του κοχλία, καθώς και το εύρος εναλλαγής της θα είναι:

$$F_{b(\mathrm{m})} = F_{eb}/2 + F_i \quad \kappa\alpha\iota \quad F_{b(\mathrm{r})} = F_{eb}/2$$

Η μέση τιμή της τάσης και το εύρος εναλλαγής της θα είναι:

$$\sigma_m = \frac{F_{b(\mathrm{m})}}{A_3} \quad \kappa\alpha\iota \quad \sigma_r = \frac{F_{b(\mathrm{r})}}{A_3}$$

και από την γνωστή σχέση του Soderberg, η ισοδύναμη στατική καταπόνηση θα είναι

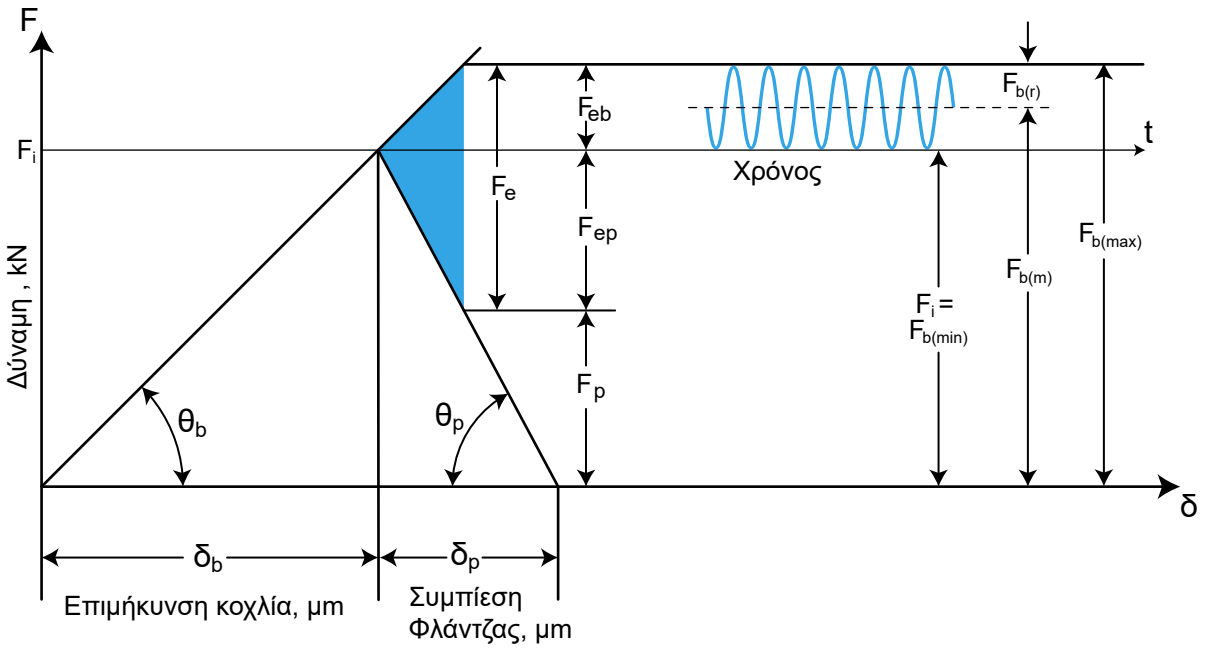
$$\sigma_{eq} = \sigma_m + \sigma_r \frac{S_y}{S_e} \leq \frac{S_y}{N}$$

Αντίστοιχες σχέσεις ισχύουν και για τα συμπιεζόμενα ελάσματα.Όταν μεταξύ των συσφιγγομένων φλαντζών υπάρχει κάποιο παρέμβυσμα (ελατήρια σε σειρά), τότε η σταθερά ελατηρίου της φλάντζας υπολογίζεται από την σχέση:

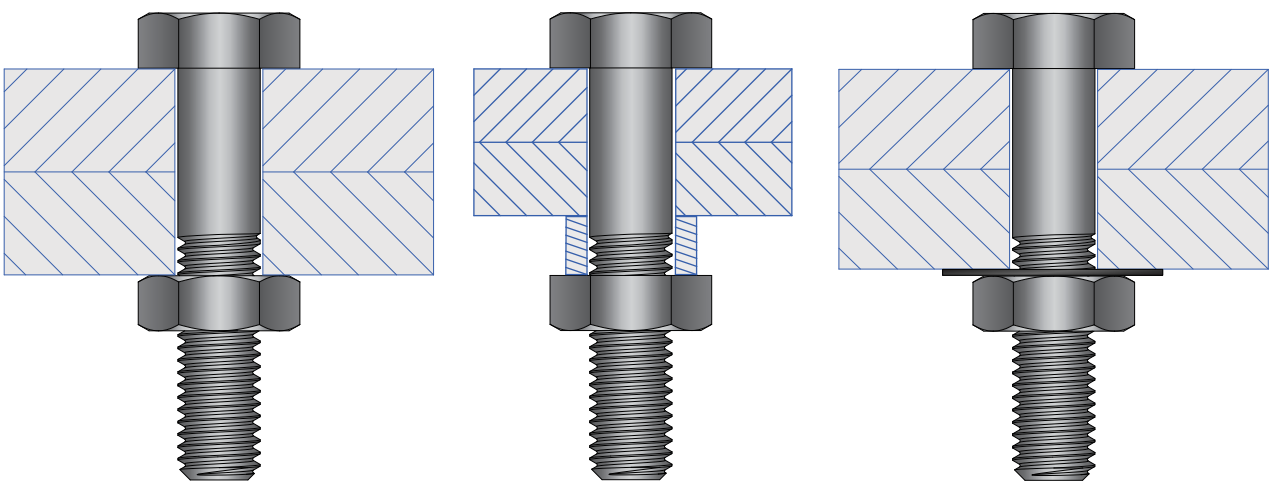
$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{k_{p_1}} + \frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_{p_2}}$$

όπου k_{p_1} και k_{p_2}, οι σταθερές ελατηρίου των δύο φλαντζών. Προφανώς όταν το υλικό του παρεμβύσματος είναι κατά πολύ μαλακότερο από το υλικό των φλαντζών τότε ισχύει,

$$k_p \approx k_g$$



Σχήμα 7.7: Δυναμική φόρτιση κοχλιών υπό πρόταση



Σχήμα 7.8: Περαστοί κοχλίες σε απόσταση και ελαστικά παρεμβύσματα

7.6 Τάσεις κοχλιών

Για τον προσδιορισμό της διαμέτρου του κοχλία μιας κοχλιωτής σύνδεσης πρέπει να ληφθούν υπ' όψη τόσο τα στατικά όσο και τα δυναμικά φορτία. Κατά την σύσφιγξη ενός κοχλία παρουσιάζονται οι ακόλουθες τάσεις:

1. Εφελκυστική τάση στον κορμό του κοχλία,
2. Στρεπτική τάση στον κορμό λόγω της αντίστασης της τριβής κατά την σύσφιγξη του κοχλία,
3. Διατμητική τάση στο σπείρωμα,
4. Επιφανειακή τάση στο σπείρωμα,
5. Καμπτική τάση στο σπείρωμα,
6. Καμπτική τάση στον κοχλία αν η κεφαλή του κοχλία και το περικόχλιο δεν είναι ακριβώς κάθετα στον άξονα του κοχλία.

7.6.1 Εφελκυστική τάση στον κορμό του κοχλία

Η μέση εφελκυστική τάση σε ένα κοχλία με πρόταση F_i, είναι

$$\sigma = \frac{\pi d_m^2}{4}$$

όπου η διατομή A_s είναι $A_s = \frac{\pi d^3}{4}$, για δυναμικά φορτία και $A_s = \frac{\pi d_m^2}{4}$, όπου $d_m = \frac{d_2 - d_3}{2}$, για στατικά

7.6.2 Καμπτική τάση στον κορμό του κοχλία

Αν οι εξωτερικές επιφάνειες των συνδεόμενων μερών δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους, τότε ο κοχλίας θα υποστεί καμπτική καταπόνηση. Η καμπτική τάση μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση,

$$\sigma = \frac{\delta E}{2L}$$

όπου L είναι το ενεργό μήκος του κοχλία, E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του κοχλία και δ η μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση του κοχλία.

7.6.3 Διατμητική τάση κοχλία λόγω στρέψης

Η διατμητική τάση στον κορμό του κοχλία λόγω στρεπτικής ροπής που απαιτείται για την σύσφιγξη του μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση

$$\tau = \frac{16M}{\pi d_3^3}$$

7.6.4 Σύνθετη καταπόνηση

Στην περίπτωση κατά την οποία θα έχουμε συνδυασμό ορθών $(\sigma_{o\lambda})$ και διατμητικών $(\tau_{o\lambda})$ τάσεων σε μονοαξονική καταπόνηση, η ισοδύναμη (σ_{eq}) υπολογίζεται με την βοήθεια του κριτηρίου της Μέγιστης Διατμητικής Τάσης (ΜΔΤ) ή της Θεωρίας Έργου Παραμόρφωσης (ΘΕΠ).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{o\lambda}^2 + \alpha\tau_{o\lambda}^2} \leq \frac{s_y}{N}$$

όπου $\alpha = 3$ για ΘΕΠ και $\alpha = 4$ για ΜΔΤ.

7.6.5 Διατμητική τάση σπειρώματος

Η μέση διατμητική τάση στο σπείρωμα του κοχλία είναι

$$\tau_\kappa = \frac{F_i}{\pi d_3 n b}$$

Όπου d_3 η εσωτερική διάμετρος του σπειρώματος του κοχλία, n ο αριθμός των σπειρών που συνεργάζονται και b το ύψος της σπείρας στην εσωτερική διάμετρο. Επίσης η μέση διατμητική τάση στο σπείρωμα του περικοχλίου είναι,

$$\tau_\pi = \frac{F_i}{\pi d_1 n b}$$

7.6.6 Επιφανειακή τάση σπειρώματος

Κατά τη φόρτιση ενός ζεύγους κοχλία – περικοχλίου, οι σπείρες του περικοχλίου παραλαμβάνουν τη δύναμη από τις σπείρες του κοχλία. Αν το περικόχλιο αποτελείται από n σπείρες και έχει ύψος h_π τότε επειδή το βήμα του σπειρώματος είναι P, θα ισχύει: $h_\pi = nP$. Επίσης η επιφάνεια του σπειρώματος που θα παραλαμβάνει τη δύναμη θα είναι:

$$A_\sigma = n(\pi d_2 H_1)$$

όπου H_1 το ύψος του σπειρώματος και επομένως

$$A_\sigma = h_\pi(\pi d_2 H_1)/P$$

Τα σπειρώματα καταπονούνται σε επιφανειακή πίεση σ_b. Ο Πίνακας 7.4, περιλαμβάνει τις επιτρεπόμενες επιφανειακές πιέσεις για διάφορους συνδυασμούς υλικών σπειρωμάτων $(\sigma_b)_{\varepsilon\pi}$. Τότε:

$$\sigma_b = \frac{F}{A_\sigma} = \frac{F}{h_\pi(\pi d_2 H_1)/P} \leq \frac{s_y}{N} = (\sigma_b)_{\varepsilon\pi}$$

Από την τελευταία σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε το απαραίτητο ύψος του περικοχλίου h_π.

$$h_\pi = \frac{F}{(\sigma_b)_{\varepsilon\pi}(\pi d_2 H_1)/P}$$

Πίνακας 7.4: Επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση σπειρωμάτων κοχλιών - περικοχλίων

ΚΟΧΛΙΑΣ – ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ	Επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση $\sigma_{\varepsilon\pi}$, MPa	ΤΑΧΥΤΗΤΑ
Χάλυβας - Χυτοσίδηρος	120 έως 170	Χαμηλή
Χάλυβας - Μπρούτζος	105 έως 170	Χαμηλή
Χάλυβας - Μπρούτζος	10 έως 16	Υψηλή
Χάλυβας - Χυτοσίδηρος	40 έως 70	Μέτρια
Χάλυβας - Μπρούτζος	50 έως 95	Μέτρια

7.6.7 Καμπτική τάση σπειρώματος

$$\sigma = \frac{3F_i h}{\pi d_m n b^2}$$

όπου $d_m = {}^1/_2\,(d_2 + d_3)$, h το ύψος του δοντιού, n ο αριθμός των σπειρών μέσα στο περικόχλιο και b το πλάτος του δοντιού.