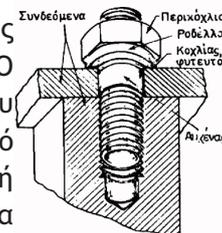


5η εργαστηριακή άσκηση: Πείραμα εφελκυσμού κοχλία και σύνθλιψης άντυγας

Γενικά

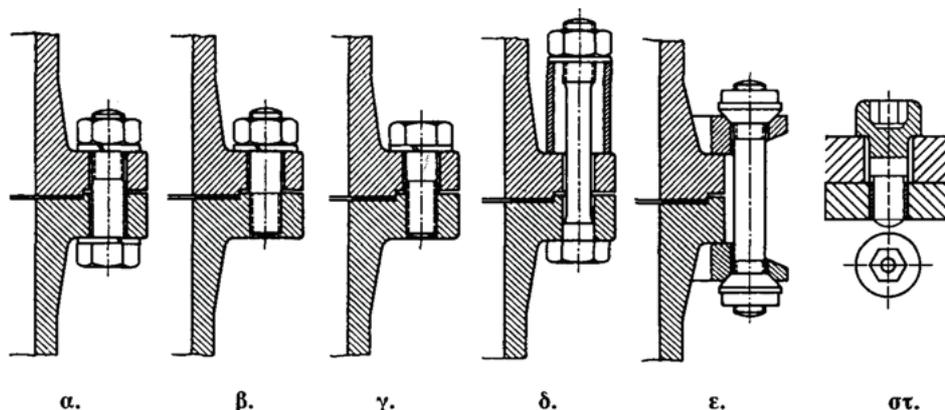
Κοχλίας ονομάζεται κάθε κύλινδρος που φέρει στην επιφάνεια του σπείρωμα. Οι κοχλίες χρησιμοποιούνται στις λυόμενες συνδέσεις και αποτελούνται από την κεφαλή και τον κορμό. Ο κορμός περιλαμβάνει το αυλακωτό μέρος που ονομάζεται σπείρωμα και το μη-αυλακωτό που ονομάζεται αυχένος (υπάρχουν κοχλίες χωρίς αυχένα). Οι κοχλίες, συχνά, συνοδεύονται από περικόχλιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κοχλίες χωρίς κεφαλή (φυτευτοί κοχλίες ή μπουζόνια), όπου ο αυχένος τους βρίσκεται στο μέσο του κορμού τους και κοχλίες χωρίς αυχένα όπου όλος ο κορμός τους είναι αυλακωτός. Οι κοχλίες συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα, χαλκό, μπρούντζο και αλουμίνιο



Κατηγορίες κοχλιών

Υπάρχουν δύο κατηγορίες κοχλιών, ανάλογα με τη λειτουργία τους, οι (α) *σύνδεσης ή στερέωσης* και οι (β) *κίνησης*.

Οι *κοχλίες στερέωσης* κατατάσσονται περαιτέρω ανάλογα με (α) το σπείρωμά τους (αναλύεται παρακάτω) και (β) τον τρόπο που συνδέουν τα κομμάτια.



Έτσι, βάσει του τρόπου σύνδεσης διακρίνονται στους:

- (e) φυτευτούς: δεν έχουν κεφαλή και έχουν τον αυχένα στη μέση τους
- (f) περαστούς: περνούν και στα δύο κομμάτια
- (g) κεφαλής: χρησιμοποιούνται χωρίς περικόχλιο περνούν ελεύθερα στο ένα κομμάτι και βιδώνουν στο άλλο
- (h) μήκυνσης περαστός με αποστάτη
- (i) μήκυνσης με διπλά περικόχλια
- (j) κεφαλής με εσωτερικό εξάγωνο
- (k) αγκύρωσης: χρησιμοποιούνται για τη στερέωση κομματιών σε δάπεδα κ.α.
- (l) κοινούς κοχλίες αγκύρωσης: είναι φυτευτοί σε μπετόν
- (m) αγκύρωσης διαστολής: έχουν κοίλο κυλινδρικό σώμα χωρισμένο σε τρία τμήματα κατά μήκος τους και το περικόχλιό τους έχει κωνική μορφή
- (n) κοχλίες για ξύλο και λαμαρίνες: για τους πρώτους δεν ανοίγουμε καθόλου τρύπα ενώ για τους δεύτερους ανοίγουμε τρύπα αλλά όχι σπείρωμα

Οι φυτευτοί κοχλίες και οι κοχλίες κεφαλής πλεονεκτούν στο ότι απαιτούν μικρότερο χώρο, οπότε χρειάζονται μικρότερες διαμέτρους φλάντζας από τους απλούς κοχλίες με περικόχλια. Ειδικότερα, οι φυτευτοί κοχλίες χρησιμοποιούνται για συνδέσεις που λύνονται σπάνια ώστε να αποφεύγεται η φθοράς του εσωτερικού σπειρώματος της τυφλής οπής διότι επιδιορθώνεται δύσκολα. Οι κοχλίες κεφαλής διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο της κεφαλής τους σε εξαγωνικούς, με εξαγωνική κεφαλή, βυθισμένους, φρεζάτους, ημιστρόγγυλους και κυλινδρικούς.

Οι κοχλίες κίνησης ταξινομούνται σε αυτούς που μετατρέπουν: την περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη (πρέσσα, μέγγενη, γρύλλο), την ευθύγραμμη σε περιστροφική (χειροκίνητα τρυπάνια) και την περιστροφική σε άλλη περιστροφική (σύστημα ατέρμονα κοχλία και οδοντωτού τροχού).

Περικόχλια

Κάθε σωλήνας που έχει εσωτερικά ένα οποιοδήποτε σπείρωμα καλείται περικόχλιο (παξιμάδι).

Σπειρώματα

Υπάρχουν δύο είδη σπειρωμάτων τα εξωτερικά (κοχλίας) και τα εσωτερικά (περικόχλιο). Το σπείρωμα ακολουθεί μια γραμμή που ονομάζεται *ελικοειδής*. Η ελικοειδής γραμμή έχει τρία χαρακτηριστικά, (α) τη γωνία κλίσης (ελίκωσης) α , (β) το βήμα P και (γ) τη φορά ελίκωσης. Η φορά της ελίκωσης, ορίζεται ανάλογα με την κατεύθυνση προς την οποία τυλίγεται το τρίγωνο πάνω στον κύλινδρο αρχίζοντας από το ίδιο πάντα σημείο της βάσης του κυλίνδρου και μπορεί να είναι δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη. Αν πάνω στην ελικοειδή γραμμή τυλιχτεί ένα εύκαμπτο υλικό τότε σχηματίζεται το σπείρωμα.

Κατάταξη σπειρωμάτων

Τα σπειρώματα ανάλογα με τη φορά της έλικας χωρίζονται σε αριστερόστροφα και δεξιόστροφα. Ανάλογα με τη θέση του σπειρώματος σε εξωτερικά και εσωτερικά. Ανάλογα με τον αριθμό των ελικώσεων σε μιας αρχής, δύο αρχών, κ.ο.κ. Ανάλογα με τη μορφή του αυλακιού σε τριγωνικά, τετραγωνικά, τραπεζοειδή, κυκλικά και πριονωτά. Ανάλογα με το σύστημα τυποποίησής τους σε μετρικό (DIN και ISO), αγγλικό, αμερικάνικο και ενοποιημένο.

Μορφή σπειρώματος

Αν πάνω στην ελικοειδή γραμμή τυλιχτεί ένα εύκαμπτο πρισματικό υλικό τότε σχηματίζεται το τριγωνικό σπείρωμα (τριγωνική διατομή). Αντίστοιχα υπάρχουν ορθογωνικά, τετραγωνικά, τραπεζοειδή, πριονωτά, στρογγυλά σπειρώματα.

Σπειρώματα πολλών αρχών

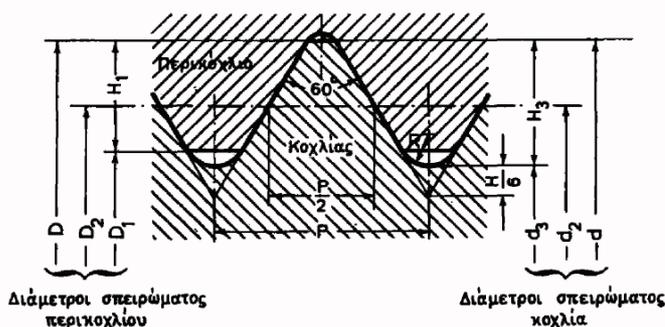
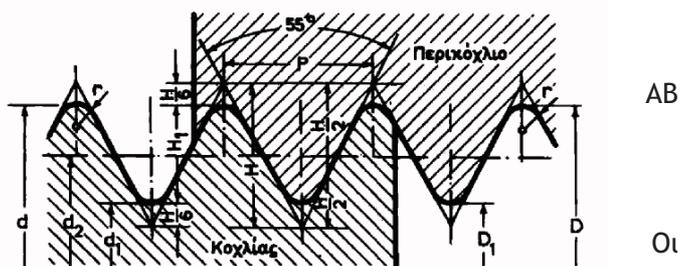
Αν στον κορμό ενός κοχλία ανοιχτεί ένα αυλάκι κατά μήκος της ελικοειδούς γραμμής τότε το σπείρωμα ονομάζεται *μιας αρχής*. Είναι όμως δυνατό να υπάρξουν δυο χωριστές αυλακώσεις που να ακολουθούν δύο ελικοειδείς οι οποίες να αρχίζουν από δύο σημεία της περιφέρειας της βάσης του κυλίνδρου αντιδιαμετρικά οπότε το σπείρωμα ονομάζεται δύο αρχών. Αν δημιουργηθούν αυλακώσεις από περισσότερα σημεία, σχηματίζεται σπείρωμα πολλών αρχών.

Παρατηρήσεις: Στους κοχλίες στερέωσης χρησιμοποιείται μόνο τριγωνικό σπείρωμα. Δεν υπάρχουν τριγωνικά σπειρώματα με δύο ή περισσότερες αρχές. Αριστερόστροφοι κοχλίες χρησιμοποιούνται για λόγους ασφαλείας, όταν η φορά περιστροφής συντελεί στην αποκοκλίωση (αριστερό πεντάλ ποδηλάτου), για τέντωμα καλωδίων με ελκυστήρα, για λειτουργικούς λόγους (π.χ. δεξιόστροφη περιστροφή κορώνας) και για σύνδεση δύο σωλήνων που δεν μπορούν να περιστραφούν.

Τυποποίηση τριγωνικών σπειρώματων

Στοιχεία μετρικού σπειρώματος κατά ISO

Παράγεται από ισόπλευρο τρίγωνο (ΑΒΓ). Η πλευρά έχει μήκος ίσο με το βήμα P του σπειρώματος. Η γωνία του σπειρώματος είναι 60°. Σε κάθε διάμετρο αντιστοιχεί ένα και μόνο βήμα και όλες οι υπόλοιπες διαστάσεις του σπειρώματος είναι συνάρτηση αυτού. Κοχλίες μετρικού σπειρώματος συμβολίζονται με το γράμμα “M”, ακολουθούμενο από έναν αριθμό, ο οποίος δείχνει τη διάμετρο του κοχλία σε χιλιοστά.



Κανονικό Αγγλικό σπείρωμα Γουϊτγουρθ (Whitworth)

Το τρίγωνο ΑΒΓ είναι ισοσκελές. Η γωνία του σπειρώματος είναι 55°. Οι κορυφές και τα βάθη των αυλακιών είναι στρογγυλεμένα και δεν υπάρχει χάρη (διάκενο) στις κορυφές των τριγώνων. Η επαφή των πλευρών γίνεται σε όλο το βάθος του σπειρώματος. Σε κάθε διάμετρο αντιστοιχεί ένα και μόνο βήμα. Αντί για το βήμα του σπειρώματος δίνεται ο αριθμός των

σπειρών Z σε μήκος ίντσας (συνεπώς, το βήμα P του σπειρώματος δίνεται έμμεσα ($P=1/Z$)). Οι κοχλίες αγγλικού σπειρώματος συμβολίζονται με το γράμμα “W”.

Λεπτά σπειρώματα

Ονομάζονται τα σπειρώματα που για συγκεκριμένη ονομαστική διάμετρο έχουν βήμα μικρότερο από το κανονικό. Συνεπώς έχουν μικρότερο βάθος, άρα δεν εξασθενούν τον κορμό. Απαιτούν μικρότερη δύναμη κοχλίωσης αλλά κινδυνεύουν να παραμορφωθούν από λανθασμένη κοχλίωση ή αν ασκηθεί πάνω τους μεγαλύτερη ροπή κατά τη διάρκειά της. Απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο για ορισμένη μετακίνηση κοχλία ή περικοχλίου. Δημιουργούν καλύτερη στεγανότητα. Λόγω των παραπάνω εφαρμόζονται σε κατασκευές με κραδασμούς, στις σωληνώσεις, σε ατράκτους, στους εξωλκείς, σε όργανα μετρήσεων και στους ρυθμιστικούς κοχλίες.

Σπειρώματα κοχλιών κίνησης

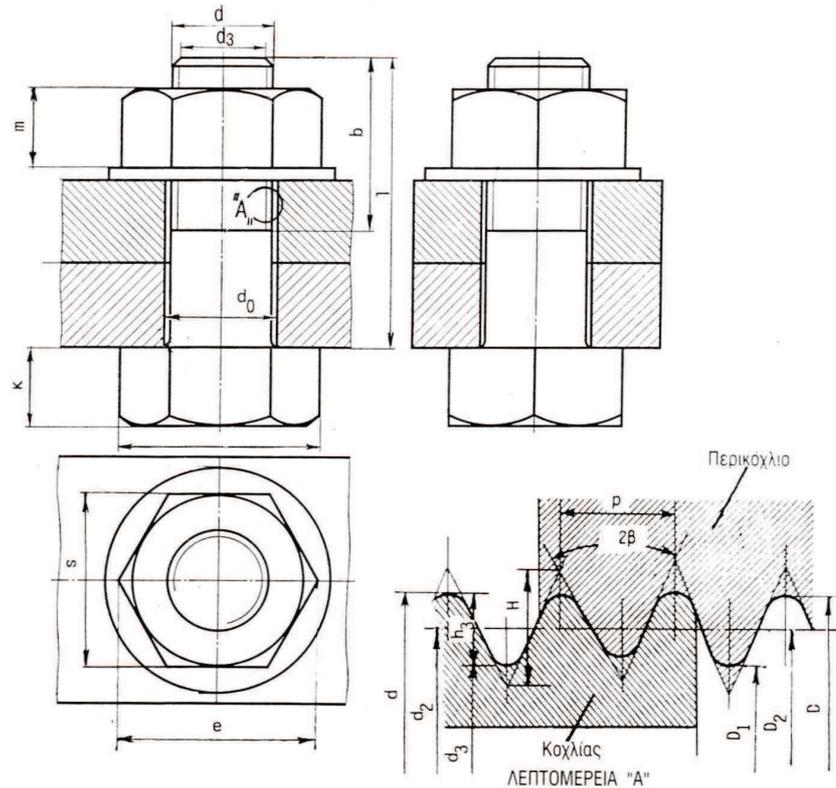
Τετραγωνικό σπείρωμα: Έχει ίδιο βάθος και πλάτος αυλάκωσης. Δεν έχει διάκενο μεταξύ κοχλία και περικοχλίου. Παρουσιάζει γρήγορα αξονική χάρη. Δεν είναι τυποποιημένο. Παρουσιάζει δυσκολία στην κατασκευή.

Τραπεζοειδές σπείρωμα: Έχει αυξημένη αντοχή σε σχέση με το τετραγωνικό γιατί έχει μεγαλύτερο πάχος δοντιού στη βάση του. Έχει ακτινικό διάκενο μεταξύ κοχλία και περικοχλίου. Δεν παρουσιάζει εύκολα αξονική χάρη. Παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στα μεταβλητά φορτία.

Γεωμετρικά στοιχεία κοχλιών, σπειρώματος & περικοχλίων

Κοχλίας	Σπείρωμα	Περικοχλίο
Μήκος κορμού κοχλία (l)	Μορφή σπειρώματος (τριγωνική, τετραγωνική, κλπ.)	Ύψος περικοχλίου (m)
Εξωτερική διάμετρος σπειρώματος κοχλία (ονομαστική) (d)	Μήκος σπειρώματος (b)	Εξωτερική διάμετρος σπειρώματος περικοχλίου (D)

Διάμετρος πυρήνα κοχλία (d_3)	Βήμα σπειρώματος (P)	Διάμετρος πυρήνα περικοχλίου (D_1)
Μέση διάμετρος κοχλία (d_2)	Βάθος σπειρώματος (h_3)	Μέση διάμετρος περικοχλίου (D_2)
Ύψος κεφαλής (K)	Γωνία πλευρών σπειρώματος (2β)	Απόσταση απέναντι πλευρών περικοχλίου (S)
Απόσταση απέναντι πλευρών κεφαλής (S)	Θεωρητικό ύψος σπειρώματος (τριγώνου) (H)	
	Γωνία ελίκωσης (α)	
	Μήκος επαφής πλευρών σπειρωμάτων (H_1)	



Κοχλιοσυνδέσεις

Μια κοχλιοσύνδεση αποτελείται από τα συνδεόμενα μέρη και τον κοχλία αλλά μπορεί να περιλαμβάνει και περικόχλιο, ροδέλες και είδη ασφάλισης. Για να πραγματοποιηθεί μια κοχλιοσύνδεση μπορεί να περαστεί ο κοχλίας μέσα από κοινή τρύπα των ελασμάτων που πρόκειται να συνδεθούν και αυτά να συσφιχθούν με περικόχλιο, μπορεί να βιδωθεί ο κοχλίας στο ένα έλασμα, σε τυφλή οπή, και μετά να περαστεί ελεύθερα το άλλο έλασμα και να συσφιχθούν με περικόχλιο, μπορεί απλά να βιδωθεί ο κοχλίας σε τυφλή οπή κ.ά. Για την κατασκευή και τη λύση της κοχλιοσύνδεσης απαιτούνται ειδικά εργαλεία, τα κλειδιά. Τα εργαλεία αυτά είναι διαφόρων τύπων και σχημάτων, ανάλογα με τον τύπο του κοχλία ή του περικοχλίου που πρόκειται να βιδωθεί.

Ασφάλιση κοχλιοσυνδέσεων

Όταν σε μια κοχλιοσύνδεση υπάρχουν κραδασμοί υπάρχει πιθανότητα αποκοκλίωσης και λύσης της σύνδεσης. Οι κύριοι τρόποι ασφάλισης είναι:

Ασφάλιση με διπλό περικόχλιο ή αντιπερικόχλιο: Το αντιπερικόχλιο μπορεί να έχει το ίδιο ύψος με το περικόχλιο σύσφιξης. Με τη σύσφιξη του αντιπερικοχλίου συμπιέζονται τα δυο περικόχλια και έτσι αποφεύγεται η χαλάρωση του περικοχλίου και του κοχλία.

Ασφάλιση με έλασμα ασφαλείας: Τοποθετείται έλασμα μεταξύ κοχλία και περικοχλίου που κάμπτεται από τη μια άκρη προς το περικόχλιο και από την άλλη προς το κομμάτι.

Ασφάλιση με ελατηριωτό δακτύλιο ή γκρόβερ: Ειδική ροδέλα σε μορφή ελατηρίου

Ασφάλιση με ασφαλιστική περόνη ή κοπίλια: Στην περίπτωση αυτή τρυπιέται ο κοχλίας και περνιέται μέσα η ασφαλιστική περόνη. Το περικόχλιο που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση έχει ειδική μορφή και ονομάζεται πυργωτό.

Κλάση αντοχής κοχλία

Οι χαλύβδινοι κοχλίες κατατάσσονται σε κατηγορίες ως προς την αντοχή τους (κλάση αντοχής). Το σύμβολο της κατηγορίας αντοχής των κοχλίων αποτελείται από δύο ψηφία, x και y , χωρισμένα με τελεία ($x.y$). Το πρώτο ψηφίο, αν πολλαπλασιαστεί με το 100, αντιστοιχεί στην τιμή του όριου θραύσης ($S_u - \sigma_\theta$) του υλικού των κοχλίων σε MPa. Το δεύτερο ψηφίο αντιστοιχεί στο 10πλάσιο του λόγου του ορίου διαρροής προς το όριο θραύσης ($\frac{S_y}{S_u}$). Το S_y αντιστοιχεί στο σ_E .

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κοχλιοσυνδέσεων

Η κοχλιοσύνδεση πολλές φορές προτιμάται λόγω βασικών πλεονεκτημάτων της. Κατ' αρχήν είναι λυόμενη σύνδεση, συνεπώς τα λυόμενα κομμάτια μπορούν να συνδεθούν και αποσυνδεθούν όσες φορές χρειάζεται χωρίς να καταστρέφονται οι κοχλίες ή τα συνδεόμενα μέρη. Επίσης, είναι φθηνή σύνδεση και δεν απαιτεί ούτε ιδιαίτερη δεξιοτεχνία ούτε ειδικά εργαλεία για την πραγματοποίησή της. Τέλος, τα μέσα σύνδεσης κυκλοφορούν στο εμπόριο σε πολλά τυποποιημένα μεγέθη και χαμηλές τιμές. Παρόλα αυτά παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα, ότι απαιτεί τρόπο ασφάλισης και ότι η ύπαρξη σπειρώματος στους κοχλίες αδυνατίζει τον κορμό τους.

Υπολογισμοί κοχλίων

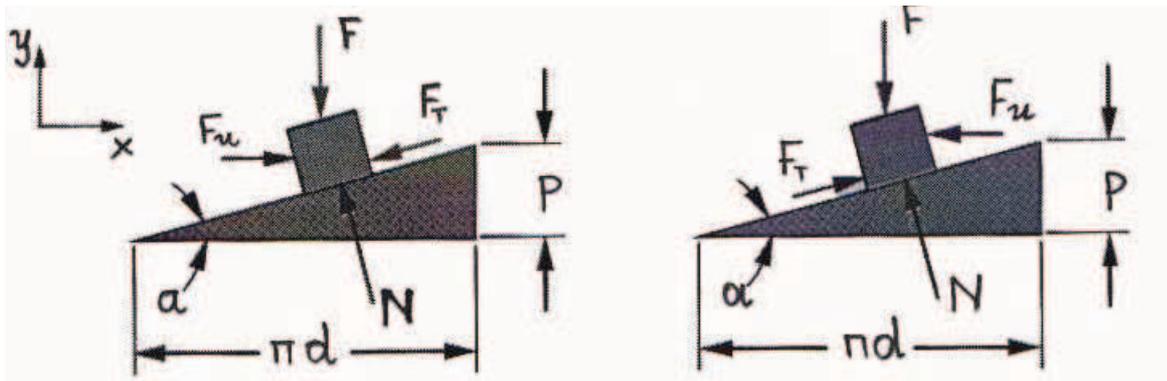
Από μηχανική σκοπιά το κύριο χαρακτηριστικό ενός σπειρώματος είναι η δυνατότητα πολλαπλασιασμού ή υποπολλαπλασιασμού μιας δύναμης και με αυτή την έννοια προσομοιάζει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο. Οι κοχλίες πρέπει πάντα να προεντείνονται άσχετα από το είδος φόρτισης που δέχονται, ώστε τα συνδεόμενα τεμάχια να ακινητοποιούνται στη θέση λειτουργίας τους.

Ανάλυση δυνάμεων στους κοχλίες

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη σύσφιξη ή την αποσύσφιξη ενός κοχλία στη μέση διάμετρό του d_2 , είναι μια δύναμη τριβής F_t , μια αξονική δύναμη F και μια περιφερειακή δύναμη F_u . Οι δυνάμεις αυτές γενικά συνδέονται με τον τύπο $F_u = F \cdot \tan(\rho \pm \alpha)$, όπου ρ γωνία για την οποία ισχύει $\tan \rho = \mu_0$, όπου μ_0 ο συντελεστής τριβής και α η γωνία ελίκωσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε μετρικά σπειρώματα, όπου η πλευρές δεν είναι ορθογωνικές αλλά έχουν κλίση β , τότε στη θέση της F υπεισέρχεται η $\frac{F}{\cos \beta}$ και στη θέση του συντελεστή τριβής ο $\mu' = \frac{\mu}{\cos \beta}$.

Ροπή σύσφιξης στο σπείρωμα των κοχλίων

Η δύναμη σύσφιξης F_u ενός περικόχλιου στον κοχλία του, συσχετίζεται με την αναπτυσσόμενη εφελκυστική δύναμη στο σώμα του κοχλία F . Στο παρακάτω σχήμα, μια σπείρα κοχλία τετραγωνικού σπειρώματος αναπτύσσεται σε ορθογώνιο τρίγωνο με γωνία κεκλιμένου επιπέδου, α . Το κινούμενο πάνω της σώμα είναι το περικόχλιο πάνω στο οποίο σχεδιάζονται οι ασκούμενες δυνάμεις.



Εκτός των δύο προαναφερθέντων δυνάμεων παρουσιάζεται και η αντίδραση N του κεκλιμένου σπειρώματος καθώς και η δύναμη τριβής $F_t = \mu \cdot N$, όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής μεταξύ των σπειρωμάτων κοχλία-περικοχλίου. Οι δυνάμεις σύσφιξης και τριβής αλλάζουν φορά κατά την αποσύσφιξη. Η ισορροπία των δυνάμεων μας δίνει για την σύσφιξη

$$\sum F_x = F_u + N \cdot \sin a + F_t \cdot \cos a = 0 \Rightarrow F_u = N \cdot (\mu \cdot \cos a + \sin a)$$

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

ενώ κατά την αποσύσφιξη:

$$\sum F_x = -F_u - N \cdot \sin a + F_t \cdot \cos a = 0 \Rightarrow F_u = N \cdot (\mu \cdot \cos a - \sin a)$$

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

Διαιρώντας τις παραπάνω εξισώσεις κατά μέλη, θεωρώντας ότι ο συντελεστής τριβής αντιστοιχεί σε επιπρόσθετη γωνία ρ του κεκλιμένου επιπέδου όπου $\tan \rho = \mu$, άρα $F_u = \frac{F \cdot \mu \cdot \cos a \pm \sin a}{\cos a \mp \mu \cdot \sin a} = F \cdot \tan(\rho \pm \alpha)$ όπου το άνω πρόσημο αναφέρεται στην σύσφιξη και το κάτω πρόσημο στην αποσύσφιξη. Η απαιτούμενη ροπή σύσφιξης M_σ και αποσύσφιξης M_a υπολογίζονται από την δύναμη F επί την απόσταση στην οποία αυτή εφαρμόζεται: $M_\sigma = F \cdot \tan(\rho + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2}$ και $M_a = F \cdot \tan(\rho - \alpha) \cdot \frac{d_2}{2}$

Στην γενική περίπτωση το σπείρωμα έχει κλίση $\theta = \frac{\beta}{2}$ και ως προς το άλλο επίπεδο π.χ. τραπεζοειδές σπείρωμα, ή κανονικό μετρικό η ροπή σύσφιξης και αποσύσφιξης δίνεται από τη σχέση

$$M = F \cdot \tan(\rho' \pm \alpha) \cdot \frac{d_2}{2}, \text{ όπου } \tan \rho' = \frac{\tan \rho}{\cos \theta_n} \text{ και } \rho' \text{ η γωνία τριβής του σπειρώματος που εξαρτάται από}$$

την κατάσταση της επιφάνειας και τη λίπανση, άρα, $\rho' = 8^\circ - 10^\circ$ για ξηρά τριβή και $\rho' = 7.5^\circ - 8^\circ$ για τριβή με λίπανση και θ_n γωνία μεταξύ της καθέτου αντίδρασης στο κεκλιμένο επίπεδο για την οποία ισχύει $\tan \theta_n = \tan \theta \cdot \cos a$. Αν ληφθεί υπόψη και η τριβή μεταξύ περικοχλίου και ελάσματος με συντελεστή μ_π και

$d_m = \frac{d_1 + d_\pi}{2}$, όπου d_π η διάμετρος του περικοχλίου τότε η συνολική ροπή σύσφιξης είναι

$$M_{\sigma\lambda} = F \cdot \left[\tan(\rho' + \alpha) \cdot \frac{d_z}{z} + \mu_\pi \cdot \frac{d_m}{z} \right].$$

Βαθμός απόδοσης κοχλίων

Κατά τη σύσφιξη ενός κοχλία παράγεται έργο ίσο με $F \cdot P$, ενώ καταναλώνεται έργο ίσο με $F_u \cdot \pi \cdot d_2$.

Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης του κοχλία είναι ο λόγος των δύο έργων, $n_\sigma = \frac{F \cdot P}{F_u \cdot d_2 \cdot \pi} = \frac{\tan a}{\tan(a + \rho')}$. Κατά

την αποσύσφιξη το κλάσμα του συντελεστή απόδοσης αντιστρέφεται $n_\alpha = \frac{F_u \cdot d_2 \cdot \pi}{F \cdot P} = \frac{\tan(\alpha - \rho')}{\tan \alpha}$.

Ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται με τη γωνία α , στην αρχή απότομα και μετά ο ρυθμός αύξησής της μειώνεται μέχρι τη μέγιστη τιμή στη θέση $\alpha = 45^\circ$

Ευστάθεια κοχλιών

Αν $\rho' \geq \alpha$ τότε $(\alpha - \rho') \leq 0$ και $n_s \leq 0$. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε αξονική δύναμη δεν μπορεί να περιστρέψει τον κοχλία ώστε να αποσυσφιχθεί, συνεπώς, είναι σταθερός. Αυτό συχνά χρησιμοποιείται ως ασφάλεια για να μην επέρχεται αποκοκλίωση του βάρους.

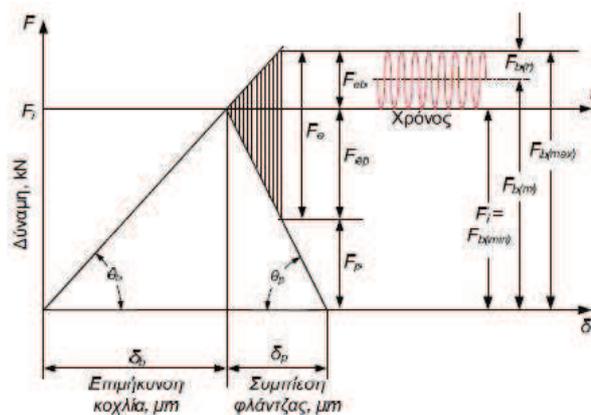
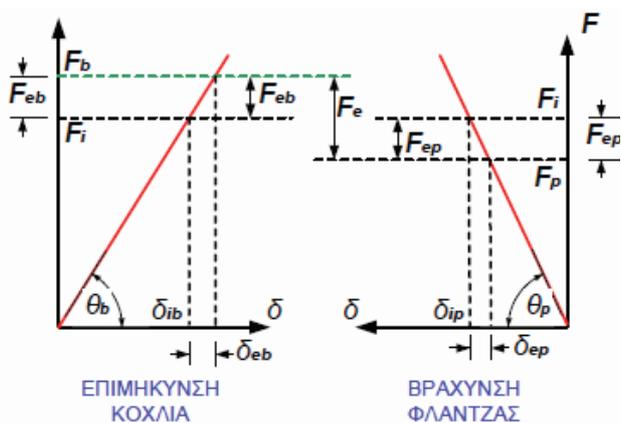
Αν για την αποσύσφιξη απαιτείται θετική ροπή τότε ο κοχλίας είναι ευσταθής (ασφαλής ως προς την αποσύσφιξη), δηλαδή $M_a > 0$ το οποίο μεταφράζεται σε $\mu > \tan \alpha$ αν δε ληφθεί υπόψη η γωνία σπειρώματος $\frac{\beta}{2}$ ή αν ληφθεί υπόψη $\frac{\mu}{\cos \theta_n} > \tan \alpha$, δηλαδή ο κοχλίας είναι ευσταθής όταν ο συντελεστής τριβής είναι μεγαλύτερος από την εφαπτομένη της γωνίας ελίκωσης.

Προένταση κοχλιών

Με τη σύσφιξη του κοχλία αναπτύσσεται στη διατομή του πυρήνα μια τάση σύσφιξης σ_{an} που εξαρτάται από την αίσθηση σύσφιξης του τεχνίτη. Η αναμενόμενη δύναμη προέντασης είναι $F_i = \frac{A_k}{\sigma_{an}}$. Αν ένας κοχλίας συσφιχθεί με δύναμη προέντασης F_i τότε επιμηκύνεται κατά δ_s ενώ τα συνδεόμενα κομμάτια βραχύνονται κατά δ_F .

Αν ενεργήσει μια δύναμη λειτουργίας F_e που τείνει να διαχωρίσει τα συνδεόμενα μέρη τότε οι κοχλίες θα καταπονηθούν ακόμα περισσότερο και θα επιμηκυνθούν κατά δ_s' επιπλέον. Αντίστοιχα, τα συνδεόμενα μέρη θα αποσυμπιεστούν και η βράχυνσή τους θα μειωθεί κατά $\delta_F' = \delta_s'$ και τελικά πάνω σε αυτά θα εξασκείται μια μικρότερη δύναμη F_{ep} . Η δύναμη F_{ep} δεν πρέπει να εξουδετερώνεται πλήρως από τη δύναμη λειτουργίας F_e , γι' αυτό το λόγο πρέπει η προένταση να είναι αρκετά μεγάλη. Για προσεγγιστικούς υπολογισμούς μπορεί να ληφθεί $F_i = 2 \text{ έως } 3 \cdot F_e$.

Η προένταση δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας ιδιαίτερα κατά την δυναμική καταπόνηση του κοχλία. Στην πραγματικότητα συνίσταται επαρκής προένταση F_i και μικρός λόγος $\frac{\delta_F}{\delta_s}$ (μη ελαστικοί κοχλίες - ελαστικά συνδεόμενα τεμάχια)



Λειτουργία κοκλίας υπό προένταση σε στατική και δυναμική φόρτιση

Κοκλίες υπό προένταση σε στατική φόρτιση

Οι δυνάμεις καταπονούν έναν κοκλία υπό προένταση είναι $F_b = F_{eb} + F_i$, όπου F_{eb} η δύναμη λειτουργίας του κοκλίας. Αντίστοιχα για τις φλάντζες $F_p = F_i - F_{ep}$

Κοκλίες υπό προένταση σε δυναμική φόρτιση

Όταν οι κοκλίες καταπονούνται σε δυναμική φόρτιση, άρα το φορτίο λειτουργίας F_e έχει μια μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή τότε $F_{b(max)} = F_{eb} + F_i$ και $F_{b(min)} = F_i$, άρα η μέση τιμή του μεταβαλλόμενου φορτίου είναι $F_{b(m)} = \frac{F_{eb}}{2} + F_i$ και το εύρος εναλλαγής $F_{b(r)} = \frac{F_{eb}}{2}$.

Όσον αφορά στην μέση τιμή της τάσης που αναπτύσσεται στον κοκλία ισχύει ότι $\sigma_m = \frac{F_{b(m)}}{A_3}$ και για το εύρος $\sigma_r = \frac{F_{b(r)}}{A_3}$.

Η ισοδύναμη στατική καταπόνηση σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται από τη σχέση του Soderberg $\sigma_{eq} = \sigma_m + \frac{\sigma_r \cdot S_y}{S_e} \leq \frac{S_y}{N}$, όπου S_e το όριο συνεχούς αντοχής το οποίο εμπεριέχει το συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων και δίνεται από διάγραμμα.

Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων

Κατά τη δυναμική καταπόνηση λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων. Τα κρίσιμα σημεία του κοκλίας για αστοχία είναι (α) το σημείο αλλαγής της διαμέτρου κάτω από την κεφαλή του κοκλίας (β) το σημείο της αρχής του σπειρώματος και (γ) κατά μήκος του σπειρώματος μέσα στο περικόχλιο. Ο συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων στους κοκλίες εξαρτάται από το λόγο $\frac{d}{R}$, όπου R η ακτίνα καμπυλότητας στο σπείρωμα.

Καταπόνηση κοκλιών

Από άποψη αντοχής το κρίσιμο τμήμα ενός κοκλίας είναι ο κορμός του, ο οποίος αποτελείται από δύο τμήματα, το τμήμα με σπείρωμα και το τμήμα χωρίς σπείρωμα. Όταν το τμήμα χωρίς σπείρωμα έχει σταθερή κυκλική διατομή με ίσης ή μεγαλύτερης διαμέτρου από την d_3 τότε ο υπολογισμός της στατικής και της δυναμικής αντοχής του κοκλίας γίνεται μόνο στη θέση του σπειρώματος με εξαίρεση τον υπολογισμό σε διατμητική καταπόνηση. Στην περίπτωση που $1.0 \geq \frac{d}{d_3} \geq 0.8$ τότε η κρίσιμη θέση στατικής αντοχής είναι στο τμήμα χωρίς

σπείρωμα ενώ η κρίσιμη θέση δυναμικής αντοχής στο τμήμα με σπείρωμα ενώ αν $\frac{d}{d_3} \leq 0.8$ ο έλεγχος γίνεται αποκλειστικά στο τμήμα χωρίς σπείρωμα.

Η μόνη επιτρεπτή δυναμική καταπόνηση του κοκλίας είναι η εφελκυστική.

Οι κοκλίες μπορεί να καταπονούνται είτε αξονικά είτε εγκάρσια.

Πηγές κινδύνου κοκλίωσης

Αβεβαιότητα για τις πραγματικά εμφανιζόμενες εξωτερικές δυνάμεις

Ακατάλληλη σύσφιξη κοκλιών Μικροί κοκλίες μεγαλύτερη σύσφιξη μεγάλοι κοκλίες όχι αρκετή σύσφιξη

Καμπτική καταπόνηση κοχλία σε μονόπλευρη επαφή

Απώλεια προέντασης λόγω θερμικής διαστολής ή πλαστικής παραμόρφωσης

Πρόσθετη κρουστική καταπόνηση κατά την αλλαγή κατεύθυνσης

Αφ' εαυτού λύση όταν υπάρχουν δονήσεις

Χημική ή ηλεκτρολυτική επίδραση (σκουριά και διάβρωση)

Φθορά του σπειρώματος σε κοχλίες κίνησης

Θραύσεις σε κοχλίες που καταπονούνται δυναμικά στα σημεία που έχουν προαναφερθεί. Στην κεφαλή και στην αρχή του σπειρώματος απαιτείται στρογγύλευση ενώ στην άκρη του περικοχλίου (συχνότερη περίπτωση) χρήση περικοχλίου εφελκυσμού.

Κορμός του κοχλία

Εφελκυστική τάση

Οι κοχλίες δεν πρέπει να υποστούν μόνιμη παραμόρφωση άρα δεν πρέπει να φορτίζονται πέρα από το όριο διαρροής τους. Τα αυλάκια του σπειρώματος λειτουργούν ως εγκοπές, δηλαδή αυξάνουν τη στατική και μειώνουν τη δυναμική ικανότητα παραλαβής φορτίου.

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση είναι $\sigma = \frac{F_{max}}{A_2} = \frac{F_i + F_{eb}}{A_2} \leq \sigma_{\epsilon\pi} = 0.8 \cdot R_e$. Επίσης, ο κοχλίας δέχεται και μια

εναλλασσόμενη τάση εφελκυσμού για την οποία ισχύει $\sigma_A = \frac{F_{eb}}{2 \cdot A_3} \leq \sigma_{\alpha\epsilon\pi} = 0.7 \cdot \sigma_{AG}$ όπου $\sigma_{AG} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_A$.

Κοχλίες που καταπονούνται στατικά υπολογίζονται από τη σχέση (1), ενώ αν καταπονούνται δυναμικά υπολογίζονται από τις σχέσεις (1,2)

Καμπτική τάση

Αν οι εξωτερικές επιφάνειες των συνδεόμενων μερών δεν είναι παράλληλες τότε ο κοχλίας δέχεται καμπτική καταπόνηση η οποία υπολογίζεται από τη σχέση $\sigma = \frac{\delta \cdot E}{2} \cdot L$, όπου δ η μέγιστη απόσταση μεταξύ των γωνιών του κοχλία στη διεύθυνση του άξονα, E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του κοχλία και L το ενεργό μήκος του κοχλία.

Διατμητική τάση λόγω στρέψης

Η διατμητική τάση που αναπτύσσεται στον κορμό του κοχλία λόγω της στρεπτικής ροπής που απαιτείται για τη

σύσφιξη του υπολογίζεται από τη σχέση $\tau = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot d_3^3}$

Σύνθετη καταπόνηση

Στην περίπτωση κατά την οποία συνυπάρχουν ορθές και διατμητικές τάσεις σε μονοαξονική καταπόνηση τότε η

ισοδύναμη τάση υπολογίζεται με χρήση του κριτηρίου Μέγιστης Διατμητικής Τάσης ως $\sigma_{\epsilon\kappa} = \sqrt{\sigma_{\sigma\lambda}^2 + \alpha \cdot \tau_{\sigma\lambda}^2} \leq \frac{S_y}{N}$,

όπου $\alpha=3$ για Θεώρημα έργου παραμόρφωσης και $\alpha=4$ για Μέγιστης διατμητικής τάσης.

Από αυτή τη σχέση μπορεί να προκύψει και η μέγιστη επιτρεπόμενη δύναμη προέντασης

$$F_i, max = \frac{\sigma_{\epsilon\pi} \cdot A_s}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left(\frac{\tan(\rho' + \alpha) \cdot A_s \cdot d_2}{2 \cdot \pi \cdot \frac{d_s^3}{16}} \right)^2}}$$

Σπείρωμα του κοχλία

Διατμητική τάση

Η μέση διατμητική τάση του σπειρώματος του κοχλία λόγω στρεπτικής ροπής που απαιτείται για τη σύσφιξη υπολογίζεται από τη σχέση $\tau_\kappa = \frac{F_i}{\pi \cdot d_3 \cdot n \cdot b}$ όπου d_3 η εσωτερική διάμετρος του σπειρώματος, 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 $\tau_\pi = \frac{F_i}{\pi} \cdot d_1 \cdot n \cdot b$

Επιφανειακή τάση

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 ισχύει ότι $h_\pi = P \cdot n$. Επίσης η επιφάνεια του σπειρώματος που παραλαμβάνει τη δύναμη είναι $A_\sigma = n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1$, όπου H_1 το ύψος του σπειρώματος, επομένως $A_\sigma = \frac{h_\pi \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1}{P}$. Τα σπειρώματα καταπονούνται σε επιφανειακή πίεση σ_b για την οποία ισχύει $\sigma_b = \frac{F}{A_\sigma} \leq \frac{S_b}{N}$.

Από αυτή τη σχέση μπορεί να υπολογιστεί και το απαιτούμενο ύψος περικοχλίου ως $h_\pi = \frac{F}{\sigma_{b\epsilon\pi} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} \cdot P$

Επιφάνεια επαφής κεφαλής κοχλία ή περικοχλίου στα ελάσματα. Τότε ισχύει $p_A = \frac{F_v}{A_A} < p_{A\epsilon\pi}$, όπου A_A η ενεργός ελάχιστη επιφάνεια επαφής κεφαλής ή περικοχλίου και p_A η επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση των θλιβόμενων τεμαχίων ανάλογα με τα συνεργαζόμενα υλικά. (κανονικά αυτός ο έλεγχος είναι περιττός)

Καμπτική τάση

Καμπτική τάση του σπειρώματος ισούται με $\sigma = \frac{3 \cdot F_I \cdot h}{\pi \cdot d_m \cdot n \cdot b^2}$, όπου $d_m = \frac{d_2 + d_3}{2}$, h το ύψος του δοντιού, n ο αριθμός των σπειρών μέσα στο περικόχλιο και b το πλάτος του δοντιού.

Κοχλίες κίνησης

Οι κοχλίες κίνησης μπορεί να είναι μιας ή n αρχών.

Η ταχύτητα u ενός περικοχλίου σε $\frac{m}{s}$ που κινείται ευθύγραμμα με την περιστροφή του κοχλία υπολογίζεται από τον τύπο $u = \frac{n \cdot H}{60} \times 10^3$, όπου n ο αριθμός των στροφών του κοχλία σε $\frac{r}{m}$ και H η μετατόπιση σε mm

σε μια περιστροφή του κοκλίου. Αντίστοιχα, ο αριθμός στροφών $n = \frac{60 \times 10^3 \cdot u}{H}$. Το εξωτερικό αξονικό φορτίο σε κρ ενός περικοκλίου που κινείται ευθύγραμμα μετατοπίζεται με μια ροπή στρέψης εξόδου του κοκλίου T_k η οποία υπολογίζεται από τον τύπο $T_k = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\alpha \pm \rho')$. Το + χρησιμοποιείται όταν το εξωτερικό φορτίο F έχει φορά αντίθετη από αυτή της κίνησης.

Οι κοκλίες κίνησης καταπονούνται σε εφελκυσμό ή θλίψη ανάλογα με τη φορά του εξωτερικού φορτίου του περικοκλίου F και με την θέση στήριξης του κοκλίου. Επίσης καταπονούνται από τη ροπή στρέψης T_k που εφαρμόζεται στον κοκλίο. Ο υπολογισμός της ισοδύναμης τάσης γίνεται στον πυρήνα του σπειρώματος που

έχει διάμετρο d_1 και ισχύει $\sigma_{eq} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} \cdot \sqrt{1 + 12 \cdot \left[\frac{d_2}{d_1} \cdot \tan(\alpha \pm \rho') \right]^2}$

Αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη

Η αξονική δύναμη F που καταπονεί τον πυρήνα του κοκλίου σε εφελκυσμό η θλίψη και T η ροπή στρέψης τότε η τάση εφελκυσμού είναι ίση με $\sigma = \frac{F}{A_k}$ και $\tau_t = \frac{T}{W_t} = \frac{T}{0.2 \cdot d_3^3}$. Αν δε χρειάζεται να υπερνικηθούν άλλες δυνάμεις τότε η ροπή στρέψης είναι ίση με τη ροπή τριβής στο σπείρωμα $T = M_G = F \cdot r_2 \cdot \tan(\alpha \pm \rho')$

Αντοχή σε λυγισμό

Η ασφάλεια έναντι λυγισμού εξαρτάται από το βαθμό λυγρότητας λ του κορμού. Για χαλύβδινους κοκλίες ισχύει για $\lambda \geq 90$ υπολογισμός κατά Euler $S_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma} \cdot \lambda^2 \geq 3$ έως 6.

Ενώ για $\lambda < 90$ χρησιμοποιείται ο τύπος του Tetmajer $S_k = 335 - \frac{0.62 \cdot \lambda}{\sigma} \geq 1.75$ έως 4

Αντοχή σε πίεση επιφανείας

Η λειτουργία μίας κοκλιοκίνησης έχει σα συνέπεια τη φθορά των παρειών των σπειρωμάτων κοκλίου και περικοκλίου. Η μέση επιφανειακή πίεση υπολογίζεται ως $p_m = \frac{F \cdot h}{m} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot t_2 \leq p_{m\epsilon\pi}$, όπου F το αξονικό φορτίο του περικοκλίου σε κρ, h το απλό βήμα του σπειρώματος σε mm, m το ύψος του περικοκλίου σε mm, d_2 η μέση διάμετρος του σπειρώματος και t_2 το βάθος επαφής σε mm. Από αυτόν τον τύπο θα μπορούσε να υπολογιστεί το ύψος του περικοκλίου.