



ΚΕΦΑΛΑΙΟ

10

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

10.1 Οδοντώσεις

10.2 Ιμάντες

10.3 Αλυσίδες



Διδακτικοί στόχοι

Οι **διδακτικοί στόχοι** των ενότητων του κεφαλαίου αυτού, σε αντιστοιχία με τις ενότητες που περιλαμβάνει κάθε μέρος του, είναι:

- ☒ Να περιγράφετε και να αναγνωρίζετε το Σ.Μ. σε φυσική κατάσταση ή απεικόνιση ή σχέδιο, απομονωμένο ή συναρμολογημένο.
- ☒ Να περιγράφετε το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το Σ.Μ., να εξηγείτε τον τρόπο με τον οποίο τον επιτελεί και να αναφέρετε παραδείγματα χρήσης του.
- ☒ Να αναφέρετε τις κατηγορίες και τους τύπους του Σ.Μ., προσδιορίζοντας τα κριτήρια κατάταξης και τις ειδικές χρήσεις τους.
- ☒ Να αναφέρετε τα βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, τις βασικές διαστάσεις, τα συνήθη υλικά - τρόπους κατασκευής και τα στοιχεία τυποποίησης του Σ.Μ.
- ☒ Να περιγράφετε τις συνθήκες και να διατυπώνετε τους σχετικούς φυσικούς νόμους και τις εφαρμογές τους κατά τη λειτουργία του Σ.Μ.
- ☒ Να αναφέρετε τους βασικούς κανόνες ορθής τοποθέτησης - λειτουργίας - συντήρησης του Σ.Μ. και τα απαραίτητα μέσα για το σκοπό αυτό.
- ☒ Να σχεδιάζετε το Σ.Μ. με ελεύθερο χέρι (σκαρίφημα) και με όργανα, απομονωμένο ή συναρμολογημένο σε απλή διάταξη.

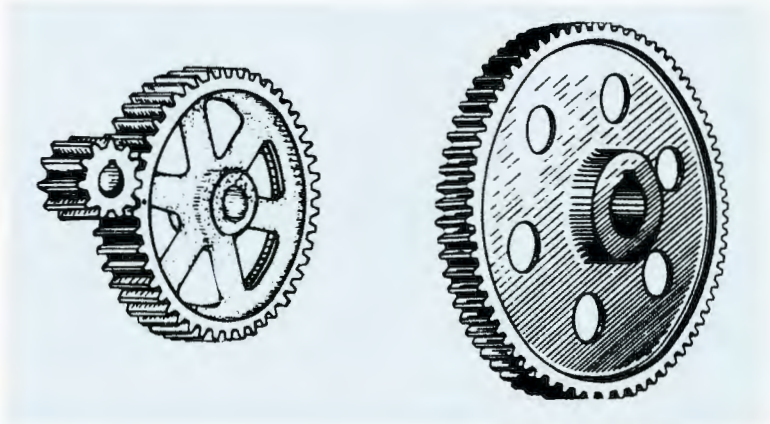
10.1 ΟΔΟΝΤΩΣΕΙΣ



10.1.1 Ορισμός - περιγραφή

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους μετάδοσης της περιστροφικής κίνησης είναι με τη χρήση εξαρτημάτων που φέρουν οδόντωση. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά είναι οι **οδοντωτοί τροχοί** (γρανάζια) διάφορων ειδών και μορφών, οι **οδοντωτοί κανόνες** και οι **ατέρμονες κοχλίες**. Τα εξαρτήματα αυτά συνεργάζονται σε ζεύγη, δηλαδή δύο γρανάζια, γρανάζι και οδοντωτός κανόνας, ατέρμονας κοχλίας και γρανάζι (κορώνα).

Ο οδοντωτός τροχός είναι συνήθως ένας ολόσωμος κύλινδρος ή δίσκος (για μικρές διαστάσεις) ή τροχός με βραχίονες. Πολλές φορές ο δίσκος έχει τρύπες για μείωση του βάρους του γραναζιού. Στο κέντρο του γραναζιού υπάρχει ο “ομφαλός” σύνδεσης με την άτρακτο, η “**πλήμνη**”, που φέρει το κατάλληλο αυλάκι για τη σφήνα, στη δε περιφέρειά του υπάρχει η “**οδόντωση**”.

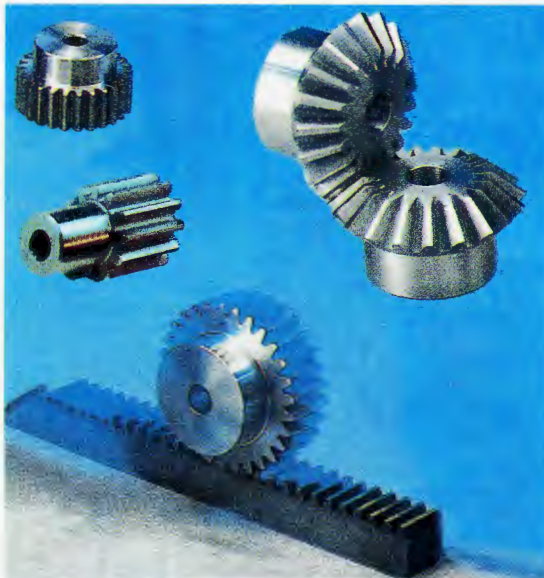


Εικ.10.1.α Οδοντωτοί τροχοί (ολόσωμος, με βραχίονες, δίσκος με τρύπες).

Για μικρές διαμέτρους και μικρό αριθμό δοντιών μπορεί η οδόντωση να διαμορφωθεί πάνω στην αντίστοιχη άτρακτο (μονοκόμματα).

Ο οδοντωτός κανόνας είναι μια ράβδος, συνήθως ορθογωνικής αρχικής διατομής.

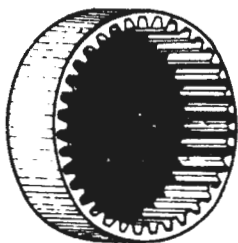
Η περιφερειακή επιφάνεια του οδοντωτού τροχού (στην περίπτωση των κωνικών γραναζιών η επιφάνεια αυτή είναι η παράπλευρη επιφάνεια ενός κόλουρου κώνου) και η επιφάνεια εργασίας του κανόνα έχουν διαμορφωθεί, ώστε να φέρουν διαδοχικές εσοχές (αυλάκια) και προεξοχές (δόντια) κατάλληλης μορφής και διαστάσεων (**οδόντωση**).



Εικ. 10.1.6 Οδοντώσεις: Παράλληλοι, κωνικοί τροχοί, οδοντωτός κανόνας.

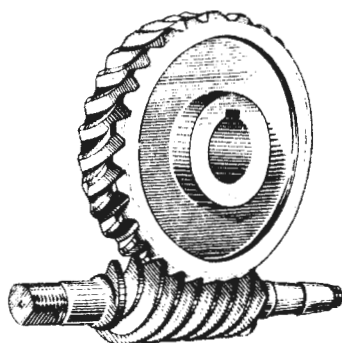
Πολλές φορές η οδόντωση διαμορφώνεται στην εσωτερική επιφάνεια της στεφάνης του οδοντωτού τροχού.

Ο ατέρμονας είναι ένας κύλινδρος που στην παράπλευρη επιφάνειά του έχει χαραχτεί ελίκωση με μία ή δύο συνήθως αρχές, όπως στους κοχλίες.



Εικ. 10.1.γ

Εσωτερική οδόντωση



Εικ. 10.1.δ

Ατέρμονας - κορώνα

Η εμπλοκή των οδοντώσεων των δύο συνεργαζόμενων στοιχείων, δηλαδή η συνεχής και διαδοχική είσοδος των δοντιών του ενός στις εσοχές (αυλάκια) του άλλου, έχει σαν αποτέλεσμα τη μετάδοση της κίνησης από το κινητήριο στο κινούμενο στοιχείο.

Εξυπακούεται ότι η μορφή και οι διαστάσεις των δοντιών συνεργαζόμενων στοιχείων είναι απολύτως ίδιες.

10.1.2 Λειτουργικός σκοπός - χρήσεις

Με τη βοήθεια των κατάλληλων οδοντώσεων είναι δυνατή η **μετάδοση κίνησης** σε περιπτώσεις ατράκτων με γεωμετρικούς άξονες παράλληλους, τεμνόμενους (υπό οποιαδήποτε γωνία) και ασύμβατους.

Εκτός από τη μετάδοση της κίνησης, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, επιτυγχάνουμε και **μετατροπή βασικών χαρακτηριστικών** της, δηλαδή των στροφών και της ροπής του κινούμενου άξονα σε σχέση με αυτές του κινητήριου. Οι αριθμητικές σχέσεις των μεγεθών αυτών θα δοθούν στην ενότητα 10.1.5.

Τέλος, στην περίπτωση του ζεύγους οδοντωτού τροχού - κανόνα, **μετατρέπεται** η περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη (ή αντίθετα).

Οι οδοντώσεις χρησιμοποιούνται στα κιβώτια ταχυτήτων των αυτοκινήτων και των εργαλειομηχανών, στο διαφορικό, το τιμόνι, τον εκκεντροφόρο και άλλους βοηθητικούς μηχανισμούς των αυτοκινήτων, στους μειωτή-

ρες (διατάξεις μετατροπής στροφών – ροπής), στις συνεργασίες κινητήριων μηχανών – εργομηχανών που δε συμπίπτουν οι γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων τους (αλλιώς χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι) και σε άλλες περιπτώσεις μετάδοσης που δεν απέχουν πολύ οι συνεργαζόμενες άτρακτοι.

Είναι κατάλληλες για απαιτήσεις μεγάλων ροπών, πολλών στροφών, ακρίβειας στη σχέση μετάδοσης, χαμηλού σχετικά θορύβου (ιδίως όταν είναι καλή η ποιότητα κατασκευής και λιπαίνονται) και μεγάλης διάρκειας ζωής με ελάχιστη συντήρηση.

10.1.3 Κατηγορίες - τύποι

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες μεταδόσεων κίνησης με οδοντώσεις και στην κάθε μία αντιστοιχούν ορισμένοι τύποι γραναζιών.

Γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων παράλληλοι.

Στην περίπτωση αυτή οι τροχοί είναι κυλινδρικοί και τα ίχνη των δοντιών τους μπορεί να είναι ευθύγραμμο (ίσια δόντια) ή ελικοειδή (λοξά δόντια). Οι παράλληλοι τροχοί με ελικοειδή δόντια είναι μεν πιο δαπανηροί κατασκευαστικά, αλλά προτιμούνται στις περιπτώσεις που απαιτείται ομαλή και ασφαλής λειτουργία με χαμηλά επίπεδα θορύβου, όπως π.χ. στα κιβώτια ταχυτήτων του αυτοκινήτου.

Τα πλεονεκτήματα των τροχών αυτών οφείλονται: α) στο γεγονός ότι η εμπλοκή κάθε δοντιού είναι σταδιακή όχι μόνο κατά την έννοια του ύψους αλλά και κατά την έννοια του μήκους του, αφού το ίχνος του δεν είναι παράλληλο με το γεωμετρικό άξονα του τροχού και β) στο ότι έχουν μεγαλύτερο βαθμό επικάλυψης από τους τροχούς με ίσια δόντια.

Μια απλή προσέγγιση της έννοιας του βαθμού επικάλυψης είναι “ο μέσος αριθμός των δοντιών ενός τροχού που συνεργάζονται ταυτόχρονα με τα αντίστοιχά τους του άλλου”. Πράγματι, για να εξασφαλιστεί η συνεχής και ομαλή μετάδοση, πρέπει να αρχίσει η εμπλοκή κάθε δοντιού, πριν ολοκληρωθεί η απεμπλοκή του προηγούμενου. Πρέπει λοιπόν ο βαθμός επικάλυψης να είναι λίγο μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Τα πλεονεκτήματα των ελικοειδών τροχών τους καθιστούν πιο κατάλληλους στις πολλές στροφές και στις μεγάλες δυνάμεις. Το τελευταίο οφείλεται στο γεγονός ότι για το ίδιο πάχος τροχού τα λοξά δόντια έχουν μεγαλύτερο μήκος από τα ίσια και κατά συνέπεια μεγαλύτερη εργαζόμενη διατομή για την παραλαβή των δυνάμεων.

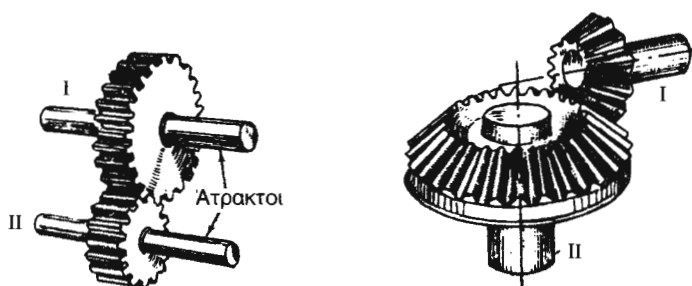
Οι ελικοειδείς τροχοί όμως έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα: Λόγω της μορφής τους, η περιφερειακή δύναμη που ασκεί το κάθε δόντι στο α-

ντίστοιχό του δεν είναι (ασύμβατα) κάθετη στον άξονα του τροχού αλλά πλάγια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν κατά τη μετάδοση αξονικές δυνάμεις, που, αν έχουν σημαντικές τιμές, απαιτούν για την παραλαβή τους αντίστοιχα έδρανα. Το μειονέκτημα αυτό εξαλείφεται με τη χρήση των γωνιωδών δοντιών, που κατασκευάζονται μεν δυσκολότερα, αλλά οι αξονικές δυνάμεις αλληλοεξουδετερώνονται (βλέπε εικ. 10.1.2ε).

Γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων τεμνόμενοι.

Χρησιμοποιούνται κωνικοί τροχοί που μπορεί να έχουν ίσια (δηλαδή κατά γενέτειρα) δόντια και πλάγια ή ελικοειδή δόντια. Η οδόντωση διαμορφώνεται στην περιφερειακή επιφάνεια κόλουρου κώνου.

Για τη σύγκριση μεταξύ κωνικών τροχών με ίσια και ελικοειδή δόντια, ισχύουν οι παρατηρήσεις που προαναφέρθηκαν για τους παράλληλους τροχούς.



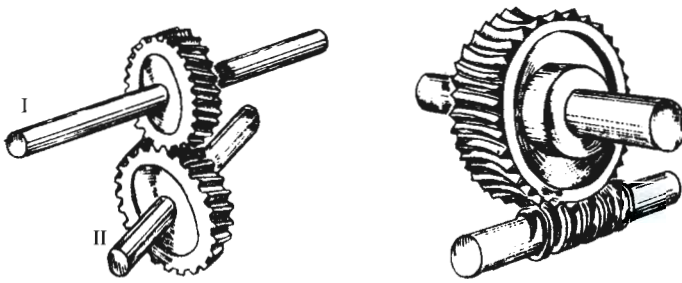
Εικ. 10.1.1ε. Οδοντώσεις για παράλληλους και τεμνόμενους άξονες

Γεωμετρικοί άξονες των ατράκτων ασύμβατοι.

Χρησιμοποιούνται ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί ή ζεύγος ατέρμονα κοχλία-οδοντωτού τροχού (κορώνας). Το ζεύγος ατέρμονα-κορώνας είναι πιο κατάλληλο σε περιπτώσεις μεγάλων σχέσεων μετάδοσης, έχει όμως μεγάλες απώλειες λόγω τριβών.

Στην περίπτωση των ασύμβατα κάθετων αξόνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κωνικά γρανάζια με ελικοειδή δόντια.

Τέλος μια ειδική μορφή οδοντοκίνησης είναι το ζεύγος γραναζιού-οδοντωτού κανόνα, οπότε έχουμε και μετατροπή της κίνησης από περιστροφική σε ευθύγραμμη και αντίστροφα. Και εδώ τα δόντια μπορεί να είναι ευθύγραμμα ή ελικοειδή.



Εικ. 10.1.στ Οδοντώσεις για ασύμβατους άξονες

10.1.4 Κατασκευαστικά στοιχεία

Υλικά κατασκευής

Τα πιο συνηθισμένα υλικά κατασκευής οδοντώσεων είναι τα κράματα του σιδήρου, δηλαδή χυτοσίδηροι και χάλυβες.

Ο χυτοσίδηρος, ιδιαίτερα ο σκληρός, έχει μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και στις φθορές από σκόνες, άμμο κ.λ.π. και γι' αυτό τον προτιμάμε για εργασίες σε περιβάλλον με τέτοια στοιχεία ή υγρασία.

Δεν είναι όμως κατάλληλος για μεγάλες ταχύτητες και μεγάλες απαιτήσεις κατασκευαστικής ακρίβειας.

Ο χάλυβας είναι πιο κατάλληλος για μεγάλες ταχύτητες και ακριβείς διαστάσεις, αλλά σε περιβάλλοντα με ρύπους και υγρασία χρειάζεται προστασία και λίπανση. Σε περιπτώσεις που η λειτουργία εμφανίζει κρουστικά φορτία οι χαλύβδινοι τροχοί υφίστανται επιφανειακή βαφή και σκλήρυνση (ενανθράκωση) μέχρι βάθους περίπου 1 mm. Διατηρούν έτσι εσωτερικά την ελαστικότητα του χάλυβα..

Όταν το βάρος της διάταξης επιβάλλεται να είναι όσο το δυνατό μικρότερο, χρησιμοποιούνται **κράματα του αλουμινίου**.

Χρησιμοποιούνται επίσης κοινοί και φωσφορούχοι **ορείχαλκοι**.

Όταν οι τροχοί εργάζονται σε διαβρωτικό και οξειδωτικό περιβάλλον, χρησιμοποιούνται ως υλικά κατασκευής **κεραμικά, συνθετικές ρητίνες και πλαστικά**. Τα τελευταία εργάζονται και με σχετικά χαμηλό θόρυβο, δεν έχουν όμως μεγάλη μηχανική αντοχή.

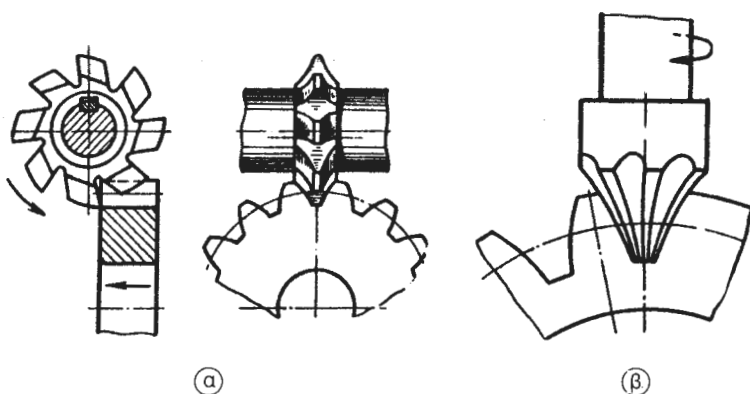
Μέθοδοι κατασκευής οδοντώσεων

Για μεγάλα δόντια και μικρές απαιτήσεις κατασκευαστικής ακρίβειας, η οδόντωση μπορεί να κατασκευαστεί με χύτευση, μαζί με τον τροχό. Πάντως τα χυτά δόντια δεν είναι κατάλληλα για περιφερειακές ταχύτητες

μεγαλύτερες από 2 m/s.

Οι οδοντώσεις κατά κύριο λόγο κατασκευάζονται με τη μέθοδο της αφαίρεσης υλικού (κοπή) σε ειδικές εργαλειομηχανές, τους γραναζοκόπτες. Πρόκειται για εξειδικευμένα μηχανήματα που απαιτούν πολλές ρυθμίσεις και έμπειρο και εκπαιδευμένο προσωπικό για το χειρισμό τους. Χρησιμοποιούν ως εργαλεία κοπτικές κοχλιωτές φρέζες, κοπτικούς οδοντοτροχούς και κοπτικά χτένια.

Για περιορισμένο αριθμό κομματιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η κοινή φρεζομηχανή με τη βοήθεια διαιρέτη. Τότε τα κοπτικά εργαλεία μορφής είναι δισκοειδείς φρέζες ή ειδικά “κονδύλια”.



Εικ. 10.1.1 Κοπή οδοντώσεων με φρέζα: α) με δισκοειδή φρέζα β) με κονδύλι

Βασικές διαστάσεις

Για να ορίσουμε τις βασικές διαστάσεις των οδοντώσεων, αρχικά θα αναφερθούμε στους απλούς παράλληλους τροχούς με ίσια δόντια (που άλλωστε είναι και οι πιο συνηθισμένοι) και στη συνέχεια θα εξειδικεύσουμε τα στοιχεία αυτά για τους άλλους τύπους.

Στους παράλληλους λοιπόν τροχούς διακρίνουμε:

- Την **περιφέρεια κεφαλών** (ή κορυφών), που περνάει από τις κορυφές των δοντιών και την αντίστοιχη **διάμετρο d_k** , που είναι και η μεγαλύτερη διάμετρος του τροχού.
- Την **περιφέρεια ποδιών**, που περνάει από τη βάση των δοντιών και την αντίστοιχη **διάμετρο d_f** , που είναι και η μικρότερη διάμετρος της οδόντωσης.
- Την **αρχική περιφέρεια**, που περνάει λίγο ψηλότερα από το μέσο

του ύψους του δοντιού και την αντίστοιχη **διάμετρο d_o** (ή **d**).

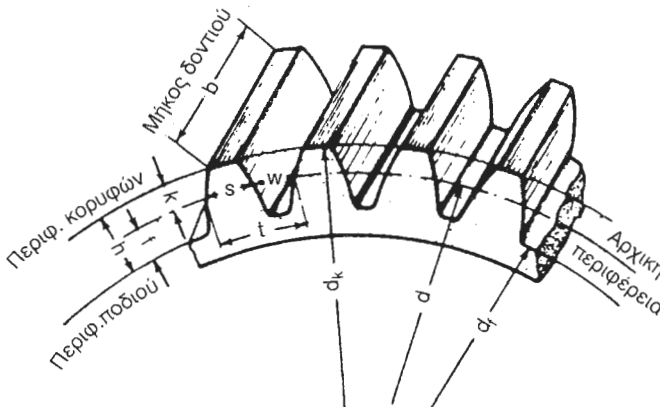
Στην περίπτωση κανονικών οδοντώσεων, οι αρχικές περιφέρειες δύο συνεργαζόμενων τροχών είναι πάντα **εφαπτόμενες** και κατά συνέπεια ταυτίζονται με τους “**κύκλους κυλίσεως**” των τροχών. Η αρχική διάμετρος είναι μια πολύ σημαντική διάσταση, γιατί η τιμή της χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς της αντοχής του τροχού και των άλλων διαστάσεών του.

- Το **βήμα** της οδόντωσης **t** . Είναι η απόσταση μεταξύ δύο αντίστοιχων σημείων δύο διαδοχικών δοντιών που μετρείται πάνω στην αρχική περιφέρεια, πρόκειται δηλαδή για **μήκος τόξου**.
- Το **ύψος κεφαλής h_k** και το **ύψος ποδιού h_f** . Είναι οι αποστάσεις των αντίστοιχων περιφερειών από την αρχική (μετρημένες σε ακτίνα). Το άθροισμά τους είναι το **ύψος του δοντιού h** .
- Το **πάχος δοντιού s** και το **διάκενο w** , που μετριοούνται επίσης ως τόξα πάνω στην αρχική περιφέρεια. Είναι περίπου ίσα και το άθροισμά τους προφανώς ισούται με το βήμα.

Το διάκενο είναι λίγο μεγαλύτερο από το πάχος του δοντιού και το ύψος ποδιού είναι επίσης λίγο μεγαλύτερο από το ύψος κεφαλής, ώστε να υπάρχει “**χάρη**” και ευχέρεια στη συνεργασία των δύο τροχών.

- Το **μήκος δοντιού b** .

Τέλος, ένας ακόμη χαρακτηριστικός αριθμός ενός οδοντωτού τροχού είναι ο **αριθμός των δοντιών του z** .



Εικ. 10.1.η Χαρακτηριστικά στοιχεία οδοντώσεων

Τυποποίηση - MODUL

Προκειμένου να γίνει οικονομία στο κατασκευαστικό κόστος των οδοντωτών τροχών, κυρίως στον τομέα των κοπτικών εργαλείων, αλλά και για να εξυπηρετηθεί η **εναλλαξιμότητα** μεταξύ των προϊόντων διάφορων κατασκευαστών, εφαρμόζεται και στις οδοντώσεις σε έκταση τυποποίηση, όσον αφορά τη μορφή και τις διαστάσεις τους.

Στη μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα **κανονικά** δόντια που έχουν συγκεκριμένη **κατατομή** (προφίλ) και που όλες οι διαστάσεις τους εξαρτώνται, όπως και στα σπειρώματα, από το **βήμα**. Εδώ, βέβαια, η τυποποίηση δεν μπορεί να προχωρήσει στην πλήρη αντιστοίχιση ονομαστικής διαμέτρου-βήματος, όπως στα σπειρώματα, γιατί η επιθυμητή κάθε φορά σχέση μετάδοσης επιβάλλει συνήθως τη συνεργασία τροχών με διαφορετικές διαμέτρους, αλλά φυσικά κοινό βήμα.

Στην ενότητα 8.2 ορίσαμε την έννοια της σχέσης μετάδοσης και δείξαμε ότι $d_1 / d_2 = \eta_2 / \eta_1$. Για τις οδοντώσεις η σχέση αυτή ισχύει προφανώς για τις αρχικές διαμέτρους, αφού οι αρχικές περιφέρειες είναι σε επαφή κατά τη συνεργασία των τροχών. Είναι έτσι $d_{o1} / d_{o2} = \eta_2 / \eta_1$.

Έτσι η αρχική διάμετρος, εκτός από βασικό μορφολογικό μέγεθος, αφού από αυτήν εξαρτάται το μέγεθος του τροχού και πάνω της μετριέται το βήμα, είναι και βασικό λειτουργικό μέγεθος στην οδοντοκίνηση.

Αν το γρανάζι έχει βήμα t και z δόντια, είναι $\pi d_o = z t$, αφού κάθε μέλος της σχέσης ισούται με το μήκος της αρχικής περιφέρειας. Επομένως είναι $d_o = z (t / \pi)$. Ο υπολογισμός σε αντοχή του δοντιού θα οδηγήσει σε κάποια ελάχιστη απαιτούμενη τιμή βήματος, αφού, όπως είπαμε, από αυτό εξαρτώνται όλες οι διαστάσεις του δοντιού. Άρα η αρχική διάμετρος θα έπρεπε να προκύψει (σύμφωνα με την τελευταία σχέση που αναφέραμε) από το συνδυασμό βήματος και επιθυμητού αριθμού δοντιών. Όμως ο z είναι ένας φυσικός αριθμός και ο π είναι άρρητος, με απειρίοριστο αριθμό δεκαδικών ψηφίων. Αυτό θα οδηγούσε σε άρρητη τιμή και τη διάμετρο, με αποτέλεσμα και δύσκολους στη συνέχεια υπολογισμούς και δυσχέρεια στην τυποποίηση, ιδιαίτερα αν διάφοροι κατασκευαστές διάλεγαν διαφορετική ακρίβεια προσέγγισης (1ο, 2ο, 3ο κ.λ.π. δεκαδικό).

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά, συμφωνήθηκε διεθνώς ο λόγος t / π να πάρει ορισμένες ρητές τιμές (σε mm) και να ονομαστεί **διαμετρικό βήμα ή modul (m)**. Έτσι είναι $m = t / \pi$, $d_o = z m$ και $m = d_o / z$. Η τελευταία σχέση εξηγεί και τον όρο "διαμετρικό βήμα", αφού δείχνει το μήκος της διαμέτρου που αντιστοιχεί σε κάθε δόντι.

Οι τιμές του modul (σε mm) περιλαμβάνονται στους πίνακες των διεθνών οργανισμών τυποποίησης DIN και ISO.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τιμές του modul σε mm για βήμα-

τα από 0,3 έως 150 mm περίπου (απόσπασμα από DIN 780).

0,1	0,12	0,16	0,20	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
6	8	10	12	16	20	25	32	40	50

Οι υπόλοιπες διαστάσεις τώρα του **κανονικού δοντιού** συμφωνήθηκε να έχουν τις εξής τιμές, σε συνάρτηση με το modul :

- Ύψος κεφαλής : $h_k = m$
- Ύψος ποδιού : $h_f = 1,17 m$
- Ύψος δοντιού : $h = 2,17 m$
- Πάχος δοντιού : $s = 0,5 t$ περίπου. Για χυτά ακατέργαστα δόντια είναι $s = (18 / 40) t$, ενώ για κατεργασμένα σε εργαλειομηχανές $s = (39 / 80) t$. Το υπόλοιπο μέρος του βήματος είναι το διάκενο w .
- Μήκος δοντιού : Το b εξαρτάται από την περιφερειακή δύναμη που καταπονεί το δόντι και την επιτρεπόμενη τάση του υλικού, αφού η επικίνδυνη διατομή είναι bs . Συνήθως παίρνει τιμές που είναι (6 -16) m.

Αφού η διάμετρος κεφαλών είναι $d_k = d_o + 2h_k$ και $h_k = m$, θα είναι $d_k = d_o + 2m = mz + 2m = m (z + 2)$. Άρα $d_k = m (z + 2)$.

Αγγλικό διαμετρικό θήμα (Pitch)

Για οδοντώσεις που κατασκευάζονται στις χώρες που ακόμα χρησιμοποιούν το Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων, η τυποποίηση βασίζεται στο αντίστοιχο με το modul μέγεθος, το **circular pitch** (c_p), που ισούται επίσης με t / π , ($c_p = t / \pi$) και μετριέται σε ίντσες.

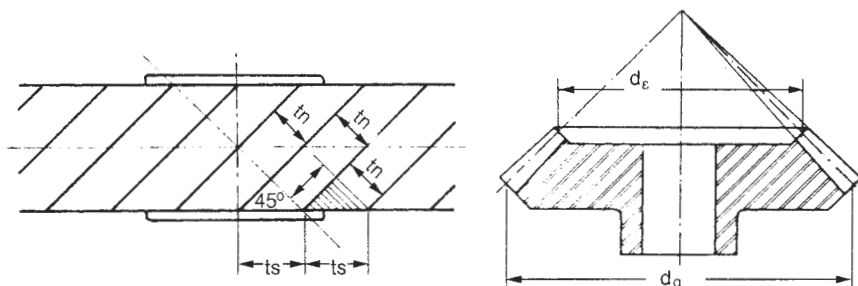
Υπάρχει επίσης και το αντίστροφο του c_p μέγεθος, το **diametrical pitch** (D_p) που μας δείχνει πόσα δόντια αντιστοιχούν σε μήκος 1'' της αρχικής διαμέτρου. Είναι $D_p = z / d_o$.

Στοιχεία άλλων τύπων γραναζιών

Στους ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς διακρίνουμε δύο βήματα: Το **μετωπικό** (t_s), που μετριέται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα του τροχού και το **κάθετο** (t_n), που μετριέται σε επίπεδο κάθετο στο ίχνος του δοντιού. Αντίστοιχα υπάρχουν και **μετωπικό και κάθετο modul**.

Για τη χάραξη των ελικοειδών οδοντώσεων χρησιμοποιείται το κάθετο modul.

Στους κωνικούς οδοντωτούς, αφού ο κόλουρος κώνος έχει δύο διαμέτρους, διακρίνουμε τη **μεγάλη ή εξωτερική** (d_a) και τη **μικρή ή εσωτερική** (d_e) **αρχική διάμετρο**. Επομένως θα υπάρχουν και δύο διαμετρικά βήματα (**modul**). Εκείνο που τυποποιείται είναι το μεγάλο και στη συνέχεια προσδιορίζονται τα υπόλοιπα στοιχεία της οδόντωσης με σχέσεις αντίστοιχες των παράλληλων τροχών.



Εικ. 10.1.9 Στοιχεία ελικοειδών και κωνικών γραναζιών

10.1.5 Συνθήκες - σχέσεις λειτουργίας

Θα εξετάσουμε και εδώ τις συνθήκες και τις σχέσεις των παράλληλων οδοντωτών τροχών.

Έστω ότι έχουμε σε εμπλοκή δύο τροχούς, τον κινητήριο (1) και τον κινούμενο (2). Διαδοχικά κάθε δόντι του (1) ασκεί δύναμη F στο αντίστοιχο του του (2), η οποία είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής τους. Ο (2) ασκεί βέβαια ίση και αντίθετη δύναμη στον (1). Ο τρόπος χάραξης των κατατομών των δοντιών (ώστε να εξασφαλίζεται η κύλιση του ενός πάνω στον άλλο με κύκλους κύλισης τις αρχικές περιφέρειες) έχει σαν αποτέλεσμα η διεύθυνση της F να περνά από το σημείο επαφής των αρχικών περιφερειών. Έτσι μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες: την ακτινική F_r (που έχει ως συνέπεια μια τάση απομάκρυνσης των ατράκτων) και την **περιφερειακή δύναμη** F_n που είναι εφαπτόμενη των αρχικών περιφερειών. Η δύναμη αυτή είναι η αιτία της ροπής M που αναγκάζει τον (2) να περιστρέφεται, είναι δε

$$M_2 = F_n R_2$$

όπου R_2 η ακτίνα του (2).

Σύμφωνα δε με όσα αποδείξαμε στην ενότητα 8.2 είναι

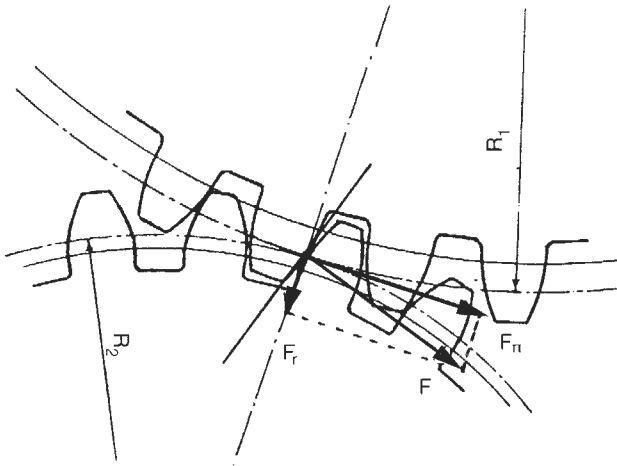
$$M_1 / M_2 = \eta_2 / \eta_1 = i$$

όπου i η σχέση μετάδοσης. Κάθε σημείο των αρχικών περιφερειών διαγράφει κύκλο με περιφερειακή ταχύτητα $\mathbf{v} = \mathbf{p}d\boldsymbol{\eta}$. Αφού όμως όσα δόντια του (1) περάσουν από το σημείο επαφής των αρχικών περιφερειών τόσα δόντια και του (2) θα περάσουν στον ίδιο χρόνο, οι δε αποστάσεις των αντίστοιχων σημείων των δοντιών είναι το βήμα, το οποίο είναι κοινό, συμπεραίνουμε ότι τα σημεία των αρχικών περιφερειών των τροχών έχουν την ίδια περιφερειακή ταχύτητα (ίδια τόξα στον ίδιο χρόνο).

Επομένως είναι $d_{o1}\eta_1 = d_{o2}\eta_2$ και $d_{o1} / d_{o2} = \eta_2 / \eta_1 = i$.

Αφού οι τροχοί έχουν κοινό βήμα και modul και είναι $m = d_o / z$, θα είναι $d_{o1} / d_{o2} = z_1 / z_2 = i$.

Η απόσταση των κέντρων των γραναζιών είναι $a = (d_{o1} + d_{o2}) / 2$.



Εικ. 10.1.1 Περιφερειακή F_t και ακτινική F_r δύναμη στις οδοντώσεις

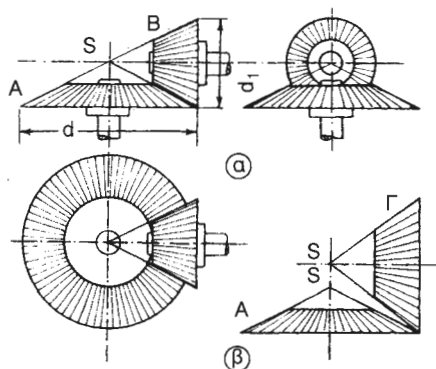
Σχέσεις λειτουργίας άλλων τύπων οδοντώσεων

- Για τους κωνικούς οδοντωτούς τροχούς, ισχύουν αντίστοιχες σχέσεις και συγκεκριμένα: αν είναι D_{o1} και D_{o2} οι μεγάλες (εξωτερικές) αρχικές διάμετροι και m το μεγάλο modul, τότε θα είναι :

$$m = D_{o1} / z_1 = D_{o2} / z_2 \quad \text{και} \quad D_{o1} / D_{o2} = z_1 / z_2 = \eta_2 / \eta_1 = i.$$

Για τη συνεργασία δύο κωνικών γραναζιών, πρέπει οι κορυφές των δύο κώνων από τους οποίους προέρχονται να συμπίπτουν, αλλιώς δεν είναι δυνατό να “κυλά” ο ένας τροχός πάνω στον άλλο. Άρα οι ημιγωνίες των

κώνων έχουν άθροισμα τη γωνία των αξόνων των ατράκτων. Έτσι, για συγκεκριμένη γωνία αξόνων, όταν οριστεί το ένα γρανάζι, αυτόματα ορίζεται πλήρως και το "ταίρι" του και δεν αρκεί η σύμπτωση των διαστάσεων των δοντιών και του βήματος (modul), για να είναι δυνατή η συνεργασία. Θα λέγαμε ότι αυτό είναι αντίστοιχο με αυτό που συμβαίνει στα παράλληλα γρανάζια, όπου, όταν είναι δεδομένη η απόσταση των αξόνων, είναι προσδιορισμένο μονοσήμαντα το ταίρι ενός γραναζιού.



Εικ. 10.1.1α Συνεργασία κωνικών γραναζιών :
Στην περίπτωση β η συνεργασία είναι αδύνατη

- Στους ελικοειδείς τροχούς ισχύουν οι ίδιες σχέσεις με τη χρησιμοποίηση βέβαια των μετωπικών modul.
- Στην περίπτωση ατέρμονα-κορώνας, αν ο ατέρμονας έχει z_1 αρχές και η κορώνα z_2 δόντια, η σχέση μετάδοσης είναι :

$$z_1 / z_2 = \eta_2 / \eta_1 = i$$

Η σχέση αυτή εξηγείται εύκολα, αν σκεφτούμε ότι: για κάθε στροφή (βήμα) της ελίκωσης (αρχής) του ατέρμονα η κορώνα έχει προχωρήσει (στραφεί) κατά ένα δόντι. Δείχνει ακόμη ότι με το συνδυασμό αυτό μπορούμε να πετύχουμε πολύ μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά σε μειωτήρες, όπου ο ατέρμονας είναι κινητήριος, η δε σχέση μετάδοσης είναι πολλαπλάσια εκείνης που μπορούμε να έχουμε με γρανάζια, όπου πρακτικά δεν μπορεί να ξεπεράσει συνήθως το $1/6$ και σπάνια το $1/8$.

10.1.6 Οδηγίες εφαρμογής - λειτουργίας

Κατασκευαστικοί περιορισμοί

● Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, η σχέση μετάδοσης με ένα ζευγάρι γρανάζια δεν μπορεί να ξεπεράσει το $1/8$.

Αν απαιτείται μεγαλύτερη τιμή χρησιμοποιούνται δύο (ή και περισσότερα) ζευγάρια με ενδιάμεσο άξονα. Τότε η συνολική σχέση είναι

$$i_{\text{ολ}} = i_1 \times i_2 \times i_3 \dots$$

Στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε, αν είναι δυνατό, να έχουμε όσο γίνεται περισσότερα ίδια γρανάζια για λόγους εναλλαξιμότητας. Αν π.χ. χρειαζόμαστε σχέση $i = 1/16$, χρησιμοποιούμε δύο γρανάζια με αρχική διάμετρο d_{o1} και δύο με d_{o2} , όπου $d_{o2} = 4d_{o1}$, οπότε $i = 1/4 \times 1/4 = 1/16$. Ας σημειωθεί εδώ ότι και ο ολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης είναι επίσης το γινόμενο των επί μέρους.

● Εκτός από τους περιορισμούς μεγέθους, υπάρχουν και άλλα στοιχεία καταλληλότητας της σχέσης μετάδοσης. Προτιμάμε σχέσεις της μορφής $1/2$, $1/3$, $1/4$ γιατί, αφού $i = z_1 / z_2$, ο z_2 είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του z_1 και έτσι κατά τη λειτουργία έχουμε συνεργασία των δοντιών του μεγάλου τροχού πάντα με τα ίδια δόντια του μικρού. Έτσι τα δόντια με τον καιρό “ταιριάζουν” και η εμπλοκή γίνεται ευκολότερα. Αν όμως πρόκειται για γρανάζια κακής ποιότητας κατασκευής, π.χ. χυτά και με ακατέργαστα δόντια, προτιμάμε σχέσεις της μορφής $2/3$, $2/5$, $3/5$ κ.λ.π., ώστε να έχουμε εναλλαγή στη συνεργασία και τυχόν φθορές να κατανέμονται σε πολλά δόντια.

● Όσον αφορά τον ελάχιστο αριθμό δοντιών ενός γραναζιού, αυτός δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 18 περίπου, με ειδικές δε χαράξεις μπορεί να είναι και 14 ή τουλάχιστον 12. Αυτό συμβαίνει, γιατί η χάραξη με τη μέθοδο της εξειλιγμένης δίνει, για μικρό z , αδύνατες βάσεις δοντιών, θόρυβο και φθορές κατά τη λειτουργία, επειδή υπάρχει τάση εισχώρησης της κορυφής του δοντιού στη βάση εκείνου με το οποίο συνεργάζεται (φαινόμενο υποκοπής).

Η λίπανση των γραναζιών

Η ανάγκη για λίπανση εξαρτάται από το περιβάλλον εργασίας και από την περιφερειακή ταχύτητα των γραναζιών. Η λίπανση εξασφαλίζει αθόρυβη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Για περιφερειακές ταχύτητες μέχρι περίπου 4 m/s μπορεί να χρησιμοποιηθεί γράσο. Για μεγαλύτερες τιμές α-

παιτείται εμβάπτιση σε ορυκτέλαιο. Αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από 10 m/s, είναι πιο αποτελεσματικός ο ψεκασμός του λιπαντικού πάνω στα δόντια.

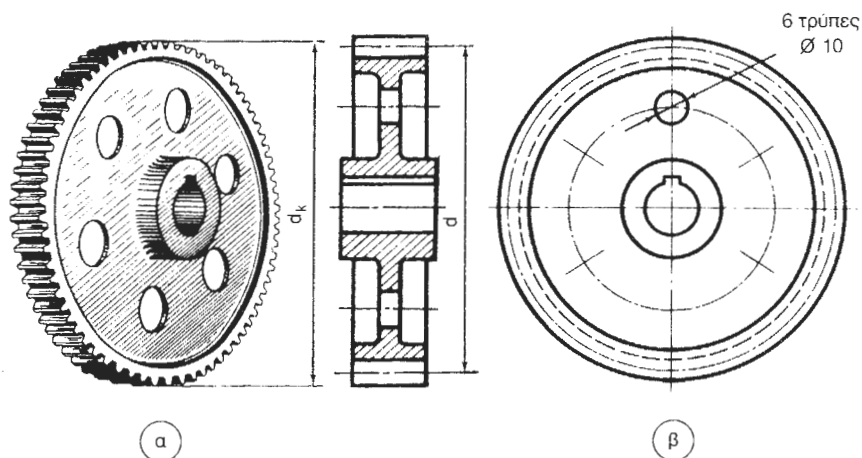
10.1.7 Σχεδίαση

Η σχεδίαση της κατατομής (μορφής) των δοντιών, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή συνεργασία τους (κύλιση), γίνεται με συγκεκριμένους τρόπους, όπως π.χ. η μέθοδος της “εξειλιγμένης”.

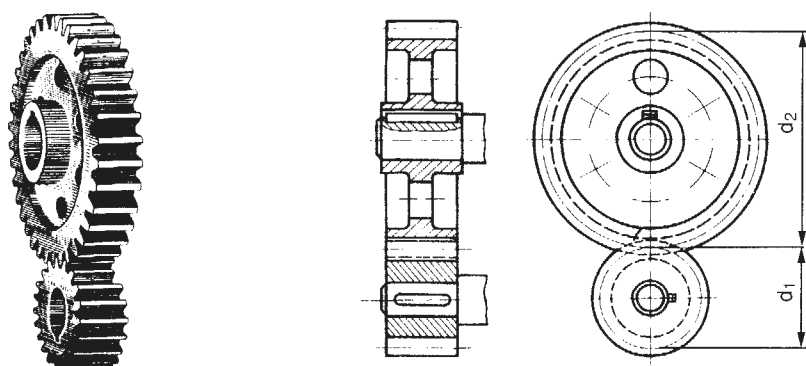
Η σχεδίαση αυτή πάντως είναι ένα εξειδικευμένο θέμα που αφορά όσους ασχοληθούν με την κατασκευή οδοντωτών τροχών και γι’ αυτό δε θα το αναπτύξουμε στο μάθημα αυτό.

Η σχεδίαση των οδοντωτών τροχών μπορεί να γίνει σύμφωνα με τους κανόνες του μηχανολογικού σχεδίου, με την επισημάνση ότι, σε περίπτωση τομής παράλληλης με τον άξονα του τροχού, **τα δόντια δε διαγραμμίζονται**.

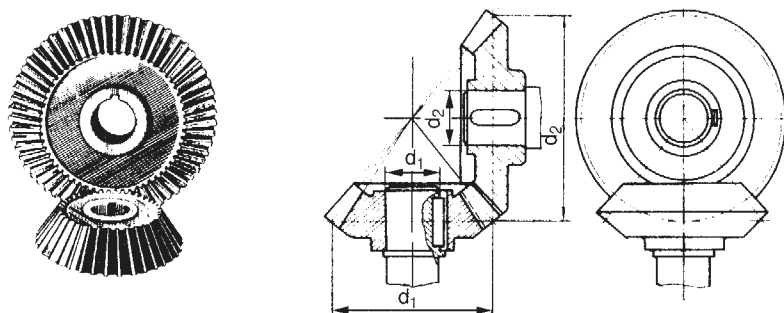
Επειδή όμως η πλήρης σχεδίαση όψης της οδοντοκίνησης είναι δύσκολη, συνήθως χρησιμοποιείται η συμβολική. Σύμφωνα με αυτή η οδόντωση αποδίδεται με τις τρεις περιφέρειες της : την περιφέρεια κεφαλών που σχεδιάζεται με την κύρια γραμμή του σχεδίου, την περιφέρεια ποδιών με διακεκομμένη ή πιο συνηθισμένα με λεπτή συνεχή γραμμή και την αρχική περιφέρεια με λεπτή αξονική γραμμή. Στην περίπτωση δύο τροχών σε εμπλοκή οι αρχικές περιφέρειες τους πρέπει να εφάπτονται.



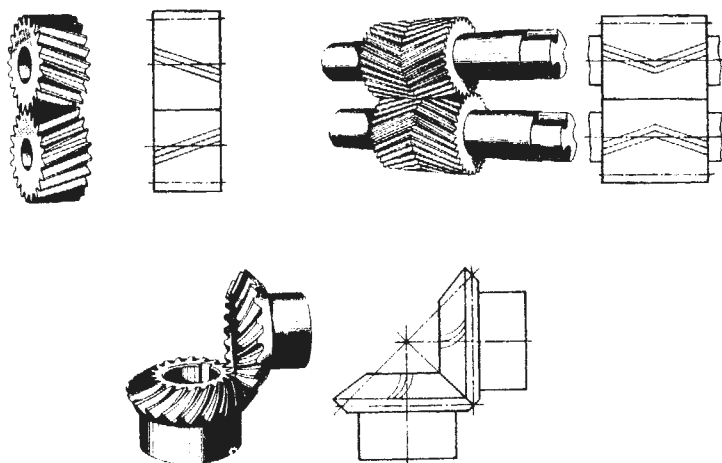
Εικ. 10.1.16 Σχεδίαση γραναζιού με παράλληλα δόντια



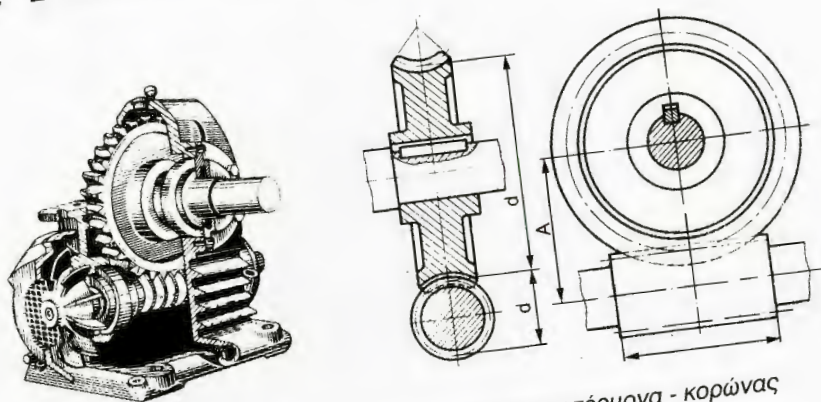
Εικ. 10.1.1γ Σχεδίαση συνεργαζόμενων γραναζιών με παράλληλα δόντια



Εικ. 10.1.1δ Σχεδίαση συνεργαζόμενων κωνικών γραναζιών με ίσια δόντια



Εικ. 10.1.1ε Συμβολική σχεδίαση γραναζιών με ελικοειδή δόντια



Εικ. 10.1.1στ Σχεδίαση συνεργασίας ατέρμονα - κορώνας

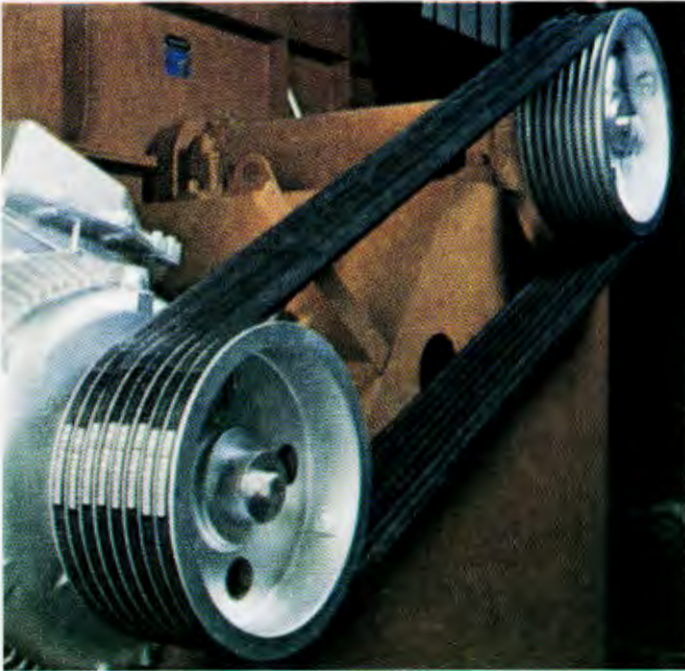
10.2 ΙΜΑΝΤΕΣ



10.2.1 Ορισμός - περιγραφή

Σε περιπτώσεις που η άμεση μετάδοση με τη χρήση οδοντώσεων δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω μεγάλης απόστασης των ατράκτων, χρησιμοποιούνται έμμεσοι τρόποι συνεργασίας των τροχών με τη βοήθεια ενδιάμεσου στοιχείου, δηλαδή ιμάντα (λουριού) ή αλυσίδας.

Στην ιμαντοκίνηση η διάταξη αποτελείται (στην απλούστερη μορφή της) από **δύο τροχαλίες** προσαρμοσμένες στην κινητήρια και την κινούμενη άτρακτο και τον κλειστό (ατέρμονα) **ιμάντα** που τις συνδέει, καλύπτοντας ένα μέρος της εξωτερικής τους περιφέρειας (τόξο επαφής). Το άθροισμα των δύο τόξων είναι προφανώς 360° .

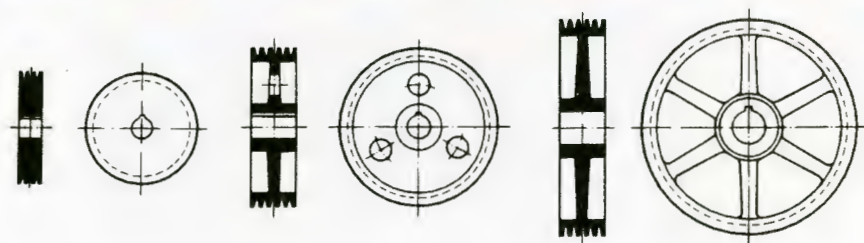
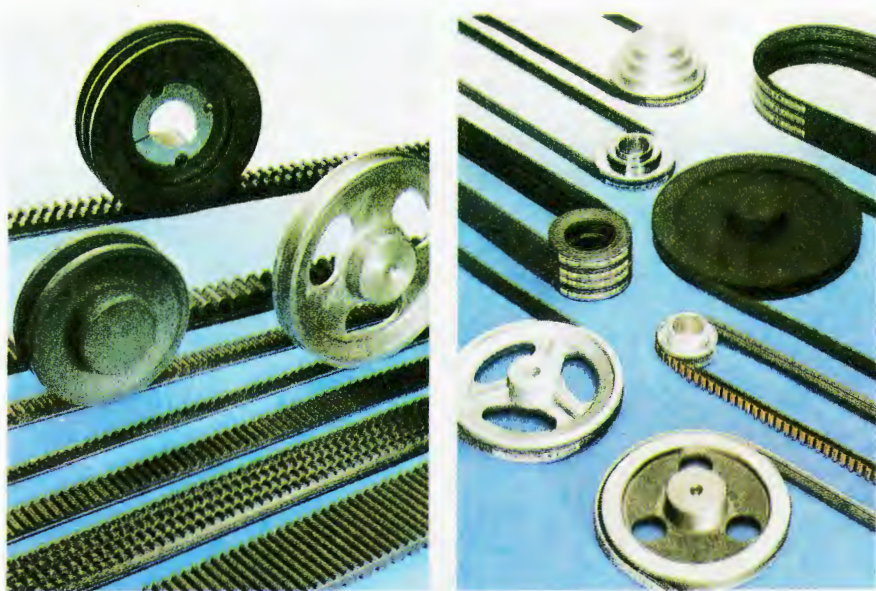


Εικ. 10.2.α Διάταξη ιμαντοκίνησης

Οι τροχαλίες είναι **ολόσωμα τύμπανα ή δίσκοι** ή, σε μεγάλες διαστάσεις, **τροχοί με θραχίονες** (ακτίνες) για μικρότερο βάρος. Στο κέντρο τους είναι διαμορφωμένη η **πλήμνη**, για τη σύνδεση με την άτρακτο. Η περιφερειακή τους **στεφάνη** έχει διάφορες μορφές, ανάλογα με τον τύπο του ιμάντα: μπορεί να είναι απλή κυλινδρική, με μικρή πλευρική κυρτότητα, με πατούρες για ασφάλεια μετακίνησης του λουριού και με ένα ή περισσότερα αυλάκια, συνήθως τραπεζοειδούς και σπάνια ημικυκλικής μορφής.

Όταν ο ιμάντας έχει στην εσωτερική του επιφάνεια οδόντωση, η στε-

φάνη της τροχαλίας έχει διαμορφωμένη αντίστοιχη οδόντωση, ίδιας μορφής και βήματος.



Εικ. 10.2.6 Τύποι τροχαλιών ιμαντοκίνησης. Ολόσωμη, δίσκος με τρύπες, ακτινωτή

Οι ιμάντες μορφολογικά χαρακτηρίζονται κυρίως από τη διατομή τους, που μπορεί να είναι **ορθογωνική, κυκλική ή τραπεζοειδής**. Όταν θέλουμε ακρίβεια στη μετάδοση, χωρίς ολίσθηση (γλίστρημα) του ιμάντα στην τροχαλία, η εσωτερική επιφάνεια του ιμάντα φέρει **οδόντωση**, η οποία βελτιώνει και την ευκαμψία του.

Στη συνέχεια (ενότητα 10.2.3) θα εξετάσουμε αναλυτικά τους διάφορους τύπους των ιμάντων ως προς τη μορφή και τα άλλα χαρακτηριστικά τους.

10.2.2 Λειτουργικός σκοπός - χρήσεις

Με τους ιμάντες γίνεται μετάδοση της περιστροφικής κίνησης από την κινητήρια στην κινούμενη άτρακτο, με δυνατότητα διατήρησης ή διαφοροποίησης των στροφών. Η σχέση μετάδοσης στροφών, για μια συγκεκριμένη διάταξη, μπορεί να είναι σταθερή ή να παίρνει διάφορες τιμές βαθμιαία (κλιμακωτά) ή ακόμα να μεταβάλλεται με συνεχή τρόπο σε μια προκαθορισμένη περιοχή τιμών. Αυτό γίνεται με τη μεταβολή της διαμέτρου ειδικών τροχαλίων. Σε κάθε περίπτωση οι ροπές των ατράκτων θα είναι αντιστρόφως ανάλογες των στροφών τους.

Ανάλογα με τον τύπο τους μπορούν να καλύψουν μια μεγάλη περιοχή τιμών για την περιφερειακή ταχύτητα, από 2 έως και 60 m/s.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τις περιοχές τιμών που μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά ο κάθε τύπος.

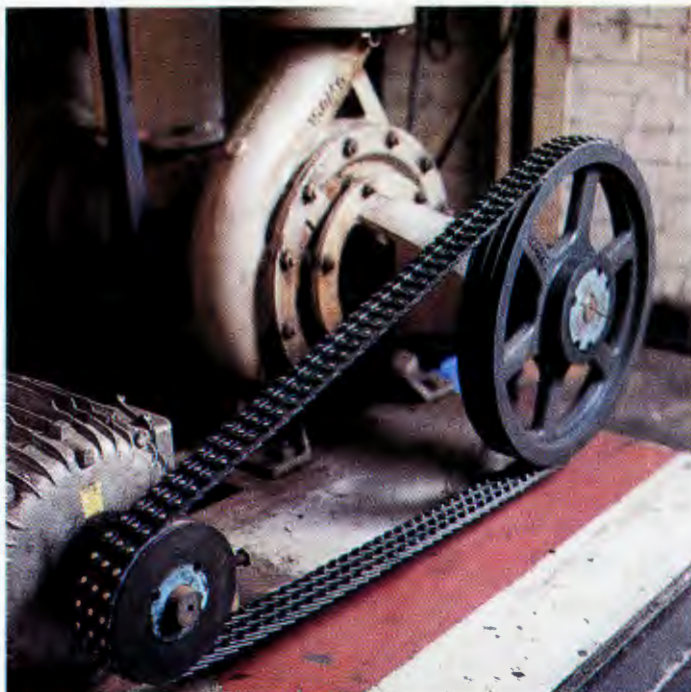
Ανάλογα με το μέγεθος και τα υλικά κατασκευής τους μπορούν να καλύψουν μια αρκετά μεγάλη περιοχή τιμών για τη μεταφερόμενη ισχύ.

Πάντως, κυρίως εξαιτίας της αντοχής των υλικών τους, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολύ μεγάλες ισχύεις (πάνω από 2000 PS), οπότε χρησιμοποιείται η οδοντοκίνηση ή η αλυσοκίνηση.

Ας σημειωθεί εδώ ότι, για τη μεταφορά ορισμένης ισχύος, όσο μικρότερη είναι η περιφερειακή ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη είναι η περιφερειακή δύναμη ($P = Fv$, ενότητα 8.2). Έτσι οι ιμάντες δεν προσφέρονται για πολύ μικρές ταχύτητες.

Οι ιμάντες, λόγω της ευκαμψίας τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιπτώσεις που οι άξονες των ατράκτων είναι ασύμβατοι, έως και ασύμβατα κάθετοι μεταξύ τους. Αν τοποθετηθούν με "διασταύρωση", μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις αντίθετης φοράς περιστροφής ατράκτων. Αυτό γίνεται και με ιμάντες που μπορούν να εργαστούν και με τις δύο επιφάνειές τους και συνηθίζεται σε περιπτώσεις που οι κινούμενες άτρακτοι είναι πολλές.

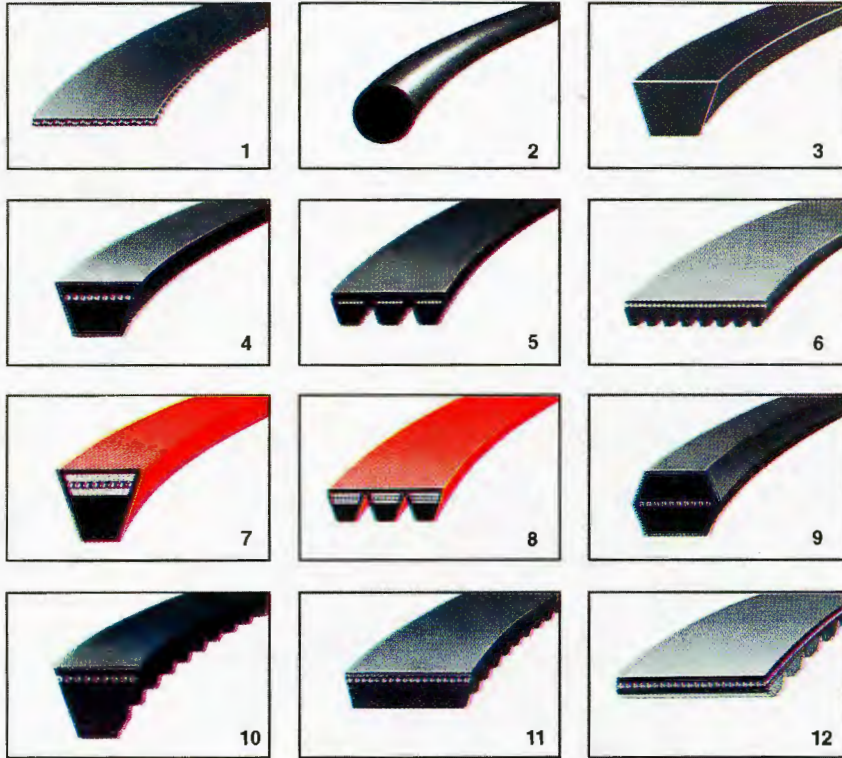
Η ιμαντοκίνηση χρησιμοποιείται, με τους περιορισμούς που αναφέραμε πριν, σε μια πολύ μεγάλη περιοχή εφαρμογών. Ενδεικτικά αναφέρουμε μεταδόσεις κίνησης σε ανεμιστήρες, αντλίες, συμπιεστές, πλυντήρια, εργαλειομηχανές, ξυλουργικές μηχανές, αυτοκίνητα, δονητές, μεταφορικές διατάξεις, υφαντουργικές και χαρτοποιητικές μηχανές.



Εικ. 10.2.γ Διάταξη ιμαντοκίνησης φυγόκεντρης αντλίας από ηλεκτροκινητήρα

10.2.3 Κατηγορίες - τύποι

Οι ιμάντες κατατάσσονται σε κατηγορίες με κύριο κριτήριο τη μορφή της διατομής τους. Έτσι έχουμε:



Εικ. 10.2.8 Τύποι ιμάντων : 1) επίπεδος, 2) κυκλικός, 3) κοινός τραπεζοειδής, 4,5,6) ενισχυμένοι τραπεζοειδείς, 7,8) στενοί ενισχ. τραπεζοειδείς, 10,11,12) ιμάντες χρονισμού με οδόντωση.

● **Επίπεδους ιμάντες.** Η διατομή τους είναι ορθογωνική και εργάζονται σε τροχαλίες με απλή κυλινδρική επιφάνεια, η οποία μπορεί να είναι και ελαφρά κυρτή για ασφαλή πρόσφυση. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο ιμάντας έλκεται προς τα σημεία που υπάρχει η μεγαλύτερη τάνυση, δηλαδή προς το μέσο της στεφάνης. Η κύρτωση αυτή δεν υπάρχει, όταν ο ιμάντας πρέπει να μετατοπίζεται πάνω στην κινούμενη και να περνά σε μια ελεύθερη τροχαλία για αποσύμπλεξη, χωρίς σταμάτημα της κινητήριας. Ο τύπος αυτός έχει σε μεγάλο βαθμό εκτοπιστεί από τους τραπεζοειδείς ιμάντες που παρουσιάζουν πλεονεκτήματα στην πρόσφυση ακόμα και με μικρή τάνυση.

● **Κυκλικούς ιμάντες.** Η διατομή τους είναι κυκλική και εργάζονται σε τροχαλίες που έχουν περιφερειακά αντίστοιχα αυλάκια. Χρησιμοποιούνται σε λίγες περιπτώσεις.

● **Τραπεζοειδείς ιμάντες.** Οι ιμάντες αυτοί είναι σήμερα οι πιο διαδεδο-

μένοι. Η διατομή τους είναι τραπεζοειδής. Στο πάνω μέρος της διατομής τους, μέσα από την επένδυση, έχουν χορδές για την παραλαβή των εφελκυστικών φορτίων. Διακρίνονται στους κανονικούς και στους στενούς ιμάντες. Συνήθως χρησιμοποιούνται πολλοί παράλληλοι κλάδοι και οι τροχαλίες έχουν αντίστοιχης μορφής ισάριθμα αυλάκια στην περιφερειακή τους στεφάνη. Οι κλάδοι μπορεί να είναι ανεξάρτητοι ή να συνδέονται στο πάνω μέρος τους αποτελώντας έναν “πολύκλαδο” ιμάντα.

Σε περιπτώσεις συχνής μεταβολής των στροφών, συνήθως χρησιμοποιούνται τραπεζοειδείς μεγάλου πλάτους με εσωτερική οδόντωση. Η οδόντωση αυτή είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις που η ολίσθηση είναι εντελώς ανεπιθύμητη (απαίτηση ακρίβειας κατά τη μετάδοση - ιμάντες χρονισμού) και οπωσδήποτε βελτιώνει την ευκαμψία του ιμάντα.

10.2.4 Κατασκευαστικά στοιχεία

Υλικά κατασκευής

– Οι **επίπεδοι ιμάντες** είναι συνήθως δερμάτινοι ή υφαντοί. Το δέρμα είναι ένα κατάλληλο υλικό ιμάντων λόγω του μεγάλου συντελεστή τριβής που έχει με τα υλικά των τροχαλιών. Η ευκαμψία του όμως ποικίλλει ανάλογα με το είδος και την επεξεργασία του.

Οι υφαντοί κατασκευάζονται με διάφορα φυτικά ή συνθετικά νήματα (βαμβάκι, αμίαντο, υαλοβάμβακα, νάυλον κ.λ.π.).

Κατασκευάζονται και ελαστικοί ιμάντες με συμπίεση βαμβακερών πλεγμάτων μέσα σε στρώματα ειδικών ελαστικών με ταυτόχρονη θέρμανση (βουλκανιζόρισμα).

– Οι **τραπεζοειδείς ιμάντες**, που συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα, κατασκευάζονται από μια ποικιλία υλικών, κυρίως συνθετικών, για τα διάφορα μέρη τους. Έτσι οι χορδές τους, οι οποίες παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές δυνάμεις, κατασκευάζονται από πολυεστέρες εμποτισμένους με ελαστικό. Η βάση είναι συνθετικό ελαστικό και το σύνολο καλύπτεται από επένδυση ανθεκτικού ελαστικού για προστασία των χορδών από φθορές, υγρασία κ.λ.π. Όταν πρόκειται για οδοντωτούς ιμάντες χρονισμού, τα δόντια είναι από ελαστικό μεσαίας σκληρότητας, η επένδυσή τους (συνήθως πολυουρεθάνη) έχει μικρό συντελεστή τριβής με τις τροχαλίες και οι χορδές μπορεί να είναι λεπτά χαλύβδινα σύρματα ή ίνες γυαλιού με ελικοειδές πλέξιμο.

– Οι **τροχαλίες** κατασκευάζονται συνήθως από χυτοσίδηρο ή για μεγάλες περιφερειακές ταχύτητες, από χυτοχάλυβα. Μπορεί να κατασκευα-

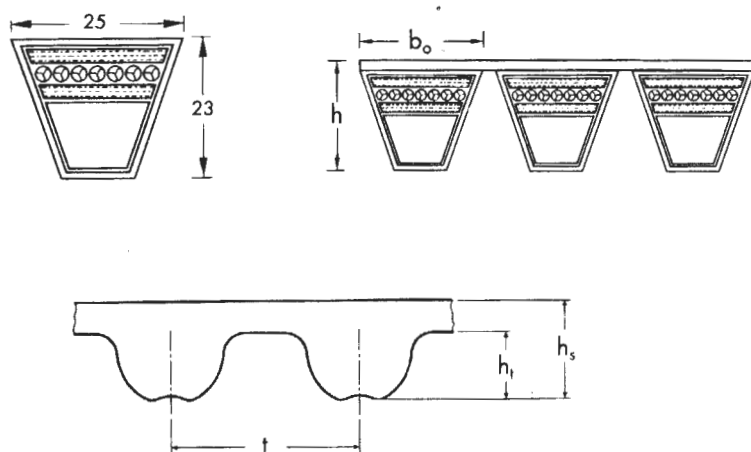
στούν και με συγκόλληση, οπότε είναι χαλύβδινες. Επίσης χρησιμοποιούνται ελαφρές τροχαλίες από κράματα αλουμινίου, πλαστικές και ξύλινες, για μικρή ταχύτητα και ισχύ.

Βασικές διαστάσεις

Λόγω της μεγάλης διάδοσης της ιμαντοκίνησης, οι βασικές διαστάσεις ιμάντων και τροχαλιών ακολουθούν διεθνή τυποποίηση για οικονομία και εναλλαξιμότητα.

Οι **επίπεδοι ιμάντες** χαρακτηρίζονται από το πλάτος **b** και το πάχος τους **s**, οι δε **κυκλικοί** από τη διάμετρό τους **d**. Και για τους δύο τύπους ενδιαφέρει και το μήκος τους **L**.

Οι **τραπεζοειδείς ιμάντες** χαρακτηρίζονται από το ύψος τους **h** και το πλάτος της μεγάλης πλευράς του τραπεζίου **b**. Ιδιαίτερα οι οδοντωτοί έχουν δύο ύψη, του ιμάντα **h_s** και του δοντιού **h_t**, ορίζεται δε και το βήμα τους **t**.



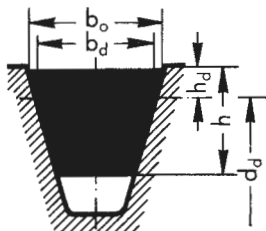
Εικ. 10.2.ε Διαστάσεις τραπεζοειδών ιμάντων

Οι ιμάντες κατασκευάζονται και κλειστοί (ατέρμονες, με τυποποιημένα μήκη) και ανοιχτοί (του μέτρου). Στη δεύτερη περίπτωση η σύνδεση των άκρων γίνεται με ραφή (στους επίπεδους), με ελάσματα (σαν τις αρμοκαλύπτρες), ή με τη χρησιμοποίηση ειδικών συνδετήρων μορφής ελατηρίου ή αγκίστρου.

Οι **τροχαλίες** των επίπεδων ιμάντων, χαρακτηρίζονται από τη διάμετρό τους **d** και το πλάτος τους **b₁**, που συνδέεται με το πλάτος του ιμάντα με τη σχέση **b₁ = 1,1 b + 10 mm**. Για λόγους προστασίας του ιμάντα από υπερβολική κάμψη, η διάμετρος της τροχαλίας συνήθως εκλέγεται 80 ως

100 φορές μεγαλύτερη από το πάχος του s .

Οι τροχαλίες των τραπεζοειδών ιμάντων χαρακτηρίζονται από τη διάμετρό τους και τις διαστάσεις του αυλακιού ή των αυλακιών τους. Εδώ βέβαια ακολουθούνται οι διαστάσεις της διατομής του ιμάντα με τη διαφορά ότι το βάθος του αυλακιού είναι μεγαλύτερο από το ύψος του ιμάντα. Αυτό γιατί, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, ο ιμάντας πρέπει να “πατάει” μόνο στις πλευρές του αυλακιού και όχι στη βάση του.



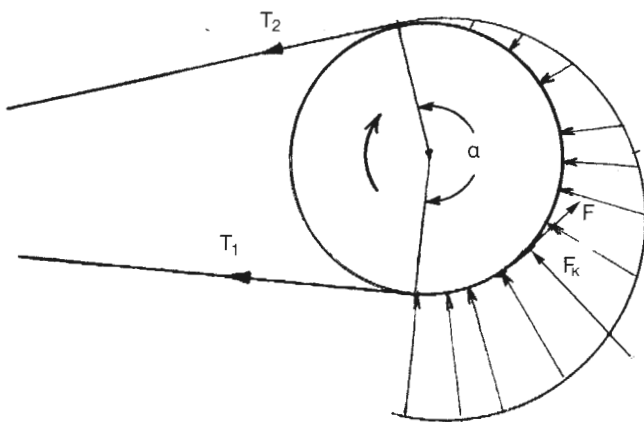
Εικ. 10.2.στ Αυλάκι τροχαλίας τραπεζοειδούς ιμάντα

Τέλος για τους οδοντωτούς ιμάντες, υπάρχει και το αντίστοιχο βήμα της τροχαλίας.

10.2.5 Συνθήκες - σχέσεις λειτουργίας

Στην ιμαντοκίνηση βασική προϋπόθεση καλής λειτουργίας είναι η σωστή αρχική **τάνυση** (τέντωμα) του ιμάντα. Αυτό γίνεται με απομάκρυνση των τροχαλιών με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων. Η τάνυση έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη **κάθετων δυνάμεων** (πίεσης) μεταξύ ιμάντα-τροχαλίας στην περιοχή του **τόξου επαφής**. Διακρίνουμε δύο κλάδους: τον **έλκοντα**, που αναγκάζει την κινούμενη τροχαλία να περιστραφεί και τον **ελκόμενο** που ακολουθεί. Η κατανομή των κάθετων δυνάμεων στο τόξο επαφής δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά ακολουθεί μια φθίνουσα μορφή από τον έλκοντα προς τον ελκόμενο κλάδο. Όταν η κινητήρια τροχαλία αρχίσει να περιστρέφεται, εξαιτίας των κάθετων δυνάμεων F_k , εμφανίζεται **δύναμη τριβής ολισθήσεως με περιφερειακή διεύθυνση** και έτσι αναγκάζεται να ακολουθήσει την περιστροφή και ο ιμάντας. Με τη σειρά του ο ιμάντας θα παρασύρει την κινούμενη τροχαλία, εξαιτίας αντίστοιχων δυνάμεων. Στην ηρεμία, λόγω συμμετρίας, οι τάσεις (εφελκυστικές δυνάμεις) των δύο κλάδων είναι ίσες (T_o). Κατά τη λειτουργία όμως, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής των κάθετων δυνάμεων, η τάση του έλκοντα κλάδου T_1 είναι μεγαλύτερη από του ελκόμενου T_2 . Η διαφορά τους $T_1 - T_2 = F$ είναι η

περιφερειακή δύναμη και αυτή παράγει τη στρεπτική ροπή $M = F d / 2$. Η διάταξη προφανώς δε θα λειτουργήσει, αν η F είναι μικρότερη από $2M_2 / d_2$, όπου M_2 η αντιστεκόμενη ροπή της κινούμενης τροχαλίας. Άρα η διαφορά $T_1 - T_2 = F$ είναι κρίσιμη για την ιμαντοκίνηση. Εξαρτάται δε από την αρχική τάνυση, το συντελεστή τριβής μ μεταξύ ιμάντα-τροχαλίας και την τιμή α του τόξου επαφής (σε ακτίνια).



Εικ. 10.2.ζ Ανάπτυξη περιφερειακής δύναμης F στην ιμαντοκίνηση

Είναι $T_1 / T_2 = e^{\mu\alpha}$. Για παράδειγμα, αν $\mu = 0,3$ και το τόξο περίπου 180° (π ακτίνια) είναι $T_1 / T_2 = 2,5$. Αυτό επίσης σημαίνει ότι, αφού $T_1 - T_2 = F$, θα είναι $T_1 = 1,66 F$ ή $F = 0,6 T_1$.

Αν το τόξο επαφής, για το ίδιο μ , γίνει π.χ. 150° , τότε $T_1 / T_2 = 2,2$ και $F = 0,55 T_1$. Αυτό σημαίνει ότι για την ίδια ροπή M_2 και την ίδια απαιτούμενη $F = 2M_2 / d_2$, χρειάζεται για τη λειτουργία μεγαλύτερη T_1 και επομένως μεγαλύτερος ιμάντας, ώστε να την αντέχει. Επίσης έχουμε τότε μεγαλύτερη καταπόνηση των ατράκτων και των εδράνων τους.

Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό, για την επιτυχημένη λειτουργία της ιμαντοκίνησης, το μέγεθος του τόξου επαφής.

Είπαμε ήδη ότι η περιφερειακή δύναμη F είναι καθοριστική για τη μεταφορική ικανότητα της ιμαντοκίνησης. Δείξαμε δε ότι η τιμή της εξαρτάται από την κάθετη δύναμη που εμφανίζεται μεταξύ ιμάντα -τροχαλίας. Έτσι εξηγείται και το πλεονέκτημα των τραπεζοειδών ιμάντων σε σύγκριση με τους επίπεδους.

Με τη σφηνοειδή κατατομή που έχουν οι ιμάντες αυτοί δημιουργούν επιφάνειες επαφής που σχηματίζουν οξεία γωνία με το επίπεδο των αρχικών τάσεων (έναντι 90° των επίπ. ιμάντων). Έτσι οι κάθετες δυνάμεις (στις πλευρικές επιφάνειες επαφής του αυλακιού) είναι μεγαλύτερες και

επομένως και η τριβή με την τροχαλία είναι μεγαλύτερη από εκείνη που επιτυγχάνεται με τους επίπεδους ιμάντες, για την ίδια αρχική τάνυση. Γι' αυτό και η περιφερειακή δύναμη και η μεταφερόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερες και η μετάδοση πιο ασφαλής από πλευράς ολίσθησης.

Αν θεωρήσουμε το μήκος του ιμάντα αμετάβλητο κατά τη λειτουργία, τότε όλα τα σημεία του έχουν την ίδια ταχύτητα. Αν επιπλέον δεχθούμε ότι δεν υπάρχει ολίσθηση μεταξύ ιμάντα - τροχαλιών, τότε και τα περιφερειακά σημεία των δύο τροχαλιών έχουν κοινή περιφερειακή ταχύτητα, αυτή που έχουν και τα σημεία του ιμάντα. Αφού λοιπόν

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2 = \pi d \boldsymbol{\eta}, \text{ θα είναι } \mathbf{d}_1 \boldsymbol{\eta}_1 = \mathbf{d}_2 \boldsymbol{\eta}_2 \text{ και } \mathbf{d}_1 / \mathbf{d}_2 = \boldsymbol{\eta}_2 / \boldsymbol{\eta}_1 = i.$$

Επίσης θα ισχύει η σχέση $\mathbf{M}_1 / \mathbf{M}_2 = \boldsymbol{\eta}_2 / \boldsymbol{\eta}_1$. Δηλαδή, όπως και στα γρανάζια, οι στροφές είναι αντιστρόφως ανάλογες των διαμέτρων των τροχαλιών και των στρεπτικών ροπών των ατράκτων.

10.2.6 Οδηγίες εφαρμογής - λειτουργίας

Η ιμαντοκίνηση είναι ένας πολύ απλός και οικονομικός τρόπος μετάδοσης της κίνησης, χωρίς απαιτήσεις σημαντικής συντήρησης.

Βέβαια πρέπει να διατηρούνται καθαρές οι επιφάνειες ιμάντα-τροχαλιών, γιατί λάδια ή σκόνες μπορεί να μειώσουν το συντελεστή τριβής και οξέα ή διαβρωτικά υγρά μπορεί να καταστρέψουν τον ιμάντα.

Η ιμαντοκίνηση όμως απαιτεί προσεκτική μελέτη και επιλογή των χαρακτηριστικών της, καθώς και πιστή εφαρμογή της μελέτης αυτής και των οδηγιών των κατασκευαστών.

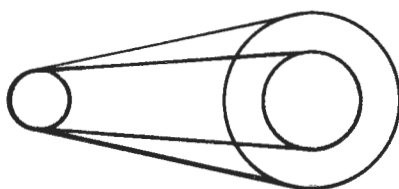
Ορισμένοι παράγοντες επιδρούν καθοριστικά στην καλή λειτουργία της και στη διάρκεια ζωής της. Ενδεικτικά παραθέτουμε κάποια στοιχεία από τη μελέτη και την εμπειρία των εφαρμογών.

⇒ Οι διάμετροι των τροχαλιών δεν πρέπει να επιλέγονται πολύ μικρές, γιατί έτσι καταπονείται πολύ ο ιμάντας σε κάμψη, όταν τυλίγεται στο τόξο επαφής. Όμως οι μεγάλες διάμετροι, εκτός από το μειονέκτημα όγκου-βάρους, έχουν ως αποτέλεσμα, για συγκεκριμένες στροφές και περιφερειακές ταχύτητες, μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις. Έτσι ο ιμάντας έχει μια τάση απομάκρυνσης από την τροχαλία, όχι καλή πρόσφυση και τελικά μείωση της περιφερειακής δύναμης και της μεταφορικής ικανότητας της ιμαντοκίνησης ή φαινόμενα ολίσθησης.

Μια καλή περιοχή τιμών διαμέτρου της κινούσας τροχαλίας, που συνήθως είναι η μικρότερη, αφού οι κινητήριες μηχανές είναι κατά κανόνα πολύ-στροφες, είναι $d = (80 \sim 100) s$, όπου s το πάχος του επίπεδου ιμάντα. Για τους τραπεζοειδείς ιμάντες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μικρότερες

τιμές, γιατί έχουν, λόγω υλικών και τρόπου κατασκευής τους, μεγαλύτερη ευκαμψία.

⇒ Η μεγάλη απόσταση των αξόνων των ατράκτων δίνει βέβαια μεγαλύτερες και ακριβότερες (λόγω μήκους ιμάντα) διατάξεις. Δεν είναι όμως σωστό να σχεδιάζονται διατάξεις με πολύ μικρές αποστάσεις αξόνων, γιατί τότε μειώνεται το τόξο επαφής στη μικρή (συνήθως κινητήρια) τροχαλία και αυτό, ιδιαίτερα όταν έχουμε μεγάλες σχέσεις μετάδοσης, δημιουργεί ολισθήσεις. Πρακτικά είναι ασφαλής μια απόσταση μεγαλύτερη κατά 2 m τουλάχιστον από το άθροισμα των διαμέτρων των τροχαλιών.



Εικ. 10.2.η Στη μεγάλη σχέση μετάδοσης μειώνεται το τόξο επαφής

⇒ Η μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα πρέπει να αποφεύγεται, γιατί έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη φυγόκεντρη δύναμη και κακή πρόσφυση. Όμως, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλης ισχύος, μικρή περιφερειακή ταχύτητα σημαίνει μεγάλη περιφερειακή δύναμη (για δεδομένη ισχύ $P=F \cdot v$). Έχουμε λοιπόν ανάγκη μεγαλύτερου ιμάντα και μεγαλύτερες καταπονήσεις των ατράκτων και των εδράνων. Μια καλή περιοχή επιλογής είναι τότε γύρω στα 20 m/s.

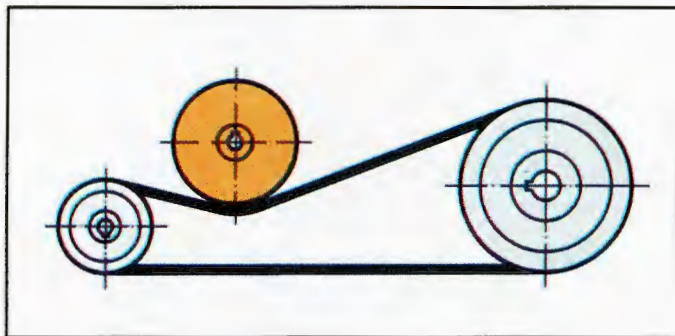
⇒ Η σχέση μετάδοσης στην πράξη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1 / 6, γιατί μειώνεται πολύ το τόξο επαφής στη μικρότερη τροχαλία. Αυτό, ιδιαίτερα όταν οι άξονες είναι κοντά, δημιουργεί επίσης προβλήματα κακής πρόσφυσης και ολίσθησης.

⇒ Το φαινόμενο της ολίσθησης πρέπει να αποφεύγεται όσο είναι δυνατό, γιατί έχει σαν αποτέλεσμα μείωση των πραγματικών στροφών της κινούμενης τροχαλίας και της ικανότητας της διάταξης. Είναι αποδεκτή μια μείωση της τάξης του 2 ~ 3 %. Δηλαδή, ενώ θεωρητικά θα είχα 100 στροφές το λεπτό, λόγω ολίσθησης έχω 98 ή 97.

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες που συνδέονται με την ολίσθηση, καθοριστικό ρόλο (και για την συνολικά καλή λειτουργία) παίζει η αρχική τάνυση (τέντωμα) του ιμάντα. Η εκτίμησή της γίνεται από το μελετητή της διάταξης με τη βοήθεια οδηγιών που δίνουν οι κατασκευαστές των ιμάντων. Επιτυγχάνεται με ειδικές διατάξεις απομάκρυνσης των τρο-

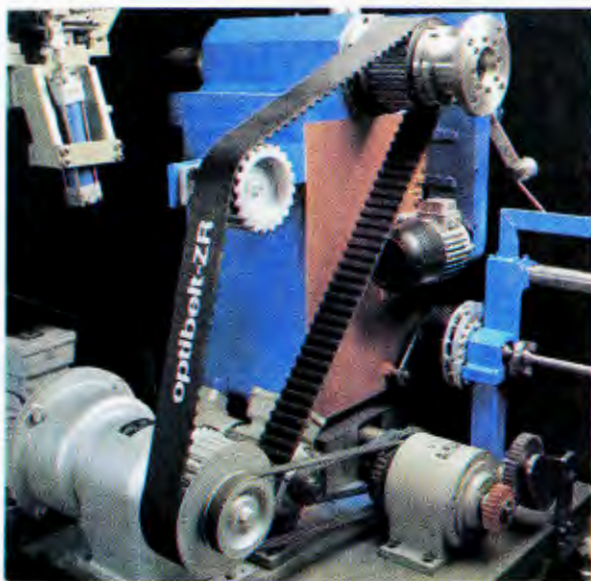
χαλιών και μετριέται με κατάλληλα όργανα.

Κατά τη λειτουργία όμως δεν μπορούμε να αποφύγουμε τη χαλάρωση του ιμάντα. Τότε συνηθίζεται η χρήση του **τανυστήρα**.



Εικ. 10.2.θ Σχηματική διάταξη τανυστήρα

Ο τανυστήρας είναι ένας τροχός που γυρίζει ελεύθερα στον άξονά του και τοποθετείται έτσι, ώστε να πιέζει τον ελκόμενο κλάδο. Έτσι αυξάνεται η τάνυση, μεγαλώνει το τόξο επαφής και έχουμε καλύτερη λειτουργία και μικρότερη καταπόνηση ατράκτων και εδράνων. Ας σημειωθεί ότι με τη βοήθεια του τανυστήρα, αφού μεγαλώνει το τόξο επαφής, μπορούμε να έχουμε και μεγαλύτερες σχέσεις μετάδοσης από $1/6$, καθώς και μικρότερες σχετικές αποστάσεις αξόνων.

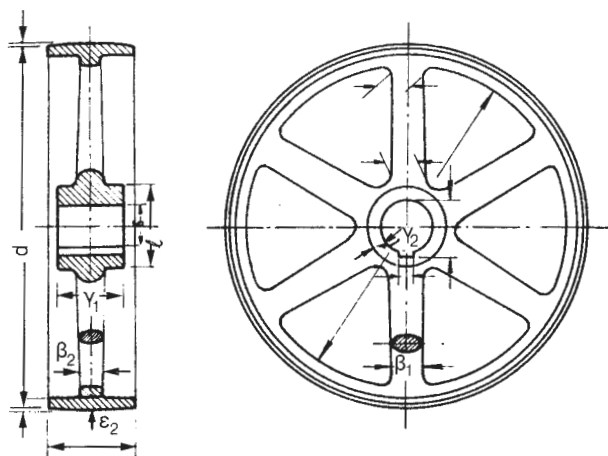


Εικ. 10.2.ι Τανυστήρας σε διάταξη ιμάντα χρονισμού

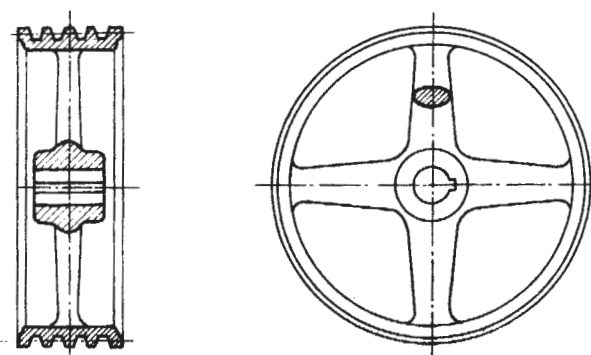
10.2.7 Σχεδίαση

Για την παράσταση της ιμαντοκίνησης συνήθως χρησιμοποιείται η σχηματική σχεδίαση. Έτσι οι τροχαλίες παριστάνονται με απλούς κύκλους, με την επισήμανση των κέντρων τους με αξονικές γραμμές. Οι ιμάντες παριστάνονται με το ίχνος τους σχεδιασμένο με τη βασική γραμμή του σχεδίου.

Αν πρόκειται για κατασκευαστικό σχέδιο τροχαλίας, τότε τηρούνται οι γνωστοί κανόνες του μηχανολογικού σχεδίου.

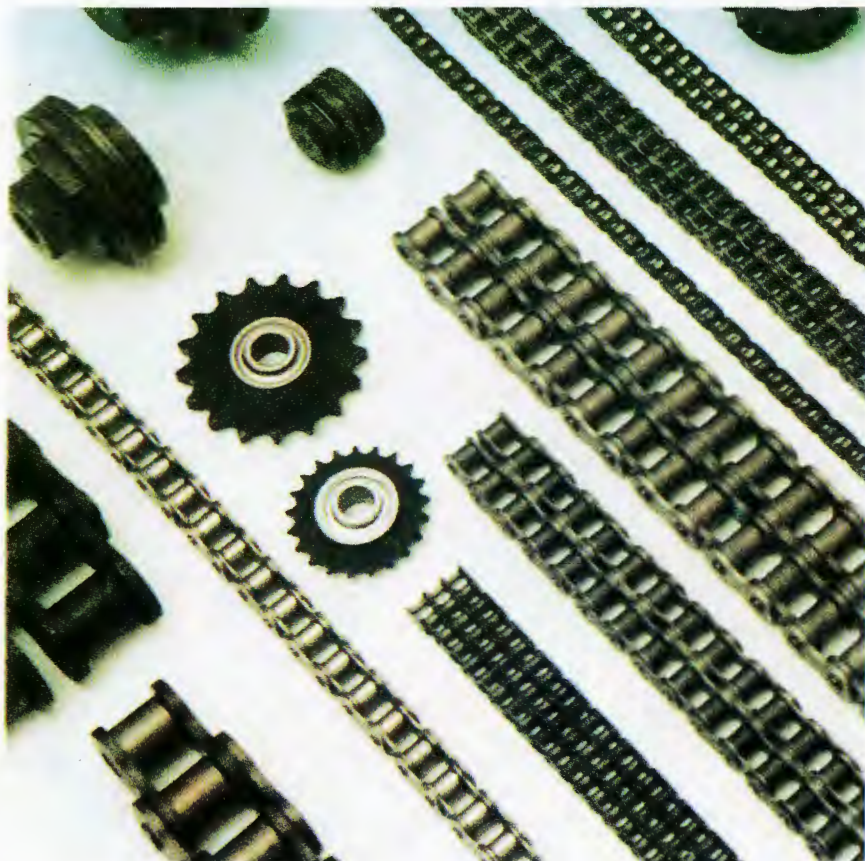


Εικ. 10.2.1α Σχεδίαση τροχαλίας επίπεδου ιμάντα



Εικ. 10.2.1β Σχεδίαση τροχαλίας τραπεζοειδούς (πολύκλαδου) ιμάντα

10.3 ΑΛΥΣΙΔΕΣ



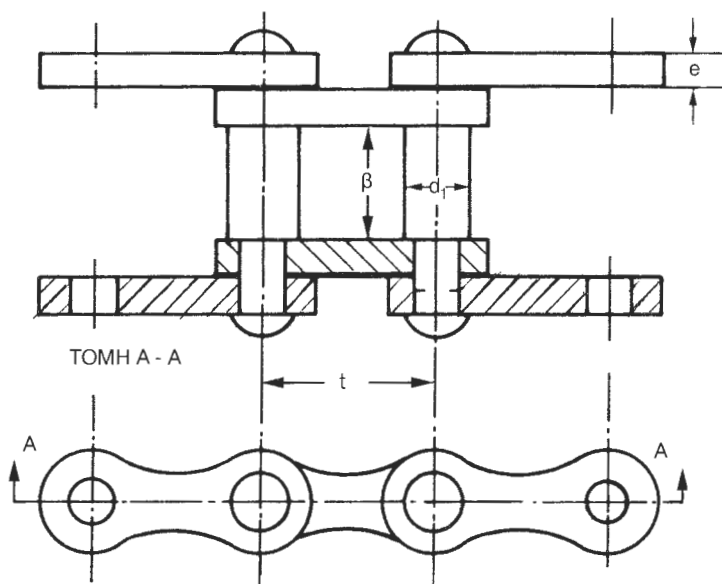
10.3.1 Ορισμός - περιγραφή

Ένας άλλος συνηθισμένος τρόπος μετάδοσης της περιστροφικής κίνησης είναι η αλυσοκίνηση. Η διάταξη στην περίπτωση αυτή, στην απλή μορφή της, αποτελείται από δύο **αλυσοτροχούς**, που είναι προσαρμοσμένοι στην κινητήρια και στην κινούμενη άτρακτο, και την κλειστή **αλυσίδα** που τους συνδέει.

Οι τροχοί, που μπορεί, όπως και στις οδοντώσεις να είναι ολόσωμοι ή με βραχίονες (ακτίνες), έχουν στην περιφέρειά τους διαμορφωμένα ειδικής μορφής δόντια, τα οποία εμπλέκονται με τα στοιχεία της αλυσίδας.

Οι αλυσίδες κινήσεως αποτελούνται από έναν (ανάλογο με το μήκος τους) μεγάλο αριθμό στοιχείων, που στην απλούστερη μορφή τους είναι κατασκευασμένα με τον εξής τρόπο: στις δύο άκρες ενός πείρου, όπου είναι διαμορφωμένες με κατάλληλες πατούρες, προσαρμόζονται πλευρικά

ελάσματα (λαμάκια) της μορφής που φαίνεται στο σχήμα. Τα ελάσματα αυτά ασφαλίζονται με κεφάλωμα ή κοπίλιες στους πείρους, με τρόπο που επιτρέπει τη στροφή τους γύρω από αυτούς. Έτσι διαμορφώνονται τα διαδοχικά στοιχεία και τελικά η κλειστή αλυσίδα.



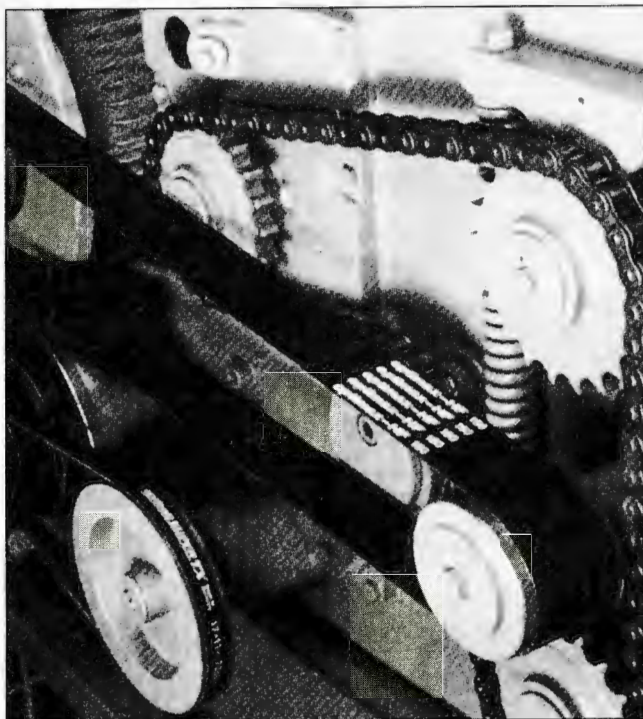
Εικ. 10.3.α Αλυσίδα με πείρους

Στη συνέχεια θα γνωρίσουμε και πιο σύνθετους τρόπους κατασκευής και συναρμολόγησης στοιχείων και αλυσίδων.

10.3.2 Λειτουργικός σκοπός - χρήσεις

Με την αλυσοκίνηση, όπως και με τους άλλους δύο τρόπους που ήδη γνωρίσαμε, είναι δυνατή η μετάδοση της περιστροφής από την κινητήρια άτρακτο στην κινούμενη, με διατήρηση ή μετατροπή της ταχύτητάς της, με βάση την επιθυμητή σχέση μετάδοσης. Οι ροπές των ατράκτων θα είναι και εδώ αντιστρόφως ανάλογες των στροφών τους.

Είναι κατάλληλες, όπως και οι ιμάντες, για περιπτώσεις ατράκτων που απέχουν πολύ μεταξύ τους, οπότε δε χρησιμοποιούνται γρανάζια λόγω των μεγάλων διαμέτρων που θα έπρεπε να είχαν. Επειδή δε το υλικό κατασκευής τους είναι ειδικοί χάλυβες μεγάλης αντοχής, είναι καταλληλότερες από τους ιμάντες σε περιπτώσεις μεγάλων ισχύων και δυνάμεων, όπου θα χρειαζόντουσαν ιμάντες μεγάλου όγκου.



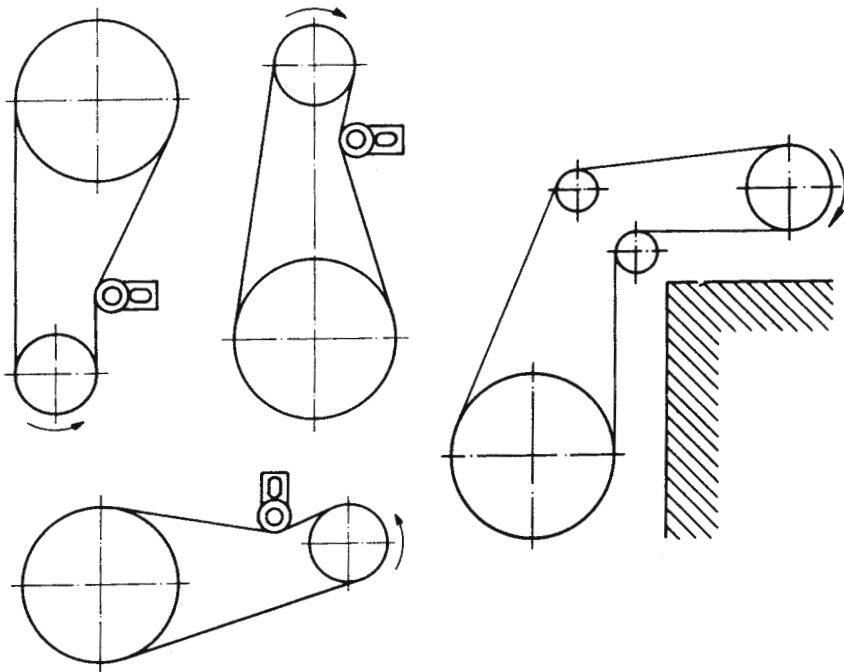
Εικ. 10.3.6 Αλυσοκίνηση για μεγάλη ισχύ

Ας θυμηθούμε εδώ ότι, όπως αναφέραμε στην εξέταση των ιμάντων, υπάρχουν περιορισμοί στην ελάχιστη ταχύτητά τους. Στις μικρές λοιπόν ταχύτητες χρησιμοποιούνται μόνο αλυσίδες. Βέβαια είναι ακριβότερες και πιο θορυβώδεις από τους ιμάντες, αλλά δεν παρουσιάζουν ολίσθηση και, με την κατάλληλη λίπανση και επιμελημένη κατασκευή, μπορεί να περιοριστεί ο θόρυβος και να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια για περιφερειακές ταχύτητες μέχρι 20 m/s.

Η αλυσοκίνηση εφαρμόζεται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε μηχανουργεία, μεταλλεία και γενικά σε περιπτώσεις μετάδοσης κίνησης μεγάλων φορτίων.

Για την εφαρμογή της αλυσοκίνησης, πρέπει οι άτρακτοι να είναι παράλληλοι και οι τροχοί να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Η πιο ευνοϊκή περίπτωση είναι, όταν οι άτρακτοι είναι οριζόντιοι και στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Μπορεί βέβαια να εφαρμοστεί αλυσοκίνηση και σε άλλες περιπτώσεις με την κατάλληλη όμως πλευρική υποστήριξη των αλυσίδων. Η υποστήριξη αυτή γίνεται με ειδικούς τροχούς, αντίστοιχους των τανυστήρων των ιμάντων.



Εικ. 10.3.γ Διατάξεις αλυσοκίνησης με τη βοήθεια τανυστήρων

10.3.3 Κατηγορίες - τύποι

Οι κοινές αλυσίδες με κρίκους, που κατασκευάζονται με κάμψη χαλύβδινης βέργας, είναι κατάλληλες για την έλξη ή ανύψωση φορτίων (**αλυσίδες δυνάμεων**) και δε χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης. Στην κίνηση έχουμε τις **αλυσίδες με στοιχεία**.

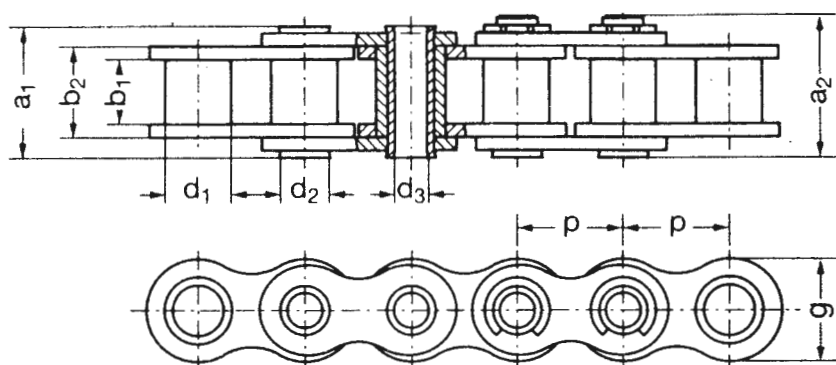
Αλυσίδες με πείρους

Είναι ο απλούστερος και φθηνότερος τύπος και διαμορφώνεται με τον τρόπο που αναφέραμε στην ενότητα 10.3.1. Δεν είναι κατάλληλος για μεγάλες ταχύτητες (πάνω από 0,5 m/s) και λόγω πολλών τριβών έχει μειωμένο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους άλλους τύπους.

Αλυσίδες με πείρους και δαχτυλίδια

Οι αλυσίδες αυτές συναρμολογούνται από δύο είδη στοιχείων που εναλλάσσονται διαδοχικά. Τα εσωτερικά στοιχεία αποτελούνται από τα εσωτερικά πλευρικά ελάσματα (λαμάκια) που στερεώνονται στα άκρα σωληνω-

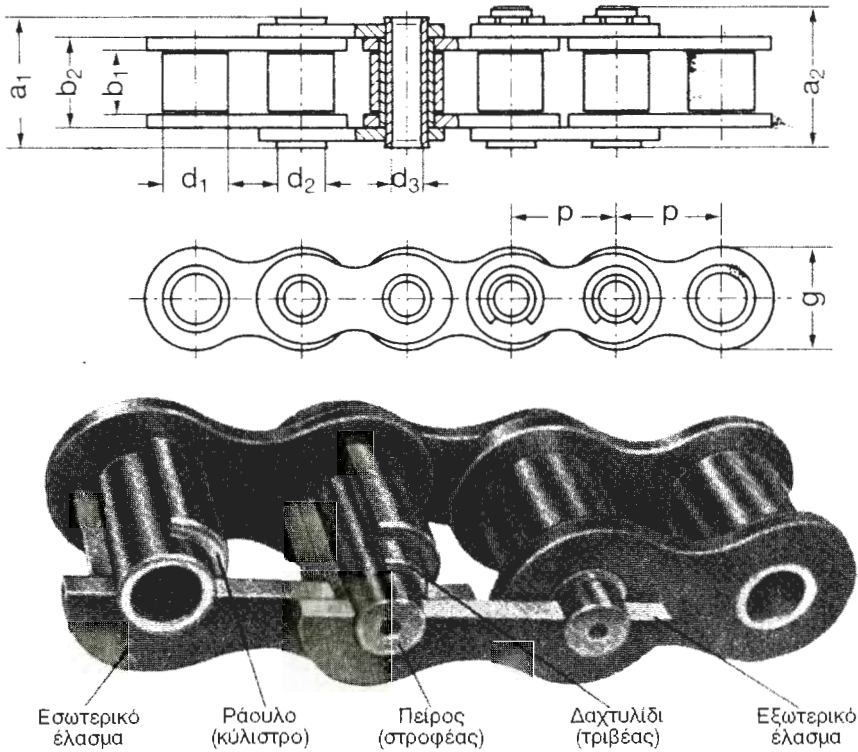
τών τριβέων (δαχτυλιδιών). Τα εξωτερικά στοιχεία αποτελούνται από τα εξωτερικά λαμάκια και τους πείρους, όπως στον απλό τύπο. Πριν συναρμολογηθούν, οι πείροι περνάνε μέσα στα δαχτυλίδια των εσωτερικών στοιχείων και μπορούν να περιστρέφονται ως προς αυτά, σαν να πρόκειται για τους στροφείς μικρών εδράνων. Έτσι συνδέεται κάθε στοιχείο με τα γειτονικά του. Ο τύπος αυτός πλεονεκτεί ως προς τον απλό, γιατί λειτουργεί με μικρότερο θόρυβο, μικρότερες τριβές και καλύτερο βαθμό απόδοσης. Μπορεί να κατασκευαστεί και σε περισσότερες από μία παράλληλες σειρές στοιχείων, οπότε αντέχει και σε μεγαλύτερα φορτία.



Εικ. 10.3.5 Αλυσίδα με πείρους και δαχτυλίδια (χιτώνια)

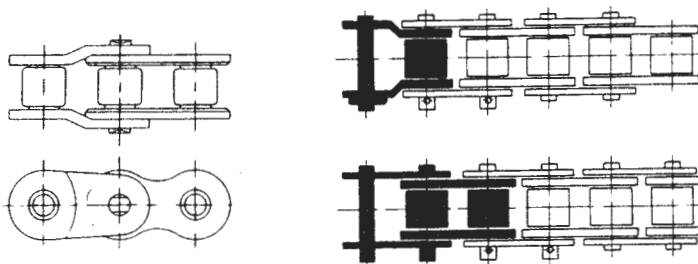
Αλυσίδες με ράουλα

Αν εξωτερικά από τους δαχτυλίδια του προηγούμενου τύπου περασθούν ελεύθερα σωληνωτά κύλινδρα (ράουλα), χωρίς σύνδεση με τα λαμάκια, έχουμε έναν πιο βελτιωμένο τύπο από άποψη θορύβου και απωλειών τριβών. Ο λόγος είναι ότι κατά ένα μέρος η τριβή ολίσθησης μετατρέπεται σε τριβή κύλισης μέσω των ράουλων. Και αυτός ο τύπος κατασκευάζεται και με περισσότερες σειρές στοιχείων (διπλές, τριπλές κ.λ.π αλυσίδες). Πάντως, λόγω μεγαλύτερου όγκου των στοιχείων του, δεν είναι εξυπηρετικός στα πολύ μεγάλα φορτία.



Εικ. 10.3.ε Αλυσίδες με ράουλα

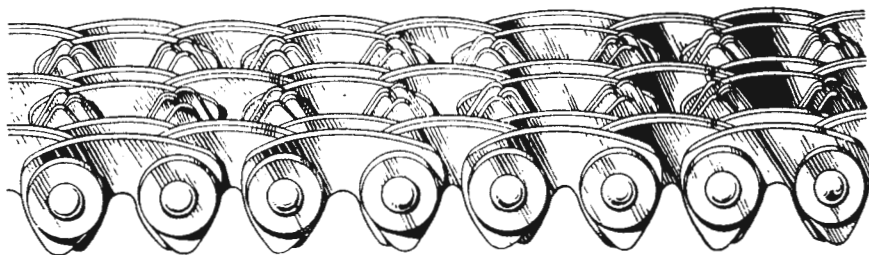
Για τους δύο τελευταίους τύπους πρέπει να σημειώσουμε ότι επιδιώκουμε να αποτελούνται από άρτιο (ζυγό) αριθμό στοιχείων, ώστε να εναλλάσσονται εσωτερικά και εξωτερικά στοιχεία. Στις περιπτώσεις που ο αριθμός των στοιχείων είναι περιττός (μονός), χρησιμοποιούνται ειδικά στοιχεία που τα λαμάκια τους έχουν καμφθεί με κατάλληλο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση ομοειδών.



Εικ. 10.3.στ Ειδικά εξωτερικά (κεκαμμένα) ελάσματα

Οδοντωτές αλυσίδες

Τέλος υπάρχει και ένας τύπος αλυσίδων με δόντια, που συνεργάζεται με κατάλληλα διαμορφωμένους τροχούς και έχει το πλεονέκτημα του πολύ χαμηλού θορύβου. Με κατάλληλη λίπανση μπορεί να εργαστεί και σε μεγαλύτερες ταχύτητες από τους άλλους.



Εικ. 10.3.ζ Αλυσίδες με δόντια

10.3.4 Κατασκευαστικά στοιχεία

Υλικά κατασκευής

Τα εξαρτήματα των στοιχείων των αλυσίδων κατασκευάζονται από ειδικούς χάλυβες καλής ποιότητας. Τα πλευρικά ελάσματα (λαμάκια) κόβονται από χάλυβα ταινίας και η διάνοιξη των οπών τους γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Οι πείροι λειαινούνται με επιμέλεια για τον περιορισμό των τριβών και των φθορών. Τα δαχτυλίδια κατασκευάζονται (τυλίγονται) επίσης από χάλυβα ταινίας και τους γίνεται επιφανειακή ενανθράκωση για αύξηση της αντοχής τους σε επιφανειακές πιέσεις. Τα ράουλα κατασκευάζονται με ολκή σε ειδικές μηχανές και υφίστανται και αυτά επιφανειακή κατεργασία και λείανση.

Οι αλυσοτροχοί μπορούν να κατασκευαστούν, όπως οι οδοντωτοί τροχοί και οι τροχαλίες της ιμαντοκίνησης, χυτοί από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα. Για μεγαλύτερες απαιτήσεις κατασκευαστικής ακρίβειας, ώστε να έχουμε μικρότερο θόρυβο και καλύτερο βαθμό απόδοσης, κατασκευάζονται με κοπή των δοντιών τους (για καλύτερη ποιότητα και με επιφανειακή κατεργασία) και τότε το υλικό είναι χάλυβας.

Βασικές διαστάσεις

Οι βασικές διαστάσεις των αλυσίδων είναι :

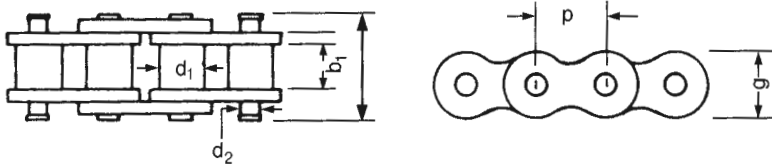
- ✓ το βήμα (t ή p), που είναι η απόσταση των αξόνων των πείρων

- ✓ η εξωτερική διάμετρος d_1 των δαχτυλιδιών ή των ράουλων
- ✓ η απόσταση b_1 των ελασμάτων των εσωτερικών στοιχείων.

Οι διαστάσεις αυτές είναι φανερό ότι έχουν άμεση σχέση με το βήμα και τις διαστάσεις των δοντιών των αλυσοτροχών.

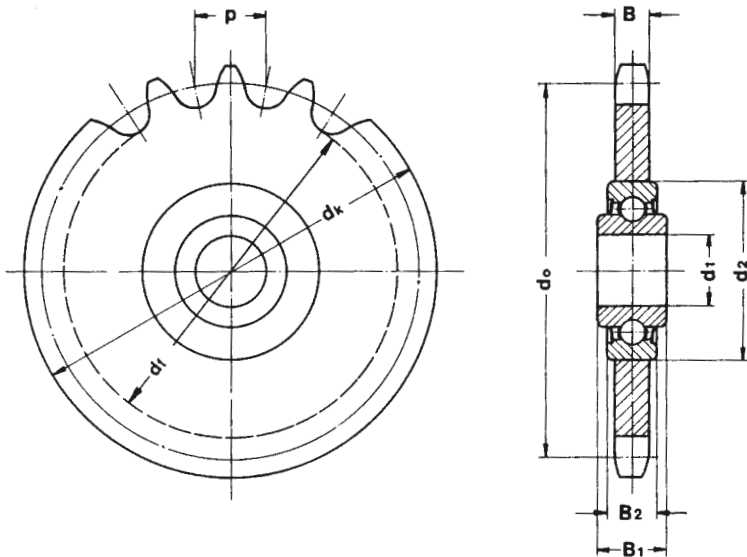
Άλλες (εξωτερικές) διαστάσεις είναι το πλάτος της αλυσίδας l και των ελασμάτων g καθώς και η διάμετρος των πείρων d_2 .

Οι διαστάσεις των αλυσίδων είναι τυποποιημένες σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN 8187 και 8188.



Εικ. 10.3.η Χαρακτηριστικές διαστάσεις αλυσίδων

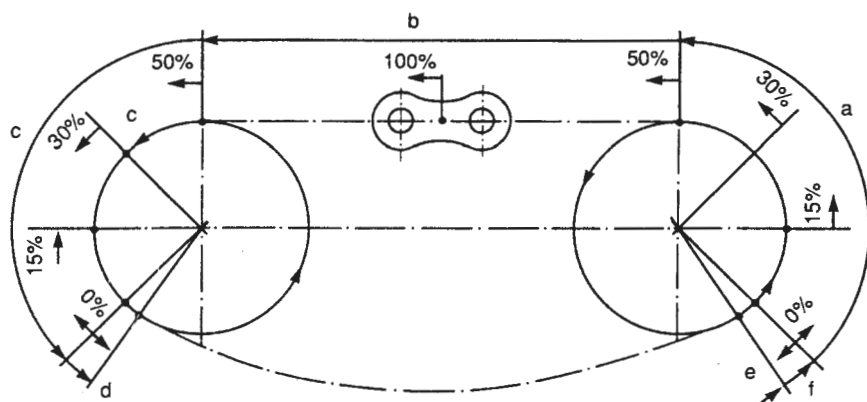
Στους αλυσοτροχούς διακρίνουμε τις περιφέρειες και διαμέτρους που συναντήσαμε στις οδοντώσεις (αρχική, κεφαλών και ποδιών), το βήμα που είναι ίσο με το βήμα της αλυσίδας και τις διαστάσεις των δοντιών που εξαρτώνται επίσης από τις αντίστοιχες της αλυσίδας.



Εικ. 10.3.θ Χαρακτηριστικές διαστάσεις αλυσοτροχών. Εδώ πρόκειται για τροχό - τανυστήρα, γι' αυτό στην πλήμνη του έχει έδρανο κύλισης.

10.3.5 Συνθήκες - σχέσεις λειτουργίας

Όπως και στην ιμαντοκίνηση, η ροπή που αναγκάζει τον κινούμενο τροχό να περιστραφεί παράγεται από την περιφερειακή δύναμη που αναπτύσσεται στο τόξο επαφής ιμάντα ή αλυσίδας και τροχού. Στους ιμάντες η δύναμη αυτή είναι αποτέλεσμα της τριβής που αναπτύσσεται εξαιτίας της πίεσής τους πάνω στους τροχούς. Στις αλυσίδες όμως η περιφερειακή δύναμη αναπτύσσεται με την απευθείας επαφή στοιχείου - δοντιού. Η δύναμη αυτή δεν είναι ίδια για όλα τα στοιχεία που κάποια χρονική στιγμή είναι ταυτόχρονα σε εμπλοκή. Έχει μια διαβάθμιση που φαίνεται παραστατικά στην εικόνα 10.3.1.



Εικ. 10.3.1 Διαβάθμιση της περιφερειακής δύναμης. Αριστερά είναι ο κινητήριος τροχός

Παρατηρούμε ότι τα στοιχεία που βρίσκονται κατά μήκος του έλκοντα κλάδου δέχονται το σύνολο της δύναμης, ενώ για τα αντίστοιχα του ελκόμενου το φορτίο είναι πρακτικά μηδενικό. Στα τόξα επαφής υπάρχει μια βαθμιαία μείωση του φορτίου. Σημειώνουμε ότι στις περιοχές αυτές παραλαμβάνουν την περιφερειακή δύναμη πολλά στοιχεία.

Η τιμή της δύναμης εξαρτάται από την ισχύ που μεταφέρεται και την περιφερειακή ταχύτητα. Αν ο τροχός έχει διάμετρο d (σε m) και στρέφεται με n στροφές το λεπτό, είναι $v = \pi d n / 60$ (σε m/s).

Αν η ισχύς μετριέται σε PS και η ταχύτητα σε m/s, τότε η δύναμη σε daN (Kp) δίνεται από τη γνωστή μας σχέση $F = 75 P / v$.

Η στρεπτική ροπή θα είναι $M = F d / 2$.

Επειδή το μήκος κάθε τμήματος της αλυσίδας κατά τη λειτουργία παραμένει σταθερό, όλα τα σημεία της έχουν την ίδια ταχύτητα. Επειδή δε

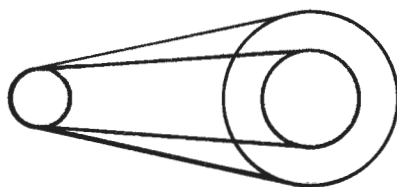
δεν υπάρχει ολίσθηση μεταξύ τροχού και αλυσίδας, οι περιφερειακές ταχύτητες των σημείων της αλυσίδας και των αντίστοιχών τους των τροχών στις περιοχές του τόξου επαφής είναι ίσες. Άρα οι δύο τροχοί έχουν κοινή περιφερειακή ταχύτητα και ίση με αυτήν κάθε σημείου της αλυσίδας. Είναι λοιπόν $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2$, άρα $\mathbf{p}\mathbf{d}_1\boldsymbol{\eta}_1 = \mathbf{p}\mathbf{d}_2\boldsymbol{\eta}_2$ και επομένως $\mathbf{d}_1 / \mathbf{d}_2 = \boldsymbol{\eta}_2 / \boldsymbol{\eta}_1 = \mathbf{i}$. Θα είναι επίσης $\mathbf{M}_1 / \mathbf{M}_2 = \boldsymbol{\eta}_2 / \boldsymbol{\eta}_1$.

10.3.6 Οδηγίες εφαρμογής - λειτουργίας

Κατασκευαστικοί περιορισμοί

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 10.3.ια, όσο μεγαλώνει η διάμετρος του μεγάλου τροχού τόσο μικραίνει το τόξο επαφής αλυσίδας - μικρού τροχού. Για λόγους ασφαλούς και ομαλής (χωρίς κραδασμούς) λειτουργίας όμως, δεν επιτρέπεται ο αριθμός των δοντιών που είναι σε εμπλοκή να είναι πολύ μικρός. Ούτε το βήμα μπορεί να γίνει πολύ μικρό, γιατί από αυτό εξαρτώνται οι διαστάσεις του δοντιού και κατά συνέπεια η αντοχή του. Έτσι μπαίνουν περιορισμοί στον ελάχιστο αριθμό δοντιών του μικρού τροχού και στη σχέση μετάδοσης, αφού $\mathbf{i} = \mathbf{d}_2 / \mathbf{d}_1$. Στην πράξη για το μικρό τροχό εκλέγεται $\mathbf{z} = 21$, για τις λίγες περιπτώσεις που είναι κινούμενος, ή $\mathbf{z} = 19$ (και σπάνια μικρότερος αλλά όχι κάτω από 13) για τις συνηθισμένες περιπτώσεις που είναι κινητήριος. Η εμπειρία δείχνει ότι για ταχύτητες μικρότερες από 3 m/s μπορεί να είναι $\mathbf{z} = 13$ και μέχρι 6 m/s μπορεί να είναι $\mathbf{z} = 17$, αλλά χωρίς απαιτήσεις για ομαλή και χωρίς κραδασμούς λειτουργία.

Η σχέση μετάδοσης δεν υπερβαίνει το 1 / 6. Οι περιορισμοί αυτοί είναι πιο έντονοι στην περίπτωση μικρής απόστασης των αξόνων, οπότε, για ίδιες διαμέτρους, μειώνεται το τόξο επαφής στο μικρό τροχό.



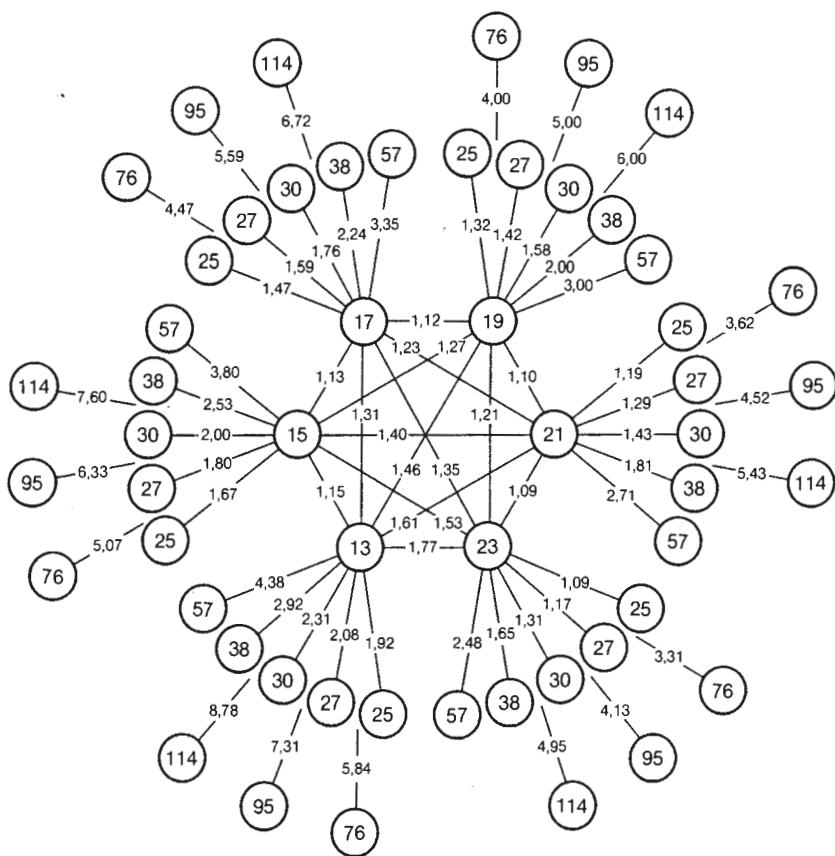
Εικ. 10.3.ια Στο μικρό τροχό το τόξο επαφής μικραίνει όσο μεγαλώνει η διάμετρος του μεγάλου τροχού και η σχέση μετάδοσης.

Αφού $\mathbf{i} = \mathbf{z}_2 / \mathbf{z}_1$, είναι φανερό ότι υπάρχουν περιορισμοί και στον αριθμό δοντιών του μεγάλου τροχού, που πρακτικά είναι μέχρι 114.

Στην εικόνα 10.3.ιβ φαίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί αριθμών δοντιών τυποποιημένων αλυσοτροχών και οι τιμές της σχέσης μετάδοσης

για κάθε ζευγάρι.

Περιορισμοί υπάρχουν επίσης και στις στροφές που επιτρέπεται να έχει ο μικρός τροχός σε σχέση με το βήμα της αλυσίδας. Όσο πιο μεγάλο είναι το βήμα, τόσο το μέγιστο όριο στροφών περιορίζεται. Αυτό συμβαίνει, γιατί μεγάλο βήμα σημαίνει λίγα δόντια στο τόξο επαφής και οι πολλές στροφές έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλη φυγόκεντρη δύναμη ($\mathbf{v} = \mathbf{p}\mathbf{n}\mathbf{h}$ και $\mathbf{F}_{\text{φυγ}} = m\mathbf{v}^2 / \mathbf{R}$). Έτσι υπάρχει κίνδυνος να “πεταχτεί” η αλυσίδα, αν τα δόντια εμπλοκής είναι λίγα.



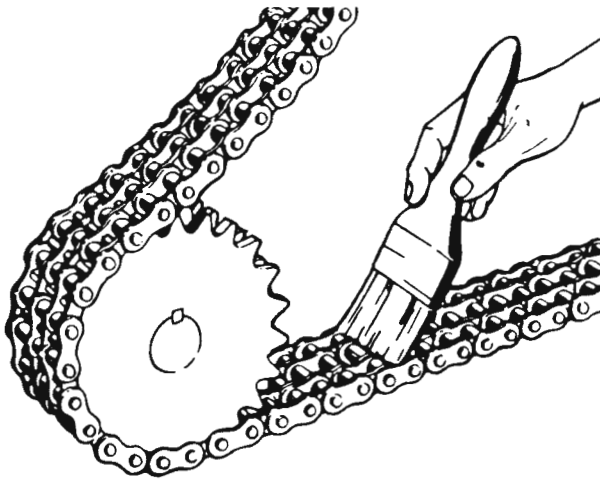
Εικ. 10.3.16 Αριθμοί δοντιών τυποποιημένων αλυσοτροχών και αντίστοιχες δυνατές σχέσεις μετάδοσης

Πολλές φορές, η μεγάλη απόσταση των ατράκτων ή η διεύθυνση των αξόνων τους επιβάλλουν την υποστήριξη των αλυσίδων με κατάλληλους ελεύθερους τροχούς (βλέπε και εικόνα 10.3.θ), αντίστοιχους των ταχυστήρων των ιμάντων.

Η λίπανση των αλυσίδων

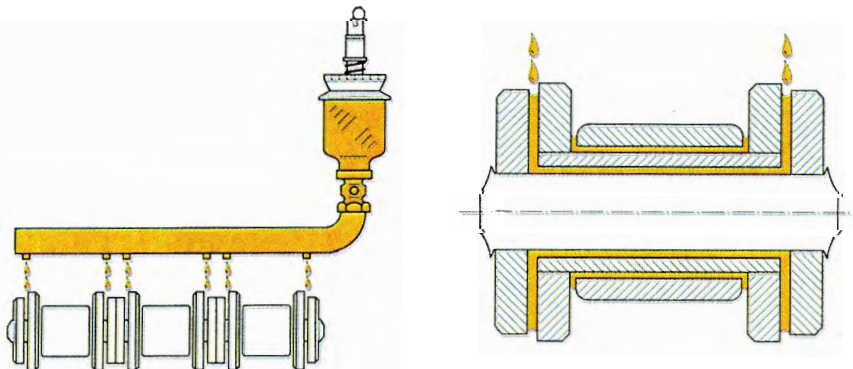
Το κύριο λειτουργικό πρόβλημα των αλυσίδων είναι οι τριβές στις αρθρώσεις που δημιουργούν θορύβους και φθορές και μειώνουν τη διάρκεια ζωής τους. Ο μεγάλος αριθμός δοντιών και ο μικρός συντελεστής τριβής των υλικών περιορίζει το πρόβλημα. Εκείνο πάντως που στην εφαρμογή πρέπει να γίνεται με μεγάλη επιμέλεια είναι η σωστή λίπανση. Ο τρόπος λίπανσης εξαρτάται από την περιφερειακή ταχύτητα. Έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

– Ταχύτητα έως $0,5 \text{ m/s}$. Περιοδική λίπανση με το χέρι, είτε με βούρτσα ή πινέλο είτε με ειδικά spray λεπτόρρευστου λιπαντικού.



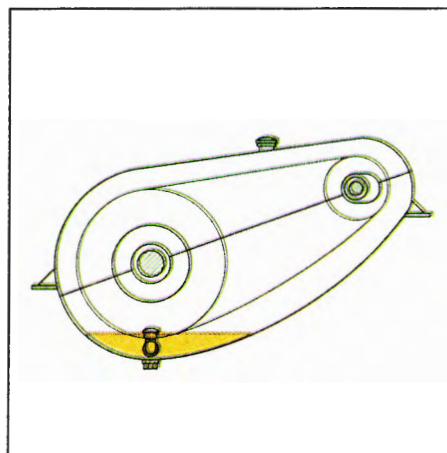
Εικ. 10.3.ιγ Λίπανση αλυσίδας με το χέρι

– Έως $1,5 \text{ m/s}$. Λίπανση σταγόνων στα κατάλληλα σημεία.



Εικ.10.3.ιδ Λίπανση σταγόνων. Δεξιά φαίνονται τα σημεία που πρέπει να λιπανθούν

– Έως 4 m / s . Λίπανση με εμβάπτιση. Η λίπανση αυτή είναι αποτελεσματική και οικονομική. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ταχύτητες έως 8 m / s αλλά με τη βοήθεια ειδικών δίσκων, ώστε να μην είναι εμβαπτισμένος ο τροχός στο λιπαντικό και δημιουργείται αφρός που μειώνει την αποτελεσματικότητα της λίπανσης.



Εικ.10.3.1δ Λίπανση με εμβάπτιση

–Τέλος για τις μεγάλες ταχύτητες χρησιμοποιείται η λίπανση με εκτοξευόμενο λιπαντικό υπό πίεση με ειδικά μπέκ.

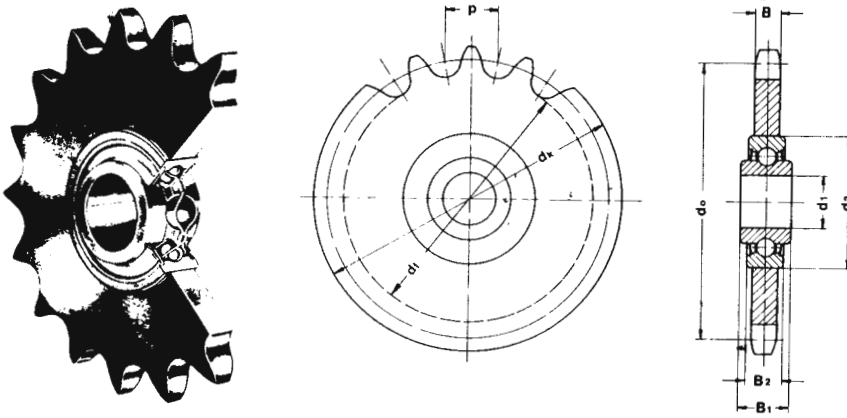
Σε κάθε περίπτωση η λίπανση μπορεί να εξουδετερωθεί, αν η διάταξη εργάζεται σε περιβάλλον με ρύπους ή σκόνες, χώμα κ.λ.π., που εμποδίζουν τη δράση του λιπαντικού. Πρέπει λοιπόν, στις περιπτώσεις αυτές, να γίνεται καθαρισμός με τη βοήθεια παραφινούχων διαλυμάτων ή πετρελαίου. Σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται η χρήση ατμού, καυστικών ή οξέων, γιατί μπορεί να καταστραφεί η αλυσίδα.

10.3.7 Σχεδίαση

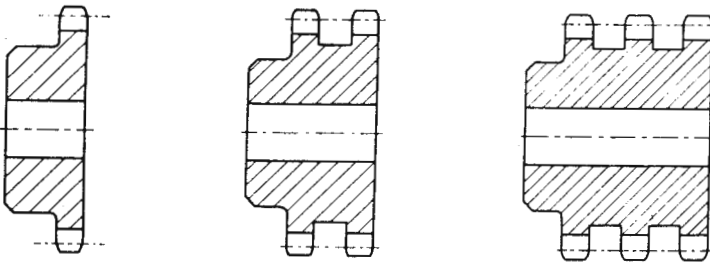
Στην κανονική σχεδίαση ισχύουν όλοι οι γνωστοί κανόνες του μηχανολογικού σχεδίου. Επομένως δε διαγραμμαρίζονται στις διαμήκεις τομές τα δόντια και οι βραχίονες των αλυσοτροχών. Το ίδιο ισχύει και για τους πείρους των αλυσίδων.

Για ευκολία, όπως και στις οδοντώσεις, χρησιμοποιείται και η σχηματική ή συμβολική σχεδίαση. Τότε οι τροχοί παριστάνονται με τη σχεδίαση των περιφερειών τους, με την ίδια γραμμογραφία των οδοντώσεων : κύρια

γραμμή για την περιφέρεια κεφαλών, λεπτή αξονική για την αρχική και λεπτή συνεχής ή διακεκομμένη για την περιφέρεια ποδιών.

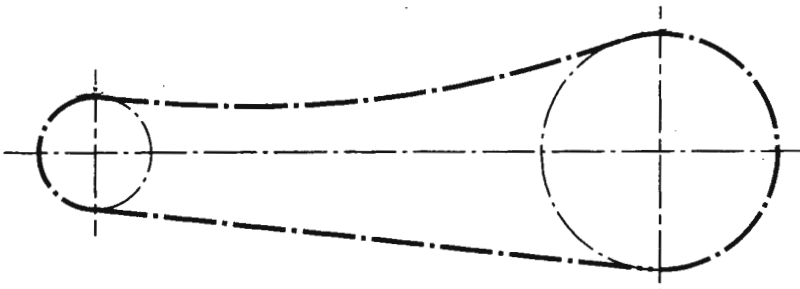


Εικ.10.3.1ε Σχεδίαση (τανυστήρα) αλυσοτροχού.



Εικ.10.3.1στ Απλός, διπλός και τριπλός αλυσοτροχός σε τομή.

Στην απλούστερη σχηματική σχεδίαση μπορεί να σχεδιαστεί και ένας κύκλος με αξονική γραμμή για την παράσταση του τροχού. Η αλυσίδα παριστάνεται με παχιά αξονική γραμμή.



Εικ.10.3.1ζ Σχηματική σχεδίαση αλυσοκίνησης



ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Οι οδοντώσεις, οι ιμάντες και οι αλυσίδες εξυπηρετούν τους εξής λειτουργικούς σκοπούς:

- Μεταδίδουν την περιστροφική κίνηση από κινητήριο σε κινούμενο ή κινούμενους άξονες.
- Μεταβάλλουν, εάν το θέλουμε, τις στροφές και τη μεταφερόμενη στρεπτική ροπή στον κινούμενο άξονα. Οι μεταβολές αυτές εξαρτώνται από τη σχέση μετάδοσης. Υπενθυμίζουμε ότι είναι

$$i = n_2 / n_1 = M_{d1} / M_{d2}$$

Είναι δε $i = d_1 / d_2$, όπου d_1 , d_2 οι διάμετροι των τροχών που συνεργάζονται (γρανάζια, τροχαλίες, αλυσοτροχοί).

- Για παράλληλους γεωμετρικούς άξονες ατράκτων είναι κατάλληλα και τα τρία είδη μετάδοσης.
- Για τεμνόμενους άξονες χρησιμοποιούνται κωνικά γρανάζια.
- Για ασύμβατους άξονες χρησιμοποιούνται ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί και το ζεύγος ατέρμονα - κορώνας.
- Στην περίπτωση που ασύμβατοι άξονες βρίσκονται σε παράλληλα επίπεδα και οι διευθύνσεις τους σχηματίζουν μικρή (δίεδρη) γωνία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η ιμαντοκίνηση.

Στη συνέχεια θα κάνουμε συγκριτική παρουσίαση της καταλληλότητας των τριών ειδών, με διάφορα κριτήρια.

- Για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης: Χρησιμοποιούνται ζεύγη γραναζιών με ενδιάμεσους άξονες (μειωτήρες), αν δεν το απαγορεύει η πολύ μεγάλη απόσταση των αξόνων. Η λύση αυτή έχει το μικρότερο όγκο και σχετικά καλό βαθμό απόδοσης.

- Για ακριβείς σχέσεις μετάδοσης: Πλεονεκτούν κυρίως τα γρανάζια και οι αλυσίδες. Οι ιμάντες, εκτός των οδοντωτών, παρουσιάζουν ολίσθηση και απώλεια στροφών.

- Για μεγάλες περιφερειακές δυνάμεις και ροπές: Πλεονεκτούν τα γρανάζια και οι αλυσίδες. Κύριο κριτήριο επιλογής ανάμεσά τους είναι η

απόσταση των αξόνων.

- Για πολύ μεγάλο αριθμό στροφών: Τα γρανάζια είναι ασφαλέστερα, επειδή δεν έχουν κίνδυνο απεμπλοκής, λόγω μεγάλης φυγόκεντρης δύναμης.

- Για χαμηλή στάθμη θορύβου: Πλεονεκτούν οι ιμάντες. Τα άλλα είδη (ιδίως οι αλυσίδες) απαιτούν επιμελημένη κατασκευή και συντήρηση για περιορισμό του θορύβου.

- Για ελαστική μετάδοση: Πλεονεκτούν οι ιμάντες. Τα άλλα είδη εμφανίζουν, σε περιπτώσεις απότομης μεταβολής των στροφών, κρουστικά φορτία. Σε περίπτωση μπλοκαρίσματος της μιας ατράκτου, οι ιμάντες αποτρέπουν ζημιές, λόγω της ολίσθησης.

- Από άποψη οικονομίας: Οι ιμάντες είναι η πιο φθηνή λύση και απαιτούν τη μικρότερη συντήρηση.

- Από άποψη διάρκειας ζωής: Πλεονεκτούν τα γρανάζια. Οι ιμάντες μειονεκτούν λόγω χαλάρωσης.

- Από άποψη αντοχής σε δυσμενές περιβάλλον: Οι ιμάντες είναι ευαίσθητοι σε σκόνες και οξέα, γιατί ολισθαίνουν και φθείρονται. Οι αλυσίδες είναι ευαίσθητες σε διαβρωτικό περιβάλλον.

- Από άποψη ευκαμψίας: Η σύγκριση αφορά ιμάντες και αλυσίδες. Πλεονεκτούν οι αλυσίδες, ιδίως οι μικρού βήματος. Επομένως, λόγω μικρότερων απαιτούμενων τροχών (και διατομών λόγω μεγαλύτερης αντοχής), η αλυσοκίνηση έχει μικρότερο όγκο.