

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΚΟΠΗ ΟΔΟΝΤΩΤΡΟΧΟΥ ΣΤΗΝ ΦΡΕΖΑ**



**Σπουδαστής: Λυμπέρης Χρυσόστομος**

**A.M.:4614**

**Επιβλέπων καθηγητής: Παπαστεφανάκης Λεωνίδας**

## Πρόλογος

Η πτυχιακή αυτή εργασία μελετά τις προσφιλέστερες μεθόδους κατεργασίας κοπής οδοντοτροχού και απευθύνεται σε όσους επιθυμούν να κατασκευάσουν οδοντωτούς τροχούς. Η χρήση εργαλειομηχανών φρέζας με ψηφιακή καθοδήγηση τα γνωστά CNC αποτελούν μονόδρομο για το μέλλον της ανθρωπότητας. Όμως το κόστος κτήσης τους, το κόστος συντήρησης και η ιδιικές γνώσεις για τον χειρισμό τους τα καθιστούν ακόμα στις μέρες μας ασύμφορα για μικρής κλίμακας επιχειρήσεις όπως βιοτεχνίες, καρνάγια, και μηχανουργία. Ίσως, στο μέλλον, οι μηχανές αυτές να αποκτήσουν φιλικότερα στον χρήστη λογισμικά που θα δίνουν την δυνατότητα και στους πλέον αδαείς στην χρήση υπολογιστών, να κατασκευάζουν απλά εξαρτήματα. Επιπλέον, αν η βιομηχανική παραγωγή ελαττώσει το κόστος όπως και στους οικιακούς υπολογιστές, μια μέρα θα είναι τόσο προσιτά αυτά τα μηχανήματα όσο και ένα απλό δράπανο χειρός. Μέχρις ότου, όμως, όλα αυτά γίνουν πραγματικότητα οι απλές στην χρήση και συντήρηση φρεζομηχανές θα δίνουν οικονομικές λύσεις σε απλές ή και σύνθετες μηχανικές εφαρμογές. Αν και για κάθε φοιτητή οι ακαδημαϊκές σπουδές είναι μια περίοδος αγωνίας, άγχους και θυσίας από πλευράς ελεύθερου χρόνου, πιστεύω ότι στο τέλος όλοι εκτιμούμε την αξία αυτής της προσπάθειας και ότι το μόνο που μας μένει είναι οι καλές αναμνήσεις και τα θετικά αποτελέσματα από αυτήν την κοπιαστική διαδικασία.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Λεωνίδα Παπαστεφανάκη για την αγαστή συνεργασία μας την βοήθεια του και την καθοδήγηση του στην ανάπτυξη του θέματος αυτής της πτυχιακής. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω και την υπόλοιπη ακαδημαϊκή κοινότητα για τις γνώσεις που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια , και η οποία πρέπει να ομολογήσουμε , αγωνίζεται σκληρά να διατηρήσει το επίπεδο της σχολής σε υψηλά επίπεδα , κάτω από αντίξοες οικονομικά συνθήκες. Ένα ακόμα ευχαριστώ οφείλω σε φίλους οι οποίοι με στήριξαν τα χρόνια αυτά που εργαζόμουν νυχτοφύλακας για να σπουδάσω και που αποδεικνύουν ότι σε αυτήν την εποχή που όλα αποτιμούνται σε ευρώ , υπάρχει ακόμα πραγματική φιλία.



Σύγχρονη φρεζομηχανή CNC

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

	<b>Σελ.</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>2</b>
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : 1. ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ</b>	
<b>1.1.</b> Γενικά	<b>5</b>
<b>1.2.</b> Τα χαρακτηριστικά του φρεζαρίσματος	<b>5</b>
<b>1.3.</b> Είδη φρεζαρίσματος	<b>6</b>
<b>1.4.</b> Μέθοδοι φρεζαρίσματος	<b>6</b>
<b>1.5.</b> Περιγραφή οριζόντιας φρεζομηχανής.	<b>9</b>
<b>1.6.</b> Κοπή έλικας στον διαιρέτη	<b>21</b>
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ</b>	
<b>2.1.</b> Κοπή οδοντώσεων στην φρεζομηχανή	<b>29</b>
<b>2.2.</b> Ταχύτητα κοπής	<b>32</b>
<b>2.3.</b> Πρόωση	<b>32</b>
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΟΔΟΝΤΟΚΟΠΤΕΣ (ΓΡΑΝΑΖΟΚΟΠΤΕΣ)</b>	
<b>3.1.</b> Γρανάζοκόπτης κοχλιωτής φρέζας (φρέζα "χομπ")	<b>36</b>
<b>3.2.</b> Γρανάζοκόπτες με οδοντωτό κοπτικό τροχό (σύστημα Fellows)	<b>38</b>
<b>3.3.</b> Γρανάζοκόπτες με κοπτικό χτένι	<b>40</b>
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΛΟΓΗΣ ΟΔΟΝΤΟΤΡΟΧΩΝ</b>	
<b>4.1.</b> Γενικά	<b>41</b>
<b>4.2.</b> Οδοντωτοί τροχοί με ευθύγραμμους παράλληλους οδόντες	<b>42</b>
<b>4.3.</b> Οδοντωτοί τροχοί με κεκλιμένους πλάγιους οδόντες	<b>43</b>
<b>4.4.</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη των οδοντοτροχών	<b>44</b>

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ  
ΟΔΟΝΤΟΤΡΟΧΩΝ**

<b>5.1.</b>	<b>Κοπή στην φρεζομηχανή ευθύγραμμου κωνικού οδοντοτροχού</b>	<b>52</b>
<b>5.2.</b>	<b>Κυλινδρικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδείς οδόντες</b>	<b>57</b>
<b>5.3.</b>	<b>Γραναζοκόπτης κοπής κωνικών οδοντοτροχών για ευθείς μετωπικούς οδόντες κατά GLEASON</b>	<b>64</b>
<b>5.4.</b>	<b>Κατασκευή κωνικού οδοντοτροχού με ευθείς μετωπικούς οδόντες σε γραναζοκόπη ή φρεζοπλάνη κατά DIN 867</b>	<b>67</b>
<b>5.5.</b>	<b>Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στην κοπή κωνικών οδοντοτροχών με ευθείς οδόντες</b>	<b>79</b>
	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>80</b>
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>81</b>

## **1. Φρεζάρισμα**

### **1.1. Γενικά**

Είναι μία μέθοδος κατεργασίας κοπής της οποίας η κύρια κίνηση γίνεται με ένα περιστρεφόμενο εργαλείο που έχει πολλές όψεις κοπής για μορφοποίηση διαφόρων επιπέδων και επιφανειών. Η εργαλειομηχανή αυτή μπορεί να κάνει πολλές από τις εργασίες της πλάνης, του δραπάνου του τόρνου αλλά και άλλες που δεν μπορούν να γίνουν από τις παραπάνω εργαλειομηχανές ή δεν συμφέρει να γίνουν από αυτές.

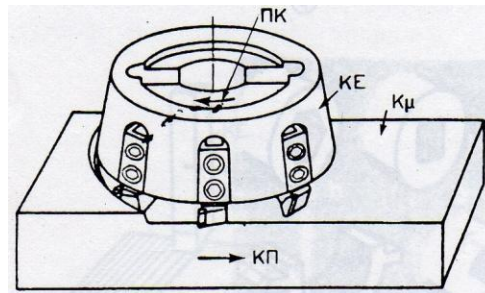
### **1.2. Τα χαρακτηριστικά του φρεζαρίσματος είναι τα εξής.**

- Η κίνηση κοπής μεταφέρεται στο εργαλείο.
- Οι βοηθητικές κινήσεις είναι τουλάχιστον τρεις(στο τραπέζι, το φορείο, και το γόνατο) ενώ στον τόρνο και την πλάνη είναι δύο. Και στο δράπανο μία.
- Η επαφή με το υλικό κατεργασίας δεν είναι συνεχής, δηλαδή αντίθετα με τον τόρνο κάθε δόντι του κοπτικού εργαλείου κάνει μία τουλάχιστον διακοπή σε κάθε στροφή.
- Το πάχος των αποβλήτων είναι μεταβαλλόμενο, από μία μέγιστη τιμή έως μια ελάχιστη.
- Από τις πολλές κόψεις του κοπτικού μπορούν να κοπούν δύο ή και περισσότερες επιφάνειες.
- Η κίνηση προώσεως γίνεται από το κομμάτι, ενώ στα φρεζοδράπανα (Boring) και φρεζομηχανές αντιγραφής από το εργαλείο.

### 1.3. Είδη φρεζαρίσματος

Ανάλογα με τη θέση του άξονα του κοπτικού ως προς την επιφάνεια κατεργασίας έχουμε:

- Περιφερειακό φρεζάρισμα**, όταν ο άξονας είναι παράλληλος ως προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια.
- Μετωπικό φρεζάρισμα**, όταν ο άξονας περιστροφής του κοπτήρα είναι κάθετος προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια.

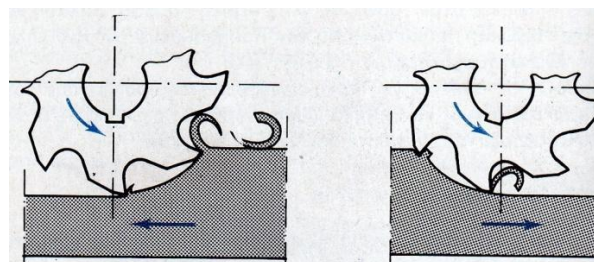


Μετωπικό φρεζάρισμα

Η κοπή γίνεται κυρίως από τις παράπλευρες κόψεις από τις κυλινδρικές επιφάνειες του κοπτικού και στις δύο περιπτώσεις. Η μετατόπιση του κομματιού είναι συνεχής με σταθερή ταχύτητα.

### 1.4. Μέθοδοι φρεζαρίσματος

Ομόρροπο φρεζάρισμα, όταν η πρόωση έχει την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του οδόντα που κόβει, και αντίρροπο το αντίθετο.



Περιφερειακό φρεζάρισμα.

Αντίρροπο αριστερά και ομόρροπο δεξιά

## Φρεζομηχανές

Οι εργασίες που μπορεί να κάνει μία φρεζομηχανή είναι

1. Επίπεδες και καμπύλες επιφάνειες
2. Ευθύγραμμες αυλακώσεις (σφηνόδρομους, χελιδονοουρές, εκσκαφές, κλπ.)
3. Ελικοειδείς αυλακώσεις σε κυλινδρικές επιφάνειες.
4. Σπειρώματα ακριβείας.
5. Διαμόρφωση πολυγωνικών μορφών.
6. Διαίρεση περιφερειακά σε ίσα μέρη εξαρτήματος.
7. Κατασκευή οδοντωτού κανόνα (κρεμαγιέρα).
8. Κοπή δοντιών σε οδοντωτούς τροχούς με ευθύγραμμους ή ελικοειδείς οδόντες.

### Είδη φρεζομηχανών

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία φρεζομηχανών ανάλογα με τις απαιτήσεις της βιομηχανικής παραγωγής που αφορούν διάφορες ευκολίες που προσφέρει ο κάθε τύπος και ο κάθε κατασκευαστής. Για την γενική χρήση υπάρχουν οι εξής τύποι:

- Η **οριζόντια** φρεζομηχανή (ως προς την άτρακτο που φέρει το κοπτικό )
- Η **κάθετη** φρεζομηχανή
- **Φρεζοπλάνες**
- **Ειδικές φρεζομηχανές** (φρεζοδράπανο, **γριναζοκόπτης**, φρεζομηχανή σπειρωμάτων, φρεζομηχανή αντιγραφής).

### Οριζόντια φρεζομηχανή

Τα κύρια μέρη που την αποτελούν είναι

- Η βάση
- Το σώμα με το κιβώτιο ταχυτήτων
- Η κύρια άτρακτος
- Το σώμα το τραπεζιού με το σύστημα πρόωσης στις τρεις διευθύνσεις κατεργασιών (οριζόντια κατά μήκος, εγκάρσια και κατακόρυφη).

Η οριζόντια φρεζομηχανή συνοδεύεται από διαιρέτη, κεντροφορέα (κουκουβάγια), και μέγγενη.



Οριζόντια φρεζομηχανή καθοδηγούμενη ψηφιακά από ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC).

### Κατακόρυφη φρεζομηχανή

Έχει τα ίδια βασικά στοιχεία με την οριζόντια με τη διαφορά ότι η κύρια άτρακτος που φέρει το κοπτικό εργαλείο βρίσκεται στην κατακόρυφη κεφαλή.



### Κατακόρυφη φρεζομηχανή

### Φρεζοπλάνες

Τα βασικά τους μέρη είναι:

1. Ένα μακρύ τραπέζι
2. Ένα ή δύο ορθοστάτες
3. Η γέφυρα που συνδέει τους ορθοστάτες.

Η διαφορά από τις τραπεζοπλάνες είναι ότι οι ορθοστάτες και η γέφυρα φέρουν ολόκληρα συγκροτήματα κιβωτίων ταχυτήτων με άτρακτο.





Κεφαλή universal σε κάθετη φρεζομηχανή.

### **1.5. Περιγραφή οριζόντιας φρεζομηχανής.**

#### **Το σώμα.**

Είναι τμήμα της φρεζομηχανής στο οποίο είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό του σώματος όλες οι απαραίτητες διατάξεις για την αλλαγή ταχυτήτων της ατράκτου και των προώσεων του τραπεζιού. Στο άνω μέρος του βρίσκεται ο βραχίονας στον οποίο τοποθετείται ο εργαλειοφόρος άξονας ο οποίος στηρίζεται πάνω σε κουζινέτα.

#### **Η κύρια άτρακτος.**

Στην κύρια άτρακτο μεταδίδεται η κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων. Είναι διάτρητη σε όλο το μήκος της και στο εμπρός μέρος της βρίσκεται η κεφαλή που καταλήγει σε μία κολουροκωνική οπή μέσα στην οποία εφαρμόζει το άκρο του εργαλειοφόρου άξονα.

Η κολουροκωνική οπή είναι διεθνώς τυποποιημένη κατά τον γερμανικό οργανισμό προτύπων (DIN 2079,2080) με κωνικότητα 3,5:12 και χρησιμεύει για το κεντράρισμα του εργαλειοφόρου άξονα με μεγάλη ακρίβεια καθώς και για την γρήγορη τοποθέτηση και αφαίρεση του.

#### **Εργαλειοφόρος άξονας.**

Στερεώνεται στην κύρια άτρακτο με κωνική εφαρμογή και αντιστηρίζεται είτε με ένα ή δύο κουζινέτα είτε σαν πρόβολος. Το φορτίο παραλαμβάνεται από δύο σφήνες που έχει η κύρια άτρακτος στην κεφαλή της μέσω δύο εγκοπών που έχει ο εργαλειοφόρος άξονας.



**Εργαλειοφόροι άξονες κοπής. Στέλεχος με τοποθετημένη δισκοειδή φρέζα μορφής.**

### **Η βάση.**

Έχει τη μορφή πλάκας με νευρώσεις και πάνω της βρίσκεται το σώμα της φρεζομηχανής. Συνήθως, το σώμα και η βάση είναι μια ενιαία κατασκευή.

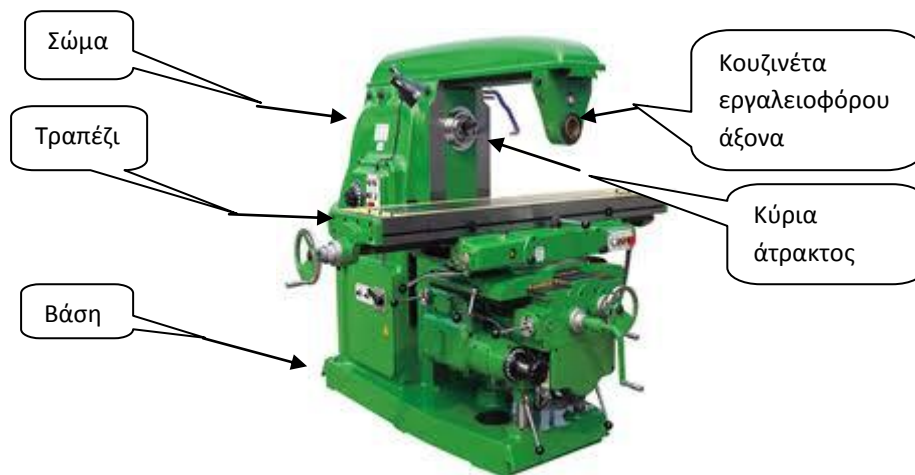
### **Το τραπέζι.**

Αποτελείται από το φορείο εγκάρσιας και κατακόρυφης κίνησης. Η εγκάρσιες κινήσεις γίνονται πάνω σε γλίστρες, εμπρός και πίσω και δεξιά και αριστερά. Και στον κάθετο άξονα, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχει δυνατότητα περιστροφής κατά  $45^\circ$ . Πάνω στο τραπέζι στερεώνονται τα κομμάτια προς κατεργασία, ο διαιρέτης ή και ιδιοκατασκευές για την στήριξη του κομματιού που θα κατεργαστεί.

### **Μηχανισμός κίνησης στις φρεζομηχανές**

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι τοποθετημένος στο εσωτερικό και συνδέεται ή με τραπεζοειδή λουριά ή και με απευθείας μετάδοση σε μία πρώτη άτρακτο με συμπλέκτη. Η άτρακτος διαθέτει ηλεκτρομαγνητικό φρένο.

Με τον συμπλέκτη τίθεται σε λειτουργία η μηχανή και, μέσω άλλων ενδιάμεσων αξόνων, μεταδίδεται η κίνηση. Με διάφορες βαθμίδες γραναζιών επιτυγχάνονται οι προβλεπόμενες ταχύτητες στην κύρια άτρακτο. Τα τρία φορεία του τραπεζιού, είτε συνδέονται με τον υπάρχον ηλεκτροκινητήρα μέσω συμπλέγματος αξόνων που φέρουν οδοντωτούς τροχούς, είτε διαθέτουν ανεξάρτητο ηλεκτροκινητήρα για την κίνησή τους.



Οριζόντια φρεζομηχανή.

**Διαιρέτης.**

Είναι μια συσκευή συγκρατήσεως και περιστροφής ενός κομματιού για ίσες γωνιακές περιστροφές του. Αν και αποτελεί ξεχωριστό εργαλείο, θεωρείται εξάρτημα της φρέζας. Οι διαιρέτες διακρίνονται σε **επίπεδους** διαιρέτες ή **κάθετους** οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να στρέφονται ώστε να μπορούν να κατεργαστούν κωνικά τεμάχια (π.χ. κωνικούς οδοντοτροχούς). **Άμεσης** ή **έμμεσης** διαίρεσης. Με την χρήση του διαιρέτη γίνονται οι κατάλληλες διεργασίες.

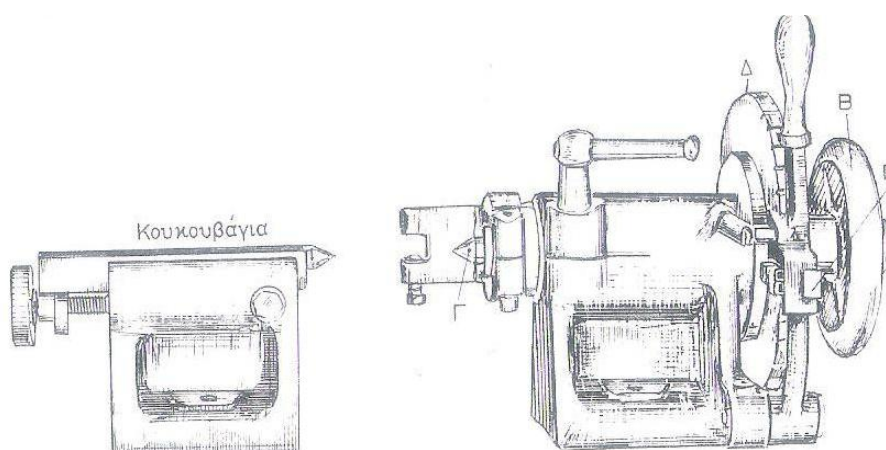
- Κατασκευή πολύσφηνων
- Κοπή δοντιών σε οδοντωτούς τροχούς
- Άνοιγμα ισομοιρασμένων οπών σε φλάτζες.
- Κατασκευή πολυγωνικών πρισματικών μορφών (εξάγωνα, τρίγωνα, τετράγωνα, κλπ.)
- Κατασκευή σπειρωμάτων σε κοχλίες διαφόρων διατομών
- Κατασκευή ελικοειδών αυλακώσεων.
- Κοπή ελικοειδών οδοντωτών τροχών.
- Κοπή οδόντων σε οδοντωτούς κανόνες.
- Διαίρεση σε άνισα μέρη.

Υπάρχουν τριών ειδών διαιρέτες.

- ❖ Απλοί άμεσης διαίρεσης.
- ❖ Απλοί έμμεσης διαίρεσης.
- ❖ Και γενικής χρήσεως.

Ο διαιρέτης **άμεσης διαίρεσης** είναι μία απλή συσκευή που χρησιμοποιείται τις πιο πολλές φορές με αντιστήριγμα (κουκουβάγια). Στην μία πλευρά του διαιρέτη τοποθετείται μία διάταξη στερεώσεως του κομματιού (είτε τσόκ είτε πόντα). Στην άλλη πλευρά του τοποθετούνται οι δίσκοι διαίρεσεως. Το κομμάτι στερεώνεται

περίπου όπως και στον τόρνο (πόντα με πόντα ή τσόκ με πόντα ή μόνο στο τσόκ). Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να φρεζάρουμε ένα κύλινδρο ένα εξαγωνικό άκρο. Τοποθετούμε ένα δίσκο με 12 τρύπες ή σχισμές. Ο πείρος με ελατήριο εισχωρεί στην τρύπα ή την σχισμή και κρατάει τον δίσκο και την άτρακτο σε μία θέση. Φρεζάρουμε σε αυτή τη θέση τη μία έδρα του εξαγώνου. Αποσυμπλέκουμε τον πείρο και γυρίζουμε τον δίσκο κατά  $1/6$  της στροφής. Επειδή ο δίσκος βρίσκεται στερεωμένος απευθείας επάνω στην άτρακτο είναι λογικό ότι θα στραφεί και το κομμάτι κατά  $1/6$  της στροφής. Έτσι συνεχίζουμε την διαίρεση στρέφοντας κάθε φορά κατά  $1/6$  της στροφής.



### Διαιρέτης άμεσης διαίρεσης.

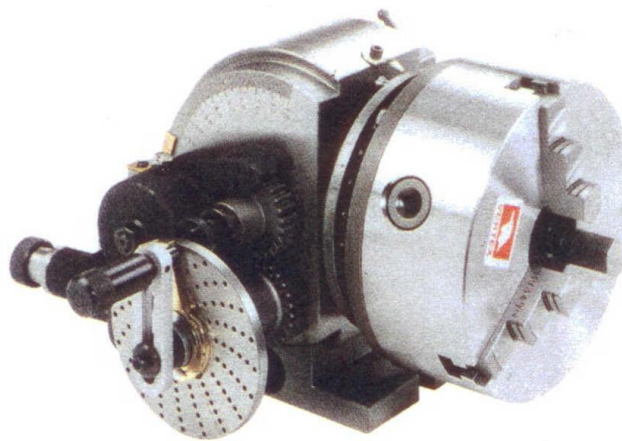
Κάθε στροφή του δίσκου μεταδίδεται απευθείας στην άτρακτο και γι' αυτό λέμε ότι ο διαιρέτης είναι άμεσης διαίρεσης. Με αυτούς τους διαιρέτες γίνονται συνήθως το πολύ μέχρι 24 διαιρέσεις. Με άμεση διαίρεση γίνονται το τετραγώνισμα της ουράς σπειροτόμων (κολαούζα), γλύφανα (αλεζουάρ), το εξαγώνισμα κεφαλών βιδών κ.λ.π.

Με τους διαιρέτες **έμμεσης διαίρεσης** πραγματοποιούνται όλες οι διαιρέσεις από  $Z = 2$  έως  $Z = 50$  και από ένα επιπλέον μεγάλο πλήθος από  $Z=50$  έως  $Z=360$ .

Με χειρισμούς από τον **τεχνίτη** περιστρέφεται έμμεσα το κομμάτι με ένα χειροστρόφαλο δια μέσου του ατέρμονα κοχλία. Ο ατέρμονας περιστρέφει μια κορόνα πάνω σε άξονα που συγκρατεί το κομμάτι. Τα μέρη του διαιρέτη αποτελούνται από :

- ✓ **Την κύρια άτρακτο**, όπου συνήθως είναι σφηνωμένος επάνω της ο δίσκος με ισομοιρασμένες οπές, με τον οποίο μπορεί να γίνει και άμεση διαίρεση. Πάνω στην άτρακτο μπορούν να προσαρμοστούν το τσόκ, ή πόντα για κατεργασία στα κέντρα.

- ✓ **Η κορώνα** η οποία κατασκευάζεται από φωσφορούχο ορείχαλκο και έχει 40 δόντια και πολύ σπάνια 60
- ✓ **Ο ατέρμονας:** είναι απλού βήματος και συνεπώς η σχέση μετάδοσης είναι 40 προς 1.
- ✓ **Δίσκος διαιρέσεως:** γυρίζει ελεύθερα πάνω στον άξονα του χειροστροφάλου και σταθεροποιείται από το βλήτρο στο επιθυμητό κατά περίπτωση σημείο. Οι διαιρέτες αποτελούνται από τρεις δίσκους οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούνται από έξι ομόκεντρες περιφέρειες με οπές ισομοιράσμενες.
- ✓ **Το βλήτρο (πείρος) ασφαλίσεως:** σταθεροποιεί το δίσκο πάνω στον διαιρέτη.
- ✓ **Το χειροστρόφαλο:** με αυτό περιστρέφεται ο άξονας του ατέρμονα.



#### Standard Accessories



### Αρχή λειτουργίας του διαιρέτη.

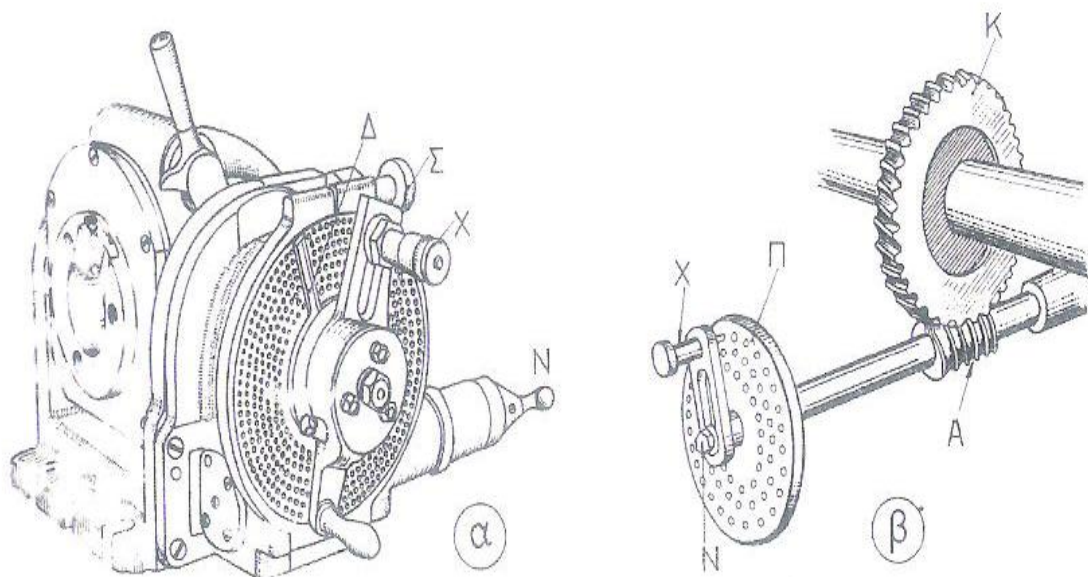
Η λειτουργία του διαιρέτη έμμεσης διαίρεσης στηρίζεται στην συνεργασία ενός ατέρμονα κοχλία (Α) και ενός οδοντοτροχού (Κ) που τον λένε κορώνα [σχ.1,α.] .

Αν περιστρέψουμε τον χειροστρόφαλο (Χ) , θα γυρίσει και ο ατέρμονας (Α). Ο ατέρμονας θα περιστρέψει την κορώνα (Κ) που είναι σφηνωμένη στην άτρακτο του διαιρέτη. Επομένως , όταν γυρίζει η κορώνα , γυρίζει και η άτρακτος και το κομμάτι , που είναι δεμένο επάνω στην άτρακτο.

Ο δίσκος διαιρέσεως (Π) δεν περιστρέφεται , γιατί ο άξονας του ατέρμονα κοχλία περνά ελεύθερα μέσα από αυτόν. Αν ο ατέρμονας είναι με μία αρχή , στον υπολογισμό μεταδόσεως της κινήσεως τον θεωρούμε σαν οδοντοτροχό με ένα δόντι. Αν είναι με δύο αρχές , σαν οδοντοτροχό με δύο δόντια κ.ο.κ.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι ο ατέρμονας είναι με μία αρχή και ότι η κορώνα έχει 40 δόντια. Αν γυρίσουμε μία στροφή τον άξονα του ατέρμονα οι στροφές που θα πάρει η κορώνα θα είναι:

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2 \Rightarrow n_2 \frac{z_1 \cdot n_1}{z_2} = \frac{1}{40}$$



Σχήμα 1 διαιρέτης έμμεσης διαίρεσης.

**Υλοποίηση μίας απλής έμμεσης διαίρεσης.**

Γυρίζοντας κάποιος το χειροστρόφαλο γυρίζει μαζί του και ο ατέρμων, αφού είναι στον ίδιο άξονα. Ο ατέρμων θα περιστρέψει την κορόνα πάνω στην άτρακτο που είναι συγκρατημένο το κομμάτι που θα κατεργαστούμε. Γυρίζοντας τον ατέρμονα 40 στροφές η κορόνα θα κάνει μια πλήρη περιστροφή. Αν σε  $\chi$  στροφές του ατέρμονα έχουμε μία διαίρεση από  $Z$  που θέλουμε να επιτύχουμε πάνω στο κατεργαζόμενο κομμάτι, τότε μετά το τέλος των  $Z$  διαιρέσεων θα έχουμε ένα κύκλο του κομματιού και ο ατέρμων θα έχει κάνει συνολικά 40 στροφές.  $Z \cdot X = 40$

**Π.χ.**

Για να διαιρεθεί σε 24 ίσα μέρη ένα κομμάτι που θα κατεργαστούμε τότε ο ατέρμων θα πρέπει να στραφεί

$$X = \frac{40}{24} \text{ ή } X = 1 + \frac{16}{24}$$

Δηλαδή στον δίσκο που έχει 24 τρύπες το χειροστρόφαλο θα στραφεί μία φορά και 16 τρύπες στον κύκλο με τις 24 τρύπες.

Αν δεν υπάρχει δίσκος με 24 τρύπες ένα ισοδύναμο κλάσμα

$$\text{Π.χ. } \frac{40}{24} = \frac{5 \cdot 8}{3 \cdot 8} = \frac{5}{3} = \frac{5 \cdot 5}{3 \cdot 5} = \frac{25}{15} = 1 + \frac{10}{15}$$

Δηλαδή μια πλήρη περιστροφή και 10 τρύπες στον κύκλο με τις 15 τρύπες.

Ομοίως μπορούμε να οδηγηθούμε και σε άλλα αποτελέσματα όπως:

$$1 \cdot \frac{12}{18}, 1 \cdot \frac{14}{21}, 1 \cdot \frac{26}{39} \text{ κ.λπ.}$$

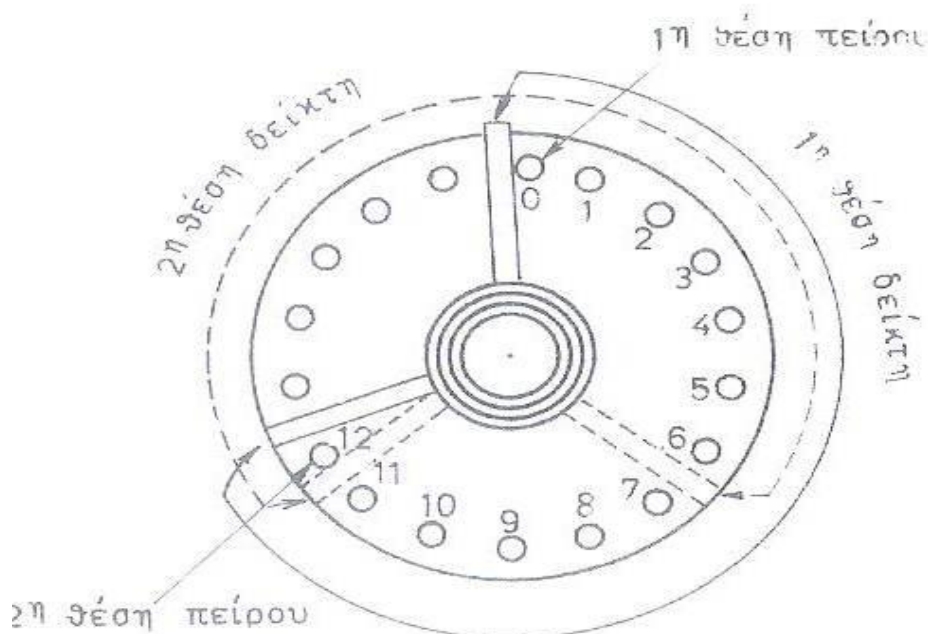
Ο χειροστρόφαλος ( $X$ ) [σχ] του διαιρέτη καταλήγει σε ένα πείρο. Ο πείρος αυτός εισχωρεί σε μία από τις οπές του δίσκου και συγκρατείται με την πίεση ενός ελατηρίου. Ο χειροστρόφαλος μαζί με τον πείρο μπορεί να πλησιάσει προς το κέντρο της πλάκας ή να απομακρυνθεί από αυτό και συνεπώς να αντικρίζει κάθε φορά την περιφέρεια των οπών που επιδιώκουμε. Αφού φέρουμε τον πείρο στην περιφέρεια που θέλουμε, δηλαδή στον κύκλο με τις 18 οπές, τον σταθεροποιούμε στην αυλάκωση του βραχίονα με το περικόχλιο  $N$  [σχ1,α.]. Ο δίσκος μένει ακίνητος όταν σφίξουμε τον κοχλία ασφαλίσεως του ( $\Sigma$ ) [σχ1,α.].

Εφόσον πραγματοποιήσουμε την πρώτη κοπή στο κομμάτι, πρέπει να στρέψουμε το κομμάτι με τον χειροστρόφαλο ( $X$ ) μία ολόκληρη στροφή και 12 οπές στην περιφέρεια με τις 18 οπές. Το μέτρημα των 12 οπών για αποφυγή λάθους γίνεται με γωνιακό δείκτη ( $\Delta$ ) [σχ1,α.] που είναι εφοδιασμένος ο διαιρέτης. Ο δείκτης αυτός

ανοιγοκλείνει σαν διαβήτης σε διάφορες γωνίες και ανάλογα με το τόξο , που περικλείει η γωνία του , χωρούν κάθε φορά ορισμένες τρύπες στο άνοιγμα του.

Στο παράδειγμα μας πρέπει ο δείκτης να χωράει 13 οπές δηλαδή μία παραπάνω από όσες πρέπει να στραφεί ο χειροστρόφαλος, γιατί την θέση 0 την κατέχει ο χειροστρόφαλος.

Όταν λοιπόν τελειώσει η πρώτη κοπή, θα στρέψουμε τον χειροστρόφαλο μία ολόκληρη στροφή και θα τοποθετήσουμε τον πείρο του χειροστροφάλου στην δεύτερη θέση του πείρου δηλαδή στην θέση 12. Μετακινούμε αμέσως και τον δείκτη προς την ίδια διεύθυνση που κινήσαμε και τον χειροστρόφαλο, μέχρι που το σκέλος του να κτυπήσει και να σταματήσει στον πείρο, οπότε είμαστε έτοιμοι για την δεύτερη κοπή κ.ο.κ. .Στο σχήμα [σχ2] η πρώτη θέση του δείκτη περιλαμβάνει το τόξο που βλέπουμε με την πλήρη γραμμή και η δεύτερη με την διακεκομμένη.



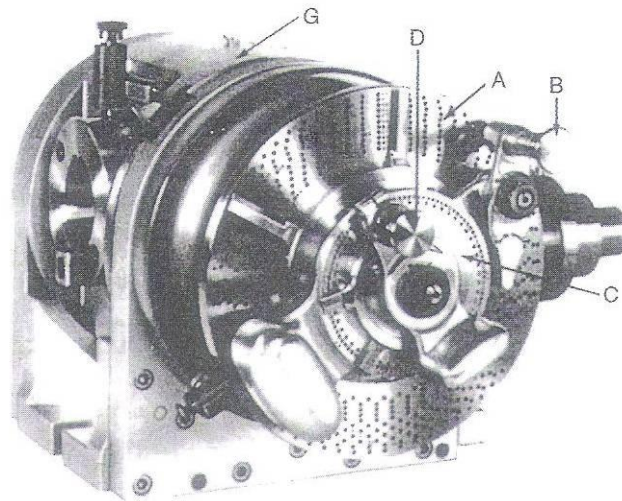
Σχήμα 2 Δείκτης οπών του δίσκου διαιρέσεως.



Με την χρήση των τριών δίσκων που έχει κάθε διαιρέτης γίνονται όλες οι διαιρέσεις από  $Z=2$  έως  $Z=50$  και επιπλέον οι παρακάτω διαιρέσεις έως  $Z=360$ .

52,54,56-,58,60,62-,64,66,68-,70,72,74-,76,78,80-,82,84,86-,88,90,92-,94,95,98-,100,104,105-,108,110,115-,116,120,124-,128,130,132-,135,136,140-,144,145,148-,150,152,155-,156,160,164-,165,168,170-,172,180,184-,185,188,190-,195,196,200-,205,210,215-,216,220,230-,232,235,240-,245,248,260-,264,270,280-,290,296,300-,310,312,320-,328,330,340-,344,360.Συνολικά μπορούν να γίνουν 135 διαφορετικές διαιρέσεις από  $Z=2$  έως  $Z=330$ .

Υπάρχουν ακόμη διαιρέτες με σχέσεις μετάδοσης 1:5, , 1:60 , 1:80 κλπ. Υπάρχουν ακόμη διαιρέτες , που εργάζονται με δύο διαφόρους δίσκους με μεγάλο εύρος διαιρέσεων (wide –range dividing head) της Cincinnati Milacron inc. με εύρος διαιρέσεως 1:400.00 και υπάρχει και ο λεγόμενος αστρονομικός διαιρέτης με τρεις διαφορετικούς δίσκους σε 1.296.000 διαιρέσεις.

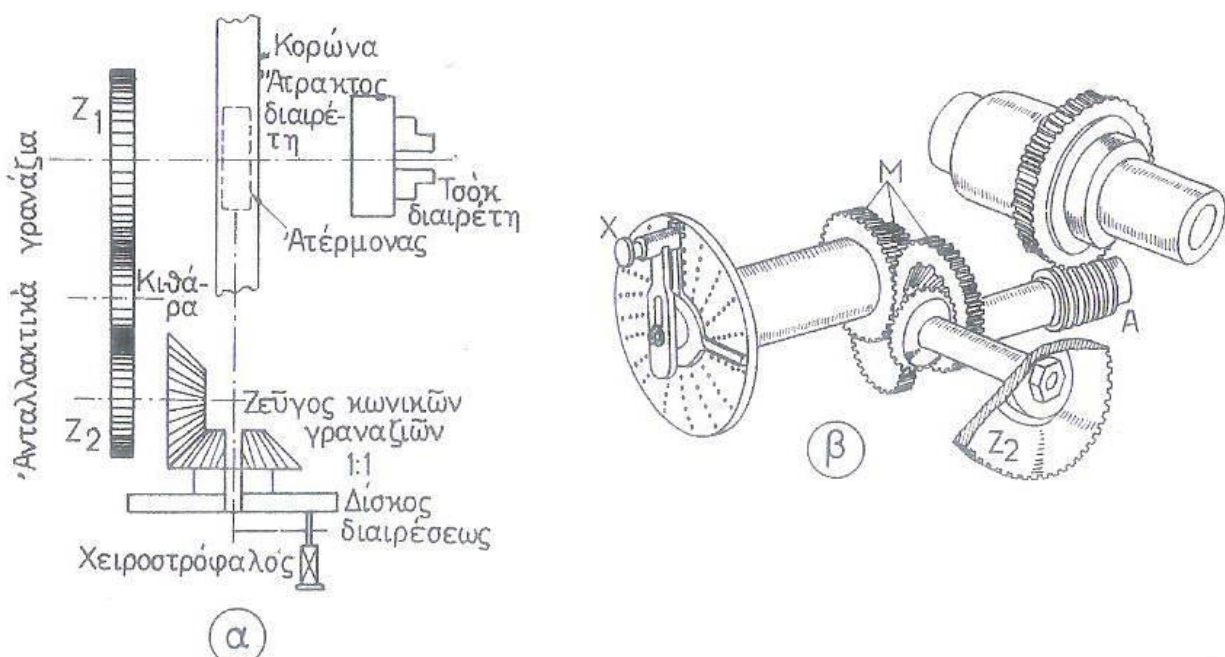


Διαιρέτης μεγάλου εύρους διαιρέσεων (WIDE – RANGE DIVIDING HEAD) Cincinnati Milacron inc.

### Διαφορική διαίρεση.

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει η διαφορική διαίρεση με τον διαιρέτη άμεσης και έμμεσης διαίρεσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εκτός από τους δίσκους διαίρεσης και το σύστημα ανταλλακτικών οδοντοτροχών. Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε διαφορική διαίρεση θα πρέπει ο διαιρέτης να έχει κατάλληλο μηχανισμό. Ο μηχανισμός αυτός συνδέει την κίνηση της ατράκτου με την κίνηση του δίσκου και είναι χρήσιμη δυνατότητα τόσο για την κοπή οδοντοτροχού όσο και για κοπή σπειρώματος. Στο σχήμα [σχ3(α)] παρατηρούμε την σχηματική παράσταση του μηχανισμού του διαιρέτη σε κάτοψη. Και στο σχήμα [σχ.3(β)] βλέπουμε το εσωτερικό ενός διαφορικού διαιρέτη. Στο σχήμα αυτό η κίνηση του χειροστροφάλου (X) φθάνει στον ατέρμονα (A) μέσω σειράς οδοντοτροχών (M).

Η κίνηση του χειροστροφάλου (X) μεταδίδεται μέσω του ατέρμονα στην κορώνα, δηλαδή στην άτρακτο του διαιρέτη. Στο δεξιό μέρος της άτρακτου τοποθετείται το κομμάτι προς κατεργασία στο τσοκ ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο, ενώ στο πίσω μέρος της προσαρμόζεται ένας άξονας επάνω στον οποίο τοποθετείται ο ανταλλακτικός οδοντοτροχός  $Z_1$ . Έτσι η κίνηση του χειροστροφάλου φθάνει από τον οδοντοτροχό  $Z_1$  και από εκεί μέσω του ενδιάμεσου της κιθάρας, φθάνει στον οδοντοτροχό  $Z_2$  και διαμέσου των κωνικών οδοντοτροχών η κίνηση φθάνει στον δίσκο διαίρεσης και τον περιστρέφει είτε προς τα δεξιά είτε προς τα αριστερά, ανάλογα με τον αριθμό των ενδιάμεσων τροχών που χρησιμοποιούμε.



Σχήμα 3.

Έτσι, με τον μηχανισμό που περιγράψαμε σε κάθε περιστροφή του χειροστροφάλου η άτρακτος περιστρέφεται μαζί με τον δίσκο διαιρέσεως. Ας σημειωθεί ότι, όταν κάνουμε διαφορική διαίρεση ο δίσκος έχει ελευθερωθεί με ξεβίδωμα του ασφαλιστικού κοχλία. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τι γίνεται με την κίνηση της πλάκας του δίσκου διαιρέσεως, ας σχετίσουμε τις τρύπες τις πλάκας με μοίρες. Ο κύκλος διαιρείται σε 360 μοίρες. Συνεπώς, σε μία πλήρη περιστροφή του χειροστροφάλου θα έχει διαγράψει 360 μοίρες. Στο σχήμα γυρίζουμε μία στροφή και 12 οπές στον κύκλο με τις 18 οπές. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι γυρίζουμε 600 μοίρες γιατί η μία στροφή είναι 360 μοίρες και τα  $12/18$  του 360 είναι 240, δηλαδή  $360+240=600$ .

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε τοποθετήσει οδοντοτροχούς στον διαιρέτη και με το γύρισμα του χειροστροφάλου προς τα δεξιά γυρίζει λίγο και ο διαιρέτης προς τα δεξιά. Την στιγμή που ο πείρος θα τοποθετηθεί στην τρύπα 12, επειδή και ο δίσκος γύρισε λίγο (προπορεία), σημαίνει ότι κινήθηκε ο χειροστροφάλος περισσότερο από 600 μοίρες. Έστω και αν ο αριθμός των οπών δεν άλλαξε. Και αφού γύρισε ο χειροστροφάλος πιο πολύ είναι φυσικό ότι θα βγουν λιγότερες από 24 διαιρέσεις. Το αντίθετο θα συμβεί αν ο δίσκος γυρίσει αντίθετα από την διεύθυνση στροφής του χειροστροφάλου (βραδυπορεία).

Παράδειγμα (Α): Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να πραγματοποιήσουμε 51 διαιρέσεις σε διαιρέτη με σχέση μετάδοσης 40:1.

Ο χειροσφόνδυλος θα πρέπει να περιστραφεί κατά 40/51 δηλαδή 40 οπές στην περιφέρεια των 51 οπών. Τέτοια περιφέρεια, όμως, δεν υπάρχει αλλά ούτε και δυνατότητα εύρεσης ισοδύναμου κλάσματος. Συνεπώς θα διαλέξουμε ένα φανταστικό αριθμό διαιρέσεων που να μην είναι πολύ μεγαλύτερος ή πολύ μικρότερος από τον πραγματικό. Θέτουμε ως Π τον πραγματικό αριθμό και Φ τον φανταστικό.

Επιλέγοντας σαν φανταστικό αριθμό  $\Phi=54$  αντί του πραγματικού  $\Pi=51$  επιλύουμε το πρόβλημα σαν να επρόκειτο να εκτελέσουμε 54 διαιρέσεις, δηλαδή :

$$\frac{40}{54} = \frac{2}{2} \cdot \frac{20}{27} = \frac{20}{27}$$

Δηλαδή 20 οπές στην περιφέρεια με τις 27 οπές. Έτσι όμως θα πραγματοποιηθούν 54 διαιρέσεις. Γιατί το τόξο  $1/51$  είναι μεγαλύτερο από το τόξο  $1/54$  και επομένως ο χειροσφόνδυλος πρέπει να γυρίσει λίγο περισσότερο από 20 οπές. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να υπάρχει προπορεία.

Για να υπολογίσουμε τι οδοντοτροχούς θα πρέπει να τοποθετήσουμε κάνουμε τους εξής υπολογισμούς :  $\frac{Z_1}{Z_2} = (\Phi - \Pi) \frac{T}{K} = (54 - 51) \frac{20}{27} = \frac{60}{27}$

Όπου  $T$  είναι ο αριθμός οπών που στρέφουμε κάθε φορά τον στρόφαλο και  $K$  ο αριθμός των οπών σε όλη την περιφέρεια του δίσκου.

Συνεπώς, θα τοποθετήσουμε τον οδοντοτροχό με 60 οδόντες στον άξονα της ατράκτου και τον οδοντοτροχό με 27 οδόντες στον άξονα του διαφορικού με ένα ενδιάμεσο τροχό. Πάντα, όταν ο φανταστικός αριθμός είναι μεγαλύτερος του πραγματικού, στην κιθάρα θα τοποθετούμε ένα ενδιάμεσο οδοντοτροχό (προπορεία).

Παράδειγμα (B): Σε διαιρέτη 40/1 θέλουμε να κάνουμε 57 διαιρέσεις.

Επιλέγουμε φανταστικό αριθμό διαιρέσεων  $\Phi=56$

$$\frac{40}{56} = \frac{5 \cdot 8}{7 \cdot 8} = \frac{5}{7} = \frac{15}{21}$$

Συνεπώς έχουμε 15 οπές στην περιφέρεια με τις 21 οπές.

Για τον υπολογισμό των ανταλλακτικών οδοντοτροχών θα έχουμε :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = (\Phi - \Pi) \cdot \frac{T}{K} = (57 - 56) \frac{15}{21} = \frac{15}{21} = \frac{3 \cdot 5}{3 \cdot 7} = \frac{5}{7}$$

$$\text{και } \frac{5 \cdot 8}{7 \cdot 8} = \frac{40}{56}$$

Εδώ θα χρειαστεί βραδυπορεία, γιατί ο φανταστικός αριθμός διαιρέσεων είναι μικρότερος από τον πραγματικό. Δηλαδή, θα πρέπει να βάλουμε δύο ενδιάμεσους οδοντοτροχούς, ώστε να αντιστραφεί η φορά περιστροφής του  $Z_2$  και να κάνει καθυστέρηση.

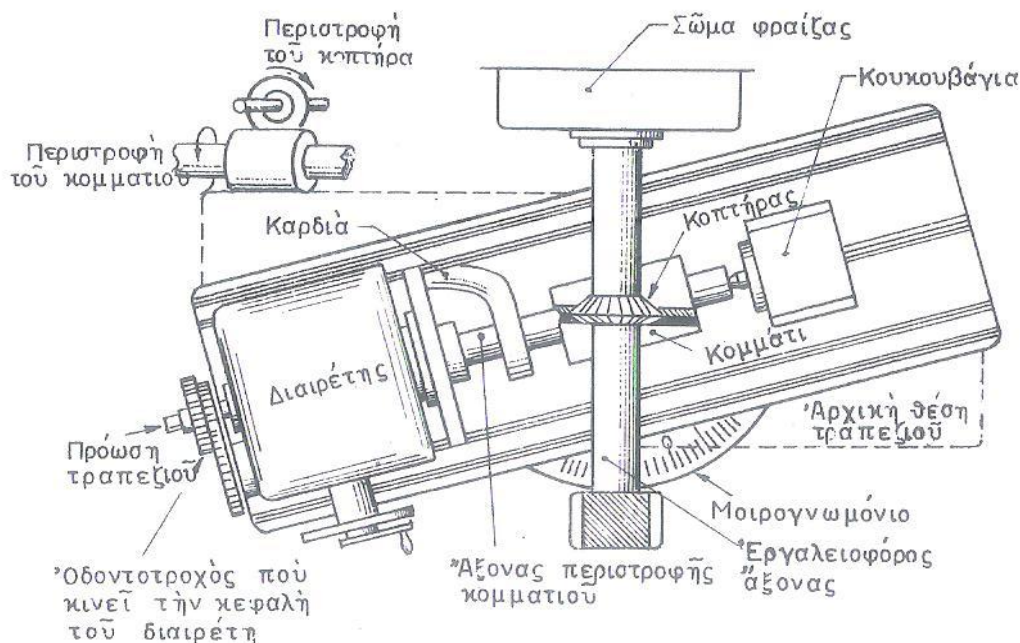
### 1.6 Κοπή έλικας στον διαιρέτη.

Όπως στον τόρνο έτσι και στην φρεζομηχανή μπορούμε να κόψουμε σπείρωμα συνήθως μεγάλου βήματος. Οι συνηθέστερες εργασίες κοπής έλικας στην φρέζα είναι :

Κοπή ελικοειδών αυλακώσεων σε γλύφανα (αλεζουάρ), σε τρυπάνια, κατασκευή οδοντοτροχών με ελικοειδής οδόντες και κοπή ατερμώνων ή άλλων κοχλιών.

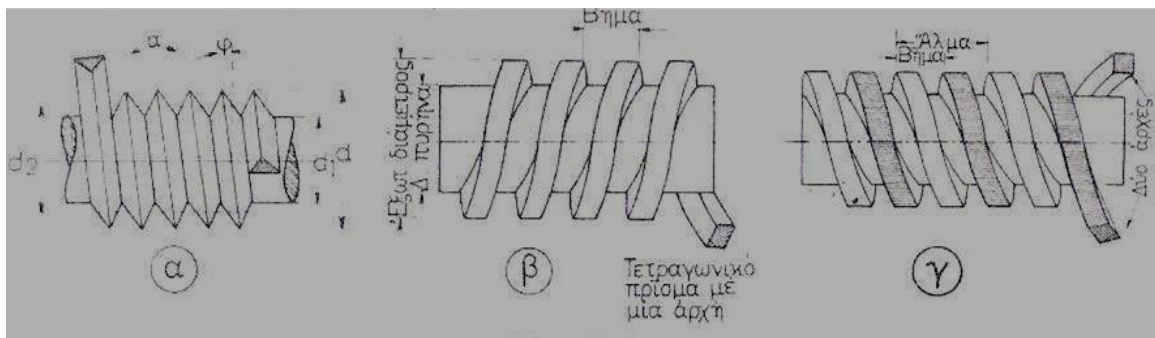
Για να πραγματοποιηθεί έλικα με φρεζομηχανή πρέπει το κομμάτι να γυρίζει και ταυτόχρονα να κινείται ευθύγραμμα. Η ευθύγραμμη κίνηση δίνεται στο τραπέζι και η περιστροφή στην άτρακτο του διαιρέτη. Συνήθως για την κοπή έλικας χρησιμοποιούμε φρέζα δισκοειδής μορφής. Το τραπέζι πρέπει να στρέψει σε γωνία ανάλογη αυτή της έλικας, έτσι ώστε να σχηματιστεί το ελικοειδές αυλάκι. Για το λόγο αυτό σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται φρεζομηχανή με κεφαλή universal. Αν η κοπή γίνει με κονδύλι μορφής, τότε δεν είναι απαραίτητο να στρέψουμε το τραπέζι. Για να βρούμε τις μοίρες περιστροφής του τραπεζιού θα κάνουμε τους εξείς υπολογισμούς:

$$\varepsilon\varphi\beta = \frac{D \cdot \pi}{L}$$



### Κοπή έλικας σε φρεζομηχανή

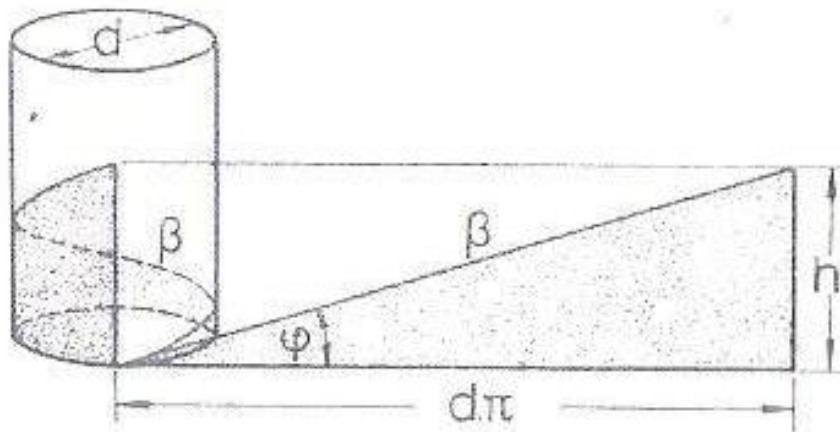
Όπου  $D$  είναι η διάμετρος του κομματιού και  $L$  είναι το βήμα της έλικας. Σε αυτό το σημείο, σκόπιμο είναι να αναφέρουμε κάποιες βασικές διαστάσεις των σπειρωμάτων. Αυτές είναι η μεγάλη (εξωτερική) διάμετρος  $d$ , η μικρή (εσωτερική) διάμετρος  $d_1$  το βήμα  $h$ , τη γωνία σπειρώματος  $\alpha$ , και την κλίση σπειρώματος  $\phi$ . Για να κατανοήσουμε τις βασικές διαστάσεις του κοχλίας παρακολουθήσουμε το σχήμα. Ο κοχλίας μοιάζει με ένα κύλινδρο (διάμετρος πυρήνα) στον οποίο είναι περιτυλιγμένο επάνω του ένα ή περισσότερα πρίσματα. Ο κοχλίας του σχήματος [σχ4.α] είναι τριγωνικό σπείρωμα γιατί τυλίξαμε πάνω του τριγωνικό πρίσμα. Ο κοχλίας πάλι του σχήματος [σχ4.β] είναι με τετραγωνικό σπείρωμα, γιατί τυλίξαμε τετραγωνικό πρίσμα.



Σχήμα 4.

Στο σχήμα [σχ4.γ] έχουμε κοχλία με τετραγωνικό σπείρωμα, αλλά με δύο αρχές, γιατί τυλίξαμε δύο ξεχωριστά πρίσματα. Κι σε αυτή την περίπτωση βήμα είναι η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σπειρωμάτων τα οποία μετράμε πάνω στην γενέτειρα του κυλίνδρου. Η απόσταση μεταξύ δύο σπειρωμάτων (που σχηματίστηκαν από το ίδιο πρίσμα) μετράται σε μία γενέτειρα του κυλίνδρου και λέγεται άλμα. Όταν ο κοχλίας έχει μία αρχή, τότε βήμα και άλμα ταυτίζονται. Όταν, όμως, έχει δύο αρχές, το άλμα ισούται με δύο βήματα, όταν έχει τρεις με τρία κ.ο.κ.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η κλίση του σπειρώματος  $\phi$ , η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής της έλικας  $\beta$  και του επιπέδου του κάθετου επί τον άξονα του σπειρώματος. Η γωνία αυτή εξαρτάται από την διάμετρο  $d$  και το άλμα  $h$  του σπειρώματος. Στο σχήμα [σχ. 5] σε κύλινδρο με διάμετρο  $d$  τυλίγεται ένα ορθογώνιο τρίγωνο από χαρτί. Η μία κάθετος του τριγώνου έχει μήκος ίσο προς το μήκος της περιφέρειας του κυλίνδρου  $d \cdot \pi$  και η άλλη κάθετος έχει μήκος το άλμα  $h$  του κοχλίας που θα σχηματισθεί.

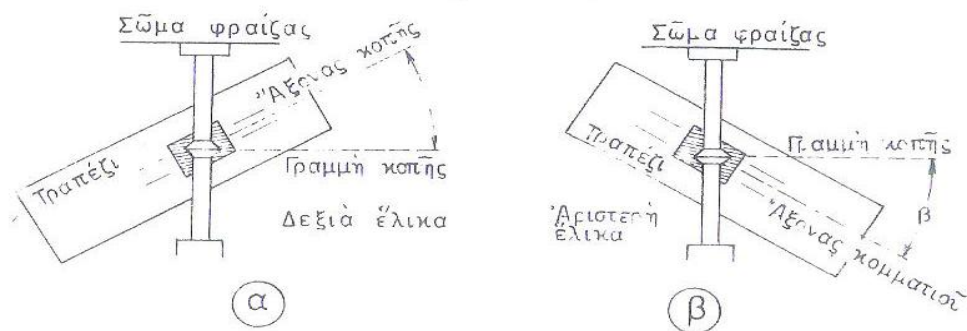
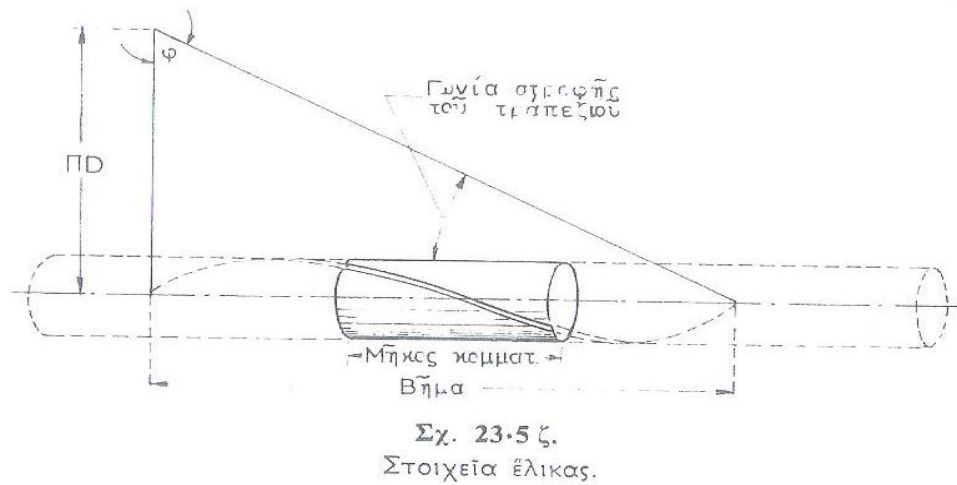


Σχήμα 5

Η υποτείνουσα  $\beta$  του τριγώνου όπως τυλίγεται γύρω στον κύλινδρο σχηματίζει ελικοειδή γραμμή στην περιφέρεια του κυλίνδρου. Αυτή η ελικοειδής γραμμή στους κοχλίες, είναι το σπείρωμα. Την γωνία κλίσεως  $\phi$  του σπειρώματος την υπολογίζουμε από την σχέση :

$$\epsilon\phi\phi = \frac{h}{d \cdot \pi}$$

$$(\text{για την περίπτωση της κοπής έλικας}) \frac{\text{βήμα έλικας}}{\text{μήκος περιφέρειας}} = \frac{L}{D \cdot \pi}$$



Σχήμα 6. Θέσεις τραπεζιού στην κοπή έλικας

Η γωνία  $\beta$ , που μας χρειάζεται εδώ, είναι συμπληρωματική της γωνίας  $\phi$  και είναι η γωνία αυτή κατά την οποία πρέπει να στραφεί το τραπέζι της φρεζομηχανής. Όταν κόβουμε σπείρωμα δεξιό, τότε το τραπέζι θα στραφεί όπως στο σχήμα και όταν κόβουμε αριστερό, αντίθετα [σχ. 6] Για ευκολία, χρησιμοποιούμε το παρακάτω τέχνασμα. Στα δεξιά σπειρώματα σπρώχνουμε την δεξιά πλευρά (άκρη) του τραπεζιού να βρει το σώμα της φρεζομηχανής. Και αντίστροφα στο αριστερό. Όσο μεγαλύτερο είναι το βήμα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η γωνία κλίσεως  $\phi$  και τόσο μικρότερη η γωνία στρεφής του τραπεζιού  $\beta$ .

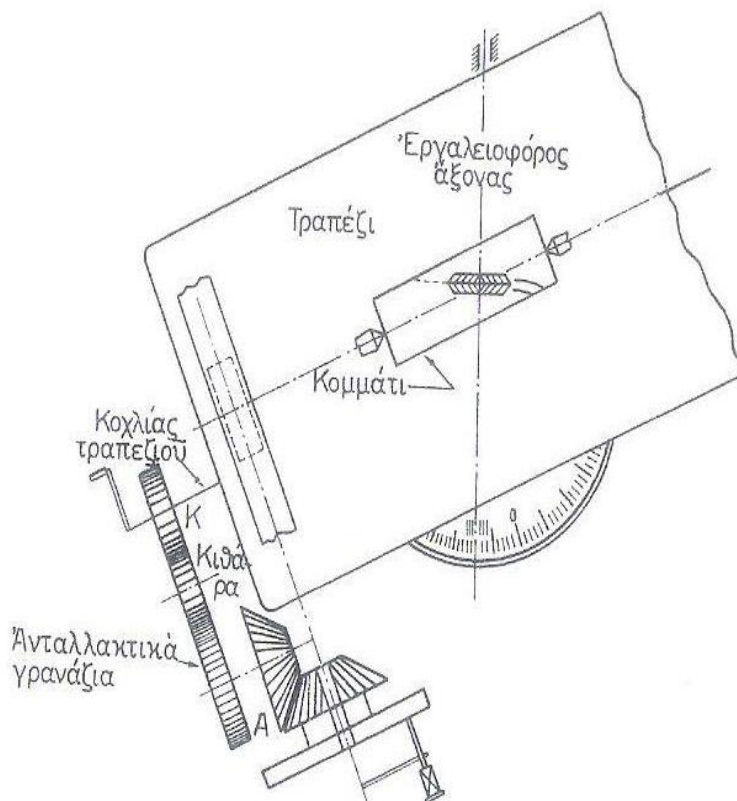
Επειδή στις φρεζομηχανές universal το τραπέζι γυρίζει το πολύ μέχρι 45 μοίρες, αυτό μας περιορίζει στο να κόψουμε γωνία  $\beta$  μεγαλύτερη των 45 μοιρών. Με ειδική στρεφόμενη κεφαλή universal μπορούμε να κόψουμε και μεγαλύτερες γωνίες, γυρίζοντας την κεφαλή στις απαιτούμενες μοίρες.



### Υπολογισμός των ανταλλακτικών οδοντοτροχών.

Όπως προαναφέρθηκε, για να δημιουργηθεί η έλικα θα πρέπει το κομμάτι να στρέφεται δεμένο στην άτρακτο του διαιρέτη και να κινείται ταυτόχρονα ευθύγραμμα το τραπέζι μαζί με το κομμάτι. Για αυτό, πρέπει να συνδέσουμε την κίνηση του διαιρέτη με αυτή του τραπεζιού. Η σύνδεση αυτή γίνεται με οδοντοτροχούς. Ένας οδοντοτροχός τοποθετείται στον άξονα του διαφορικού του διαιρέτη στην θέση (A) [σχ. 7]

Στο σχήμα [σχ. 1] ο άξονας του διαφορικού έχει μία χειρολαβή (N), που πρέπει να βγάλουμε για να βάλουμε τον οδοντοτροχό (A). Ο άλλος οδοντοτροχός (K) τοποθετείται στον μεταφορικό κοχλία του τραπεζιού τη φρεζομηχανής [σχ. 7]



Σχήμα 7. Διάταξη κοπής έλικας σε φρεζομηχανή

Η απόσταση μεταξύ των οδοντοτροχών (Α) και (Κ) γεφυρώνεται με ενδιάμεσους οδοντοτροχούς, όπως βλέπουμε στο σχήμα [σχ. 8] όπου έχουμε διπλή μετάδοση κινήσεως.

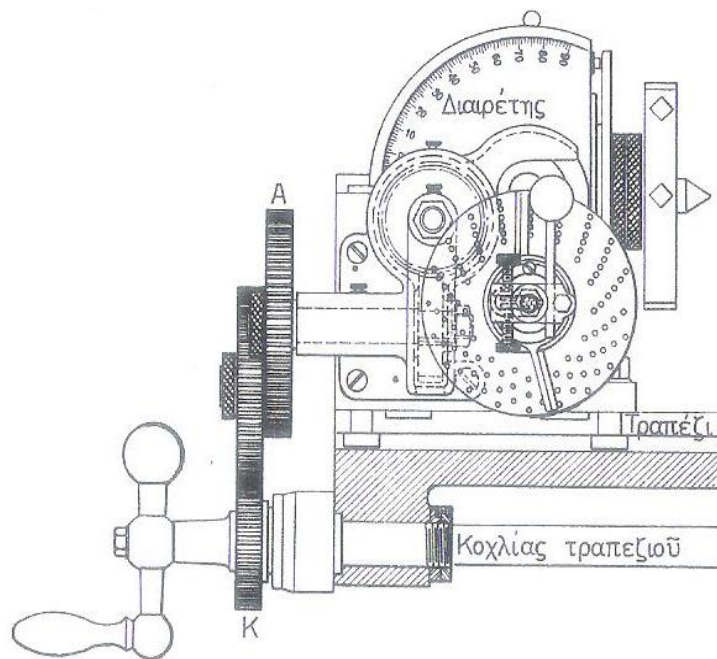
Για να υπολογίσουμε τους κατάλληλους οδοντοτροχούς χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$\frac{A}{K} = \frac{B_{\zeta}}{B_{\kappa}}$$

Αυτός ο τύπος θα μας έδινε τους κατάλληλους οδοντοτροχούς, αν ο οδοντοτροχός (Α) είχε τοποθετηθεί στην άτρακτο του διαιρέτη. Σε αυτή την περίπτωση όμως τοποθετείται στο διαφορικό και έτσι η σχέση παίρνει την μορφή :

$$\frac{A}{K} = \frac{B_{\zeta}}{B_{\kappa}} \cdot \frac{1}{\chi}$$

Όπου  $\left(\frac{1}{\chi}\right)$  είναι η σχέση μετάδοσης του διαιρέτη.



Σχήμα 8. Ανταλλακτικοί τροχοί για κοπή έλικας

Παράδειγμα : Σε φρεζομηχανή με διαιρέτη 1/60 και με βήμα κοχλία τραπεζιού 5mm θέλουμε να κατασκευάσουμε έλικα με βήμα 400mm σε κομμάτι διαμέτρου 100mm. Να υπολογιστεί η γωνία που θα στρέψουμε το τραπέζι και οι ανταλλακτικοί οδοντοτροχοί.

Έτσι έχουμε:

$$\varepsilon\varphi\beta = \frac{D \cdot \pi}{L} = \frac{100 \cdot 3,14}{400} = 0,785 = 38^\circ$$

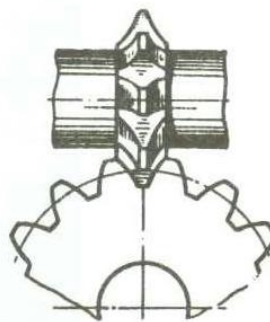
Και οι οδοντοτροχοί :

$$\frac{A}{K} = \frac{B_z}{B_k} \cdot \frac{1}{\chi} = \frac{400}{5} \cdot \frac{1}{60} = \frac{400}{300} = \frac{40}{30}$$

Ο οδοντοτροχός 40 τοποθετείται στο διαφορικό του διαιρέτη και ο 30 στον κοχλία του τραπεζιού. Όσο κόβει η έλικα, ο πείρος του χειροστροφάλου δεν βγαίνει από την οπή της πλάκας. Ο πείρος βγαίνει και γυρίζει ο χειροστρόφαλος, μόνο όταν τελειώσει η μία αρχή και θέλουμε να πάμε στην άλλη. Η κίνηση του τραπεζιού και το γύρισμα του κομματιού γίνεται, είτε όταν γυρίζουμε τον κοχλία του τραπεζιού, είτε όταν γυρίζουμε τον χειροστρόφαλο μαζί με τον δίσκο.

## 2. Κοπτικά εργαλεία

Για τις διάφορες μορφές κατεργασίας χρησιμοποιούνται διαφορετικά είδη κοπτικά εργαλεία. Τα εργαλεία είναι κατασκευασμένα συνήθως από ταχυχάλυβα επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση υψηλών ταχυτήτων εν σχέση με τους κοινούς χάλυβες εργαλείων. Χρησιμοποιούνται επίσης και πλακίδια σκληρομετάλλων ανάλογα με το είδος φρεζαρίσματος. Ως κοπτικό εργαλείο για την κοπή οδοντωτών τροχών στην φρεζομηχανή χρησιμοποιείται είτε δισκοειδής φρέζα, είτε ένα κονδύλι μορφής.



A.

B.



Δισκοειδείς φρέζες μορφής. Κονδύλια μορφής.



**Κοπή κωνικού οδοντωτού τροχού σε κάθετη φρεζομηχανή με την χρήση διαιρέτη.**

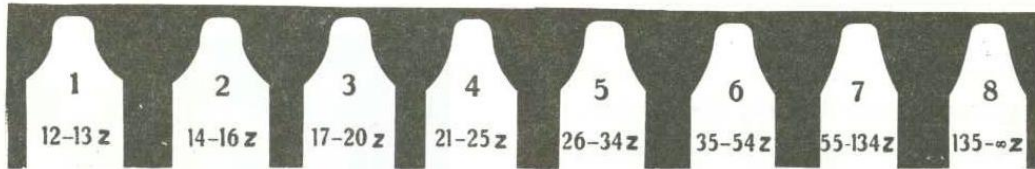


**Κοπή ευθύγραμμων μετωπικών οδόντων με την χρήση δισκοφρέζας και την στήριξη σε διαιρέτη και κεντροφορέα.**

### ***2.1. Κοπή οδοντώσεων στην φρεζομηχανή.***

Η χρήση της φρεζομηχανής για την κοπή των οδοντωτών τροχών έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση είτε δισκοειδούς φρέζα μορφής, είτε με ένα κονδύλι μορφής και την συνεργασία του διαιρέτη.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως η χρήση κοπτικού εργαλείου μορφής για κάθε μοντούλ αλλά και για κάθε αριθμό οδόντων του ίδιου μοντούλ απαιτεί και μια ιδιαίτερη δισκοφρέζα. Επειδή όμως αυτό δεν είναι πρακτικό και οικονομικό στην πράξη ο αριθμός των κοπτικών φρεζών αποτελείται συνολικά από ένα σύνολο από οκτώ κοπτικά και σπανιότερα από δεκαπέντε. Έτσι για κάθε μοντούλ υπάρχουν οκτώ διαφορετικά κοπτικά, για κάθε εύρος αριθμού οδόντων δηλαδή οκτώ διαφορετικές κατατομές. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνετε η κατανομή των κοπτικών σύμφωνα με τον απαιτούμενο αριθμό οδόντων για κάθε μοντούλ.



**Σειρά κοπτικών ιδίου μοντούλ και διαφορετικού αριθμού οδόντων.**



#### **ΣΕΤ ΚΟΠΤΙΚΩΝ.**

Σε κάθε δισκοφρέζα είναι χαραγμένα τα εξής χαρακτηριστικά στοιχεία.

- Το μοντούλ ή το διαμετρικό βήμα
- Ο αριθμός φρέζας από ένα έως οκτώ για την σειρά των κοπτικών.
- Την περιοχή για την οποία είναι κατάλληλο το κοπτικό π.χ. 14-16z άρα το κοπτικό είναι το N<sup>ο</sup> 2
- Η γωνία κλίσεως της γωνίας επαφής (ή γωνία πίεσης) για την οποία είναι κατασκευασμένο το κοπτικό, που συνήθως είναι 20<sup>ο</sup> ή σπανιότερα σε παλαιές κατασκευές και 15<sup>ο</sup> σε ευρωπαϊκές κατασκευές και σε αμερικάνικες 14 ½.

Αξίζει να τονιστεί ότι η ακρίβεια κατατομής του δοντιού αντιστοιχεί πάντοτε στο μικρότερο αριθμό των δοντιών, ενώ για τους υπόλοιπους αριθμούς η κατατομή είναι προσεγγιστική αλλά με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η κοπή οδόντων στην φρεζομηχανή δεν είναι η ιδανικότερη για παραγωγή οδοντωτών τροχών, γιατί απαιτεί την χρήση διαιρέτη και απασχολεί αρκετό χρόνο και το μηχάνημα και τον τεχνίτη.

**Σημείωση.**

Κατά την κατασκευή και την κοπή των οδόντων γίνονται ορισμένα σφάλματα τα οποία αποκλίνουν ελαφρώς από την ιδανική θεωρητική μορφή της κατασκευής όπως το πάχος του οδόντα και το διάκενο. Η αποκλίσεις αυτές οφείλονται κυρίως σε:

- Σφάλμα μη παραλληλότητας των αξόνων των τροχών.
- Σφάλμα στην απόσταση των αξόνων των τροχών.
- Σφάλμα έκκεντρης περιστροφής κατά την κοπή των οδόντων.
- Σφάλμα λόγω φθοράς στο κοπτικό εργαλείο.

Για κάθε μοντούλ υπάρχει και το αντίστοιχο κοπτικό εργαλείο για την κλίση της ευθείας επαφής  $20^\circ$  ή  $15^\circ$ .

Με καθορισμένα τα απαραίτητα στοιχεία από τον μελετητή, δηλαδή το μοντούλ  $m$  τον αριθμό των οδόντων και την κλίση της ευθείας επαφής  $20^\circ$  ή  $15^\circ$ , η διατομή του οδόντα θα αποδοθεί με ακρίβεια κατόπιν κατεργασίας. Έτσι συντομεύεται η διαδικασία κατασκευής γιατί δεν είναι απαραίτητη η χάραξη εξελιγμένης καμπύλης στα κατασκευαστικά σχέδια των τροχών.

## 2.2. Ταχύτητα κοπής.

Είναι ουσιαστικά ο ρυθμός περιστροφής του κοπτικού εργαλείου διαμέτρου  $D$  σε (mm) το οποίο περιστρέφεται με  $n$  στροφές ανά λεπτό (rpm). Η ταχύτητα κοπής  $u$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$u = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left[ \frac{m}{min} \right]$$

Στο διάγραμμα διευκολύνει στην εύκολη (προσεγγιστικά) στην εύρεση του ενός από τα στοιχεία  $u$ ,  $d$ ,  $n$  όταν γνωρίζουμε τα άλλα 2.

## 2.3. Πρόωση

### a) Πρόωση ανά οδόντα ( $s_1$ )

Είναι η μετατόπιση του κομματιού από την στιγμή που ακουμπά ένα δόντι στο κομμάτι μέχρι την στιγμή που θα ακουμπήσει το αμέσως επόμενο δόντι. Δηλαδή είναι η μετατόπιση του κομματιού σε σχέση με την φρέζα που αντιστοιχεί σε ένα δόντι. Και μετριέται σε mm/δόντι.

### Πρόωση ανά λεπτό $S$ .

Είναι η μετατόπιση του κομματιού εν σχέση με τη φρέζα σε χιλιοστά ανά λεπτό.

### b) Σχέση $S$ και $s_1$

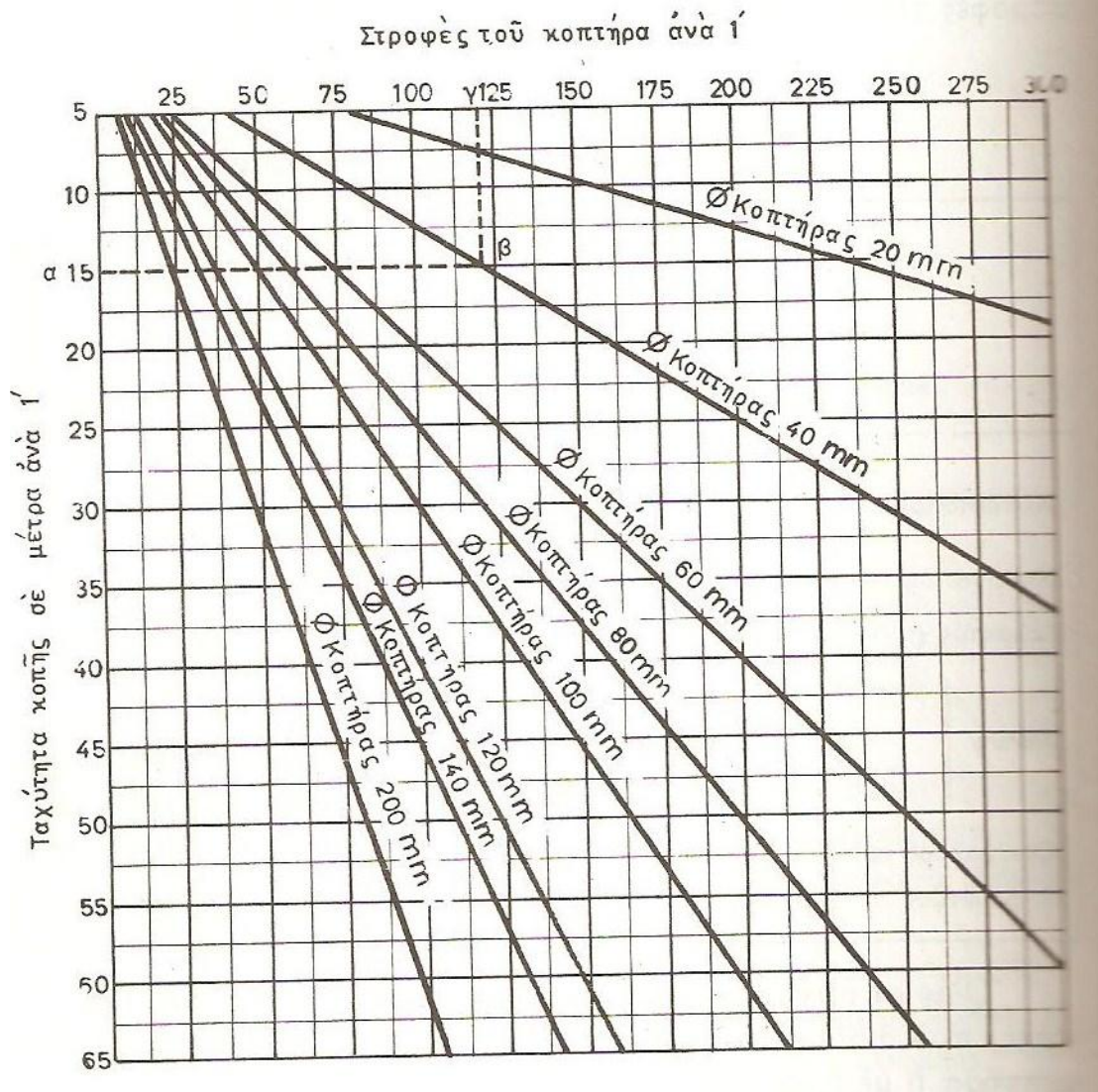
Αν  $Z$  είναι ο αριθμός δοντιών της φρέζας και  $n$  είναι οι στροφές ανά λεπτό, τότε σε μία στροφή της φρέζας εφόσον περνούν  $Z$  δόντια η μετατόπιση θα είναι

$$S = s_1 \cdot Z \cdot n \text{ σε mm/min}$$

Για να επιλέξουμε ταχύτητα προώσεως πρέπει πρώτα να καθορίσουμε πόση πρέπει να είναι η πρόωση ανά δόντι. Για εργασίες ξεχονδρίσματος επιλέγονται σχετικά μεγάλες προώσεις ενώ η τελική κατεργασία μικρές για να αποδοθεί λεία επιφάνεια. Η εκλογή πρόωσης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες.

- Το υλικό του κομματιού που θα κατεργαστούμε.
- Τι μορφή και το υλικό του κοπτικού εργαλείου.
- Το βάθος κοπής ( όσο μεγαλύτερο το βάθος τόσο μικρότερη η πρόωση).
- Την επιθυμητή ποιότητα επιφανείας που θέλουμε να αποδοθεί.





Διάγραμμα ταχυτήτων κοπής.

Οι παρακάτω πίνακες δίνουν ενδεικτικές τιμές ταχυτήτων κοπής σε m/min.

Υλικό προς κατεργασία	Φρέζες από ταχυχάλυβα			Φρέζες με σκληρόμεταλλο
	Κυλινδρικές φρέζες	Δισκοειδείς φρέζες	κονδύλια	
Χάλυβας αντοχής 35-70 $kp/mm^2$	20-30	20-30	20-35	60-120
Χάλυβας αντοχής 70-90 $kp/mm^2$	15-20	18-25	15-30	40-80
Χάλυβας ανοχής $<90 kp/mm^2$	8-15	10-18	10-20	30-60
Χυτοχάλυβας	15-25	15-25	25-30	40-80
χυτοσίδηρος	15-30	15-30	15-30	60-100
Χαλκός και ορείχαλκος	30-60	30-60	30-60	100-200
Βελτιωμένα κράματα	200-300	250-350	150-300	400-500
Αλουμίνια, συνεκτικά ελαφρά μέταλλα	400-500	400-500	200-350	800-1500

Οι μικρότερες τιμές ισχύουν για ξεχόνδρισμα και οι μεγάλες για τελική κατεργασία.

Υλικό	Ταχυχάλυβας			Μαχαιροφόρες κλεφαλές	
	Κυλινδρικές φρέζες	Δισκοειδείς φρέζες	Κονδύλια	Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλα
Χυτοσίδηρος	0,18-0,22	0,04-0,08	0,01-0,05	0,28-0,32	0,06-0,1
Χάλυβας αντοχής 50-60 $kp/mm^2$	0,2-0,22	0,06-0,08	0,04-0,06	0,3-0,32	0,07-0,09
Χάλυβας αντοχής 60-85 $kp/mm^2$	0,14-0,16	0,05-0,06	0,02-0,04	0,2-0,1	0,06-0,05
Χάλυβας εναναθρακώσεως αντοχής έως 85 $kp/mm^2$	0,1-0,12	0,04-0,06	0,01-0,04	0,12-0,1	0,03-0,05
Μπρούτζος	0,14-0,16	0,06-0,08	0,04-0,06	0,3-0,32	0,08-0,1
Ορείχαλκος	0,2-0,22	0,06-0,08	0,04-0,06	0,3-0,32	0,1-0,12
Αλουμίνιο	0,14-0,16	0,06-0,08	0,04-0,06	0,2-0,22	0,08-0,12

Ενδεικτικές τιμές προώσεων  $s_1$  σε mm/δόντι.

## Παράδειγμα

Να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά κατεργασίας. Δισκοειδής φρέζα μορφής από ταχυχάλυβα θα κατεργαστεί χάλυβα αντοχής  $700 \text{ N/mm}^2$  διαμέτρου  $d=60\text{mm}$  και οδόντων  $Z=12$ .

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει για χάλυβα κοπής ταχύτητα  $u=25\text{m/min}$ . Για δισκοειδή φρέζα μορφής από ταχυχάλυβα η πρόωση ανά οδόντα σύμφωνα με τον πίνακα είναι  $s_1=0,16 \text{ mm/οδόντα}$ .

Οι στροφές της φρέζας θα είναι:

$$n = \frac{1000 \cdot u}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 25}{\pi \cdot 60} = 133 \text{ r.p.m.}$$

Και η πρόωση ανά λεπτό ακολούθως θα είναι :

$$S = s_1 \cdot z \cdot n = 0,16 \cdot 12 \cdot 133 = 255 \text{ mm/min}$$

### 3. ΟΔΟΝΤΟΚΟΠΤΕΣ (ΓΡΑΝΑΖΟΚΟΠΤΕΣ)

Κατατάσσονται σε τρία βασικά είδη ανάλογα με το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιούν.

#### 3.1. Γραναζοκόπτης κοχλιωτής φρέζας (φρέζα "χομπ")

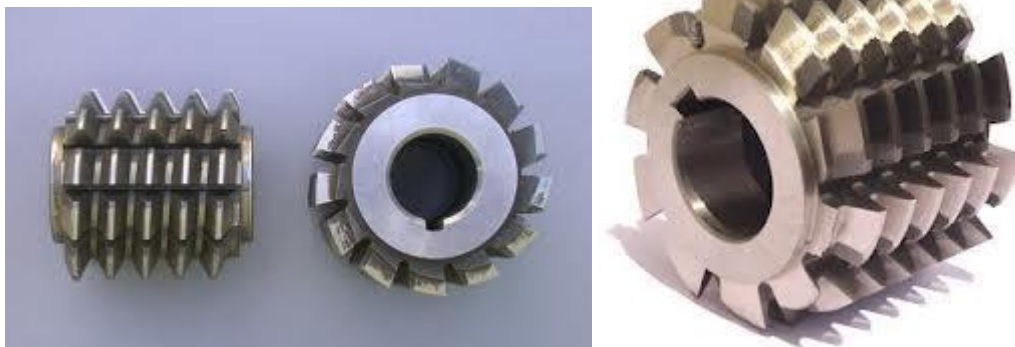
Σε αυτή τη μηχανή εκτελούνται τρεις κινήσεις κοπής.

- Το κοπτικό εκτελεί την κύρια κίνηση κοπής δηλαδή περιστρέφεται συνεχώς.
- Το κομμάτι που κατεργαζόμαστε περιστρέφεται.
- Το κοπτικό κινείται αργά σε μία ευθύγραμμη κατακόρυφη κίνηση ως προς το κομμάτι.

Στους γραναζοκόπτες αυτούς μπορούν να κοπούν τα παρακάτω είδη οδοντωτών τροχών.

- Κυλινδρικοί τροχοί με ευθύγραμμους ή ελικοειδής οδόντες
- Τροχοί για αλυσίδες
- Πολύσφηνα και παρόμοιες αυλακώσεις
- Τροχοί και κορώνες για ατέρμονες κοχλίες.

Η κοπή οδοντώσεων στην εν λόγω μηχανή είναι συμφέρουσα ιδιαίτερα όταν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες.



Κοχλιωτή φρέζα «χομπ».



Κοπή οδόντωσης με φρέζα χόμπ.

#### Πλεονεκτήματα.

- I. Ο χειρισμός της μηχανής σε σχέση με τις άλλες είναι εύκολος.
- II. Όλες οι κινήσεις είναι συνεχής και ομαλές χωρίς θορύβους.
- III. Η κοπή των δοντιών εκτελείται ταυτόχρονα για όλα τα δόντια από την αρχή έως το τέλος.
- IV. Για κάθε μοντούλ χρησιμοποιείται μία μόνο φρέζα ανεξαρτήτως του αριθμού των οδόντων.

#### Μειονεκτήματα.

- I. Τα κοπτικά εργαλεία χόμπ είναι αρκετά δαπανηρά (περί τα 1000 ευρώ).
- II. Δεν μπορούν να κοπούν δόντια με εσωτερική οδόντωση.

Παρά τα μειονεκτήματά τους οι γραναζοκόπτες χόμπ χρησιμοποιούνται ευρέως από μικρομεσαίες βιοτεχνίες και μηχανουργία.

### 3.2. Γραναζοκόπτες με οδοντωτό κοπτικό τροχό (σύστημα Fellows).

Σε αυτές τις μηχανές η κίνηση είναι παλινδρομική και ως κοπτικό εργαλείο έχει έναν οδοντωτό τροχό.

Οι κινήσεις που εκτελεί αυτή η μηχανή είναι οι εξής

- a. Το κοπτικό παλινδρομεί κατακόρυφα
- b. Το κοπτικό εκτελεί μια μικρή οριζόντια παλινδρομική κίνηση για να επιστρέφει προς τα επάνω.
- c. Το κοπτικό περιστρέφεται συνεχώς.

#### Πλεονεκτήματα της μηχανής.

- Η μηχανή έχει την δυνατότητα κοπής εσωτερικής οδόντωσης.
- Μπορούν να κοπούν δόντια σε ενσωματωμένους δίσκους, δηλαδή διπλό ή τριπλό γρανάζι. Μία ουσιώδης κατεργασία με μεγάλη εφαρμογή στα γρανάζια των κιβωτίων ταχυτήτων. Η δυνατότητα αυτή δεν υφίσταται στον γραναζοκόπη χόμπ.
- Μπορεί να κόψει δόντια μόνο σε ένα τμήμα της περιφέρειας του τροχού.
- Εύκολη αλλαγή κοπτικό



**Κοπή οδόντωσης σε ενσωματωμένο δίσκο.**



**Κοπή με το σύστημα *Fellows* εξωτερικά (άνω) και εσωτερικά (κάτω) με ευθύς μετωπικούς οδόντες.**

**Μειονεκτήματα.**

- Είναι πολυσύνθετη ως προς την ρύθμιση των κινήσεων που αναφέραμε.
- Υπάρχει νεκρός χρόνος κατά την διαδρομή του εργαλείου προς τα επάνω.

### 3.3. Γραναζοκόπτες με κοπτικό χτένι.

Ομοιάζει με την γενική αρχή λειτουργίας του γραναζοκόπτη με κοπτικό τροχό. Οι ουσιώδεις διαφορές τους είναι.

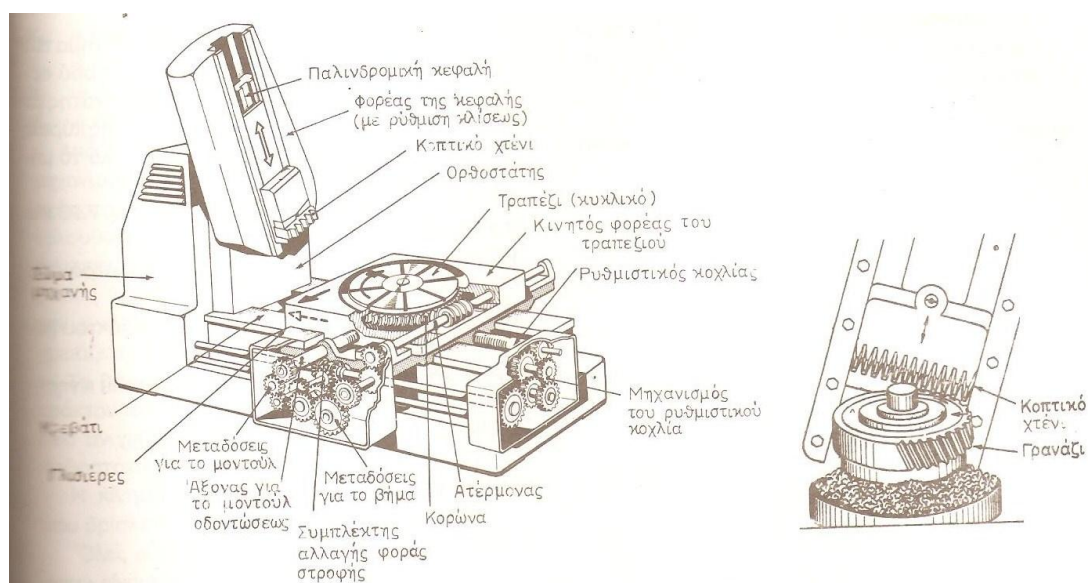
- Αντί για κοπτικό τροχό φέρει κοπτικό χτένι. Η κοπή των δοντιών στην περιφέρεια του τροχού είναι διακεκομμένη και γίνεται κατά τμήματα.
- Το κοπτικό χτένι δεν περιστρέφεται αλλά μόνο παλινδρομεί. Και μπορεί να κόψει ευθύγραμμα και ελικοειδή δόντια.

Το χτένι σχηματίζει ομάδες οδόντων κατά την εκτέλεση της κοπής. Ενώ το κομμάτι κατεργασίας κάνει κύλιση επάνω στο χτένι. Η κίνηση αυτή είναι μια ευθύγραμμη παλινδρομική του φορέα του κυκλικού τραπέζιου. Και μια κυκλική (τμήμα κύκλου) παλινδρομική του κομματιού. Με το τέλος της κοπής μιας ομάδας δοντιών διακόπτεται η κοπή και το κομμάτι αλλάζει θέση για κοπεί η επόμενη ομάδα δοντιών.

Μειονέκτημα αυτής της μηχανής είναι ότι δεν μπορούν να κοπούν εσωτερικοί οδόντες. Πλεονέκτημα είναι ότι το κοπτικό χτένι είναι φθηνό και τροχίζεται ευκολότερα σε σύγκριση με τα άλλα κοπτικά.



**Κοπτικό χτένι.**





#### 4. Βασικά στοιχεία εκλογής οδοντοτροχών.

##### 4.1. Γενικά

Οι οδοντοτροχοί έχουν ευρεία εφαρμογή σε όλη βιομηχανία, και κυρίως στην βιομηχανία αυτοκίνητων όπου ο αριθμός τους είναι αρκετά εκατομμύρια κάθε χρόνο. Η άμεση μετάδοση της κίνησης από ένα άξονα σε έναν άλλον χωρίς την μεσολάβηση αλυσίδων ή μάντων είναι το κύριο χαρακτηριστικό στοιχείο ενός κιβωτίου ταχυτήτων.

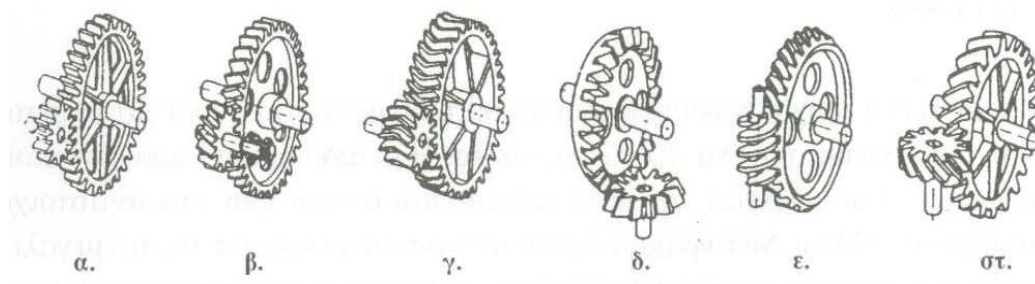
Η σχέση μετάδοσης είναι ο λόγος των στροφών

$$i = \frac{\text{κινητήριου}}{\text{κινούμενου}} = \frac{n_1}{n_2}$$

Η σχέση αυτή είναι σταθερή για τους οδοντοτροχούς σε σχέση με άλλα μέσα μετάδοσης όπως μάντες κλπ. Που υπάρχουν απώλειες ολίσθησης.

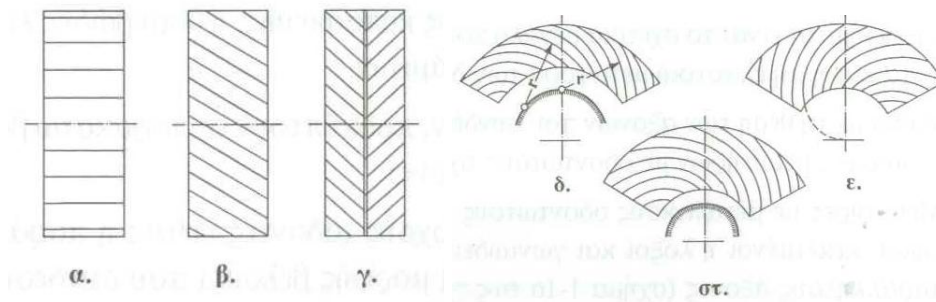
Η σύζευξη δύο αξόνων με οδοντοτροχούς γίνεται με τους εξής τρόπους

- Άξονες παράλληλοι και τροχοί κυλινδρικοί, με δόντια είτε ευθύγραμμα είτε ελικοειδή.
- Κωνικοί τροχοί με άξονες που συναντώνται με είτε κωνικά ευθύγραμμους οδόντες είτε κωνικά ελικοειδείς.
- Διασταυρωμένοι άξονες στον χώρο, χωρίς σημείο επαφής. Δηλαδή ζεύγος ατέρμονα κορώνας ή και με ελικοειδείς οδοντοτροχούς.



**Βασικές διατάξεις μειωτήρων. α,β,γ: μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, δ. κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, ε. με ατέρμονα κοχλιωτό τροχό και κορόνα, στ. με κοχλιωτούς οδοντοτροχούς.**

Μία άλλη διάκριση γίνεται ανάλογα με την χάραξη της κατατομής οι οποίες διακρίνονται σε ευθείς, κεκλιμένους, γωνιώδεις, τοξωτούς σπειροειδείς, και εξελιγμένης.



**Κατατομές οδόντα. α. ευθείς οδόντες, β. κεκλιμένοι, γ. γωνιώδεις, δ. τοξωτοί, ε. σπειροειδείς, στ. εξελιγμένης**

#### 4.2. Οδοντωτοί τροχοί με ευθύγραμμους παράλληλους οδόντες

##### Πλεονεκτήματα

- ❖ Οι αξονικές δυνάμεις είναι μικρές, συνεπώς τα φορτία στα έδρανα είναι μικρά.
- ❖ Ο βαθμός απόδοσης είναι λίγο μεγαλύτερος.
- ❖ Οι οδόντες κατασκευάζονται με μεγαλύτερο πλάτος με μεγαλύτερες επιφάνειες επαφής και μικρότερες πιέσεις επιφανείας και μικρότερες φθορές. Σε πολυβάθμιους μειωτήρες χρησιμοποιούνται συνήθως στην βαθμίδα χαμηλών στροφών που υπάρχει υψηλή ροπή.

##### Μειονεκτήματα

Η λειτουργία τους είναι γενικά θορυβώδης, ειδικά σε υψηλές στροφές.

Η αντοχή τους στις αυτές διαστάσεις είναι λίγο μικρότερη.

Είναι ευαίσθητοι σε όσο αφορά τα λάθη μορφής του οδόντα. Δηλαδή εμφανίζουν ταλαντώσεις και δυναμική θραύσης.

### 4.3. Οδοντωτοί τροχοί με κεκλιμένους πλάγιους οδόντες.

#### Πλεονεκτήματα

- Εργάζονται αθόρυβα
- Έχουν μεγαλύτερο βαθμό επικάλυψης γιατί βρίσκονται συγχρόνως σε επαφή περισσότεροι οδόντες που εμπλέκονται βαθμιαία.
- Οι δυνάμεις που μπορούν να δεχτούν είναι μεγαλύτερες από αυτές με ευθύγραμμους οδόντες ίδιων διαστάσεων.
- Είναι λιγότερο ευαίσθητοι σε λάθη μορφής.

#### Μειονεκτήματα

Εξαιτίας της κλίσης των οδόντων κατά την λειτουργία τους ασκούνται αξονικές δυνάμεις που καταπονούν τον άξονα και τα έδρανα εμφανίζοντας ταυτόχρονα και υψηλότερες απώλειες τριβής και μικρότερο βαθμό απόδοσης. Η αξονικές δυνάμεις μπορούν εξουδετερωθούν είτε με οδοντώσεις σε μορφή βέλους είτε με διπλή κεκλιμένη οδόντωση. Το πλάτος των οδόντων αυτών αυξάνεται στο διπλάσιο σε σχέση με τους απλούς κεκλιμένους οδόντες, κάτι που είναι απαραίτητο σε μεγάλους μειωτήρες. Για την κατασκευή οδόντων μορφής βέλους χρησιμοποιούνται κοπτικά με κονδύλι μορφής ή ειδικά τροχισμένα ζεύγη κοπτικών τροχών. Αυτό καθιστά την κατασκευή τους δαπανηρότερη και δυσκολότερη. Η διεύθυνση περιστροφής του τροχού θα πρέπει επίσης να είναι ταυτόσημη με αυτή της κορυφής της γωνίας που σχηματίζουν οι οδόντες για λόγους αντοχής.

Η συνιστώμενες γωνίες κλίσης για αποφυγή μεγάλων αξονικών δυνάμεων που εξασφαλίζουν ήρεμη και ομαλή λειτουργία του μειωτήρα είναι

Για απλή ή διπλή κεκλιμένη οδόντωση  $\beta=8^{\circ}-25^{\circ}$

Για οδόντες μορφής βέλους  $\beta=30^{\circ}-45^{\circ}$

Οι οδοντοτροχοί με κεκλιμένους οδόντες βρίσκουν εφαρμογή σε εφαρμογές με μεγάλες καταπονήσεις και υψηλό αριθμό στροφών όπως μειωτήρες πλοίων, μειωτήρες εργαλειομηχανών και οχημάτων, και μειωτήρες γενικής χρήσης.

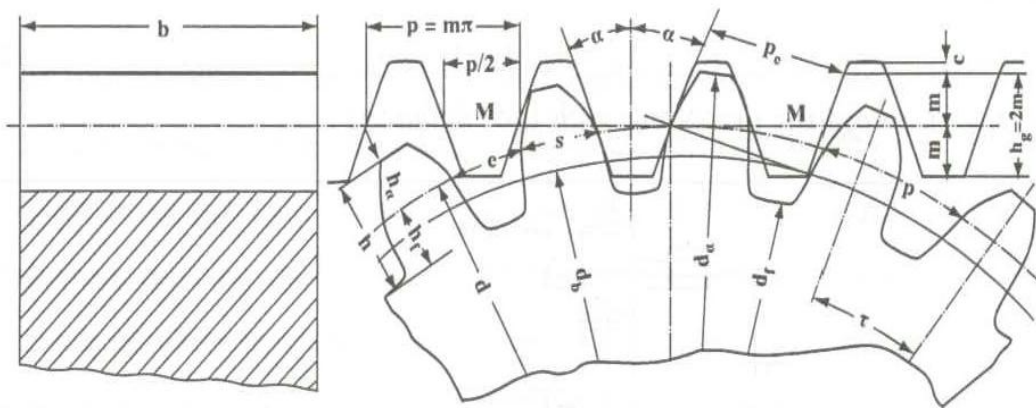
#### 4.4. Χαρακτηριστικά μεγέθη των οδοντοτροχών

**Διάμετρος αρχικού κύκλου ή κύκλου κύλισης  $d$**  ονομάζεται η εφαπτόμενη διάμετρος των δύο κυλίνδρων που συνθέτουν τα εμπλεκόμενα γρανάζια. Σε αυτήν την διάμετρο επίσης κυλίνεται το κοπτικό εργαλείο.

**Σχέση μετάδοσης  $i$**  είναι ο λόγος του αριθμού των στροφών του κινητηρίου τροχού  $n_a$  προς τον αριθμό στροφών του κινούμενου τροχού  $n_b$  ή και ο αντίστοιχος λόγος των γωνιακών ταχυτήτων  $\frac{\omega_a}{\omega_b}$ . Σε ένα μονοβάθμιο μειωτήρα η σχέση μετάδοσης θα είναι.

$$i = \frac{n_a}{n_b} = \frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Με  $Z_1$  αναφέρουμε πάντα το πινιόν (κινητήριος τροχός) και η σχέση αυτή μας δίνει πάντα μείωση στροφών.



**Βασικά μεγέθη οδοντωτού τροχού με ευθείς οδόντες.**

**Βήμα  $p$**  είναι το μήκος του τόξου ανάμεσα σε δύο οδόντες πάνω στον αρχικό κύκλο.

$$p = \frac{\pi \cdot d}{z}$$

σε mm

Στις ηνωμένες πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) χρησιμοποιούν το διαμετρικό βήμα "diametric pitch" που αντιστοιχεί στον αριθμό των οδόντων ανά μία ίντσα μήκους της αρχικής διαμέτρου, το οποίο είναι μέγεθος αντίστροφο του  $m$ .

$$DP = \frac{1}{m} = \frac{z}{d}$$

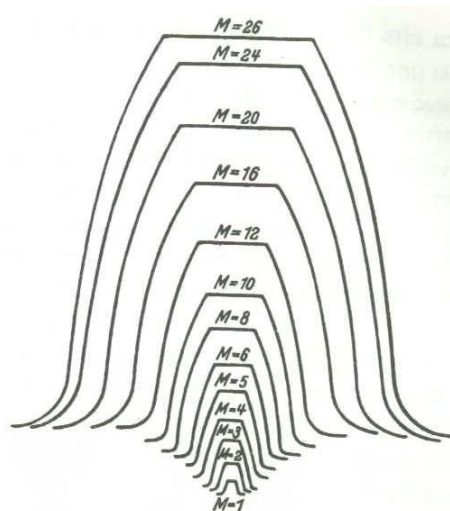
(με το,  $m$  και το,  $z$  σε ίντσες)

Z, αριθμός οδόντων του τροχού.

**Modul ή μέτρο m** είναι το μήκος της αρχικής διαμέτρου που αντιστοιχεί σε ένα οδόντα και είναι  $m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z}$  σε mm. Τα τυποποιημένα modoul που διατίθενται στη βιομηχανία είναι σε δύο σειρές και περιέχονται στον παρακάτω πίνακα. Αυτό γίνεται για να περιοριστεί ο αριθμός των κοπτικών εργαλείων.

Σειρά 1	0,0 5	0, 06	0, 08	0, 10	0, 12	0, 16	0, 20	0, 25	0, 3	0, 4	0, 5	0, 6	0, 7	0, 8	0, 9	1	1,2 5
	1,5	2	2, 5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60
Σειρά 2	0,0 55	0, 07	0, 09	0, 11	0, 14	0, 18	0, 22	0, 28	0, 35	0, 45	0, 55	0, 65	0, 75	0, 85	0, 95	1,1 25	1,3 75
	1,7 5	2, 25	2, 75	3, 5	4, 5	5, 5	7	9	11	14	18	22	28	36	45	55	70

Τιμές για modul σε mm κατά DIN 780



**Κατατομές modoul από m=1 έως m=26.**

**Ύψος κεφαλής  $h_a$**  είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ αρχικού κύκλου και κύκλου κεφαλής. Και είναι ίσο με το modul.

$$h_a = m$$

**Ύψος πόδα  $h_f$**  είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ αρχικού κύκλου και του κύκλου πόδα και είναι ίσο με

$$h_f = 1,67 \cdot m = m + c = h_a + c$$

$$h_f = 1,25 \cdot m = m + c = h_a + c$$

**c** είναι η **χάρη κεφαλής**, δηλαδή η «ελευθερία» μεταξύ κύκλου κεφαλής και πόδα. Η τιμή της είναι ανάλογη του κοπτικού εργαλείου και κυμαίνεται από  $c=0,167$  m ή συνηθέστερα  $c=0,25$

**Ύψος οδόντα h** καλείται το άθροισμα του ύψους κεφαλής συν το ύψος του πόδα.

$$h = h_a + h_f$$

**Διάμετρος κύκλου κεφαλής  $d_a$**  είναι η εξωτερική διάμετρος των οδόντων

$$d_a = d + 2 \cdot h_a$$

**Διάμετρος κύκλου πόδα  $d_f$**  είναι η εσωτερική διάμετρος των οδόντων

$$d_f = d - 2 \cdot h_f$$

**Απόσταση αξόνων  $a_d$**  είναι το άθροισμα των αρχικών κύκλων δια δύο. Μεταξύ δύο εμπλεκομένων γραναζιών.

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2}$$

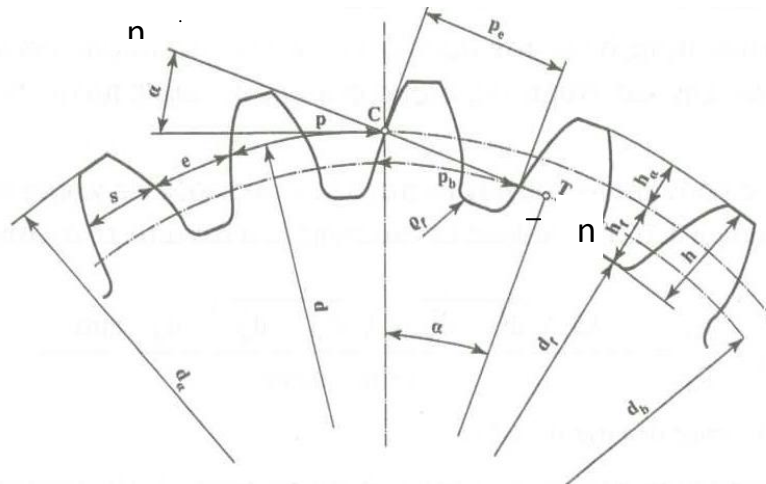
**Πάχος οδόντων  $s$**  είναι το τόξο πάνω στον αρχικό κύκλο και είναι ίσο με το διάκενο των οδόντων.  $s = p - e$

$e$ , είναι το διάκενο των οδόντων το οποίο θεωρητικά λαμβάνεται σαν το ήμισυ του βήματος  $e=p/2$ . Αλλά για να αποφευχθούν τυχόν ανακρίθειες στην κατασκευή και την τοποθέτηση ή πιθανές διαστολές λόγω θερμοκρασιών και η ύπαρξη λιπαντικού, στην πράξη εφαρμόζεται η **χάρη κατατομής** δηλαδή η αύξηση του διάκενου εν σχέση με τον οδόντα. Αυτό εξαρτάται από την κατεργασία των οδόντων τα οποία είναι.

για ακατέργαστους οδόντες.  $s = 0,475 \cdot p$ ,  $e = 0,525 \cdot p$

για κατεργασμένους οδόντες  $s = 0,4875 \cdot p$   $e = 0,5125$

Γωνία επαφής  $\alpha$  ( $\alpha = 20^\circ$  συνηθέστερα) καλείται η οξεία γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής επαφών n-n και της εφαπτομένης στον κύκλο κύλισης στο σημείο C σχήμα [σχ. 9].



Σχήμα 9. Γραμμή επαφών

#### Μεταβολή της κατατομής εν σχέση με τον αριθμό των οδόντων.

Η μορφή των δύο καμπύλων πλευρών ενός οδόντα ιδίου μοντούλ μεταβάλλεται με τον αριθμό των οδόντων. Αυτό θα πει π.χ. ότι για  $m=3$  η κατατομή για  $z=22$  είναι άλλη για  $m=3$  με  $z=72$ . Για μικρούς αριθμούς οδόντων οι καμπύλες είναι πιο κλειστές ενώ όσο μεγαλώνουν οι καμπύλες ανοίγουν και θεωρητικά για άπειρα  $z$  οι πλευρές γίνονται ευθείες. Άρα προκύπτει ότι εφόσον το μοντούλ είναι το ίδιο όλοι οι οδοντωτοί τροχοί ανεξαρτήτως αριθμού οδόντων συνεργάζονται μεταξύ τους. Στην πράξη όμως αποφεύγουμε την συνεργασία οδοντωτών τροχών που τα  $Z$  τους να μην έχουν κοινό διαιρέτη και εκλέγεται από τον μελετητή κατάλληλος αριθμός ώστε η απόκλιση να είναι μικρότερη του 3%. Δηλαδή, π.χ. αν η επιθυμητή σχέση μετάδοσης είναι  $i=4,2$  και από τους επιμέρους υπολογισμούς (υπολογισμοί αριθμού στροφών και περιφερειακής ταχύτητας) προκύπτουν  $z_1 = 20$  και  $z_2 = 84$  τότε επιλέγουμε μια άλλη σχέση  $i = \frac{80}{19} = 4,2 < 4,22$  (απόκλιση μικρότερη του 3% στα αποδεκτά όρια).

Αυτή η αλλαγή έχει σαν σκοπό την ομοιόμορφη φθορά των οδόντων και των δύο τροχών γιατί οι οδόντες σε αυτήν την περίπτωση δεν συναντώνται ανά ζεύγη και έτσι η όποια φθορά είναι ομοιόμορφη σε όλους τους οδόντες.

### **Κωνικοί οδοντοτροχοί**

Οι κωνικοί οδοντοτροχοί χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της κίνησης μεταξύ διασταυρούμενων οι τεμνόμενων αξόνων. Οι άξονες τέμνονται σε ένα σημείο Μ υπό μία γωνία  $\Sigma$ , συννηθέστερα είναι  $\Sigma=90^\circ$ . Στους λεγόμενους υποειδείς μειωτήρες (διασταυρούμενοι άξονες) ο άξονας του πινιόν είναι μετατοπισμένος κατά μία απόσταση  $a$  από τον άξονα του τροχού.

Οι κωνικοί οδοντοτροχοί με ευθείς οδόντες χρησιμοποιούνται σε διατάξεις με χαμηλές στροφές και με μικρή ισχύ και με περιφερειακές ταχύτητες από 6-20 m/sec ανάλογα την ποιότητα της οδόντωσης και του υλικού.

Οι κωνικοί οδοντοτροχοί με κεκλιμένους οδόντες, εργάζονται ομαλότερα και πιο αθόρυβα από τους κωνικούς με ευθείς οδόντες, λόγω του μεγαλύτερου βαθμού επικάλυψης. Και έχουν εφαρμογή σε μειωτήρες γενικής χρήσης, σε μειωτήρες μεγάλων ταχυτήτων εργαλειομηχανών με ταχύτητες από 40-50 m/sec.

Οι κωνικοί οδοντοτροχοί με τοξωτούς οδόντες έχουν εφαρμογή σε ιδιαίτερα μεγάλες απαιτήσεις αντοχής και θραύσης. Επιλέγονται για μειωτήρες μεγάλης ισχύος και σε διαφορικά οχημάτων. Με ταχύτητες που κυμαίνονται από 30-60 m/sec σε λειασμένους οδόντες.

Οι μειωτήρες με κωνικούς οδοντοτροχούς έχουν μεγάλες απαιτήσεις στην ακρίβεια τοποθέτησης των τροχών, την κατασκευή και έδραση των αξόνων γιατί οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν την εύρυθμη λειτουργία τους.

### **Χαρακτηριστικά των κωνικών οδοντοτροχών**

Η μετάδοση της κίνηση από τον έναν στον άλλο οδοντοτροχό, δύο συνεργαζόμενων κωνικών οδοντοτροχών που εφάπτονται κατά μήκος της γενέτειρας τους και οι κορυφές τους συμπίπτουν στο σημείο Μ της τομής των αξόνων τους αντιστοιχεί στην κύλιση χωρίς ολίσθηση. Η κοινή γενέτειρα έχει μήκος  $R_a$ . Οι κώνοι με τις κορυφές  $O_1$  και  $O_2$  που έχουν τις γενέτειρες τους κάθετες προς τις γενέτειρες των αρχικών κώνων, ονομάζονται συζυγείς κώνοι.

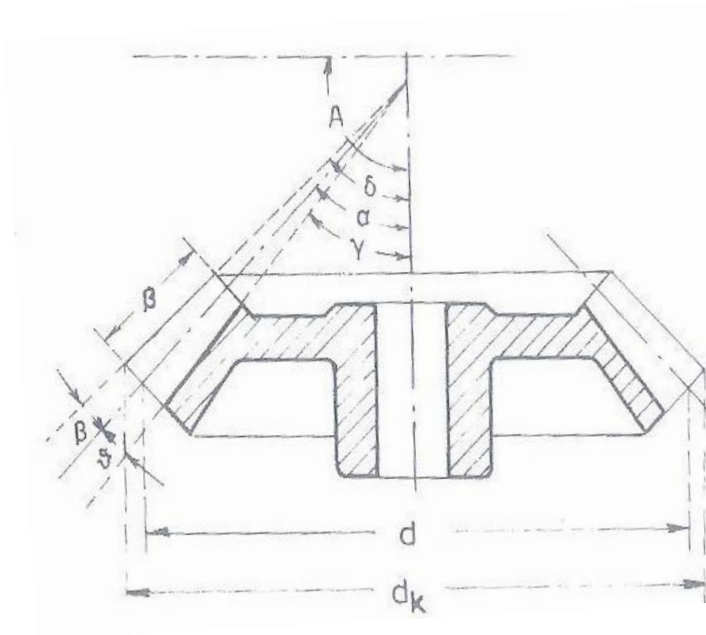
Από τους αρχικούς κώνους, των οποίων οι μέγιστοι κύκλοι λαμβάνονται ως αρχικοί κύκλοι, χρησιμοποιείται μόνο το τμήμα εκείνο που αντιστοιχεί στο πλάτος  $b$  του οδόντα. Η γωνία αξόνων των συνεργαζόμενων κωνικών οδοντοτροχών είναι

$$A = \alpha_1 + \alpha_2$$



Η σχέση μετάδοσης :

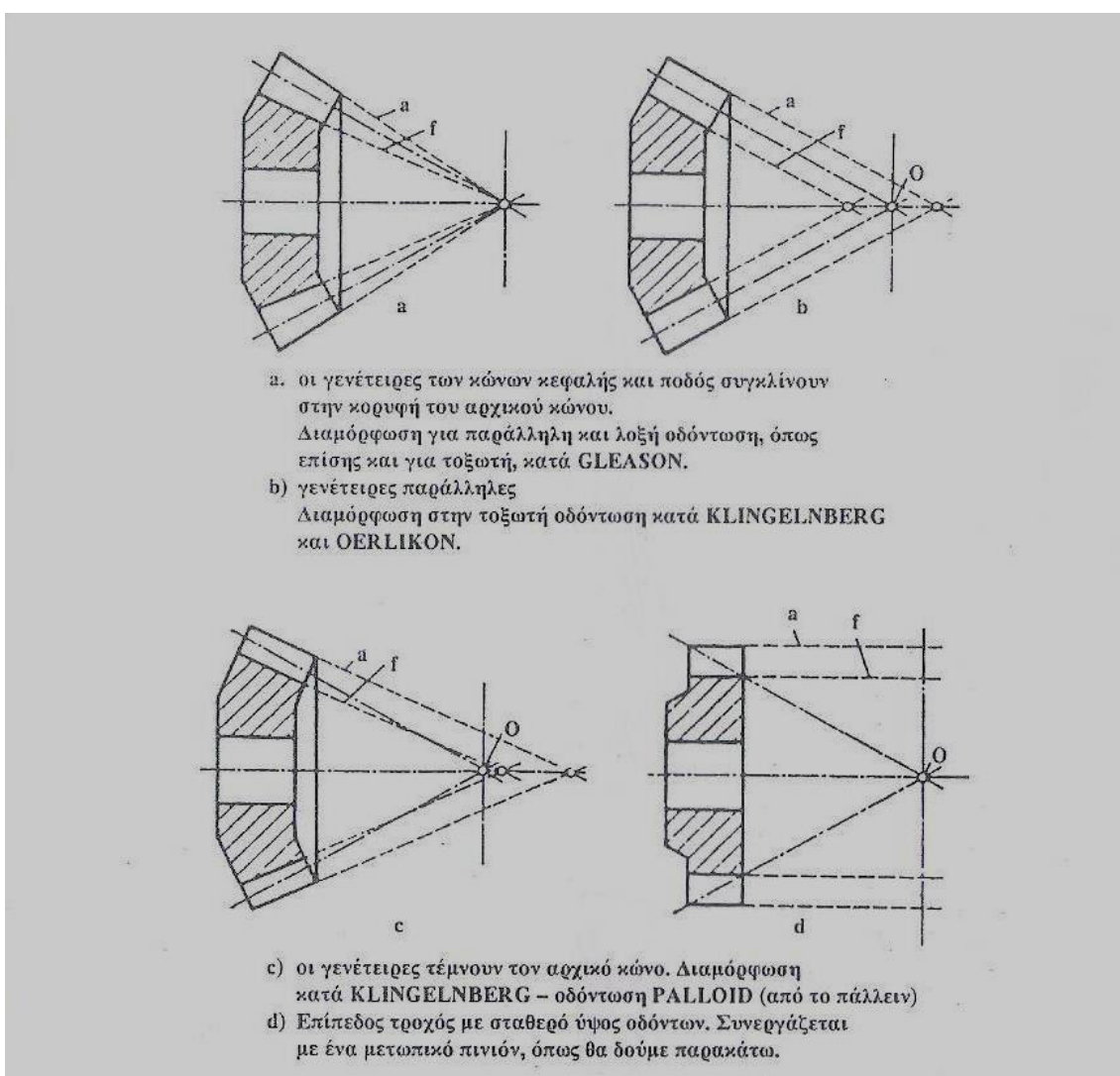
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\eta\mu\alpha_2}{\eta\mu\alpha_1}$$



**Διαστάσεις σε ένα κωνικό οδοντοτροχό.**

Γεωμετρικά μεγέθη.

Συνήθως οι γενέτειρες των κώνων κεφαλής και ποδός που φαίνονται στο [σχ.10] με τα γράμματα  $a$  και  $f$ , συγκλίνουν στην κορυφή του αρχικού κώνου. Είναι όμως δυνατόν παράλληλες ως προς τον άξονα του αρχικού κώνου ή να τέμνονται πάνω στον άξονα του αρχικού κώνου. Το προφίλ αναφοράς που χρησιμοποιείται συνηθέστερα, και αντιστοιχεί στους κωνικούς οδοντοτροχούς με μετωπικούς οδόντες είναι αυτό κατά DIN867 [σχ,10 α]



Σχήμα 10

## Στοιχεία ευθύγραμμων κωνικών οδοντοτροχών

Περιγραφή	Συμβ.	Υπολογισμοί (μεγάλου γραναζιού)	Σύμβ.	Υπολογισμοί (μικρού γραναζιού)
Μοντούλ μεγάλ. διαμέτρου	m	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{D}{Z_2} = \frac{D_k}{Z_1 + 2\sigma\sigma\nu\alpha_1}$	m	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{D}{Z_2} = \frac{D_k}{Z_1 + 2\sigma\sigma\nu\alpha_2}$
Βήμα μεγ. Διαμέτρου	P	$p = \pi \cdot m$	P	$p = \pi \cdot m$
Αρχική διάμετρος (μεγάλη)	D	$D = Z_1 \cdot m = \frac{Z_1}{D_p}$	d	$d = Z_2 \cdot m = \frac{Z_2}{D_p}$
Εξωτερική διάμετρος μεγα.	Dk	$D_k = m \cdot (Z + 2\sigma\sigma\nu\alpha_1)$ $D_k = D_m + 2m\sigma\sigma\nu\alpha_1$	dk	$d_k = m \cdot (Z + 2\sigma\sigma\nu\alpha_2)$ $d_k = m(Z + \sigma\sigma\nu\alpha_2)$
Αριθμός οδοντων	Z1	$Z = \frac{D}{m}$	Z2	$Z = \frac{d}{m}$
Γωνία αρχικής διαμέτρου	a1	$\epsilon\phi\alpha_1 = \frac{D}{d} = \frac{Z_1}{Z_2}$	a2	$\epsilon\phi\alpha_2 = \frac{d}{D} = \frac{Z_2}{Z_1}$
Γωνία αξόνων μεγ. Διαμέτρου	A	$A = 90^\circ = a_1 + a_2$	A	$A = 90^\circ = a_1 + a_2$
Ύψος κεφαλής μεγ. Διαμέτρου	ha	$h_a = m = \frac{1}{D_p}$	ha	$h_a = m = \frac{1}{D_p}$
Ύψος ποδός μεγ. Διαμέτρου	hf	$h_f = 1,66 \cdot m = \frac{1,157}{D_p}$	hf	$h_f = 1,66 \cdot m = \frac{1,157}{D_p}$
Ύψος οδόντα μεγ. Διαμέτρου	h	$h = h_a + h_f = \frac{2,157}{D_p} = 2,167 \cdot m$	h	$h = h_a + h_f = \frac{2,157}{D_p} = 2,167 \cdot m$
Φανταστικός αριθμός οδόντων	Zi	$Z_i = \frac{Z}{\sigma\sigma\nu\alpha_1}$	Zi	$Z_{i_2} = \frac{Z_2}{\sigma\sigma\nu\alpha_2}$
Γωνία κεφαλής	β1	$\epsilon\phi\beta_1 = \frac{2\eta\mu\alpha_1}{Z}$	β2	$\epsilon\phi\beta_1 = \frac{2\eta\mu\alpha_1}{Z}$
Γωνία κώνου	δ1	$\delta_1 = \alpha_1 + \beta_1$	δ2	$\delta_2 = \alpha_2 + \beta_2$
Μοντούλ μικρής διαμέτρου	mμ	$m_\mu = \frac{D - 2b \cdot \eta\mu\alpha_1}{Z_1}$	mμ	$m_\mu = \frac{d - 2b \cdot \eta\mu\alpha_2}{Z_2}$
Κενό οδόντος μεγάλης διαμέτρου	L	$L = \frac{p}{2} = \frac{m \cdot \pi}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{D_{p\mu}}$	L	
Κενό οδόντος μικρής διαμέτρου	ℓ	$\ell = \frac{p}{2} = \frac{m_\mu \cdot \pi}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{D_{p\mu}}$	ℓ	
Γωνία φραιζαρίσματος (ύψωσης διαιρέτη)	γ1	$\gamma_1 = \alpha_1 - \theta_1$	γ2	$\gamma_1 = \alpha_2 - \theta_2$
Γωνία ποδός οδόντα	θ1	$\epsilon\phi\theta_1 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_1}{Z_1}$	θ2	$\epsilon\phi\theta_2 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_2}{Z_2}$
Γωνία τελειοποίησης οδόντος	ω	$\epsilon\phi\omega = \frac{L - \ell}{2b}$	ω	

b=μήκος ή (πλάτος) οδόντα

**V. Μέθοδοι κοπής κωνικών οδοντοτροχών.****5.1. Κοπή στην φρεζομηχανή ευθύγραμμου κωνικού οδοντοτροχού.**

Όπως προαναφέραμε οι κωνικοί οδοντοτροχοί με ευθύγραμμους οδόντες κόβονται σε ειδικές εργαλειομηχανές που λέγονται γριναζοκόφτες ευθύγραμμων κωνικών οδοντοτροχών (straight bevel gear cutters) ή (straight bevel gear generator).

Πολλές φορές όμως είμαστε αναγκασμένοι να τους κόψουμε σε φρεζομηχανή με ακρίβεια κοπής ανεκτή αρκετές εφαρμογές ανεκτή.

Σε αυτό το σημείο θα δώσουμε ένα παράδειγμα για διαδικασία κατασκευής σε οριζόντια φρεζομηχανή με διαιρέτη.

Παράδειγμα :

Σε οριζόντια φρεζομηχανή με διαιρέτη 1:40 θέλουμε να κόψουμε ζεύγος κωνικών οδοντοτροχών με ευθύς οδόντες. Τα δεδομένα είναι:

Αριθμός οδόντων μεγάλου οδοντοτροχού  $Z_1 = 50$

Αριθμός οδόντων μικρού οδοντοτροχού  $Z_2 = 30$

Βήμα μεγάλης διαμέτρου  $P=18,85\text{mm}$

Μήκος οδόντων  $b=50,4$

Υπολογισμοί για τον μεγάλο οδοντοτροχό:

Η γωνία αρχικής διαμέτρου  $\alpha$  θα είναι :

$$\varepsilon\varphi\alpha_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{50}{30} = 1,666 \approx 59^\circ$$

$$\varepsilon\varphi\alpha_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{30}{50} = 0,6 \approx 31^\circ$$

Για επαλήθευση και αποφυγή τυχών λάθους :  $\alpha_1 + \alpha_2 = 59^\circ + 31^\circ = 90^\circ$  πράγματι.

Η γωνία κεφαλής οδόντα  $\beta_1$ :

$$\varepsilon\varphi\beta_1 = \frac{2\eta\mu\alpha_1}{Z_1} = \frac{2 \cdot 0,857}{50} = 0,0343 = 1,96^\circ$$

$$\varepsilon\varphi\beta_2 = \frac{2\eta\mu\alpha_2}{Z_2} = \frac{2 \cdot 0,515}{30} = 0,0343 = 1,96^\circ$$

Η γωνία κεφαλής  $\beta$  είναι και για τους δύο τροχούς ίδια. Γωνία ποδός οδόντα  $\theta$ :

$$\varepsilon\varphi\theta_1 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_1}{Z_1} = \frac{1,67 \cdot 2 \cdot 0,857}{50} = \frac{2}{50} = 0,04 \Rightarrow \theta_1 = 2,29^\circ$$

$$\varepsilon\varphi\theta_2 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_2}{Z_2} = \frac{1,67 \cdot 2 \cdot 0,515}{30} = \frac{1,202}{30} = 0,04 \Rightarrow \theta_1 = 2,29^\circ$$

Και σε αυτήν την περίπτωση βλέπουμε ότι η γωνία  $\theta$  είναι κινή και στους δύο τροχούς.

Το μοντούλ θα είναι :

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{18,85}{3,14} = 6$$

Εδώ να θυμήσουμε ότι το μοντούλ αντιστοιχεί στην μεγάλη διάμετρο. Όσο μικραίνει η διάμετρος θα μικραίνει και το μοντούλ, έτσι η μικρή διάμετρος είναι στο παράδειγμα αυτό :

$$m_\mu = \frac{D - 2b \cdot \eta\mu\alpha_1}{Z_1} = \frac{300 - 2 \cdot 50,5 \cdot 0,857}{50} = 4,25$$

Το  $D$  το υπολογίζουμε εύκολα από τον ακόλουθο τύπο:

$$D = m \cdot Z_1 = 50 \cdot 6 = 300\text{mm}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και την αρχική διάμετρο του μικρού τροχού:

$$d = Z_2 \cdot m = 30 \cdot 6 = 180\text{mm}$$

Η γωνία φρεζαρίσματος, δηλαδή η γωνία στην οποία θα υψώσουμε τον διαιρέτη θα είναι :

$$\gamma_1 = \alpha_1 - \theta_1 = 59^\circ - 2,29^\circ = 56,71^\circ$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 - \theta_2 = 31^\circ - 2,29^\circ = 28,71^\circ$$

Με αυτά τα δεδομένα μπορούμε να προχωρίσουμε στην κοπή.

Αρχικά επιλέγουμε την κατάλληλη φρέζα. Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούμε το μοντούλ της μικρής διαμέτρου 4,25. Όπως έχουμε προαναφέρει κανονικά θα πρέπει να είναι ειδικής κατασκευής ώστε να έχει την κατάλληλη κατατομή. Αυτό όμως δύσκολα συμβαίνει και έτσι επιλέγουμε φρέζες με το μικρό μοντούλ και φανταστικό αριθμό οδόντων τον οποίο επιλέγουμε με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Z_i = \frac{Z_1}{\sigma\upsilon\nu\alpha_1} = \frac{50}{0,515} = 97$$

Δηλαδή θα επιλέξουμε την δισκοειδή φρέζα Νο 7 με μοντούλ φυσικά 4,25. Αφού ετοιμάσουμε το κομμάτι στον τόρνο το τοποθετούμε σε ένα αξονάκι και το τοποθετούμε στο τσόκ του διαιρέτη. Ανυψώνουμε στην υπολογισμένη γωνία φρεζαρίσματος  $\gamma_1 = 56,71^\circ$  και για τον μικρό  $\gamma_2 = 28,71^\circ$ , και κατόπιν υπολογίζουμε τις στροφές του χειροστροφάλου για τον καθένα ξεχωριστά.

Για τον μεγάλο θα είναι :

$$\frac{40}{Z_1} = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = \frac{12}{15} \text{ ή } \frac{16}{20}$$

Δηλαδή 16 οπές στην περιφέρεια με τις 20 οπές.

Για τον μικρό :

$$\frac{40}{Z_2} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3} = \frac{20}{15}$$

Δηλαδή 20 οπές στην περιφέρεια με τις 15 οπές.

Με το κοπτικό με μοντούλ μικρής διαμέτρου  $m_\mu = 4,25$  θα κόψουμε τα 50 δόντια σε βάθος  $h = 2,167 \cdot m_\mu = 9,2mm$ , και στην μεγάλη διάμετρο θα στο τελείωμα της κοπής του οδόντα θα πρέπει να είναι  $h = 2,167 \cdot m = 2,167 \cdot 6 = 13mm$ .

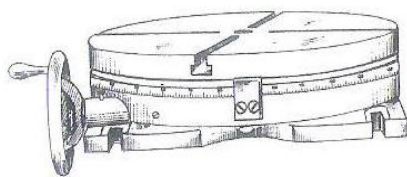
Όμως επειδή η κοπή εκτελείται με το κοπτικό με μοντούλ της μικρής διαμέτρου ο οδόντας θα έχει την σωστή μορφή μόνο στην μικρή διάμετρο ενώ στην συνέχεια η κατατομή του θα είναι αντικανονική περίπου όπως φαίνεται στο σχήμα.

Για αυτό τον λόγο θα χρειαστεί να κάνουμε μία διόρθωση, δηλαδή να αφαιρέσουμε το κομμάτι εκείνο του δοντιού, που είναι εμφανές με τις εστιγμένες γραμμές ώστε να πάρει ο οδόντας την κανονική μορφή σε όλο το μήκος του. Η διόρθωση αυτή να τονίσουμε δεν θα μας δώσει τέλεια μορφή αλλά προσεγγιστική, που σε αρκετές περιπτώσεις είναι αρκετά ικανοποιητική.

Αφού κόψουμε το γρανάζι όπως φαίνεται στο σχήμα μεταθέτουμε τον διαιρέτη (χωρίς να στρέψουμε το τραπέζι) σε γωνία τέτοια ώστε η εστιγμένη γραμμή να συμπίπτει με τον νοητό άξονα του τραπεζιού. Αυτό επιτυγχάνετε με χρήση του επίπεδου διαιρέτη όπως στο σχήμα [σχ.11]

Έτσι είναι φανερό ότι ο διαιρέτης πρέπει πρώτα να έχει στερεωθεί πάνω στον οριζόντιο διαιρέτη προτού κεντραρισθεί το κομμάτι για δική μας ευκολία. Ο υπολογισμός της γωνίας γίνεται με εφαρμογή του τύπου:

$$\varepsilon\varphi\omega = \frac{L - \ell}{2b}$$



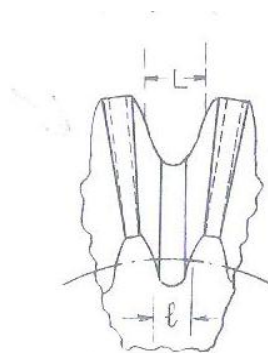
**Σχήμα 11. Επίπεδος διαιρέτης**

Όπου  $\omega$  είναι η γωνία κατά την οποία θα στραφεί ο διαιρέτης.  $L$  είναι το κενό του οδόντα στην μεγάλη διάμετρο [σχ.12] μετρούμενο πάνω στην αρχική περιφέρεια με τιμή ίση :

$$L = \frac{m \cdot \pi}{2} = \frac{6 \cdot 3,14}{2} = 9,42mm$$

Το κενό του οδόντα στην μικρή διάμετρο μετρούμενο επάνω στην αρχική περιφέρεια :

$$\ell = \frac{m \cdot \pi}{2} = \frac{4,25 \cdot 3,14}{2} = 6,67mm$$



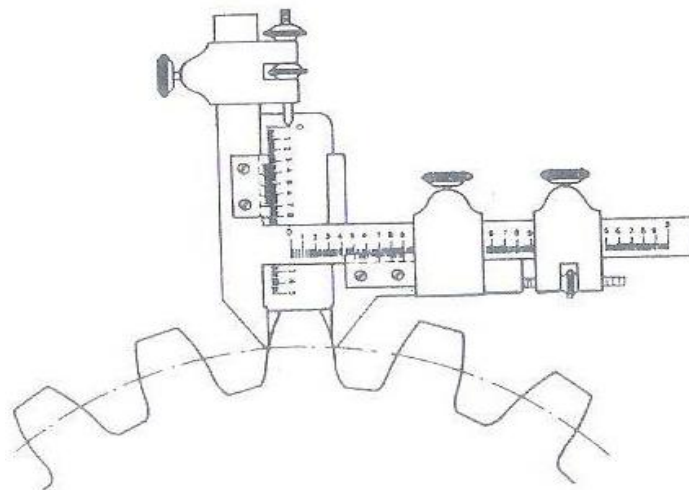
**Σχήμα 12. Αντικανονική μορφή**

Έτσι η γωνία  $\omega$  θα είναι :

$$\varepsilon\varphi\omega = \frac{L - \ell}{2b} = \frac{9,42 - 6,67}{2 \cdot 50,4} = \frac{2,75}{100,8} = 0,0272 \Rightarrow \omega \simeq 1,56^\circ$$

Στην συνέχεια και εφόσον έχουν κοπεί όλοι οι οδόντες ξεκεντράρουμε το κομμάτι γυρίζοντας τον οριζόντιο διαιρέτη κατά γωνία 1,56 μοίρες και στην συνέχεια φρεζάρουμε όλα τα δόντια από την μία πλευρά. Κατόπιν φέρουμε τον επίπεδο διαιρέτη στη θέση μηδέν και μετά τον στρέφουμε άλλες 1,56 μοίρες με αντίθετη φορά. Φρεζάροντας τώρα όλους τους οδόντες το γρανάζι είναι έτοιμο.

Για να διασφαλίσουμε ότι η εργασίας μας εκτελείται σωστά, δεν τελειώνουμε με αυτόν τον τρόπο όλα τα δόντια αλλά εργαζόμαστε ως εξής. Κόβουμε πρώτα μόνο δύο ή τρεις οδόντες, κάνουμε το συμπληρωματικό φρεζάρισμα των πλευρών σε ένα ή δύο οδόντες, και τα μετράμε με το ειδικό όργανο μετρήσεως. Αν το πάχος του οδόντα που μετράμε επάνω στην αρχική περιφέρεια είναι 9,42mm και της μικρής 6,67mm τότε η όλη διαδικασία που ακολουθήσαμε, υπολογισμοί και γενικότερα οι χειρισμοί μας έγιναν σωστά και επομένως, προχωράμε στην κοπή όλων των οδόντων.

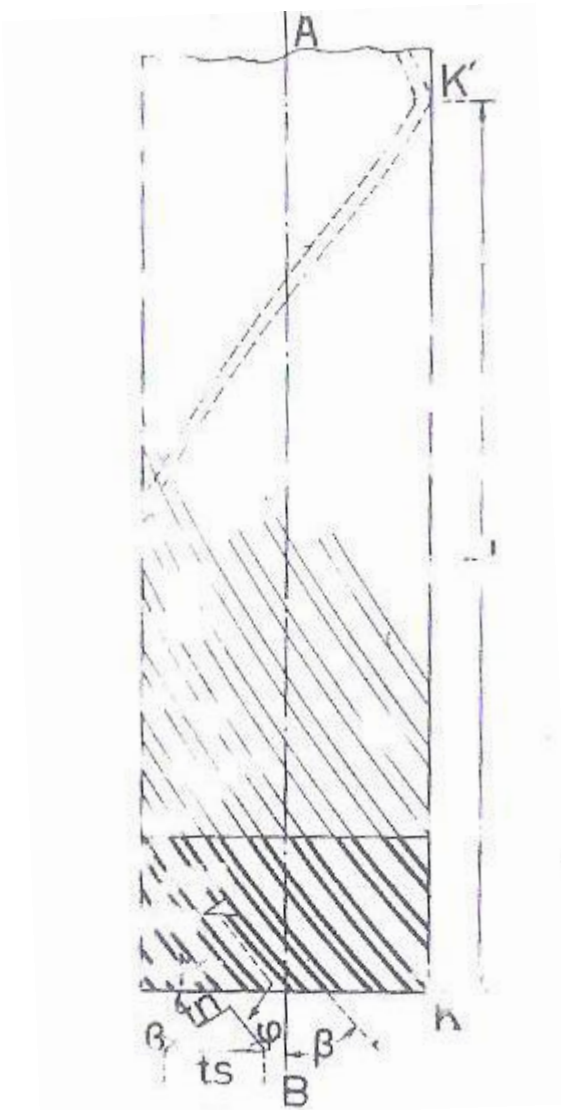


**Σχήμα 13. Παχύμετρο έλεγχου δοντιών**



## 5.2. Κυλινδρικοί οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδείς οδόντες.

Οι ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί μεταδίδουν ομαλότερα την κίνηση εν σχέση με τους παράλληλους οδοντοτροχούς με ευθύς οδόντες. Έχουν εφαρμογή σε μεγάλες ταχύτητες, γιατί η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, χωρίς κρούσεις, γιατί ταυτόχρονα είναι εμπλεκόμενα περισσότερα από ένα δόντια. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται είτε με παράλληλους άξονες είτε με διασταυρούμενους. Όταν εμπλέκονται διασταυρούμενοι άξονες θα πρέπει να προσέχουμε, ώστε να είναι και οι δύο δεξιόστροφοι ή και οι δύο αριστερόστροφοι. Στους ελικοειδείς οδοντοτροχούς κάθε δόντι είναι ένα κομμάτι έλικας. Θα μπορούσαμε να πούμε ο ελικοειδής οδοντοτροχός είναι μια βίδα με πολλές αρχές. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ελικοειδών οδοντοτροχών.



Σχήμα 14.

Περιγραφή	Συμβ.	Τύποι
Μοντούλ κάθετο	$m_n$	$m_n = \frac{d_k \cdot \sigma\upsilon\nu\beta}{(Z + \sigma\upsilon\nu\beta)} = \frac{t_t}{\pi} = m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\beta$
Μοντούλ μετωπικό	$m_s$	$m_s = \frac{m_n}{\sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{t_t}{\pi} = \frac{d}{Z} = \frac{d_k}{(Z + 2\sigma\upsilon\nu\beta)}$
Βήμα κάθετο	$t_n$	$t_n = \frac{d_k \cdot \pi \cdot \sigma\upsilon\nu\beta}{(Z + \sigma\upsilon\nu\beta)} = m_n \cdot \pi = t_s \cdot \sigma\upsilon\nu\beta$
Βήμα μετωπικό	$t_s$	$t_s = \frac{t_n}{\sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{m_n \cdot \pi}{\sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{d \cdot \pi}{Z} = \frac{d_k \cdot \pi}{(Z + 2\sigma\upsilon\nu\beta)}$
Εξωτερική διάμετρος	$d_k$	$d_k = m_n \left( \frac{Z}{\sigma\upsilon\nu\beta} + 2 \right) = d + 2m_n$
Αρχική διάμετρος	$d$	$d = Z \cdot m_s \cdot \frac{Z \cdot m_n}{\sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{Z \cdot t_n}{\pi \cdot \sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{Z \cdot d_k}{(Z + 2\sigma\upsilon\nu\beta)}$
Γωνία έλικας και γωνία στροφής τραπεζιού.	$\beta$	$\sigma\upsilon\nu\beta = \frac{Z \cdot m_n}{d_k - 2m_n} = \frac{Z \cdot m_n}{d} = \frac{m_n}{m_s} = \frac{t_n}{t_s}$
Για σταυρωτούς άξονες $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ Για παράλληλους άξονες $\beta_1 = \beta_2$		
Άλμα έλικας	$L$	$L = \pi \cdot d \cdot \sigma\phi\beta = \frac{Z \cdot t_s}{\epsilon\phi\beta} - \frac{Z \cdot \pi}{t_n \cdot \epsilon\phi\beta}$
Αριθμός οδόντων	$Z$	$Z = \frac{(d_k - 2m_n) \cdot \sigma\upsilon\nu\beta}{m_n} = \frac{d}{m_s} = \frac{d \cdot \pi}{t_s} = \frac{d \cdot \sigma\upsilon\nu\beta}{m_n}$
Ύψος οδόντος	$h$	$h = 2,167 \cdot m_n = \frac{2,157}{D_p}$
Ύψος ποδός	$k$	$k = m_n = \frac{1}{D_p}$
Φανταστικός αριθμός οδόντων.	$Z_i$	$Z_i = \frac{Z}{\sigma\upsilon\nu^3\beta}$

Στο σχήμα [σχ.14] φαίνεται και πάλι όπως και παραπάνω η γωνία κλίσεως του σπειρώματος την οποία καλούμε γωνία κλίσεως της έλικας  $\phi$ . Η γωνία αυτή είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κλίση του οδόντα και από το πρόσωπο του οδοντοτροχού. Η συμπληρωματική της γωνία  $\beta$  είναι που σχηματίζεται από την κλίση των οδόντων και από τον νοητό άξονα του οδοντοτροχού. Βλέπουμε επίσης το βήμα του οδόντα  $t_n$  που μετράται κάθετα προς την οδόντωση (κάθετο ή κανονικό βήμα).

Το μετωπικό βήμα  $t_s$  μετράται παράλληλα προς το πρόσωπο του οδοντοτροχού. Ας παρατηρήσουμε στο σχήμα [σχ.14] έναν οδόντα τον Κ αναπτυγμένο σε όλη του την έκταση. Όταν ο οδόντας φθάσει στο σημείο Κ', που βρίσκεται στην ίδια γενέτειρα του κυλίνδρου, έχει κάνει μία πλήρη περιστροφή. Την απόσταση ΚΚ' ονομάζουμε άλμα της έλικας. Οι ελικοειδείς οδοντοτροχοί κατασκευάζονται σε φρεζομηχανές, καθώς και σε εξειδικευμένες εργαλειομηχανές (γρاناζοκόπτες).

Στο παρακάτω παράδειγμα περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού και εκτέλεση κοπής ενός κυλινδρικού οδοντοτροχού με ελικοειδής οδόντες, στον οποίο οι οδόντες έχουν φθαρεί και πρέπει να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά του σύμφωνα με προσεγγιστικές μετρήσεις που έχουν γίνει στον φθαρμένο οδοντοτροχό.

Παράδειγμα :

Ελικοειδής οδοντοτροχός με αριθμό οδόντων 26 και εξωτερική διάμετρο  $d_k = 72,4mm$  και βάθος οδόντωσης 5,4mm.

Υπολογίζουμε την γωνία  $\beta$ .

$$\sigma\upsilon\nu\beta = \frac{Z \cdot m_n}{d_k - 2m_n}$$

Για να προχωρήσουμε θα χρειαστεί πρώτα να υπολογίσουμε το κάθετο μοντούλ  $m_n$

$$\text{Γνωρίζοντας ότι } h = 2,167 \cdot m \text{ δηλαδή } m_n = \frac{h}{2,167} = \frac{5,4}{2,167} = 2,493$$

Τυποποιημένο όμως μοντούλ με αυτήν την τιμή δεν υπάρχει στην αγορά. Έτσι επιλέγουμε το πλησιέστερο το οποίο είναι  $m_n = 2,5$  έτσι :

$$\sigma\upsilon\nu\beta = \frac{Z \cdot m_n}{d_k - 2m_n} = \frac{26 \cdot 2,5}{72,4 - (2 \cdot 2,5)} = 0,9643 \text{ και } \beta = 15,3^\circ$$

Με γνωστή την γωνία  $\beta$  τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε και το βήμα της έλικας από τον τύπο :

$$L = \pi \cdot d \cdot \sigma\upsilon\varphi\beta = 3,14 \cdot 67,4 \cdot 3,6059 \approx 763mm$$

Και στην συνέχεια υπολογίζουμε το  $d$  που είναι ίσο :

$$d = d_k - 2m_n = 72,4 - 5 = 67,4$$

**Κοπή έλικας.**

Μετά την προετοιμασία του κομματιού στον τόρνο, τοποθετείται επάνω σε ένα βοηθητικό άξονα και αυτό στηρίζεται στο ένα του άκρο στον διαιρέτη και το άλλο στον κεντροφορέα (κουκουβάγια). Στρέφουμε το τραπέζι 15,3 μοίρες και σε διεύθυνση ανάλογη με το αν κόβουμε αριστερό ή δεξιό γρανάζι. Διαλέγουμε κατόπιν την κατάλληλη φρέζα με  $m_n = 2,5$  και υπολογίζουμε τον φανταστικό αριθμό οδόντων σύμφωνα με τον γνωστό τύπο :

$$Z_i = \frac{Z}{\sigma \nu^3 \beta} = \frac{26}{0,89} = 29$$

Άρα επιλέγουμε δισκοειδή φρέζα μορφής με μοντουλ 2,5 και κατάλληλη κατατομή με νούμερο Νο 5 το οποίο συμπτωματικά είναι αποδεκτό και για τον πραγματικό και για τον φανταστικό αριθμό οδόντων. Ο διαιρέτης που διατίθεται στο παρόν παράδειγμα έχει σχέση 1/40 και το βήμα του κοχλία της τραπέζης είναι 6mm.

**Υπολογισμός στροφών του χειροστροφάλου.**

$$\frac{40}{Z} = \frac{40}{26} = 1 \cdot \frac{14}{26} = 1 \cdot \frac{21}{39}$$

Δηλαδή θα στρέψουμε για κάθε δόντι 1 στροφή και 21 σπές στην περιφέρεια των 39 σπών. Σημείωση: όταν κόβουμε ελικοειδή οδοντοτροχό, δεν γίνεται διαφορική διαίρεση με ανταλλακτικούς οδοντοτροχούς.

**Υπολογισμός των ανταλλακτικών οδοντοτροχών.**

Για να βρούμε τους ανταλλακτικούς οδοντοτροχούς διαιρούμε το άλμα έλικας με το βήμα του κοχλία του τραπεζιού της φρεζομηχανής και το πολλαπλασιάζουμε με την σχέση μετάδοσης του διαιρέτη :

$$\frac{A}{K} = \frac{B_z}{B_k} = \frac{763}{6} \cdot \frac{1}{40}$$

Επειδή το 763 δεν μας δίνει ανταλλακτικούς οδοντοτροχούς επιλέγουμε βήμα 762 (η μηδαμινή αυτή αυξομείωση πρακτικά δεν έχει καμία επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα ).

Έτσι θα έχουμε :

$$\frac{762}{6} \cdot \frac{1}{40} = \frac{762}{240} = \frac{6 \cdot 127}{6 \cdot 40} = \frac{127}{40}$$

Ο οδοντοτροχός με 127 οδόντες τοποθετείτε στον διαιρέτη και ο 40 στον κοχλία του τραπεζιού.

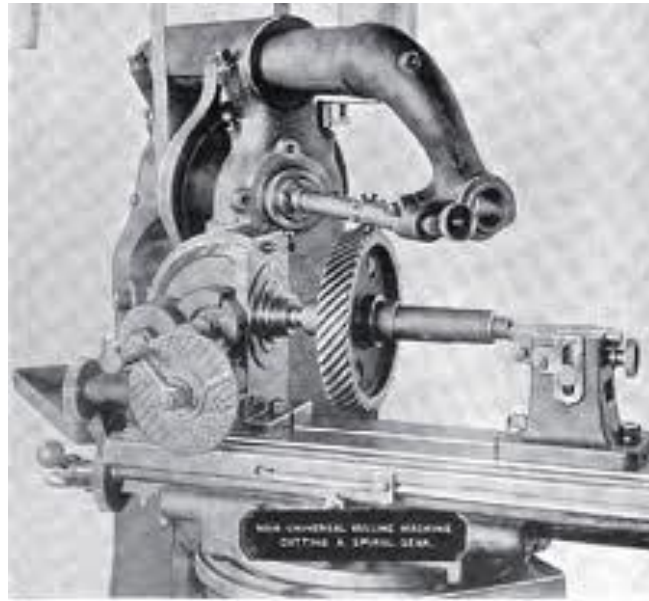
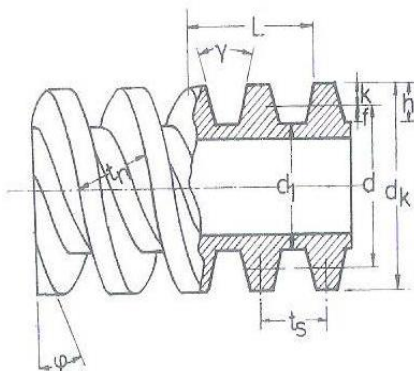


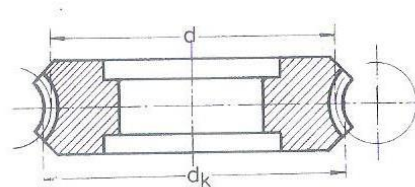
FIG. 6. CUTTING A SPIRAL GEAR ON A BROWN AND SHARPE UNIVERSAL

### Ατέρμων κοχλίας, και ατέρμων τροχός (κορόνα).

Ο ατέρμων κοχλίας χρησιμοποιείται για μεγάλο υποβιβασμό στροφών σε μειωτήρες ταχύτητας, σε γερανούς ανελκυστήρες, τον διαιρέτη της φρέζας κλπ. Και οι ατέρμονες με μία αρχή, με δύο αρχές κ.ο.κ., όπως και οι κοχλίες. Στον πίνακα δίνονται οι απαραίτητες σχέσεις για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του ατέρμονα. Και στο σχήμα [σχ.15] βλέπουμε σε τομή την μορφή και τις διαστάσεις του. Στον πίνακα δίνονται στοιχεία για την κορόνα και στο σχήμα[σχ.16] βλέπουμε σε τομή τις διαστάσεις και την μορφή του.



Σχήμα 15. Ατέρμων



Σχήμα 16. Ατέρμων τροχός

**Κατασκευή ατέρμονα κοχλία.**

Κατασκευάζονται συνήθως στον τόρνο, όπως κατασκευάζονται και οι κοχλίες. Κατασκευάζονται επίσης και σε φρεζομηχανή, αν διαθέτει ειδική κεφαλή universal. Το κοπτικό εργαλείο που θα κόψει τον ατέρμονα στον τόρνο είναι τροχισμένο στην μορφή του οδόντα. Για τον πρακτικό έλεγχο του εργαλείου κοπής χρησιμοποιούμε έναν ελεγκτήρα (καλίμπρα) στον οποίο εφαρμόζουμε το κοπτικό εργαλείο. Γενικά η κατασκευή του ατέρμονα στον τόρνο ακολουθεί τους κανόνες κοπής σπειρωμάτων στον τόρνο, ενώ στην φρεζομηχανή ακολουθεί τους κανόνες κοπής έλικας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ

## Στοιχεία ατέρμονα κοχλία

Περιγραφή	Συμβ.	Υπολογισμός
Άλμα έλικα ατέρμονα	$L$	
Με μία αρχή		$L = t_s$
Με δύο αρχές		$L = t_s \cdot 2$
Με πολλές αρχές		$L = t_s \cdot N$
Αρχική διάμετρος	$d$	$d = \frac{t}{\varepsilon\varphi\varphi \cdot \pi} = d_k - 2m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi$
Μεγάλη διάμετρος	$d_k$	$d_k = d + 2m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi$
Διάμετρος πυρήνα	$d_1$	$d_1 = d - 2,33m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi$
Γωνία έλικας	$\varphi$	$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{L}{d \cdot \pi}$
Γωνία πλευράς	$\gamma$	$\gamma = 29^\circ$
Ύψος κεφαλής	$k$	$k = m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi = m_n$
Ύψος ποδός	$f$	$f = 1,67 \cdot m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi = 1,67m_n$
Ύψος συνολικό	$h$	$h = 2,167m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi = 2,167 \cdot m_n$
Βήμα μετωπικό	$t_s$	$t_s = \frac{L}{N}$
Αριθμός αρχών	$N$	$N = \frac{L}{t_s}$
Μοντούλ μετωπικό	$m_s$	$m_s = \frac{t_s}{\pi}$
Μοντούλ κάθετο	$m_n$	$m_n = \frac{t_n}{\pi} = m_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi$
Βήμα κάθετο	$t_n$	$t_n = m_n \cdot \pi = t_s \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi$

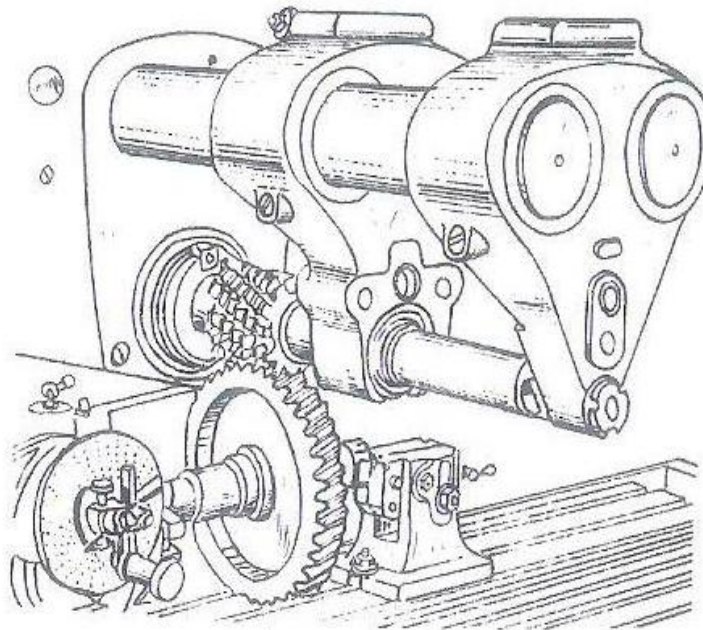
## ΠΙΝΑΚΑΣ

## Στοιχεία ατέρμονα τροχού (κορώννα)

Περιγραφή	Συμβ.	Υπολογισμός
Μοτούλ	$m$	$m = \frac{t}{\pi}$
Βήμα	$t$	$t = m \cdot \pi$
Αριθμός οδόντων	$Z$	$Z = \frac{d}{m}$
Αρχική διάμετρος	$d$	$d = \frac{Z \cdot t}{\pi} = Z \cdot m$
Εξωτερική διάμετρος	$d_k$	$d_k = d + 2m$
Ύψος κεφαλής	$k$	$k = m$
Ύψος ποδός	$f$	$f = 1,167 \cdot m$
Ύψος οδόντος	$h$	$h = 2,167 \cdot m$

**Κατασκευή του ατέρμονα τροχού (κορώνας).**

Η κορώνα κατασκευάζεται σε ειδικές μηχανές κοπής οδοντοτροχών (γρاناζοκόφτες) ή σε φρεζομηχανή. Για την κατασκευή του τροχού χρειάζεται μία ειδική κοχλιωτή φρέζα τύπου (χόμπ) όπως στο σχήμα[σχ.17], που έχει την μορφή του ατέρμονα, με τον οποίο θα συνεργαστεί ο τροχός. Τα δόντια του κοπτικού είναι διακοπτόμενα ώστε να κόβουν την κορώνα. Για την καλή συνεργασία ατέρμονα και τροχού, πρέπει η διάμετρος του χόμπ να είναι ίση με την διάμετρο του ατέρμονα.

**Σχήμα 17. Κοπή τροχού ατέρμονα**

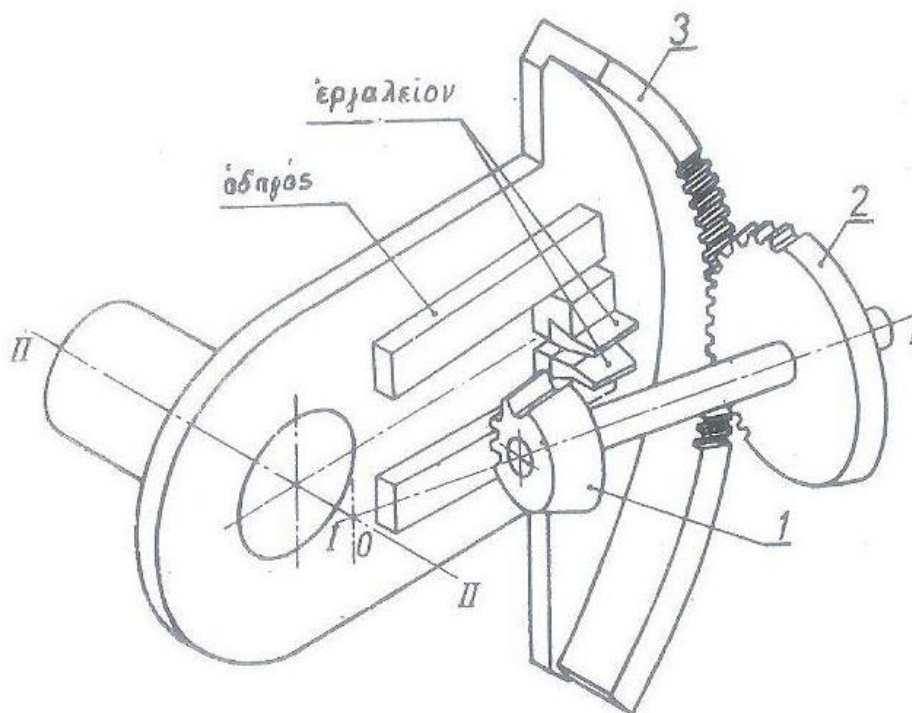


### 5.3. Γραναζοκοπτής κοπής κωνικών οδοντοτροχών για ευθείς μετωπικούς οδόντες

#### Κατά GLEASON

Σκοπός αυτής της εργαλειομηχανής είναι η κοπή κωνικών γραναζιών με ευθείς οδόντες σε απλή και μαζική παραγωγή. Η φρεζομηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αδρά κοπή και για το φινίρισμα των κωνικών γραναζιών τόσο με ευθείς όσο και με καμπυλωτούς οδόντες. Ακόμη, με ένα ειδικό εξάρτημα, η φρεζομηχανή ρυθμίζεται ώστε να κόβει μεμονωμένα σπειροειδή γρανάζια.

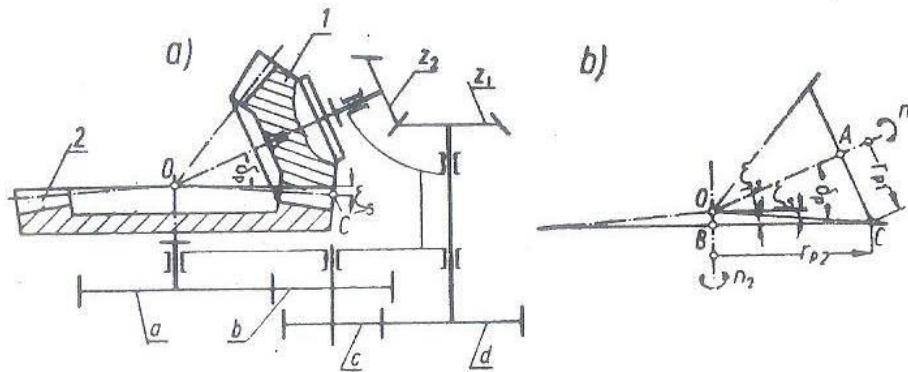
#### Περιγραφή



Στον άξονα I-I τοποθετείται το υπό κατεργασία γρανάζι (1) και το οδοντωτό στοιχείο (2) το οποίο έχει την ίδια γωνία με τον αρχικό κώνο και συνεργάζεται με την οδοντωτή στεφάνη (3) η οποία με τη σειρά της μπορεί και περιστρέφεται γύρω από την αξονική γραμμή II-II. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής, η στεφάνη αυτή μεταφέρει συγχρόνως και τους οδηγούς των κοπτικών εργαλείων.

#### Αρχή λειτουργίας

Η κίνηση κύλισης μεταφέρεται από το κατεργαζόμενο γρανάζι (1) δια μέσου των τροχών  $z_1$ - $z_2$  και των ανταλλακτικών τροχών d-c, b-a στην οδοντωτή στεφάνη (2) η οποία αποτελεί την κεφαλή με τους εργαλειοφορείς.



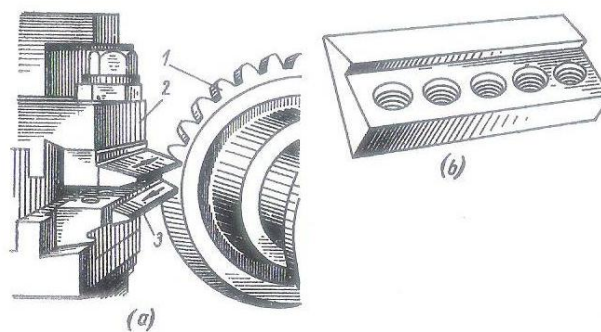
Για την πραγματοποίηση ορθολογικής σύζευξης, η περιφερειακή ταχύτητα  $V_1$  του υπό κατεργασία γραναζιού (1) στο σημείο c στον αρχικό κώνο πρέπει να είναι ίση με την περιφερειακή ταχύτητα  $V_2$  της οδοντωτής στεφάνης (2) στο σημείο c, δηλαδή:

$$V_1 = V_2$$

Ως εκ τούτου και όπως προκύπτει και από το ανωτέρω σχήμα ισχύει:

$$n_1 = n_2 \cdot \frac{\text{συν}\zeta_s}{\text{συν}\delta_p}$$

Συμπεραίνουμε επομένως ότι για κάθε στροφή της οδοντωτής στεφάνης, το κατεργαζόμενο γρανάζι πρέπει να εκτελέσει  $n_1$  στροφές ή ότι για κάθε στροφή του κατεργαζόμενου γραναζιού πρέπει η οδοντωτή στεφάνη να εκτελέσει  $\frac{\text{συν}\zeta_s}{\text{συν}\delta_p}$  στροφές.

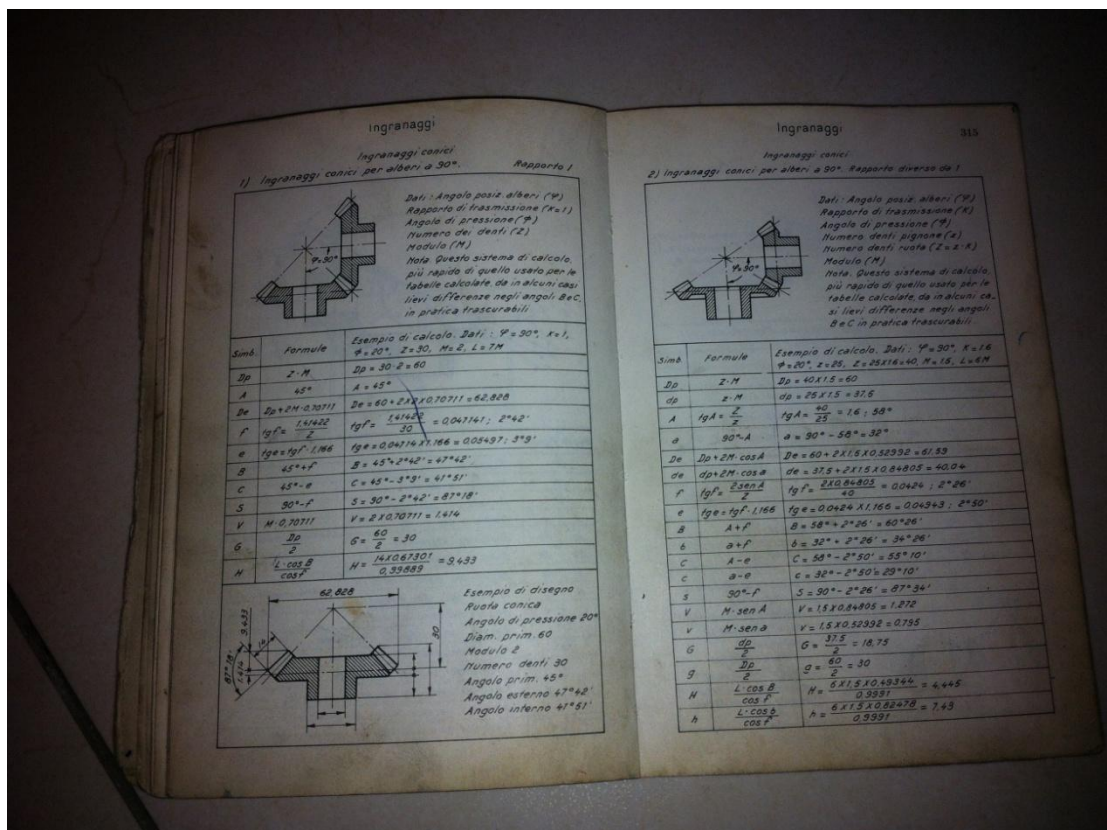


**Σχήμα 18. (α)1)Οδοντοτροχός. 2)Οδηγός κοπτικών 3)Κοπτικά που παλινδρομούν σε διάτμηση (β)Κοπτικό.**

**5.4. Κατασκευή κωνικού οδοντοτροχού με ευθύς μετωπικούς οδόντες σε γραναζοκόπτη (ή φρεζοπλάνη) κατά DIN 867.**

Για τις ανάγκες αυτής της πτυχιακής και για την καλύτερη κατανόηση του τεχνικού τομέα κατασκευής ενός οδοντοτροχού, κατασκευάστηκε κωνικός οδοντοτροχός με ευθύς μετωπικούς οδόντες. [σχ. 9].

Από ένα ζεύγος κωνικών οδοντοτροχών στο οποίο έχουν εμφανιστεί φθορές μας ζητήθηκε να κατασκευάσουμε το παρακάτω εξάρτημα. Οι διαστάσεις του εξαρτήματος προσδιοριστήκαν με βάση τα εξής δεδομένα. Οι αριθμοί των οδόντων είναι για το πινιόν είναι  $Z_1 = 24$  και τροχού  $Z_2 = 15$ . Η γωνία των συνεργαζόμενων αξόνων είναι γνωστή και είναι  $A = \alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$ . Μπορούμε ακόμα να μετρήσουμε το πλάτος του οδόντα  $b=12.17$  και την διάμετρο κύκλου κεφαλής (ή εξωτερική διάμετρο)  $d_k = 37,56$ . Καθώς και η γωνία επαφής  $\alpha_p = 20^\circ$ . Στην συνέχεια είναι εύκολο να υπολογιστεί μία ακόμα βασική παράμετρος, που η γωνία αρχικών κώνων  $\varepsilon\varphi\alpha_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = 0,625 \Rightarrow \alpha_2 = 32^\circ$ . Και η σχέση μετάδοσης  $i = \frac{Z_1}{Z_2} = 1,6$ . Με αυτά τα χαρακτηριστικά προσδιορίζουμε και τις υπόλοιπες παραμέτρους που είναι απαραίτητες και οι οποίες βρίσκονται σε πίνακες όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι υπολογισμοί αυτοί φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 1.

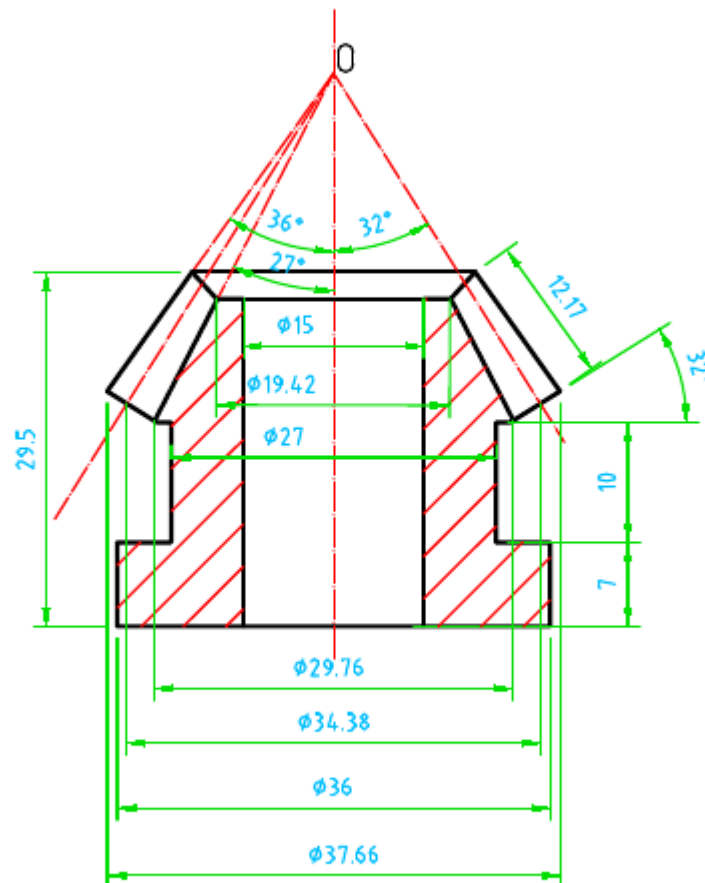


## Πίνακας 1

## Χαρακτηριστικά ζεύγους κωνικών οδοντοροχών

με γωνία επαφής (ή γωνία πίεσης)  $\alpha_p = 20^\circ$ 

Περιγραφή	Συμβ.	Υπολογισμοί (μεγάλου γραναζιού)	Συμβ.	Υπολογισμοί (μικρού γραναζιού)
Μοντούλ μεγάλ. διαμέτρου	m	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{D}{Z_2} = \frac{D_k}{Z_1 + 2\sigma\nu\alpha_1} = 2,25$	m	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{D}{Z_2} = \frac{D_k}{Z_1 + 2\sigma\nu\alpha_2} = 2,25$
Βήμα μεγ. Διαμέτρου	P	$p = \pi \cdot m = 7,07mm$	P	$p = \pi \cdot m = 7,07mm$
Αρχική διάμετρος (μεγάλη)	D	$D = Z_1 \cdot m = \frac{Z_1}{D_p} = 54mm$	d	$d = Z_2 \cdot m = \frac{Z_2}{D_p} = 33,75mm$
Εξωτερική διάμετρος μεγα.	Dk	$D_k = m \cdot (Z + 2\sigma\nu\alpha_1) = 57,81mm$ $D_k = D_m + 2m\sigma\nu\alpha_1$	dk	$d_k = m \cdot (Z + 2\sigma\nu\alpha_2) = 37,56mm$ $d_k = m(Z + \sigma\nu\alpha_2)$
Αριθμός οδοντων	Z1	$Z = \frac{D}{m} = 24$	Z2	$Z = \frac{d}{m} = 15$
Γωνία αρχικής διαμέτρου	a1	$\epsilon\phi\alpha_1 = \frac{D}{d} = \frac{Z_1}{Z_2} = 58^\circ$	a2	$\epsilon\phi\alpha_2 = \frac{d}{D} = \frac{Z_2}{Z_1} = 32^\circ$
Γωνία αξόνων μεγ. Διαμέτρου	A	$A = 90^\circ = a_1 + a_2$	A	$A = 90^\circ = a_1 + a_2$
Ύψος κεφαλής μεγ. Διαμέτρου	ha	$h_a = m = \frac{1}{D_p} = 2,25mm$	ha	$h_a = m = \frac{1}{D_p} = 2,25mm$
Ύψος ποδός μεγ. Διαμέτρου	hf	$h_f = 1,66 \cdot m = \frac{1,157}{D_p} = 2,62mm$	hf	$h_f = 1,66 \cdot m = \frac{1,157}{D_p} = 2,62mm$
Ύψος οδόντα μεγ. Διαμέτρου	h	$h = h_a + h_f = \frac{2,157}{D_p} = 2,167 \cdot m = 4,87mm$	h	$h = h_a + h_f = \frac{2,157}{D_p} = 2,167 \cdot m = 4,87mm$
Γωνία κεφαλής	$\beta_1$	$\epsilon\phi\beta_1 = \frac{2\eta\mu\alpha_1}{Z} = 4,04^\circ$	$\beta_2$	$\epsilon\phi\beta_1 = \frac{2\eta\mu\alpha_1}{Z} = 4,04^\circ$
Γωνία κώνου	$\delta_1$	$\delta_1 = \alpha_1 + \beta_1 = 62,02^\circ$	$\delta_2$	$\delta_2 = \alpha_2 + \beta_2 = 36,02^\circ$
Γωνία ποδός οδόντα	$\theta_1$	$\epsilon\phi\theta_1 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_1}{Z_1} = 4,71^\circ$	$\theta_2$	$\epsilon\phi\theta_2 = \frac{1,67 \cdot 2\eta\mu\alpha_2}{Z_2} = 4,71^\circ$
Διάμετρος κύκλου πόδα.	$D_f$	$D_f = D - 2h_f \cdot \sigma\nu\alpha = 51,23mm$	$d_f$	$d_f = d - 2h_f \cdot \sigma\nu\alpha = 29,22mm$
Πλάτος οδόντα	b	$b = 12,17$	b	$b = 12,17$
Γωνία πώδα	$\gamma_1$	$\gamma = \alpha_1 - \theta_1 = 53,29^\circ$	$\gamma_2$	$\gamma_2 = \alpha_2 - \theta_2 = 27,29^\circ$



Σχήμα 19. Σχέδιο σε τομή κωνικού οδοντοτροχού.

**Διαδικασία κατασκευής κωνικού οδοντοτροχού με ευθύς μετωπικούς οδόντες.**

Το υλικό κατασκευής του εξαρτήματος είναι C 60 και το κοπτικό HSS . Για τα δεδομένα αυτά επιλέχθηκε από τον παρακάτω πίνακα ταχύτητα κοπής  $v = 20 \frac{m}{min}$

**Ενδεικτικές τιμές των ταχυτήτων κοπής  $v_{60}$ ,  $v_{240}$  και  $v_{480}$  για εκχόνδριση**

Υλικό ΤΕ	$\sigma_B$ (daN/mm <sup>2</sup> )	Υλικό ΚΕ	$v_{60}$ (m/min)	$v_{240}$ (m/min)	$v_{480}$ (m/min)
Ανθρακούχος χάλυβας C 35	55-65	P10	160-200	120-140	80-100
		P20	150-180	100-120	60-80
		P30	120-150	70-90	50-60
		SS*	40-45	30-35	-
Ανθρακούχος χάλυβας C 45	65-75	P10	150-180	110-130	-
		P20	120-150	90-110	60-70
		P30	100-120	60-80	50-60
		SS	35-40	28-33	-
Ανθρακούχος χάλυβας C 60	75-90	P10	110-130	70-90	50-60
		P20	90-110	50-60	-
		P30	70-90	30-40	-
		SS	25-30	18-22	-
Χάλυβας Mn-Si	80-90	P10	150-170	100-120	70-80
		P20	120-140	80-100	60-70
		P30	90-110	60-70	35-45
		SS	20-25	15-20	-
Χάλυβας Cr-Mo	80-90	P10	140-160	90-110	70-80
		P20	110-130	70-90	60-70
		P30	80-100	40-60	35-45
		SS	20-25	15-20	-
Χάλυβες ενανθράκωσης	50-70	P10	160-200	110-140	70-100
		P20	140-180	100-130	60-90
		P30	120-160	70-100	-
		SS	40-50	30-45	-
Χυτοσίδηρος GG 18	15-20	K10	80-120	60-90	50-70
		SS	30-35	20-25	15-18
Χυτοσίδηρος GG 26	~26	K10	60-75	40-50	30-40
		SS	25-30	15-20	-
Χαλκός		K20	-	350-450	-
		SS	-	30-50	-
Μπρούντζος		K20	-	300-400	-
		SS	-	35-50	-
Χυτός μπρούντζος		K20	-	250-350	-
		SS	-	30-45	-
Κράματα Al		K20	-	200-500	-
		SS	-	30-60	-
Κράματα Al-Si		K20	-	100-160	-
		SS	-	20-50	-

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{20}{3,14 \cdot 0,04} = 159,15$$

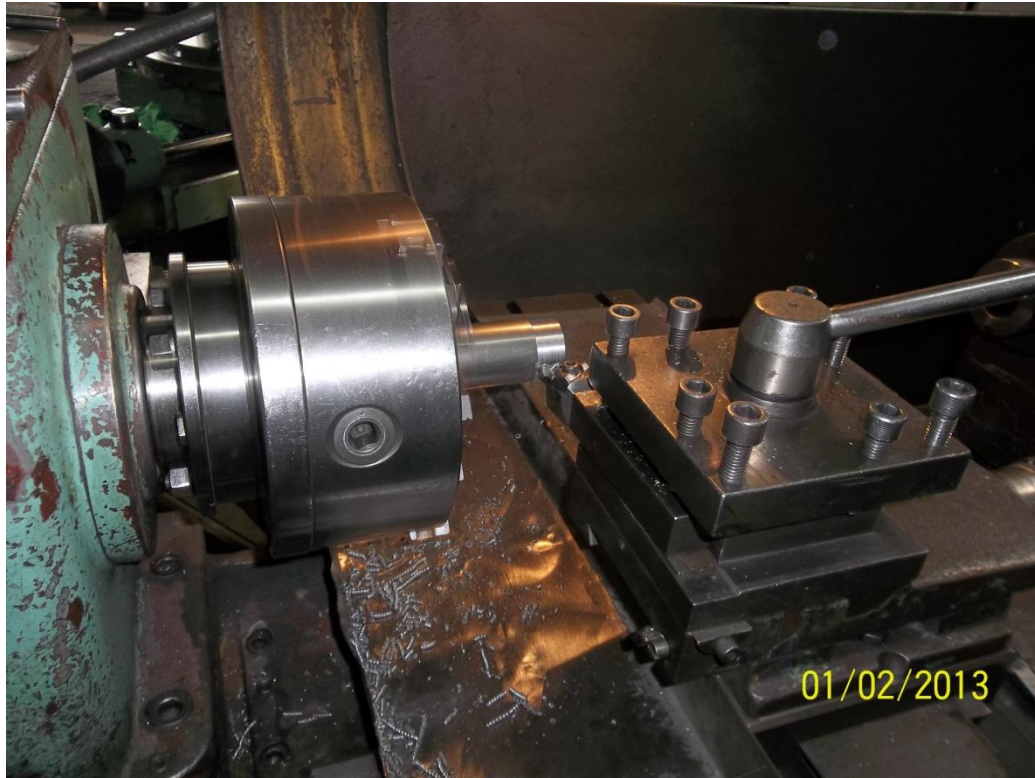
50	85	145	245
415	700	1180	2000

Διαθέσιμες στροφές τόννου σε/min.

Από τις διαθέσιμες στροφές του τόρνου επιλέχθηκε η πλησιέστερη προς τα κάτω  $n=145$  rpm.

**Φάσεις κατεργασίας στον τόρνο:**

1. Αρχικά στερεώθηκε στο τσόκ το υλικό κατασκευής με μήκος  $s=200$ mm και διάμετρο  $d=40$ mm. Και στην συνέχεια κατά μήκος σε διάμετρο  $d=37,6$ mm.



**Προετοιμασία του κομματιού στον τόρνο, φάση πρώτη.**

2. Κατεργασία διαμόρφωσης προσώπου.
3. Κατεργασία διαμόρφωσης διαμέτρου  $\phi 37,6$  σε όλο το μήκος του κομματιού.
4. Κατεργασία διαμόρφωσης διαμέτρου  $\phi 27,25$  σε μήκος  $12,5$ mm όπως φαίνεται στο σχέδιο.



**Διαμόρφωση εσοχής με κοπτικό σκισίματος.**

5. Κατεργασία διαμόρφωσης  $\phi 36$  και μήκους 7mm.
6. Κατεργασία διαμόρφωσης εσοχής σε βάθος 2mm στην πλευρά του προσώπου του κώνου, (μικρή διάμετρος) και σε διάμετρο 19,5mm.
7. Διαμόρφωση κωνικής επιφάνειας με κωνικότητα  $36^\circ$  όπως στο εμφανίζεται στο σχέδιο.



**Στροφή του εργαλείοφορείου στις  $36^\circ$**





#### Κωνική διαμόρφωση στις 36°

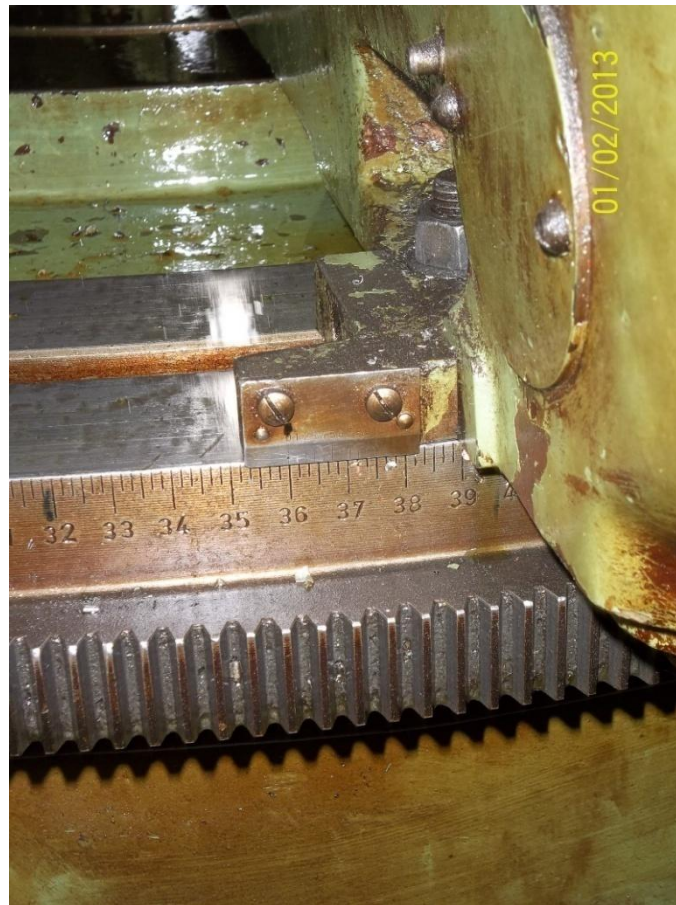
8. Κατεργασία διαμόρφωσης κωνικής επιφάνειας με κωνικότητα 32°.
9. Κοπή του εξαρτήματος μετά το πέρας της διαμόρφωσης σε μήκος 30,5mm.
10. Κατεργασία διαμόρφωσης οπής  $\phi 15$  (όπως στο σχέδιο).

Μετά το πέρας της τόννευσης περνάμε στην φάση κοπής των οδόντων στον γριναζοκόπτη.



**Στερέωση του κομματιού στον άξονα έτοιμο προς κατεργασία. Και ζεύγος κοπτικών.**

Αρχικά τοποθετούμε το κομμάτι στο αξονάκι για την στερέωση του στην κεφαλή κοπής της φρεζομηχανής. Κατόπιν ρυθμίζουμε την γωνία στις 36 μοίρες , και πλησιάζουμε το κομμάτι στα κοπτικά ώστε να κεντράρουμε το κομμάτι.

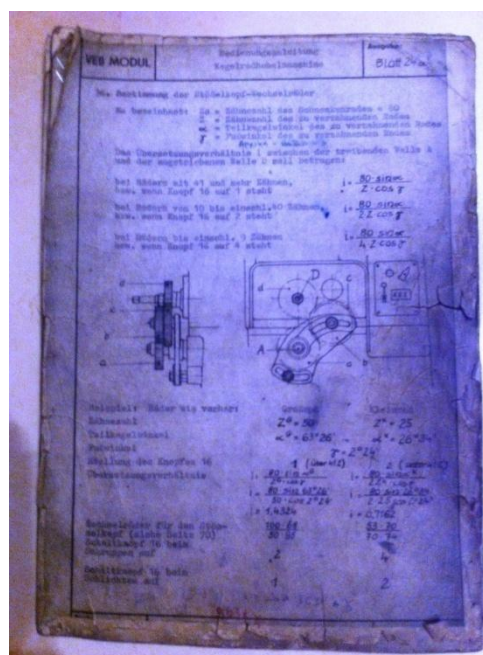


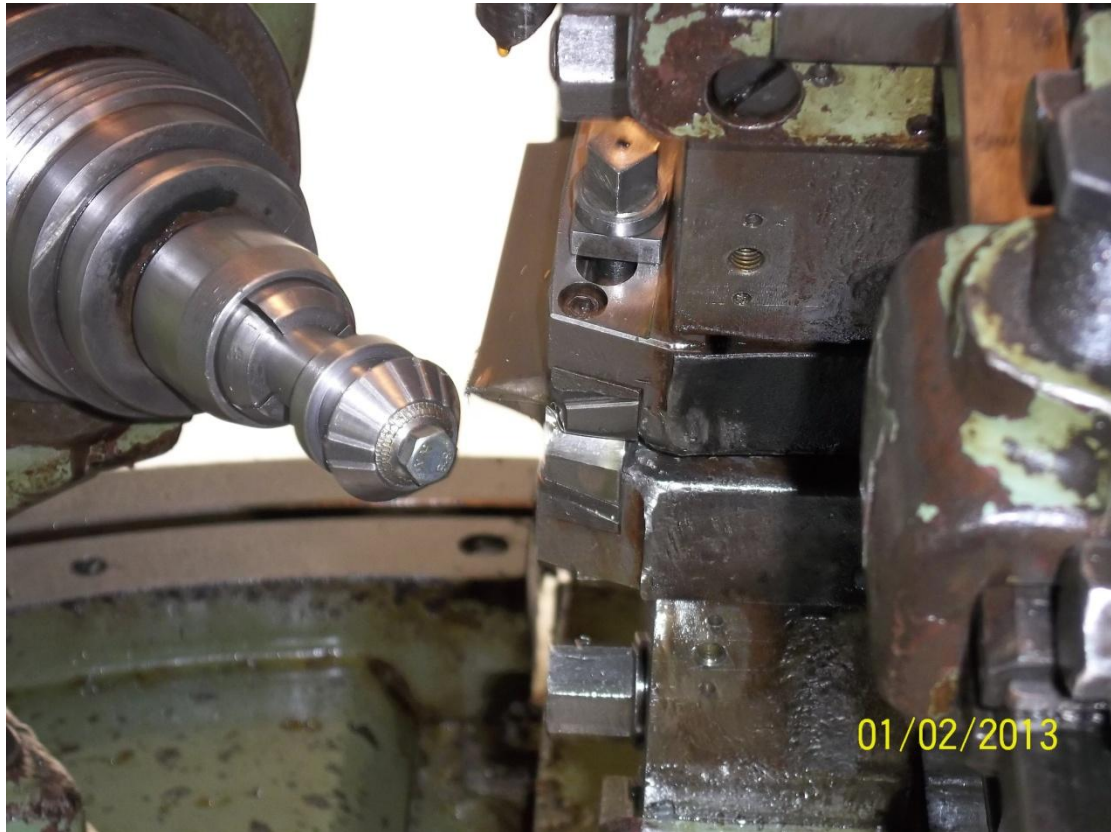
**Ρύθμιση μοιρών για την 1<sup>η</sup> από 4<sup>η</sup> κοπή των οδόντων.**



**Τοποθέτηση των κατάλληλων οδοντοτροχών για την κοπή του κυματίου με τους Z=15 οδόντες.**

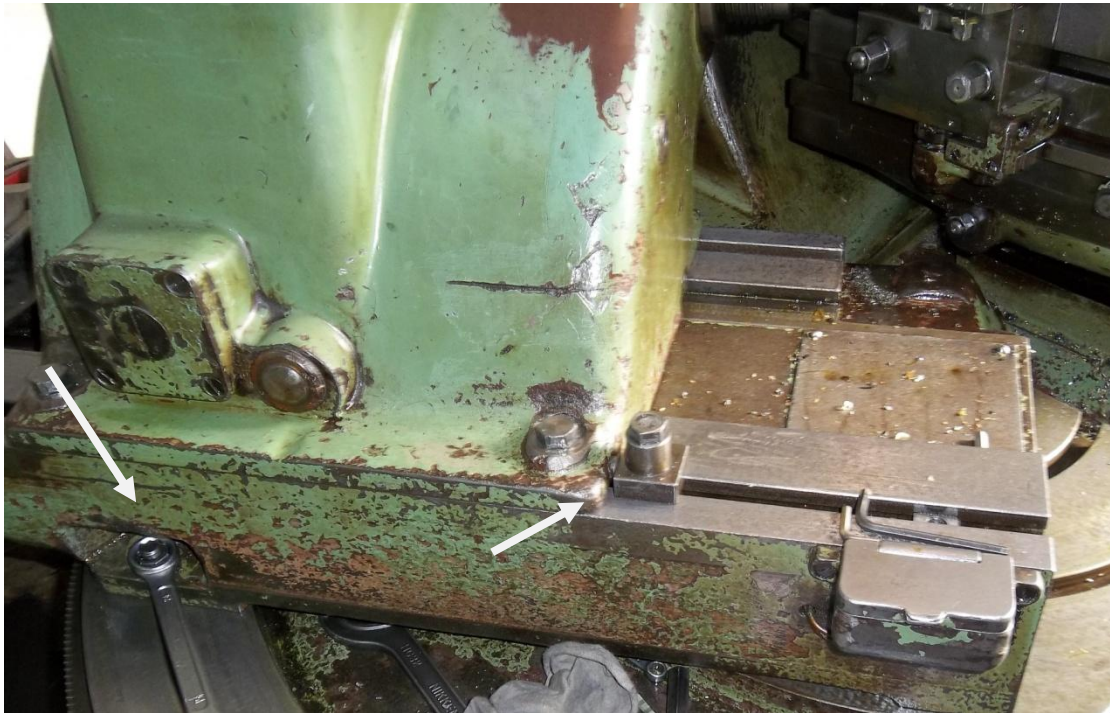
Στην συνέχεια τοποθετούμε τους οδοντωτούς τροχούς για τους οποίους η μηχανή θα δώσει τον απαραίτητο αριθμό οδόντων, και το κομμάτι αλλά και τα κοπτικά που παλινδρομούν θα στρέφονται στους σωστούς χρόνους. Οι οδοντοτροχοί αυτοί υπολογίζονται από σχέσεις που είναι διαφορετικές για κάθε μηχανή. Οι σχέσεις αυτές υπάρχουν στην επόμενη εικόνα, λόγω παλαιότητας όμως του εγχειριδίου δεν εμφανίζονται σωστά. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι τιμές για τους τροχούς που εμφανίζονται στην επάνω εικόνα από αριστερά προς τα δεξιά είναι. (A=120 οδόντες ,B=75 οδόντες ,C=90 οδόντες ,D=45 οδόντες).





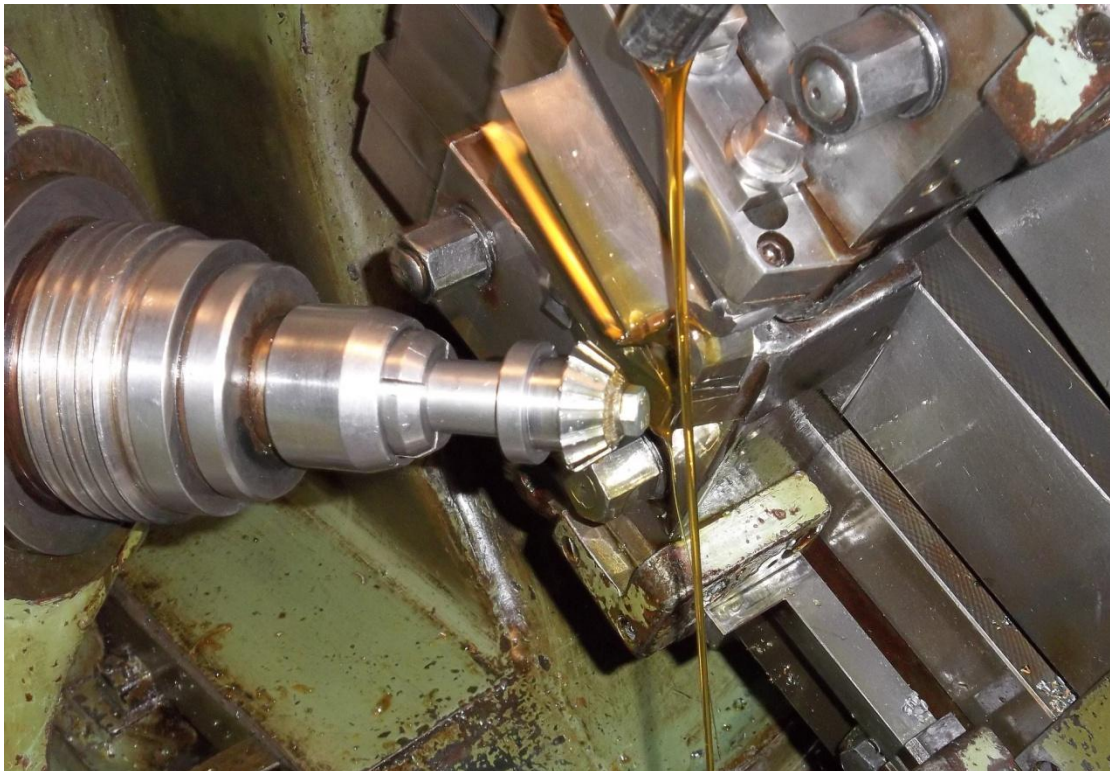
**Χάραξη σε μικρό βάθος και έλεγχος για τυχόν σφάλμα στον αριθμό των οδόντων.**

Στην συνέχεια ρυθμίζουμε τον απαριθμητή για να μας χαράξει τους 15 οδόντες. Αυτή η πρώτη κοπή θα χαράξει επιφανειακά τον κώνο και θα μας δώσει τον αριθμό των οδόντων που θα κοπούν συνολικά. Έτσι βεβαιωνόμαστε ότι δεν έχουμε κάνει κάποιο λάθος στην τοποθέτηση των οδοντοτροχών ή στους υπολογισμούς μας.



**Κεντράρισμα του κομματιού και ασφάλιση στην σωστή θέση.**

Με την ενεργοποίηση της μηχανής τίθεται σε λειτουργία και η λίπανση. Οι παλινδρομήσεις είναι αργές σχετικά κινήσεις διάτμησης που εκτελούνται εναλλάξ από τους κοπτικούς σιαγόνες.



**Κοπή του οδοντοτροχού στην 2<sup>η</sup> φάση.**

Μετά την πρώτη κοπή συγκλίνουμε το κομμάτι περίπου κατά μία γωνία περίπου 2 μοίρες πλησιέστερα. Αυτή η διαδικασία δεν είναι ίδια για όλα τα εξαρτήματα. Εξαρτάτε από το μέγεθος του οδόντα και από τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Δηλαδή χοντρικά όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός οδόντων τόσες περισσότεροι θα είναι και οι κύκλοι κοπής στις οποίες θα υποβάλουμε το εξάρτημα.

Αυτή η διαδικασία για το συγκεκριμένο εξάρτημα επαναλαμβάνεται τέσσερις φορές. Κάθε φορά δηλαδή που ο απαριθμητής μηδενίζεται (συνεπώς έχει εκτελέσει την κοπή και των 15 οδόντων) απελευθερώνουμε στην βάση της μηχανής τα περικόχλια και συγκλίνουμε κάθε φορά το κωνικό κομμάτι πλησιέστερα στα κοπτικά. Η τελική γωνία κοπής γίνεται στο τέταρτο και τελευταίο πέρασμα και έχει την τιμή της γωνίας ποδός:

$$\gamma_2 = \alpha_2 - \theta_2 = 27^\circ \text{ μοίρες όπως φαίνεται στο σχέδιο.}$$

Εδώ οφείλουμε να σημειώσουμε ότι τα δέκατα της μοίρας μπορεί να έχουν υπολογιστεί σωστά, αλλά σε αυτή τη μηχανή δεν μπορούμε πρακτικά να την ρυθμίσουμε με τέτοια ακρίβεια, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρή απόκλιση από τις ιδανικές διαστάσεις. Μετά το τέλος και του τέταρτου κύκλου κοπής το εξάρτημα είναι έτοιμο. Αυτή η διαδικασία είναι σχετικά χρονοβόρα (φτάνει περίπου τα 40 λεπτά) αλλά έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



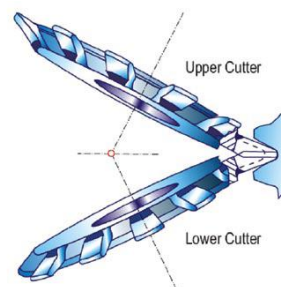
**Φάση 3<sup>η</sup> της κοπής του εξαρτήματος. Μεταβολή της γωνίας.**



**Με το πέρας των τεσσάρων φάσεων κοπής το εξάρτημα είναι έτοιμο και ελέγχεται με εμπειρικές μεθόδους για την ποιότητα του και την συναρμογή του.**

### 5.5. Νεώτεροι μέθοδοι στην κοπή κωνικών οδοντοτροχών με ευθύς οδόντες.

Με την ανάπτυξη των ψηφιακά καθοδηγούμενων μηχανών από ηλεκτρονικό υπολογιστή 6 αξόνων CNC, η κοπή ή το τρόχισμα των κωνικών οδοντοτροχών με ευθύς οδόντες έχει γίνει ταχύτερη και παραγωγικότερη. Η κοπή κωνικών οδοντοτροχών με ευθύς μετωπικούς οδόντες όπως βλέπουμε και στην παραπάνω κατασκευή γίνεται σε φρεζομηχανή η οποία είναι κατασκευασμένη για αυτήν την εξειδικευμένη εργασία. Η νέα αυτή μέθοδος κατασκευής Coniflex Plus on the rhoenix της εταιρίας Gleason έχει την δυνατότητα εκτός από ευθύς κωνικούς οδοντοτροχούς να παράγει και υποειδής οδοντοτροχούς καθώς και άλλες εφαρμογές όπως επιδιόρθωση οδόντων κλπ. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων έναντι της μεθόδου που περιγράψαμε πριν, είναι ότι οι μεταβολές στις ταχύτητες περιστροφής και μετάδοσης της κίνησης γίνονται με ισχυρούς ηλεκτροκινητήρες εναλλασσομένου ή συνεχούς ρεύματος και σπανιότερα βηματικούς. Έτσι δεν χρειάζεται να τοποθετούμε γρανάζια με σταθερές σχέσεις μετάδοσης. Και η όλη διαδικασία κοπής είναι ελεγχόμενη και προγραμματιζόμενη. Οι δύο κοπτικοί δίσκοι τους οποίους βλέπουμε στις παρακάτω εικόνες περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα. Ο άνω κοπτήρας συγκλίνει με τον κάτω και μαζί σχηματίζουν σταδιακά τις κατατομές του οδόντα. Η ευελιξία, η ταχύτητα, και η ακρίβεια στην κατασκευή που προσφέρουν αυτές οι μηχανές προσδίδουν νέες κατασκευαστικές δυνατότητες στους χρήστες τους.





**Συμπεράσματα.**

Η κατασκευή οδοντοτροχών αποτελεί ίσως κομβικό σημείο στην ιστορία της τεχνολογίας και την πρόοδο και την εξέλιξη της ανθρωπότητας. Εκτός από τις εποχές των μετάλλων (χαλκού , κασσίτερου , σιδήρου κλπ.) ίσως θα έπρεπε να προσθέσουμε και την εμφάνιση των οδοντοτροχών. Οι πολλές εφαρμογές τους άλλαξαν τις προοπτικές και τον τρόπο σκέψης των επιστημόνων της εποχής. Ο ελικοειδής κοχλίας του Αρχιμήδη ήταν η πρώτη αντλία της αρχαιότητας. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων (ίσως και αυτός του Αρχιμήδη) αποτέλεσε τον πρώτο φορητό μηχανικό υπολογιστή αστρονομικών προβλέψεων. Το ρωμαϊκό οδόμετρο το οποίο μετρούσε χιλιομετρικές αποστάσεις της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας είναι λίγες από τις πολλές εφαρμογές με οδοντοτροχούς που μπορούμε να αναφέρουμε.

Στην σημερινή εποχή η σπουδαιότητα τους είναι ακόμα μεγαλύτερη και είναι λίγες οι περιπτώσεις στις οποίες έχουμε μετάδοση κίνησης και δεν εμπλέκονται σε αυτήν οδοντοτροχοί. Η κοπή τους είτε σε γριναζοκόπτες είτε σε φρέζες γενικής χρήσης ή και σε ψηφιακά καθοδηγούμενες φρεζομηχανές εξαρτάτε πάντοτε από την ακρίβεια στην κατατομή του οδόντα την ταχύτητα παραγωγής τα μέσα που διατίθενται και το κόστος κατασκευής. Για απλές καθημερινές εφαρμογές οι οποίες έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε ακρίβεια κατατομής και οι περιφερειακή ταχύτητα και η ισχύς είναι μικρή οι φρέζες γενικής χρήσης δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια κατατομής και μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής οι γριναζοκόπτες αποτελούν την αμέσως επόμενη συμφέρουσα λύση. Στην σύγχρονη βιομηχανία που οι απαιτήσεις σε ταχύτητα παραγωγής ακρίβεια κατατομών και κόστος παραγωγής είναι οι μέγιστες τον κύριο ρόλο έχουν οι ψηφιακά καθοδηγούμενες φρεζομηχανές CNC. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι οι παραπάνω μέθοδοι δίνουν την σωστή λύση σε κάθε ξεχωριστές απαιτήσεις της παράγωγης.

**Βιβλιογραφία.**

- Chernov, N. (1989). «*Machine tools*», Mir
- Διαμαντούδη, Θ.Α. (1980). «*Μηχανουργική Τεχνολογία Εργαλειομηχαναί*», Θεσσαλονίκη
- Krar, S.F. (1997). «*Technology of machine tools*», Tulsa, OK, USA: Angela
- Κωστόπουλος, Θ. (2010), «*Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών*», Αθήνα: Συμεών
- Λαζαρίδη, Λ. (1987). «*Μηχανουργική Τεχνολογία Εργαστήριο II- Β' τεύχος*», Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου
- Λαζαρίδη, Λ. (2003). «*Στοιχεία μηχανών*», Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου
- Μανσούρ, Γκ. & Σαλονικίδου, Α. (2008), «*Μηχανουργική Τεχνολογία: Κατεργασίες Κοπής*», Αθήνα: ΟΕΔΒ-Π.Ι.
- Μπάχα,Γ. & Λοπρέστης, Γ. (1976). «*Μηχανουργική Τεχνολογία*», τόμος Β, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου
- Παπαδανιήλ, Ε. & Σφαντζικόπουλου, Μ. (1999), «*Μηχανουργική Τεχνολογία Εργαστήριο II*», Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου
- Στεργίου,Ι. & Στεργίου,Κ. (2002) «*Στοιχεία μηχανών II: μετάδοση κίνησης, οδοντωτοί τροχοί- ιμάντες-αλυσίδες*», Αθήνα: Σύγχρονη εκδοτική
- Φρυδάκης, Μ. (2003), «*Στοιχεία Μηχανών III*», Σύγχρονη Εκδοτική

**Διαδικτυακές πηγές**

1. Stadtfeld, H. *“CONIFLEX Plus Straight Bevel Gear Manufacturing”* extracted from:  
[http://www.gearsolutions.com/media/uploads/assets/PDF/Articles/Aug\\_10/0810\\_Gleason.pdf](http://www.gearsolutions.com/media/uploads/assets/PDF/Articles/Aug_10/0810_Gleason.pdf)
2. *“Tooth Contact Patterns on Straight Bevel Gear”* extracted from:  
<http://www.kadkraft.com/images/ANL-070-No-Load-Contact-Pattern-Straight-Bevel.pdf>
3. ConiflexPDC  
<http://www.gleason.com/uploads/industrySolutions/en/technology/powerGeneration/other/ConiflexPDC.pdf>
4. Gear\_classification  
[http://www.mae.ncsu.edu/eischen/courses/mae415/docs/Gear\\_classification.pdf](http://www.mae.ncsu.edu/eischen/courses/mae415/docs/Gear_classification.pdf)
5. gear\_guide\_060817  
[http://www.khkgears.co.jp/kr/gear\\_technology/pdf/gear\\_guide\\_060817.pdf](http://www.khkgears.co.jp/kr/gear_technology/pdf/gear_guide_060817.pdf)
6. 2\_1  
[http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Machine\\_Design\\_II/pdf/2\\_1.pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Machine_Design_II/pdf/2_1.pdf)
7. engrahipoidales  
[http://www.mecanicahn.com/personal/marcosmartinez/eleme3/lecturalngpdf\\_e3/engrahipoidales.pdf](http://www.mecanicahn.com/personal/marcosmartinez/eleme3/lecturalngpdf_e3/engrahipoidales.pdf)
8. Bevel Gear Analysis  
[http://www.webs1.uidaho.edu/mindworks/Machine\\_Design/Posters/Descriptions/PDF\\_Paper/Bevel%20Gear%20Analysis.pdf](http://www.webs1.uidaho.edu/mindworks/Machine_Design/Posters/Descriptions/PDF_Paper/Bevel%20Gear%20Analysis.pdf)
9. stadtfeld1  
<http://www.geartechnology.com/issues/0810x/stadtfeld1.pdf>
10. fette-zubonareznoy-instrument  
<http://www.megatools.ru/catalog/lmt-fette/fette-zubonareznoy-instrument.pdf>
11.  
<http://www.geartechnology.com/>

12. overview seminar “ basics of gearcutting technology”

<http://www.liebherr.com/GT/en-GB/118137.wfw>

13. litvin\_book\_1

[http://new.gears.ru/pdf/litvin/litvin\\_book\\_1.pdf](http://new.gears.ru/pdf/litvin/litvin_book_1.pdf)

14. Σημειώσεις εργαστηρίου για το μάθημα Pro Engineer 2001

[http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/psifiaki%20kathodigisi\\_cam/cam\\_erg\\_fulladio.pdf](http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/psifiaki%20kathodigisi_cam/cam_erg_fulladio.pdf)