



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

## **ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ**



**ΜΑΛΙΑΓΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ**  
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 42**

**ΧΑΝΙΑ 2014**

Αφιερωμένη στους γονείς μου,  
Αθανάσιο και Αναστασία

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κύριο Αντωνιάδη για την πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή του, τους φίλους μου για την υποστήριξη και κυρίως την Οικογένεια Γαρεδάκη Βασίλη για την αγάπη τους και την φιλοξενία τους.

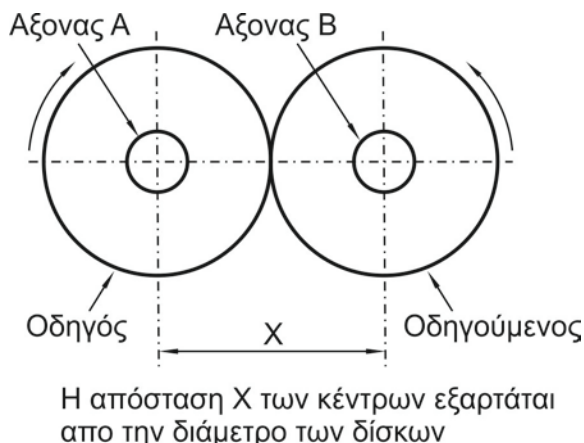
## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ.....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1 Κυλιόμενος κύκλος .....   | 11        |
| 2.2 Διάμετρος βήματος .....   | 11        |
| 2.3 Διάμετρος κύκλου ποδός.....   | 11        |
| 2.4 Κυκλικό βήμα .....  | 11        |
| 2.5 Διαμετρικό βήμα .....   | 11        |
| 2.6 Μετρικό βήμα .....  | 11        |
| 2.7 Πάχος δοντιού στην γραμμή βήματος.....  | 11        |
| 2.8 Πάχος χορδής .....  | 12        |
| 2.9 Διάκενο.....  | 12        |
| 2.10 Κύκλος βάσης .....   | 12        |
| 2.11 Γραμμή δράσης.....   | 12        |
| 2.12 Γραμμή επαφής.....   | 12        |
| 2.13 Γωνία ελίκωσης .....   | 12        |
| 2.14 Τόξο προσέγγισης.....  | 12        |
| 2.15 Τόξο εσοχής.....   | 12        |
| 2.16 Θεωρητικές εξισώσεις ή τύποι για αναλογίες γραναζιών και δοντιών.....                  | 12        |
| <b>3. ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΝΤΙΟΥ .....</b>   | <b>15</b> |
| 3.1 Η κυκλοειδής καμπύλη .....  | 17        |
| 3.2 Επαφή οδόντων .....   | 22        |
| 3.3 Κλωβός διαφορικού.....  | 23        |
| 3.4 Δόντια καμπύλης εξελιγμένης παρειάς .....   | 26        |
| <b>4. ΜΕΓΕΘΗ ΔΟΝΤΙΟΥ ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ .....</b>  | <b>31</b> |
| 4.1 Κυκλικό Βήμα .....  | 31        |
| 4.2 Διαμετρικό βήμα (DP).....   | 32        |
| 4.3 Μετρικό βήμα .....  | 32        |
| 4.4 Αναλογίες δοντιού .....   | 32        |
| <b>5. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΑΙ ΚΩΝΙΚΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ .....</b>                                    | <b>34</b> |
| 5.1 Μορφή εξελιγμένης παρειάς δοντιών σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς ..... | 35        |
| 5.2 Κυκλοειδής μορφή δοντιών σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς .....          | 35        |
| 5.3 Ακιδωτά δόντια που εφαρμόζονται σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς .....   | 36        |
| <b>6. ΚΩΝΙΚΑ ΓΡΑΝΑΖΙΑ.....</b>  | <b>39</b> |
| 6.1 Δόντια κωνικών οδοντίωντροχών .....   | 43        |
| 6.2 Σύστημα κορώνα και πηνίο .....  | 45        |
| 6.3 Διάταξη ζεύγους κωνικών οδοντίωντροχών .....  | 47        |
| <b>7. ΑΤΕΡΜΟΝΑΣ ΚΟΧΛΙΑΣ .....</b>   | <b>50</b> |
| 7.1 Σχήματα οδοντώσεων ατέρμονα – κορώνας.....  | 53        |
| <b>8. ΔΙΑΙΡΕΤΗΣ.....</b>  | <b>58</b> |
| 8.1 Κεφαλή τύπου ατέρμονα και τροχού.....   | 60        |
| <b>9. ΚΟΠΗ ΜΕΤΩΠΙΚΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ.....</b>   | <b>62</b> |
| 9.1 Κοπή γραναζιών στην κάθετη φρέζα .....  | 71        |
| 9.2 Κοπή μετωπικών γραναζιών σε μια οριζόντια φρέζα .....                                   | 74        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>10. ΚΟΠΗ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΑΙ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ .....</b>   | <b>77</b>  |
| 10.1 Καθορίζοντας τους τροχούς αντικατάστασης για την παραγωγή της<br>γωνίας ελίκωσης..... | 81         |
| 10.2 Παράγοντας ατέρμονα κοχλία.....   | 90         |
| 10.3 Φρεζάρισμα ελευθέρας μορφής.....  | 93         |
| <b>11. ΚΟΠΗ ΚΩΝΙΚΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ.....</b>   | <b>95</b>  |
| 11.1 Κωνικά γρανάζια παράλληλου βάθους .....   | 95         |
| <b>12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ.....</b>                                     | <b>102</b> |
| 12.1 Κυκλικοί κόπτες πολλών δοντιών .....  | 113        |
| <b>13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>   | <b>119</b> |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όποτε ερχόμαστε αντιμέτωποι με ένα πρόβλημα, το μεγαλύτερο βήμα ως προς την επίλυση του είναι η ικανότητα να κατανοούμε ποιο ακριβώς είναι το πρόβλημα. Αφού κατά πρώτον γίνει κατανοητό, πιθανόν το πιο σημαντικό εμπόδιο να έχει ξεπεραστεί. Τα γρανάζια δεν αποτελούν εξαίρεση, οι μηχανικοί που είτε τα αγνοούν και προσποιούνται ότι δεν υπάρχουν, είτε που έχουν προβλήματα κατά την παραγωγή τους, πρέπει αρχικά να κατανοήσουν τον όρο: «Τι είναι τα γρανάζια». Τα γρανάζια χρησιμοποιούνται για να μεταδίδουν κίνηση και επομένως δύναμη ανάμεσα σε άξονες. Για την καλύτερη κατανόηση της αρχής των γραναζιών πρωτίστως αγνοούμε τις εγκοπές τους, έτσι τα αντιλαμβανόμαστε ως δίσκους των οποίων οι εξωτερικές επιφάνειες τους είναι σε επαφή.



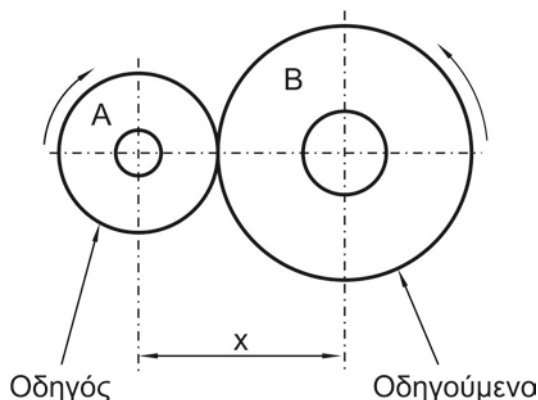
Σχήμα 1.1 : Μετάδοση κίνησης από τον άξονα Α στον άξονα Β

Για παράδειγμα στο σχήμα 1.1 έχουμε δυο άξονες και επιθυμούμε να μεταδώσουμε κίνηση από τον άξονα Α στον Β. Δυο δίσκοι ίσης διαμέτρου χρησιμοποιούνται όπου ο καθένας είναι ασφαλισμένος σε έναν από τους δυο άξονες. Οι διάμετροι των δίσκων είναι τέτοιες ώστε να εφάπτονται και υποθέτουμε ότι δεν υφίσταται ολίσθηση ανάμεσα τους. Όταν περιστρέφεται ο δίσκος Α στον άξονα του, με τη σειρά του θα περιστρέφεται ο δίσκος Β και επομένως θα περιστραφεί και ο άξονας του Β. Μπορεί είναι ένα απλό παράδειγμα αλλά πολλά τα διδάγματα από αυτό, όπως:

- Η περιστροφή των δυο αξόνων θα είναι αντίθετης φοράς. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο «οδηγός» άξονας Α γυρίζει με τη φορά του ρολογιού και ο άξονας Β, ο οποίος αποκαλείται «οδηγούμενος», κινείται σε αντίθετη φορά από τον Α. Αν πρέπει να έχουν ίδια φορά περιστροφής, αυτό δεν επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ζευγαριού δίσκων.
- Η διάμετρος των δίσκων ορίζεται από την απόσταση των κέντρων των δυο αξόνων. Σ' αυτή τη περίπτωση, αφού και οι δυο δίσκοι είναι ίσης διαμέτρου τότε η διάμετρος τους θα είναι ίδια με την απόσταση των κέντρων των δυο αξόνων.
- Εφόσον η περίμετρος και των δυο δίσκων είναι ισομήκης, τότε η ταχύτητα περιστροφής θα είναι ίδια, και
- Αφού δεν υπάρχει ολίσθηση ανάμεσα στους δίσκους, τότε τα χαρακτηριστικά του άξονα Α, θα περάσουν και στον άξονα Β, αλλά με αντίθετη φορά κίνησης. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα ανάμεσα στους άξονες θα είναι συνεχής.

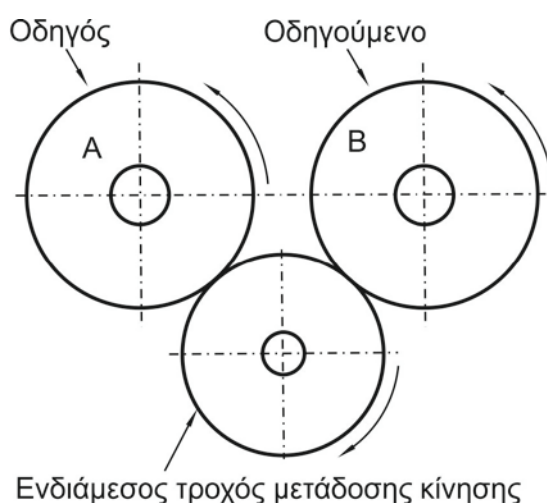
Το τελευταίο είναι εξαιρετικής σημασίας αφού η όλη ιδέα του σχεδίου εγκοπών των γραναζιών είναι να διατηρηθεί συνεχής ταχύτητα. Ακόμη και με την πιο σύγχρονη τεχνολογία, η χρήση δίσκων τριβής γίνεται συνήθως εάν είναι επιτακτική η διατήρηση

τέλειας μεταφοράς ταχύτητας. Εάν επιθυμούμε την περιστροφή των δυο αξόνων με διαφορετικές ταχύτητες, αυτό επιτυγχάνεται με δυο δίσκους διαφορετικών διαμέτρων όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.



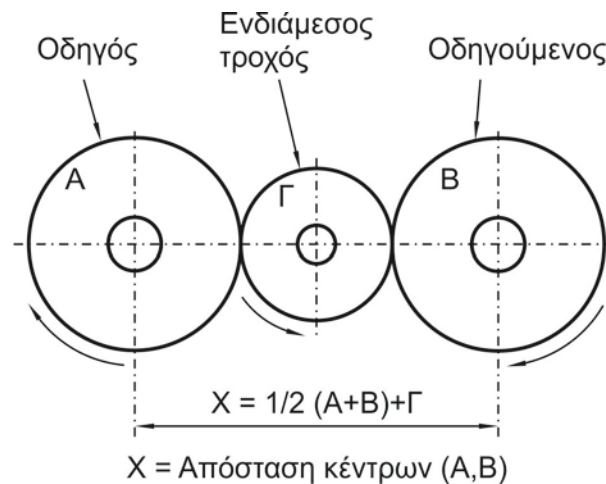
Σχήμα 1.2 : Περιστροφή αξόνων με διαφορετική ταχύτητα [  $X = \Phi^*(A) + \Phi^*(B)/2$  ]

Εάν ο δίσκος A είναι μικρότερος από το B τότε η περίμετρος του A θα είναι μικρότερη από εκείνη του B και επομένως μια ολόκληρη περιστροφή του άξονα A δεν θα δώσει πλήρη περιστροφή στον άξονα B. Συμπεραίνουμε ότι η πραγματική σχέση μετάδοσης ταχύτητας των δυο αξόνων είναι ανάλογη με την περιμετρική-περιφερική απόσταση των δίσκων. Αν η απόσταση γύρω από το δίσκο A είναι μιάμιση φορά της απόστασης γύρω από το B, τότε ο δίσκος A πρέπει να κάνει δυο πλήρεις περιστροφές για να γίνει μια πλήρης περιστροφή του B και ούτω καθεξής.



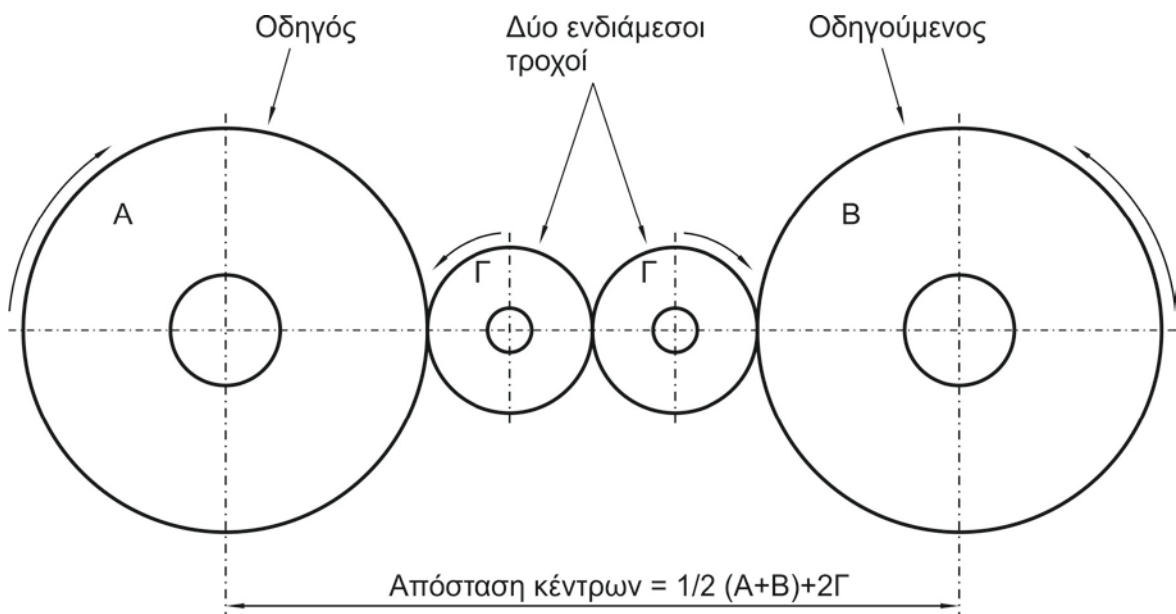
Σχήμα 1.3 : Η εισαγωγή ενός ενδιάμεσου τροχού επιτρέπει και στον οδηγό και στον οδηγούμενο να περιστρέφονται στην ίδια κατεύθυνση

Όταν υπολογίζονται οι περίμετροι των δίσκων στον τύπο χρησιμοποιείται η μαθηματική σταθερά  $\pi$  ( $\pi = 3.14159265$ ) που δεν είναι και ο πιο βολικός αριθμός, με αποτέλεσμα να έχει πολλά δεκαδικά και ο αριθμός των περιμέτρων. Ευτυχώς, το  $\pi$  υφίσταται και στους δυο δίσκους και επομένως εμφανίζεται και στις δυο πλευρές της εξίσωσης ταχύτητας, έτσι απλοποιούνται ώστε η ταχύτητα των δίσκων είναι ανάλογη της διαμέτρου των δίσκων. Εάν θέλουμε μείωση της ταχύτητας κατά  $1/3$ , τότε η διάμετρος του οδηγούμενου δίσκου B πρέπει να είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από την διάμετρο του οδηγού A. Σύμφωνα με το σχήμα 1.2 παρατηρείται ότι η απόσταση των κέντρων των δίσκων είναι ίση με τις ακτίνες τους (Απόσταση κέντρων =  $\frac{1}{2}$  (διάμετρος A + διάμετρος B)) και αυτή η εξίσωση ισχύει για κάθε ζευγάρι εφαιπτόμενων δίσκων.



Σχήμα 1.4 : Απόσταση κέντρων

Όταν χρησιμοποιούμε δυο δίσκους άνισων διαμέτρων τότε ο μικρός δίσκος αναφέρεται ως «οδηγός», ενώ ο μεγαλύτερος δίσκος λέγεται «οδηγούμενος». Μέχρι εδώ έχει παρουσιαστεί διάταξη με δυο εφαιπτόμενους δίσκους, αλλά μπορεί να υπάρχουν και διατάξεις με περισσότερους, όπου αυτό λέγεται ακολουθία. Σε περίπτωση όπου οι άξονες A και B περιστρέφονται προς την ίδια κατεύθυνση τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα ζευγάρι δίσκων. Αυτό ισχύει αν ένας 3<sup>ος</sup> δίσκος εισάγεται στην ακολουθία, ο οποίος λειτουργεί για να διατηρήσει την ίδια κατεύθυνση περιστροφής.

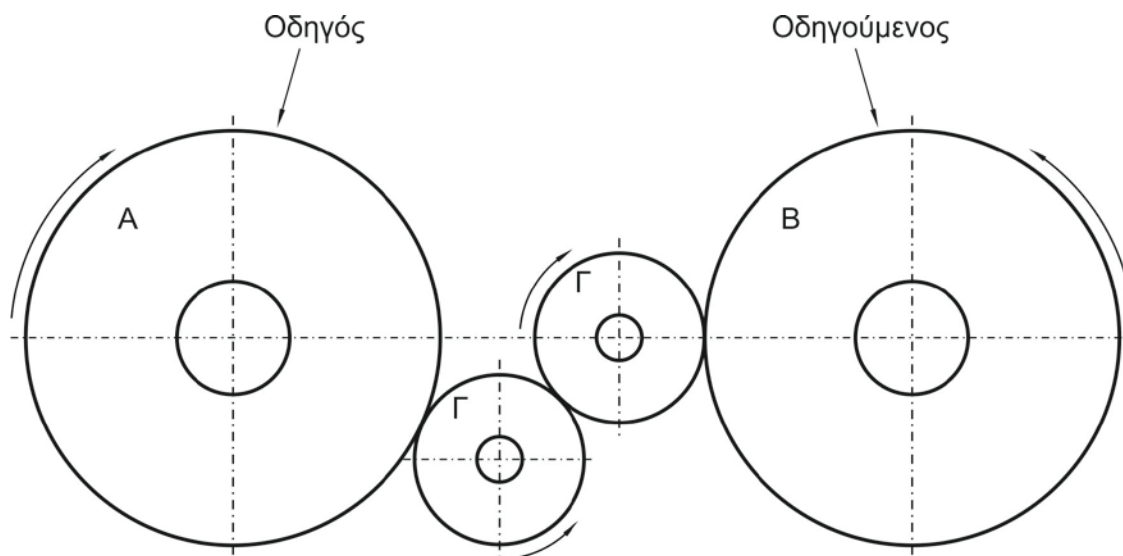


Σχήμα 1.5 : Οι δύο ενδιάμεσοι χρησιμοποιούνται ως αποστάτες ανάμεσα στον οδηγό και στον οδηγούμενο και τους περιστρέφει σε αντίθετη κατεύθυνση

Ο 3<sup>ος</sup> δίσκος αποκαλείται «αδρανής» ή ενδιάμεσος (Σχήμα 1.3). Το μέγεθος και η θέση του αδρανούς δίσκου δεν σχετίζεται με την ταχύτητα ή συχνότητα ανάμεσα στους δυο αρχικούς δίσκους. Οι σχετικές ταχύτητες των A και B εξαρτώνται από τις αντίστοιχες διαμέτρους τους. Συνήθως, για λόγους σχεδιασμού, ο ενδιάμεσος δίσκος είναι μικρότερος από τους άλλους χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο. Μπορεί οι άξονες A και B να είναι μακριά για να επιτρέπουν δυο δίσκους επαρκούς διαμέτρου να λειτουργούν και έτσι ένας ενδιάμεσος δίσκος χρησιμοποιείται για να γεφυρώσει το χάσμα (Σχήμα 1.4). Το μέγεθος



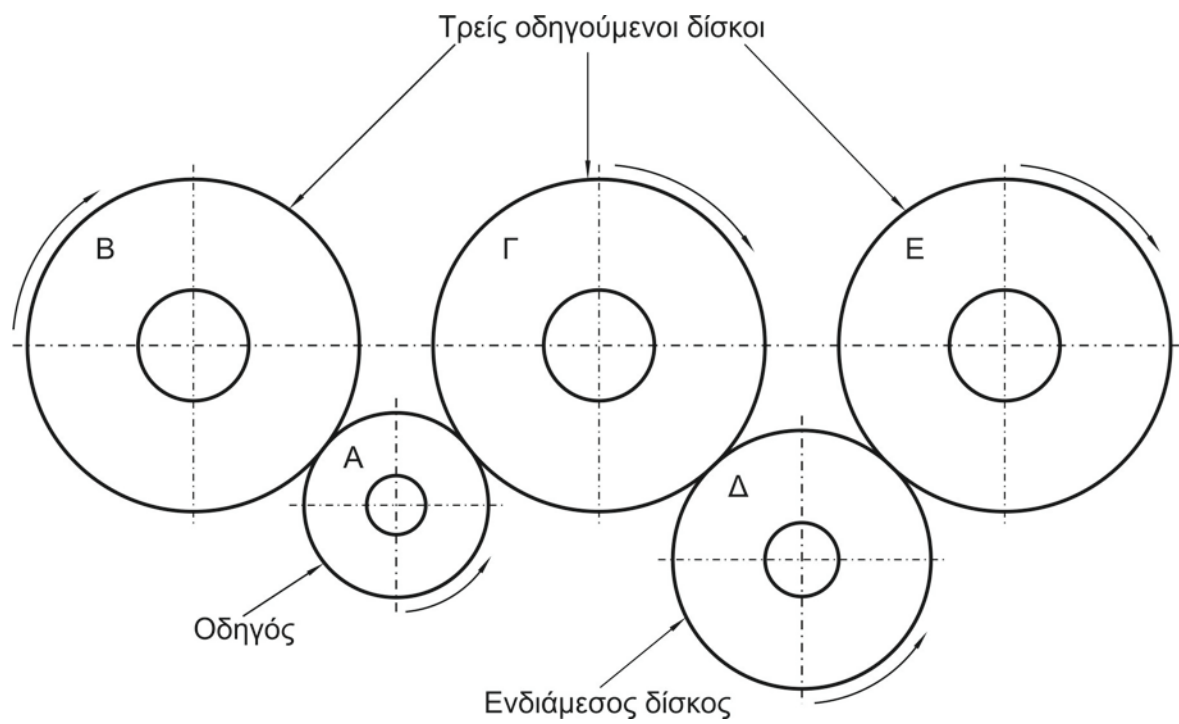
του ενδιάμεσου δίσκου δεν επηρεάζει την σχέση μετάδοσης αλλά αντιστρέφει την κατεύθυνση του οδηγούμενου B (Σχήμα 1.3 κ' 1.4). Αν χρειάζεται ο οδηγούμενος να περιστραφεί σε αντίθετη κατεύθυνση από τον οδηγό (Σχήμα 1.1 κ' 1.2) τότε ένας δεύτερος ενδιάμεσος δίσκος εισάγεται στην ακολουθία (Σχήμα 1.5). Οι ενδιάμεσοι αλλάζουν την κατεύθυνση του οδηγούμενου B, οι τέσσερις δίσκοι βρίσκονται σε ευθεία αλλά αν ο χώρος είναι περιορισμένος, τότε τα κέντρα των ενδιάμεσων δεν χρειάζεται να είναι σε ευθεία (Σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 : Τμηματικά οι ενδιάμεσοι δίσκοι Γ για μείωση των κέντρων των δίσκων A και B

Όποιος και αν είναι ο αριθμός των τροχών στην ακολουθία, μόνο οι διάμετροι των δίσκων A και B υπολογίζονται στον προσδιορισμό της ταχύτητας της ακολουθίας. Η ταχύτητα των ενδιάμεσων εξαρτάται από τις διαμέτρους τους, οι οποίοι δεν επηρεάζουν την τελική ταχύτητα του δίσκου B. Υπάρχουν πολλές συνθέσεις κατά τις οποίες μπορούν να δημιουργήσουν μια ακολουθία, όμως μόνο οι οδηγοί και οδηγούμενοι δίσκοι μας ενδιαφέρουν. Στο σχήμα 1.7 έχουμε τρεις ίσης διαμέτρου οδηγούμενους τροχούς B, Γ και E όπου θέλουμε να βρίσκονται σε ευθεία γραμμή. Ο κινητήριος είναι ο οδηγός τροχός A που έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στους B και Γ και τους οδηγεί ταυτόχρονα. Συνεπώς, και ο B και Γ περιστρέφονται με την ίδια φορά. Ο 3<sup>ος</sup> οδηγούμενος δίσκος E κινείται με τη βοήθεια ενός αδρανούς τροχού Δ ο οποίος εξυπηρετεί διπλό σκοπό γεφυρώνοντας το κενό των Γ και E και αλλάζοντας την κατεύθυνση ώστε να διασφαλίσει ότι ο E περιστρέφεται με την ίδια φορά όπως οι B και Γ.

Αυτή η διάταξη θα μπορούσε να γενικευτεί ώστε να διευρύνει το πεδίο των οδηγούμενων τροχών, όπως στην περίπτωση των ραουλοδρόμων, αλλά σε κάθε περίπτωση η ταχύτητα κάθε οδηγούμενου δίσκου θα καθοριστεί από την διάμετρο του οδηγούμενου και του οδηγού. Ως τώρα έχουμε δει περιστρεφόμενους δίσκους, όχι γρανάζια, γεγονός που βοηθά στον σχεδιασμό και την σύνταξη των δίσκων ή της ακολουθίας.



Σχήμα 1.7 : Σύστημα μετάδοσης παρουσιάζει έναν οδηγό, τρεις οδηγούμενους και έναν ενδιάμεσο τροχό

## 2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ

Πριν να ξεκινήσει το κόψιμο των γραναζιών, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί το γρανάζι και κατόπιν να ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί. Πιο κάτω θα οριστεί συλλογικά η ορολογία και θα δοθεί επίσης μια λίστα με τις εξισώσεις που μπορεί να χρειαστούν για να δημιουργηθεί μια ακολουθία με επιτυχία. Αν όλες οι πληροφορίες συγκεντρωθούν μαζί τότε μπορεί να υπάρξει οικονομία χρόνου αφού δεν θα χρειαστεί να ξανακοιτάξει κανείς το κυρίως μέρος του κειμένου ψάχνοντας οτιδήποτε χρειάζεται για να φτάσει σε συγκεκριμένο μέγεθος.

### 2.1 Κυλιόμενος κύκλος

Οι κυλιόμενοι κύκλοι ενός ζευγαριού γραναζιών είναι εκείνοι οι ομοαξονικοί κύκλοι με τα δόντια και τα ρουλεμάν των γραναζιών τα οποία είναι σε περιφερική επαφή τα οποία θα ρολάρουν μαζί χωρίς ολισθήσεις. Οι κυλιόμενοι κύκλοι είναι φανταστικοί ομαλοί κύλινδροι ή δίσκοι τριβής. Ο κυλιόμενος κύκλος είναι πολύ σημαντικός δεδομένου ότι θα αντιπροσωπεύσει το πραγματικό γρανάζι στο στάδιο σχεδιασμού διάταξης.

### 2.2 Διάμετρος βήματος

Η διάμετρος βήματος ενός γραναζιού είναι η διάμετρος ενός κυλιόμενου κύκλου.

### 2.3 Διάμετρος κύκλου ποδός

Η διάμετρος κύκλου ποδός στο γρανάζι είναι η διάμετρος στο κατώτατο σημείο του χώρου στο δόντι. Η διάμετρος κύκλου ποδός συνήθως δεν χρησιμοποιείται στη παραγωγή του γραναζιού αφού η διάμετρος που απαιτείται στο εργαστήριο είναι το συνολικό βάθος κοπής, που το βλέπουμε συνήθως στους εμπορικούς κόπτες γραναζιού ως  $D+f$ . Αν αυτό εφαρμοστεί από την σωστή εξωτερική διάμετρο του προς κατεργασία γραναζιού, τότε η σωστή διάμετρος κύκλου ποδός θα παραχθεί αυτομάτως.

### 2.4 Κυκλικό βήμα

Το κυκλικό βήμα είναι η απόσταση από ένα σημείο πάνω σε κάποιο δόντι σε ένα αντίστοιχο σημείο στο επόμενο δόντι. Μετράται επάνω στη διάμετρο του κυλιόμενου κύκλου και δεν είναι παρά μια ευθεία ανάμεσα σε 2 σημεία.

### 2.5 Διαμετρικό βήμα

Το διαμετρικό βήμα (σχεδόν πάντα αναφέρεται ως DP) είναι ο αριθμός των δοντιών ανά ίντσα της διαμέτρου του βήματος. Αν ένα γρανάζι έχει 40 δόντια και η διάμετρος του κυλιόμενου κύκλου είναι 2 ίντσες τότε τα δόντια είναι  $20DP$ .

### 2.6 Μετρικό βήμα

Το μετρικό βήμα του γραναζιού είναι αντίστοιχο του DP αλλά η διάμετρος του κυλιόμενου κύκλου εκφράζεται σε χιλιοστά αντί για ίντσες. Το μετρικό βήμα είναι επομένως το DP σε χιλιοστά διαιρεμένο με τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού.

### 2.7 Πάχος δοντιού στην γραμμή βήματος

Το πάχος του δοντιού στην γραμμή βήματος είναι το μήκος του τόξου πάνω στην γραμμή βήματος ανάμεσα σε αντίθετες όψεις του ίδιου δοντιού.

## **2.8 Πάχος χορδής**

Το πάχος χορδής ενός δοντιού είναι το μήκος της εγγεγραμμένης χορδής του κυκλικού τόξου του πάχους δοντιού. Είναι η ευθεία γραμμή ανάμεσα σε δυο ίδια σημεία που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό του πάχους του δοντιού.

## **2.9 Διάκενο**

Το διάκενο είναι η απόσταση μεταξύ της κορυφής του δοντιού και του κατώτατου σημείου της σύζευξης του δοντιού. Το διάκενο είναι ενσωματωμένο για να αποτρέπει την επαφή με την κορυφή και το κατώτατο σημείο των συνδεδεμένων δοντιών και συμβολίζεται συνήθως με το σύμβολο  $f$ .

## **2.10 Κύκλος βάσης**

Ο κύκλος βάσης συναντάτε μονάχα στα δόντια μορφής με εξελιγμένη παρειά και είναι η διάμετρος του κύκλου όπου παράγεται η εξελιγμένη παρειά που καθορίζει το προφίλ του δοντιού.

## **2.11 Γραμμή δράσης**

Η γραμμή δράσης ενός γραναζιού με εξελιγμένη παρειά είναι η κοινή εφαπτόμενη των δυο κύκλων βάσης που διέρχονται από το αρχικό σημείο ενός ζευγαριού γραναζιών σύνδεσης.

## **2.12 Γραμμή επαφής**

Η γραμμή επαφής ενός γραναζιού με εξελιγμένη παρειά είναι η σχέση μετάδοσης της ευθείας δράσης στην οποία το δόντι επαφής λαμβάνει χώρα.

## **2.13 Γωνία ελίκωσης**

Η γωνία ελίκωσης ενός γραναζιού με εξελιγμένη παρειά είναι η οξεία γωνία που βρίσκεται ανάμεσα στην γραμμή δράσης και στην κοινή εφαπτόμενη των δυο κυλιόμενων κύκλων που διέρχονται μέσα από το αρχικό σημείο.

## **2.14 Τόξο προσέγγισης**

Το τόξο προσέγγισης ενός κυκλοειδούς γραναζιού είναι εκείνο το σημείο του παραγωγικού κύκλου το οποίο κινείται μέσα στο δόντι από τη στιγμή που βρίσκεται σε επαφή με το δόντι σύνδεσης μέχρι να έρθει σε επαφή με την γραμμή που διέρχεται ανάμεσα από τα κέντρα του γραναζιού.

## **2.15 Τόξο εσοχής**

Το τόξο εσοχής ενός κυκλοειδούς γραναζιού είναι το τόξο του παραγωγικού κύκλου μέσα από το οποίο το δόντι κινείται από τη στιγμή που έρχεται σε επαφή με το δόντι σύνδεσης πάνω στη ευθεία που διέρχεται ανάμεσα από τα κέντρα του γραναζιού μέχρι την ύφεση της επαφής με το δόντι σύνδεσης.

## **2.16 Θεωρητικές εξισώσεις ή τύποι για αναλογίες γραναζιών και δοντιών**

|     |   |
|-----|---|
| PCD | = Διάμετρος αρχικής περιφέρειας ( $d_p$ ) |
| PD  | = Διαμετρικό βήμα κύκλου σε ίντσες        |
| PDM | = Διαμετρικό βήμα κύκλου σε χιλιοστά      |
| CP  | = Κυκλικό βήμα                            |
| DP  | = Διαμετρικό βήμα                         |
| DPM | = Μετρικό βήμα                            |

N = Αριθμός δοντιών γραναζιού  
 OD = Εξωτερική διάμετρος γραναζιού  
 T = Πάχος δοντιού στην γραμμή βήματος  
 CT = Πάχος χορδής  
 f = Διάκενο  
 D+ = Ολικό βάθος δοντιού

$$\text{Απόσταση μεταξύ κέντρων δυο γραναζιών} = \frac{PD_1 + PD_2}{2}$$

$$\text{Άθροισμα διαμετρικών βημάτων δυο συνεργαζομένων γραναζιών} = 2 * \frac{PD_1 + PD_2}{2}$$

$$CP = \frac{PD * \pi}{N} \rightarrow \frac{\pi}{DP} \rightarrow \frac{OD * \pi}{N + 2} \rightarrow 2 * T$$

$$DP = \frac{N}{PD} \rightarrow \frac{N + 2}{OD} \rightarrow \frac{\pi}{CP} \rightarrow \frac{25.4}{M} \rightarrow \frac{\pi}{2 * T}$$

$$M = \frac{PDM}{N} \rightarrow \frac{25.4}{DP}$$

$$PD = \frac{N}{DP} \rightarrow \frac{N * CP}{\pi} \rightarrow \frac{OD * N}{N + 2}$$

$$OD = \frac{N + 2}{DP} \rightarrow \frac{CP(N + 2)}{\pi}$$

$$T = \frac{CP}{2} \rightarrow \frac{\pi}{2 * DP}$$

$$CT = PD * \sin\left(\frac{90}{\pi}\right)$$

$$f = \frac{T}{10}$$

$$D + f = \frac{2.157}{DP} \rightarrow 0.6866 * CP$$

Οι παραπάνω τύποι μπορεί να φαίνονται δύσκολοι αλλά θα ακολουθήσουν μερικά παραδείγματα και τότε θα γίνουν κατανοητοί. Οι αρχές που εμπλέκονται μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το ακόλουθο παράδειγμα βήμα-προς-βήμα, θα δούμε υποθετικά ένα τυπικό πρόβλημα. Ας υποθέσουμε ότι είναι απαραίτητο να παράγουμε ένα ζεύγος γραναζιών για να μειώσουμε την ταχύτητα εισόδου ενός άξονα με 700 στροφές/λεπτό σε ταχύτητα εξόδου ενός άλλου άξονα σε 200 στροφές/λεπτό και ότι ο μεγαλύτερος διαθέσιμος χώρος για τα γρανάζια είναι 6 x 4 ίντσες. Το πρώτο βήμα είναι να βρεθεί η απαιτούμενη σχέση μετάδοσης γραναζιού, και από τη στιγμή που οι 700 στροφές/λεπτό μειώνονται σε 200 στροφές/λεπτό η απαιτούμενη σχέση μετάδοσης πρέπει να είναι 700/200 ή 3½ :1. Αυτό σημαίνει ότι η διάμετρος του κυλιόμενου κύκλου του μεγαλύτερου γραναζιού πρέπει να είναι 3½ φορές μεγαλύτερη από την διάμετρο του κυλιόμενου κύκλου του μικρότερου γραναζιού. Αν και θεωρητικά, οδοντωτοί τροχοί με μικρό αριθμό δοντιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν, πρακτικά υπάρχει ένα όριο, ότι με περιορισμένο αριθμό δοντιών αυτά παραμορφώνονται και αποδυναμώνονται. Υπάρχει επίσης πρόβλημα

επαρκούς υλικού για να επιτρέψει την παραγωγή μιας επαρκούς οπής που χρειάζεται να ασφαλίσει ο οδοντωτός τροχός στον άξονα του. Σε γενικές γραμμές τα 16 δόντια μπορεί να θεωρηθούν ως μικρός αριθμός για γρανάζι, συνήθως προτιμάται να είναι 20 δόντια. Αν στο παράδειγμα μας ένας 20 δοντιών οδοντωτός τροχός έχει επιλεγεί τότε ο τροχός σύνδεσης πρέπει να έχει  $20 \times 3 \frac{1}{2} = 70$  δόντια. Πρέπει λοιπόν να τοποθετήσουμε ένα 20 και ένα 70 δοντιών γρανάζι σε χώρο όχι μεγαλύτερο από  $6 \times 4$  ίντσες και έτσι τα δυο γρανάζια, όταν περιστρέφονται μαζί σε ζεύξη, δεν πρέπει να έχουν περισσότερες από 6 ίντσες μήκος και 4 πλάτος. Αυτό σημαίνει ότι οι δυο κυλιόμενοι κύκλοι όταν προστίθενται μαζί πρέπει να είναι λιγότερο από 6 ίντσες γιατί οι εξωτερικές διαμέτροι των γραναζιών είναι μεγαλύτεροι από τις αντίστοιχες διαμέτρους κύκλων αναφοράς τους. Για να καθοριστεί το μεγαλύτερο μέγεθος του δοντιού που μπορεί να τοποθετηθεί στον επιτρεπόμενο χώρο τα δυο οδοντωτά γρανάζια πρέπει να μπουν μαζί και να θεωρηθεί πια ένα γρανάζι 90 δοντιών. Αυτή η αρχή είναι ορθή για οποιοδήποτε αριθμό γραναζιών των οποίων τα κέντρα ευθυγραμμίζονται.

Για παράδειγμα σε μια ακολουθία γραναζιών με 20, 25, 22 και 23 δόντια θα έχουν συνολικά το ίδιο μήκος όπως ένα γρανάζι 90 δοντιών. Αναφερόμενοι στον τύπο βλέπουμε ότι  $OD = N + \frac{2}{DP}$ . Επομένως, προσαρμόζοντας τους αριθμούς μας σε αυτή την εξίσωση, μπορούμε να καθορίσουμε το ανώτατο DP που μπορεί να τοποθετηθεί στον επιτρεπόμενο χώρο, δηλαδή:  $6 = \frac{90 + 2}{DP}$  ή  $DP = \frac{92}{6}$  το οποίο είναι 15:3. Το πιο κοντινό δεδομένο DP που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι 16, το οποίο σημαίνει ότι το ανώτατο μέγεθος του γραναζιού που μπορεί να δοθεί είναι 6 ίντσες μήκος, με περιορισμό να είναι 16 DP. Φυσικά, οποιοδήποτε μικρότερο μέγεθος δοντιού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κι αυτό θα οδηγούσε σε μικρότερα γρανάζια. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση και πάλι η εξωτερική διάμετρος του γραναζιού με 70 δόντια και 16 DP μπορούν να υπολογιστούν:  $OD = \frac{70 + 2}{16}$  το οποίο είναι 4  $\frac{1}{2}$  ίντσες.

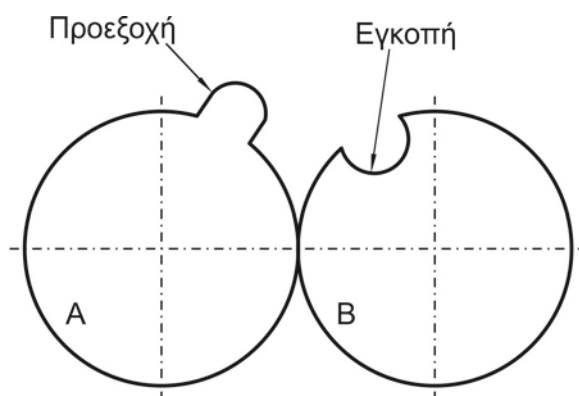
Αυτό είναι μεγαλύτερο από τον περιορισμό του πλάτους των 4 ιντσών ενώ το μήκος είναι στις 6 ίντσες που είναι μέσα στο όριο του περιορισμού. Χρησιμοποιώντας τον ίδιο τύπο και πάλι το ανώτατο μέγεθος του δοντιού για το 70 δοντιών γρανάζι μπορεί να βρεθεί  $4 = \frac{72}{DP}$  = 18 DP. Αυτό θα δεσμεύει ολοκληρωτικά το χώρο των 4 ιντσών αλλά θα ήταν ένα πλεονέκτημα να υπάρχει λειτουργία στα 20 DP όπου πρακτικά φαίνεται να είναι το μεγαλύτερο μέγεθος δοντιού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μπορούμε τώρα να χουμε κάποιους καθορισμένους αριθμούς για τα δυο γρανάζια. Ο οδοντωτός τροχός θα ήταν 20 δοντιών με 20 DP. Από τη λίστα των τύπων βλέπουμε ότι το  $PD = \frac{N}{DP}$  σε αυτή την περίπτωση 20/20, δίνοντας διάμετρο κυλιόμενου κύκλου μιας ίντσας. Εφαρμόζοντας το ανωτέρω στο 70 δοντιών τροχό παίρνουμε 70 δόντια, 20 DP,  $d_p = 3,5$  ίντσες και  $OD = 3,6$  ίντσες. Η κεντρική απόσταση των δυο γραναζιών μπορεί να βρεθεί προσθέτοντας μαζί τις

διαμέτρους των κυλιόμενων κύκλων και διαιρώντας με δυο, επομένως  $\frac{3.5 + 1}{2} = \frac{4 \frac{1}{2}}{2}$

δηλαδή 2  $\frac{1}{4}$  ίντσες. Το συνολικό μήκος των δυο γραναζιών σε σύνδεση θα δώσει 4,6 ίντσες, με αρχικό επιτρεπόμενο μήκος 6 ίντσες, αλλά όπως αποδείχθηκε παραπάνω, ο περιοριστικός παράγων ήταν το καθορισμένο πλάτος και όχι το μήκος. Στη μηχανολογία, συμπεριλαμβανομένου και τις εργασίας στο σπίτι, όχι μόνο τα γρανάζια αλλά και τα αποτελούμενα υλικά δεν είναι ιδιαίτερα υψηλής αντοχής επομένως αν ο σχεδιαστής ή κατασκευαστής έχει υψηλό αίσθημα της αναλογίας και εφαρμόζει το παλιό γνωμικό «αν δείχνει σωστό τότε πιθανότατα θα είναι εντάξει», τότε στην πλειοψηφία των περιπτώσεων θα υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

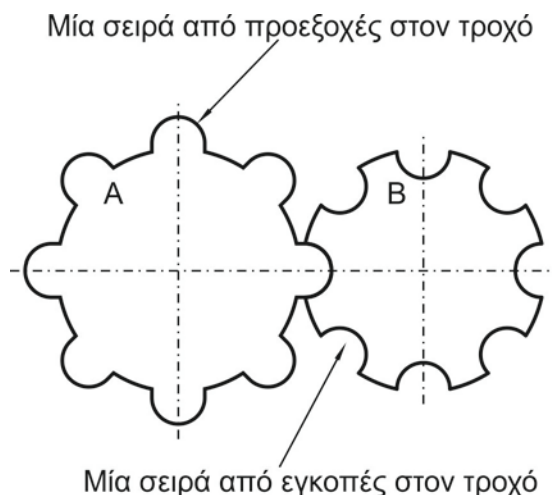
### 3. ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΝΤΙΟΥ

Στο πρώτο κεφάλαιο ασχοληθήκαμε με δίσκους που περιστρέφονται μέσω δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Αν αναφερθούμε στο σχήμα 1.1 μπορούμε να δούμε ότι ο οδηγούμενος τροχός B αντιστέκεται στην κίνηση του οδηγού τροχού, αυτή η αντίσταση είναι συνδυασμός δυνάμεων τριβής και του φορτίου εργασίας που επιθυμούμε να έχει ο οδηγούμενος τροχός. Όσο η αντίσταση της κίνησης γίνεται μεγαλύτερη από τη τριβή ανάμεσα στις επιφάνειες των δυο δίσκων, θα υπάρξει ολίσθηση και η περιστροφή θα αποτύχει. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό προστίθενται προεξοχές και εγκοπές στους δίσκους, οι οποίοι διασφαλίζουν μια αποτελεσματική σύνδεση ανάμεσα στα εξαρτήματα χωρίς να έχουμε απώλεια κίνησης. Οι δίσκοι που προκύπτουν αναφέρονται ως οδοντωτά γρανάζια ή οδοντωτοί τροχοί. Παρόλα αυτά, η λύση σε ένα πρόβλημα πολύ συχνά επιφέρει περαιτέρω προβλήματα και η τοποθέτηση οδόντων στους δίσκους στο πρόβλημα μας δεν αποτελεί εξαίρεση.



Σχήμα 3.1 : Προεξοχή και εγκοπή

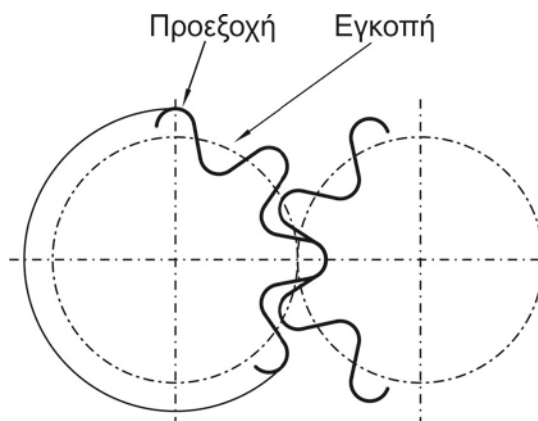
Αναφερόμενοι στο σχήμα 3.1 βλέπουμε ότι μια προεξοχή έχει προστεθεί στον τροχό A, οπότε, όταν ο τροχός περιστρέφεται μια ράβδωση ή εγκοπή πρέπει να υπάρχει στον τροχό B, ειδάλλως οι δυο τροχοί θα πάθουν εμπλοκή (φρακάρουν) μεταξύ τους και η κίνηση θα μειωθεί ή θα σταματήσει.



Σχήμα 3.2 : Σειρά προεξοχών και εγκοπών

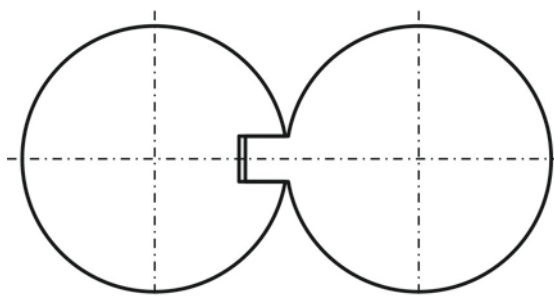
Όταν η προεξοχή εισάγεται στην εγκοπή, θα λειτουργήσει ως οδηγός και δεν θα υπάρξει ολίσθηση. Μετά όμως την απεμπλοκή της προεξοχής από την εγκοπή, θα έχουμε ολίσθηση. Είναι προφανές επομένως ότι αυτό που χρειάζεται είναι μια σειρά από

προεξοχές και εγκοπές περιμετρικά, έτσι ώστε κάθε στιγμή γύρω από τον τροχό να υπάρχει εισαγωγή της προεξοχής σε εγκοπή. Αυτή η διάρθρωση φαίνεται στο σχήμα 3.2. Μπορούμε να δούμε ότι οι δυο τροχοί είναι τώρα ανόμοιοι, ο ένας δίσκος έχοντας προεξοχές γύρω του ενώ ο άλλος δίσκος έχει εγκοπές.



Σχήμα 3.3 : Μια αυλάκωση και μία προβολή έχουν γίνει ένα δόντι

Διακρίνουμε κενά ανάμεσα σε κάθε προεξοχή και εγκοπή τα οποία είναι η επιφάνεια του αυθεντικού δίσκου, αυτά τα κενά μπορούν να χρησιμοποιηθούν εισάγοντας μια πρόσθετη σειρά από εγκοπές και προεξοχές, αλλά στην περίπτωση της δεύτερης διάρθρωσης οι προεξοχές είναι τοποθετημένες ανάμεσα στις εγκοπές στον τροχό B, και οι εγκοπές είναι τοποθετημένες ανάμεσα στις προεξοχές στον τροχό A, η σύνθεση είναι ότι κάθε προεξοχή ακολουθείται από μια εγκοπή και κάθε εγκοπή ακολουθείται από μια προεξοχή. Κάθε συνδυασμός εγκοπής και προεξοχής αναφέρεται ως «δόντι» (Σχήμα 3.3). Στη διάρθρωση των οδόντων δεν είναι εμφανής η διάμετρος του αυθεντικού δίσκου κι όμως έχει αποτελέσει τη βάση για όλες τις εκκινήσεις και τους υπολογισμούς μας. Αυτή είναι μια παράξενη εκδοχή των γραναζιών, το επίπεδο αναφοράς είναι η PCD (Διάμετρος αρχικής περιφέρειας) και όμως αυτή η διάμετρος δεν υπάρχει στο τελικό είδος.

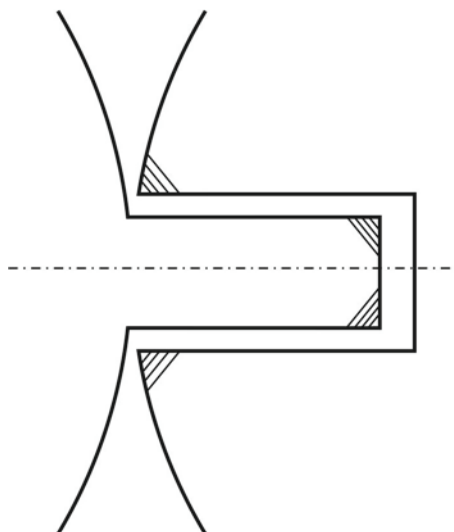


Σχήμα 3.4 : Ορθογώνια δόντια

Η PCD δεν μπορεί να ειπωθεί και δεν μπορεί να γίνει αισθητή, έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεσες μετρήσεις είτε από αυτή είτε σε αυτή, αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ένα γρανάζι είναι μια περιστρεφόμενη PCD. Κάθε δόντι αποτελείται από δυο μέρη, την προβολή ή προεξοχή πάνω από τη διάμετρο κύκλου αναφοράς και την εγκοπή ή ράβδωση κάτω από αυτή. Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι τα δόντια έχουν ορθογώνιο σχήμα (Σχήμα 3.4), αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να κλειδώνουν οι δυο τροχοί, επομένως δεν θα ήταν εφικτή η περιστροφή. Η περιστροφή μπορεί να γίνει δυνατή αν είχε δημιουργηθεί ένα ενεργό διάκενο γύρω από το δόντι, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, αλλά και πάλι δεν είναι αυτό που θέλουμε. Οι γωνίες του δοντιού και οι γωνίες των εγκοπών με τη σειρά τους θα είχαν έντονη τριβή στην πλευρά της εγκοπής και του δοντιού κατά την περιστροφή. Το τελικό αποτέλεσμα θα ήταν ότι η υπερβολική τριβή που θα δημιουργούσε



θα είχε ραγδαία φθορά και γρήγορα θα οδηγούσε σε ολοκληρωτική αποτυχία των δοντιών-εγκοπών, επίσης ο θόρυβος που θα προκαλούσε αυτό το ζευγάρι των γραναζιών θα ήταν εκκωφαντικός και επώδυνος.



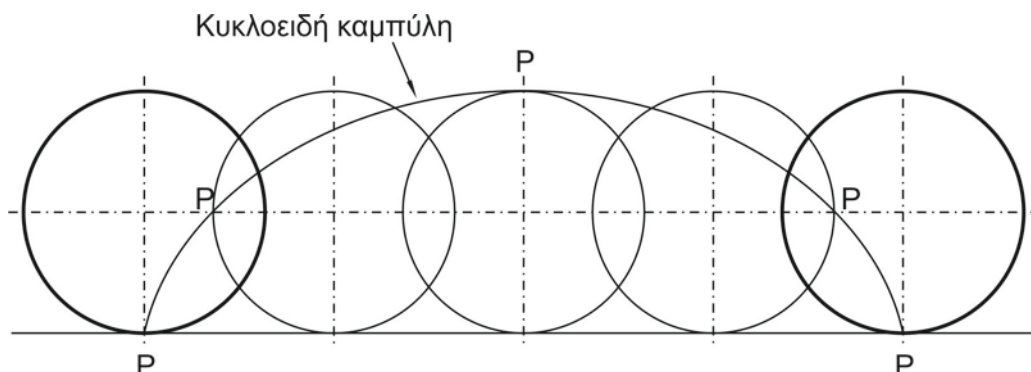
Σχήμα 3.5 : Μεγεθυμένη προβολή ορθογώνιου δοντιού με ενεργό διάκενο γύρω από το δόντι

Για να παραμείνει σταθερή η ταχύτητα που αποκτήθηκε από την περιστρεφόμενη διάμετρο του κύκλου αναφοράς, το σχήμα του οδοντωτού τροχού είναι πολύ σημαντικό. Ένα σχήμα που απλώς επιτρέπει την περιστροφή δεν είναι απαραίτητως αποδεκτό, πρέπει να έχει συγκεκριμένο σχήμα που να επιτρέπει στα γρανάζια να περιστρέφονται σαν να ήταν ακόμη δίσκοι. Υπάρχουν δυο γεωμετρικές καμπύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μας δώσουν τις συνθήκες που ζητάμε. Η μια καμπύλη αποκαλείται κυκλοειδής και η δεύτερη εξελιγμένης παρειάς. Στο παρελθόν οι τύποι γραναζιών με κυκλοειδείς καμπύλες έχαιραν ιδιαίτερης εύνοιας ενώ οι τύποι γραναζιών με καμπύλη εξελιγμένης παρειάς έμειναν στην άκρη. Σήμερα, όμως, η μηχανολογία ευνοεί τα γρανάζια εξελιγμένης παρειάς. Υπάρχουν λόγοι για αυτή την αλλαγή και ο κύριος λόγος είναι ότι η καμπύλη εξελιγμένης παρειάς μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί και επομένως είναι κατάλληλη για σύγχρονες μεθόδους παραγωγής. Επειδή το γρανάζι κυκλοειδούς καμπύλης δεν χρησιμοποιείται συχνά στην μηχανολογία, δε θα μπούμε σε πολλές λεπτομέρειες γιατί θα επικεντρωθούμε στο γρανάζι με προφίλ καμπύλης εξελιγμένης παρειάς.

### 3.1 Η κυκλοειδής καμπύλη

Ο ορισμός της κυκλοειδούς καμπύλης είναι η καμπύλη που περιγράφεται από ένα καθορισμένο σημείο στην περιφέρεια ενός κύκλου όταν ο κύκλος περιστρέφεται και είναι σε επαφή με μια ευθεία γραμμή. Αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητό στο [σχήμα 3.6](#). Σκεφτείτε τον κύκλο εδώ ως μια κινητήρια ρόδα και την ευθεία γραμμή ως τη διαδρομή μπροστά από τη ρόδα. Στη αρχική θέση το σημείο P της ρόδας εφάπτεται με την διαδρομή. Στην τελική θέση είναι και πάλι εφάπτομενο στην διαδρομή αλλά ο τροχός έχει διαγράψει μια ολόκληρη περιστροφή. Οι ενδιάμεσες θέσεις της ρόδας έχουν σχεδιαστεί για να δείξουν την πρόοδο από το σημείο. Η καμπύλη που προκύπτει περιγραφόμενη από το σημείο κατά τη διάρκεια μιας ολοκληρωμένης στροφής της ρόδας είναι η κυκλοειδής καμπύλη. Δεν είναι δύσκολο να σχεδιαστεί η καμπύλη και το [σχήμα 3.7](#) δείχνει πως αυτό μπορεί να γίνει. Ένας κύκλος είναι σχεδιασμένος στην γραμμή ο οποίος στη συνέχεια χωρίζεται σε οποιοδήποτε αριθμό μερών, 16 καταδεικνύονται στο παράδειγμα, αλλά όσο περισσότερες διαιρέσεις χρησιμοποιούνται τόσο ευκολότερο θα είναι να καταλήξουμε σε μια καλή καμπύλη. Έχει σημειωθεί μήκος ίσο προς την περιφέρεια του

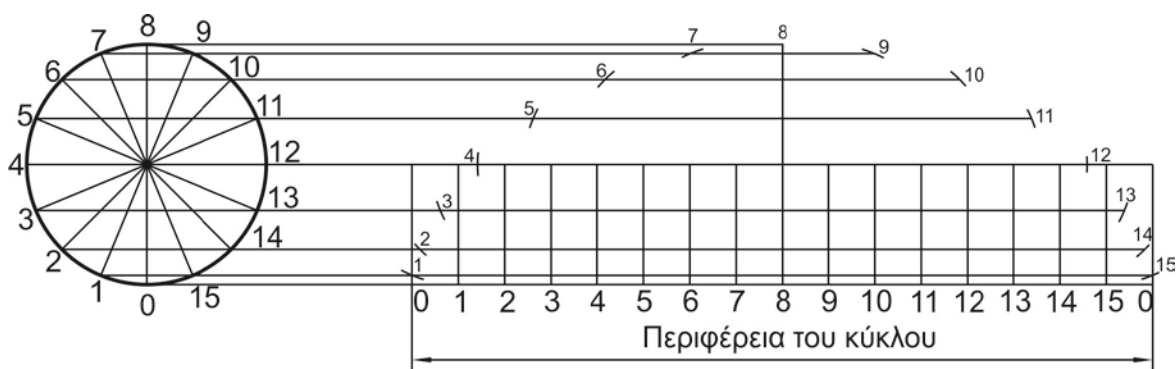
κύκλου πάνω στη βασική γραμμή και αυτή η γραμμή επίσης χωρίζεται στον ίδιο αριθμό τμημάτων όπως έχει επιλεγεί και για τον κύκλο. Αυτά τα τμήματα προβάλλονται προς τα πάνω, πάνω στον άξονα, και καθορίζουν έτσι τα κέντρα του κύκλου σε 16 διαφορετικά σημεία.



Σχήμα 3.6 : Παρουσίαση κυκλοειδής καμπύλης

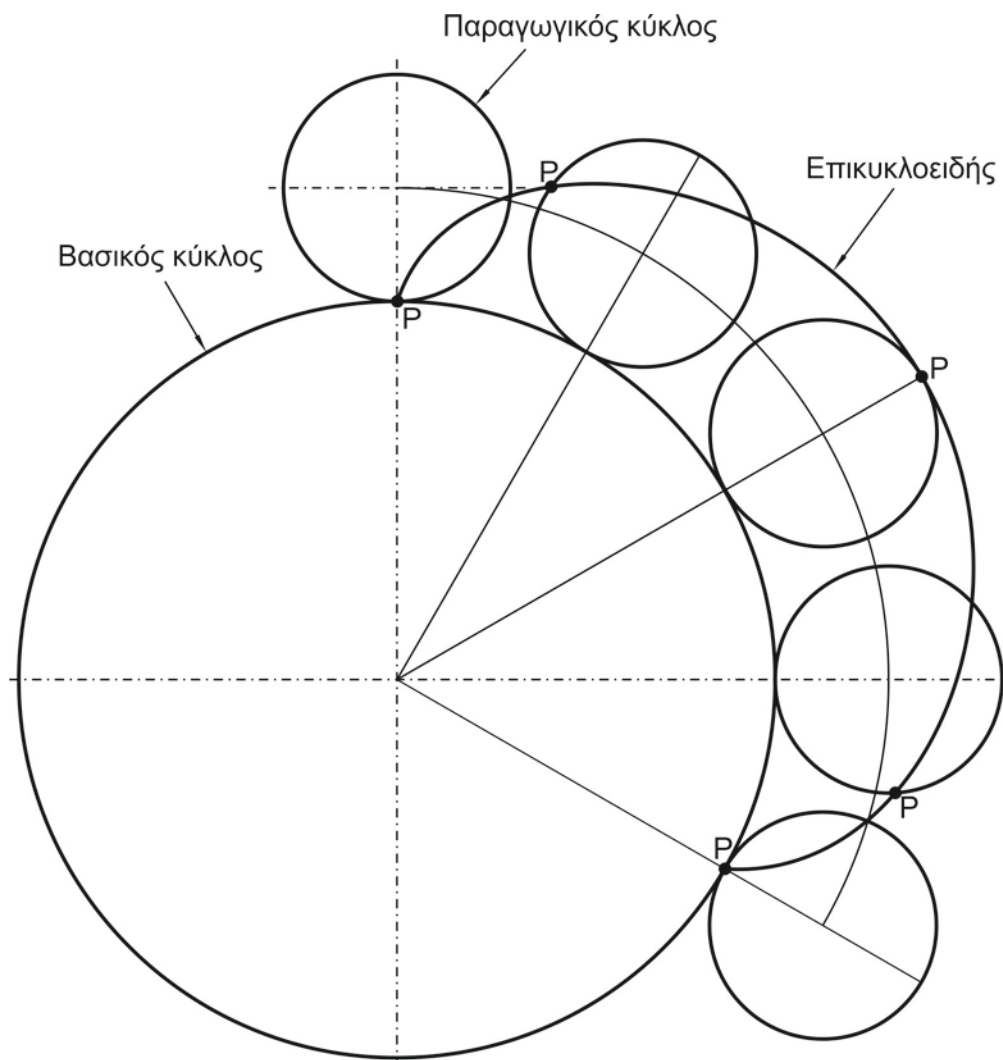
Σχεδιάζουμε οριζόντιες γραμμές από τα 16 σημεία γύρω από τον αρχικό κύκλο, όπου αυτές οι γραμμές δημιουργούν τομές στους αντίστοιχους κύκλους και καθορίζουν τα σημεία στην κυκλοειδή καμπύλη. Στο σχήμα 3.7 το σημείο 10 έχει επιλεγεί για να αναπαραστήσει την μέθοδο. Παρατηρείτε ότι δεν είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ολόκληρος ο κύκλος για να διαμορφωθεί το σημείο, ένα τόξο χρειάζεται που να διασταυρώνεται με την οριζόντια γραμμή. Τότε σχεδιάζεται μια ομαλή καμπύλη διαπερνώντας και τα 16 σημεία. Παρατηρείται ότι η καμπύλη είναι συμμετρική σε σχέση με την κάθετη κεντρική ευθεία. Αν, όμως, αντί της περιστροφής του κύκλου κατά μήκος της ευθείας γραμμής περιστρέφεται γύρω από την περιφέρεια ενός άλλου κύκλου, η καμπύλη που προκύπτει εντοπίζεται από το σημείο στον περιστρεφόμενο κύκλο και θα παράγει μια καμπύλη γνωστή ως επικυκλοειδής καμπύλη (Σχήμα 3.8).

Η κατασκευή αυτής της καμπύλης είναι παρόμοια με την κυκλοειδή εκτός από το ότι το μήκος της περιφέρειας του μετρείται γύρω από την περιφέρεια του βασικού κύκλου, και τα ενδιάμεσα σημεία που δημιουργήθηκαν από την διχοτόμηση είναι όπως και προηγουμένως. Μια άλλη διαφορά στην κατασκευή είναι ότι οι προβολές από το σημείο στον περιστρεφόμενο κύκλο δεν είναι ευθείες γραμμές αλλά τόξα που έχουν τραβηχτεί από το κέντρο του βασικού κύκλου και μπορούν να ταλαντευθούν με τη βοήθεια ενός ζευγαριού πυξίδων. Αυτή η επικυκλοειδής καμπύλη είναι σημαντική αφού ως αρχικό σημείο της καμπύλης είναι το ορθό σχήμα για το οδοντωτό γρανάζι έξω από τη διάμετρο κύκλου αναφοράς.



Σχήμα 3.7 : Σχεδιασμός κυκλοειδής καμπύλης

Προχωρώντας θα βρεθεί μια άλλη καμπύλη όπου αντί της περιστροφής του παραγωγικού κύκλου από έξω, μπορεί να κυλήσει από μέσα. Η κατασκευή της νέας καμπύλης είναι βασικά παρόμοια με την επικυκλοειδή (Σχήμα 3.9). Αυτή η νέα καμπύλη αποκαλείται υποκυκλοειδής και αντιπροσωπεύει το σχήμα του οδοντωτού γραναζιού κάτω από την διάμετρο κύκλου αναφοράς. Γίνεται κατανοητό ότι το σχήμα του οδοντωτού γραναζιού της κυκλοειδούς μορφής είναι ένας συνδυασμός από δυο ευδιάκριτες καμπύλες συνδεδεμένες στην PCD του γραναζιού.



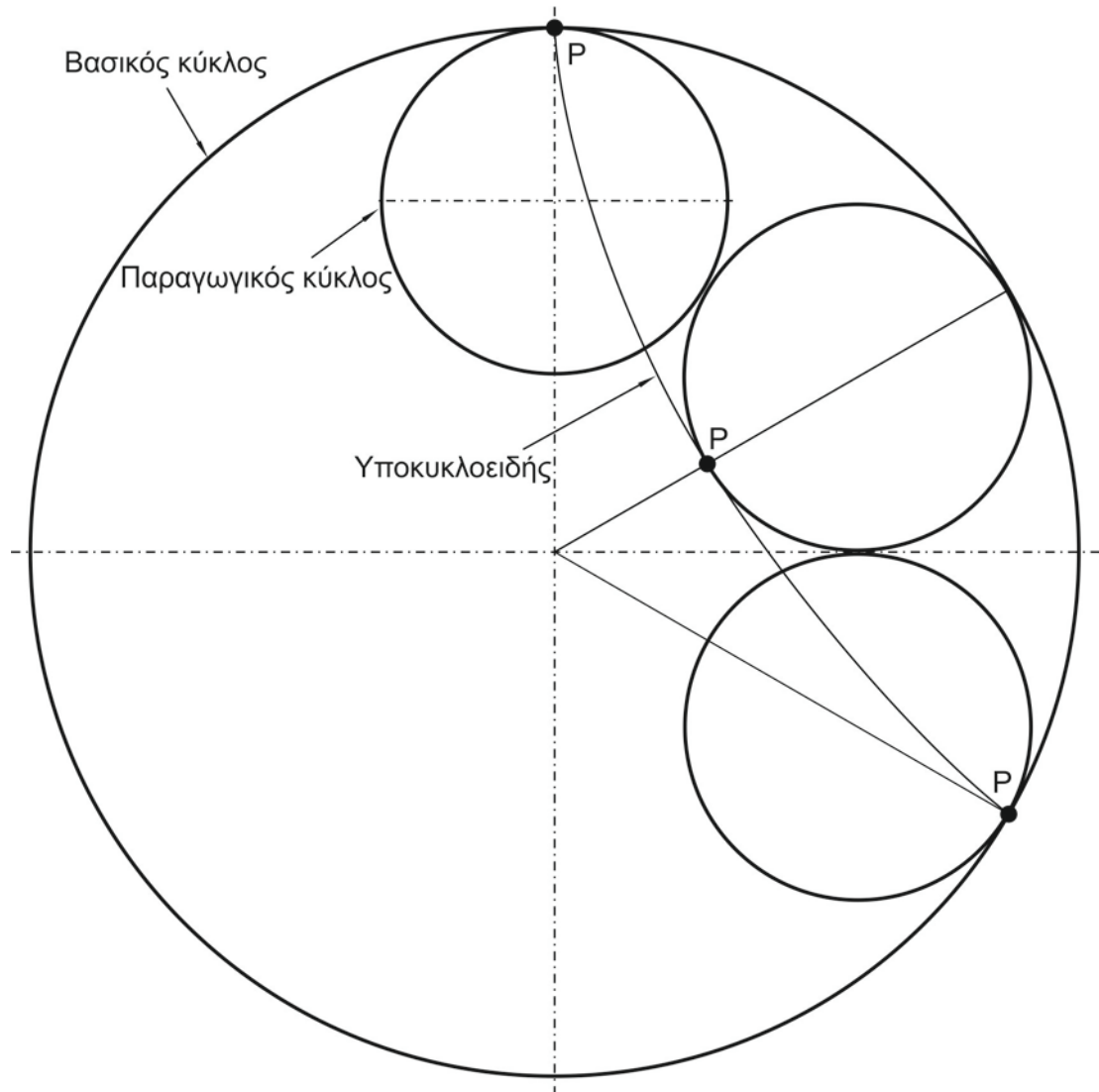
Σχήμα 3.8 : Επικυκλοειδής καμπύλη

Το σχήμα 3.10 δείχνει το σχήμα ενός τυπικού δοντιού. Δείχνει επίσης ότι η επιφάνεια πάνω από την PCD συνήθως αποκαλείται «πρόσωπο» ενώ η επιφάνεια κάτω από την PCD αναφέρεται ως «πλευρό». Ολόκληρο το δόντι πάνω από την PCD είναι το ύψος κεφαλής δοντιού ενώ όλο το δόντι κάτω από την PCD είναι το ύψος ποδιού δοντιού. Μελετώντας τον τρόπο με τον οποίο το δόντι σχηματίζεται και καθορίζεται είναι φανερό ότι το σχήμα του οδοντωτού γραναζιού σε οποιαδήποτε PCD μπορεί να επηρεαστεί από το μέγεθος του περιστρεφόμενου ή παραγωγικού κύκλου. Το μέγεθος του παραγωγικού κύκλου μπορεί να ποικίλει αλλά όχι σε οποιαδήποτε δυο γρανάζια που πρόκειται να εμπλακούν.

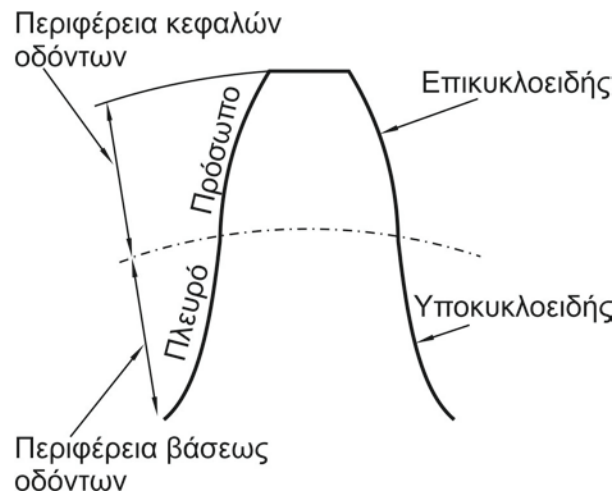
Όλα τα γρανάζια βασισμένα στον ίδιο περιστρεφόμενο ή παραγωγικό κύκλο θα λειτουργήσουν σωστά μαζί στην ίδια ακολουθία και θα διατηρήσουν σταθερή ταχύτητα, όμως τα γρανάζια έχοντας διαφορετικούς παραγωγικούς κύκλους δεν πρέπει να

χρησιμοποιούνται στην ίδια ακολουθία. Καθορίζοντας μια ακολουθία γραναζιών από την αρχή, πρέπει επίσης να καθοριστεί το μέγεθος του παραγωγικού κύκλου και συχνά το μέγεθος που επιλέγεται είναι το μισό της διαμέτρου του κύκλου αναφοράς του μικρότερου οδοντωτού τροχού. Αυτή η σχέση μετάδοσης είναι ενδιαφέρουσα επειδή η παραγόμενη υποκυκλοειδής καμπύλη από περιστρεφόμενο κύκλο του οποίου η διάμετρος είναι μίση από τη διάμετρο κύκλου αναφοράς είναι μια ευθεία γραμμή.

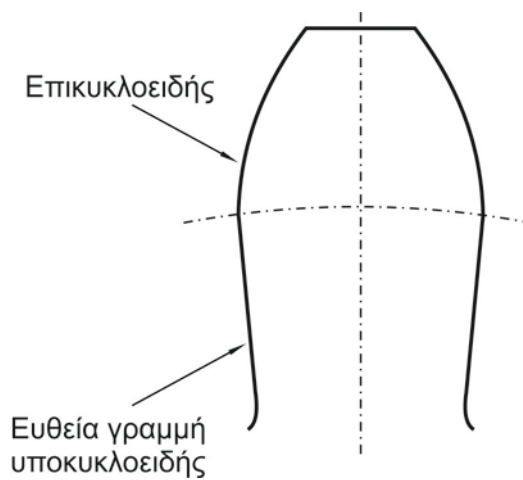
Είναι εύκολο να επαληθευτεί αυτό απλώς σχεδιάζοντας την ακολουθώντας τις οδηγίες που έχουν ήδη δοθεί. Αυτό σημαίνει, φυσικά, ότι τα πλευρά των οδόντων σε ένα τέτοιο γρανάζι πρέπει να είναι τοποθετημένα σε ευθεία και ακτινωτά, (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.9 : Υποκυκλοειδή καμπύλη

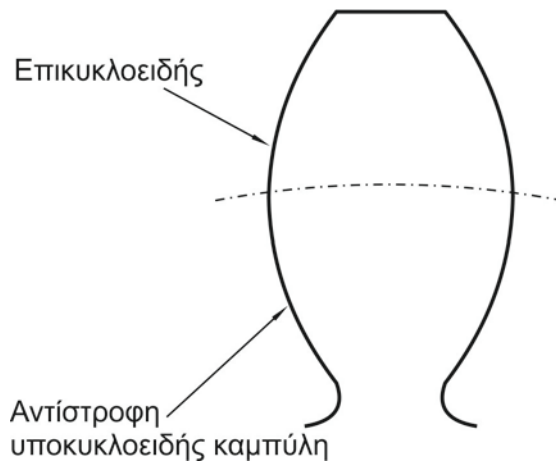


Σχήμα 3.10 : Τυπικό κυκλοειδές δόντι



Σχήμα 3.11 : Παρουσιάζετε το προφίλ δοντιού που χρησιμοποιεί έναν κύκλο παραγωγής που έχει τη μισή διάμετρο της PCD

Αν τα πλευρά είναι σε ευθείες γραμμές τα γρανάζια θα συνεχίσουν να περιστρέφονται σωστά μαζί και θα διατηρούν σταθερή ταχύτητα. Η ερώτηση είναι αν είναι δυνατό να αυξηθεί το μέγεθος του παραγωγικού κύκλου περισσότερο και ταυτόχρονα να παράγει ορθά διαμορφωμένα γρανάζια. Και η απάντηση είναι πως κάνοντάς το παράγεται ένα πλευρό με αντίθετη καμπύλη. Αυτό τεμαχίζει τη ρίζα του δοντιού και επομένως παράγει μια αδύναμη μορφή δοντιού. Αυτός ο τύπος γραναζιού χρησιμοποιείται μόνο για ελαφρά φορτία (Σχήμα 3.12).



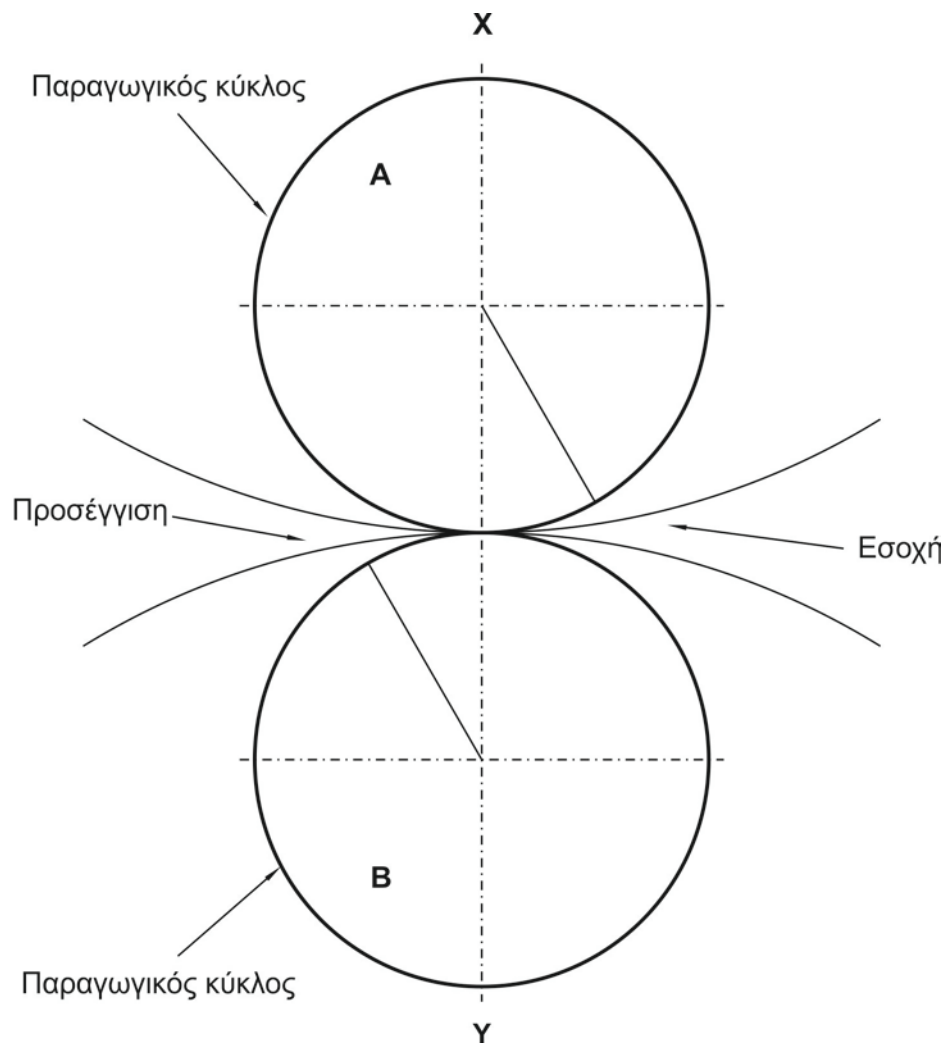
Σχήμα 3.12 : Παρουσιάζει την αντίδραση στο δόντι όταν η διάμετρος του κύκλου παραγωγής είναι μεγαλύτερη από το ήμισυ της PCD

Δεν υπάρχει ιδανική σχέση μετάδοσης ανάμεσα στη διάμετρο κύκλου αναφοράς και τον παραγωγικό κύκλο, ειδάλλως θα χρησιμοποιεί το ίδιο πάντοτε και θα ήταν δεδομένο. Ένας μηχανικός γραναζιών προτείνει ότι 2,22 φορές του κυκλικού οδοντωτού διάκενου είναι μια καλή βάση για να αρχίσουμε.

### 3.2 Επαφή οδόντων

Εάν το ένα γρανάζι πρέπει να περάσει την δύναμη του στο επόμενο τότε είναι προφανές ότι τα δόντια των γραναζιών πρέπει να έρθουν σε επαφή το ένα με το άλλο. Καθώς έγινε προηγουμένως αναφορά στο καθόλου πρακτικό ορθογώνιο οδοντωτό σχήμα αποδείχτηκε ότι μια μεγάλη ποσότητα τριβής προκλήθηκε από την τριβή μεταξύ των δοντιών. Η τριβή είναι ο κύριος εχθρός του μηχανικού αφού δεν είναι υπεύθυνη μόνο για την απώλεια δύναμης αλλά παράγει επίσης θερμότητα και προκαλεί ραγδαία φθορά. Τα γρανάζια δεν αποτελούν εξαίρεση και κάθε φορά πρέπει να γίνεται προσπάθεια για να μειωθεί η τριβή μεταξύ των εμπλεκόμενων οδόντων. Αυτός είναι ένας άλλος λόγος για τον οποίο το σχήμα του οδοντωτού γραναζιού είναι πολύ σημαντικό. Το ιδανικό θα ήταν κατά την εμπλοκή σε μια ακολουθία γραναζιών τα δόντια τους να μην τρίβονται μεταξύ τους αλλά να περιστρέφονται το ένα πάνω από το άλλο έχοντας μηδενική τριβή και αντίσταση.

Αν αποσυρθεί η αντίθετη κίνηση τόσο θα αποσυρθεί και η τριβή. Ευτυχώς το σχήμα που μας δίνει «σταθερή ταχύτητα» μας δίνει επίσης τη βασική περιστροφική κίνηση. Όσο τα δόντια εμπλέκονται επαναλαμβανόμενα, η επαφή που γίνεται δεν είναι τυχαίας διαδρομής αλλά είναι μιας καθορισμένης διαδρομής ή γραμμικής δράσης. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.13 το οποίο δείχνει ότι η γραμμή επαφής ακολουθεί το σχήμα του παραγωγικού κύκλου του οδηγού A, αλλά μόνο μέχρι την κεντρική γραμμή περνώντας ανάμεσα από τα δυο γρανάζια (γραμμή XY). Εδώ η γραμμή δράσης αφήνει τον παραγωγικό κύκλο του τροχού A να ακολουθήσει τη διαδρομή του παραγωγικού κύκλου του τροχού B μέχρι την ολοκλήρωση της αποσύνδεσης. Η γραμμή δράσης μέχρι τη κεντρική γραμμή ονομάζεται «τόξο της προσέγγισης» ενώ η γραμμή της επαφής μετά την κεντρική ευθεία αποκαλείται «τόξο της ύφεσης». Όπως στην περίπτωση του σχήματος του οδοντωτού γραναζιού, η ευθεία δράσης είναι συνδυασμός δυο καμπυλών που ενώνονται στις διαμέτρους κύκλων αναφοράς.

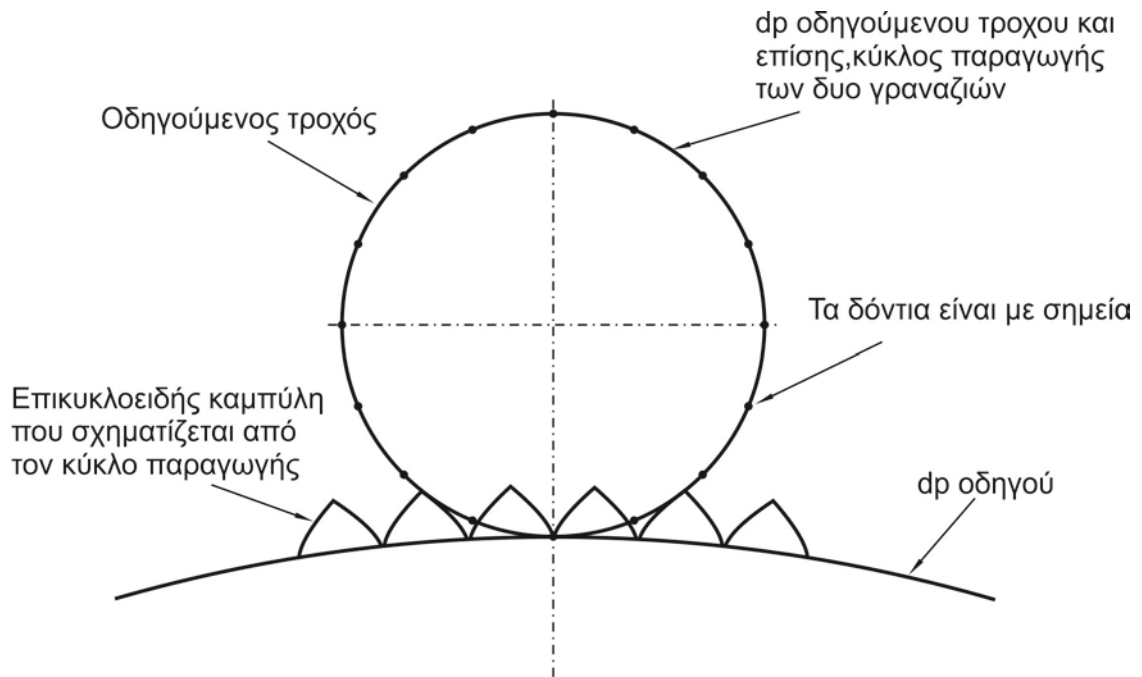


Σχήμα 3.13 : Απεικονίζουν τη γραμμή επαφής μεταξύ δύο κυκλοειδών δοντιών

### 3.3 Κλωβός διαφορικού

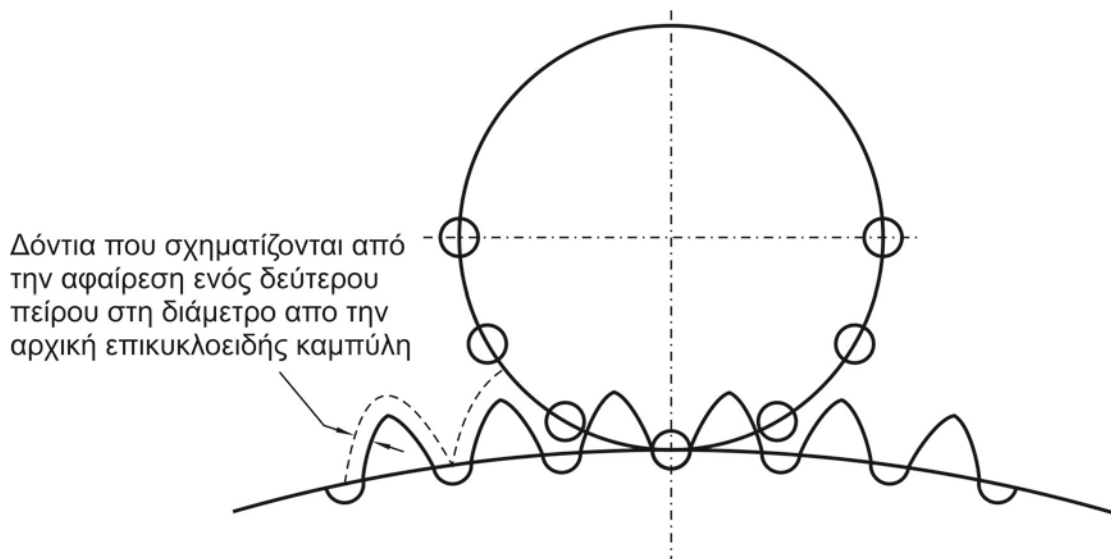
Είναι δεδομένο ότι η τριβή που παράγεται κατά τη διάρκεια της σύνδεσης των οδόντων είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που προκύπτει κατά την αποσύνδεση. Αναφορικά στο σχήμα 3.13 η τριβή κατά μήκος της ευθείας που απέμεινε από την ευθεία XY είναι μεγαλύτερη, γι' αυτό και προκαλεί μεγαλύτερη φθορά και δυναμική απώλεια, από ότι η τριβή που συμβαίνει μετά ή στα δεξιά της ευθείας XY. Το άνωθεν είναι ορθό μόνο έως ότου ο δίσκος A είναι οδηγός. Εφόσον ο δίσκος A γίνει ο οδηγούμενος τότε οι περιστροφές θα αντιστραφούν και η πλευρά με τη μεγαλύτερη τριβή θα είναι στα δεξιά, η οποία θα αποτελέσει τη νέα πλευρά προσέγγισης.





Σχήμα 3.14 : Παρουσιάζει την αρχή του κλωβού διαφορικού

Αναφερόμενοι στο «τόξο προσέγγισης» τα πραγματικά σημεία των οδόντων που θα είναι σε επαφή θα είναι τα πλευρά του οδηγού A και οι όψεις του οδηγούμενου B, η ριζά των οδόντων του οδηγού και οι κορυφές των οδόντων του οδηγούμενου.

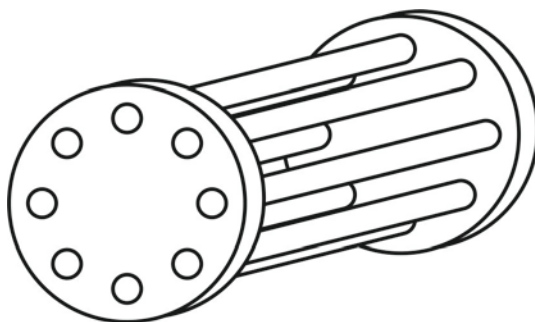


Σχήμα 3.15 : Φαίνεται η πρακτική μορφή του διαφορικού, ακίδων και δοντιών που εξακολουθούν να έχουν τη σωστή κυκλοειδή μορφή

Για να διατηρήσουμε την δύναμη μειώνοντας την τριβή είναι πρώτιστης ανάγκης και αφού το υψηλό σημείο τριβής είναι η προσέγγιση του τόξου επαφής άρα αυτό το σημείο είναι που συγκεντρώνει την προσοχή μας. Η προφανής λύση είναι η εξάλειψη της όλης επαφής πριν φτάσει στο κέντρο, το οποίο σημαίνει την απόλυτη απόσυρση όλων των πλευρών από τα δόντια του οδηγού. Η δραστική ενέργεια καθιστά τα πρόσωπα του οδηγούμενου τροχού περιπτά και έτσι συνεχίζουν. Αυτό που απομένει είναι ένας οδηγός τροχός χωρίς δόντια κάτω από τον κυλιόμενο κύκλο και ένας οδηγούμενος τροχός να έχει πάνω από τη



διάμετρο κύκλου αναφοράς. Έχει παρατηρηθεί ότι αλλάζοντας το μέγεθος του παραγωγικού κύκλου είχε μια αξιοσημείωτη επίδραση πάνω στις κυκλοειδείς καμπύλες. Αν το μέγεθος του παραγωγικού κύκλου ήταν να γίνει σε ίδια διάμετρο όπως τη διάμετρο κύκλου αναφοράς του οδηγού τροχού το οποίο θεωρείται ως οδοντωτός τροχός (γρανάζι), τότε το σχήμα της υποκυκλοειδούς που προκύπτει στον οδηγούμενο τροχό γίνεται μια θέση. Η μορφή του τροχού και του πηνίου φαίνεται στο [σχήμα 3.14](#). Προφανώς, η παραπάνω διάρθρωση δεν είναι πρακτική και επομένως πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποιες τροποποιήσεις στο γρανάζι έτσι ώστε να απορρέει ένα θετικό αποτέλεσμα από αυτή την θεωρητική περίπτωση. Ο Ευκλείδης ορίζει ένα σημείο να έχει θέση αλλά όχι μέτρο. Για να αποκτήσει μέτρο, ένας κύκλος υλικού μπορεί να προστεθεί ολοκληρωτικά γύρω από τα σημεία πάνω στο γρανάζι μετατρέποντας τα σε ακίδες, των οποίων τα κέντρα γίνονται οι αρχικές θέσεις. Η συμπεριφορά των ακίδων θεωρητικά θα ήταν όμοια με αυτές των αυθεντικών θέσεων και για πρακτικούς σκοπούς οι ακίδες έχουν γίνει υποκυκλοειδή. Μεγεθύνοντας τα σημεία μέσα στις ακίδες επιβάλλουν την τροποποίηση στον τροχό για να δημιουργηθεί χώρος για τις ακίδες για να συνδεθούν με τα δόντια του τροχού. Απομακρύνοντας τα κέντρα των τροχών για να δώσουν το διάκενο δεν σημαίνει ότι η διάμετρος κύκλου αναφοράς των δυο γραναζιών δεν θα είναι πια σε επαφή και αυτή η κατάσταση πρέπει πάντα να διατηρείται.

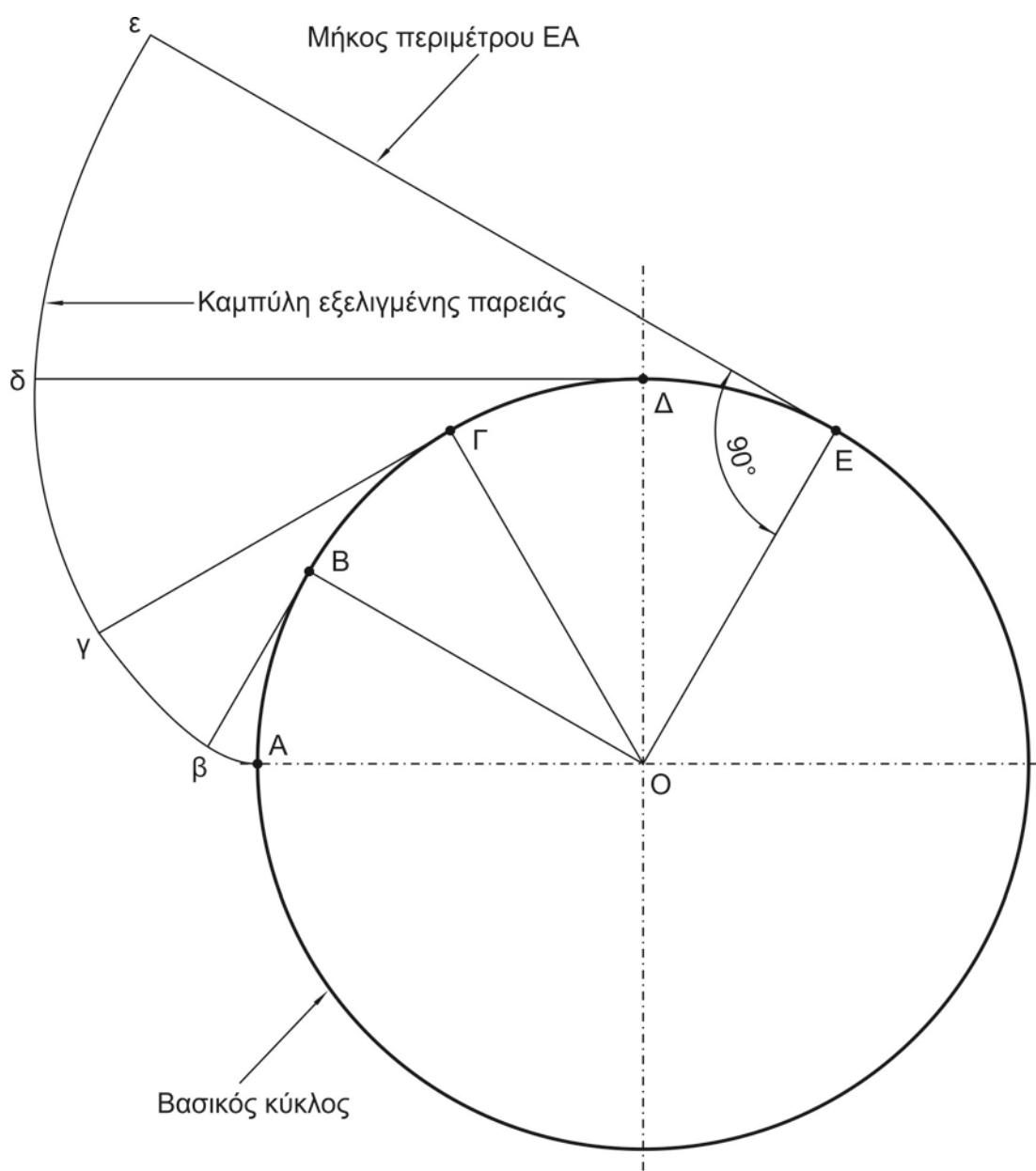


Σχήμα 3.16 : Κλωβός διαφορικού

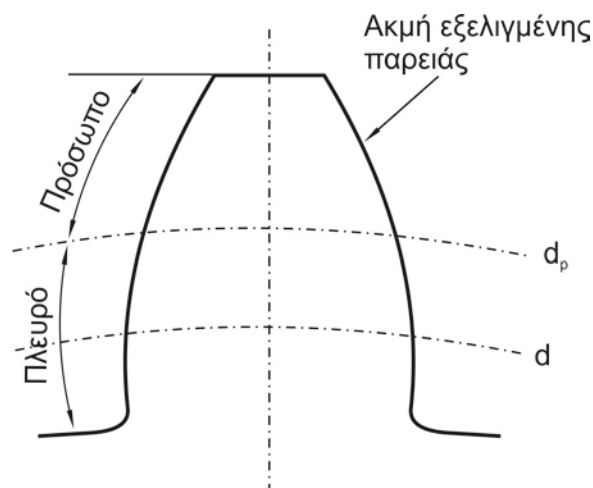
Η επίλυση του προβλήματος έρχεται με την αφαίρεση ή αποκοπή ενός μέρους των οδόντων στον τροχό έτσι ώστε να δημιουργηθεί χώρος για των οδοντωτό τροχό. Αν η μερίδα που αφαιρέθηκε από κάθε δόντι είναι μιάμιση της διαμέτρου ακίδας και με τη γραμμή κοπής παράλληλη προς την αυθεντική εξωτερική γραμμή του δοντιού, θα δημιουργηθεί ένας χώρος διαθέσιμος για την ακίδα. Εντούτοις, για να ολοκληρώσει το διάκενο ένα ημικύκλιο πρέπει να παραχθεί κάτω από τη γραμμή βήματος του δοντιού. Το [σχήμα 3.15](#) δείχνει την τελική μορφή. Το γρανάζι δεν είναι από ελεύθερες ακίδες στο χώρο και έτσι συνήθως είναι μια σειρά από ακίδες ανάμεσα σε δυο πλευρές. Αυτός ο τύπος οδοντωτού τροχού καλείται οδοντωτός τροχός τύπου κλωβού (ή αλλιώς κλωβός διαφορικού) επειδή μοιάζει με παλιού τύπου κλωβό διαφορικού ([Σχήμα 3.16](#)). Σε όλους τους τύπους τέτοιων γραναζιών αν ο τροχός Α ([Σχήμα 3.13](#)), είναι ο οδηγός τότε η σύνδεση των οδόντων του γραναζιού θα γίνει αφού η ευθεία των κέντρων περάσει, οπότε είναι σε περιοχή χαμηλής τριβής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάχιστη απώλεια δύναμης από τριβή κατά τη μεταφορά φορτίου. Ο τροχός με τα προβαλλόμενα δόντια πρέπει να οδηγεί τον τροχό με τις ακίδες ή τον τροχό του διαφορικού. Εφόσον ο κλωβός διαφορικού αποτελεί τον οδηγό τότε η επαφή μεταξύ των οδόντων θα έχει τόξο προσέγγισης με μεγάλη τριβή και το αντικείμενο του σχεδιασμού θα αποτύχει. Παρατηρείται ότι τα κυκλοειδή δόντια μπορεί να ποικίλουν σε σχήμα και ακόμη να ολοκληρώνουν τις ανάγκες της ομαλής ενέργειας και σταθερής ταχύτητας ανάμεσα στα γρανάζια που ενώνονται. Όσο οι παραγωγικοί κύκλοι είναι της ίδιας διαμέτρου για οποιαδήποτε δυο γρανάζια που εμπλέκονται, τότε όποιο κι αν είναι το σχήμα που απορρέει για τα δόντια, τα δυο γρανάζια θα εμπλέκονται ικανοποιητικά.

### 3.4 Δόντια καμπύλης εξελιγμένης παρειάς

Τα γρανάζια που βασίζονται σε κυκλοειδή καμπύλη διατηρούν σταθερή ταχύτητα ανάμεσα στις δυο διαμέτρους κύκλου αναφοράς αλλά αυτό ισχύει όσο οι δυο κύκλοι αναφοράς είναι σε επαφή. Αν, για οποιοδήποτε λόγο, τα κέντρα των γραναζιών είναι ανοιχτά και οι κύκλοι αναφοράς χάσουν την επαφή τότε η κατάσταση σταθερής ταχύτητας δεν θα επιτευχθεί. Αυτό σημαίνει ότι αν τα κέντρα των τροχών δεν είναι ακριβές ορισμένα από την αρχή, ή ο τροχός έχει φθορές τότε θα είναι αδύνατο να επιτευχθεί σταθερή ταχύτητα. Η επιτάχυνση και η επιβράδυνση θα λάβουν χώρα ενώ τα δόντια εισέρχονται και εξέρχονται από σύνδεση, με αποτέλεσμα να υπάρξει δόνηση και θόρυβος στο μηχανισμό. Αν τα δόντια των γραναζιών έχουν σχήμα καμπύλης εξελιγμένης παρειάς τότε η σταθερή ταχύτητα δεν θα επηρεαστεί από μια μικρή μερίδα εξάπλωσης των τροχών, αυτό σημαίνει ότι κάθε φθορά στον τροχό δεν θα επηρεάσει την ενέργεια των δοντιών. Ο ορισμός της καμπύλης εξελιγμένης παρειάς όπως εφαρμόζεται στα δόντια του γραναζιού είναι μια γεωμετρική καμπύλη που ορίζεται από ένα σημείο σε μια εύκαμπτη μη παρατεταμένη χορδή που ξετυλίγεται από ένα κυκλικό δίσκο, η περιφέρεια του οποίου αποκαλείται βασικός κύκλος, ο δίσκος αυτός είναι ομόκεντρος με τον κυλιόμενο κύκλο του γραναζιού.



Σχήμα 3.17 : Η καμπύλη εξελιγμένης παρειάς και η κατασκευή της



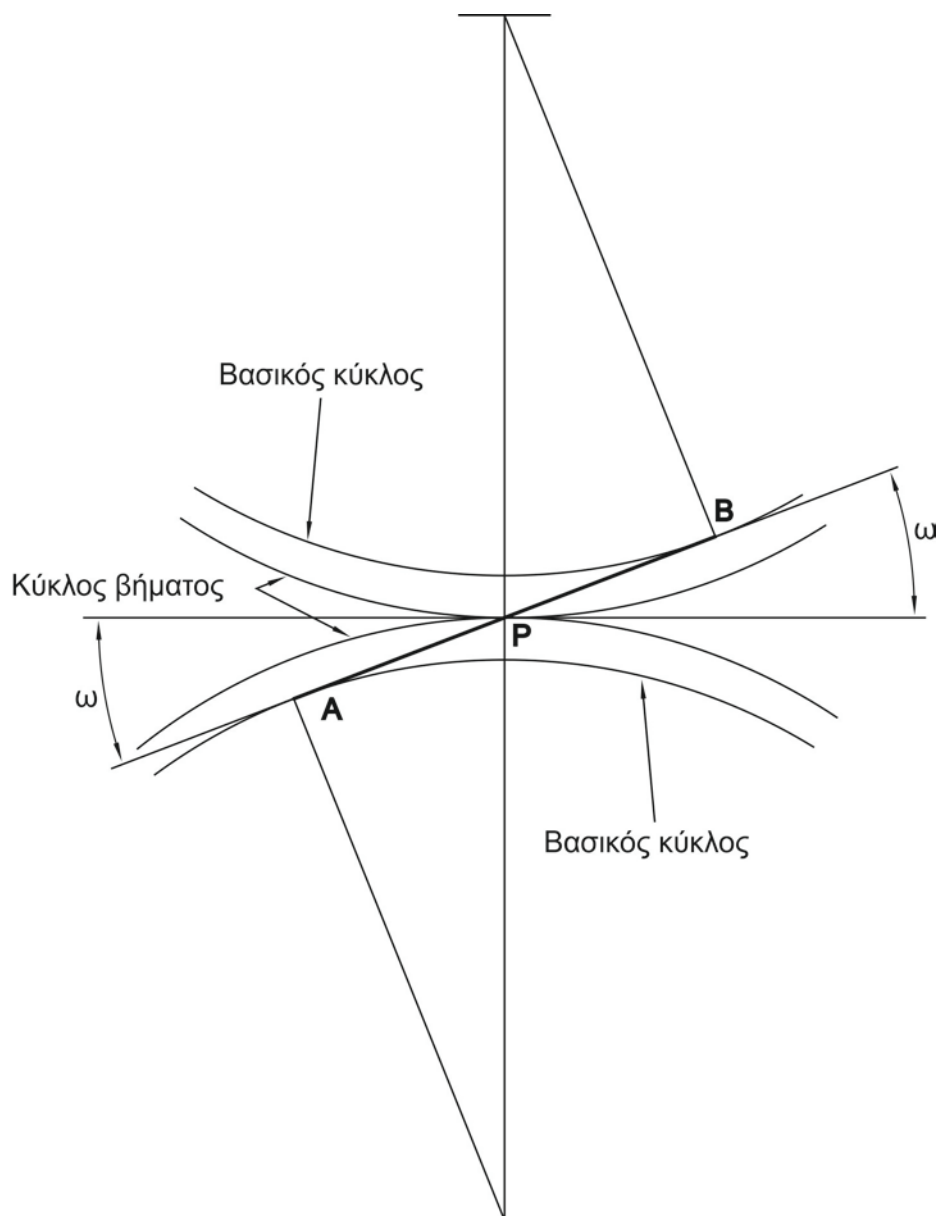
Σχήμα 3.18 : Μορφή δοντιού εξελιγμένης παρειάς

Αυτός είναι ο τεχνικός ορισμός μιας καμπύλης εξελιγμένης παρειάς, αλλά είναι πολύ ευκολότερο να κατανοηθεί αν σκεφτούμε ένα δίσκο ή ένα βαρέλι με μια χορδή γύρω και καθώς η χορδή ξετυλίγεται από το βαρέλι, η διαδρομή που παίρνει η χορδή διαγράφει την καμπύλη εξελιγμένης παρειάς. Το [σχήμα 3.17](#) δείχνει μια καμπύλη εξελιγμένης παρειάς και την γεωμετρική της κατασκευή. Οποιοσδήποτε αριθμός ακτινών,  $OA$ ,  $OB$ ,  $OG$  κτλ., μπορεί να σχεδιαστεί και όσο περισσότερες ευθείες χρησιμοποιούνται τόσο περισσότερες θέσεις παράγονται στην καμπύλη κι επομένως κάνοντας εύκολο να σχεδιαστεί πιο σωστά η καμπύλη εξελιγμένης παρειάς. Οι ευθείες  $B\beta$ ,  $\Gamma\gamma$ ,  $\Delta\delta$  είναι πάντα εφαπτόμενες ή οι γωνίες  $OE\epsilon$ ,  $OD\delta$ ,  $OG\gamma$ , κτλ., είναι πάντα ορθές και το μήκος των ευθειών  $B\beta$ ,  $\Gamma\gamma$ , κτλ. είναι του ίδιου μήκους με την περιφέρεια ανάμεσα στο εφαπτόμενο σημείο και το σημείο έναρξης  $A$ .

Εν αντιθέσει με την κυκλοειδή καμπύλη που έχει ορισμένο σημείο έναρξης και τέλους και που μπορεί να επαναληφθεί ξανά και ξανά, η καμπύλη εξελιγμένης παρειάς είναι μία καμπύλη μόνο και συνεχίζει ατελώς όσο συνεχίζεται η ενέργεια ξετυλίγματος. Αν και η καμπύλη είναι ατελείωτη το μόνο κομμάτι στο οποίο δίνεται προσοχή στη διαμόρφωση του γραναζιού είναι το αρχικό κομμάτι της καμπύλης όταν απομακρύνεται από τον βασικό κύκλο. Το [σχήμα 3.18](#) δείχνει ένα τυπικό σχήμα δοντιού για ένα γρανάζι με εξελιγμένη παρειά. Παρατηρείται από αυτό ότι η επαφή των επιφανειών των προσώπων και των πλευρών δεν είναι δυο καμπύλες που τέμνονται με την γραμμή βήματος αλλά μια συνεχής καμπύλη που ξεκινά από τον βασικό κύκλο.



Η κεντρική ευθεία του δοντιού ΑΓ είναι που διαπερνά το κέντρο του γραναζιού και εκεί που η ευθεία τέμνει τον κυλιόμενο κύκλο διαμορφώνεται η θέση του σημείου Ρ. Η ευθεία ΑΓ σχεδιάζεται από το σημείο Ρ εφαπτόμενη στο βασικό κύκλο, το σημείο επαφής είναι το Τ και η γωνία ΤΓΡ γωνία ελικώσεως του γραναζιού. Είναι σύνηθες, όμως, να καταδεικνύεται η γωνία ΤΡΔ στο οδοντωτό γρανάτζι αφού αυτό έχει την ίδια αξία με τη γωνία ΤΓΡ αλλά εξαλείφει την ανάγκη σχεδιασμού του κέντρου του κύκλου βήματος.



Σχήμα 3.20 : Δύο γραμμές σε επαφή μεταξύ δύο δοντιών εξελιγμένης παρειάς

Στην περίπτωση των κυκλοειδών δοντιών παρατηρήθηκε ότι η ευθεία επαφής ανάμεσα στα δόντια ήταν συνδυασμός δυο καμπυλών. Στην περίπτωση της εξελιγμένης παρειάς η ευθεία επαφής είναι ευθεία γραμμή και φαίνεται στο σχήμα 3.20 ως η γραμμή AB. Κάθε επαφή γίνεται έξω από τους βασικούς κύκλους. Αλλάζοντας την γωνία ελίκωσης του δοντιού όχι μόνο διαφοροποιείται το σχήμα των δοντιών αλλά επίσης διαφοροποιεί το μήκος της διαδρομής επαφής, δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία ελίκωσης τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ευθεία επαφής. Ευτυχώς πλέον στην μετάδοση κίνησης με καμπύλη εξελιγμένης παρειάς δεν υπάρχει πληθώρα γωνιών πίεσης, με την πιο κοινή χρησιμοποιούμενη γωνία να είναι αυτή των 20 μοιρών. Αυτή η γωνία κρίνεται ότι δίνει καλό οδοντωτό σχήμα και επίσης παρέχει μια δυνατή ρίζα δοντιού παράγοντας ένα γρανάζι που έχει μεγάλο προσδόκιμο και καλή εφαρμογή.

Μόνο άλλη μια γωνία ελίκωσης έχει χρησιμοποιηθεί που είναι οι 14½ μοίρες, όμως, αυτή η γωνία δεν ευνοεί τους σχεδιαστές γραναζιών αν και μερικοί κατασκευαστές με τórνο χρησιμοποιούν ακόμη γωνία ελίκωσης 14½ μοιρών για τους αντικαταστάσιμους τροχούς. Η γωνία μεγαλύτερης πίεσης κάνει τα δόντια πιο «κοντόχοντρα» ενώ η γωνία μικρότερης πίεσης παράγει δόντια που φαίνονται μακρύτερα. Μόνο γρανάζια με ίδια γωνία πίεσης θα

πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην ίδια ακολουθία. Γρανάζια με γωνία ελίκωσης 20 μοίρες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για συνδέσεις με γρανάζια βασισμένα σε γωνία 14½ μοιρών. Συγκεκριμένα, και θα περιστρέφονται, και θα μεταφέρουν το φορτίο αλλά η εφαρμογή και το προσδόκιμο θα εξασθενίσουν. Οποιοδήποτε γρανάζι με εξελιγμένη παρειά της ίδιας γωνίας πίεσης και βήματος θα περιστρέφονται μαζί σωστά αν και το σχήμα των δοντιών των γραναζιών του ενός μπορεί να μην είναι ίδιο με το σχήμα των δοντιών του «συντροφικού» γραναζιού. Αυτό γίνεται επειδή ποικίλει η διάμετρος του βασικού κύκλου της εξελιγμένης παρειάς. Το σχήμα των δοντιών θα έχει μια έντονη καμπύλη σε έναν οδοντωτό τροχό που έχει σχετικά λίγα δόντια ενώ στους μεγαλύτερους τροχούς με περισσότερα δόντια οι πλευρές των δοντιών μπορεί να είναι σχεδόν ευθεία γραμμή. Πράγματι η ισοδύναμη γραμμή της καμπύλης της εξελιγμένης παρειάς είναι μια τέλεια ευθεία γραμμή στη γραμμή πίεσης.

## 4. ΜΕΓΕΘΗ ΔΟΝΤΙΟΥ ΓΡΑΝΑΖΙΟΥ

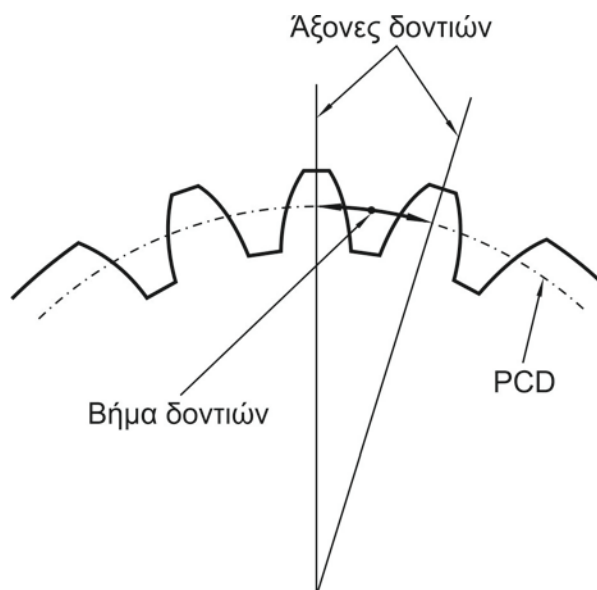
Σε προηγούμενα κεφάλαια έγινε συζήτηση για το σχήμα των δοντιών αλλά όχι για το μέγεθος τους. Προφανώς ένα γρανάζι, ας πούμε, διαμέτρου  $3^{\text{ωv}}$  ιντσών μπορεί να έχει 20 δόντια πάνω του ή μπορεί να έχει 200 δόντια. Και στις δυο περιπτώσεις τα δόντια μπορεί να είναι μορφής με εξελιγμένη παρειά αλλά δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν μαζί αφού τα μεγέθη τους θα είναι διαφορετικά. Κάποια μέσα ή δεδομένα καθορισμού του μεγέθους των δοντιών επομένως είναι απαραίτητα. Τα βασικά δεδομένα για όλους τους υπολογισμούς μέχρι τώρα ήταν η διάμετρος του κύκλου αναφοράς, και παραμένει έτσι, για να καθορίζει το μέγεθος του δοντιού. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι γενικής χρήσης για τον καθορισμό του μεγέθους των δοντιών του γραναζιού, όπου είναι:

- το κυκλικό βήμα
- το διαμετρικό βήμα και
- το μετρικό βήμα (module).

Αν μια από τις προαναφερθείσες μεθόδους είναι γνωστή τότε μπορεί με απλούς υπολογισμούς να προσδιοριστεί η διάταξη.

### 4.1 Κυκλικό Βήμα

Το κυκλικό βήμα ενός γραναζιού είναι η απόσταση από το σημείο πάνω σε ένα δόντι από ένα άλλο σημείο σε ένα επόμενο αντίστοιχο δόντι μετρημένο πάνω στη διάμετρο του κυλιόμενου κύκλου και αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1. Το κυκλικό βήμα συνήθως καθορίζεται ως ένας ακέραιος αριθμός όπως  $\frac{1}{4}$  τις ίντσας,  $\frac{1}{2}$  τις ίντσας,  $\frac{3}{4}$  τις ίντσας, κτλ. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας ακέραιους αριθμούς για το κυκλικό βήμα θα δώσει σαν αποτέλεσμα έναν αριθμό με δεκαδικά για την διάμετρο του κυλιόμενου κύκλου. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι η περιφέρεια του κύκλου αναφοράς ισούται με τον αριθμό οδόντων στο γρανάζι πολλαπλασιασμένο με το κυκλικό βήμα. Ο αριθμός των δοντιών πρέπει να είναι πλήρης και όταν πολλαπλασιάζεται με ακέραιο αριθμό του κυκλικού βήματος θα δίνει αποτέλεσμα έναν ακέραιο αριθμό για την περιφέρεια. Όμως, για να αποκτηθεί η διάμετρος κύκλου αναφοράς πρέπει η περιφέρεια να διαιρεθεί με το «π» και οποιοσδήποτε ακέραιος αριθμός διαιρεμένος με το 3.1416 δεν θα είναι εύχρηστος. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι στο εργαστήριο ένα μέγεθος είναι το ίδιο εύκολο να υπολογιστεί ως ένας οποιοσδήποτε άλλο και υπολογίζοντας με εξωτερική καλίμπρα τύπου βερνιέρου στα 3.017 είναι το ίδιο εύκολο όσο ο υπολογισμός 3.000.



Σχήμα 4.1 : Μέτρηση κυκλικού βήματος

Αυτό είναι εφικτό και σίγουρα βοηθά τον σχεδιαστή, ιδιαιτέρως όταν εφαρμόζει μια ακολουθία γραναζιών, να μπορεί να χρησιμοποιεί στρογγυλούς αριθμούς για τα κέντρα των τροχών. Το πρόβλημα είναι ακαδημαϊκό, διότι τα σχετικά μικρά γρανάζια δεν θα βασίζονται στη σημειογραφία του κυκλικού βήματος. Η εξαίρεση σ' αυτό είναι σε περιπτώσεις όπως σε ειδικά γρανάζια που είναι για διάτρηση και για εργαλειομηχανές φρεζαρίσματος.

#### **4.2 Διαμετρικό βήμα (DP)**

Το διαμετρικό βήμα είναι η πιο συνήθης και πιο χρήσιμη μέθοδος σημειογραφίας για μικρά γρανάζια. Το διαμετρικό βήμα είναι απλώς ο αριθμός των οδόντων που ο τροχός έχει ανά ίντσα του διαμετρικού βήματος. Για παράδειγμα, αν ένα γρανάζι έχει διάμετρο κύκλου αναφοράς δυο ίντσες και 40 δόντια τότε λέγεται ότι είναι 20 DP. Αν ο αριθμός των δοντιών ήταν 40 σε ένα γρανάζι με διάμετρο κύκλου αναφοράς μιας ίντσας τότε το DP θα ήταν 40. Το DP είναι συνήθως ακέραιος αριθμός. Αυτή η διάρθρωση κάνει εύκολο τον καθορισμό των κέντρων της ακολουθίας γραναζιών. Για παράδειγμα, αν αποφασιστεί να παραχθούν δυο γρανάζια με σχέση μετάδοσης 3:1 με 20 DP, τότε ένα γρανάζι με 20 δόντια και ένα με 60 δόντια θα μας ικανοποιούσαν. Η διάμετρος κύκλου αναφοράς των 20 δοντιών θα είναι μια ίντσα ενώ το άλλο των 60 δοντιών θα ήταν τρεις ίντσες. Αυτό θα σήμαινε ότι η απόσταση των κέντρων των γραναζιών θα ήταν δυο ίντσες, το μισό του αποτελέσματος που προκύπτει από την πρόσθεση των δυο διαμέτρων κύκλου αναφοράς.

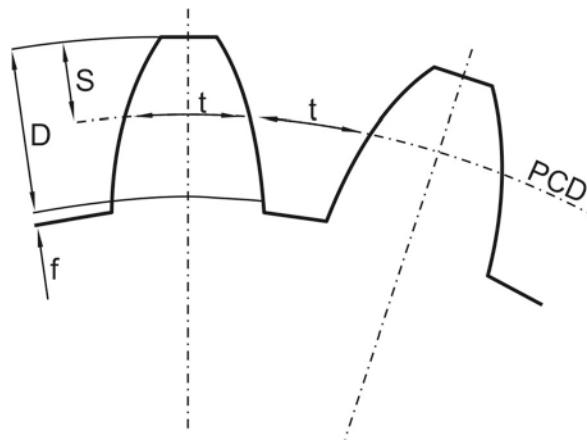
#### **4.3 Μετρικό βήμα**

Παλαιότερα καθόριζαν το μετρικό βήμα ως το αντίστοιχο του DP αλλά προσφάτως έχει ισχύσει ως ο «μετρικός» τρόπος του ορισμού του μεγέθους των δοντιών. Το μετρικό βήμα μπορεί να υποστηριχτεί ότι είναι το διαμετρικό βήμα σε χιλιοστά, διαιρεμένα από τον αριθμό των δοντιών ή τοποθετώντας το διαφορετικά, η διάμετρος κύκλου αναφοράς σε χιλιοστά είναι ο αριθμός μετρικού βήματος πολλαπλασιασμένος με τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού. Αφού μια ίντσα είναι 25,4 χιλιοστά, τότε ένας αριθμός μετρικού βήματος ένα ισούται με 25,4 DP, αριθμός μετρικού βήματος δύο μας δίνει 12,7 DP, ενώ αριθμός μετρικού βήματος πέντε θα μας δώσει 50,4 DP.

#### **4.4 Αναλογίες δοντιού**

Μέχρι τώρα τίποτα δεν έχει ειπωθεί για την αναλογία των δοντιών, δηλαδή τον αριθμό των δοντιών προβαλλόμενων προς τα πάνω ή προς τα κάτω από τον κυλιόμενο κύκλο και το πλάτος των δοντιών στον κυλιόμενο κύκλο. Αυτές οι αναλογίες φαίνονται στο σχήμα 4.2 αλλά στην πραγματικότητα είναι ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος, κατά την κοπή των δοντιών ο μόνος έλεγχος που έχει ο χειριστής σχετικά με την αναλογία είναι το βάθος στο οποίο κόβει τα δόντια.





Σχήμα 4.2 : Χαρακτηριστικά δοντιού

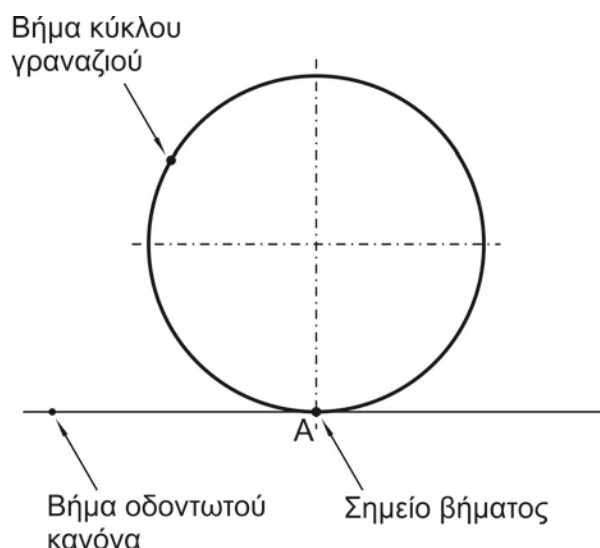
Δεδομένου του ότι τα δόντια κόπηκαν στο σωστό βάθος το σχήμα του κόπτη θα καθορίσει την αναλογία των δοντιών. Το συνολικό βάθος ή το κοπτικό βάθος των δοντιών φαίνεται από το σύμβολο  $D+f$ . Είναι διεθνής συμβολισμός και προς όφελος του χειριστή είναι συνήθως καθορισμένο σε όλους τους κοπτήρες του εμπορίου. Το σχήμα 4.2 δείχνει επίσης το πάχος του δοντιού ( $t$ ) και την γραμμή βήματος. Ενώ αυτό θεωρητικά είναι σωστό, πρακτικά το διάστημα του δοντιού είναι συνήθως πιο φαρδύ συγκριτικά με το πάχος του δοντιού. Κάποια βιβλία αναφέρουν ότι το πάχος του δοντιού είναι το 0.48 του κυκλικού βήματος, κάνοντας έτσι το διάστημα του δοντιού το υπολειπόμενο 0.52 του κυκλικού βήματος.

## 5. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ ΚΑΙ ΚΩΝΙΚΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

Οι ευθύγραμμοι και κωνικοί οδοντωτοί τροχοί δεν θεωρούνται ως δυο συνηθισμένα περιστρεφόμενα οδοντωτά γρανάζια αλλά, πραγματικά, αυτό ακριβώς είναι. Ο οδοντωτός κανόνας είναι μονάχα ένα μικρό μέρος ενός μεγάλου οδοντωτού τροχού. Αν η διάμετρος ενός γραναζιού τείνει προς το άπειρο τότε η διάμετρος του κυλιόμενου κύκλου θα ήταν μια ευθεία. Ο οδοντωτός κανόνας είναι μόνο ένα μικρό κομμάτι αποσπασμένο από το άπειρης διαμέτρου γρανάζι.

Οι ευθύγραμμοι και κωνικοί οδοντωτοί τροχοί διαφέρουν μονάχα στη λειτουργία από ένα ζευγάρι οδοντωτών γραναζιών και σε συγκεκριμένες λειτουργίες που πραγματοποιούν. Δυο οδοντωτά γρανάζια, επειδή είναι κυκλικά, μπορούν να συνεχίσουν να περιστρέφονται συνεχώς. Στην περίπτωση των ευθύγραμμων και κωνικών οδοντωτών τροχών ο οδοντωτός κανόνας έχει προκαθορισμένη τροχιά και όταν ο κωνικός οδοντωτός τροχός φτάνει την άκρη του ευθύγραμμου, η κίνηση μειώνεται, για περαιτέρω κίνηση πρέπει να γίνει στην αντίθετη κατεύθυνση έτσι ώστε στο τέλος του κύκλου εργασίας και οι ευθύγραμμοι και οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί να επανέλθουν στην αρχική τους θέση. Μια συνέπεια αυτού είναι ότι το ίδιο δόντι από τον κωνικό τροχό συνδέεται πάντα με το ίδιο δόντι του οδοντωτού κανόνα. Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται μόνο σε περιστρεφόμενα γρανάζια όταν και οι δυο (οδηγούμενος και οδηγός) τροχοί έχουν τον ίδιο αριθμό δοντιών. Ο οδοντωτός κανόνας εμπλεκόμενος με οδοντωτό τροχό μας παρέχουν γραμμική κίνηση από την περιστροφική κίνηση ή όταν ο οδοντωτός κανόνας είναι ο οδηγός, περιστροφική κίνηση από γραμμική κίνηση.

Τα δυο γρανάζια είναι καθορισμένα και σχεδιασμένα σε συμφωνία με την ίδια αρχή που περιγράφηκε ήδη για τον σχεδιασμό ενός ζευγαριού οδοντωτών γραναζιών. Στο σχήμα 5.1 ο οδοντωτός τροχός αντιπροσωπεύεται από την διάμετρο του κύκλου βήματος και του οδοντωτού κανόνα με μια ευθεία γραμμή, αυτό είναι ένα τμήμα μίας PCD. Οι δυο γραμμές βήματος έρχονται σε επαφή μεταξύ τους στο σημείο A.



Σχήμα 5.1 : Μέτρηση κυκλικού βήματος σε εφαρμογή με βήμα οδοντωτού κανόνα

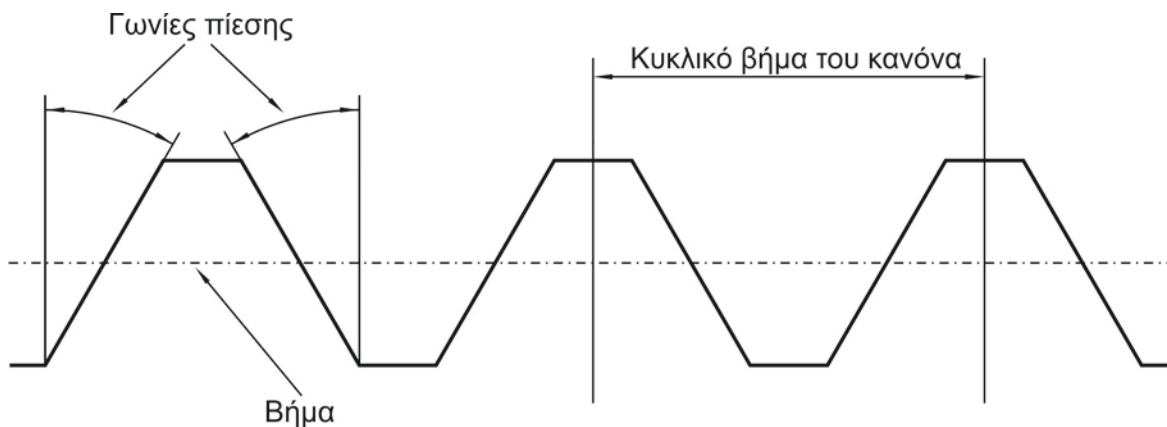
Πρακτικά ας υποθέσουμε τη διάμετρο κύκλου αναφοράς ως ένα περιστρεφόμενο δίσκο κατά μήκος της ευθείας γραμμής. Το μήκος που απαιτείται για τον οδοντωτό κανόνα θα εξαρτάται φυσικά από την διάμετρο του κύκλου αναφοράς του κωνικού οδοντωτού τροχού. Κάθε περιστροφή του κωνικού τροχού θα απαιτεί ένα ευθύγραμμο τμήμα με αποτελεσματικό μήκος ίσο προς το περιφερειακό μήκος του κωνικού τροχού. Ένας κωνικός οδοντωτός τροχός με διάμετρο κύκλου αναφοράς δυο ίντσες, θα απαιτεί περίπου

6 ½ ίντσες μήκους σε οδοντωτό κανόνα ώστε για κάθε περιστροφή που έχει να κάνει ο κωνικός οδοντωτός τροχός να ολοκληρώσει τα προαπαιτούμενα σχεδιασμού του.

Όλες οι πτυχές του σχήματος των δοντιών των μετωπικών γραναζιών πρέπει επίσης να εφαρμοστούν στον οδοντωτό κανόνα και στα δόντια του. Η μορφή του δοντιού του γραναζιού μπορεί είτε να είναι εξελιγμένης παρειάς ή κυκλοειδής, είτε κάποιας πρότυπης μορφής που να δίνει ικανοποιητικά και σωστά σχεδιασμένα και κατασκευασμένα δόντια.

### 5.1 Μορφή εξελιγμένης παρειάς δοντιών σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς

Αν η μορφή εξελιγμένης παρειάς εφαρμοστεί στους ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς, τότε και τα δυο είδη μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδιακρίτως ως οδηγός ή οδηγούμενος και όποια διαμόρφωση εφαρμοστεί θα είναι εξίσου καλή. Το σχήμα της εξελιγμένης παρειάς των οδόντων στον κωνικό τροχό θα είναι ακριβώς το ίδιο όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο οδοντωτό γρανάτζι, πράγματι σε κάθε οδοντωτό γρανάτζι του ίδιου βήματος και γωνίας πίεσης ο οδοντωτός κανόνας θα εφαρμόσει σωστά. Τα δόντια του οδοντωτού κανόνα θα διαφέρουν ελαφρώς από εκείνα του γραναζιού λόγω της διαμέτρου του κύκλου αναφοράς του οδοντωτού κανόνα το οποίο έχει άπειρο μέγεθος. Το σχήμα της εξελιγμένης παρειάς που προκύπτει είναι μια ευθεία γραμμή. Τα δόντια του οδοντωτού κανόνα θα είναι επομένως ευθεία σε όλο το μήκος της εργασίας τους. Τα δόντια δεν θα είναι κάθετα στην γραμμή βήματος αλλά θα έχουν κλίση προς την γωνία ελίκωσης και έτσι ο οδοντωτός κανόνας θα έχει τη μορφή όπως εμφανίζεται στο σχήμα 5.2. Το βήμα των δοντιών του οδοντωτού κανόνα μετριέται από ένα σημείο πάνω στο δόντι προς ένα παρόμοιο σημείο του επόμενου δοντιού (Σχήμα 5.2). Αν ένας ευθύγραμμος οδοντωτός κανόνας χρησιμοποιηθεί ως κινητήριος π.χ. για μια μηχανή άλεσης, γίνεται ευκολότερος ο υπολογισμός για βήμα 0.200 από ότι θα ήταν για δεδομένο 16 DP, το οποίο θα έδινε ένα βήμα 0.1963 στον οδοντωτό κανόνα.

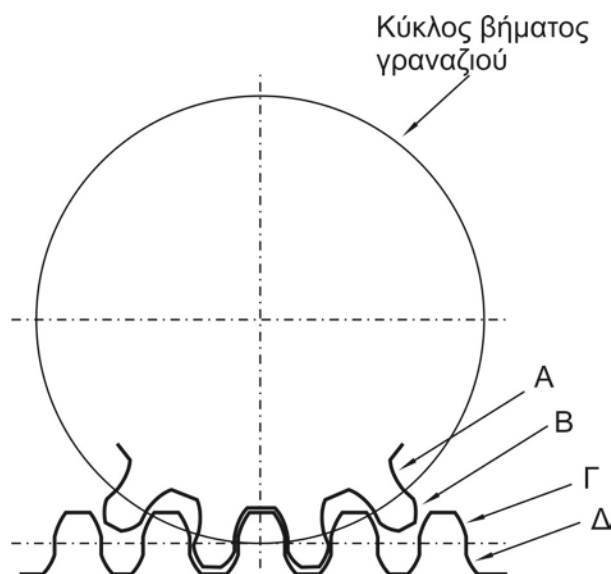


Σχήμα 5.2 : Μορφή εξελιγμένης παρειάς οδοντωτού κανόνα

### 5.2 Κυκλοειδής μορφή δοντιών σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς

Η κυκλοειδής μορφή δοντιού μπορεί να εφαρμοστεί σε έναν ευθύγραμμο και κωνικό οδοντωτό τροχό με ακριβώς ίδιο τρόπο όπως και στο οδοντωτό γρανάτζι. Αν οι σχεδιαστικές απαιτήσεις απαιτούν ένα ευθύγραμμο και ένα κωνικό οδοντωτό τροχό όπου θα μπορούσε να κληθεί να είναι και οδηγός, τότε το σύστημα των επικυκλοειδών πρόσωπων και των υποκυκλοειδών πλευρών θα χρησιμοποιηθεί για τα δόντια του γραναζιού. Τα δόντια του ευθύγραμμου οδοντωτού κανόνα θα έχουν διαφορετικό σχήμα από ότι περιγράφηκε προηγουμένως. Η διάμετρος κύκλου αναφοράς του ευθύγραμμου οδοντωτού κανόνα είναι μια ευθεία γραμμή και ο παραγωγικός κύκλος που περιστρέφεται πάνω του θα παράγει μία πραγματική κυκλοειδή καμπύλη όπως παρουσιάζεται στα

σχήματα 3.6 και 3.7. Το σχήμα του δοντιού πάνω από την γραμμή βήματος ή από το πρόσωπο, ως εκ τούτου, θα είναι κυκλοειδές και όχι επικυκλοειδές όπως έγινε σε άλλες περιπτώσεις.



Σχήμα 5.3 : Κυκλοειδής μορφή οδοντωτού κανόνα με γρανάτζι

Η καμπύλη που παράγεται περιστρέφοντας τον παραγωγικό κύκλο κάτω από την γραμμή βήματος θα είναι πάλι κυκλοειδής, έτσι το δόντι κάτω από την γραμμή βήματος θα είναι επίσης κυκλοειδής και όχι υποκυκλοειδής. Το τελικό σχήμα του δοντιού είναι ένας συνδυασμός δύο όμοιων αλλά αντίθετης φοράς κυκλοειδών καμπυλών οι οποίες τέμνονται στην αρχική γραμμή. Το σχήμα 5.3 δείχνει τη μορφή και του ευθύγραμμου και του κωνικού οδοντωτού τροχού.

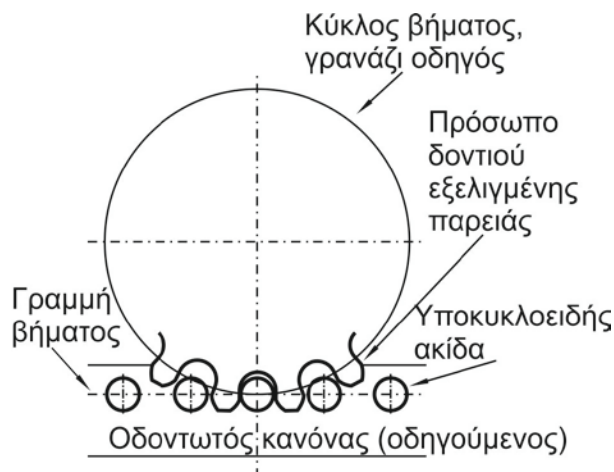
### 5.3 Ακιδωτά δόντια που εφαρμόζονται σε ευθύγραμμους και κωνικούς οδοντωτούς τροχούς

Τα δόντια του ευθύγραμμου οδοντωτού κανόνα ή του κωνικού οδοντωτού τροχού μπορεί να έχουν κυκλική ή ακιδωτή μορφή χρησιμοποιώντας την ίδια αρχή που χρησιμοποιήθηκε στον κλωβό διαφορικού που εμφανίζονται στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο και παρουσιάζονται στο σχήμα 3.15. Τα ακιδωτά δόντια πρέπει πάντοτε να είναι στον οδηγούμενο και αν ο ακιδωτός τροχός χρησιμοποιείται ως οδοντωτός τροχός τότε ο οδοντωτός κανόνας πρέπει να είναι οδηγός. Η διάρθρωση όπου ο οδοντωτός τροχός γίνεται ακιδωτός τροχός παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4 : Διάρθρωση οδοντωτού κανόνα με ακιδωτό τροχό

Οι ακίδες αντιπροσωπεύουν την υποκυκλοειδή που παράγεται χρησιμοποιώντας τον παραγωγικό κύκλο του οποίου είναι η διάμετρος του γραναζιού. Τα δόντια του οδοντωτού κανόνα θα έχουν ένα πραγματικό κυκλοειδές πρόσωπο πάνω από την γραμμή βήματος. Στα διάκενα κάτω από την γραμμή βήματος τους επιτρέπεται μόνο το πέρασμα των ακίδων και να πάρει μέρος στην οδοντωτή σύνδεση. Όλες οι οδοντικές συνδέσεις λαμβάνουν χώρα αφού έχουν περάσει την κεντρική ευθεία και είναι σε περιοχή χαμηλής τριβής αλλά αυτό εφαρμόζεται μόνο για όσο ο οδοντωτός κανόνας είναι οδηγός.



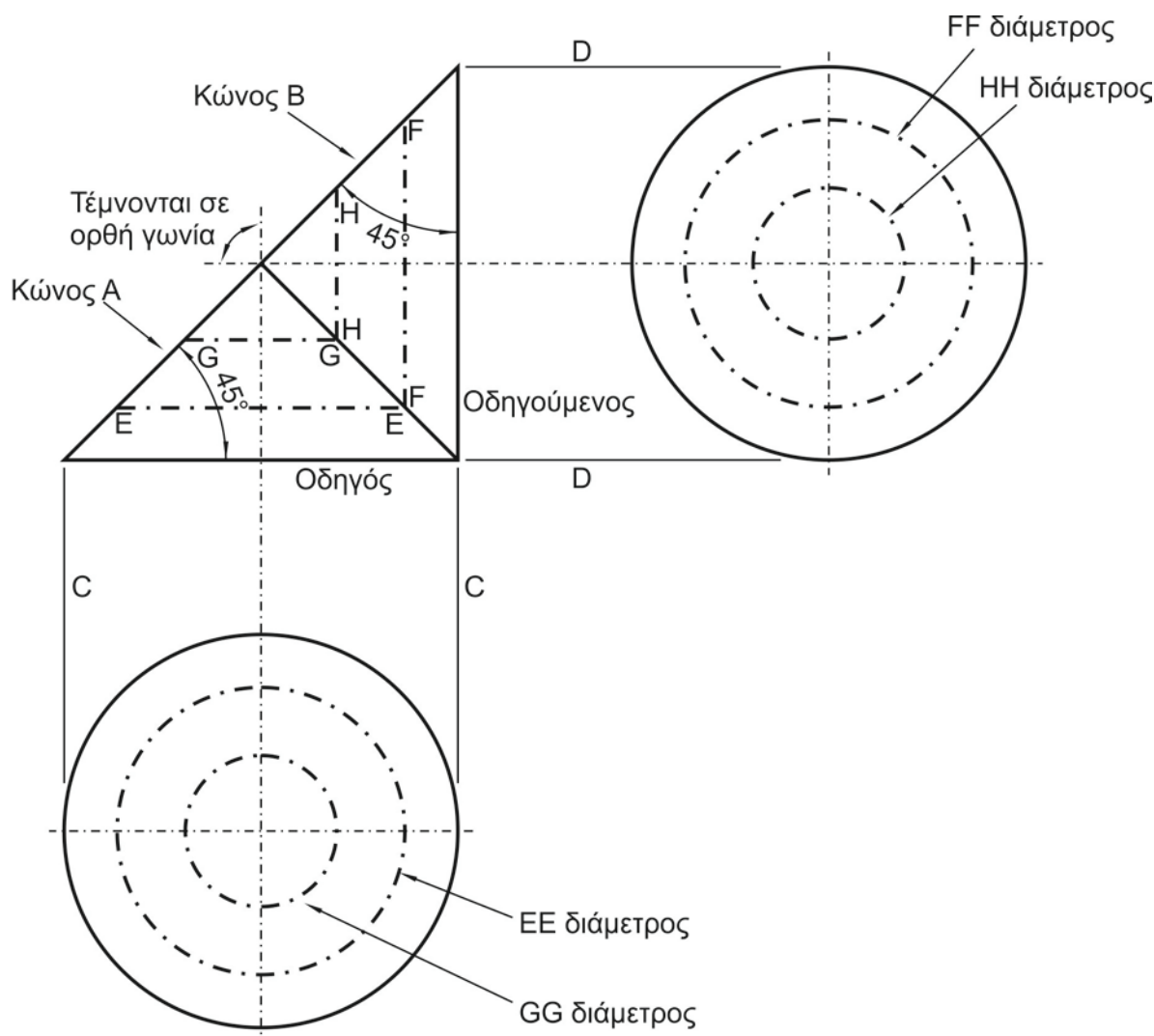
Σχήμα 5.5 : Διάρθρωση οδοντωτού κανόνα με ακιδωτό τροχό

Το πραγματικό πλάτος του οδοντωτού κανόνα θα πρέπει να είναι μικρότερο από την απόσταση μεταξύ των δυο άκρων του κλωβού διαφορικού. Αυτό είναι απαραίτητο για να παρέχει διάκενο για τις δυο πλάκες των οποίων η διάμετρος για πρακτικούς λόγους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την PCD του γραναζιού και επομένως θα εξαπλωθεί κάτω από την επιφάνεια του οδοντωτού κανόνα. Στην περίπτωση όπου είναι επιθυμητό να έχουμε το γρανάτζι ως οδηγό, τα ακιδωτά δόντια πρέπει να εφαρμοστούν στον ευθύγραμμο τροχό και αυτό μας οδηγεί σε μια κατάσταση λίγο περίεργη. Το ακιδωτό δόντι αντιπροσωπεύει την υποκυκλοειδή και όπως προηγουμένως, ο παραγωγικός κύκλος πρέπει να είναι ίσος σε διάμετρο με την PCD, αλλά, η PCD του οδοντωτού κανόνα έχει άπειρη διάμετρο, δηλαδή ευθεία γραμμή. Αυτό δεν επηρεάζει την ισχύ των ακίδων ως υποκυκλοειδή, η θεωρία των ακίδων ισχύει για κάθε PCD και οι παραγωγικοί κύκλοι που έχουν το ίδιο μέγεθος ανεξάρτητα από το τι ή πόσο μεγάλο μέγεθος μπορεί να είναι. Αυτό που επηρεάζεται είναι τα δόντια στο γρανάτζι τα όποια θα έχουν μόνο πρόσωπα και

καθόλου πλευρά, αφού οι επιφάνειες έχουν διαμορφωθεί από τον παραγωγικό κύκλο που είναι ευθεία γραμμή. Αυτή η ευθεία, περιστρεφόμενη ή γυρίζοντας στην PCD του γραναζιού, θα συμπεριφερθεί ακριβώς όπως «μια εύκαμπτη, μη επεκτεινόμενη χορδή» που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της εξελιγμένης παρειάς καμπύλη και του τελικού σχήματος της επικυκλοειδούς.

Έχουμε λοιπόν μια περίπτωση επιφανειών στο οδοντωτό γρανάτζι που είναι μορφής εξελιγμένης παρειάς, αλλά παρ' όλα αυτά συνδέονται αρκετά σωστά με τις υποκυκλοειδής ακίδες του οδοντωτού κανόνα και αυτό φαίνεται στο σχήμα 5.5. Στις άκρες των πλακών υποστηρίζονται τα ακιδωτά δόντια του οδοντωτού κανόνα όπου θα εισβάλουν πάνω στον κυλιόμενο κύκλο του γραναζιού. Το πλάτος της επιφάνειας του γραναζιού πρέπει επομένως να είναι μικρότερο της αποστάσεως ανάμεσα στις επιφάνειες των πλακών του οδοντωτού κανόνα για να επιτρέπει την συναρμογή.

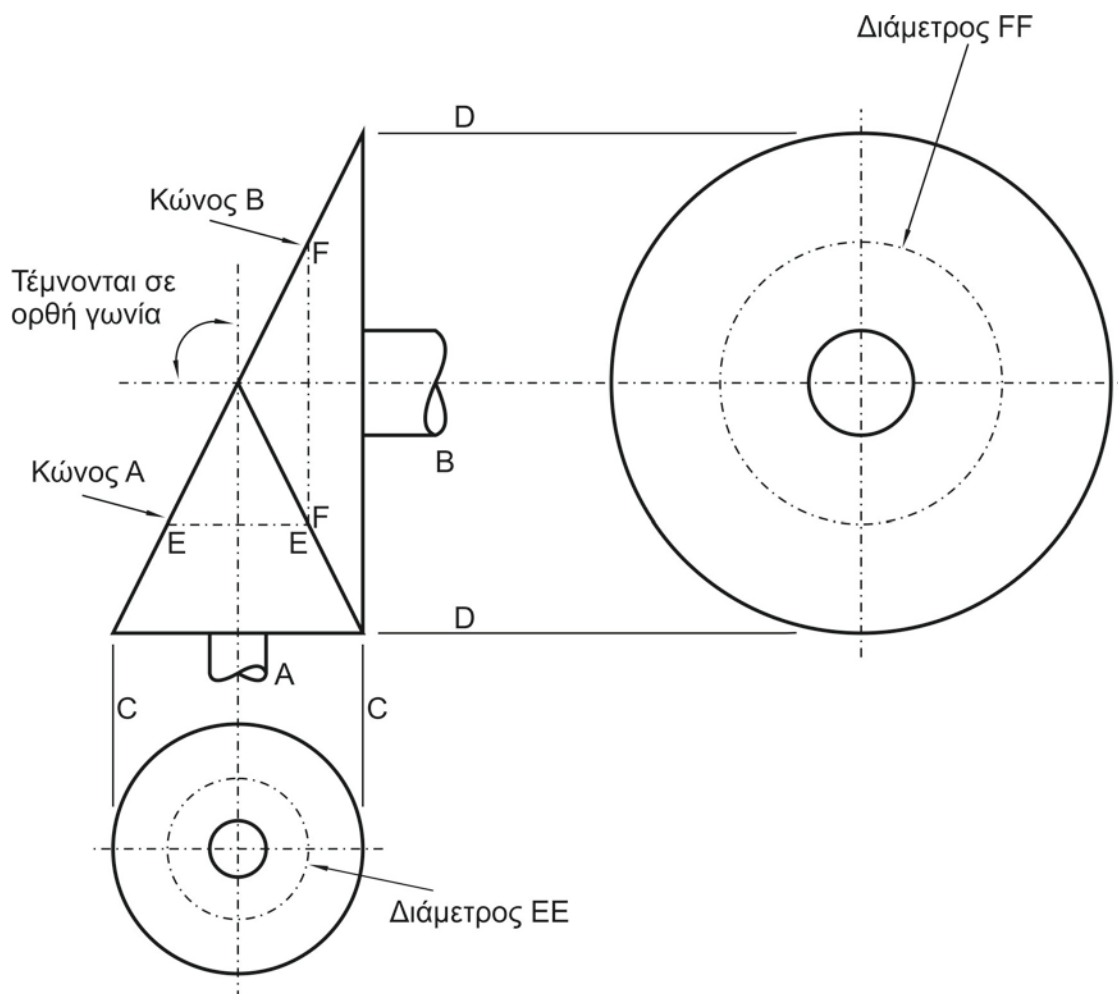
## 6. ΚΩΝΙΚΑ ΓΡΑΝΑΖΙΑ



Σχήμα 6.1 : Απεικόνιση συναρμογής ενός ζεύγους κωνικών γραναζιών

Στην περίπτωση που είναι απαραίτητη η μετάδοση ενέργειας από έναν άξονα σε έναν άλλον όπου δεν είναι παράλληλοι μεταξύ τους τότε η χρήση των κωνικών γραναζιών παρέχει την πιο ικανοποιητική λύση. Από ερασιτεχνικής οπτικής τα δόντια στα κωνικά γρανάζια, σε αντίθεση με τα μετωπικά οδοντωτά γρανάζια, δεν είναι εύκολο να κοπούν. Το σχήμα των δοντιών είναι τέτοιο που χωρίς τον ειδικό εξοπλισμό είναι αδύνατο να παραχθεί η σωστή μορφή του κωνικού δοντιού. Ωστόσο υπάρχουν τρόποι όπου μπορεί να υπάρξει μια συμβιβαστική μορφή δοντιού και να παραχθούν κωνικά γρανάζια που μπορεί να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του κατασκευαστή, αν και η πραγματική μορφή θα οριστεί κατά προσέγγιση και όχι όπως το θεωρητικό σχήμα. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται γίνονται καλύτερα κατανοητά αν σκεφτούμε την δράση ενός ζευγαριού κωνικών γραναζιών με παρόμοιο τρόπο χρήσης όπως εκείνο των οδοντωτών γραναζιών. Σ' αυτή την περίπτωση ο περιστρεφόμενος δίσκος θα πρέπει να αντικατασταθεί από περιστρεφόμενους κώνους. Εάν οι δυο άξονες είναι σε ορθή γωνία και περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα, τα απορρέοντα γρανάζια κάποιες φορές ονομάζονται μίτρες τροχών, αναπαράσταση αυτής της διάρθρωσης φαίνεται στο σχήμα 6.1. Αν λάβουμε υπόψη μας τις μεγαλύτερες διαμέτρους των δυο κώνων CC και DD βρίσκουμε ότι θα είναι όμοιοι σε μέγεθος επειδή οι κώνοι είναι όμοιοι και ακολουθούν μια περιστροφή της διαμέτρου DD και κατ' επέκταση και οι δυο διαμέτροι θα περιστραφούν με την ίδια ταχύτητα. Οποιοσδήποτε άλλες διαμέτροι όπως EE και FF ή GG και HH θα έχουν τις ίδιες αναλογίες

μεταξύ τους αφού οι διάμετροι βάσης και επομένως οι ταχύτητες περιστροφής θα είναι ακριβώς ίδιες με τις διαμέτρους βάσης. Όσο η τομή είναι παράλληλη της βάσης και σε ορθή γωνία προς την κεντρική γραμμή του κώνου Α, όπου κι αν έχει τραβηχτεί η τομή, η διάμετρος της θα είναι ίδια με την αντίστοιχη τομή του κώνου Β. Από αυτό φαίνεται ότι ολόκληρες οι επιφάνειες των δυο κώνων θα περιστρέφονται μαζί χωρίς ολίσθηση. Οποιοσδήποτε δυο συγκλίνουσες διάμετροι, όπως οι ΕΕ και FF θα μπορούσαν να επιλεγούν για τους κυλιόμενους κύκλους του γραναζιού δίχως να επηρεάζονται οι αντίστοιχες ταχύτητες των δυο αξόνων. Αν οι δυο άξονες ενωθούν οι κώνοι θα περιστραφούν σε διαφορετικές ταχύτητες, τότε οι διάμετροι των δυο βάσεων των κώνων πρέπει να είναι ανάλογες στις απαιτούμενες ταχύτητες.

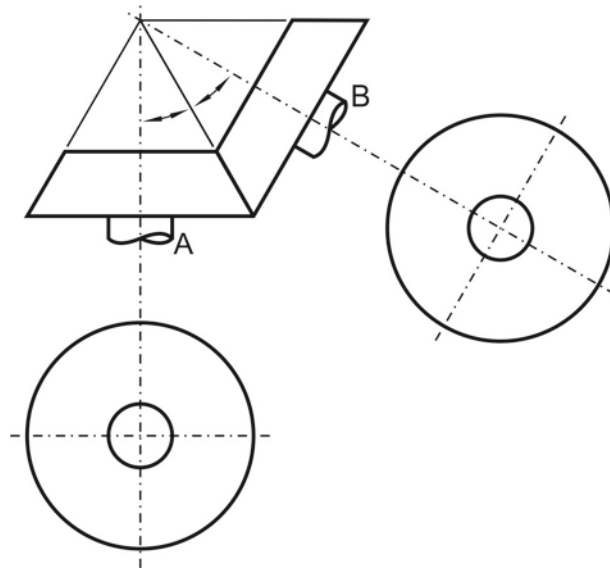


Σχήμα 6.2 : Περιστροφή κωνικών γραναζιών σε ορθή γωνία με διαφορετική ταχύτητα

Παρόμοιες συνθήκες εφαρμόζονται και στα μετωπικά γρανάζια. Αυτό εμφανίζεται στο σχήμα 6.2, όπου ο άξονας του κώνου Α θα κάνει δυο περιστροφές ενώ ο άξονας του κώνου Β θα κάνει μόνο μια. Για να γίνει αυτό η βάση του κώνου Β έχει τη διπλάσια διάμετρο της βάσης του κώνου Α.

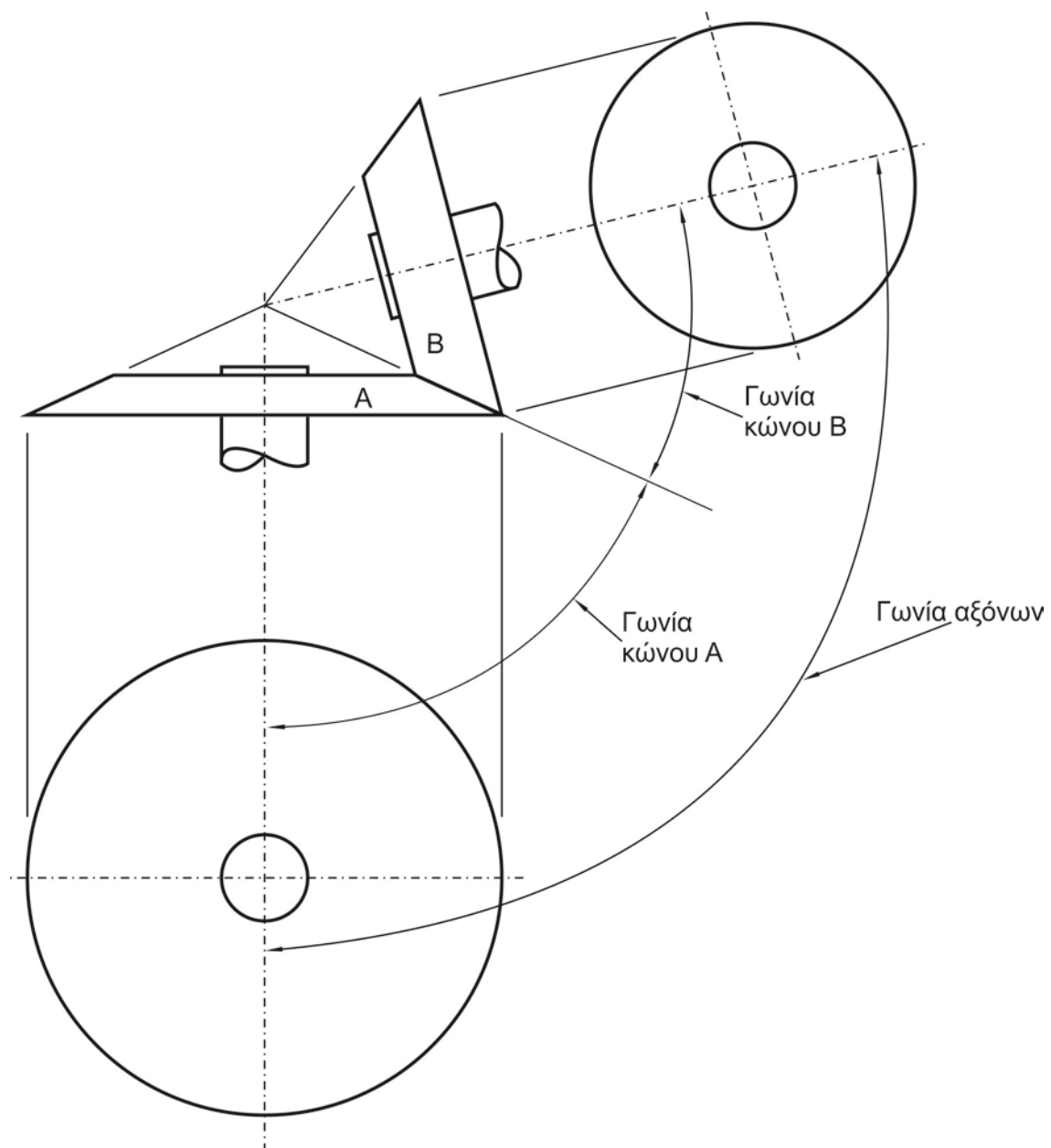
Αν και οι δυο κώνοι έχουν διαφορετικές διαμέτρους και γωνίες, οι τομές που λαμβάνονται σε οποιοδήποτε σημείο στον κώνο, όπως οι ΕΕ και FF και πάλι θα δώσει κύκλους επαφής, που θα έχουν ακριβώς την ίδια σχέση μετάδοσης όπως και οι βασικοί κύκλοι των κώνων. Έτσι και πάλι έχουμε την περίπτωση που οι επιφάνειες των δυο κώνων θα περιστραφούν μαζί χωρίς να ολισθαίνουν. Στα σχήμα 6.1 και 6.2 φαίνεται ότι η γραμμή που συνδέει τα κέντρα των κώνων είναι μια συνεχής ευθεία. Αυτό θα ισχύει πάντα με άξονες σε ορθή γωνία ανεξάρτητα από τις αναλογίες γραναζιών που επιλέχτηκαν. Όλα τα ανωτέρω ισχύουν μόνο όπου οι δυο κορυφές των κώνων και αξόνων τέμνονται.





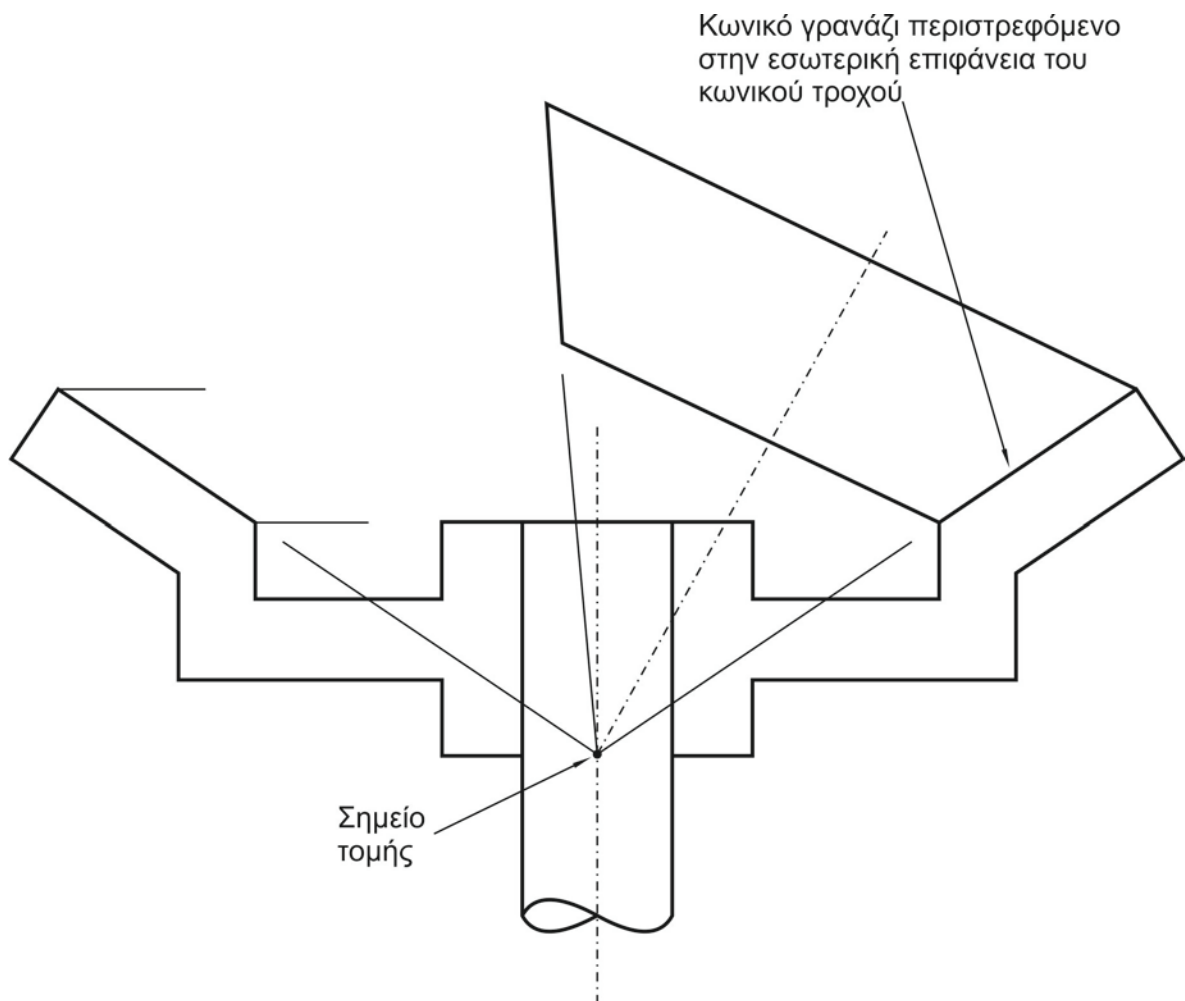
Σχήμα 6.3 : Περιστροφή κωνικών γραναζιών με διαφορετική ταχύτητα με τους άξονες σε οξεία γωνία

Οι μη ορθές γωνίες των αξόνων μπορεί να συνδυαστούν μαζί από τα κωνικά γρανάζια και να είναι εφαρμόσιμες οι αρχές που υπογραμμίστηκαν παραπάνω. Το σχήμα 6.3 απεικονίζει δυο άξονες σε μια γωνία μικρότερη των  $90^\circ$  που ενώνεται μαζί από ένα ζευγάρι κωνικών γραναζιών. Αν η ζητούμενη γωνία είναι μεγαλύτερη των  $90^\circ$  τότε η τροποποίηση του κώνου φαίνεται στο σχήμα 6.4. Αν οι δυο άξονες είναι να περιστραφούν στην ίδια ταχύτητα τότε οι κώνοι θα έχουν παρόμοιο μέγεθος (Σχήμα 6.3). Αν οι άξονες περιστρέφονται σε διαφορετικές ταχύτητες τότε ο ένας κώνος θα είναι μεγαλύτερος από τον άλλον (Σχήμα 6.4). Οι κύκλοι βάσης των κώνων είναι τοποθετημένοι στην ίδια αναλογία με την αντίστοιχη σχέση μετάδοσης ταχύτητας που απαιτείται, ακριβώς όπως για ορθή γωνία ατράκτου.



Σχήμα 6.4 : Παρουσίαση ενός ζεύγους κωνικών γραναζιών ανόμοιου μεγέθους με τους άξονες τους να βρίσκονται σε αμβλεία γωνία

Στη θεωρία είναι πιθανό να έχουμε κωνικά γρανάζια με εσωτερική οδόντωση όπου το εξωτερικό της επιφάνειας του κώνου του γραναζιού θα περιστραφεί σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του μεγαλύτερου τροχού. Αυτή η διάρθρωση ακόμη και στην σύγχρονη τεχνολογία όπου τα περίπλοκα σπειρώματα είναι διαθέσιμα, αποφεύγεται αν είναι δυνατό διότι δημιουργούνται προβλήματα από το «κόψιμο» των δοντιών στο εσωτερικό του κώνου. Το σχήμα 6.5 παρουσιάζει αυτή τη διευθέτηση.

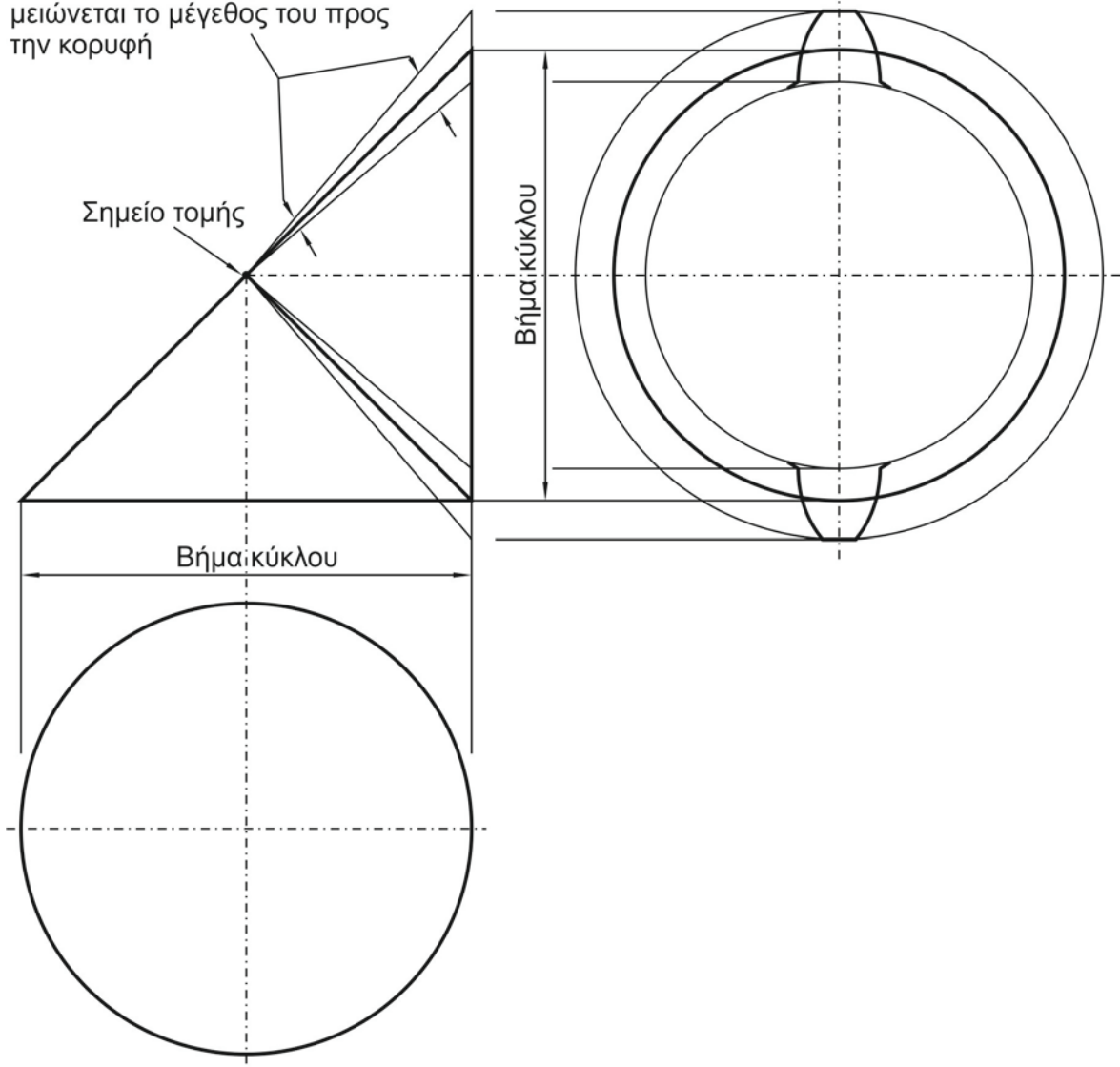


Σχήμα 6.5 : Η αρχή των κωνικών γραναζιών εσωτερικής οδόντωσης

### 6.1 Δόντια κωνικών οδοντοτροχών

Όλες οι προαναφερθείσες συνθήκες από τα προηγούμενα κεφάλαια για τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας δυο συνδεόμενων δίσκων θα εφαρμόζονται και στα κωνικά γρανάζια αφού διαμορφωθούν δόντια και γίνουν οδοντωτά γρανάζια. Όταν τα δόντια διαμορφωθούν τα τελικά κωνικά γρανάζια πρέπει να περιστρέφονται μαζί σαν ομαλές κωνικές επιφάνειες. Αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα καθώς και τα δυο, δόντια και διάκενα, πρέπει να είναι κωνικά και να ακολουθούν το σχήμα του τύπου επιφάνειας των κώνων. Όλες οι επιφάνειες των δοντιών, αν συνεχίζουν προς την κορυφή του κώνου, πρέπει να συναντώνται σε ένα σημείο. Το μέγεθος του δοντιού σε όλες τις εκδοχές δεν είναι σταθερό, ολόκληρη η μορφή του δοντιού αλλάζει συνεχώς και μειώνεται όσο το κέντρο του κώνου προσεγγίζεται (Σχήμα 6.6). Κάθε εκδοχή της επιφάνειας των όψεων των δοντιών, πλευρών και κορυφής και του κατώτατου σημείου πρέπει να είναι κωνικά.

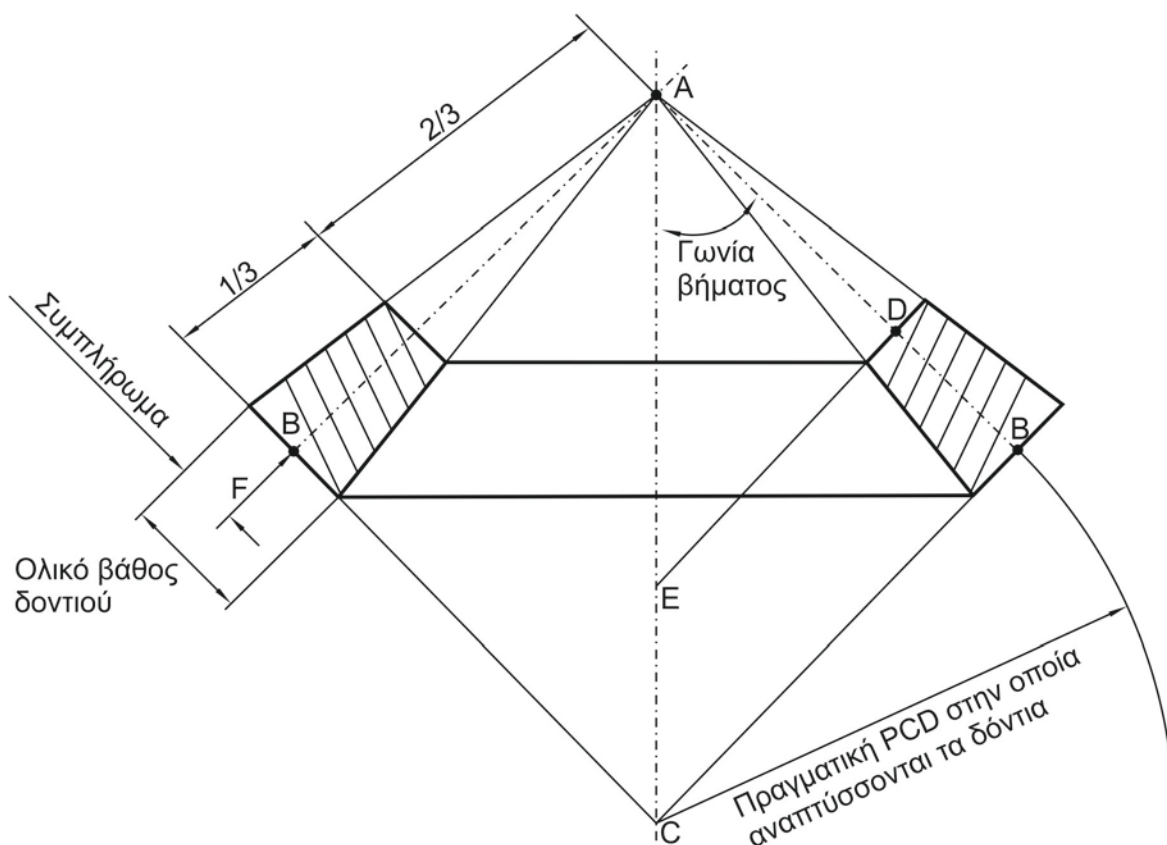
Σε ολόκληρο το ποφίλ του δοντιού  
μειώνεται το μέγεθος του προς  
την κορυφή



Σχήμα 6.6 : Αποδεικνύει πώς η μορφή ενός κωνικού δοντιού αλλάζει συνεχώς

Τα δόντια του κωνικού γραναζιού είναι σχεδόν πάντα μορφής με εξελεγμένη παρειά και έτσι το πραγματικό σχήμα εξελεγμένης παρειάς θα αλλάζει όσο η όψη του δοντιού κινείται κατά μήκος της κωνικής επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι ο κανονικός τύπος του κόπτη μορφής δεν θα δώσει το σωστό προφίλ του δοντιού, θα έδινε σωστό προφίλ σε ένα μόνο σημείο κατά μήκος του δοντιού. Εάν χρησιμοποιούνταν τα δόντια ομοιόμορφου τμήματος, παρόμοια των οδοντωτών γραναζιών ή και ακόμη η λανθασμένη κωνική γωνία έτσι ώστε τα δόντια να μην σταματήσουν σε ένα σημείο στην ευθεία διχοτόμησης των δυο αρχικών κώνων, τότε τα γρανάζια δεν θα δουλεύουν σωστά μαζί. Μπορεί να μην είναι δυνατό καν να συγχρονιστούν τα γρανάζια στις σωστές τους θέσεις. Αν εφαρμοστεί δύναμη για την περιστροφή αυτού του τύπου γραναζιού τότε τα δόντια αυτομάτως θα χωριστούν λόγω της πίεσης που δέχονται. Πρακτικά τα δόντια δεν συνεχίζονται μέχρι το σημείο της κορυφής διότι όσο προσεγγίζεται αυτό, τα δόντια γίνονται μικρότερα μέχρι να εξαφανιστούν. Μόνο για κάποιο συγκεκριμένο μήκος των δοντιών είναι χρήσιμο για την μετάδοση της ισχύος και αυτό είναι το μεγαλύτερο άκρο του κώνου. Δεν υπάρχει δεδομένο μήκος δοντιού αλλά συνήθως είναι περίπου το  $\frac{1}{3}$  του συνολικού μήκους του κώνου (Σχήμα 6.7). Για να δοθεί η σωστή επαφή κύλισης και να διατηρηθεί σταθερή ταχύτητα ανάμεσα στους δυο κώνους τα δόντια στα κωνικά γρανάζια διαμορφώνονται τηρούμενης της αρχής που περιγράφηκε στα οδοντωτά γρανάζια. Υπάρχει μια αξιοσημείωτη διαφορά, στα οδοντωτά γρανάζια τα

δόντια διαμορφώνονται στην πραγματική διάμετρο του κυλιόμενου κύκλου αλλά αυτό δεν ισχύει στα κωνικά γρανάζια. Αναφερόμενοι στο σχήμα 6.6 φαίνεται ότι τα δόντια δεν είναι σε απόλυτη παραλληλία προς τη βάση του αρχικού κώνου αλλά είναι πράγματι κάθετα στη κωνική επιφάνεια. Θα ήταν επομένως λάθος να αναπτυχθούν τα δόντια στην περιφέρεια του κυλιόμενου κύκλου του κώνου όσο αυτός ο κύκλος είναι κάθετος στις κορυφές του κώνου. Η καμπύλη εξελεγμένης παρειάς πρέπει να αναπτυχτεί από έναν κάθετο κύκλο σε μια κωνική επιφάνεια του κώνου. Στο σχήμα 6.6 το σχήμα των δοντιών που παρουσιάζεται στην τελευταία όψη δεν είναι αυτό το πραγματικό αλλά το σχήμα που φαίνεται κοιτάζοντας σε αντιστοιχία με τον άξονα του κώνου παρά κοιτάζοντας σε αντιστοιχία με την επιφάνεια. Αυτό γίνεται εμφανές στο σχήμα 6.7 όπου τα δόντια έχουν προστεθεί στον κώνο.



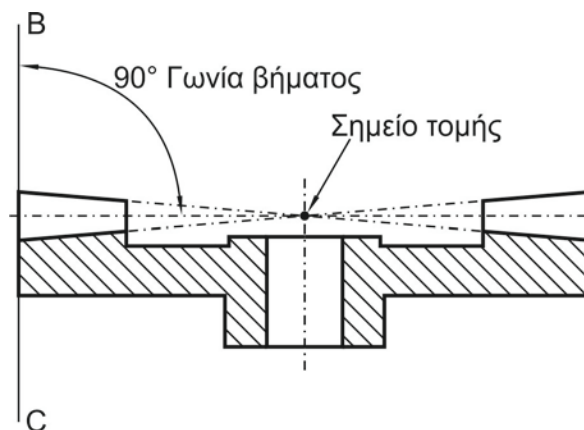
Σχήμα 6.7 : Αποδεικνύει πώς η μορφή ενός κωνικού δοντιού αλλάζει συνεχώς

Ο αρχικός κύκλος του κώνου φαίνεται στη γραμμή BB και η κορυφή είναι το σημείο A. Το μήκος του αρχικού κύκλου είναι η γραμμή BA, στην οποία τα δόντια προστέθηκαν και είναι σκιασμένα στο σχεδιάγραμμα, το πρόσωπο του δοντιού είναι πάνω από την γραμμή βήματος ενώ το πλευρό είναι κάτω. Και το πρόσωπο και το πλευρό του δοντιού, αν προβληθούν, θα συναντηθούν στην κορυφή. Τα δόντια διαμορφώθηκαν ακολουθώντας την φορά του βέλους F το οποίο βλέπει την επιφάνεια του αρχικού κώνου. Αν η γραμμή είναι σχεδιασμένη σε ορθή γωνία πάνω στον αρχικό κώνο και προβληθεί προς τα πίσω μέχρι να συναντήσει την κεντρική γραμμή του κώνου, θα δημιουργηθεί το σημείο C. Το μήκος της γραμμής BC είναι η ακτίνα της πραγματικής διαμέτρου του κυλιόμενου κύκλου πάνω στο οποίο αναπτύσσονται τα δόντια. Παρόμοιες ακμές, όπως η ED μπορούν να δημιουργηθούν από οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του δοντιού.

## 6.2 Σύστημα κορώνας και πηνίο

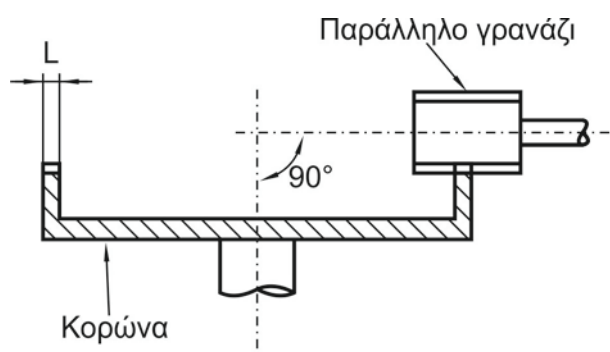
Ο όρος κορώνα και πηνίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ζευγάρι των κωνικών γραναζιών όπου το πηνίο είναι συγκριτικά μικρότερο από τον τροχό. Μια σχέση

μετάδοσης περίπου 4:1, θα οδηγούσε στην εμφάνιση μεγαλύτερου τροχού όταν τοποθετείται στο πλάι της σύζευξης με το πηνίο και μπορεί να χρήζουν τον όρο κορώνα και πηνίο. Η κορώνα είναι ένας ιδιαίτερος τύπος κωνικού γραναζιού όπου η γωνία βήματος έχει αυξηθεί σε  $90^\circ$ . Ακολουθώντας την μέθοδο που έχει αναφερθεί για να καθορίσουμε τη διάμετρο του πραγματικού κυλιόμενου κύκλου θα γίνει προφανές ότι η ευθεία BC (Σχήμα 6.7 και 6.8), δεν θα τέμνεται με την κεντρική ευθεία του κώνου, όπου αυτό σημαίνει ότι ο πραγματικός κυλιόμενος κύκλος είναι άπειρης διαμέτρου. Η κορώνα είναι επομένως ισοδύναμη του οδοντωτού κανόνα.



Σχήμα 6.8 : Σύστημα κορώνας

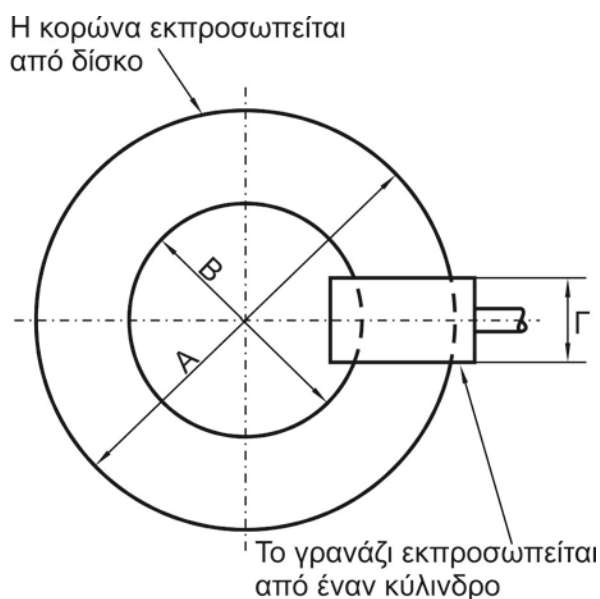
Στην περίπτωση του οδοντωτού κανόνα, η ευθεία γραμμή του κυλιόμενου κύκλου που δημιουργείται είναι εξελιγμένης παρειάς και γίνεται ευθεία γραμμή και η ίδια εφαρμόζεται στην κορώνα, τα δόντια έχουν ευθείες όψεις και πλευρά αλλά όλες οι μορφές του δοντιού πρέπει να συναντώνται στη κεντρική γραμμή του τροχού και ας μην υπάρχει κανείς κώνος. Το σχήμα 6.8 δείχνει μια κορώνα και πως τα δόντια έχουν μια κωνικότητα προς το κέντρο. Η κορώνα ή η θεωρία πίσω από αυτό χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ως η βάση του παραγωγικού συστήματος που χρησιμοποιείται στη παραγωγή του κωνικού γραναζιού. Συγκεκριμένα στους μηχανισμούς σαν τα ρολόγια ή σε άλλες μεταδόσεις με μικρές δυνάμεις, η «κορώνα» και ο «οδοντωτός τροχός» μπορούν να διαμορφωθούν όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.9.



Σχήμα 6.9 : Κορώνα και οδοντωτός τροχός

Τα δόντια του τροχού και του γραναζιού δεν είναι κωνικά αλλά παράλληλα σε όλο του το μήκος. Αυτό θεωρητικά δεν είναι σωστό και μόνο σε πρακτική βάση όπου το μήκος του δοντιού στη λεγόμενη κορώνα είναι το μικρότερο και η σχέση μετάδοσης μεταξύ των δυο γραναζιών είναι μεγάλη και επομένως δίνει μεγάλο τροχό και μικρότερο γρανάζι. Αναφερόμαστε στο σχήμα 6.10 για να γίνει κατανοητό το βασικό σφάλμα στη διάταξη. Εδώ τα δόντια των δυο γραναζιών έχουν αφαιρεθεί, ο τροχός παρουσιάζεται σαν ένας

επίπεδος δίσκος και το γρανάζι σαν ένας κύλινδρος. Το πηνίο έχει σταθερή διάμετρο και καθώς το άκρο είναι σε επαφή με τον τροχό στη διάμετρο A πρέπει να κινηθεί με την ίδια ταχύτητα καθώς το άλλο άκρο έρχεται σε επαφή με τη διάμετρο B του τροχού. Το γρανάζι θα προσπαθήσει να οδηγήσει τον τροχό στη διάμετρο A με ταχύτητα μεγαλύτερη από ότι μπορεί στη διάμετρο B. Αυτή η συνθήκη είναι αληθής σε οποιαδήποτε διάμετρο του τροχού ανάμεσα στην A και B που είναι σε επαφή με το γρανάζι. Αφού όλες οι διαμέτροι του τροχού πρέπει να περιστρέφονται στην ίδια ταχύτητα, μια δράση ολισθήσεως λαμβάνει χώρα ανάμεσα στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή. Εφόσον δεν υπάρχει ολίσθηση όταν τα δόντια προστίθενται στους δυο τροχούς, η όλη διάρθρωση δεν είναι πρακτική και μπορεί να συμβεί μοναχά μειώνοντας το μήκος του δοντιού L λίγο περισσότερο από το ανυψωμένο αυλάκι (Σχήμα 6.9).



Σχήμα 6.10 : Σύστημα κορώνας με οδοντωτό τροχό

Ο τροχός τότε είναι δυνατό μόνο να μεταδώσει μικρές ποσότητες ενέργειας ειδάλλως τα δόντια ραγδαία θα φθίνουν και θα αποτύχουν παντελώς.

### 6.3 Διάταξη ζεύγους κωνικών οδοντοτροχών

Είναι σίγουρο ότι το δέσιμο ή ο σχεδιασμός ενός ζευγαριού κωνικών γραναζιών δεν είναι απλή διαδικασία όσο ο σχεδιασμός του οδοντωτού γραναζιού, αλλά δεν είναι ιδιαίτερος δύσκολος αν ακολουθείται η σωστή διαδικασία. Στην περίπτωση των οδοντωτών γραναζιών που ενώνουν παράλληλα τα πλευρά, το μέγεθος των τροχών είναι περιορισμένο από την απόσταση ανάμεσα στα δυο κέντρα των αξόνων. Όταν οι άξονες είναι γωνιακοί αυτός ο περιοριστικός παράγοντας δεν συμβαίνει οπότε τα κωνικά γρανάζια μπορεί θεωρητικά να είναι οποιουδήποτε μεγέθους δίνοντας επομένως στον σχεδιαστή αξιοσημείωτο περιθώριο στην επιλογή μεγέθους των τροχών και επίσης τον αριθμό των δοντιών που θα χρησιμοποιηθεί. Ένα μεγάλο ζευγάρι μπορεί φυσικά να απαιτεί μεγαλύτερα και δυνατότερα δόντια από το επιλεγμένο ζευγάρι πάνω από την επιφάνεια των παραγόμενων κώνων. Πιθανώς ο καλύτερος τρόπος να παρουσιαστεί η μέθοδος επιλογής του πραγματικού σχήματος και μεγέθους για ένα ζευγάρι κωνικών γραναζιών είναι να δουλέψουμε όπως στο παρακάτω παράδειγμα.

Ας υποθέσουμε ότι ένα ζευγάρι αξόνων σε ορθή γωνία θα συνδεθεί με ζευγάρι γραναζιών. Οι άξονες θα έχουν σχέση μετάδοσης 2:1 και θα χρησιμοποιηθούν δόντια με διαμετρικό βήμα 20DP. Υπάρχει μια ευρεία επιλογή διαθέσιμη στην επιλογή του μεγέθους των γραναζιών αφού οποιαδήποτε δυο γρανάζια τα οποία έχουν έναν αριθμό δοντιών με



Τα δόντια μπορούν πια να σχεδιαστούν. Το ύψος του συμπληρώματος είναι 1 δια το DP, σε αυτή την περίπτωση έχουμε 1/20 ή 0.05, το συνολικό βάθος του δοντιού είναι το διπλάσιο, αν και δεν είναι απόλυτο αυτό αφού δεν φαίνεται να έχει «χάρη» αλλά είναι

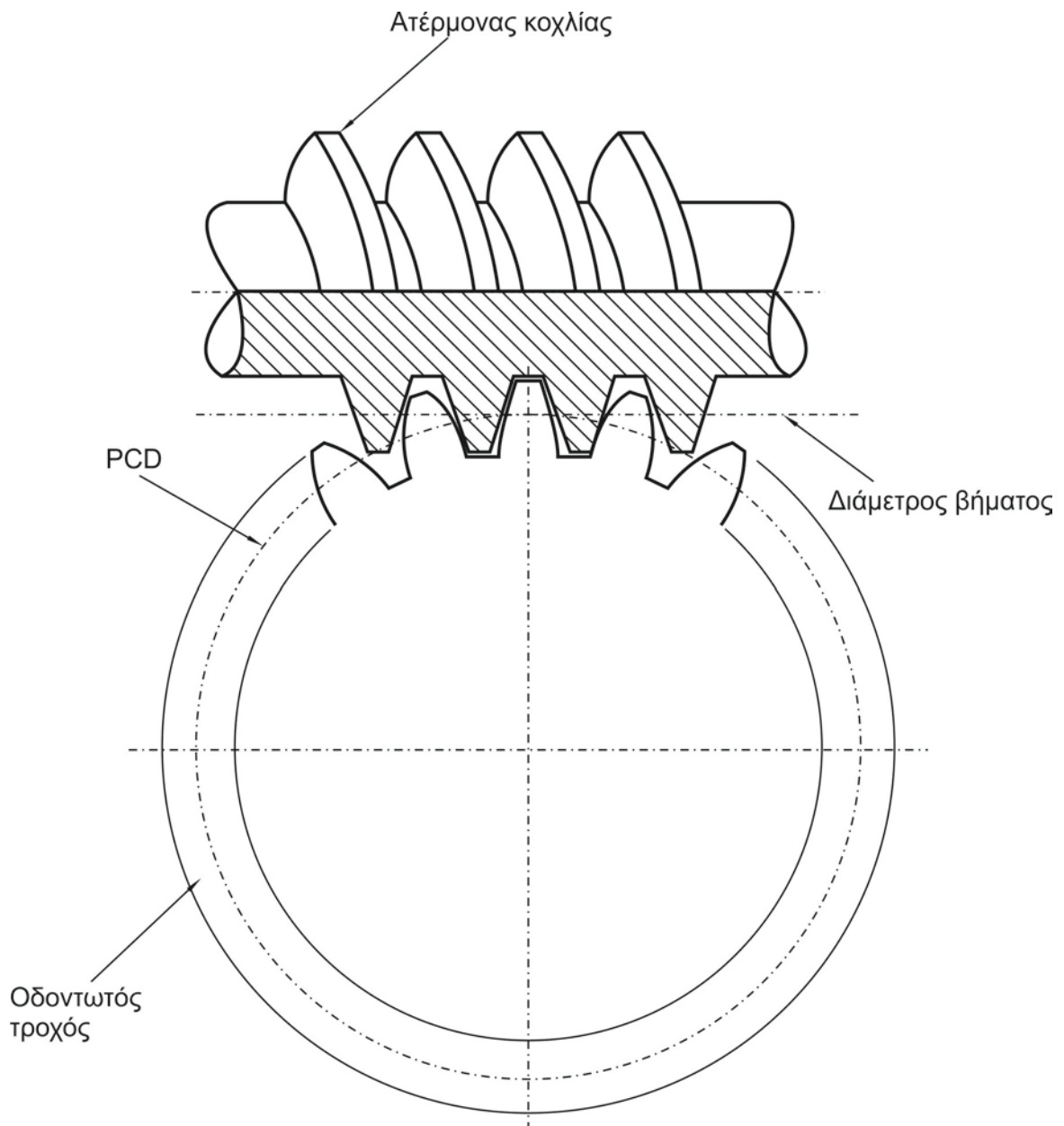


ικανοποιητικό από άποψη σχεδιασμού. Το μήκος των δοντιών θα επηρεαστεί από το φορτίο που έχουν να παραλάβουν και αυτό είναι θέμα του γενικού σχεδίου. Το περίγραμμα που φαίνεται στην απεικόνιση αντιπροσωπεύει ένα τυπικό σχήμα ενός κωνικού οδοντωτού τροχού.

## 7. ΑΤΕΡΜΟΝΑΣ ΚΟΧΛΙΑΣ

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτείται μια μεγάλη μείωση ταχυτήτων, για να γίνει αυτό μέσο γραναζιών θα απαιτούσε έναν μεγάλο αριθμό αξόνων και γραναζιών τα οποία όλα μαζί, με τα συνοδευτικά ρουλεμάν τους, θα οδηγούσε σε ένα δυσκίνητο και βαρύ κιβώτιο ταχυτήτων. Αν και θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτερο σημείο στην σχέση μετάδοσης που μπορεί να αποκτηθεί από ένα μετωπικό οδοντωτό τροχό και ένα κωνικό οδοντωτό τροχό, πρακτικά ο τροχός σύντομα γίνεται πολύ μεγάλος για να γίνει αποδεκτός στο κενό χώρο που διαθέτει ένα πλήρες κιβώτιο ταχυτήτων. Δεν είναι σύνηθες να έχουμε έναν κωνικό οδοντωτό τροχό με πολύ λιγότερα από 20 δόντια, έτσι για να αποκτήσουν ακόμη και μια μέτρια σχέση μετάδοσης 5:1 θα απαιτούσε έναν τροχό να έχει 100 δόντια και αυτό θα ήταν υπερβολικά μεγάλο γρανάζι για να γίνει αποδεκτό. Σ' αυτή την περίπτωση ένας περεταίρω άξονας πρέπει να εισαχθεί και να χρησιμοποιηθούν δυο ακόμη γρανάζια, ένα ζευγάρι με σχέση μετάδοσης, ας πούμε  $2\frac{1}{2}:1$  και το άλλο ζευγάρι σχέση μετάδοσης 2:1. Το σύστημα μετάδοσης πρέπει να συνδυάζεται με δυο από τα γρανάζια ασφαλισμένα σε έναν άξονα, η σύνθεση αυτή θα εξηγηθεί αργότερα όταν θα μιλήσουμε για τόνους. Αυτό δείχνει ότι θα δημιουργηθούν αξιοσημείωτα προβλήματα αν τα οδοντωτά γρανάζια χρησιμοποιηθούν για να παράγουν σχέση μεταδόσεως 60:1. Τα οδοντωτά γρανάζια δεν είναι κατάλληλα για μειώσεις τέτοιου μεγέθους, έτσι κάποια άλλη μορφή σχέσης μετάδοσης θα χρειαστεί και η λύση είναι να χρησιμοποιηθεί ένας ατέρμονας κοχλίας. Με τον ατέρμονα κοχλία η σχέση μετάδοσης 60:1 ή ακόμη μεγαλύτερη αν απαιτείται, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με δυο γρανάζια, έναν ατέρμονα και μια κορώνα. Με τα οδοντωτά γρανάζια κάθε τροχός του ζευγαριού θα δείχνει παρόμοιος με τον άλλον, η μόνη διαφορά θα είναι στο μέγεθος και είναι πιθανόν για κάθε γρανάζι να οδηγεί ή να οδηγείται από άλλο.

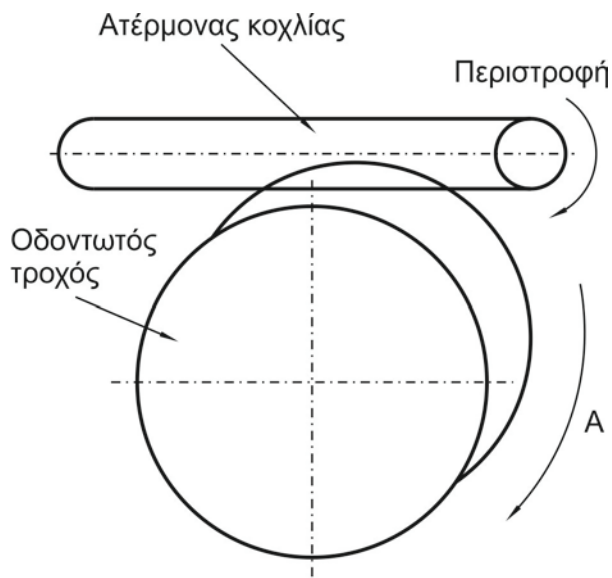
Με ατέρμονες κοχλίες τα δυο αυτά γρανάζια σε καμία περίπτωση δεν θα έχουν όμοια εμφάνιση και παρόλο που ο ατέρμονας μπορεί συνήθως να είναι ο οδηγός, στις περισσότερες περιπτώσεις ο ατέρμονας δεν μπορεί να οδηγείται από την κορώνα. Ένας ατέρμονας κι ένας τροχός φαίνονται σε διάγραμμα στο σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1 : Ατέρμονας κοχλίας με οδοντωτό τροχό

Ο ατέρμονας, που είναι οδηγός, είναι βασικά ένας κοχλίας με σπείρωμα το οποίο συνδέεται με τα δόντια στην περιφέρεια του τροχού. Η κορώνα επομένως είναι ένα γρανάζι και μοιάζει σε οδοντωτό τροχό στην εμφάνιση. Αν ο τροχός ήταν ακίνητος έτσι ώστε να μην περιστρέφεται, τότε ενώ ο ατέρμονας θα περιστρεφόταν θα κινείτο κατά μήκος της ευθείας του άξονος του με παρόμοιο τρόπο όπως η βίδα γύρο από ένα περικόχλιο. Πράγματι τα δόντια της κορώνας θα δρούσαν με παρόμοιο τρόπο όπως το σπείρωμα ενός περικοχλίου. Ο ατέρμονας θα κινείτο είτε μπροστά είτε πίσω αναλόγως από το αν θα κινείτο με τη φορά των δεικτών του ρολογιού ή αντίθετα. Αν ο ατέρμονας είχε αποτραπεί από αξονική μετακίνηση και ο τροχός θα ήταν ελεύθερος να περιστραφεί στα ρουλεμάν του τότε όσο ο ατέρμονας περιστρέφεται, αφού δεν μπορεί να κινείται αξονικά, η κίνηση θα μεταδίδεται στον τροχό και έτσι ο τροχός τώρα πια θα περιστραφεί. Αν η κατεύθυνση της περιστροφής του ατέρμονα αντιστραφεί, τότε η κατεύθυνση του τροχού επίσης θα αντιστραφεί. Η περιστροφή του ατέρμονα και του άξονα του θα μεταδοθεί στον τροχό και επομένως στον άξονα του τροχού (Σχήμα 7.1).

Για να γίνει αντιληπτό αυτό κατά την σχεδίαση, το ζευγάρι των γραναζιών μπορεί να θεωρηθεί ως ζευγάρι περιστρεφόμενων κυλιόμενων κύκλων. Είναι το ίδιο όπως με τους ατέρμονες κοχλίες αλλά με μια διαφορά: οι κυλιόμενοι κύκλοι ή οι κυλιόμενες επιφάνειες των οδοντωτών γραναζιών θα ρολάρουν μαζί και θεωρητικά θα έχουμε μετάδοση ταχύτητας μέσω της τριβής, αλλά αυτό δεν ισχύει τόσο με τη μετάδοση με ατέρμονα κοχλία. Το σχήμα 7.2 απεικονίζει έναν ατέρμονα κι ένα τροχό ενώ έρχονται σε επαφή οι κυλιόμενες επιφάνειες τους.



Σχήμα 7.2 : Ατέρμονας κοχλίας με οδοντωτό τροχό

Ο ατέρμονας θα επιχειρήσει να κινηθεί πάνω από την επιφάνεια του τροχού παράλληλα προς τον άξονα του τροχού αλλά από τη στιγμή που θα αποτραπεί η κίνηση αυτή από τα ρουλεμάν του ατέρμονα, οι δυο εφαιπτόμενες επιφάνειες θα έχουν τριβή ή θα αλέθονται μεταξύ τους και θα προκαλέσει υπέρμετρη τριβή. Αντιθέτως, αν ο δίσκος του τροχού περιστρέφεται, όλη η ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί στην γραμμή του άξονα του ατέρμονα και πάλι δίχως συνέπειες που να παραχθούν ή να μεταδοθούν στον ατέρμονα.

Προκειμένου να ληφθεί μια περιστροφική κίνηση, τα δόντια θα πρέπει να εφαρμοστούν και στον ατέρμονα και στον τροχό σε μια γωνία στην κορυφή των αξόνων έτσι ώστε να ολισθαίνουν μεταξύ τους. Τα δόντια πάνω στον ατέρμονα λαμβάνονται παρέχοντας την επιφάνεια του με ένα σπείρωμα και τα δόντια της κορώνας, που πρέπει να είναι στην ίδια μορφή όπως και το σπείρωμα, πρέπει να είναι υπό γωνία πάνω στον τροχό, στη γωνία ελίκωσης, αλλιώς όταν γίνει η σύνδεση του σπειρώματος και του δοντιού, οι δυο άξονες των γραναζιών δεν θα είναι σε ορθή γωνία μεταξύ τους. Το ποσό της περιστροφής που αποδίδεται στην κορώνα για κάθε περιστροφή του ατέρμονα θα εξαρτάται από το βήμα του σπειρώματος. Ένα πιο πυκνό βήμα θα απαιτεί τα δόντια πάνω στην κορώνα να γίνουν μεγαλύτερα, αφού είναι απαραίτητη η μορφή του σπειρώματος του ατέρμονα να είναι παρόμοια με το σχήμα του δοντιού πάνω στην κορώνα. Αυξάνοντας το βήμα δεν είναι επόμενο ότι θα αλλάξει η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στον ατέρμονα και στην κορώνα, ο τροχός θα κινεί μόνο ένα δόντι για κάθε περιστροφή του ατέρμονα. Έτσι μπορεί να παρατηρηθεί ότι η σχέση μετάδοσης του ατέρμονα και της κορώνας καθορίζεται από τον αριθμό των δοντιών πάνω στον τροχό. Αν η κορώνα έχει 40 δόντια τότε ο ατέρμονας θα πρέπει να κάνει 40 περιστροφές για να κάνει ο τροχός μια πλήρη περιστροφή. Τώρα παρατηρείται από τα ανωτέρω ότι η διάμετρος του ατέρμονα δεν έχει καθόλου σχέση με την σχέση μετάδοσης των γραναζιών, δεδομένου ότι το βήμα του σπειρώματος δεν είναι συνάρτηση της διαμέτρου της. Αυξάνοντας την διάμετρο του ατέρμονα αυτό που θα επιτύχουμε είναι να μειώσουμε την γωνία ελίκωσης του

σπειρώματος και η μόνη συνέπεια πάνω στον τροχό θα είναι να μειωθεί η γωνία των δοντιών σχετικά με τον άξονα του τροχού.

Είναι δυνατό να διαφοροποιηθεί η σχέση μετάδοσης τοποθετώντας περισσότερα από ένα σπειρώματα στον ατέρμονα. Για παράδειγμα, αν το βήμα της βίδας είναι  $1/8$  της ίντσας και ο τροχός έχει αρχική περιφέρεια κύκλου 3 ίντσες, ο τροχός θα έπρεπε να έχει 24 δόντια σε  $1/8$  της ίντσας κυκλικού βήματος δίνοντας μια σχέση μετάδοσης γραναζιού 24:1. Αν το βήμα της βίδας αυξηθεί σε  $1/4$  της ίντσας και η αρχική περιφέρεια κύκλου του τροχού παραμένει το ίδιο, θα υπάρχουν 12 δόντια πάνω στον τροχό και έτσι η σχέση μετάδοσης θα είναι τώρα 12:1. Υποθετικά, αν ο αριθμός των δοντιών του τροχού δεν άλλαζε αλλά παρέμενε στα 24 δόντια, τότε σε  $1/4$  της ίντσας το βήμα του ατέρμονα δεν θα συνδεόταν με κάθε δόντι της κορώνας αλλά τα δόντια θα εναλλάσσονταν, χρησιμοποιώντας την ίδια σχέση μετάδοσης, στο μισό, δηλαδή αντί για 24:1 σε 12:1. Πρακτικά το αποτέλεσμα της διάρθρωσης θα σήμαινε ότι μόνο το μισό του δοντιού πάνω στον τροχό που χρησιμοποιούνταν και μόνο το βήμα, και όχι το μέγεθος του σπειρώματος, που έχει διαφοροποιηθεί, θα ήταν ένα κενό ανάμεσα σε κάθε σπείρα πάνω στο ατέρμονα. Τώρα, αν το κενό ήταν να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει σπείρα σε όλες τις εκδοχές παρόμοιο με την αρχική σπείρα, αυτή η δεύτερη σπείρα θα ήταν μισή στροφή εκτός φάσης σε σχέση με την αρχική και αν ο τελικός ατέρμονας πακτωνόταν στην μια του άκρη τα σπειρώματα θα είχαν δυο σημεία εκκίνησης, το ένα διαμετρικά αντίθετο προς το άλλο.

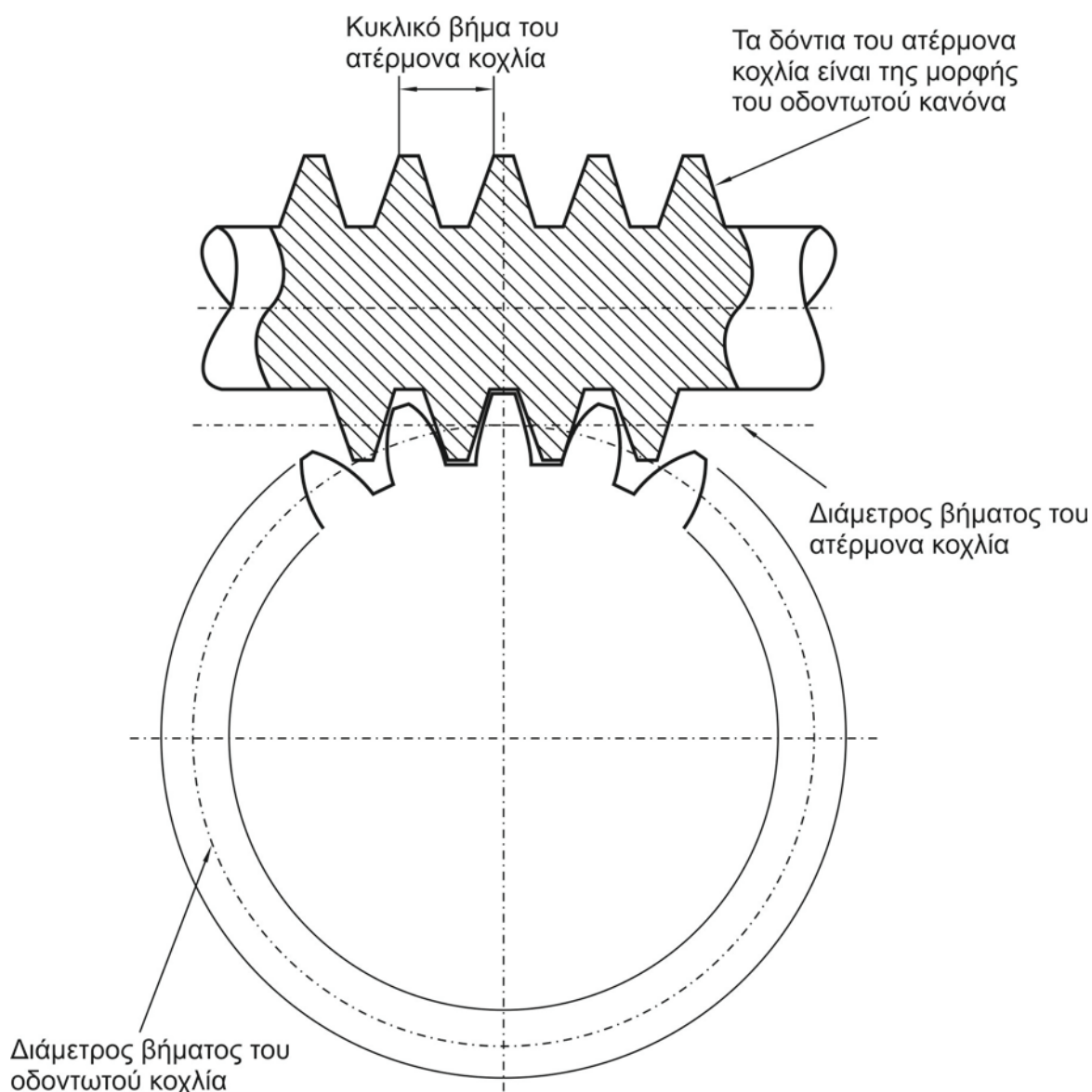
Αυτός ο τύπος σπειρώματος αναφέρεται ως διπλής εκκίνησης σπείρωμα και αυτό το δεύτερο σπείρωμα θα συνδεθεί πια με τα δόντια του γραναζιού που το πρώτο σπείρωμα δεν χρησιμοποιεί και έτσι και τα 24 δόντια του τροχού πλέον χρησιμοποιούνται. Καθώς κάθε σπείρωμα συνδέεται με τα εναλλασσόμενα δόντια η σχέση μετάδοσης θα είναι 12:1 και όχι 24:1. Είναι πιθανό για το σπείρωμα του ατέρμονα να έχει περισσότερες από δυο εκκινήσεις, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ξανά την αρχική κορώνα των 24 δοντιών και το βήμα του ατέρμονα αυξανόταν στη μισή ίντσας θα είχε 4 εκκινήσεις και η σχέση μετάδοσης του γραναζιού θα είναι πια 6:1.

Όταν παρατηρούμε ένα σπείρωμα πολλαπλών εκκινήσεων, υπολογίζοντας την απόσταση μεταξύ μιας σπείρας και της επόμενης, αυτό θα δώσει το βήμα του σπειρώματος, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι αυτή η ποσότητα όπου αυτή η σπείρα θα κινηθεί κάνοντας μια περιστροφή. Αν το σπείρωμα είναι διπλής εκκίνησης τότε η αξονική μετατόπιση που έγινε σε μια στροφή της βίδας θα είναι διπλάσιο του βήματος. Αν είναι τριπλής εκκίνησης τότε η μετατόπιση θα είναι τριπλάσιο του βήματος και ούτω κάθε εξής. Όταν πραγματευόμαστε πολλαπλής εκκίνησης σπειρώματα είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί η σωστή ονοματολογία. Το βήμα είναι η απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο σε μια σπείρα και σε ένα παρόμοιο σημείο στην επόμενη σπείρας αλλά η απόσταση που διανύεται κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής της βίδας αποκαλείται βήμα ελίκωσης. Το βήμα ελίκωσης είναι επομένως το βήμα πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των εκκινήσεων του σπειρώματος.

## 7.1 Σχήματα οδοντώσεων ατέρμονα – κορώνας

Έχει παρατηρηθεί όταν συζητήσαμε για τα οδοντωτά γρανάζια ότι το σχήμα των δοντιών είναι μεγάλης σημασίας. Αυτό είναι αληθές για όλες τις μορφές γραναζιών και ο ατέρμονας και η κορώνα δεν αποτελούν εξαίρεση. Το σχήμα 7.3 δείχνει έναν ατέρμονα και μια κορώνα σε τομή να διαγράφεται τροχιά γύρο από το κέντρο του ατέρμονα. Τα δόντια του ατέρμονα και της κορώνας μπορούν να παρατηρηθούν ως τα δόντια ενός οδοντωτού κανόνα και οδοντωτό τροχό και οι κανόνες που διέπουν τα σχήματα των δοντιών του οδοντωτού κανόνα και του οδοντωτού τροχού θα εφαρμοστούν στα δόντια του ατέρμονα και της κορώνας. Αν χρησιμοποιείται το εξελιγμένο σύστημα τότε το σπείρωμα του κοχλία θα έχει ίσιες πλευρές με γωνία ίση με τη γωνία εμπλοκής. Το κυκλοειδές σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αλλά το καμπυλωτό σχήμα του κυκλοειδούς οδοντωτού κανόνα θα πρέπει να αναπαραχθεί στο σχήμα του σπειρώματος του ατέρμονα. Το σχήμα

εξελιγμένης παρειάς είναι συνήθως αυτό που χρησιμοποιείτε αφού είναι ευκολότερο να παραχθεί ένας ατέρμονας με ευθέως πλαισιωμένα δόντια.

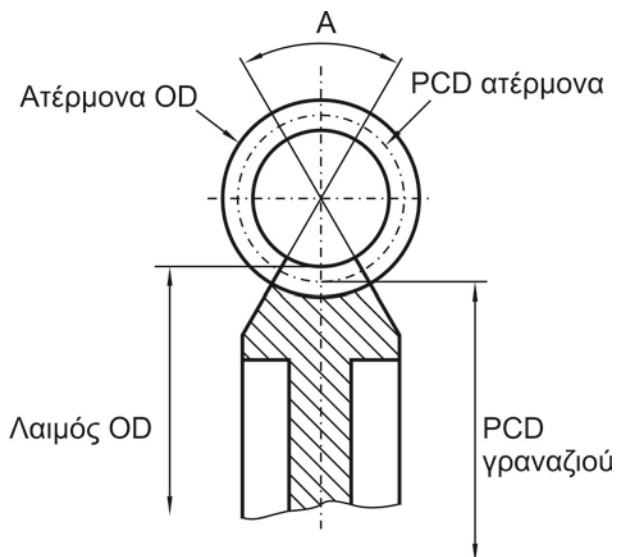


Σχήμα 7.3 : Ατέρμονας κοχλίας και οδοντωτός κοχλίας σε τομή

Ο ατέρμονας και ο τροχός θα δουλέψουν επίσης ικανοποιητικά αν ο ατέρμονας είναι σε μορφή συνήθους σπειρώματος αφού χρησιμοποιείται για περικόχλια. Φυσικά, ο ατέρμονας κοχλίας πρέπει να έχει φτιαχτεί με δόντια για να αντιστοιχεί το επιλεγμένο σπείρωμα. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο για ερασιτέχνες κατασκευαστές αφού η πιο δύσκολη λειτουργία στο να φτιάξουμε έναν ατέρμονα και μια κορώνα στο ερασιτεχνικό εργαστήριο είναι η παραγωγή της προεξοχής (κοχλιοειδής φρέζα) που πραγματικά κόβει τα δόντια στον τροχό. Αυτή η μέθοδος θα εξηγηθεί με λεπτομέρειες αργότερα. Μια ορθά σχηματισμένη κορώνα θα έχει τις περιφερικές όψεις της «προς τα έξω» για να ταιριάζει στην ακτίνα του ατέρμονα, αυτό φαίνεται στο σχήμα 7.4. Ένας τροχός έτσι σχηματισμένος ακολουθεί την πραγματική μορφή του σπειρώματος του ατέρμονα κοχλίας πάνω σε όλο το πλάτος της κορώνας. Πρακτικά, δεν χρησιμοποιείται ολόκληρο το πλάτος της κορώνας αφού οι γωνίες έχουν την τάση να είναι αδύναμες, επίσης μπορεί να μην ταιριάζουν ακριβώς στον ατέρμονα. Οι γωνίες επομένως αποσύρονται μέσω της λοξότμησης. Η λοξότμηση φαίνεται στο σχήμα 7.4 ως μια γωνία  $60^\circ$  και αυτή η γωνία συνήθως

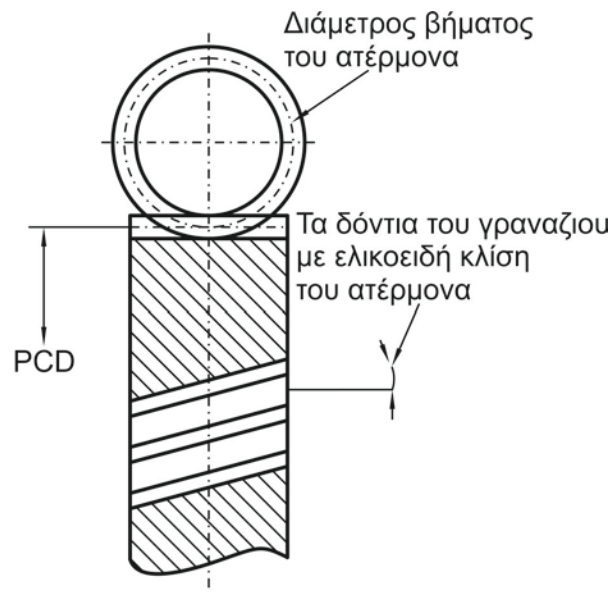
αποκαλείται ως γωνιάς όψης. Οι  $60^\circ$  γωνία θεωρείται ότι δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, αν και δεν είναι υποχρεωτικό και μπορεί να ποικίλουν.

Ένας ατέρμονας και ένας τροχός που ακολουθούν την ανωτέρω διαμόρφωση θα είναι ικανά για μεγάλου προσδόκιμου και υψηλών καθηκόντων όπου είναι το προτιμώμενο προφίλ όταν είναι υψηλή η απαιτούμενη ενέργεια μετάδοσης. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι εύκολη η παραγωγή διότι οι τροχοί πρέπει να φρεζαριστούν μεμονωμένα και το κοχλιοειδές φρεζάρισμα είναι από μόνο του τόσο πολύπλοκα σχηματισμένο που πρέπει να παραχθεί με ειδικό εξοπλισμό.



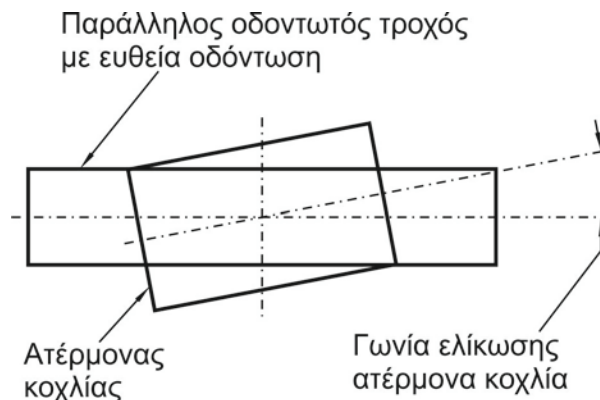
Σχήμα 7.4 : Μια ορθά σχηματισμένη κορώνα

Όπου η μετάδοση ισχύος δεν κοστίζει ή όπου τα καθήκοντα που θα εκτελεσθούν είναι διακοπτόμενα, το προφίλ της κορώνας μπορεί να απλουστευθεί. Αντί της μορφής του καμπυλωτού δοντιού η όψη της κορώνας μπορεί να είναι επίπεδη, όμοια με αυτή του οδοντωτού γραναζιού. Για να διατηρηθεί η κορυφή των δυο εξαρτημάτων σε ορθή γωνία τα δόντια της κορώνας πρέπει να είναι γωνιακά ή κομμένα πάνω στην κλίση. Αυτή η γωνία, που είναι μέρος του έλικα, πρέπει φυσιολογικά να αντιστοιχεί στην γωνία του έλικα του ατέρμονα και αυτή η διάρθρωση φαίνεται στο σχήμα 7.5.



Σχήμα 7.5 : Δόντια κορώνας κομμένα υπό κλίση

Μπορεί να φανεί από την απεικόνιση ότι τα δόντια του τροχού δεν ακολουθούν το προφίλ του ατέρμονα και συνεπώς δεν έχουν την ίδια δύναμη και τα χαρακτηριστικά φθοράς του μορφοποιημένου ή του ατέρμονα κοχλίας που έχει σχηματίσει λαιμό. Αν δεν είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό του σχεδίου το ότι η κορυφή και του ατέρμονα και της κορώνας να είναι σε ορθή γωνία, τότε είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί ένα συνηθισμένο ευθύ δόντι οδοντωτού γραναζιού ως κορώνα. Η γωνία κλίσης θα είναι η γωνία ελίκωσης του ατέρμονα στην γραμμή βήματος του. Αυτό φαίνεται στο [σχήμα 7.6](#).



Σχήμα 7.6 : Γωνία κλίσης

Υπάρχουν περιπτώσεις, ειδικότερα για τους ερασιτέχνες σχεδιαστές και κατασκευαστές εργαλείων, όπου το χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος, για παράδειγμα, στο σχεδιασμό διαιρούμενης κεφαλής ή περιστρεφόμενου τραπεζιού. Οι ατέρμονες κοχλίες δεν έχουν γενικά αποδοτικότητα, παρά την τόση προσπάθεια που κάνουν στον ατέρμονα άξονα, χάνεται εξ αιτίας της τριβής και κατά την παράγωγή υψηλού φορτίου. Γι' αυτό το λόγο, όταν θα χρησιμοποιούνται οι ατέρμονες κοχλίες για μετάδοση ισχύος, πρέπει να χρησιμοποιηθούν έδρανα στήριξης και ολόκληρη η μονάδα εσωκλείεται στο δοχείο λαδιού «Κάρτερ». Αυτό δεν παρέχει μόνο την σταθερή λίπανση αλλά επίσης βοηθά στην εξάλειψη της θερμότητας που προκαλεί η τριβή. Η διάμετρος του ατέρμονα επηρεάζει την συνολική αποδοτικότητα: όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του ατέρμονα τόσο μικρότερη θα είναι η ελικοειδής γωνία του και τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι δυνάμεις



τριβής με αποτέλεσμα τη χαμηλότερη απόδοση. Η διάμετρος του ατέρμονα πρέπει επομένως να είναι αρκετά μικρή ώστε να είναι πρακτική, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος και στα δυο, ατέρμονα και ρουλεμάν. Όλα τα μηχανολογικά σχέδια αποτελούν ένα συμβιβασμό και το κιβώτιο ταχυτήτων σίγουρα δεν αποτελεί την εξαίρεση.

Όπως έχει ειπωθεί η μετάδοση ταχύτητας δια μέσο ατέρμονα κοχλία δεν είναι συνήθως αμοιβαία, αν και αυτό συμβαίνει γιατί ο ατέρμονας κοχλίας οδηγεί πάντα την κορώνα δεν συμβαίνει το αντίθετο, ότι το γρανάζι κατασκευάζεται για να οδηγεί τον ατέρμονα. Αν το βήμα ελίκωσης είναι μικρό έτσι θα είναι και η ελικοειδής γωνία και οποιαδήποτε προσπάθεια να οδηγείται ο ατέρμονας από τον τροχό θα έδινε την καταστροφή της μονάδας. Όσο μεγαλύτερο το βήμα ελίκωσης τόσο αυξημένη και η πιθανότητα το γρανάζι να είναι αντιστρέψιμο. Η αντιστρεψιμότητα έχει μικρές συνέπειες αφού εφαρμόζεται σε ειδικές περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητό γνώρισμα και τότε απαιτείται η σχέση μετάδοσης να είναι σχετικά μικρή.

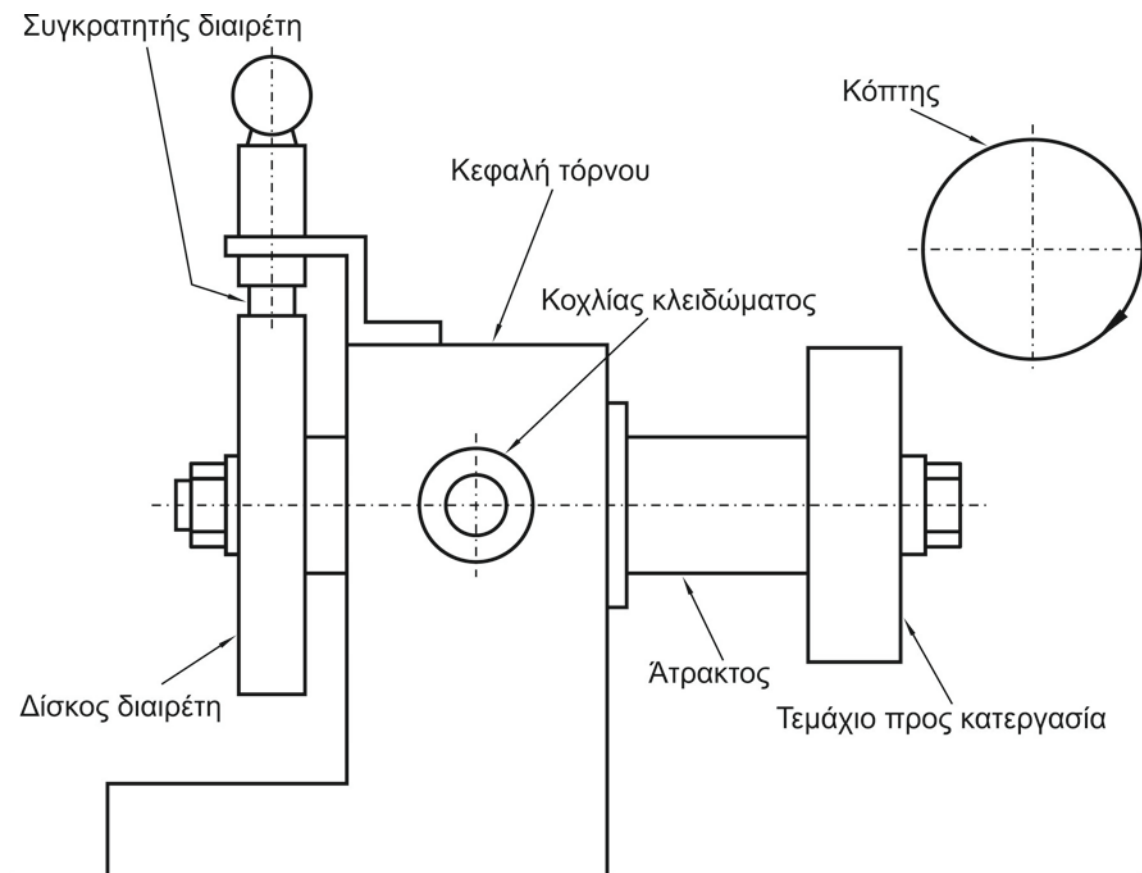
Αν και οι πραγματικές αναλογίες του ατέρμονα κοχλία μπορεί να ποικίλουν ελαφρώς, είναι σημαντικό να διατηρείται συχνή ενημέρωση από τα τεχνικά βιβλία στο θέμα αφού αυτά έχουν στηριχτεί σε πολύχρονη πρακτική εμπειρία. Οι αναλογίες συνήθως δίνονται με όρους του γράμματος P, όπου το P είναι το περιφερικό βήμα των δοντιών του ατέρμονα. Το πάχος των δοντιών στην γραμμή βήματος είναι  $48P$  (αυτό επιτρέπεται για ένα μικρό διάκενο μεταξύ των συνδεδεμένων δοντιών). Το ύψος εκτός της γραμμής βήματος είναι  $0.3 P$  ενώ το βάθος κάτω από αυτή θα είναι  $0.4 P$ . Υπάρχει αξιοσημείωτο όρισμα για το μήκος του ατέρμονα, αλλά τα  $4 P$  θα δίνει καλές αναλογίες στον ατέρμονα. Το πλάτος δοντιού του τροχού μπορεί να ποικίλει ανάμεσα σε  $1.5 P$  μέχρι  $2.5 P$ . Δεν είναι απαραίτητο να κρατηθούν αυτά τα μεγέθη αλλά αν γίνει αυτό τότε θα οδηγήσει σε μια μονάδα καλών αναλογιών και η αίσθηση στη σχέση μετάδοσης είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιαστή. Ενώ ο ατέρμονας κοχλίας όντως υποφέρει (έχει ψεγάδια), από υψηλές τριβές που μπορεί να οδηγήσουν σε ραγδαία αδυναμία, προτείνεται να χρησιμοποιούνται κατάλληλα υλικά για τα συντιθέμενα μέρη. Τα ακόλουθα υλικά έχουν τον στόχο οδηγού:

- 1) Ατέρμονας μαλακού χάλυβα και κορώνα χυτοσίδηρου
  - 2) Ατέρμονας μαλακού χάλυβα και φώσφορο-χάλκινη κορώνα
  - 3) Ατέρμονας σκληρού χάλυβα και φώσφορο-χάλκινη κορώνα
- Το ιδανικό είναι πιθανόν ένα επιφανειακά σκληρυμένο και ατσάλινες βάσης ατέρμονα.

## 8. ΔΙΑΙΡΕΤΗΣ

Ένας από τους κύριους σύμμαχους του συστήματος κατεργασίας που απαιτείται για την κοπή των γραναζιών είναι η μέθοδος ορθής κατανομής των δοντιών. Υπάρχει ένα μικρό σημείο στην ικανότητα κοπής των δοντιών του γραναζιού στο απαιτούμενο προφίλ για την απόδοση ομαλής και ίσως ενεργειακής μετάδοσης αν τα δόντια των γραναζιών δεν είναι σωστά καταχωρημένα. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται για να δώσει το σωστό χώρο είναι η διαίρεση κεφαλής. Αποτελείται από μια κεφαλή σε έναν άξονα που φέρει κάποια μέσα συγκράτησης για το κομμάτι, ενώ στο άλλο άκρο θα υπάρξει μια μέθοδο που επιτρέπει τον άξονα για να μετακινηθεί μέσα από μια συγκεκριμένη και προκαθορισμένη γωνία και στη συνέχεια κλειδώνει στη θέση αυτή.

Οι διαιρούμενες κεφαλές μπορούν να διαχωριστούν σε δυο τύπους, την απλή άμεση κεφαλή τμήματος και το πιο περίπλοκο ατέρμονας και δισκοειδή κεφαλή. Η απλή άμεση κεφαλή παρουσιάζεται στο σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1 : Απλή και άμεση διαίρεση με διαιρέτη

Εδώ έχουμε μια κεφαλή υπό γωνία, η μια βάση της οποίας είναι βιδωμένη επάνω στο τραπέζι εργασίας της φρέζας ή του τόννου, η άλλη κάθετη στην άτρακτο. Το γρανάζι που είναι να κοπεί ασφαλίζεται στην άτρακτο με τη βοήθεια ενός περικοχλίου σύσφιξης και στο άλλο άκρο, πάλι ασφαλώς τοποθετημένο, είναι ένα εργαλείο έλεγχου και συγκράτησης. Το κύριο γρανάζι χρησιμοποιείται για να αντιγράφει ή να δημιουργεί κενά ανάμεσα στα δόντια στο προς κατεργασία κομμάτι. Η συσκευή συγκράτησης, που απαρτίζεται από ένα συμπιεσμένο κωνικό δι' ελατήριο ή σχήματος V, πέφτει στο κενό ανάμεσα σε δυο δόντια του κύριου γραναζιού, αυτό τοποθετεί σωστά την άτρακτο που είναι κλειδωμένη ώστε να αποτρέπει οποιοδήποτε φορτίο που τοποθετείται πάνω στην συσκευή συγκράτησης ενώ το δόντι κόβεται στο τεμάχιο κατεργασίας. Μετά το κόψιμο, η άτρακτος απελευθερώνεται

και κινείται έως ότου η συσκευή συγκράτησης βρεθεί στο επόμενο κενό, αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να κοπούν όλα τα δόντια.

Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πρέπει να υπάρχει ένα κατάλληλο εργαλείο διαθέσιμο για να χρησιμοποιηθεί ως κύριο γρανάζι. Παρ' όλα αυτά το κύριο γρανάζι δεν χρειάζεται να έχει το ίδιο μέγεθος δοντιού όπως αυτό απαιτείται στο προς κατεργασία τεμάχιο. Ένα 20DP γρανάζι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως το κύριο, εντούτοις το γρανάζι που κόβεται μπορεί να είναι 32 DP ή οποιοδήποτε άλλο μέγεθος. Επίσης δεν είναι απαραίτητο για το κύριο γρανάζι να έχει τον ίδιο αριθμό δοντιών με τα προς κατεργασία τεμάχια αλλά πρέπει να υπάρχει κάποιος κοινός παράγοντας ανάμεσα τους. Για παράδειγμα, αν απαιτείται να κοπεί ένα 20 δοντιών γρανάζι, το κύριο θα μπορούσε να έχει 20 δόντια και η συσκευή συγκράτησης θα συνδεθεί με κάθε δόντι, αλλά το κύριο γρανάζι μπορεί να χρησιμοποιηθεί έχοντας 40 δόντια στην οποία περίπτωση η συσκευή συγκράτησης θα πρέπει να συνδεθεί με εναλλασσόμενα δόντια, ή ένα 60 δοντιών γρανάζι. Τροχοί αλλαγής ταχύτητας τόνου δίνουν ένα καλό κύριο γρανάζι και όπως αυτά έρχονται σε συνδυασμό δίνουν ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων επιλογών. Το 60 δοντιών γρανάζι είναι πολύ χρήσιμο δεδομένου ότι αυτό θα δώσει 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 ή 30 διαιρέσεις. Αν και είναι χρήσιμη μια μεγάλη επιλογή αντικαταστάσιμων τροχών, υπάρχουν οξύτατοι περιορισμοί στους αριθμούς που μπορούν να εισαχθούν καθώς τέτοιου τύπου γρανάζια παρέχονται συνήθως πολλαπλάσια των πέντε μόνο δοντιών. Αν η συσκευή συγκράτησης είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να εισάγεται πάνω από τα δόντια όπως επίσης και ανάμεσα σ' αυτά θα διπλασιαστεί ο αριθμός από τον οποίο οι παράγοντες μπορεί να αποκτηθούν (το 60 δοντιών γρανάζι έχει 120 διαιρέσεις και ούτω καθεξής) αλλά η αύξηση στο εύρος θα είναι αμελητέα. Ένα ακόμη μειονέκτημα στην άμεση διαίρεση κεφαλής θα εξαρτάται από την ακρίβεια του κύριου γραναζιού: οποιαδήποτε λάθη στο βήμα που παρουσιάζονται στο κυρίως γρανάζι θα περάσουν και στο προς κατεργασία τεμάχιο. Αυτό το μειονέκτημα είναι πιο θεωρητικό από ότι πρακτικό καθώς οι περισσότεροι τροχοί αλλαγής ταχύτητας τόνου παράγονται πια από μια εκ των παραγωγικών διαδικασιών, όπως το φρεζάρισμα, δίνοντας ένα γρανάζι μακράν πιο ακριβές από ότι θα μπορούσε να γίνει από τη μέθοδο "ένα δόντι τη φορά" που χρησιμοποιείται από τον ερασιτέχνη. Η άμεση διαίρεση κεφαλής μπορεί να είναι πιο εκλεπτυσμένη από ότι το παράδειγμα που παρουσιάστηκε παραπάνω και το σχήμα 8.2 δείχνει μια τέτοια μονάδα.



Σχήμα 8.2 : Άμεση διαίρεση κεφαλής

Αυτό παρέχεται με μια βιδωμένη μύτη σε σχήμα καμπάνας και έναν κώνο Morse. Η κλειδωμένη άτρακτος λαμβάνεται με τη στερέωση ενός διασπασμένου ρουλεμάν αντί για σφιγκτήρα ή συσφιγμένες βίδες. Αυτή η κεφαλή έχει επίσης μια δευτερεύουσα συγκράτηση του βραχίονα, έτσι ώστε τα γρανάζια να μπορούν να συνδυάζονται, προκειμένου να αυξηθεί το φάσμα των διαθέσιμων διαιρέσεων. Είναι, εντούτοις, ακόμη άμεση διαίρεση κεφαλής και έτσι έχει τους περιορισμούς της. Ένα πλεονέκτημα της κεφαλής άμεσης διαίρεσης εκτός από την απλότητα που διαθέτει, είναι ότι μέσα σε

ευρετηρίαση φάσματος της κλίμακας λειτουργίας της είναι ταχύτερη και υπάρχει μικρότερη πιθανότητα να κάνουν λάθος.

### 8.1 Κεφαλή τύπου ατέρμονα και τροχού

Ο ατέρμονας και ο τροχός διαιρούμενης κεφαλής είναι βασικά μια κεφαλή άμεσης διαίρεσης με μια σημαντική προσθήκη. Το κύριο γρανάζι τοποθετημένο στον άξονα ή στην άτρακτο είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι και δεν είναι μεταβλητό. Το γρανάζι πράγματι είναι ένας ατέρμονας κοχλίας και οδηγείται κυκλικά μέσω του δεύτερου άξονα που φέρει έναν ατέρμονα. Ο άξονας του ατέρμονα είναι εκτεταμένος προς τα πάνω και σταθερά ασφαλισμένος, στο εξωτερικό του άκρο υπάρχει μια μανιβέλα παρέχοντας έτσι ένα μέσο περιστροφής του ατέρμονα. Ο ατέρμονας είναι μονής εκκίνησης έτσι ώστε μια περιστροφή της μανιβέλας θα δίνει προβάδισμα σε ένα δόντι του ατέρμονα κοχλίας. Είναι σύνηθες στη μηχανολογία η αναλογία του ατέρμονα και του τροχού να είναι 40:1. Η διαιρούμενη κεφαλή τύπου Myford (Σχήμα 8.3), έχει σχέση μετάδοσης 60:1 και είναι πλεονέκτημα για τον μηχανολόγο αφού ο συντελεστής 60 είναι περισσότερο κοινώς χρησιμοποιημένος από τον συντελεστή 40. Η πλάκα διαίρεσης είναι τοποθετημένη ομοκεντρικά με τον ατέρμονα αλλά είναι στερεωμένη στην ίδια του την κεφαλή και δεν περιστρέφεται με τον ατέρμονα. Μια σειρά από οπές ανοίγονται πάνω στην πλάκα ομόκεντρα και η μανιβέλα παρέχεται με ένα ελαστικό εμβολο έτσι ώστε η ακίδα που υπάρχει στο εμβολο να μπορεί να τοποθετηθεί στην όποια επιθυμητή οπή. Για να έχουμε τη μεγίστη χρήση από την πλάκα διαίρεσης ένα σύνολο ή σειρές από οπές ανοίγονται καθεμία σε διαφορετική διάμετρο και το μπράτσο που φιλοξενεί το έμβολο είναι αυλακωμένο έτσι ώστε το έμβολο να μπορεί να συνδεθεί με τις απαιτούμενες οπές του κύκλου. Η κεφαλή τύπου Myford εφοδιάζεται με δυο διαιρούμενες πλάκες που περιέχουν συνολικά 15 σύνολα οπών οι οποίες επιτρέπουν τις περισσότερες διαιρέσεις να εφαρμοστούν ανάμεσα σε 1 και 100.



Σχήμα 8.3 : Διαιρούμενη κεφαλή τύπου Myford

Ο πίνακας που προμηθεύεται με τις λίστες διαιρούμενων κεφαλών όλων των συνδυασμών διαθέσιμων διαιρέσεων και δηλώνει τον αριθμό ολοκληρωμένων στροφών που απαιτούνται για κάθε διαχωρισμό, και επιπλέον όπου είναι απαραίτητο, τον αριθμό οπών που απαιτείται σε συγκεκριμένη πλάκα διαίρεσης. Μετρώντας τις οπές μπορεί να είναι περίπλοκο. Αν 28 οπές απαιτούνται σε μια πλάκα διαίρεσης 49 οπών τότε αυτή η μέτρηση θα πρέπει εκτελείτε για κάθε διαίρεση και έτσι εύκολα μπορεί να προκύψει ένα λάθος. Για να προσπεραστεί αυτό το πρόβλημα παρέχεται μια βοήθεια, η όποια απαρτίζεται από δυο λεπίδες που μπορούν να περιστραφούν γύρω από τον άξονα του ατέρμονα και ακριβώς πάνω από την πλάκα διαίρεσης. Οι λεπίδες μπορεί να κινούνται ανεξάρτητα η μια από την άλλη και κατόπιν κλειδώνουν μαζί σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση έτσι ώστε να κινούνται μαζί ως μονάδα. Μπορούν επομένως να συνδεθούν ώστε να αγκαλιάζουν τον αριθμό των οπών που απαιτούνται, 28 οπών στη πλάκα διαίρεσης 49 οπών στο ανωτέρω παράδειγμα, και έτσι δηλώνουν την οπή στην όποια το εμβολο πρέπει να εισαχθεί ώστε

να επιτευχθεί ο ορθός χώρος. Μετά από κάθε κίνηση της μανιβέλας οι λεπίδες περιστρέφονται ως ζευγάρι μέχρι μια από τις λεπίδες να έρθει σε επαφή και κείται στο εμβολο, η επόμενη λεπίδα τότε καθορίζεται από την άλλη λεπίδα. Είναι συνετό να μπορεί κάποιος να τα καταφέρει μόνος του. Δεν υπάρχει κάτι μαγικό στην απόφαση για τον αριθμό οπών ή στην απόφαση του ποιος τροχός θα χρησιμοποιηθεί στην πλάκα διαίρεσης, όπως αποδεικνύουν τα επόμενα παραδείγματα. Υποθέτοντας ότι κάποιος θέλει να κόψει ένα γρανάζι που να χει 33 δόντια χρησιμοποιώντας μια διαιρούμενη κεφαλή με έναν ατέρμονα και έναν τροχό με σχέση μετάδοσης 60:1. Το πρώτο βήμα είναι η διαίρεση του αριθμού των διαιρέσεων που απαιτούνται για την σχέση μετάδοσης του ατέρμονα και του τροχού, στην προκειμένη περίπτωση το 60 διαιρείται με 33. Αυτό δίνει μια απάντηση  $1\frac{27}{33}$ , το οποίο δηλώνει ότι κάθε διαίρεση είναι μια ολόκληρη στροφή της μανιβέλας και επιπλέον μιας περεταίρω προσθήκης του  $\frac{27}{33}$  της στροφής. Το  $\frac{27}{33}$  της στροφής μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας 27 οπές σε έναν 33 οπών κύκλο της πλάκας διαίρεσης.

Αν ένας 33 οπών τροχός είναι διαθέσιμος τότε το πρόβλημα λύνεται αλλά είναι λιγότερο πιθανό ο 33 οπών τροχός ότι θα είναι πάνω στην πλάκα διαίρεσης έτσι το επόμενο βήμα είναι να κοιτάξουμε το κλάσμα  $\frac{27}{33}$  και να δούμε αν μπορεί να παραχθεί. Και η απάντηση είναι ότι, ναι μπορεί όσο ο αριθμητής και ο παρανομαστής διαιρούνται με 3, δίνοντας ως αποτέλεσμα νέο κλάσμα ίδιας αξίας  $\frac{9}{11}$ . Αν η πλάκα διαίρεσης δεν έχει 33 οπών τροχό τότε σίγουρα δεν θα έχει έναν 11 οπών τροχό αλλά είναι πολύ πιθανό να έχει έναν τροχό που να πολλαπλασιαστεί με 11 και αυτό θα είναι με κάθε πιθανότητα να είναι ένας 77 οπών τροχός. Αν τώρα επιστρέψουμε στο δικό μας  $\frac{9}{11}$  κλάσμα και πολλαπλασιάσουμε και τον αριθμητή και τον παρανομαστή με 7 θα φτάσουμε στο  $\frac{63}{77}$ . Η διαίρεση για την παραγωγή ενός 33 δοντιών γρανάζι είναι επομένως μια ολόκληρη στροφή της μανιβέλας και επιπλέον 63 οπών σε έναν 77 οπών κύκλο της πλάκας διαίρεσης. Άπαξ και αυτό το παράδειγμα γίνει αντιληπτό είναι απλό να αντικατασταθεί οποιαδήποτε διαίρεση απαιτείται. Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί όταν η πλάκα διαίρεσης δεν διαθέτει τροχό με τον απαιτούμενο αριθμό οπών.

## 9. ΚΟΠΗ ΜΕΤΩΠΙΚΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Αυτό που τείνουμε όλοι να ξεχνάμε είναι ότι, ανεξαρτήτως τι μηχανή κοπής χρησιμοποιούμε όλα παράγουν το ίδιο πράγμα, γρέζια, όπου είναι τα κομμάτια που απομένουν και που μετρούν. Τα γρανάζια δεν αποτελούν εξαίρεση, έτσι ένας κόπτης γραναζιών διαμορφώνει τα κενά ανάμεσα στα δόντια σύνδεσης.

Μιλώντας για το σχήμα της εξελιγμένης παρειάς είδαμε ότι ο βασικός κύκλος από τον οποίο διαμορφώνεται το σχήμα της εξελιγμένης σχετίζεται με την PCD του γραναζιού και έτσι, όσο ο αριθμός των δοντιών αλλάζει, το ίδιο παθαίνει και η διάμετρος του βασικού κύκλου και αυτό απεικονίζεται στο σχήμα της εξελιγμένης καμπύλης. Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα του δοντιού για οποιοδήποτε DP ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού. Από αυτό φαίνεται ότι χρειάζεται ένας διαφορετικός κόπτης για να ταιριάζει με κάθε μέγεθος του γραναζιού που μπορεί να απαιτείται και αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα πολλούς κόπτες. Η εξελιγμένη καμπύλη αλλάζει αξιοσημείωτα ανάμεσα στα γρανάζια που έχουν μόνο ένα μικρό αριθμό δοντιών αλλά ο βαθμός της αλλαγής μειώνεται και γίνεται λιγότερο εμφανής όσο το γρανάζι μεγαλώνει, και άπαξ ο αριθμός των δοντιών ξεπεράσει τα 120 τότε η αλλαγή στο σχήμα είναι αμελητέα. Μια μικρή διαφορά στο σχήμα των δοντιών των γραναζιών μπορεί να γίνει ανεκτή εν γένει δίχως αξιοσημείωτη συνέπεια στην λειτουργία τους. Αυτοί οι δυο παράγοντες αναγνωρίζονται από τους κατασκευαστές κοπτών γραναζιού και έτσι είναι δυνατή η μείωση του αριθμού των κοπτών στους οχτώ που απαιτούνται για κάθε DP. Μοναχά μερικά γρανάζια μπορούν να κοπούν με κόπτη από τα χαμηλά άκρα της σειράς αλλά όσο τα γρανάζια μεγαλώνουν, σε αντιστοιχία με των αριθμό των δοντιών, τότε το εύρος του κόπτη επίσης αυξάνεται. Πράγματι ο κόπτης No 1 θα παράγει οποιοδήποτε γρανάζι έχει 134 δόντια και αυτό περιλαμβάνει και τον οδοντωτό κανόνα.

Όλοι οι δισκοειδείς κόπτες γραναζιών που κόβουν ένα δόντι κάθε φορά συνήθως αναφέρονται ως κόπτες Brown & Sharpe, από το όνομα της εταιρίας που εισήγε αυτόν το τύπο κοπτών πολλά χρόνια πριν. Τώρα φτιάχνονται από κατασκευαστές γραναζιών παγκοσμίως αλλά όλοι συμβαδίζουν με τα παγκόσμια δεδομένα βασιζόμενοι στο έργο των Brown & Sharpe.

Σε κάθε κόπτη δίνεται ένας αριθμός εύρους ο οποίος εμφανώς σημειώνεται μαζί με τον αριθμό των δοντιών για τα οποία ο συγκεκριμένος κόπτης σχεδιάζεται. Τα νούμερα των κοπτών φαίνονται παρακάτω:

- Κόπτης No 8 θα κόψει γρανάζια 12 και 13 δοντιών
- Κόπτης No 7 θα κόψει γρανάζια 14 έως 16 δοντιών
- Κόπτης No 6 θα κόψει γρανάζια 17 έως 20 δοντιών
- Κόπτης No 5 θα κόψει γρανάζια 21 έως 25 δοντιών
- Κόπτης No 4 θα κόψει γρανάζια 26 έως 34 δοντιών
- Κόπτης No 3 θα κόψει γρανάζια 35 έως 54 δοντιών
- Κόπτης No 2 θα κόψει γρανάζια 55 έως 134 δοντιών
- Κόπτης No 1 θα κόψει γρανάζια 135 δοντιών έως οδοντωτό κανόνα.

Άπαξ και επιλεγεί ο σωστός κόπτης το επόμενο πρόβλημα είναι να ρυθμιστεί ώστε να παράγει το δόντι στο σωστό βάθος. Το επίπεδο για τη ρύθμιση του βάθους κοπής πρέπει να είναι η εξωτερική διάμετρος της εγκοπής του γραναζιού αφού δεν υπάρχουν άλλα επίπεδα από τα οποία προκύπτει ο υπολογισμός. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκε ότι η διάμετρος του διάκενου του γραναζιού πρέπει να είναι  $N+2/DP$ . Από πρακτικής πλευράς η εξωτερική διάμετρος του ολοκληρωμένου γραναζιού δεν είναι πολύ σημαντική και μια αξιόλογη μηχανική ανοχή, ιδιαιτέρως στην αρνητική κατεύθυνση, είναι επιτρεπτή, αλλά αυτό που είναι σημαντικό είναι το μέγεθος της PCD και αυτό θα επηρεαστεί από το βάθος της κοπής. Επομένως θα ήταν συνετό να υπολογιστεί η εξωτερική διάμετρος του διακένου και να συγκριθεί με το θεωρητικό μέγεθος για να φανεί αν πρόέκυψε οποιαδήποτε

ασυμφωνία. Αν ισχύει η παραπάνω υπόθεση πρέπει να τεθεί υπόψη όταν ρυθμίζεται το βάθος του κόπτη. Αν, για παράδειγμα, το γρανάζι που είναι να κοπεί έχει 40 δόντια και 20DP τότε η εξωτερική διάμετρος του διακένου θα είναι 42/20 ή 2.1, αλλά υπολογίζοντας αν βρεθεί ότι είναι 2.09 τότε αυτό το 0.01 σφάλμα στη διάμετρο πρέπει να ληφθεί υπόψη και το βάθος κοπής να ρυθμιστεί στη μηχανή μειωμένο από το κανονικό βάθος κατά 0.005. Στην περίπτωση αυτή, αντί να οριστεί στο 0.108 η αναθεωρημένη κοπή θα είναι 0.103.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να οριστεί το σφάλμα είναι να έρθει το κενό μέχρι τον κόπτη έως ότου να έρθουν σε επαφή, να οριστεί στο χειριστήριο του μικρομέτρου του ολισθητήρα της μηχανής στο 0 και μετά χρησιμοποιώντας το χειριστήριο να τοποθετηθεί σωστά και να κλειδωθεί με ασφάλεια ο ολισθητήρας σε αυτή τη θέση. Μπορεί να μην είναι ιδιαίτερος εύκολο να καθοριστεί ακριβώς τότε ο κόπτης έρχεται σε επαφή με το προς κατεργασία τεμάχιο και αν πάει πολύ βαθιά το επίπεδο θα χαθεί. Αυτό θα σημάνει το ίδιο και για το επόμενο δόντι και ούτω καθεξής. Θα βοηθήσει πάρα πολύ να τοποθετηθεί ένα κομμάτι λεπτού υγρού χαρτιού στο κενό, με τη μηχανή να λειτουργεί, τότε προσεκτικά ο κόπτης θα πλησιάσει το προς κατεργασία τεμάχιο μέχρι να έρθουν σε επαφή και ο κόπτης να αποχωριστεί από το χαρτί. Όταν γίνει αυτό τότε μπορεί να θεωρηθεί σωστή η διάρθρωση. Το βάθος της κοπής θα καθοριστεί λογικά από το DP ή το CP και οι τύποι για τον υπολογισμό παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2. Το σχήμα είναι συνήθως εισηγμένο στον πραγματικό κόπτη αν και αυτό δεν ορίζει το βάθος της κοπής αλλά είναι προκαθορισμένο από το D+f. Για την οικονομία χρόνου υπολογίζοντας το βάθος κάθε φορά, απαιτείται ο πίνακας 9.1.

| D.P | Βάθος δοντιού σε ίντσες | Βάθος δοντιού σε mm |
|-----|-------------------------|---------------------|
| 6   | 0,360                   | 9,13                |
| 8   | 0,270                   | 6,85                |
| 10  | 0,216                   | 5,48                |
| 12  | 0,180                   | 4,56                |
| 14  | 0,154                   | 3,91                |
| 16  | 0,135                   | 3,42                |
| 18  | 0,120                   | 3,04                |
| 20  | 0,108                   | 2,74                |
| 22  | 0,098                   | 2,49                |
| 24  | 0,090                   | 2,28                |
| 26  | 0,083                   | 2,11                |
| 28  | 0,077                   | 1,96                |
| 30  | 0,072                   | 1,83                |
| 32  | 0,067                   | 1,71                |
| 36  | 0,060                   | 1,52                |
| 40  | 0,054                   | 1,37                |
| 48  | 0,045                   | 1,14                |
| 64  | 0,034                   | 0,86                |
| 72  | 0,030                   | 0,76                |
| 80  | 0,027                   | 0,68                |

| Μετρικό βήμα | Βάθος δοντιού σε ίντσες | Βάθος δοντιού σε mm |
|--------------|-------------------------|---------------------|
| 4,0          | 0,340                   | 8,63                |
| 3,0          | 0,255                   | 6,47                |
| 2,5          | 0,212                   | 5,39                |
| 2,0          | 0,170                   | 4,31                |
| 1,5          | 0,127                   | 3,24                |
| 1,3          | 0,106                   | 2,70                |
| 1,0          | 0,085                   | 2,16                |
| 0,8          | 0,070                   | 1,73                |
| 0,7          | 0,059                   | 1,51                |
| 0,5          | 0,042                   | 1,08                |
| 0,4          | 0,034                   | 0,86                |
| 0,3          | 0,025                   | 0,65                |

Πίνακας 9.1 : Βάθος δοντιού σε χιλιοστά και ίντσες



Το βάθος παρουσιάζεται και στο Αγγλοσαξονικό σύστημα μέτρησης και στο μετρικό σύστημα μέτρησης, δίνοντας την δυνατότητα το βάθος να καθοριστεί άμεσα εξαρτώμενο από τις διαβαθμίσεις της μικρομετρικής κλίμακας. Προσπαθήστε πάντα να κόβετε το σωστό βάθος με ένα πέρασμα. Οι κόπτες γραναζιών του εμπορίου είναι ακριβά προϊόντα και φυσικά οι ερασιτέχνες θέλουν να τα διατηρήσουν σε καλή κατάσταση όσο το δυνατό περισσότερο μεταξύ κοπτικών κατεργασιών. Είναι πλάνη να σκεφτούμε ότι είμαστε ευγενικοί προς τους κόπτες κάνοντας μικρά περάσματα. Ορίζοντας τον κόπτη στο σωστό βάθος και ελέγχοντας την τροφοδότηση να ταιριάζει στην μηχανή, φυσικά μια βαριά μεγάλη μηχανή θα είναι ικανή για πιο γρήγορο ρυθμό τροφοδότησης από ότι μια ελαφριά. Όταν κόβονται μεγάλα δόντια όπως αυτά που βρέθηκαν στα μοντέλα μηχανών έλξεως, ο εξοπλισμός που είναι διαθέσιμος μπορεί να μην είναι αρκετός να παράγει το δόντι με ένα πέρασμα, στην περίπτωση αυτή θα αποτελεί πλεονέκτημα να «τρυπήσουμε βαθιά» τα δόντια είτε με ένα πριόνι ή με έναν πλαγιομετωπικό κόπτη. Αυτό θα απομακρύνει την μεγαλύτερη ποσότητα υλικού και θα ελαφρύνει το βάρος στην φρέζα μορφής. Στη βιομηχανία ο χρόνος παραγωγής είναι σημαντικός, όπου οι ταχύτητες και οι τροφοδοτήσεις είναι σχεδιασμένες να δίνουν τη μέγιστη αποδοτική γραμμή ισόμετρη με τα συνολικά κόστη. Οι μηχανές παραγωγής είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μειώνουν τους χρόνους όσο το δυνατό λιγότερο, επομένως οι ταχύτητες και οι τροφοδοτήσεις που εκδόθηκαν σε βιομηχανικά εγχειρίδια χρησιμοποιούνται λιγότερο από τους ερασιτέχνες αφού τα εργαλεία στη διάθεση του ερασιτέχνη μπορεί να μην είναι παραπάνω από ένα γρανάζι και μια κοπτική μηχανή. Πολύ λίγες μηχανές στο ερασιτεχνικό εργαστήριο θα είναι εξοπλισμένες με συνεχές σύστημα ψύξης, πράγματι η πλειοψηφία δεν θα έχει τέτοιο σύστημα παρά μόνο ένα δοχείο στραγγίσματος. Ο πίνακας 9.2 λαμβάνει αυτά υπόψη του αλλά παρόλα αυτά θεωρήστε τα σχήματα ως οδηγούς που λειτουργούν ως οδηγοί και μπείτε στον πειρασμό να τρέξετε τον κόπτη πολύ γρήγορα.

| Υλικό        | Brown & Sharpe<br>κόπτες<br>εμπορίου HSS | Χειροποίητοι κόπτες ασημί χάλυβα |          |          |
|--------------|--|----------------------------------|----------|----------|
|              |  | Φ 11/4 "                         | Φ 11/2 " | Φ 2 "    |
| Χάλυβας      | 60 στρ.                                  | 75 στρ.                          | 62 στρ.  | 48 στρ.  |
| Ορείχαλκος   | 100 στρ.                                 | 120 στρ.                         | 100 στρ. | 75 στρ.  |
| Ελαφρύ κράμα | 140 στρ.                                 | 170 στρ.                         | 140 στρ. | 100 στρ. |

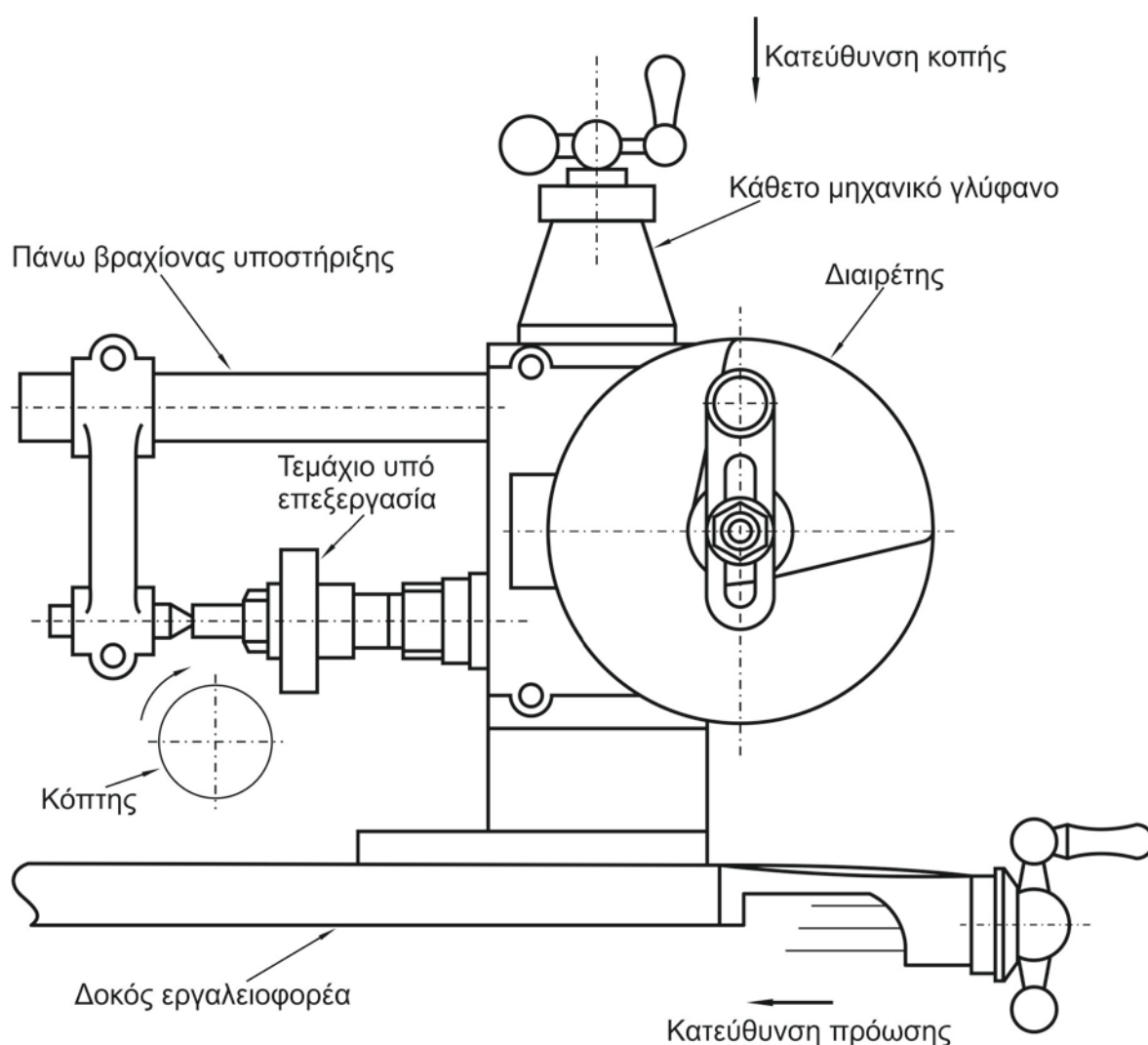
Πίνακας 9.2 : Στροφές κόπτη συναρτήσει υλικού

Είναι μάλλον απίθανο το εύρος ταχύτητας της μηχανής που είναι διαθέσιμο ότι θα αντιστοιχεί στις τιμές που αναφέρονται στον πίνακα, δοκιμάστε την πιο κοντινή ταχύτητα στις ταχύτητες που αναφέρονται και δείτε τι γίνεται. Αυτό ακούγεται μάλλον τυχαίο αλλά υπάρχουν τόσοι πολλοί άγνωστοι παράγοντες στο ερασιτεχνικό εργαστήριο που δηλώνει ότι η βέλτιστη σταθερή ταχύτητα είναι, ας πούμε το λιγότερο, μια επικίνδυνη πρακτική. Οι περισσότεροι κόπτες του εμπορίου τύπου Brown & Sharpe, που πολύ πιθανό να κατέχει ένας ερασιτέχνης, θα είναι γύρω στις 2 ως  $\frac{3}{8}$  ίντσες διάμετρο με διάμετρο οπής μια ίντσα, αφού αυτό είναι το στάνταρ μέγεθος. Οι κόπτες θα έχουν υψηλής ταχύτητας ατσάλι σωστά θερμαινόμενο και σταθεροποιημένο και φυσικά θα είναι ικανοί για βαρύτερες εργασίες από ότι ένας χειροποίητος κόπτης. Οι χειροποίητοι κόπτες θα είναι από ανθρακούχο χάλυβα, όπως ο ασημοχάλυβας με θερμική κατεργασία χωρίς τα προτερήματα εξοπλισμού έλεγχου θερμοκρασίας. Η πρώτη στήλη στον πίνακα είναι για κόπτες του εμπορίου ενώ τα υπόλοιπα είναι για διαφορετικές διαμέτρους χειροποίητων κοπτικών.

Το ερασιτεχνικό εργαστήριο δεν θα έχει λογικά εξειδικευμένες μηχανές οπότε και η κοπή γραναζιού θα περιοριστεί σε έναν τόρνο ή μια φρέζα. Αν η φρέζα υπάρχει τότε θα



αποτελέσει την πρώτη επιλογή, αν όχι τότε ο τórνος θα πάρει αυτή τη θέση. Μια συσκευή κοπής γραναζιού έχει δυο βασικά στοιχεία, το ένα είναι να κρατά και να προσθέτει τα κενά και το άλλο είναι να παρέχει ένα μέσο διατήρησης και περιστροφής του κόπτη στη σωστή ταχύτητα. Ο τórνος μπορεί να προσαρμοστεί σε δυο κατευθύνσεις για να εκπληρώσει τα ανωτέρω προαπαιτούμενα. Πρώτον, ο κόπτης μπορεί να συγκρατηθεί σε κάποιο στήριγμα ασφαλισμένο στον άξονα του τórνου, με ένα ακατέργαστο γρανάζι μαζί με την κεφαλή διαίρεσης ασφαλισμένη στην μηχανή. Στη δεύτερη μέθοδο οι ρόλοι αλλάζουν και το ακατέργαστο γρανάζι δένεται στον άξονα του τórνου ενώ ο κόπτης, με κάποιο βοηθητικό οδηγό, συνδέεται με τον εγκάρσιο τórνο. Σχεδόν όλοι οι σύγχρονοι μικροί τórνοι είναι αυτοδύναμες μονάδες, διαθέτουν κινητήρες με τους ιμάντες κίνησης να είναι εντελώς προστατευόμενοι, κάνοντας την πρόσβαση στους ιμάντες και στις τροχαλίες δύσκολη, ιδιαιτέρως όταν ο τórνος είναι σε λειτουργία. Φυσικά ο λόγος γι' αυτό είναι η ασφάλεια του χειριστή και η προστασία του από τους ιμάντες, τις τροχαλίες και τα γρανάζια που είναι επικίνδυνα. Στη σύγχρονη εποχή του μικρού τórνου στην μηχανολογία, ειδικά ανάμεσα στους πολέμους και μέχρι το 1950, πολλοί τórνοι οδηγούνταν από επίπεδους ιμάντες από έναν στροφαλοφόρο άξονα ή από έναν εναέριο άξονα.



Σχήμα 9.1 : Διαγραμματική διάταξη που δείχνει την κοπή των σχετικά μικρών γραναζιών στον τórνο

Αυτός ο άξονας θα οδηγείτο από τον κινητήρα του εργαστηρίου και συχνά θα περνούσε το συνολικό μήκος του εργαστηρίου για να χρησιμοποιηθεί ως δύναμη εκκίνησης για όλες της μηχανές που διαθέτει το εργαστήριο. Ο εναέριος άξονας ήταν βολικός για παροχή δύναμης σε βοηθητικές κεφαλές κοπής που θα μπορούσαν να συναρμολογηθούν στο

τραπέζι του τóρνου ή στο εγκάρσιο εργαλειοφορείο και πολλές συνδέσεις για την κοπή του γραναζιού αλλά και για το φρεζάρισμα γενικότερα, και όχι μόνο, τέθηκαν σε εφαρμογή με αυτό τον τρόπο. Αρχικά το εργαστήρι διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο και ήταν μια δυσκίνητη περίπτωση με ανοιχτούς επίπεδους ιμάντες και συρματόσκοινα με τροχαλίες έλεγχου γύρω από όλες τις κατευθύνσεις και στεκούμενες στη μέση αυτής της διεργασίας με τα σύγχρονα δεδομένα θα ήταν ελαφρώς ανησυχητικό.

Η έλευση του τύπου Myford ML7 και παρόμοιων τύπων τóρνων, στη δεκαετία του 1940 έφερε μια ολοκληρωτική επανάσταση στα ερασιτεχνικά εργαστήρια και τώρα σχεδόν όλα είναι αυτοδύναμα και έτσι μόνο ελάχιστες μηχανές παραμένουν με εναέριους άξονες. Αφού δεν υπάρχουν βολικοί περιστρεφόμενοι άξονες να παρέχουν τη δύναμη στον κόπτη συνδεδεμένο στον εγκάρσιο τóρνο και αφού όλες οι αυτοδύναμες μονάδες μπορούν να είναι βαριά και ογκώδη κομμάτια για να κοσμοούν έναν εγκάρσιο τóρνο, αυτή η μέθοδος κοπής γραναζιών στον τóρνο δεν χρησιμοποιείται πλέον συχνά. Στις περιπτώσεις που γίνεται αυτό είναι γενικά περιορισμένο σε μικρά και ελαφριά γρανάζια, όπως όργανα ή γρανάζια ρολογιού, όπου η ταχύτητα του κόπτη μπορεί να είναι υψηλή και να εξαλείψει την ανάγκη για έναν μειωτήρα από τον οδηγό στο κοπτικό.

Η πρώτη μέθοδος που αναφέρθηκε, όπου ο κόπτης οδηγείται από έναν άξονα του γραναζιού έχει πολλές μορφές. Όλο το εύρος ταχυτήτων του τóρνου είναι διαθέσιμο και οι ταχύτητες μπορούν να επιλέγονται για να ταιριάζουν στο σχήμα και μέγεθος του κόπτη όπως και στη φύση του υλικού του γραναζιού. Η μέγιστη ταχύτητα του τóρνου είναι επίσης διαθέσιμη έτσι ώστε οι ταχύτητες και οι τροφοδοτήσεις μπορούν να καθοριστούν για να ταιριάζουν στην ισχύ που διατίθεται από μια μικρή βοηθητική μηχανή. Το σχήμα 9.1 δείχνει διαγραμματικά πως οι ποικίλες μονάδες είναι διαρθρωμένες για την κοπή ενός γραναζιού. Η διαιρούμενη κεφαλή είναι συναρμολογημένη πάνω στην κάθετη πλευρά με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζει ότι η άτρακτος είναι παράλληλα και σε ευθεία διάταξη με τον τóρνο.



Σχήμα 9.2 : Διαγραμματική διάταξη κεφαλής τύπου Myford τοποθετημένη στον κάθετο ολισθητήρα

Αν, και η διαιρούμενη κεφαλή και η κάθετη πλευρά είναι τύπου Myford, τότε αυτομάτως θα διασφαλιστεί η σωστή ευθυγράμμιση, καθώς η διαιρούμενη κεφαλή είναι εξοπλισμένη με ένα κλειδί τύπου T το οποίο τοποθετείτε στις εγκοπές σύσφιξης της κάθετης πλευράς. Αν άλλοι τύποι κάθετης ολίσθησης και διαιρούμενων κεφαλών χρησιμοποιούνται, πρέπει να γίνει έλεγχος στη σύνδεση προσεκτικά γιατί αν η άτρακτος της διαιρούμενης κεφαλής δεν είναι παράλληλη με το εγκάρσιο εργαλειοφορείο τότε δεν θα είναι και ο άξονας που φέρει το ακατέργαστο γρανάζι και το αποτέλεσμα θα είναι ένα γρανάζι με δόντια πιο βαθιά στη μια άκρη από την άλλη. Ομοίως, αν η άτρακτος και ο άξονας δεν είναι σε ευθεία με το εγκάρσιο εργαλειοφορείο ή σε ορθή γωνία με το τραπέζι του τóρνου, τα δόντια δεν θα είναι παράλληλα με την οπή του γραναζιού αλλά θα είναι σε γωνία. Και τα δυο αυτά λάθη

πρέπει να αποφευχθούν αφού και τα δυο μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργία του ολοκληρωμένου γραναζιού.

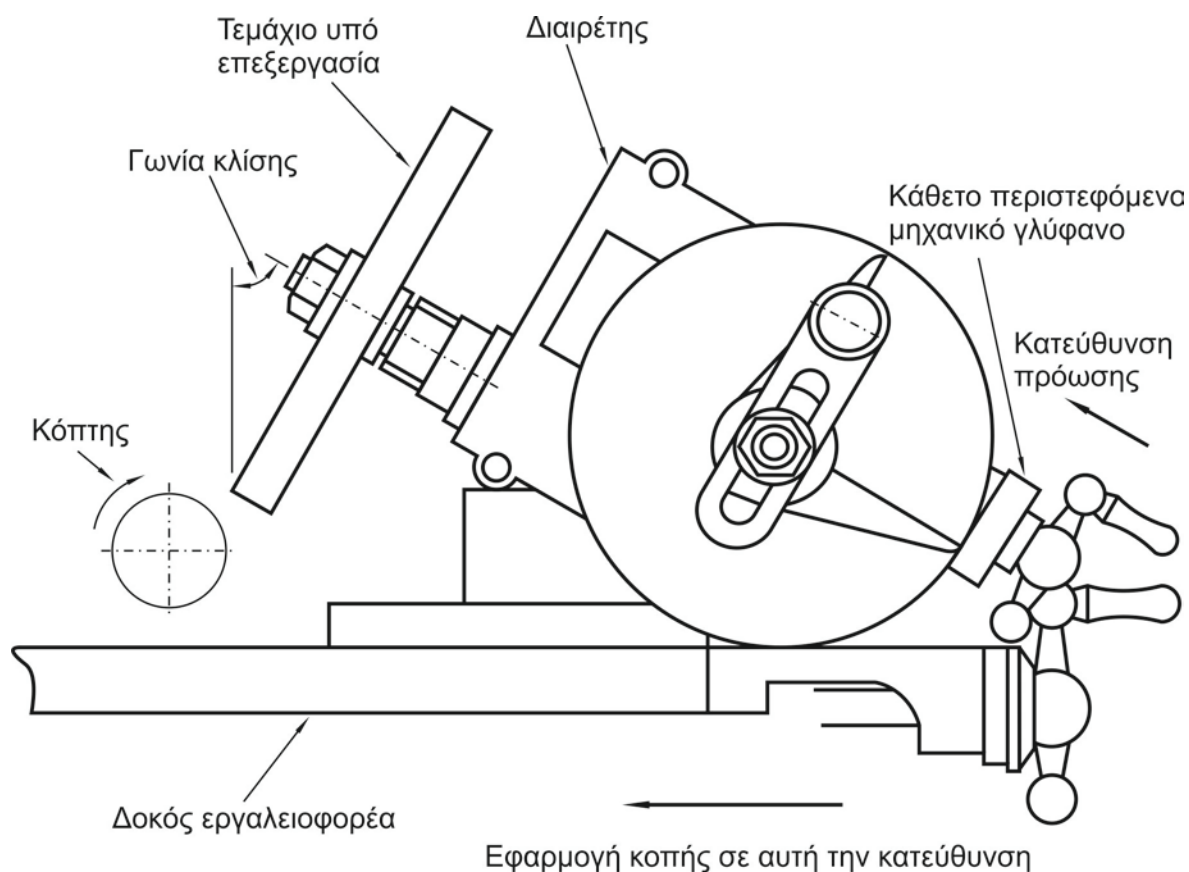
Ένα μειονέκτημα χρήσης αυτής της διάρθρωσης στην κοπή γραναζιών είναι ότι αν η κάθετη ολίσθηση είναι αφύσικα μακριά είναι αδύνατο να αρθεί ο άξονας συμμετρίας της διαιρούμενης κεφαλής αρκετά ψηλά για να επιτρέπει ένα μέτριο μέγεθος γραναζιού που πρόκειται να κοπεί. Αυτό μπορεί ως ένα σημείο να ξεπεραστεί με τη χρήση στηρίγματος το οποίο τοποθετείται ανάμεσα στην οριζόντια και την κάθετη επιφάνια ολίσθησης. Στην ιδανική περίπτωση το στήριγμα θα εκτελεί διπλό ρόλο, σηκώνοντας την διαιρούμενη κεφαλή και μετατοπίζοντας την προς την ακίδα της κουκουβάγιας. Αυτό θα χει ως συνέπεια να κινηθεί η διαιρούμενη κεφαλή μακριά από το εγγύτερο σημείο της κουκουβάγιας. Επομένως παρέχει περισσότερο χώρο στον χειριστή. Στο σχήμα 9.2 απεικονίζεται αυτό το σημείο και επίσης δείχνουν ολοκληρωμένο το εξάρτημα. Ο κόπτης φυσικά είναι συναρμολογημένος στο στήριγμα και είναι οδηγούμενος από τον άξονα του τόννου. Το στήριγμα θα είναι πλατύ για να παρέχει ένα χρήσιμο χώρο για την διαιρούμενη κεφαλή και επίσης θα υποβοηθάτε στο εξωτερικό άκρο από το κέντρο της ακίδας της κουκουβάγιας. Το στήριγμα και ο άξονας πάνω στο οποίο το τεμάχιο προς επεξεργασία είναι ασφαλισμένο πρέπει να είναι σφιχτά τοποθετημένο και να διατηρείται στην διαιρούμενη κεφαλή, αυτό είναι προτέρημα διότι παρέχει εξωτερική στήριξη για τον άξονα αυτό. Η απεικόνιση δείχνει ότι αυτό επιτελείται με τη χρήση άνω βραχίονα ο οποίος είναι αποτέλεσμα της διαιρούμενης κεφαλής. Κατά προτίμηση ο κόπτης και τα στηρίγματα του τεμαχίου του πρέπει να παρέχονται με ένα κωδικό στέλεχος τύπου Morse έτσι ώστε να μπορούν να ταιριάζουν απευθείας στις αντίστοιχες μύτες της ατράκτου. Αν και αυτό μπορεί να περιπλέξει την κατασκευή τους, αυτή η επιπλέον δουλειά αξίζει να γίνει. Επίσης εξαλείφουν την ανάγκη για περαιτέρω συσκευή στήριξης όπως ένα μεγάλο κομμάτι το οποίο δεν θα παρεμβαίνει αλλά θα μειώνει την συνολική ακαμψία. Συνίσταται επίσης τα δυο στηρίγματα να είναι ασφαλισμένα με βίδες που να διέρχονται μέσα από στενούς άξονες του τόννου και της διαιρούμενης κεφαλής.

Για τον εξοπλισμό που συζητείται ο κόπτης θα περιστρέφεται προς την διαιρούμενη κεφαλή και έτσι οι δυνάμεις που δημιουργούνται από την κοπή θα περάσουν στα έδρανα στήριξης της διαιρούμενης κεφαλής τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να τις απορροφά. Θα ήταν λάθος να κόψουμε προς το στέλεχος της ακίδας, αφού αυτό δεν θα στόχευε στο να παραλάβει τα φορτία στήριξης. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να μην είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια βίδα γιατί δεν δημιουργούνται μόνο δυνάμεις στήριξης με την κοπή αλλά υπάρχουν επίσης φορτία κρούσης και αυτά είναι ικανά για να αποσύρουν τους ομφαλούς που έχουν κολλήσει. Δεν είναι καλή ιδέα να λειτουργήσουμε τον κόπτη ανάμεσα στα κέντρα αφού το βάρος πάνω στον κόπτη, ειδικά κατά την εκκίνηση της κοπής, είναι διακοπτόμενο και η ραγδαία αλλαγή ανάμεσα στη φόρτιση και αποφόρτιση θα προκαλέσει περιστροφή του κόπτη σε μία σειρά από τινάγματα και θα δημιουργήσει δυσάρεστες δονήσεις. Οι συνθήκες του βάρους είναι ακόμη ίδιες όταν ο κόπτης συναρμολογείται στον κώνο τύπου Morse της ατράκτου του τόννου αλλά η μάζα του οδηγού του τόννου έχει ως συνέπεια την απόσβεση και ο κόπτης περιστρέφεται πιο ισορροπημένα.

Η κοπή εφαρμόζεται μέσω κάθετης κύλισης με μετάδοση κίνησης μέσω ατέρμονα κοχλία και η τροφοδότηση του κόπτη εφοδιάζεται από τον οριζόντιας κύλισης ατέρμονα. Αν ο τόννος είναι εξοπλισμένος με δύναμη εγκάρσιας τροφοδοσίας, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό την προϋπόθεση ότι ο ρυθμός τροφοδοσίας είναι κατάλληλος. Είναι σημαντικό ότι η κεντρική γραμμή του σχήματος του δοντιού πρέπει να συμπίπτει με την κεντρική γραμμή του στηρίγματος πάνω στο οποίο το ακατέργαστο γρανάζι είναι ασφαλισμένο. Αν αυτή η συνθήκη δεν εφαρμοστεί, τα δόντια που παράγονται στο γρανάζι δεν θα είναι πραγματικά ακτινικά, αλλά θα γέρνουν προς τη μια πλευρά με καταστροφικά αποτελέσματα κατά την σύνδεση του. Υπάρχουν τρόποι για την απόκτηση της σωστής ρύθμισης μέσω μέτρησης, μια μέθοδος είναι να αποσυρθεί το ακατέργαστο γρανάζι από την άτρακτο και μετά με προσεκτικό χειρισμό της θέσης του με τον χειροτροχό οδήγησης του τόννου μέχρις ότου η πλευρά του να αγγίζει ακριβώς την πλευρά του κόπτη και στη

συνέχεια σημειώνουμε την ένδειξη του χειροτροχού. Αν μετά την ανύψωση του στηρίγματος πάνω από τον κόπτη, η έδρα του τόννου μετακινείται σε μια απόσταση ίση με το μισό της διαμέτρου του στηρίγματος συν το μισό του πλάτους του κόπτη, το κέντρο του στηρίγματος πρέπει να είναι ακριβώς πάνω από την κεντρική γραμμή του κόπτη. Το χειριστήριο του μικρομέτρου θα χρησιμοποιηθεί για να γίνει η διάρθρωση όσο πιο ακριβής γίνεται.

Αυτή η μέθοδος, και οι διαφοροποιήσεις της, έχουν δοκιμαστεί αλλά υπάρχει και πιο γρήγορη και πιο αξιόπιστη μέθοδος όπου είναι να τοποθετείται ο κόπτης με το μάτι. Για να γίνει αυτό αφαιρείται το στηρίγμα από την διαιρούμενη κεφαλή και αντικαθίσταται με ένα κέντρο στον τόννο. Τότε στοιχίζεται αυτό το κέντρο με την κεντρική γραμμή των δοντιών του κόπτη. Φυσικά η ευθεία του κόπτη δεν υποδηλώνεται πάνω στο δόντι και πρέπει να υπολογιστεί, αλλά χρησιμοποιώντας έναν μεγεθυντικό φακό μπορεί να γίνει η σωστή διάρθρωση μέσα σε τέλεια όρια. Αφού τεθούν σε σειρά, η γλυστέρα του τόννου είναι ασφαλισμένη, το κέντρο αφαιρείται και το στέλεχος αντικαθίσταται. Πριν την κοπή του πρώτου δοντιού, τίθεται το μήκος της μανιβέλας πάνω στην διαιρούμενη κεφαλή έτσι ώστε η ακίδα συγκράτησης να συνδέεται με τον σωστό κύκλο των οπών. Αν ο αριθμός των κομμένων δοντιών διαιρεθεί με τον αριθμό των δοντιών του ατέρμονα κοχλία τότε αυτομάτως κάθε κύκλος οπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί διότι μόνο μια οπή θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί, η διαίρεση είναι πάντα ένας ολοκληρωμένος αριθμός στροφών της μανιβέλας. Ανεξαρτήτως το πόσοι κύκλοι οπών υπάρχουν στην πλάκα διαίρεσης η πρώτη οπή ή η οπή του επιπέδου κάθε κύκλου θα είναι στην ίδια ακτινική γραμμή.



Σχήμα 9.3 : Διαγραμματική διάταξη που δείχνει το σύστημα κοπής μεγάλου τύπου γραναζιών στον τόννο

Προτείνεται η δεδομένη οπή να χρησιμοποιείται ως σημείο έναρξης αν και μπορεί να γίνει από οποιαδήποτε οπή, παρόλα αυτά είναι καλή ιδέα να χρησιμοποιείται μια ευκόλως αναγνωρίσιμη οπή ως σημείο έναρξης διότι μετά από μια ολοκληρωμένη περιστροφή της

διαιρούμενης κεφαλής η ακίδα συγκράτησης θα τελειώσει στην αρχική οπή. Αν αυτό γίνει τότε όλα είναι καλά, αν όχι τότε έχει γίνει κάπου λάθος στις διαιρέσεις. Επίσης καλό θα ήταν να γίνει συνήθεια η περιστροφή της μανιβέλας να γίνεται προς την ίδια κατεύθυνση όπου αυτό θα εξαλείψει οποιοδήποτε λάθος. Αν η επιλεγμένη κατεύθυνση είναι αυτή των δεικτών του ρολογιού τότε η προσέγγιση της πρώτης δεδομένης οπής θα είναι ίδια με του ρολογιού και αν σημειωθεί υπέρβαση πρέπει να γυρίσει πίσω ένα τέταρτο και να γίνει μια προσπάθεια πάλι. Ποτέ δεν γυρνάμε πίσω στην οπή. Αυτό επίσης εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε υπέρβαση κατά τη διάρκεια ολόκληρης της διαδικασίας δημιουργίας ευρετηρίου. Άπαξ και εφαρμοστεί η σωστή διάρθρωση κλειδώνετε την διαιρούμενη κεφαλή μέσω των ελικοειδών συσφίξεων που παρέχονται, κλειδώνετε στην γλυσιέρα του τόννου στη θέση αυτή όπως επίσης και την κάθετη επιφάνεια κύλισης. Η μόνη ελεύθερη κίνηση κατά τη διάρκεια της πραγματικής κοπής θα είναι η επιφάνεια κύλισης που τροφοδοτεί την κοπή.

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχει ένα όριο στο μέγεθος του γραναζιού που μπορεί να κοπεί με αυτή τη διάρθρωση χάρη στους υψηλούς περιορισμούς που επιβάλλονται από την κάθετη επιφάνεια κύλισης. Ακόμη και με ένα μπλοκ αύξησης, μόνο μετριοπαθούς μεγέθους γρανάζια μπορούν να εφαρμοστούν. Όταν καθορίζεται το μεγαλύτερο γρανάζι που μπορεί να κοπεί ο κύριος παράγοντας είναι η απόσταση ανάμεσα στο κέντρο του τόννου και στην κεντρική γραμμή της διαιρούμενης κεφαλής όταν αυτή είναι τοποθετημένη τόσο ψηλά όσο επιτρέπει η κάθετη επιφάνεια κύλισης. Οι δυο ακτίνες μαζί δεν πρέπει να ξεπερνούν την απόσταση ανάμεσα στις δυο κεντρικές ευθείες. Μια μικρότερη διάμετρος του κόπτη θα επιτρέπει την κοπή ενός μεγαλύτερου γραναζιού. Ο κόπτης στο σχήμα 9.2 είναι Brown & Sharpe με 2 και 3/8 ίντσες διάμετρο και χρησιμοποιώντας το 25 δοντιών με 20DP γρανάζι που κόβεται είναι μέσα στο εύρος του εξαρτήματος, αλλά όταν το όριο του τελευταίου έχει αγγιχτεί κάποια άλλη διάρθρωση εργαλείων είναι αναγκαία και αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 9.3.

Ο εξοπλισμός είναι βασικά ο ίδιος όπως και εκείνος που χρησιμοποιήθηκε και στην προηγούμενη μέθοδο εκτός από το ότι αυτή τη φορά η κάθετη επιφάνεια κύλισης πρέπει να είναι περιστρεφόμενου τύπου ενώ πριν ήταν στερεωμένη στις 90°. Η περιστρεφόμενη κάθετη επιφάνεια κύλισης θα ήταν ικανοποιητική αλλά θα έπρεπε να κλειδωθεί στη θέση των 90°. Ο κόπτης είναι ακριβώς τοποθετημένος με τον ίδιο τρόπο όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, πράγματι το ίδιο στέλεχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις δυο διαρθρώσεις. Η περιστρεφόμενη κάθετη επιφάνεια κύλισης είναι συνδεδεμένη στο ανυψωμένο μπλοκ σε γωνία όπως δείχνει το σχήμα 9.3 με την μανιβέλα του τροφοδοτικού κοχλία με φορά προς τα κάτω, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της μύτης τις ατράκτου της διαιρούμενης κεφαλής παρέχοντας περισσότερο ελεύθερο χώρο. Η γωνία κλίσης δεν είναι σημαντική αλλά θα επηρεαστεί από το μέγεθος του γραναζιού που κόβεται, ένα μεγαλύτερο γρανάζι θα απαιτούσε μεγαλύτερη γωνία από ένα μικρό αντίστοιχα. Η κάθετη επιφάνεια κύλισης έχει τρεις εγκοπές σύσφιξης τύπου T και οποιαδήποτε από αυτές μπορεί να επιλεγεί ως σημείο συναρμογής για την διαιρούμενη κεφαλή. Και αυτή και η πραγματική θέση με την εγκοπή σύσφιξης τύπου T που επιλέχτηκε ως σημείο συναρμογής επηρεάζουν το μέγεθος του γραναζιού που μπορεί να κοπεί. Ακόμη μια φορά είναι επιτακτικό να τεθεί η κεντρική γραμμή της διαιρούμενης κεφαλής παράλληλα με την κεντρική γραμμή της κάθετης επιφάνειας κύλισης, αλλιώς το βάθος του δοντιού κατά μήκος της όψης του γραναζιού θα ποικίλει σε όλο το μήκος του. Όταν κεντράρεται ο κόπτης στο τεμάχιο μπορεί να μην είναι εφικτό να χαμηλώσει αρκετά η διαιρούμενη κεφαλή ώστε ένα κέντρο να καλύψει τον κόπτη. Αν αυτή είναι η περίπτωση τότε μεταβιβάστε την περιστρεφόμενη κάθετη κύλιση από την άλλη μέχρι να επέλθει επαφή. Κάνετε τις τροποποιήσεις και μετά κλειδώστε σφιχτά στη γλυσιέρα του τόννου σε αυτή τη θέση. Η κάθετη επιφάνεια κύλισης μπορεί να ταλαντευτεί πίσω για να φέρει την διαιρούμενη κεφαλή στην απαιτούμενη γωνία. Αυτό δεν θα αλλάξει το σύνολο όσο η κίνηση θα είναι σε λειτουργία.

Οι μέθοδοι εφαρμογής και του βάθους κοπής και της τροφοδότησης είναι παντελώς διαφορετικοί από αυτούς προηγουμένως. Η τροφοδότηση σε αυτή τη περίπτωση εφαρμόζεται από τη λαβή ή τη μανιβέλα της κάθετης επιφάνειας κύλισης και αυτό είναι

εφικτό επειδή η άτρακτος της διαιρούμενης κεφαλής είναι σε παράλληλη εφαρμογή με τον οδηγόδρομο της κάθετης επιφάνειας κύλισης. Φυσικά απαγορεύει την χρήση τροφοδοσίας ισχύς αλλά αυτό είναι ασήμαντο και δεν θα παρουσιάσει προβλήματα. Υπάρχουν φορές πράγματι όπου η χειροτροφοδότηση πλεονεκτεί γιατί είναι δυνατό να λάβει την αίσθηση του κόπτη και να εφαρμοστεί ανάλογα. Επιτυγχάνοντας το σωστό βάθος κοπής παρουσιάζεται ένα πρόβλημα αφού δεν υπάρχουν μέσα τροφοδότησης της κοπής σε σωστές γωνίες προς την αξονική κεντρική γραμμή του τεμαχίου. Η τροφοδότηση πρέπει να εφαρμόζεται από τον κοχλία οριζόντιας κύλισης που είναι σε μια γωνία με την επιθυμητή κίνηση. Έχει επεξηγηθεί πόσο σημαντική είναι η κοπή των δοντιών στο κατάλληλο βάθος και έτσι πρέπει να βρεθούν τα κατάλληλα μέσα γι' αυτό. Μπορεί να είναι δυνατό να γίνει αυτό κόβοντας ένα δόντι ρηχό και ελέγχοντας το βάθος κοπής μέσω ενός μετρητή βάθους, προσθέτοντας λίγο στην κοπή και μετά επαναλαμβάνοντας την λειτουργία μέχρι να βρεθεί το κατάλληλο βάθος. Όλα τα δόντια μετά μπορούν να κοπούν με αυτό τον τρόπο. Είναι ένα σημείο όπου στοιχειώδεις γνώσεις τριγωνομετρίας είναι ένα καλό εργαλείο για κάποιον. Αν η γωνία κλίσης της διαιρούμενης κεφαλής είναι γνωστή τότε είναι εύκολος ο υπολογισμός για τον καθορισμό της απόστασης της οριζόντιας κύλισης για να κινηθεί και να φτάσει στο επιθυμητό βάθος κοπής. Αν το επιθυμητό εργαλείο είναι διαιρεμένο από το συνημίτονο της γωνίας του διαιρέτη της ατράκτου και δεν σχηματίζει κάθετο επίπεδο, το αποτέλεσμα θα είναι η απόσταση της οριζόντιας κύλισης να χρειάζεται μετακίνηση. Μια γωνία  $60^\circ$  είναι βολική για να χρησιμοποιηθεί γιατί το συνημίτονο των  $60^\circ$  είναι 0,5, έτσι η ποσότητα της οριζόντιας κύλισης που μετακινείται είναι το διπλάσιο του βάθους του επιθυμητού γραναζιού. Δυστυχώς δεν είναι πάντα βολικό να ορίζουμε την κάθετη επιφάνεια κύλισης στις  $60^\circ$ . Η γωνία κλίσης που επιλέχτηκε θα είναι πολύ πιθανό ανάμεσα σε  $30^\circ$  με  $65^\circ$  και έτσι συντάχθηκε ο πίνακας 9.3 με προσαιξήσεις των  $5^\circ$ .

| ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                      |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DP<br>γρانا-<br>ζιού              | $30^\circ$ | $35^\circ$ | $40^\circ$ | $45^\circ$ | $50^\circ$ | $55^\circ$ | $60^\circ$ | $65^\circ$ |
| Εγκάρσιος ολισθητήρας τροφοδοσίας |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 6                                 | 0,416      | 0,439      | 0,470      | 0,509      | 0,560      | 0,628      | 0,720      | 0,852      |
| 8                                 | 0,312      | 0,330      | 0,352      | 0,382      | 0,420      | 0,471      | 0,540      | 0,639      |
| 10                                | 0,249      | 0,264      | 0,282      | 0,305      | 0,336      | 0,377      | 0,432      | 0,511      |
| 12                                | 0,208      | 0,220      | 0,235      | 0,256      | 0,280      | 0,314      | 0,360      | 0,426      |
| 14                                | 0,178      | 0,188      | 0,201      | 0,218      | 0,240      | 0,268      | 0,308      | 0,364      |
| 16                                | 0,156      | 0,165      | 0,176      | 0,191      | 0,210      | 0,235      | 0,270      | 0,319      |
| 18                                | 0,139      | 0,146      | 0,157      | 0,170      | 0,187      | 0,209      | 0,240      | 0,284      |
| 20                                | 0,125      | 0,132      | 0,141      | 0,153      | 0,168      | 0,188      | 0,216      | 0,256      |
| 22                                | 0,113      | 0,120      | 0,128      | 0,139      | 0,152      | 0,171      | 0,196      | 0,232      |
| 24                                | 0,104      | 0,110      | 0,117      | 0,127      | 0,140      | 0,157      | 0,180      | 0,213      |
| 26                                | 0,096      | 0,101      | 0,108      | 0,117      | 0,129      | 0,145      | 0,166      | 0,196      |
| 28                                | 0,089      | 0,094      | 0,101      | 0,109      | 0,120      | 0,134      | 0,154      | 0,182      |
| 30                                | 0,083      | 0,088      | 0,094      | 0,102      | 0,112      | 0,126      | 0,144      | 0,170      |
| 32                                | 0,077      | 0,082      | 0,087      | 0,095      | 0,104      | 0,117      | 0,134      | 0,159      |

Πίνακας 9.3 : Γωνία κλίσης

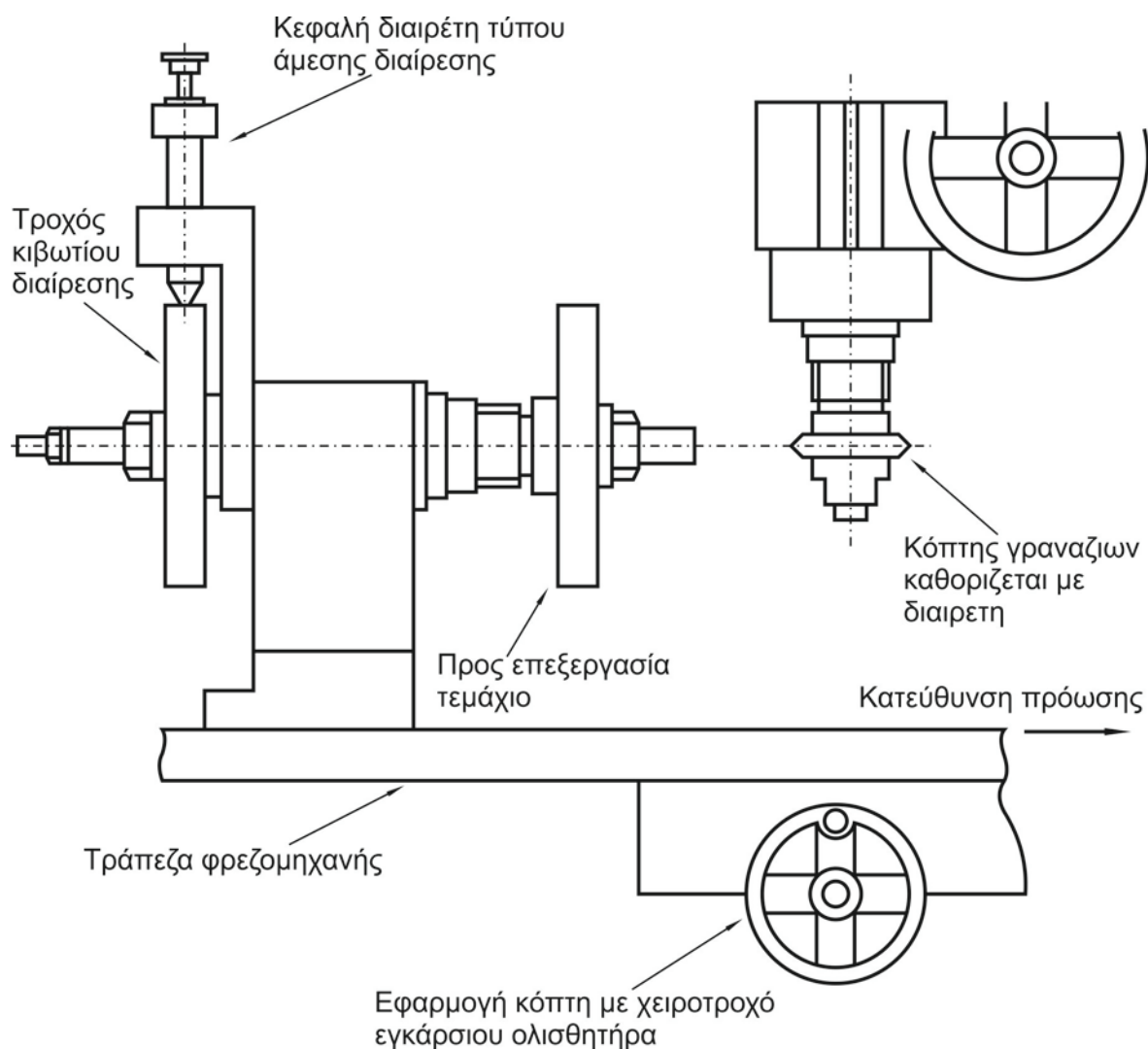
Τα σχήματα που φαίνονται δείχνουν την ποσότητα που χρειάζεται ο κοχλίας οριζόντιας κύλισης καθώς προχωράει αφού έχει επέλθει επαφή μεταξύ του κοπτικού και του



τεμαχίου. Το στέλεχος του γραναζιού φαίνεται με μια ακίδα στήριξης, αυτή η υποστήριξη παρέχεται από τον άνω βραχίονα στην διαιρούμενη κεφαλή. Με την διαιρούμενη κεφαλή να δείχνει την υποστήριξη του άνω βραχίονα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γρανάζια πάνω από 5 ¼ ίντσες διαμέτρου, για γρανάζια μεγαλύτερα από αυτό ο άνω βραχίονας πρέπει να αφαιρεθεί αλλιώς θα χαλάσει το γρανάζι. Αυτό θα είναι κρίμα γιατί όσο τα γρανάζια μεγαλώνουν τόσο μεγαλύτερο είναι το πλεονέκτημα που απορρέει από την στήριξη. Εντούτοις, για να καταπολεμηθεί η έλλειψη στήριξης το στέλεχος του γραναζιού πρέπει να φτιαχτεί όσο πιο κοντό γίνεται έτσι ώστε να τοποθετήσει το ακατέργαστο γρανάζι όσο πιο κοντά στο εμπρόσθιο ρουλεμάν της διαιρούμενης κεφαλής.

### 9.1 Κοπή γραναζιών στην κάθετη φρέζα

Παρόλα αυτά όλο και πιο πολλά ερασιτεχνικά εργαστήρια είναι εξοπλισμένα με μια κάθετη φρέζα. Ο σχεδιαστής περιμένει τα εργαλεία του να παράγουν περισσότερα από τα επιτρεπτά. Βασικά ο τόρνος είναι μια περιστρεφόμενη μηχανή αλλά με κάποια έξυπνα αξεσουάρ ο τόρνος είναι ικανός να διεξάγει πολύ περισσότερες διεργασίες από μια απλή περιστροφή. Δεν είναι πολύ πίσω στην μεταβλητότητα από την κάθετη φρέζα, οπότε δεν προκαλεί έκπληξη ότι όσο αναδεικνύονται οι δυνατότητες τέτοιου τύπου μηχανής είναι πολύ πιθανότερο να ενσωματωθούν στο εργαστήριο.



Σχήμα 9.4 : Κοπή γραναζιών σε κάθετη φρέζα

Κάποιοι κατασκευαστές μικρών κάθετων φρέζων αναγνωρίζοντας τις ανάγκες των ερασιτεχνών παράγουν μηχανές με γαντζωτό ή χαμηλής ταχύτητας σύστημα και μια μηχανή τέτοιου τύπου είναι ιδανική για τέτοια χρήση.

Το σχήμα 9.4 δείχνει διαγραμματικά πως η κάθετη φρέζα είναι καθορισμένη να παράγει μετωπικά γρανάζια. Ο κόπτης είναι συναρμολογημένος πάνω σε ένα μικρό στέλεχος το οποίο προσαρμόζεται στην κύρια άτρακτο της μηχανής και διατηρείται σε θέση μέσω μιας συρόμενης βίδας το οποίο διέρχεται μέσα από μια κούφια άτρακτο. Επομένως ο κόπτης είναι τοποθετημένος σε κοντινή απόσταση με το κεντρικό ρουλεμάν της άτρακτου και έτσι είναι καλά υποστηριγμένο. Αν η μηχανή είναι με ταχύτητες τότε το φάσμα των στροφών κυμαίνεται μέχρι 30 ή 40 στροφές/λεπτό και είναι άμεσα διαθέσιμες στον κόπτη. Η κάθετη προωθητική κίνηση του καλύμματος της φρέζας θα ταιριάζει με έναν τέλειο μηχανισμό τροφοδότησης δίνοντας τη δυνατότητα στον κόπτη να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε απαιτούμενο ύψος και τότε κλειδώνεται σε αυτή τη θέση αποτρέποντας περαιτέρω κίνηση. Το μεγάλο επίπεδο τραπέζι με τις εγκοπές σύσφιξης τύπου T που οι περισσότερες από τις φρέζες διαθέτουν παρέχει μια ιδανική επιφάνεια για την τοποθέτηση της διαιρούμενης κεφαλής. Η πλειοψηφία των διαιρούμενων κεφαλών είναι σχεδιασμένες γύρω από την κουκουβάγια παρέχοντας καλό κεντρικό ύψος και επίσης μια μεγάλη επιφάνεια τοποθέτησης και έτσι κανένα πρόβλημα δεν θα προκύψει στη διασφάλιση της κεφαλής αυτού του τύπου πάνω στο τραπέζι. Μια διαιρούμενη κεφαλή ενός ατέρμονα και ενός τροχού είναι ένα ακριβό κομμάτι εξοπλισμού και έτσι η μεγίστη μεταβλητότητα θα είναι μια σκέψη όταν είναι να αποφασιστεί ποιο από τα δυο να επιτευχτεί ή να κατασκευαστεί. Μια διαιρούμενη κεφαλή είναι επίσης ένα χρήσιμο αξεσουάρ τόννου και έχει πολλές χρήσεις εκτός από την ευρετηρίαση των κενών των ταχυτήτων. Εντούτοις όταν είναι για χρήση σε τόννο είναι συνήθως σχεδιασμένο για τοποθέτηση πάνω σε μια κάθετη επιφάνεια κύλισης και έτσι δεν διαθέτει, ούτε μια μεγάλη επίπεδη βάση για απευθείας τοποθέτηση πάνω στο τραπέζι της μηχανής ούτε κέντρο σε εξυπηρετικό ύψος. Η Myford κεφαλή είναι ένα τυπικό παράδειγμα του τύπου αυτού και παρόλο ότι είναι απολύτως ικανοποιητική για χρήση σε μια φρέζα που χρειάζεται ανύψωση εμποδίου ανάμεσα στην κεφαλή και του τραπεζιού της φρέζας.

Στην κοπή μετωπικών γραναζιών είναι απαραίτητο να συνδεθεί η άτρακτος της διαιρετής κεφαλής παράλληλα στους οδηγόδρομους αλλιώς τα απορρέοντα δόντια του γραναζιού δεν θα είναι κάθετα στην όψη του γραναζιού. Η φρέζα έχει μια αυλακωτή εγκοπή ή σφηνόδρομο στο τραπέζι (αυτός ο σφηνόδρομος κόπηκε με τη χρήση της ίδιας της φρέζας ώστε να διασφαλίσει ο σφηνόδρομος να είναι παράλληλος προς τον οδηγόδρομο του τραπεζιού). Το μπλοκ αύξησης είναι σφηνωμένο και στην άνω και στην κάτω επιφάνεια έτσι ώστε κάθε φορά που η διαιρούμενη κεφαλή και το μπλοκ αύξησης είναι δεμένα στο τραπέζι της μηχανής, αυτομάτως είναι και σωστά συνδεδεμένα. Μπορεί να σημειωθεί ότι μόνο ένα μπουλόνι χρησιμοποιείται για να ασφαλίσει την διαιρούμενη κεφαλή, αυτό είναι ικανοποιητικό αφού και το μπλοκ αύξησης και η κεφαλή τοποθετούνται με κλειδιά και το μπουλόνι πρέπει να παρέχει μια πίεση.



Σχήμα 9.5 : Διαιρούμενη κεφαλή με ένα στήριγμα κόπτη υποστηριγμένο από μια ακίδα



Αν δεν υπάρχει αυτόματο σύστημα ευθυγράμμισης αυτό εντάσσεται στο σύστημα σύσφιξης τότε η διαιρούμενη κεφαλή θα πρέπει να είναι παράλληλα κάθε φορά που είναι δεμένη πάνω στο τραπέζι. Η βάση της διαιρούμενης κεφαλής μπορεί να παρέχεται με δεδομένη όψη στην περίπτωση όπου είναι απλό ζήτημα η χρήση τριγωνικότητας ανάμεσα στο επίπεδο της άκρης και το επίπεδο του τραπεζιού. Αν κανένα επίπεδο αναφοράς δεν είναι διαθέσιμο τότε άλλες μέθοδοι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν σωστή σύνδεση.

Μια μέθοδος είναι να τοποθετηθεί το μακρύτερο διαθέσιμο στήριγμα στην άτρακτο της διαιρούμενης κεφαλής και τότε, χρησιμοποιώντας τη μανιβέλα του κοχλία μετάδοσης, θα φέρει το στήριγμα του κόπτη σε κοντινή θέση, αλλά όχι σε επαφή, με το μακρύτερο στήριγμα σε θέση μέσω του καλύμματος της συσκευής στήριξης. Μετακινώντας το τραπέζι εμπρός πίσω και βλέποντας το κενό ανάμεσα στα δυο στηρίγματα να πλαταίνουν και να στενεύουν, θα είναι φανερό η κατεύθυνση κίνησης της διαιρούμενης κεφαλής για να αποκτηθεί η σωστή διάρθρωση. Το ακατέργαστο γρανάζι θα πρέπει να συναρμολογηθεί πάνω στο κατάλληλο στήριγμα και αυτό επίσης χρειάζεται να ασφαλιστεί στην διαιρούμενη κεφαλή μέσω του σύρτη περνώντας μέσα από την κούφια άτρακτο. Δεδομένου ότι το τεμάχιο προς κατεργασία τοποθετείται κοντά στο κύριο ρουλεμάν της διαιρούμενης κεφαλής και ότι υπάρχει ελάχιστη προεξοχή τότε το στέλεχος δεν θα χρειαστεί ακίδα στήριξης. Αν εξαιτίας κάποιου λόγου, το τεμάχιο προς κατεργασία έχει αξιοσημείωτη προεξοχή τότε είναι καλύτερο να παρέχουμε μια ακίδα στήριξης. Αυτό είναι για να διασφαλιστεί ότι τα ύψη κέντρων και των δυο μονάδων είναι πανομοιότυπα και γιατί το κάθε τεμάχιο που τοποθετείται ανάμεσα στα δυο θα είναι παράλληλα προς τον τραπέζι. Η ακίδα στήριξης είναι ολοκληρωτικά ανεξάρτητη από την κεφαλή και μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε βολική απόσταση από την κεφαλή.

Το σχήμα 9.5 δείχνει μια απευθείας χειροποίητη διαιρούμενη κεφαλή με ένα στήριγμα κόπτη υποστηριγμένο από μια ακίδα. Αν ο τύπος διαιρούμενης κεφαλής Myford χρησιμοποιείται τότε η στήριξη θα παρέχεται από το κέντρο του άνω βραχίονα. Αυτό δεν είναι τόσο σωστό όσο το στήριγμα είναι εγκατεστημένο στο τραπέζι αλλά παρέχει κάποια βοήθεια. Εντούτοις αν αυτό αποδειχθεί ανεπαρκές τότε η ουρά του βραχίονα μπορεί να ακινητοποιηθεί στο τραπέζι δεδομένου ότι το κατάλληλο πακέτο συνδυασμού τοποθετείται ανάμεσα στο τραπέζι και τη στήριξη. Για να κεντραριστεί ο κόπτης με το ακατέργαστο κομμάτι, αποσύρετε το ακατέργαστο κομμάτι από το στέλεχος της διαιρούμενης κεφαλής και εισάγετε ένα κέντρο τόνου στη θέση του, τότε χαμηλώστε την κεφαλή της φρέζας ή υψώστε το τραπέζι, σύμφωνα με τον τύπο της φρέζας που χρησιμοποιείται, προς τα μέσα για μισή ίντσα ή τόσο όσο περίπου είναι η σωστή θέση, τότε κλειδώστε την κεφαλή σφιχτά σε αυτή τη θέση. Κεντράρετε τον κόπτη μέσω κατάλληλων μετατροπών κάθετα προς την μηχανική πρόωση.

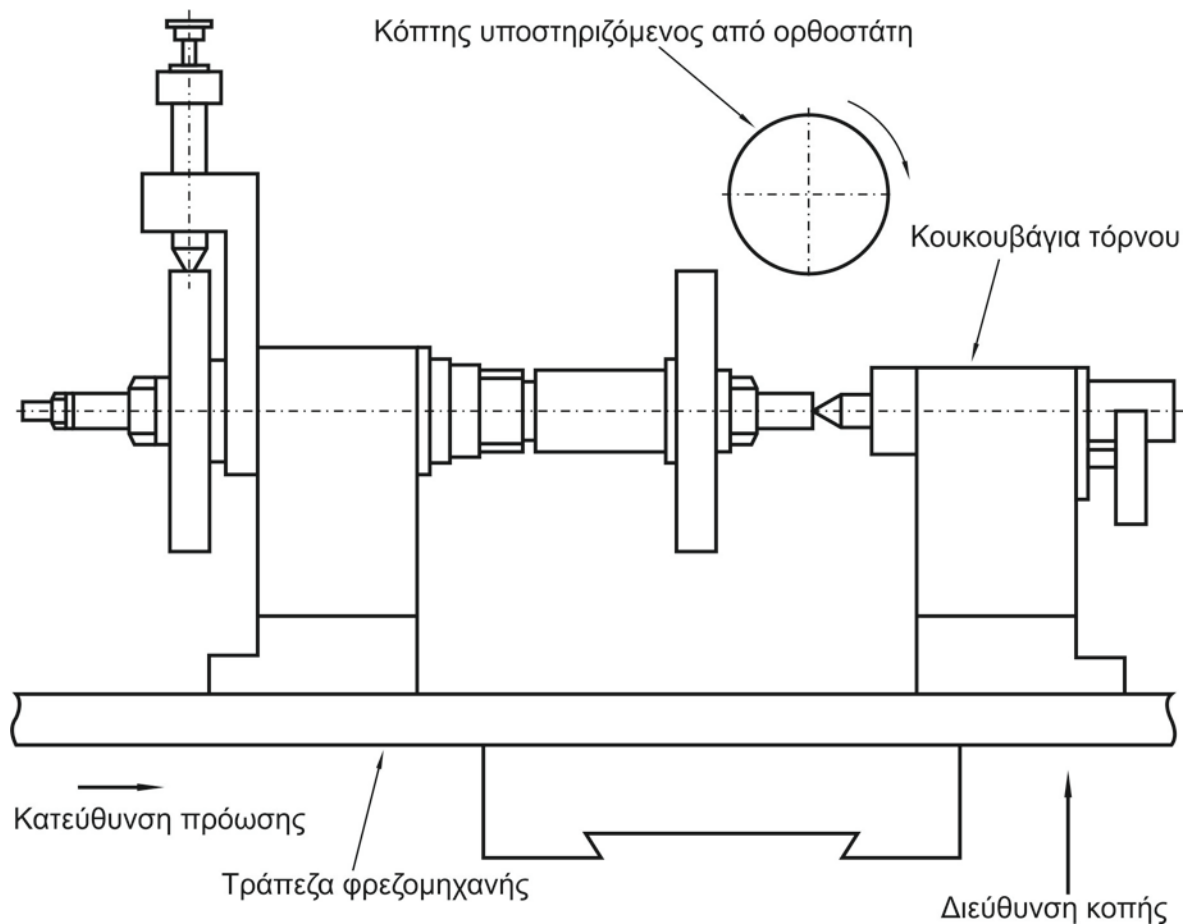
Η όλη διαδικασία μοιάζει με αυτήν που περιγράφεται όταν έχουμε να κάνουμε με κεντράρισμα στον τόρνο. Αφού επιτευχθεί η σωστή θέση κλειδώστε σφιχτά, δίνοντας επιπλέον ώθηση πάνω στην κανονική σύσφιξη αφού οποιαδήποτε κίνηση της βελόνας κατά τη διάρκεια της κοπής θα φθείρει το γρανάζι. Φέρνοντας όλη την κεφαλή κάτω από την θέση διάρθρωσης θα χρειαστεί μια πολύ μικρή προέκταση της βελόνας για να μας δώσει τη μέγιστη υποστήριξη για τον κόπτη. Ρυθμίζοντας τον κόπτη να κόβει προς την διαιρούμενη κεφαλή και όχι μακριά από αυτή, σημαίνει ότι ο κόπτης θα λειτουργεί στην πίσω πλευρά του ακατέργαστου κομματιού. Αυτό δεν είναι μειονέκτημα αν και η μηχανή έχει ποικίλο βάθος λαιμού όμοιο με τη μηχανή που φαίνεται στην φωτογραφία, αυτό το βάθος θα λειτουργήσει στην μικρότερη προεξοχή, επιτρέποντας την κοπή να λάβει χώρα όσο πιο κοντά. Το βάθος κοπής εφαρμόζεται μέσα από την οριζόντια κύλιση του κοχλία και πάλι είναι καλύτερο να κοπεί σε όλο το βάθος του δοντιού με ένα πέρασμα. Η τροφοδότηση εφαρμόζεται από το τραπέζι του χειροτροχού και αν η μηχανή ταιριάζει με την ισχύ της τροφοδότησης αυτό μπορεί πράγματι να χρησιμοποιηθεί.

## **9.2 Κοπή μετωπικών γραναζιών σε μια οριζόντια φρέζα**

Όλα τα εργαλεία έχουν σχεδιαστεί για να φέρουν εις πέρας συγκεκριμένη δουλειά και όταν η μηχανή προσαρμόζεται για να περικλείει κι άλλες λειτουργίες τότε η μεταβλητότητα της αυξάνεται. Είναι γνωστό ότι ο τόνος που σχεδιάστηκε για την μηχανολογία στοχεύει στη λίστα μεταβλητότητας και παρέχει στήριγμα για τον ερασιτέχνη. Η χρησιμότητα της μηχανής γενικά αντανakλάται στην δημοτικότητα της και αυτό είναι ο λόγος γιατί η βασική οριζόντια φρέζα ή χωρίς κάθετη σύνδεση, δεν εμφανίζεται συνήθως πρώτη στη λίστα του ερασιτέχνη.

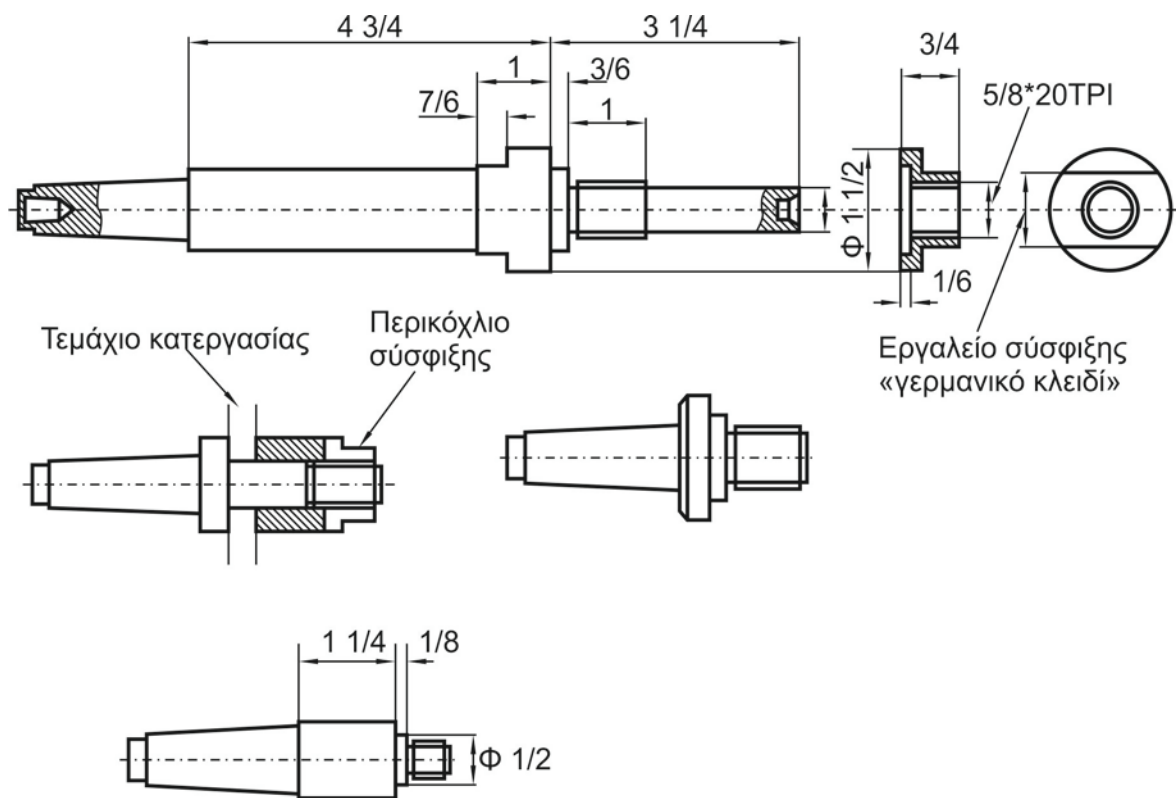
Μια φρέζα οριζόντιας διάταξης είναι βασικά μια παραγωγική μηχανή και είναι κανονικά εξοπλισμένη με ένα μακρύ τραπέζι αλλά συνήθως έχει περιορισμένη εγκάρσια διαδρομή. Είναι ιδανικό για τα τεμάχια που απαιτούν μηχανισμούς κατά μήκος ενός άξονα αλλά κυρίως έχουν λιγότερες δυνατότητες από την κάθετη φρέζα. Η κοπή των γραναζιών είναι μια λειτουργία, ωστόσο αυτό ταιριάζει στην οριζόντια φρέζα αν έχει σταθερότητα και κατάλληλη ταχύτητα στην άτρακτο.

Το τραπέζι της οριζόντιας φρέζας είναι παρόμοιο σε μέγεθος και σχήμα με το τραπέζι της κάθετης φρέζας, το στέλεχος εργασίας και η ακίδα ταιριάζουν σε αυτό ακριβώς. Η κυριότερη διαφορά μεταξύ των δυο όταν χρησιμοποιούνται για την κοπή του γραναζιού είναι η συμπεριφορά του κόπτη. Στην κάθετη μηχανή ο κόπτης περιστρέφεται σε οριζόντιο επίπεδο ενώ στην περίπτωση της οριζόντιας μηχανής ο κόπτης περιστρέφεται σε κάθετο επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι στην οριζόντια μηχανή ο κόπτης έχει ρυθμιστεί στη μηχανή για να δουλεύει το δόντι στην κορυφή της κάθετης κεντρικής γραμμής του ακατέργαστου κομματιού και έτσι το κοντό στέλεχος που χρησιμοποιήθηκε στην κάθετη μηχανή δεν θα προεξέχει αρκετά για να επιτρέψει αυτή τη θέση. Προκειμένου να προσεγγιστεί η κεντρική γραμμή της διαιρούμενης κεφαλής και να επιτρέψει ένα διάκενο ανάμεσα στα άκρα του τραπεζιού και της κεφαλής της μηχανής, λογικά θα χρειαστεί ένας κόπτης με μακρύ στέλεχος. Αυτό θα θέλει τη χρήση μιας ακίδας στήριξης για το στέλεχος το οποίο μπορεί να παρέχεται από τον άνω βραχίονα της μηχανής. Σε οριζόντιες μηχανές η κεφαλή συνήθως πακτώνεται έτσι ώστε ο κόπτης θα πρέπει να κεντραριστεί χρησιμοποιώντας τον τροφοδοτικό κοχλία οριζόντιας κύλισης και η κοπή εφαρμόζεται υψώνοντας το τραπέζι. Και οι δυο αυτές κινήσεις είναι σφιχτά δεμένες και η τροφοδότηση εφαρμόζεται μέσω της μανιβέλας του τραπεζιού ή της μονάδας τροφοδότησης του τραπεζιού. Και πάλι διαρθρώστε το σύνολο έτσι ώστε ο κόπτης να περιστρέφεται και να κόβει προς την διαιρούμενη κεφαλή και όχι προς την ακίδα στήριξης (Σχήμα 9.6).



Σχήμα 9.6 : Κοπή γραναζιών σε οριζόντια φρέζα

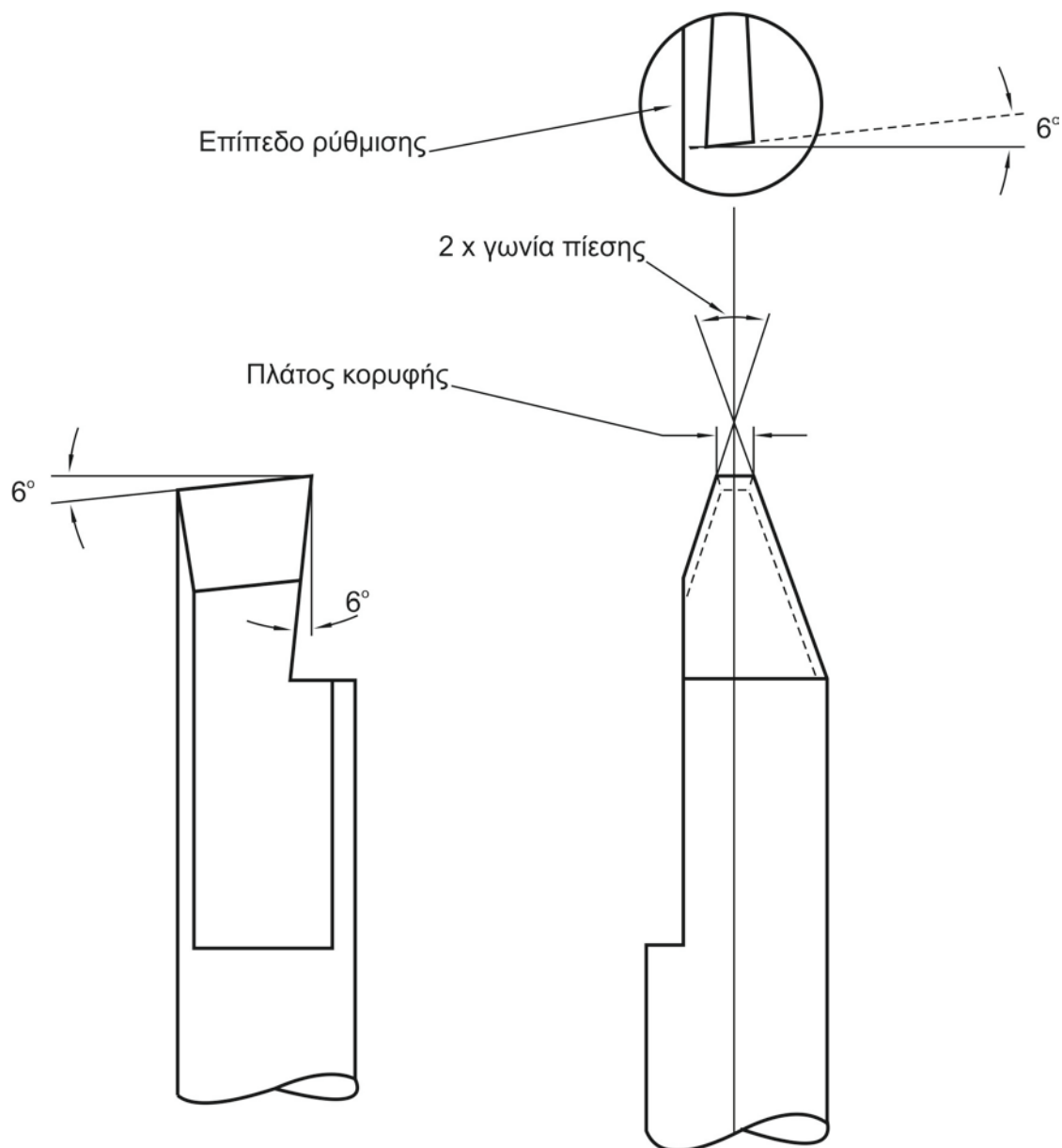
Γενικά η κοπή γραναζιού σε μια φρέζα, είτε κάθετη είτε οριζόντια, προτιμάται από τον τόρνο, αφού κάθε κοπή γραναζιού είναι μια λειτουργία φρεζαρίσματος και η φρέζα είναι σχεδιασμένη να αντιστέκεται σε τέτοιου είδους δυνάμεις. Με την φρέζα η διαδρομή μεταξύ του κόπτη και του τεμαχίου είναι πιο σύντομη και απαιτεί λιγότερες συνιστώσες που πρέπει να αντικατοπτρίζεται σε μεγαλύτερη ακαμψία. Δεν έχει σημασία ποια μέθοδος ή ποια μηχανή χρησιμοποιείτε, πάντα προσπαθείτε να αποκτάτε την μέγιστη υποστήριξη και για τον κόπτη και για το τεμάχιο και πάντα κόβετε προς το υποστήριγμα όπου μπορεί να αντισταθεί αποτελεσματικά στα κομμάτια που δημιουργούνται. Είναι σημαντικό τόσο ο κόπτης όσο και το ακατέργαστο κομμάτι να είναι ορθά συναρμολογημένα, έτσι να αξίζει να ξοδευτεί χρόνος για το σχεδιασμό και την κατασκευή των στελεχών. Όταν φτιαχτούν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές, οποιεσδήποτε διαφορές στα διαμετρήματα των ακατέργαστων κομματιών και στους κόπτες μπορεί ως ένα σημείο να φιλοξενηθεί παρέχοντας ένα δακτύλιο ή περίβλημα για να αυξήσει τη διάμετρο προσάρτησης της πλατφόρμας. Τέτοιος δακτύλιος θα πρέπει να είναι μηχανικά επεξεργασμένος παντού με ένα πέρασμα και η οπή που παράγεται από μοναδιαίου σημείου διάτρηση αφού είναι επιτακτική η ανάγκη τοποθέτησης του κόπτη και του επεξεργαζόμενου τεμαχίου χωρίς εκκεντρότητα (Σχήμα 9.7).



Σχήμα 9.7 : Διάφορα στηρίγματα που χρησιμοποιούνται για την σύσφιξη

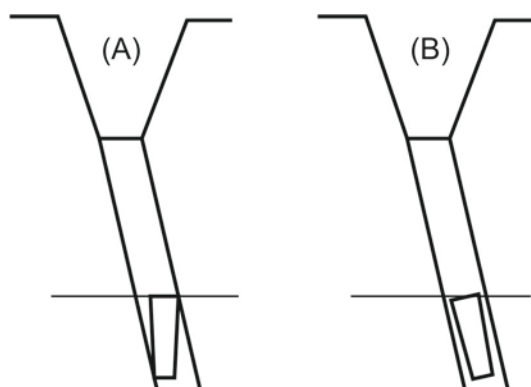
## 10. ΚΟΠΗ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΑΙ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ

Ένα ατέρμονος κοχλίας είναι βασικά ένα σπειρώμα βίδας και έτσι η μηχανή ενός ατέρμονα είναι παρόμοια με αυτή της κοπής ενός σπειρώματος βίδας. Αυτό συμβαίνει στον τόρνο με τον κόπτη να διατηρείται στο εργαλειοφορείο με τον συνήθη τρόπο και το βήμα ελίκωσης ή η ελικοειδής γωνία του ατέρμονα είναι παραγόμενη από μια ακολουθία κατάλληλων αντικαταστάσιμων τροχών. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι φυσικά ένα εργαλείο μορφοποίησης και όπως προηγουμένως ειπώθηκε το σχήμα του δοντιού είναι βασικά παρόμοιο με τη μορφή του οδοντωτού κανόνα του επιθυμητού συνδεδεμένου γραναζιού. Αν το συνδεδεμένο γρανάτζι είναι μορφής με εξελιγμένη παρειά, πολύ πιθανό, τότε ο κόπτης θα είναι σε σχήμα τύπου V με την περικλειόμενη γωνία τύπου V να είναι διπλάσια της γωνίας πίεσης του δοντιού που χρησιμοποιείται.



Σχήμα 10.1 : Μορφή εργαλείου κοπής ατέρμονα κοχλίας

Αφού δυο γωνίες πίεσης είναι γενικά σε χρήση η περικλειόμενη θα είναι  $40^\circ$  σε περίπτωση της δημοφιλούς γωνίας των  $20^\circ$  ή  $29^\circ$  για  $14 \frac{1}{2}^\circ$  γωνία. Είναι απαραίτητο να ακονίσουμε το εργαλείο διαμόρφωσης στο σωστό προφίλ και είναι καλύτερα να γίνει σε ένα εργαλείο ακονίσματος κόπτη. Τα εργαλεία και οι κόπτες ακονίσματος γίνονται όλο και πιο δημοφιλή στο ερασιτεχνικό εργαστήριο αφού ένας αριθμός σχεδίων είναι πλέον διαθέσιμος με μορφή σετ δίνοντας τη δυνατότητα στον ερασιτέχνη, με ελάχιστο κόστος, να φτιάξει ένα εργαλείο που άλλοτε μπορεί να ήταν εκτός προϋπολογισμού. Όχι μόνο οι πλευρές τύπου V του κόπτη είναι σημαντικές, είναι επίσης σημαντικό και το χείλος του εργαλείου. Προφανώς δεν θα φτάσει σε σημείο όπως η κανονική τόννευση σπειρωμάτων αλλά θα έχει ένα επίπεδο άκρο και το πλάτος αυτού του επιπέδου είναι σημαντικό. Αν ένα εργαλείο και ένας κόπτης ακονίσματος δεν είναι διαθέσιμα τότε το εργαλείο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα κατάλληλο μετρητή με τη χειροποίητη μέθοδο αλλά μεγάλη προσοχή θα απαιτηθεί για να αποκτηθεί το σωστό προφίλ και το διάκενο των γωνιών. Το σχήμα 10.1 απεικονίζει ένα κατάλληλο εργαλείο. Ένα εργαλείο με διάμετρο  $\frac{1}{4}$  της ίντσας θα ήταν ικανοποιητικό για όλα, αλλά για μεγαλύτερα DP θα ήταν απαραίτητο να αυξήσουμε τη διάμετρο του εργαλείου στα  $\frac{3}{8}$  της ίντσας.



Αν το εργαλείο δεν ορίζετε πάνω από την ελικοειδή γωνία (A) δεν θα κόβει αλλά θα τρίβει την πλευρά του αυλακιού, ενώ αν ορίζετε τότε θα κόψει σωστά (B).

Σχήμα 10.2 : Το αποτέλεσμα της γωνίας ελίκωσης στο εργαλείο

Το πλάτος της άκρης είναι σημαντικό, αν είναι αρκετά πλατύ τότε δεν θα παρέχεται αρκετό διάκενο ανάμεσα στην κορυφή του γραναζιού και το κατώτατο σημείο του ατέρμονα και το δόντι θα τρίβεται στο κατώτατο σημείο του ατέρμονα ή θα μπορούσε να εμποδίσει ακόμη και τη τοποθέτηση των στοιχείων. Αν η άκρη είναι πολύ στενή τότε θα είναι από μόνη της μια βλάβη αφού δεν θα υπάρχει διάκενο ανάμεσα στο δόντι του γραναζιού και στο κατώτατο σημείο του ατέρμονα. Ωστόσο, θα πρέπει να είναι στενή η άκρη και κατόπιν τότε το βάθος κοπής ή η τροφοδοσία θα πρέπει να αυξηθούν για να παράγουν τη σωστή PCD στον ατέρμονα. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ωθήσει με τη χρήση ενός εργαλείου την κοπή περισσότερων από ένα DP, για παράδειγμα, ένα εργαλείο φτιαγμένο από 20 DP επίσης θα χρησιμοποιείτο για 18 DP ή ακόμη και 16 DP παρέχοντας την κατάλληλη τροφοδοσία. Στις περισσότερες περιπτώσεις το επιπλέον διάκενο δεν θα έχει συνέπειες. Δεν είναι εύκολη η παραγωγή σωστού πλάτους της άκρης αφού δεν υπάρχει κάτι από προς μέτρηση. Καλά εξοπλισμένα εργαστήρια εργαλείων θα παρέχονται με ειδικευμένο εξοπλισμό όπως ο «σκιαγράφος» που θα δώσει τη δυνατότητα στην άκρη να συγκριθεί με μερικά γνωστά στάνταρ. Ο ερασιτέχνης δεν θα έχει τίποτα σαν αυτό στην ευχέρεια του και θα πρέπει να βάλει τα δυνατά του με τον κανονικό εξοπλισμό μέτρησης που διαθέτει. Είναι δυνατό να υπολογιστεί το πλάτος της άκρης με ένα μικρόμετρο αν και ο βαθμός ακριβείας μπορεί να είναι υπό αμφισβήτηση, παρόλα αυτά θα είναι μέσα στα απαιτούμενα όρια για τις περισσότερες γενικές απαιτήσεις. Το μικρόμετρο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση, ή τουλάχιστον θα πρέπει να έχει

ακμές με καλά ακονισμένες γωνίες. Αν οι γωνίες των ακμών είναι στρογγυλεμένες δεν θα έχουμε καλό αποτέλεσμα. Για να υπολογιστεί το πλάτος της άκρης πρώτα κλείνουμε τις ακμές του μικρομέτρου μέχρι η άκρη του εργαλείου να εισαχθεί ακριβώς στο κενό, τότε εφαρμόζετε μια αμυδρή δύναμη ώστε να σπρώξει το εργαλείο στο κενό. Η άκρη του εργαλείου θα είναι ελαφρώς κρατημένη και μια αντίσταση περιστρεφόμενης κίνησης προς οποιαδήποτε κατεύθυνση θα γίνεται μόλις αισθητή. Κλείστε το κενό ανάμεσα στις δυο ακμές του μικρομέτρου με 0,001 και ξαναπροσπαθήστε. Αν η πρώτη διάρθρωση είναι η σωστή τότε η άκρη του εργαλείου δεν θα εισαχθεί στο κενό και η παραμικρή αντίσταση περιστρεφόμενης δύναμης δεν θα υπήρχε. Ο ατέρμονος, όντας μια βίδα, θα έχει φυσικά ελικοειδή γωνία και αυτή η γωνία στις περισσότερες υποθέσεις θα είναι μεγαλύτερη από αυτές που συνήθως απορρέουν σε κανονική διαδικασία τόννευσης σπειρωμάτων. Για να κόβει κατάλληλα το εργαλείο πρέπει να οριστεί πάνω από το στήριγμα του στην ελικοειδή γωνία ή σε μια κοντινή κατά προσέγγιση γωνία. Μια αποτυχία θα αποτρέψει το εργαλείο από την κοπή αφού το διάκενο και οι γωνίες κλίσης θα επηρεαστούν αρνητικά και η πλευρά του εργαλείου θα τρίβει την πλευρά της αυλάκωσης (Σχήμα 10.2). Ο λόγος που προτείνεται το εργαλείο να φτιάχνεται από στρογγυλεμένο υλικό είναι τώρα προφανής, μπορεί να σταθεροποιηθεί και να περιστρέφεται στο στήριγμα του μέχρι η απαιτούμενη ελικοειδής γωνία να αποκτηθεί. Αναφερόμενοι στο σχήμα 10.1 όπου παρουσιάζεται μια επίπεδη διάρθρωση που προτείνεται για την πλευρά του εργαλείου. Αν αυτό παράγεται κανονικά στις κάθετες κορυφές του εργαλείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλευρά αναφοράς και να απλοποιήσει τις διαδικασίες. Ένα μοιρογνωμόνιο ρυθμισμένο στην κατάλληλη γωνία και τοποθετημένο πάνω στην κορυφή της επίπεδης οριζόντιας κύλισης θα δηλώνει πόσο πολύ περιστρέφεται ο κόπτης για να παράγει τη σωστή διάταξη. Οι πίνακες 10.1 και 10.2, δίνουν μια λίστα εύρους DP και μετρικών βημάτων αντίστοιχα, δείχνουν το πλάτος της άκρης για  $14\frac{1}{2}^\circ$  και  $20^\circ$  γωνιών πίεσης, το βάθος κοπής που εφαρμόζεται και επίσης πώς να φτάνουμε στην εξωτερική διάμετρο του ατέρμονα του ακατέργαστου κομματιού με δεδομένη PCD.

| D.P | Πλάτος κορυφής δοντιού |            | Βάθος κοπής | O.D = PCD + | Γραμμικό Βήμα |
|-----|------------------------|------------|-------------|-------------|---------------|
|     | $14\frac{1}{2}^\circ$  | $20^\circ$ |             |             |               |
| 6   | 0,162                  | 0,121      | 0,360       | 0,333       | 0,5236        |
| 8   | 0,122                  | 0,091      | 0,200       | 0,250       | 0,3927        |
| 10  | 0,097                  | 0,073      | 0,216       | 0,200       | 0,3142        |
| 12  | 0,081                  | 0,061      | 0,180       | 0,167       | 0,2618        |
| 14  | 0,069                  | 0,052      | 0,154       | 0,143       | 0,2244        |
| 16  | 0,061                  | 0,046      | 0,135       | 0,125       | 0,1963        |
| 18  | 0,054                  | 0,040      | 0,120       | 0,111       | 0,1745        |
| 20  | 0,049                  | 0,036      | 0,108       | 0,100       | 0,1571        |
| 22  | 0,044                  | 0,033      | 0,098       | 0,091       | 0,1428        |
| 24  | 0,041                  | 0,030      | 0,090       | 0,083       | 0,1309        |
| 26  | 0,037                  | 0,028      | 0,083       | 0,077       | 0,1208        |
| 28  | 0,035                  | 0,026      | 0,077       | 0,071       | 0,1122        |
| 30  | 0,320                  | 0,024      | 0,072       | 0,067       | 0,1047        |
| 32  | 0,030                  | 0,023      | 0,067       | 0,062       | 0,0982        |
| 36  | 0,027                  | 0,020      | 0,060       | 0,056       | 0,0873        |
| 40  | 0,024                  | 0,018      | 0,054       | 0,050       | 0,0785        |

Πίνακας 10.1 : Εύρος DP για  $14\frac{1}{2}^\circ$  και  $20^\circ$  γωνιών πίεσης

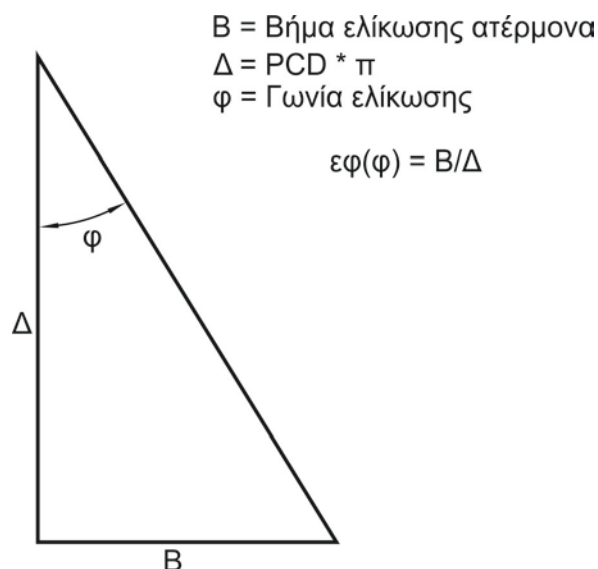
Η PCD θα καθοριστεί από τα απαιτούμενα του σχεδιασμού. Η τελευταία στήλη παρουσιάζει το γραμμικό βήμα που θα χρειαστεί για τον υπολογισμό της σωστής ακολουθίας των αντικαταστάσιμων τροχών που εφαρμόζουν στον ειδικό κοχλία όπου οδηγεί το βήμα ελίκωσης του τórνου. Δεν είναι δυνατό να κάνουμε μια λίστα ελικοειδών γωνιών σε αυτούς τους πίνακες αφού αυτό εξαρτάται από την διάμετρο του ατέρμονα. Έχει ήδη ειπωθεί ότι η διάμετρος του ατέρμονα δεν επηρεάζει την σχέση μετάδοσης του γραναζιού και έτσι η PCD του ατέρμονα μπορεί να επιλεγεί για να ταιριάζει στα απαιτούμενα του σχεδίου.

| Μετ-<br>ρικό<br>βήμα | Πλάτος κορυφής δοντιού<br>Βάθος κοπής |      |        |      | Εξωτερική διάμετρος = PCD + Γραμμικό βήμα |      |        |      |        |       |
|----------------------|---------------------------------------|------|--------|------|---|------|--------|------|--------|-------|
|                      | 14½° PA                               |      | 20° PA |      |   |      |        |      |        |       |
|                      | Ίντσες                                | mm   | Ίντσες | mm   | Ίντσες                                    | mm   | Ίντσες | mm   | Ίντσες | mm    |
| 4                    | 0,153                                 | 3,89 | 0,115  | 2,91 | 0,340                                     | 8,63 | 0,315  | 8,00 | 0,4947 | 12,57 |
| 3                    | 0,115                                 | 2,92 | 0,086  | 2,19 | 0,255                                     | 6,47 | 0,236  | 6,00 | 0,3711 | 9,42  |
| 2,5                  | 0,096                                 | 2,43 | 0,072  | 1,82 | 0,212                                     | 5,39 | 0,197  | 5,00 | 0,3092 | 7,85  |
| 2                    | 0,077                                 | 1,94 | 0,057  | 1,46 | 0,170                                     | 4,31 | 0,157  | 4,00 | 0,2474 | 6,28  |
| 1,5                  | 0,057                                 | 1,46 | 0,043  | 1,09 | 0,127                                     | 3,23 | 0,118  | 3,00 | 0,1855 | 4,71  |
| 1,25                 | 0,048                                 | 1,22 | 0,036  | 0,91 | 0,106                                     | 2,70 | 0,098  | 2,50 | 0,1546 | 3,93  |
| 1                    | 0,038                                 | 0,97 | 0,029  | 0,73 | 0,085                                     | 2,16 | 0,079  | 2,00 | 0,1237 | 3,14  |
| 0,8                  | 0,031                                 | 0,78 | 0,023  | 0,58 | 0,068                                     | 1,73 | 0,063  | 1,60 | 0,0989 | 2,51  |
| 0,7                  | 0,027                                 | 0,68 | 0,020  | 0,51 | 0,059                                     | 1,51 | 0,055  | 1,40 | 0,0866 | 2,20  |
| 0,5                  | 0,019                                 | 0,49 | 0,014  | 0,36 | 0,042                                     | 1,08 | 0,039  | 1,00 | 0,0618 | 1,57  |
| 0,4                  | 0,015                                 | 0,39 | 0,011  | 0,29 | 0,034                                     | 0,86 | 0,031  | 0,80 | 0,0495 | 1,26  |
| 0,3                  | 0,011                                 | 0,29 | 0,009  | 0,21 | 0,025                                     | 0,65 | 0,024  | 0,60 | 0,0371 | 0,94  |

Πίνακας 10.2 : Εύρος μετρικού βήματος για 14 ½° και 20° γωνιών πίεσης

Εντούτοις, δεν είναι δύσκολο να καθοριστεί η ελικοειδής γωνία αφού είναι μόνο περίπτωση διαίρεσης του βήματος ελίκωσης από την περίμετρο του κυλιόμενου κύκλου και μετά διαβάζοντας τη γωνία από ένα σύνολο από πίνακες με εφαπτόμενες. Η μαθηματική μέθοδος παρουσιάζεται στο σχήμα 10.3. Το εργαλείο πρέπει να διατηρείται σε κατάλληλη εργαλειοθήκη, το βασικό σχήμα του οποίου μπορεί να είναι τετράγωνο ή ορθογώνιο, το πραγματικό τους σχήμα εξαρτάται από τον τύπο της εργαλειοθήκης με την οποία ο τórνος είναι εξοπλισμένος. Το στήριγμα πρέπει να έχει μια οπή ακριβείας για να κουμπώσει το εργαλείο, καθώς επίσης και ένα μέσο σταθερής ασφάλειας του εργαλείου πάνω στο στήριγμα αφού έχει οριστεί η γωνία ελίκωσης. Ασφαλίζοντας τον κόπτη μέσω ενός κοχλία σύσφιξης που διαπερνά την πλευρά του στηρίγματος και έχοντας επαφή με τον κόπτη, αυτό δεν προτείνεται αφού δεν παρέχει ένα στενό ή σταθερό στήριγμα. Η βίδα θα έσπρωχνε μονόπλευρα το εργαλείο στην οπή, παρέχοντας όμως διάκενο στην πλευρά της βίδας και επιτρέποντας έτσι στο εργαλείο να λειτουργεί υπό φορτίο. Είναι μακράν καλύτερο να χωριστεί το στήριγμα κατά μήκος της κεντρικής γραμμής και να τοποθετηθεί ο κοχλίας σύσφιξης έτσι ώστε όταν είναι σφιχτά τοποθετημένο στην οπή θα κλείσει τελείως γύρω από το εργαλείο κάνοντας όλη την μονάδα άκαμπτη. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι δεν υπάρχουν δυνάμεις περιστροφής που δρουν πάνω στο εργαλείο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύσφιξης έτσι άπαξ και το εργαλείο οριστεί στην ελικοειδή γωνία δεν θα περιστρέφεται όσο ο κοχλίας σύσφιξης είναι σφιχτά στερεωμένος.





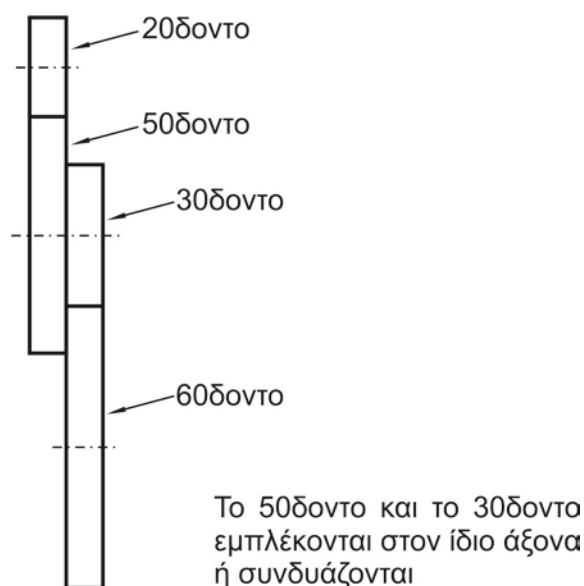
Σχήμα 10.3 : Υπολογισμός της γωνίας ελίκωσης

### 10.1 Καθορίζοντας τους τροχούς αντικατάστασης για την παραγωγή της γωνίας ελίκωσης

Όταν γίνεται η κοπή σπειρωμάτων στον τόρνο η ελικοειδής γωνία της σπείρας παράγεται από τη σύνδεση του κοχλία ελίκωσης στον άξονα του τόρνου. Η σχέση μετάδοσης των γραναζιών που οδηγούν τον κοχλία ελίκωσης μπορεί να προσαρμοστεί με την αλλαγή των τροχών αλλαγής ταχύτητας στον κοχλία ειδικής χρήσης του τόρνου έτσι ώστε η συνολική πρόωση του εργαλείου για κάθε περιστροφή να μπορεί να προκαθορισθεί. Οι περισσότεροι τόρνοι είναι εξοπλισμένοι με ένα πίνακα κοπής σπειρωμάτων με λίστα των αντικαταστάσιμων τροχών που απαιτούνται για τα πιο σπάνια βήματα και γνωρίζοντας τι βήμα απαιτείται, είναι απλό να γίνεται αντιστοίχιση γραναζιού σύμφωνα με τους πίνακες, τοποθετώντας τα γρανάζια ανάλογα. Επιλέγοντας τα γρανάζια που απαιτούνται για την κοπή ενός ατέρμονα μπορεί να μην είναι τόσο απλό αφού είναι λιγότερο πιθανό το απαιτούμενο βήμα να εμφανίζεται στη λίστα. Δουλεύοντας πάνω σε ένα παράδειγμα είναι πιθανότατα ο καλύτερος τρόπος απεικόνισης και επίλυσης των ενδεχόμενων προβλημάτων. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα 40 δοντιών οδοντωτό γρανάζι και ότι επιθυμούμε να κόψουμε έναν ατέρμονα για να κατασκευάσουμε μια διαιρούμενη κεφαλή ή έναν περιστρεφόμενο τραπέζι. Το σχήμα 7.6 δείχνει πως αυτό μπορεί να γίνει ορίζοντας τον ατέρμονα για να ταιριάζει στην ελικοειδή του γωνία. Το πρώτο στάδιο είναι ο καθορισμός του γραναζιού και η μόνη πληροφορία που μπορεί να ληφθεί με εξέταση είναι ο αριθμός των δοντιών και επίσης η εξωτερική διάμετρος. Εντούτοις, από αυτό μπορούμε να ορίσουμε το κυκλικό βήμα το οποίο θα μας δώσει το σωστό βήμα ελίκωσης για τον ατέρμονα. Είναι πολύ πιο πιθανό ότι το γρανάζι θα είναι με δεδομένο DP και γνωρίζουμε από προηγούμενα κεφάλαια ότι το DP ενός γραναζιού είναι ο αριθμός των δοντιών συν δυο δια την εξωτερική διάμετρο του. Αν υπολογίζοντας, βρούμε ότι η εξωτερική διάμετρος είναι 1.4 τότε εφαρμόζοντας την εξίσωση έχουμε:  $DP = 40 + 2/1.4 = 42/1.4$  το οποίο μας δίνει το σχήμα 5.1 για το DP. Εντούτοις, για να κόψουμε τον ατέρμονα θέλουμε το κυκλικό βήμα, έτσι ξανά αναφερόμενοι σε προηγούμενη συζήτηση, γνωρίζουμε ότι το CP είναι  $\pi/DP$  έτσι ώστε το CP για το γρανάζι μας θα είναι  $\pi/30$  που είναι 0.1047.

Τώρα γνωρίζουμε ότι πρέπει να κόψουμε έναν ατέρμονα με βήμα 0.1047. Πίνακες κοπής σπειρωμάτων ή αντικαταστάσιμων τροχών σε μονάδες μέτρησης Αγγλοσαξονικού συστήματος σπανίως δίνουν το βήμα αλλά δηλώνουν τις σπείρες ανά ίντσα. Αν επιθυμούμε μπορούμε να αλλάξουμε το βήμα σε σπείρες ανά ίντσα διαιρώντας το 0.1047 σε 1 για να δώσει 9.551 σπείρες ανά ίντσα. Είναι άχρηστο να βλέπουμε το διάγραμμα του τόρνου για την ακολουθία των αντικαταστάσιμων τροχών για να περιορίσουν τον αριθμό καθώς δεν θα πρέπει να απαριθμούνται. Είμαστε επομένως μόνοι μας και πρέπει να

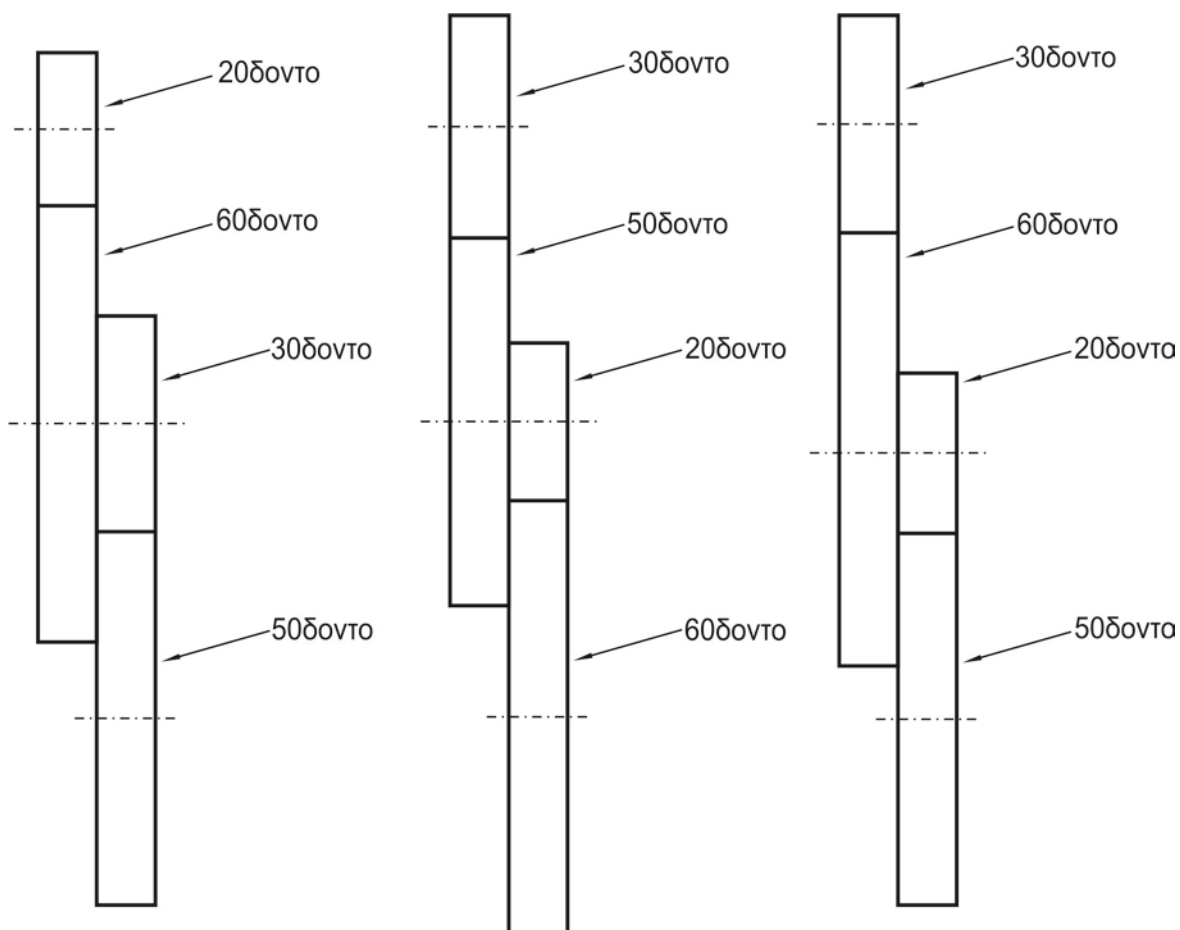
ξεκινήσουμε με τις βασικές αρχές. Θα ναι καλύτερο αν πριν την προσπάθεια για επίλυση του προβλήματος μη τυποποιημένου βήματος, εξετάσουμε πώς να χειριστούμε το δεδομένο βήμα. Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ή το μικρό τεμάχιο και είναι 40 σπείρες ανά ίντσα έτσι θα εργαστούμε με ένα σύνολο αντικαταστάσιμων τροχών για το βήμα αυτό. Οι πιο μικροί τόννοι ταιριάζουν με ένα 8 σπειρών ανά ίντσα βήμα ελίκωσης και αυτό θα έχει ένα βήμα  $1/8$  ή  $0.125$  ίντσες. Αυτό σημαίνει ότι όταν το κόντρα παξιμάδι συνδέεται με την γλυσιέρα του τόννου, και επομένως με το εργαλείο, θα μετακινηθεί σε απόσταση  $0.125$  ίντσες για κάθε περιστροφή του κοχλίας ελίκωσης. Ένας κοχλίας με 40 σπείρες ανά ίντσα, έχει βήμα  $1/40$  της ίντσας ή  $0.025$  ίντσες. Ακολουθεί ότι ο ελικοειδής κοχλίας θα πρέπει να περιστραφεί πιο αργά από τον άξονα και ότι η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στις ταχύτητες πρέπει να είναι ίδιας τιμής με την σχέση μετάδοσης ανάμεσα στα δυο βήματα. Αυτή η σχέση μετάδοσης είναι  $0.125/0.025$  ή  $5:1$ , έτσι αυτό πρέπει να είναι η ταχύτητα της σχέση μετάδοσης ανάμεσα στους δυο άξονες. Ο άξονας του τόννου θα πρέπει να περιστραφεί 5 φορές για κάθε στροφή του ελικοειδής κοχλίας. Στη λειτουργία αυτό θα παράγει 5 σπείρες του τεμαχίου πάνω σε απόσταση  $0.125$  ίντσες, έτσι το βήμα κάθε σπείρας θα είναι  $0.025$  ίντσες. Γνωρίζουμε ότι η σχέση μετάδοσης του γραναζιού που τοποθετείται στον κοχλία ειδικής χρήσης πρέπει να είναι  $5:1$ . Το μικρότερο γρανάτζι σε ένα σύνολο από τροχούς αλλαγής ταχύτητας είναι συνήθως το 20 δοντιών γρανάτζι κι έτσι πολλαπλασιάζοντας τον αριθμητή και τον παρανομαστή με το 20 μας δίνει  $5/1 \times 20/20 = 100/20$ . Αν αυτά τα δυο γρανάτζια, μαζί με έναν αδρανή τροχό για να γεφυρωθεί το κενό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το 20 δοντιών που θα μπορούσε να ταιριάζει στον άξονα του τόννου και το 100 δοντιών στον ελικοειδή κοχλία και τότε θα μπορούσε να παραχθεί το επιθυμητό βήμα. Το περίεργο εδώ είναι ότι ένα 100 δοντιών γρανάτζι δεν περιλαμβάνεται συνήθως σε ένα δεδομένο σύνολο αντικαταστάσιμων τροχών και επομένως πρέπει να βρεθεί εναλλακτική λύση. Η σχέση μετάδοσης  $5:1$  μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δυο, αρχικά  $2 \frac{1}{2} : 1$  και το άλλο  $2:1$  αυτά τα δυο μαζί θα δώσουν μια συνολική μείωση  $5:1$ . Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για την απόκτηση του  $2:1$  από ένα σύνολο αντικαταστάσιμων τροχών όπως:  $(40)/(20)$  ή  $(50)/(25)$  ή  $(60)/(30)$  ή  $(70)/(35)$ . Η σχέση μετάδοσης  $2 \frac{1}{2} : 1$  μπορεί να αποκτηθεί από το γρανάτζι  $(50)/(20)$ . Χρησιμοποιώντας τέσσερα διαφορετικά σε μέγεθος γρανάτζια μια προτεινόμενη ακολουθία θα μπορούσε να είναι  $50/20 \times 60/30$ , η οποία αν πολλαπλασιαστεί δίνει  $3000/600$  ή  $5/1$ . Τα γρανάτζια που εμφανίζονται στην παραπάνω γραμμή θα είναι γρανάτζια οδηγούμενα ενώ τα γρανάτζια που εμφανίζονται παρακάτω θα είναι οδηγοί.



Σχήμα 10.4 : Εμπλοκή στον ίδιο άξονα

Έχει σημειωθεί ότι σε μια ακολουθία γραναζιών μόνο το πρώτο και το τελευταίο γρανάτζι έχει κάποια συνέπεια στην συνολική σχέση μετάδοσης και αυτό είναι έτσι μόνο αν όλα τα

γρανάζια είναι σε ξεχωριστούς άξονες. Στην σχέση μετάδοσης που δείχνεται παραπάνω όλα τα γρανάζια δεν θα ναι σε ξεχωριστούς άξονες. Δυο από αυτά θα είναι σε έναν άξονα ή συναρμολογημένα, το σχήμα 10.4 δείχνει πως είναι αυτό διαρθρωμένο. Το 20 δοντιών γρανάζι οδηγεί το 50 δοντιών γρανάζι το οποίο είναι δεμένο σε έναν κοινό άξονα με το 30 δοντιών γρανάζι, έτσι περιστρέφονται ως μια μονάδα και πρέπει επομένως να το κάνουν με την ίδια ταχύτητα. Με αυτό το τρόπο και τα τέσσερα γρανάζια επηρεάζουν τη συνολική σχέση μετάδοσης. Υπάρχουν άλλοι τρόποι με τους οποίους τα τέσσερα γρανάζια μπορούν να οργανωθούν και να διατηρούν την σχέση μετάδοσης 5:1 και τόσο όσο τα 20 δοντιών και 30 δοντιών γρανάζια χρησιμοποιούνται ως οδηγοί με τα 50 δοντιών και 60 δοντιών γρανάζια ως οδηγούμενα, η συνολική σχέση μετάδοσης δεν θα επηρεαστεί. Το σχήμα 10.5 δείχνει τρεις ακόμα τρόπους για την διάταξη των τεσσάρων γραναζιών.



Σχήμα 10.5 : Παρουσιάζει ακόμη τρεις τρόπους διάταξης των τεσσάρων γραναζιών όπως δείχνει το σχήμα 10.4 χωρίς να επηρεάζεται η σχέση μετάδοσης

Μερικές φορές ωστόσο είναι θεωρητικά δυνατό να οργανωθούν τα γρανάζια σε συγκεκριμένο τρόπο, μπορεί να υπάρξουν δυσκολίες εξαιτίας ενός μεγαλύτερου γραναζιού που εμπλέκεται με το περικόχλιο ασφαλείας του μικρότερου γραναζιού. Εντούτοις, η αναδιάρθρωση της ακολουθίας συνήθως ξεπερνά αυτό το πρόβλημα. Γενικά είναι πλεονέκτημα για το μικρότερο γρανάζι να χρησιμοποιείται ως ο πρώτος οδηγός και το μεγαλύτερο να είναι το τελευταίο οδηγούμενο αλλά αυτό δεν είναι υποχρεωτικό. Ανατρέχοντας στο αρχικό πρόβλημα του 0.1047 βήματος, το χειριζόμαστε με τον ίδιο τρόπο όπως το κανονικό βήμα παραπάνω. Το πρώτο στάδιο είναι να καθοριστεί η σχέση μετάδοσης του γραναζιού και αυτό γίνεται διαιρώντας το απαιτούμενο βήμα στο βήμα του ελικοειδή κοχλία. Σχέση μετάδοσης =  $0.125/0.1047 = 1.194:1$  ή  $1/1.194$ . Αλλά αυτό είναι μόνο δυνατό να δουλέψει με ολόκληρους αριθμούς όταν χειριζόμαστε τον αριθμό των δοντιών σε ένα γρανάζι, επομένως ο αριθμητής και ο παρανομαστής πρέπει να

πολλαπλασιαστούν με το 1000 και έχουμε  $1 \times 1000 / (1.194 \times 1000) = 1000/1194$ . Στη συνέχεια από το προηγούμενο παράδειγμα από τα δυο γρανάζια, ένα έχοντας 1000 δόντια και ένα 1194 δόντια, θα μας δώσουν το βήμα που θέλουμε. Φυσικά δύο τέτοια γρανάζια δεν είναι καθόλου πρακτικά αλλά είναι δυνατό να απλοποιηθεί ο περιορισμός σε  $500/597$  και αν και το 500 φαίνεται πολλά υποσχόμενο, το 597 μετά τη μείωση σε  $3 \times 199$  δεν μπορεί να γίνει πιο απλοποιημένο αφού το 199 είναι ένας περιττός αριθμός και έτσι για να αποκτηθεί το βήμα πρέπει να έχουμε γρανάζι με 199 δόντια. Θα φαινόταν ότι δεν είναι δυνατό να κοπεί ένα ατέρμονος που θα ταιριάζει απόλυτα με ένα γρανάζι 30 DP. Εντούτοις, η λέξη κλειδί παραπάνω είναι η λέξη «ακριβώς». Ευτυχώς, αν και τα μαθηματικά είναι μια ακριβής επιστήμη, η πρακτική της μηχανολογίας δεν είναι και αν ίσχυε τίποτα δεν θα γινόταν. Σε ένα μηχανολογικό σχέδιο μπορεί ένα αντικείμενο να θέλει να είναι μιας ίντσας διαμέτρου αλλά δεν είναι πρακτική πρόταση να το παράγουμε σε 1 ίντσα ακριβώς και αν ήταν θα ήταν ακριβώς 1 ίντσα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Υπάρχει πάντως πάντα μια ανοχή μέσα στην οποία το αντικείμενο είναι αποδεκτό και όσο επεκτείνεται αυτή, τόσο πιο εύκολο θα είναι να προσαρμοστεί με την συγκεκριμένη ανοχή. Το μέγεθος ανοχής κινείται συνήθως ανάμεσα στο τι είναι ιδανικό και τι μπορεί ικανοποιητικά να παραχθεί. Για αυτό θα αποφασίσουν ο σχεδιαστής και τα γραφεία εκπόνησης των σχεδίων, θα καθορίσουν το εύρος ανοχής και μετά το αντικείμενο θα παραχθεί σύμφωνα με αυτό. Ο ερασιτέχνης δεν μπορεί να δουλέψει έτσι αφού είναι άνευ σημασίας το να αποφασίσει στην ανοχή αν ο εξοπλισμός που είναι διαθέσιμος δεν μπορεί να παράγει το αντικείμενο μέσα στα προκαθορισμένα όρια. Αυτό που ο ερασιτέχνης έχει να κάνει είναι να καθορίσει τι μπορεί να γίνει και τότε να αποφασίσει αν αυτό είναι αποδεκτό.

Στο παράδειγμα μας γνωρίζουμε ότι δεν μπορούμε να ορίσουμε μια ακολουθία τροχών για να δώσει συγκεκριμένο βήμα κι έτσι πρέπει να βρούμε πόσο κοντά μπορούμε να φτάσουμε στο θεωρητικό βήμα και μετά να αναρωτηθούμε αν αυτό είναι αρκετά καλό. Γνωρίζουμε ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα κλάσματα  $1000/1054$  ή  $500/597$ , έτσι κάποια αλλά κλάσματα πρέπει να βρεθούν που θα χρησιμοποιηθούν και όσο πιο κοντά στην τιμή του νέου κλάσματος τόσο πιο μικρό θα είναι το σφάλμα. Υπάρχει μαθηματική μέθοδος εύρεσης ενός νέου κλάσματος, μια διαδικασία που αποκαλούνται συνεχόμενα κλάσματα. Αν κάποιος θέλει να μελετήσει με λεπτομέρεια το θέμα πρέπει να αναφερθεί στο κατάλληλο μαθηματικό εγχειρίδιο, αλλά η παρεχόμενη μέθοδος είναι βήμα-προς-βήμα δίχως ερωτήσεις, όπου είναι απλή αριθμητική. Αν και χρησιμοποιούμε ένα σύνολο αριθμών στην επόμενη άσκηση είναι η μέθοδος που είναι σημαντική και αν αυτό ακολουθείται τότε οποιοδήποτε άλλοι αριθμοί μπορούν να αντικατασταθούν και να έχουμε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αυτό το πρώτο στάδιο στην εύρεση κατάλληλων κατά προσέγγιση κλασμάτων είναι η παρουσία μια σειράς διαιρέσεων που ξεκινούν από το αρχικό κλάσμα  $1000/1194$ . Το ελαφρώς απλούστατο  $500/597$  θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, αλλά η βασική ιδέα εδώ είναι να παρουσιαστεί η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε το κλάσμα  $1000/1194$ . Όπως συμβαίνει αυτό το κλάσμα θα μπορούσε να απλοποιηθεί, άλλα σύνολα αριθμών δεν θα μπορούσαν να το κάνουν. Εντούτοις, δεν έχει σημασία ποιο κλάσμα χρησιμοποιείται, το αρχικό ή το απλοποιημένο, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι ακριβώς το ίδιο. Ξεκινήστε διαιρώντας τον αριθμητή (1000 σε αυτή την περίπτωση) με τον παρανομαστή κάνοντας το με παρόμοιο τρόπο όπως μια διαίρεση μακράς ακολουθίας.

$$\begin{array}{r|l} 1194 & 1000 \\ 1000 & 1 \\ \hline 194 & \end{array}$$

Το 1000 διαιρείται με το 1194 δίνοντας αποτέλεσμα 1 με υπόλοιπο 194. Η ομοιότητα με μια διαίρεση μακράς ακολουθίας τελειώνει, αφού το επόμενο στάδιο είναι να διαιρέσουμε το υπόλοιπο με τον διαιρέτη έτσι διαιρούμε το 194 με το 1000 και το παράδειγμα τώρα δείχνει ως εξής:

$$\begin{array}{r|l} 1194 & 1000 \\ \hline 1000 & 1 \\ \hline 194 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 1000 & 194 \\ \hline 970 & 5 \\ \hline 30 & \end{array}$$

Το 194 διαιρείται με το 1000 δίνοντας 5 με υπόλοιπο 30. Το επόμενο στάδιο είναι η επανάληψη της διαδικασίας διαιρώντας το υπόλοιπο 30 με το 194 το οποίο δίνει 6 με υπόλοιπο 14 και τότε συνεχίζεται η διαδικασία διαίρεσης μέχρι το υπόλοιπο να είναι μηδέν.

$$\begin{array}{r|l} 1194 & 1000 \\ \hline 1000 & 1 \\ \hline 194 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 1000 & 194 \\ \hline 970 & 5 \\ \hline 30 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 194 & 30 \\ \hline 180 & 6 \\ \hline 14 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 30 & 14 \\ \hline 28 & 2 \\ \hline 2 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 14 & 2 \\ \hline 14 & 7 \\ \hline 0 & \end{array}$$

Στο παράδειγμα μας έχουμε φτάσει σε υπόλοιπο μηδέν με μόνο 5 διαιρέσεις, με άλλους αριθμούς θα έπαιρνε ίσως περισσότερο, με 7 διαιρέσεις να ναι ένας μέσος όρος αλλά μπορεί να πάρει και εννέα. Η μόνη πληροφορία που απαιτούμε από τις διαιρέσεις είναι η διαδοχική σειρά αριθμών : 1,5,6,2,7. Αν τώρα επαναληφτεί η διαδικασία αλλά αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας το απλοποιημένο κλάσμα 500/597 θα καταλήξει ακριβώς στην ίδια ακολουθία πηλίκων. Από τη σειρά των πηλίκων θα έχουμε μια παραγωγή σειράς κλασμάτων και το πρώτο είναι πάντα το ίδιο παρά το πόσα πηλικά υπάρχουν, το πρώτο κλάσμα πρέπει να είναι 0/1. Αυτό ακολουθείται σε αλληλουχία από ένα διαιρούμενο με το πρώτο κλάσμα στη σειρά, το οποίο είναι και πάλι 1 στο παράδειγμα μας. Έτσι τα πρώτα δυο κλάσματα είναι 0/1 και 1/1. Τώρα θα κάνουμε το «τρικ» τις υπόθεσης. Πολλαπλασιάστε τον αριθμητή του τελευταίου κλάσματος (5/1) με το επόμενο κλάσμα στη σειρά (5) και προσθέστε τον αριθμητή του προηγούμενου κλάσματος (0/1), το οποίο δίνει  $1 \times 5 + 0 = 5$ . Κάνετε ακριβώς το ίδιο με τους παρονομαστές, πολλαπλασιάστε τον παρονομαστή του τελευταίου κλάσματος (5/1) με το κλάσμα που μόλις χρησιμοποιήθηκε (5) και προσθέστε τον παρονομαστή του προηγούμενου κλάσματος (0/1), δίνοντας  $1 \times 5 + 1 = 6$ . Αυτό έπειτα δίνει το επόμενο κλάσμα στη σειρά 5/6. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία μέχρι όλα τα κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν να δίνουν:

$$\frac{0:1:5:(5*6+1)}{1:1:6:(6*6+1)} = \frac{31:(31*2+5)}{37:(37*2+6)} = \frac{67:(67*7+31)}{80:(80*7+37)} = \frac{500}{597}$$

Έτσι οι σειρές κλασμάτων που παίρνουμε είναι οι εξής:

$$\frac{0}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{5}{6} \quad \frac{31}{37} \quad \frac{67}{80} \quad \frac{500}{597}$$

Από τα παραπάνω μπορεί να φάνει ότι το τελικό κλάσμα στη σειρά είναι το ίδιο όπως και το αρχικό κλάσμα που εκκίνησε τη διαδικασία και αυτό είναι όπως θα έπρεπε, ανεξαρτήτως του αρχικού κλάσματος, το τελικό κλάσμα στην ολοκληρωμένη ακολουθία θα είναι πάντοτε ίδιας σημασίας με το αρχικό. Αυτό είναι ευνοϊκό και μας δίνει τον έλεγχο των υπολογισμών αποδεικνύοντας ότι όλα τα ενδιάμεσα κλάσματα είναι σωστά. Αν το τελικό

κλάσμα δεν είναι ίδιο με το αρχικό ή είναι μειωμένο, τότε κάποιο λάθος έγινε, περίπτωση στην οποία είναι ασύμφορη για να προχωρήσουμε περεταίρω μέχρι να βρεθεί και να διορθωθεί το λάθος. Αυτό που πράγματι έχουμε παράγει είναι μια σειρά από κλάσματα ξεκινώντας κατά προσέγγιση με το αρχικό και με κάθε διαδοχικό κλάσμα και αυξάνοντας σταδιακά φτάνει κοντά στην τιμή του αρχικού κλάσματος μέχρι τελικά να φτάσουμε στο αρχικό κλάσμα. Προκαλεί έκπληξη το πόσο γρήγορα μια προσέγγιση επιτυγχάνεται. Αγνοώντας τα πρώτα δυο κλάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο για να εκκινήσει η διαδικασία, έχουμε 5/6 το οποίο είναι 0.8333. Το αρχικό 1/1.194 έχει την τιμή 0.8375 έτσι το σφάλμα είναι μόνο ακριβώς 0.004. Το επόμενο κλάσμα στη σειρά αν το 31/37 δείχνοντας ένα σφάλμα λίγο πάνω από 0.0003, ενώ στην περίπτωση του 67/80 η 5<sup>η</sup> θέση των δεκαδικών προσεγγίζεται πριν να βρεθεί το σφάλμα. Μπορεί να βρεθεί από αυτό ότι αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα από τα κλάσματα προς το τέλος της ακολουθίας για να καθοριστούν οι τροχοί αλλαγής ταχύτητας τότε το σφάλμα βήματος που υπάρχει θα είναι πράγματι μικρό. Κοιτάζοντας παρακάτω στην ίδια σειρά το κλάσμα 5/6 είναι ελκυστικό γιατί τα δυο γρανάζια 50/60 ή 25/30 που συνδυάζονται είναι μια προφανής επιλογή. Αν ήταν να χρησιμοποιήσουμε τον συνδυασμό αυτό για να οδηγηθεί ο κοχλίας ελίκωσης, το βήμα κοπής θα είναι 50/60 \* 0.125 (βήμα ελικοειδούς κοχλίας), το οποίο είναι 0.10416. Αυτό δείχνει ένα σφάλμα βήματος πάνω στο θεωρητικό 0.1047 κατά μισό χιλιοστό ή κάπου τόσο το οποίο μπορεί να θεωρηθεί αρκετό, αν καμία περεταίρω βελτίωση δεν μπορεί να επιτευχθεί. Αλλά χρησιμοποιώντας ένα από τα άλλα κλάσματα γνωρίζουμε ότι αυτό μπορεί να βελτιωθεί και αν οι δυο τροχοί 67 και 80 ήταν διαθέσιμοι, αυτό θα ήταν ιδανικό αφού το βήμα κοπής θα ήταν 0.1046875, έχοντας ένα σφάλμα μόνο 0.0000125 το οποίο είναι λιγότερο από το σφάλμα βήματος του ελικοειδή κοχλίας. Δυστυχώς, οι τροχοί αλλαγής ταχύτητας είναι συνήθως υποστηριζόμενοι με δόντια με πολλαπλασιαστές του 5 και έτσι τα γρανάζια όπως τα 31, 61 και 67 κανονικά δεν θα είναι διαθέσιμα. Ουσιαστικά το 31, 61 και 67 είναι όλοι πρώτοι αριθμοί έτσι αυτά τα κλάσματα δεν μπορούν να μεταφερθούν σε τροχούς αλλαγής ταχύτητας και επομένως το καλύτερο που μπορεί να αποκτηθεί είναι το 50/60. Εντούτοις, τα κλάσματα έχουν μια ποιότητα όσον αφορά το πρόβλημά μας και αυτό ισχύει αν ο αριθμητής και ο παρανομαστής των δυο κλασμάτων ίδιας τιμής αποκτά ένα τρίτο κλάσμα επίσης ίδιας τιμής.

Για παράδειγμα, 9/18 και 6/12 είναι ίσα με το 1/2 και αν προσθέσουμε τους αριθμητές και τους παρανομαστές παίρνουμε 15/30 το οποίο ισούται με 1/2. Αφαιρώντας τους ίδιους αριθμούς, μας δίνει 3/6 που και πάλι δίνει 1/2. Από αυτό ακολουθεί η ίδια τιμή με παρόμοιο τρόπο, το νέο κλάσμα που αποκτάται θα έχει μια τιμή κοντά στα δυο πρώτα, η τιμή του θα κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές των δυο κλασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Αξιοποιώντας αυτές τις γνώσεις μπορούμε να συμπληρώσουμε τις ακολουθίες κλασμάτων ακόμη περισσότερο. Αν και τα 31 και 67 είναι πρώτοι αριθμοί και αν δυο πρώτοι αριθμοί προστίθενται μαζί το αποτέλεσμα πρέπει να είναι ένας αριθμός που έχει διαιρέτες. Γι' αυτό μπορούμε να αποκτήσουμε ένα νέο κλάσμα από το 31/37 και 67/80 το οποίο δίνει 98/117.

Αυτό φαίνεται πιο υποσχόμενο αφού και οι αριθμητές και οι παρανομαστές θα δώσουν το ακόλουθο:  $\frac{2*7*7}{3*3*13}$  ή χρησιμοποιώντας 4 αριθμούς μόνο  $\frac{14*7}{9*13}$ .

Τότε πάλι πολλαπλασιάζοντας το 7 και 9 με το 10 και το 14 και 13 με το 5, παίρνουμε την εξίσωση  $\frac{70*70}{90*65}$ . Αυτό θα χρειαστεί τη χρήση δύο γραναζιών, ενός 70 δοντιών και ενός 90 δοντιών

αν είναι διαθέσιμο. Μόνο ένα 70 δοντιών γρανάζι θα είναι διαθέσιμο σε δεδομένο σύνολο αντικαταστάσιμων τροχών αλλά και το 70 και το 90 μπορεί να διαιρεθεί με το δυο δίνοντας

μια τελική ακολουθία γραναζιών από  $\frac{35*70}{45*65}$  και αυτά είναι όλα τα δεδομένα

αντικαταστάσιμων τροχών. Το βήμα που μια ακολουθία θα δώσει είναι  $35/45*70/65*0.125 = 0.1047008$  δίνοντας ένα σφάλμα 0.0000008 το οποίο είναι πολύ μικρότερο από το σφάλμα που έγινε με τη χρήση του συνδυασμού 67/80. Ο λόγος για αυτό είναι ότι το σφάλμα σε κάθε διαδοχικό κλάσμα τις αρχικής σειράς εναλλάσσεται ανάμεσα σε συν ένα και μείον ένα έτσι ώστε όταν τα δυο προστεθούν μαζί το σφάλμα να

τείνει να ακυρωθεί. Μπορεί να μην είναι πάντα δυνατό να φτάσουμε σε μια λύση με ένα σφάλμα τόσο μικρό μόνο με τους δεδομένους αντικαταστάσιμους τροχούς αλλά παρόλα αυτά παραδόξως αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ελάχιστη παρέμβαση των αριθμών. Αν χρειάζεται κάποιος ειδικός αντικαταστάσιμος τροχός, τότε μπορεί να αξίζει η παραγωγή ενός αφού θα αυξήσει το διαθέσιμο εύρος για μελλοντικά προαπαιτούμενα. Η παραπάνω μέθοδος επιλογής αντικαταστάσιμων τροχών για ασυνήθιστα βήματα έχει εξηγηθεί σε βάθος διότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λύσει οποιοδήποτε πρόβλημα βήματος όπου άλλες μέθοδοι είναι ακατάλληλες. Στην κοπή ατερμόνων κοχλίων για τη σύνδεση τους με ένα DP γρανάζι η ανώμαλη συνάρτηση στον υπολογισμό είναι ο παράγοντας  $\pi$ . Μια κοντινή προσέγγιση του  $\pi$  σε κλάσμα είναι  $22/7$  έτσι αν και αριθμητής και ο παρανομαστής του κλάσματος πολλαπλασιαστούν με 5 φτάνουμε στο  $110/35$  το οποίο μπορεί να εκφραστεί με όρους των αντικαταστάσιμων τροχών ως  $\frac{55*2}{35*1}$ . Γυρνώντας πίσω

στο αρχικό παράδειγμα του 30 DP ατέρμονα, αν αυτό το κλάσμα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό παρά για πιο συγκεκριμένο δεκαδικό, ίσως μπορούμε να φτάσουμε σε ένα σύνολο αντικαταστάσιμων τροχών απευθείας χωρίς να χρησιμοποιήσουμε κλάσμα στη μέθοδο, αν και το σφάλμα βήματος μπορεί να είναι μεγαλύτερο.

$$CP = \pi, CP = \frac{55*2}{35*DP} \text{ έτσι για τα 30DP εμείς έχουμε πάρει } \frac{55*2}{35*30}$$

$$\text{Ο απαιτούμενος λόγος} = \frac{\text{βήμα ελικοειδούς κοχλίου} * 35 * 30}{55 * 2} : 1,$$

$$\text{ή } \frac{55*2}{0.125*35*30}$$

Αφαιρώντας το δεκαδικό μέρος παίρνουμε:

$$\frac{55000*2}{125*35*30}$$

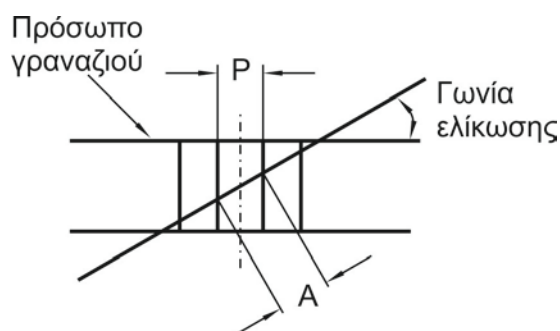
Και με απλοποίηση αυτό δίνει:

$$\frac{440*2}{35*30} \text{ ή } \frac{55*16}{35*30}$$

Επομένως η προτεινόμενη ακολουθία γίνεται  $\frac{55*40}{35*70}$  και αν πολλαπλασιάσουμε την ακολουθία με βήμα ελικοειδούς κοχλίου  $35*75$  παίρνουμε 0.1047619. Συγκρίνοντας αυτό με το βήμα που παράγεται από την ακολουθία των γραναζιών προτείνεται η σχέση συνεχούς κλάσματος, βλέπουμε ότι το σφάλμα, αν και μεγαλύτερο, παρόλα αυτά είναι σωστό και για τις περισσότερες εφαρμογές αυτό μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό. Ο ακόλουθος πίνακας έχει ετοιμαστεί για να προτείνει την ακολουθία των γραναζιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν ατέρμονες που να ταιριάζουν στα DP τους. Οι ακολουθίες έχουν υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο  $\pi = 22/7$  και όπως φαίνεται όλες οι ακολουθίες συμπεριλαμβάνουν δυο γρανάζια 55 και 35, αυτό είναι ο παράγων  $\pi$ . Όλες οι ακολουθίες έχουν υπολογιστεί για έναν τórνο ο οποίος έχει ενσωματωμένο έναν κοχλία ελίκωσης 8 σπείρες ανά ίντσα. Οι αριθμητές είναι οι οδηγοί και οι παρανομαστές οι οδηγούμενοι τροχοί.

| DP | Σύστημα μετάδοσης          | DP | Σύστημα μετάδοσης     |
|----|----------------------------|----|-----------------------|
| 6  | $\frac{55*80}{35*30}$      | 22 | $\frac{55*40}{35*55}$ |
| 8  | $\frac{55*60}{35*30}$      | 24 | $\frac{55*40}{35*60}$ |
| 10 | $\frac{55*40}{35*25}$      | 26 | $\frac{55*40}{35*65}$ |
| 12 | $\frac{55*40}{35*30}$      | 28 | $\frac{55*40}{35*70}$ |
| 14 | $\frac{55*40}{35*35}$      | 30 | $\frac{55*40}{35*75}$ |
| 16 | $\frac{55*ενδιάμεσος}{35}$ | 32 | $\frac{55*30}{35*60}$ |
| 18 | $\frac{55*40}{35*45}$      | 36 | $\frac{55*20}{35*45}$ |
| 20 | $\frac{55*40}{35*50}$      | 40 | $\frac{55*20}{35*50}$ |

Σε όλα τα προηγούμενα δεν δόθηκε σημασία στην επίδραση πάνω στο βήμα του ατέρμονα θέτοντας τον ατέρμονα πάνω από την ελικοειδή γωνία για να αποκτηθεί η σύνδεση με το οδοντωτό γρανάζι (Σχήμα 7.6). Θεωρητικά με προσεκτική εξέταση αυτό επηρεάζει το βήμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.6.



Σχήμα 10.6 : Επίδραση στο βήμα του ατέρμονα θέτοντας τον πάνω σε ελικοειδή γωνία

Το βήμα που κόψαμε είναι η σημειωμένη απόσταση «P» που είναι το κυκλικό βήμα του γραναζιού. Για να είμαστε σωστοί το βήμα του ατέρμονα είναι το σημειωμένο «A» υπολογισμένο κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του ατέρμονα. Στην απεικόνιση η ελικοειδής γωνία είναι υπερβολική ώστε να φανεί η απεικόνιση του σημείου. Πρακτικά, αν η ελικοειδής γωνία διατηρείται κάτω από 3 ίντσες ή περίπου τόσο, τότε στις περισσότερες εφαρμογές ένας διορθωτικός παράγοντας είναι αναγκαίος ενώ δεν θα επηρεάσει ουσιαστικά τίποτα. Στο παράδειγμα μας, αν η ελικοειδής γωνία του ατέρμονα ήταν 3 μοίρες η επίδραση στο βήμα του ατέρμονα θα ήταν 0.00014 το οποίο είναι λιγότερο από



ότι τα πρωτότυπα. Αν το σχήμα επιτάσσει την εισαγωγή ενός διορθωτικού παράγοντα τότε απλά είναι θέμα διαίρεσης του κυκλικού βήματος από το συνημίτονο της ελικοειδούς γωνίας του ατέρμονα για να αποκτηθεί ένα νέο βήμα. Η απορρέουσα ακολουθία γραναζιών θα είναι τότε υπολογισμένη από τη μέθοδο συνεχών κλασμάτων. Αν ο ατέρμονος κοχλίας είναι ένα ελικοειδές γρανάζι και όχι οδοντωτό, τότε ο άξονας του ατέρμονα θα είναι σε ορθή γωνία με τον άξονα του γραναζιού, αλλά ο συντελεστής διόρθωσης του βήματος ακόμη εφαρμόζεται στον ατέρμονα με τη μόνη διαφορά σ' αυτή τη περίπτωση θα είναι τα δόντια του ατέρμονα κοχλία που θα έχουν κλίση και όχι ο άξονας του ατέρμονα. Στην παραγωγή ενός ατέρμονα η πραγματική διαδικασία τόννευσης σπειρωμάτων είναι βασικά παρόμοια με οποιοδήποτε άλλο εργαλείο τόννευσης σπειρώματος. Άλλη μια μέθοδος είναι να οριστεί η πάνω πλευρά στο μισό της γωνίας της σπείρας και να εφαρμοστεί η κοπή μέσω της άνω κύλισης, χρησιμοποιώντας την εγκάρσια κύλιση για να αποσύρουμε το εργαλείο στο τέλος κάθε περάσματος, έπειτα γέρνοντας τη γλυσιέρα προς τα πίσω, επιστρέφοντας στο εργαλείο στην αρχική του θέση πριν την εφαρμογή της επόμενης κοπής. Ένας συνδυασμός των δυο μεθόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χειρίζοντας τους δυο χειροτροχούς μέχρι να επιτευχθεί το κατάλληλο βάθος. Η πρώτη μέθοδος είναι αρκετά ικανοποιητική αν το βήμα της βίδας είναι τέλειο και το βάθος της κοπής ρηχό, αλλά δεν προτείνεται για κοπή ατερμόνων όπου είναι λιγότερο πιθανό ότι κάποια από αυτές τις συνθήκες εφαρμόζονται. Η πιο ευνοϊκή μέθοδος που χρησιμοποιείται με ικανοποίηση για το βαθύ κόψιμο πυκνών βημάτων σπείρωμα, είναι να οριστεί η πάνω κύλιση αλλά όχι στη «σωστή» γωνία μορφοποίησης για μισή σπείρα, ελαφρώς τελειότερη. Η κοπή εφαρμόζεται από την άνω κύλιση με την οριζόντια κύλιση χρησιμοποιώντας την με κανονικό τρόπο για την υποχώρηση και ανατοποθέτηση του εργαλείου. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την εμπρόσθια όψη του εργαλείου, η οποία έχει θετική κλίση, να αφαιρέσει την ποσότητα του υλικού αλλά ακόμη αφήνει ένα ομαλό πέρασμα για την άλλη πλευρά του εργαλείου. Αυτή η μέθοδος υποστηρίζεται και περιγράφεται στο MODEL ENGINEER από τον G.H.Thomas. Το βάθος της κοπής είναι προφανώς σημαντικό αφού καθορίζει το μέγεθος της PCD. Χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη μέθοδο κοπής θα δυσκολέψει την κατοχύρωση του βάθους με τη χρήση της μικρομετρικής κλίμακας του χειροτροχού κι έτσι κάποια άλλη μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Ίσως η πιο απλή και πιο θετική μέθοδος είναι η παροχή του ατέρμονα του ακατέργαστου κομματιού με ένα είδους προέκτασης στρεφόμενο προς την διάμετρο ποδός της σπείρας. Θα γίνει τότε προφανές ότι η σωστή διάμετρος έχει προσεγγιστεί. Δεν θα είναι δυνατή η χρήση δείκτη σπείρας για να συνδεθεί ο ελικοειδής κοχλίας για την εκκίνηση κάθε κοπής, αφού λόγω του περιέργου βήματος, ένα σωστό μάζεμα δεν θα φανεί στον δείκτη. Άπαξ και συνδεθούν τα κόντρα παξιμάδια πρέπει να παραμείνουν κλειστά μέχρι να ολοκληρωθούν οι διαδικασίες βιδώματος. Αυτό θα σήμανε το σταμάτημα του τόννου στο τέρμα κάθε κοπής και την περιστροφή όλων προς αντίθετη κατεύθυνση μέχρι να προσεγγιστεί η θέση εκκίνησης. Το εργαλείο πρέπει να αποσυρθεί πρώτο, εντούτοις, με το να προσπαθήσουμε και να αντιστρέψουμε τον τόννο κατά τη διάρκεια κοπής θα σημάνει μια καταστροφή εξαιτίας αυτής της σπασμωδικής κίνησης. Το βήμα όλων των DP που βασίζονται σε ατέρμονες και περικλείουν 24 DP θα είναι πιο τραχείς από το βήμα του ελικοειδής κοχλία του τόννου (λαμβάνοντας έναν ελικοειδή κοχλία με 8 σπείρες ανά ίντσα) και αυτό σημαίνει ότι για να παραχθεί το επιθυμητό βήμα του ελικοειδή κοχλία θα πρέπει να περιστρέφεται πιο γρήγορα από τον άξονα του τόννου. Αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει σε υψηλές τάσεις που παράγονται, κυρίως στους τροχούς αλλαγής ταχύτητας κι έτσι η ταχύτητα περιστροφής πρέπει να οριστεί σε όσο το δυνατό πιο χαμηλά επίπεδα. Είναι καλή ιδέα να μην χρησιμοποιηθεί καθόλου δύναμη για την περιστροφή του άξονα μέσω της μανιβέλας τοποθετημένης στο εξωτερικό άκρο, το οποίο θα δώσει μεγαλύτερο έλεγχο πάνω στην λειτουργία και επίσης θα δώσει μια άλλη αίσθηση. Οι τόννοι τύπου Myford πραγματικά παρέχουν τέτοια μανιβέλα η οποία μπορεί να ταιριάζει με όλους τους τόννους των σειρών 7 και 10. Πραγματικά για τα χονδροειδή βήματα είναι καλύτερα να ταιριάζει πραγματικά η μανιβέλα άμεσα στο άκρο του ελικοειδής κοχλία αφού αυτό θα χαμηλώσει την τάση στα γρανάζια και θα κάνει ευκολότερη την περιστροφή. Το καλύτερο μέρος για να στερεωθεί η μανιβέλα είναι πάνω στο άκρο της κουκουβάγιας του ελικοειδούς κοχλία και όχι στο άκρο της ακίδας αφού αυτό έπειτα θα εξαλείψει τη ροπή του ελικοειδή κοχλία από το να ελίσσεται.

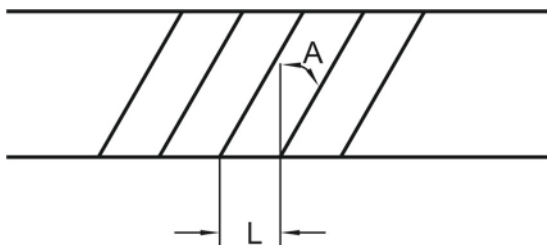
## 10.2 Παράγοντας ατέρμονα κοχλία

Με αναφορά στο κεφάλαιο 7 θα δείξουμε ότι τρεις τύποι ατέρμονα κοχλία έχουν περιγραφεί, ο πρώτος από αυτούς όντας ένα απλό οδοντωτό γρανάζι κατάλληλο για αργοκίνητες μεταδόσεις όπου η κοπή τέτοιου τύπου τροχού έχει ήδη περιγραφεί. Ο δεύτερος τύπος είναι βασικά παρόμοιος με τον οδοντωτό τροχό αλλά τα δόντια είναι υπό γωνία στην ελικοειδή γωνία του συνεργαζόμενου ατέρμονα. Από την πλευρά τις μετάδοσης ισχύος αυτός ο τροχός έχει μικρό πλεονέκτημα συγκριτικά με το οδοντωτό γρανάζι αν και η ρύθμιση κλίσης των δοντιών επιτρέπει ένα πιο απλό σχήμα του κιβωτίου ταχυτήτων, αφού οι άξονες και των δυο εξαρτημάτων είναι σε ορθή γωνία. Παράγοντας αυτό το τύπο γραναζιού στο ερασιτεχνικό εργαστήριο δεν είναι απλό και μπορεί να μην είναι δυνατό δίχως την παραγωγή κάποιων πρόσθετων εργαλείων. Δεν είναι απλώς ένα ζήτημα κοπής δοντιών υπό γωνία διότι τα δόντια δεν ακολουθούν μια ευθεία γραμμή αλλά ένα μέρος της ελικοειδούς καμπύλης. Ο τροχός είναι ουσιαστικά ένα λεπτό κομμάτι ενός ατέρμονα μακριάς ελίκωσης πολλαπλής εκκίνησης. Από αυτό ακολουθεί ότι η κοπή αυτού του τύπου ατέρμονα κοχλία σε ελικοειδή μορφή θα πρέπει να παραχθεί με παρόμοιο τρόπο με εκείνο που περιγράφεται στην κοπή ατερμόνων κοχλιών. Η ελικοειδής γωνία θα είναι πολύ μεγάλη, θα είναι ουσιαστικά  $90^\circ$  μείον την ελικοειδή γωνία του συνδεμένου ατέρμονα, το οποίο θα δώσει ως αποτέλεσμα με μόνο μια μικρή ακτινική μετατόπιση του τεμαχίου ενώ το εργαλείο κοπής θα περάσει από πάνω του. Ο ελικοειδής κοχλίας θα πρέπει να κάνει πολλές περιστροφές για κάθε μια στροφή του άξονα του τόννου και για να αποκτηθεί το απαιτούμενο γρανάζι μείωσης μετάδοσης, τουλάχιστον έξι τροχοί αλλαγής ταχύτητας θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν αν και σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να μην αποδειχθεί επαρκές. Κάποια διαφοροποίηση θα πρέπει να γίνει στο κοχλία ειδικής χρήσης του αντικαταστάσιμου τροχού για να επιτρέπει μια μεγάλη ακολουθία να είναι συναρμολογημένη σωστά. Εναλλακτικά, μπορεί να είναι καλύτερο να ενσωματωθεί ένας οδηγός ατέρμονος στο γρανάζι μείωσης ταχύτητας.

Κάποια μορφή συσκευής δεικτοδότησης θα πρέπει να ενσωματωθεί στη διάρθρωση αλλά αυτό είναι δύσκολο να κανονιστεί στον άξονα του τόννου με οποιοδήποτε τρόπο που κανονικά θα είχαν χρησιμοποιηθεί όταν διαιρείται στον τόννο, αφού ο άξονας ήδη χρησιμοποιείται για να παράγει την ελίκωση. Πιθανώς, η απλούστατη μέθοδος διαίρεσης είναι μια μορφή συσκευής άμεσης διαίρεσης στον βραχίονα που διατηρεί το ακατέργαστο κομμάτι. Αυτός ο βραχίονας μπορεί να είναι μια μονάδα από δυο κομμάτια, με το κύριο κομμάτι να είναι ένας άξονας ασφαλισμένος στην άτρακτο του τόννου ή στη βιδωμένη μύτη ή στον κώνο τύπου Morse. Ασφαλώς δεμένο σ' αυτό θα μπορούσε να είναι κάποια μορφή πλάκας διαίρεσης η οποία θα μπορούσε να είναι είτε ένα οδοντωτό γρανάζι με κατάλληλο αριθμό δοντιών ή μια πλάκα στην οποία ένας κύκλος οπών έχει ανοιχτεί. Ένα «περίβλημα» ελεύθερο να περιστρέφεται στον άξονα θα κουβαλά το τεμάχιο και επίσης κάποιας μορφής συγκράτησης για να συνδέεται με τη πλάκα διαίρεσης.

Η κοπή θα είναι ουσιαστικά παρόμοια με μια μηχανή διαμόρφωσης ή πλανίσματος παρά μια λειτουργία αλλαγής και ελαφρές κοπές μόνο μπορούν να διαγραφούν αφού δεν θα είναι δυνατό να ανοιχτούν τα κόντρα παξιμάδια για την κίνηση επαναφοράς, έτσι η συνολική λειτουργία θα είναι μακρόχρονη και μακρόσυρτη. Μια πιο γρήγορη μέθοδος παραγωγής δοντιών είναι η επεξεργασία τους με τη χρήση του τύπου Brown & Sharpe κόπτη. Η μέθοδος παραγωγής της ελίκωσης θα είναι παρόμοια με τη μέθοδο που ακριβώς περιγράφηκε, αλλά ο κόπτης θα πρέπει να είναι συναρμολογημένος και οδηγούμενος από βοηθητική κοπτική κεφαλή συναρμολογημένη στην οριζόντια κύλιση. Τα δόντια τότε μπορούν να κοπούν σε βάθος με ένα πέρασμα αλλά θα είναι απαραίτητο να αποσυρθεί ο κόπτης στο τέλος κάθε πέρασματος και μετά προς τα πίσω και δεικτοδοτώντας, ξανά ξεκινά ο κόπτης στο σωστό βάθος πριν την κοπή του επόμενου δοντιού. Όπως στην περίπτωση με το οδοντωτό γρανάζι, η φρέζα είναι ανώτερη από του τόννου για την κοπή ελικοειδών γραναζιών αλλά και πάλι η δυσκολία είναι στην παραγωγή της ελικοειδούς γωνίας. Αυτό γίνεται στην βιομηχανία μέσω μια ειδικής κεφαλής διαίρεσης που αποκαλείται σπειροειδής κεφαλή. Αυτή είναι μια ειδική μορφή

κεφαλής διαίρεσης στην οποία η άτρακτος του ατέρμονα προεκτείνεται έτσι ώστε το γρανάζι να μπορεί να ενσωματωθεί σε αυτό. Αυτό το γρανάζι είναι συνδεδεμένο με τον κοχλία του τραπεζιού της φρέζας μέσω μιας ακολουθίας από τροχούς αλλαγής ταχύτητας έτσι ώστε όταν ο τροφοδοτικός κοχλίας του τραπεζιού περιστρέφεται για να παράγει κίνηση σ' αυτόν, ο ατέρμονος της διαιρούμενης κεφαλής επίσης περιστρέφεται ο οποίος στη συνέχεια περιστρέφει την κύρια άτρακτο της κεφαλής διαίρεσης και επίσης το προς κατεργασία τεμάχιο. Το αποτέλεσμα είναι η κοπή μιας σπείρας ή ελίκωσης. Η ελίκωση της σπείρας είναι καθορισμένη από την σχέση μετάδοσης των προς χρήση αντικαταστάσιμων τροχών. Η κεφαλή διαίρεσης παρέχεται επίσης με μια συσκευή που επιτρέπει την κανονική λειτουργία δεικτοδότησης για να χρησιμοποιηθεί δίχως παρεμβολές στον σπειροειδή οδηγό. Είναι ασυνήθιστο να βρεθεί τέτοιος τύπος κεφαλής διαίρεσης ή της φρέζας και να είναι ικανή αποδοχής της, σε ερασιτεχνικό εργαστήριο αλλά αν κάποιος αναγνώστης κατέχει μια, τότε είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα γνωρίζει πώς να το χρησιμοποιήσει. Μια λεπτομερής περιγραφή της κεφαλής και της χρήσης της θα είναι μακρόσυρτη και περίπλοκη. Κατά την παραγωγή ακατέργαστου κομματιού για τα ελικοειδή γρανάζια ο τύπος  $PD=N/DP$  δεν είναι σωστός αφού το ελικοειδές γρανάζι έχει μεγαλύτερο PD και εκτός διαμέτρου από το αντίστοιχο του οδοντωτού γραναζιού. Για την κατανόηση του λόγου ως προς αυτό αναφερόμαστε στο σχήμα 10.7.

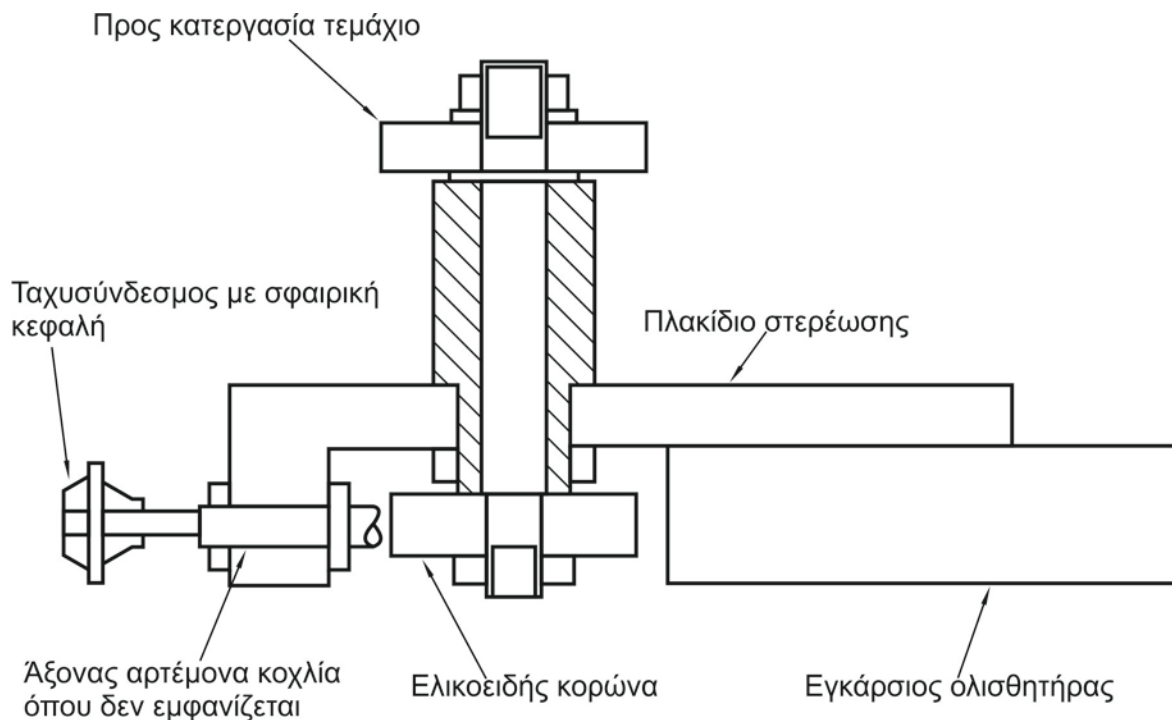


Σχήμα 10.7 : Δείχνει γιατί οι διάμετροι P.D και O.D ενός ελικοειδούς γραναζιού είναι μεγαλύτερες από ένα αντίστοιχο μετωπικό γρανάζι

Το κανονικό βήμα παρουσιάζεται ως CP, που είναι η απόσταση ανάμεσα στα δυο δόντια σε ορθή γωνία με τα δόντια, αλλά λόγω της καθετότητας των δοντιών, η αντίστοιχη απόσταση γύρω από την όψη του τροχού είναι η απόσταση σημειωμένη με «L». Για να φτάσουμε στο PD για το ελικοειδές γρανάζι, διαιρούμε το PD για ένα παρόμοιο οδοντωτό γρανάζι με το συνημίτονο της γωνίας που εμφανίζεται ως «A» στο σχήμα.

Αυτή η περιγραφή κοπής των ελικοειδών γραναζιών έχει συμπυκνωθεί διότι πολλοί ερασιτέχνες δεν έχουν τον απαραίτητο εξοπλισμό, ούτε την επιθυμία να παράγουν τον εξοπλισμό για την παραγωγή τους με ακρίβεια. Ένας ατέρμονας κοχλίας που δημιουργήθηκε για μετάδοση ισχύος ή ένας που θα είναι σε λειτουργία για μεγάλα χρονικά διαστήματα, θα πρέπει να έχει μεγάλο τόξο επαφής παρόμοιο με το παράδειγμα που εμφανίζεται στο σχήμα 7.4. Ο ατέρμονος κοχλίας είναι κοίλος για να ταιριάζει ή να τυλίγεται γύρω από το 1/6 της διαμέτρου του. Αυτό το είδος κορώνας δεν μπορεί να κοπεί με χρήση του κανονικού τύπου κόπτη γραναζιού αφού το κατώτατο σημείο των δοντιών δεν είναι ευθύ αλλά καμπυλωτό για να ταιριάζει στον ατέρμονα και πρέπει να παραχθεί με μια διαδικασία γνωστή ως φρεζάρισμα με κύλιση. Το εργαλείο κοπής ή αλλιώς κοχλιοειδής φρέζα, έχουν παρόμοιο προφίλ με τον ατέρμονα αλλά έχει βαθιές εγκοπές σ' αυτό για να διαμορφώσει τις άκρες των δοντιών. Αν και η κοχλιοειδής φρέζα και η ακατέργαστη κορώνα είναι τοποθετημένα σε ένα αναπόσπαστο εξάρτημα στη κανονική συμπεριφορά λειτουργίας τους και τα δυο περιστρέφονται σε ίδιες σχετικά ταχύτητες σαν να ήταν σε σύνδεση, τότε όσο ο τροχός τροφοδοτείται στην κοχλιωτή φρέζα θα ξεκινήσει να κόβει τα δόντια στον τροχό. Η λειτουργία της κοπής θα είναι συνεχής διότι ο τροχός είναι περιστρεφόμενος και έτσι όλα τα δόντια θα κοπούν την ίδια στιγμή. Η φρέζα τροφοδοτείται στην κορώνα μέχρι να αποκτηθεί το επιθυμητό βάθος δοντιού, και τότε η διαδικασία κοπής ολοκληρώνεται. Εμπορικά, μια ειδική μηχανή καλούμενη φρέζα με κύλιση θα χρησιμοποιείτο και με αυτό τον τύπο μηχανής είναι δυνατό να περιστρέφει και

τους δυο κόπτες και τον άξονα που στηρίζει το ακατέργαστο κομμάτι σε οποιαδήποτε προκαθορισμένη ταχύτητα απαιτείται για να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του ατέρμονα κοχλία προς κοπή. Για ακόμη μια φορά αυτό δεν είναι απλή λειτουργία για να γίνει στο ερασιτεχνικό εργαστήριο αλλά μπορεί να γίνει στον τόρνο παρέχοντας μια κατάλληλη σύνδεση. Περιστρέφοντας τον κόπτη ή την κοχλιοειδή φρέζα, είναι απλό όσο αυτό μπορεί να συναρμολογείται είτε ανάμεσα στα κέντρα ή συγκρατείται με ένα σφιγκτήρα και υποστηρίζεται στο εξωτερικό άκρο από το κέντρο της ακίδας.



Σχήμα 10.8 : Πλάκα στήριξης για φραιζάρισμα με κύλιση ατέρμονα κοχλία στο τόρνο

Το ακατέργαστο κομμάτι είναι συναρμολογημένο στον εγκάρσιο τόρνο, το κύριο εξάρτημα ενός αναπόσπαστου εξαρτήματος που είναι σε έναν κάθετο άξονα. Το ύψος του άξονα είναι τέτοιο που όταν το ακατέργαστο κομμάτι είναι στερεωμένο στο κέντρο της όψης του δοντιού συμπίπτει με το κέντρο του τόρνου. Ο κάθετος άξονας πρέπει να είναι μηχανοδηγούμενος στον κύριο άξονα με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει ταχύτητες σχετικές με αυτές τις οποίες παράγουν τελικά ο ατέρμονος και ο τροχός. Αυτό σημαίνει ότι αν η σχέση μετάδοσης του ατέρμονος και του τροχού είναι 20:1, τότε ο άξονας του τόρνου πρέπει να περιστρέφεται είκοσι φορές όταν το ακατέργαστο κομμάτι κάνει μια στροφή. Για να επιτευχθεί αυτό ένας ατέρμονος κοχλίας ασφαρίζεται στον κάθετο άξονα ο οποίος οδηγείται από έναν ατέρμονα διαρθρωμένο έτσι ώστε να οδηγεί τον άξονα παράλληλα προς το τραπέζι του τόρνου και φορά προς την κουκουβάγια. Στο σχήμα 10.8 φαίνεται πως μπορεί να γίνει αυτό. Αυτός ο συγκεκριμένος ατέρμονας κοχλίας οδηγείται από τον κοχλία ειδικής χρήσης ενός αντικαταστάσιμου οδοντοτροχού και το στέλεχος πάνω στο οποίο είναι συναρμολογημένοι οι τροχοί αλλαγής ταχύτητας πρέπει να είναι κοίλο έτσι ώστε η άτρακτος στην οποία οι τροχοί αλλαγής ταχύτητας είναι κλειδωμένοι να μπορέσει να περνά ανάμεσα. Το εξωτερικό άκρο του άξονα παρέχεται με μια απλή σύζευξη όμοια με εκείνη του σχήματος 10.8 και ο άξονας οδηγός ανάμεσα στις δυο συζεύξεις είναι απλώς ένα κομμάτι σωλήνα από του οποίου η εσωτερική διάμετρος διαπερνά τα σφαιρικά άκρα των συζεύξεων. Και τα δυο άκρα του οδηγού άξονα είναι αυλακωτά για να παρέχουν μια κίνηση από τους πείρους. Αν ο οδηγός άξονας είναι φτιαγμένος τηλεσκοπικά τότε θα είναι δυνατό να προσαρμόσει τη θέση των αναπόσπαστων εξαρτημάτων κινώντας τη γλυσιέρα του τόρνου κατά μήκος του τραπεζιού, παρόλα αυτά επιτρέποντας κοπτικά εργαλεία ποικίλων μηκών να χρησιμοποιηθούν. Η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στον ατέρμονα και στον τροχό στα σταθερά εξαρτήματα είναι σημαντικό τόσο όσο είναι δυνατό,

με τους τροχούς αλλαγής ταχύτητας διαθέσιμους, για να λειτουργήσει το ακατέργαστο κομμάτι στον κόπτη στην απαιτούμενη σχέση μετάδοσης. Για παράδειγμα, αν το σταθερό εξάρτημα έχει ατέρμονα κοχλία με σχέση μετάδοσης 20:1 και είναι επιθυμητό να κοπεί ένας τροχός με τριάντα δόντια, τότε οι τροχοί αλλαγής ταχύτητας θα είναι με σχέση μετάδοσης 2:3, έτσι κάθε τροχός που θα παράγει αυτή την σχέση μετάδοσης θα είναι ικανοποιητική, όσο 20 και 30 ή 30 και 45 δόντια αντίστοιχα.

Σε όποιον επιθυμεί να παράγει έναν ατέρμονα και έναν τροχό μπορεί να φανεί μάλλον παράξενο να διαβάζει ότι το πρώτο στάδιο στην παραγωγή είναι η απόκτηση ενός ζευγαριού. Εντούτοις, ο ατέρμονας και ο τροχός που χρησιμοποιούνται για σταθερά εξαρτήματα που δεν έχουν συγκεκριμένο μέγεθος ή σχέση μετάδοσης, είναι ουσιαστικά ένας ατέρμονας και ένα οδοντωτό γρανάζι μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτό βέβαια θα έχει περιορισμένο προσδόκιμο χρόνου ζωής αλλά θα μπορούσε να κατεργαστεί πολλούς ατέρμονες κοχλίες πριν χρειαστούν αντικατάσταση, θα μπορούσε ακόμη να κατεργαστεί το ίδιο του το αντικαταστάσιμο που θα ήταν μακράν ανώτερο από το αρχικό γρανάζι. Το κοπτικό της φρέζας θα πρέπει να φτιάχνεται από ανθρακούχο ατσάλι όπως τον χάλυβα ή τη διάτρητη ράβδο όπως αποκαλείται. Αυτά τα υλικά είναι εύκολο να αποκτηθούν αλλά σημαντικότερο είναι να συμπεριφέρονται απλά σε περιπτώσεις θέρμανσης. Το ζητούμενο είναι να προσφέρει εκτόνωση σε ένα απλό εργαλείο όπως ένα κοπτικό επιφανειακής κατεργασίας αλλά στην περίπτωση του κοπτικού φρέζας η εκτόνωση θα πρέπει να παράγεται δια χειρός. Αυτό είναι μάλλον κουραστικό και απαιτεί αξιόλογη υπομονή. Το κοπτικό της φρέζας θα κοπεί καλύτερα αν οι εγκοπές είναι σπειροειδείς αφού έτσι διασφαλίζεται ότι θα είναι σε επαφή με το τεμάχιο κατά τη διάρκεια της συνολικής διαδικασίας κοπής.

### 10.3 Φρεζάρισμα ελεύθερας μορφής

Η μηχανική περιστροφή του ακατέργαστου γραναζιού όπως μόλις περιγράφηκε, είναι μακράν επιθυμητή και η σύνδεση αξίζει της κατασκευής αν όποια σοβαρή προσπάθεια στην κοπή ατέρμονα κοχλία επιχειρηθεί. Προτείνεται κάποιες φορές, το φρεζάρισμα ελεύθερου τροχού που είναι η περίπτωση όπου το ακατέργαστο κομμάτι δεν οδηγείται κυκλικά υπό ισχύ αλλά είναι ελεύθερο να περιστρέφεται πάνω στη συναρμολογούμενη άτρακτο. Η ιδέα είναι ότι όσο η κοπή βρίσκεται υπό γωνία το ακατέργαστο κομμάτι αυτομάτως θα περιστραφεί κάτω από την επιρροή του κόπτη. Αυτό είναι μάλλον αληθές και λογικό ως αποτέλεσμα και μπορεί κάποιες φορές να αποκτηθεί από την μέθοδο αυτή αλλά μπορεί να είναι και επικίνδυνη.

Έχουν πραγματοποιήσει ποικίλους ελέγχους με τη χρήση της μεθόδου φρεζαρίσματος ελεύθερας κοπής και παρήγαγε μερικά λογικά αποτελέσματα αλλά το κύριο πρόβλημα είναι ότι όπου υπάρχουν δυνάμεις αντίστασης στο προς κατεργασία τεμάχιο το οποίο τείνει να κάνει το κοπτικό της φρέζας να κόβει πιο πολύ από τη μια πλευρά του κόπτη παρά από την άλλη, δίνοντας ως αποτέλεσμα μια συνεχή πλάτυνση του χώρου ανάμεσα στα δόντια όσο προχωρά το τεμάχιο. Σε μερικές περιπτώσεις το αποτέλεσμα ήταν να χαθεί ολόκληρο δόντι και το γρανάζι να τελειώσει με ένα δόντι λιγότερο από τον απαιτούμενο αριθμό.

Για να λειτουργεί αυτή η μέθοδος εργασίας για κάθε κοπτικό της φρέζας πρέπει πάντα να είναι σε σύνδεση με το ακατέργαστο κομμάτι. Αυτό σημαίνει ότι τα δόντια πάνω στην κοχλιοειδής φρέζα πρέπει να έχουν μικρό διάκενο μεταξύ τους. Γι' αυτό το λόγο δεν προτείνεται ένας κανονικός ευθύς σπειροτόμος προς χρήση ως κοπτικό φρέζας διότι σύντομα μετά την εγκατάλειψη της πίσω ακμής του δοντιού από το ακατέργαστο κομμάτι, το ακατέργαστο κομμάτι θα σταματήσει να περιστρέφεται και έτσι η επόμενη κοπή ακμής δεν θα πιάσει το δόντι και η διαδικασία αποτυγχάνει.

Αν το δόντι του ατέρμονος είναι αρκετά μεγάλο τότε είναι καλύτερο να κοπεί το ακατέργαστο κομμάτι πρώτα. Αυτό μπορεί να γίνει με ένα πριόνι λείανσης ορισμένο σε κοντινή ελικοειδή γωνία, με το διάκενο να αποκτάται μέσω μιας κεφαλής διαίρεσης. Η κοχλιοειδής φρέζα δεν χρειάζεται να παράγει το δικό του διάκενο δοντιών και αφού αρκετό υλικό έχει αποσυρθεί, η αντίσταση έχει μειωθεί αρκετά και η τάση να αυξάνει το πλάτος των δοντιών έχει ελαχιστοποιηθεί. Στο σχήμα 10.9, ο τροχός κόβεται με τέτοιο τρόπο.



Σχήμα 10.9 : Φρεζάρισμα με κύλιση ατέρμονα κοχλία

## 11. ΚΟΠΗ ΚΩΝΙΚΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Δεν είναι δυνατό να κοπεί σωστά ένα κωνικό γρανάζι με έναν κόπτη διαμόρφωσης αφού το σχήμα του δοντιού αλλάζει συνεχώς κατά μήκος. Αυτή ήταν μια αναφορά που έγινε στο Κεφάλαιο 6 και είναι σωστό, όπως είναι επίσης οι παρατηρήσεις που έγιναν προηγουμένως ότι όλα τα μηχανολογικά σχέδια είναι ένας συμβιβασμός. Θα ήταν δυνατόν όμως να φτάσουμε σε έναν συμβιβασμό ως προς τα κωνικά γρανάζια και να παράγουμε, αν όχι ένα τέλειο, τουλάχιστον ένα εξυπηρετικό προφίλ χρησιμοποιώντας έναν κόπτη και μια φρέζα; Η απάντηση είναι «ναι», αρκεί να γίνει αντιληπτό ότι δεν θα είναι ένα ακριβές γρανάζι. Οι ανάγκες του ερασιτέχνη σπάνια απαιτούν υψηλή ακρίβεια η οποία είναι ευτυχές αφού η συνήθης περίπτωση είναι να κάνει κάποιος το καλύτερο δυνατό με περιορισμένο διαθέσιμο εξοπλισμό. Εντούτοις, είναι τέτοια η εφευρετικότητα της μηχανολογίας που πολύ συχνά το τελικό αποτέλεσμα είναι παραπάνω από ικανοποιητικό.

Για πολλά χρόνια τα κωνικά γρανάζια παράγονταν σε φρέζες. Πράγματι πριν την ανάπτυξη των παραγωγικών μεθόδων, το φρεζάρισμα ήταν μόνο μια μηχανική διαδικασία σε διαθέσιμη κατάσταση και με τη βοήθεια ικανά αξιολογών βαθμών ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί. Δεν είναι δυνατό να παράγεται το δόντι με μια κοπή αφού το πλάτος στενεύει προς το εσωτερικό του και προς το κέντρο του γραναζιού, έτσι η συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται όταν κόβονται τα κωνικά σε μια φρέζα είναι να βασίζονται όλοι οι υπολογισμοί στο μεγάλο άκρο και να επιχειρείται η παραγωγή του μεγάλου άκρου του δοντιού στο σωστό θεωρητικό μοντέλο. Ο κόπτης που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι εξειδικευμένος, δεν μπορεί να έχει τέτοιο βάθος, για να ταιριάζει στο μεγάλο άκρο αφού πρέπει να είναι ικανό να διέρχεται μέσα από το μικρό άκρο του δοντιού το οποίο είναι φυσικά πιο στενό από ότι το μεγαλύτερο. Ο κόπτης πρέπει να είναι αρκετά λεπτός για να διέρχεται μέσα από το μικρό άκρο δίχως να θέτει σε κίνδυνο το πλάτος του. Για να αποκτηθεί το σωστό πλάτος δοντιού στο μεγάλο άκρο ο κόπτης πρέπει να κάνει δυο περάσματα, ένα κάτω από κάθε πλευρά του δοντιού. Το προφίλ της εξελιγμένης του ειδικού κόπτη είναι σωστό για το μεγάλο άκρο έτσι ώστε μετά από το δεύτερο πέρασμα η μορφή του δοντιού στο μεγάλο άκρο να είναι η σωστή. Η κίνηση και του ακατέργαστου κομματιού και του κόπτη ανάμεσα στα δυο περάσματα διασφαλίζει ότι το πλάτος του μικρού άκρου του δοντιού είναι επίσης σωστό, το πρόβλημα είναι ότι ο κόπτης παρήγαγε την ίδια μορφή εξελιγμένης για το μικρό άκρο όπως και για το μεγάλο. Όσο το βάθος του δοντιού είναι επίσης λιγότερο το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι το μικρό άκρο του δοντιού θα είναι «γεμάτο», ειδικότερα στην όψη του. Εκεί είναι που ενεργοποιείται ο εφαρμοστής. Τα δόντια στο μικρό άκρο πρέπει να είναι επενδυμένα με γέμισμα με το χέρι για να διατηρήσει ένα εξυπηρετικό σχήμα και να εξαλείψει οποιαδήποτε ροπή συναρμογής, όπως θα γινόταν αν τα δόντια δεν ήταν επενδυμένα.

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στο ερασιτεχνικό εργαστήριο αν οι ειδικοί κόπτες είναι διαθέσιμοι. Ένα κωνικό γρανάζι πολλών ειδών μπορεί να φτιαχτεί ή να «εμπλακεί» ακολουθώντας την προηγούμενη μέθοδο αλλά χρησιμοποιώντας έναν συνηθισμένο κόπτη είναι ένας συμβιβασμός και για τα δυο άκρα του δοντιού.

### 11.1 Κωνικά γρανάζια παράλληλου βάθους

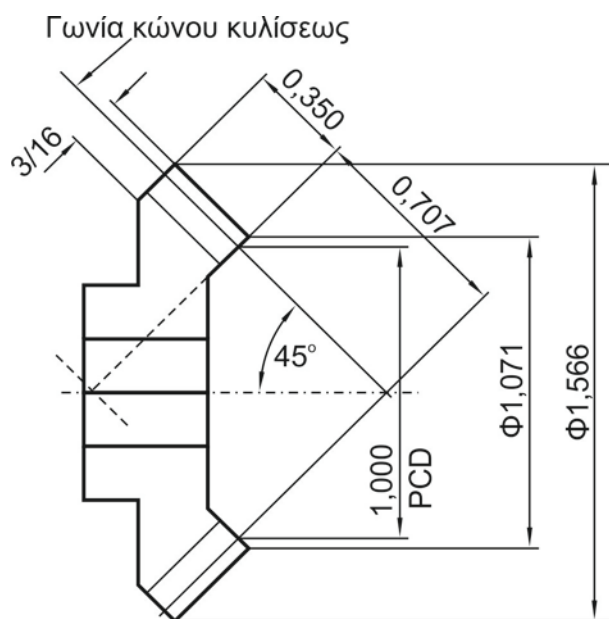
Τα κωνικά γρανάζια παράλληλου βάθους είναι πράγματι ένα αποδεκτό γρανάζι και ήταν εκτενώς χρησιμοποιούμενα στο παρελθόν, ειδικά κατά τη διάρκεια του πολέμου 1914-18 αφού ήταν εύκολο να παραχθούν σε καταστήματα με συμβατικές φρέζες. Με την εξέλιξη της σύγχρονης μηχανολογίας τα εργαλεία κοπής δεν προτιμούνταν αλλά το γεγονός είναι ότι μπορούν να παραχθούν σε απλές φρέζες και αυτό γίνεται μια ελκυστική πρόταση για τους ερασιτέχνες.

Όπως προτείνει και το όνομα, τα κωνικά γρανάζια παράλληλου βάθους έχουν ένα βάθος δοντιού που είναι συνεχώς, καθ' όλο το συνολικό μήκος τους, αλλά από άλλες όψεις είναι παρόμοιο με το κανονικό γρανάζι και συναντάται στο σημείο της κορυφής. Όλοι οι



υπολογισμοί γίνονται από το μικρό άκρο του δοντιού και όχι από το μεγάλο άκρο όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Ένας συμβατικός οδοντωτός κόπτης μπορεί να επιλεγεί για να παράγει το σχήμα του μικρού άκρου με ένα πέρασμα και είναι αρκετά ασφαλές για να διασταυρωθεί ο κόπτης ολοκληρωτικά μέσα από το δόντι διότι όσο το δόντι γίνεται πιο πλατύ ως προς την εξωτερική άκρη, ο κόπτης θα αφήσει ίχνη. Περεταίρω κοπές, με τη χρήση του ίδιου κόπτη αλλά με τα ίδια ακατέργαστα κομμάτια και κόπτες επανατοποθετημένα, θα εξαλείψει αυτά τα ίχνη και θα ανοίξει το δόντι στο σωστό πλάτος. Αυτό θα παράγει ένα δόντι με τη σωστή καμπυλότητα στο μικρό άκρο αλλά όσο το δόντι προχωρά προς το μεγάλο άκρο η καμπυλότητα της κοπής πραγματικά θα είναι ελαφρώς μικρότερη από το θεωρητικό.

Αυτό θα σημαίνει ότι η επαπτόμενη περιοχή ανάμεσα στα δυο δόντια θα γίνει πιο στενή στο μεγαλύτερο άκρο αλλά τα δόντια δεν θα περιστρέφονται μαζί χωρίς καμία ανάγκη για συμπλήρωμα. Πράγματι δεν είναι μεγάλη ζημιά να υπάρχει αυτή η κατάσταση και μερικές φορές να είναι ελεύθερα υποβαλλόμενη σε μετάδοση ισχύων για να προωθήσει ομαλότερη λειτουργία. Το προφίλ του δοντιού στο μεγάλο άκρο δεν θα είναι δεδομένο αλλά διακεκομμένο και πάλι αυτό είναι ικανοποιητικό και αφού χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες μορφές γραναζιών. Τα κωνικά γρανάζια που παράγονται από αυτή τη μέθοδο διαμόρφωσης βάθους λειτουργούν μαζί ομαλά και δεν απαιτούν επιπρόσθετη επένδυση κάποιου τύπου, όπως λειτουργία με λειαντικό μέσο για εξάλειψη των προεξοχών. Για να περιγράψουμε την πραγματική μέθοδο κοπής ενός γραναζιού με λεπτομέρεια η διαδικασία που υιοθετήθηκε προηγουμένως θα χρησιμοποιηθεί με ένα τυπικό παράδειγμα. Η μέθοδος είναι η ίδια για όλα τα μεγέθη και τύπους, έτσι αν τα σχέδια που απαιτούνται αντικατασταθούν από τα σχέδια που αναφέρθηκαν, τότε μπορεί να προσεγγιστεί ένα επιτυχές αποτέλεσμα.



Σχήμα 11.1 : Ένα είκοσι δοντιών γρανάζι με 20 DP παράλληλου βάθους μίτρας

Το παράδειγμα είναι για να παράγει ένα ζευγάρι από μήτρες γραναζιών 20DP και 20 δόντια και το πρώτο βήμα είναι να εξαχτεί ακριβώς το σχήμα του ακατέργαστου κομματιού όπως φαίνεται στο σχήμα 11.1. Με τις μήτρες γραναζιών γνωρίζουμε ότι το βήμα της γωνίας του κώνου πρέπει να είναι 45° από τη κεντρική γραμμή και έτσι αυτή σχεδιάζεται πρώτη. Το επόμενο στάδιο είναι να καθοριστεί η PCD και όπως έχει ειπωθεί με αυτή τη μέθοδο όλοι οι υπολογισμοί βασίζονται στο μικρό άκρο. Τα δόντια θα είναι επομένως 20 DP στη μικρότερη ή εσωτερική όψη και η PCD, η οποία είναι N/DP θα είναι 20/20 ή διαμέτρου ένα. Αυτό μπορεί να σημειωθεί στο σχήμα όπως μπορεί και η γραμμή που αντιπροσωπεύει την εσωτερική όψη η οποία θα είναι κάθετη στο βήμα του κώνου. Η



απόσταση από την όψη στο σημείο κορυφής μπορεί να βρεθεί όπως μπορεί και κάθε άλλη διάσταση, υπό κλίμακα στο σχήμα. Λογικά με αυτό το τρόπο μπορούν να αποκτηθούν ακριβή αποτελέσματα, ειδικά αν το σχήμα γίνεται 4 ή 5 φορές μεγαλύτερο του κανονικού. Εντούτοις, είναι πιο ταχύ και πιο ακριβές να καθοριστούν όλα τα μεγέθη με άμεσο υπολογισμό. Σ' αυτό το σημείο είναι η μισή PCD διαιρούμενη με το ημίτονο του βήματος της γωνίας του κώνου το οποίο δίνει μήκος 0.707. Το μήκος της εμπρός όψης του δοντιού είναι θέμα καλής αναλογίας και το πλάτος της εμπρός όψης να είναι το 1/3 του βήματος του μήκους του κώνου, προτείνεται να είναι 0.350 που δείχνει απόλυτα φυσιολογικό. Αυτό έπειτα καθορίζει την πίσω όψη του δοντιού και επίσης την PCD του μεγάλου άκρου, αλλά αφού αυτό δεν απαιτείται είτε για περεταίρω υπολογισμούς είτε στην μηχανική επεξεργασία, το πραγματικό σχήμα δεν χρειάζεται να προκαθορίζεται. Επόμενος υπολογισμός είναι ο σχεδιασμός πάνω στη προσθήκη η οποία γνωρίζουμε από προηγούμενη συζήτηση ότι είναι 1/DP, και που θα δώσει τον αριθμό 0.050. Είναι εφικτό τώρα να οριστούν οι διάμετροι του ακατέργαστου κομματιού και για τα μεγάλα και για τα μικρά άκρα και η τιμή αυτών. Το μήκος της οπίσθιας όψης φαίνεται ως 3/16 αλλά δεν υπάρχει δεδομένη μέθοδος καθορισμού της διάστασης αφού δεν έχει ρουλεμάν λειτουργίας του γραναζιού. Χρειάζεται να είναι μεγαλύτερο από το βάθος του δοντιού, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 0.108. Αυτός ο αριθμός μπορεί να αποκτηθεί από τους πίνακες ως το βάθος των 20 DP για το δόντι. Δεν χρειάζεται να δοθούν ιδιαίτερες οδηγίες για την λειτουργία του ακατέργαστου τεμαχίου αφού αυτό είναι καθαρά μια εξάσκηση.

Η κάθετη φρέζα είναι ο καλύτερος τύπος μηχανής πάνω στην οποία μπορούν να κοπούν τα κωνικά γρανάζια αφού είναι ευκολότερο να οριστεί η διαιρούμενη κεφαλή στην απαιτούμενη γωνία σ' αυτού του είδους τη μηχανή από ότι σε άλλον τόρνο ή οριζόντια φρέζα και έτσι η περιγραφή θα ταιριάζει στην κάθετη φρέζα. Όπως με οποιαδήποτε άλλη μορφή κοπής γραναζιού είναι σημαντικό να επιλεγεί ο σωστός κόπτης. Το κωνικό μας γρανάζι έχει 20 δόντια και παρόλο που ο κόπτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα συμβατικό οδοντωτό γρανάζι και αυτός που θα χρησιμοποιηθεί για ένα 20 δοντιών οδοντωτό γρανάζι δεν θα είναι κόπτης Νο 6. Ο λόγος γι' αυτό απεικονίζεται στο Κεφάλαιο 5. Οι διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 11.1 δείχνουν τα δόντια του κωνικού γραναζιού και μπορεί να φανεί από αυτό ότι το αντίστοιχο οδοντωτό γρανάζι είναι μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι το κωνικό γρανάζι και θα πρέπει να έχει περισσότερα δόντια. Ο κόπτης που απαιτούμε για το κωνικό γρανάζι είναι ο κόπτης που θα επιλεγεί για την κοπή αντίστοιχου οδοντωτού γραναζιού. Η μέθοδος υπολογισμού του αριθμού φαίνεται στο σχήμα 11.1. Ο σωστός κόπτης προς χρήση είναι ο 4<sup>ος</sup> στη σειρά ο οποίος καλύπτει ένα εύρος από 26-34 δόντια.

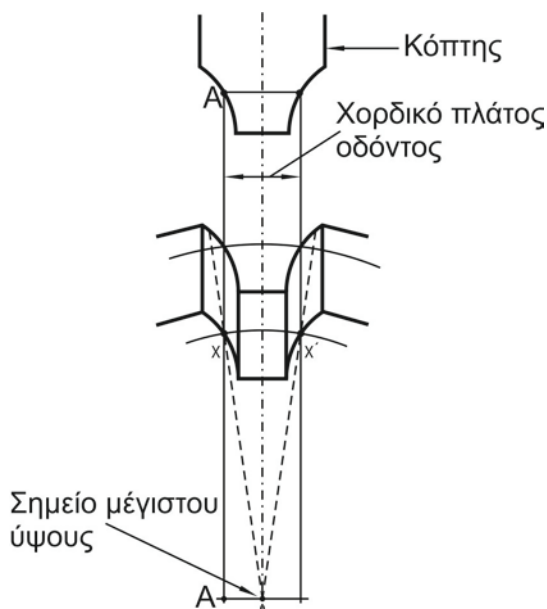
Ο κόπτης είναι συναρμολογημένος σε ένα στέλεχος στήριξης και κρατείται σε θέση πάνω στην άτρακτο της φρέζας μέσω μιας συρόμενης βίδας, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε για τα οδοντωτά γρανάζια. Η ίδια διαιρούμενη κεφαλή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αντί όμως να οριστεί παράλληλα στους οδηγόδρομους του τραπεζιού πρέπει να οριστεί πάνω στο βήμα της γωνίας του κώνου που εδώ είναι 45°. Πριν εισαχθεί το στέλεχος στήριξης στην διαιρούμενη κεφαλή τοποθετείται ένα κέντρο του τόρνου μέσα σε αυτό για να κεντράρει τον κόπτη. Στρέψτε τον κόπτη κάτω προς την κεντρική θέση μέσω του χειροτροχού της κάθετης πρόωσης. Αν παρατηρηθεί κάποια υπέρβαση στρέψτε τον κόπτη προς τα πάνω αρκετά για να αποσυρθεί οποιαδήποτε ταλάντωση στο σύστημα και στρέψτε το και πάλι προς τα κάτω. Μην προσεγγίζεται την κεντρική θέση οπισθοχωρώντας διότι πρέπει να προσεγγιστεί προς την κάτω κίνηση. Όταν προσεγγιστεί η κατάλληλη θέση κλειδώστε την ακίδα σφιχτά και ορίστε τη μικρομετρική κλίμακα του χειροτροχού στο 0. Το στέλεχος του ακατέργαστου γραναζιού μπορεί τώρα να τοποθετηθεί σε θέση στην άτρακτος της διαιρούμενης κεφαλής και σφιχτά ασφαλισμένο μέσω μιας βίδας. Τελικά το ακατέργαστο γρανάζι μπορεί να τοποθετηθεί πάνω στο στέλεχος και να ασφαλιστεί με κόντρα παξιμάδι. Χειριστείτε το τραπέζι και τους χειροτροχούς της οριζόντιας κύλισης μέχρι ο κόπτης ίσα που να αγγίζει το ακατέργαστο κομμάτι, έπειτα να ορίσετε το μικρόμετρο του τραπεζιού στο 0. Διασταυρώστε το με την οριζόντια κύλιση προς τα μέσα και προς το πίσω μέρος της μηχανής μέχρι ο κόπτης να

τελειώσει το τεμάχιο, έπειτα μέσω του χειροτροχού του τραπέζιου ορίστε την κοπή σε βάθος 0.108, τότε κλειδώστε το τραπέζι σφιχτά σε αυτή τη θέση.



Σχήμα 11.2 : Κοπή κωνικού γραναζιού

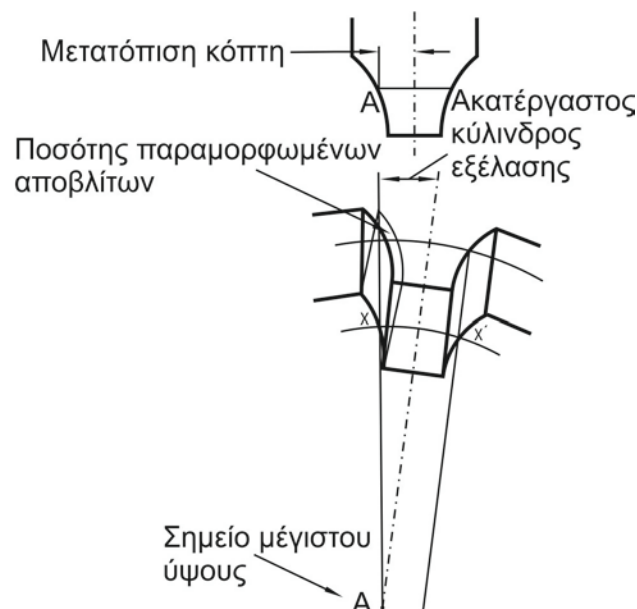
διαιρείται με 4 και η κοπή μπορεί να ξεκινήσει. Η κοπή θα εισάγει το ακατέργαστο Ορίστε την διαιρούμενη κεφαλή συγκράτησης στην οπή αναφοράς σε οποιαδήποτε οπή που κομμάτι από το μικρό άκρο και θα αφήσει το μεγάλο άκρο, το οποίο θα δώσει στον μηχανολόγο μια καλή θέαση της διαδικασίας κοπής. Αν μια 60 δοντιών διαιρούμενη κεφαλή χρησιμοποιείται, τότε για να κοπεί ένα 20 δοντιών θα χρειαστούν τρεις στροφές του χειροτροχού, για να κοπεί κάθε δόντι. Συνεχίστε να κόβετε και τα 20 δόντια. Αυτό το στάδιο φαίνεται στο σχήμα 11.2. Η μορφή του δοντιού θα είναι τώρα παράλληλη καθ' όλο το μήκος, έχοντας το επιθυμητό σχήμα στο μικρό άκρο αλλά για να φαρδύνει το μεγάλο άκρο χρειάζεται περεταίρω κοπές. Οποιαδήποτε περεταίρω κίνηση για να φαρδύνει το μεγάλο άκρο του δοντιού δεν πρέπει να παρέμβει στο προφίλ του μικρού άκρου. Με άλλα λόγια η θέση του μικρού άκρου σχετικά με τον κόπτη δεν πρέπει να αλλάζει. Η απόσταση κάθε δοντιού φαίνεται στο σχήμα 11.3 και θα αφήσουμε εκεί το θέμα ονομάζοντας το η μικρή θεωρία.



Σχήμα 11.3 : Κωνικό γρανάτζι μετά από το πρώτο πέρασμα κοπής

Οι γραμμές που αντιπροσωπεύουν το πάχος χορδής στον κυλιόμενο κύκλο είναι παράλληλες η μια με την άλλη αλλά για να συνδεθούν σωστά τα γρανάτζια πρέπει να

ακολουθήσουν το διακεκομμένο μονοπάτι του σχήματος 11.3. Πρέπει να είναι ακτινικές γραμμές που συναντώνται στο σημείο κορυφής και διαπερνούν τα σημεία του πάχους χορδής XX του εσωτερικού προφίλ που παράγεται από την πρώτη κοπή ή εγκοπή. Βλέποντας την ευθεία AA που δεν είναι ακτινική γραμμή αφού δεν διαπερνά το σημείο κορυφής, αλλά αν ήταν να μετακινήσουμε τον κόπτη προς τα δεξιά σε μια απόσταση ίση με το  $\frac{1}{2}$  του πάχους χορδής τότε η ευθεία θα κινείτο με τον κόπτη και θα απασχολούσε την θέση που προηγουμένως κρατείτο από την κεντρική ευθεία και έτσι θα διαπερνούσε το σημείο κορυφής, οπότε θα γινόταν ακτινική ευθεία. Προφανώς αν μια κοπή ήταν να γίνει μέσα από το ακατέργαστο κομμάτι μετά την κίνηση του κόπτη θα πλάταινε το κενό του δοντιού πάνω από το συνολικό μήκος και θα κατέστρεφε το προφίλ του μικρού άκρου αλλά όπως η γραμμή AA είναι τώρα ακτινική, το συνολικό ακατέργαστο κομμάτι μπορεί να περιστρέφεται με την φορά των δεικτών του ρολογιού γύρω από το κέντρο του μέχρι τα δυο σημεία XX να επιστρέψουν στην αρχική θέση σχετικά με τον κόπτη. Το εσωτερικό άκρο του δοντιού είναι σε τέτοια θέση που θα επιτρέψει στον κόπτη να διαπεράσει δίχως να μεταθέσει άλλο υλικό και από τη στιγμή που ο κόπτης είναι τοποθετημένος σε πραγματικά ακτινική ευθεία θα παράγει μια πλευρά του δοντιού στο σωστό ακτινωτό προφίλ όσο προχωρά η κοπή. Το δεύτερο πέρασμα γίνεται για όλα τα δόντια στο ακατέργαστο κομμάτι, αυτό φαίνεται στο σχήμα 11.4.

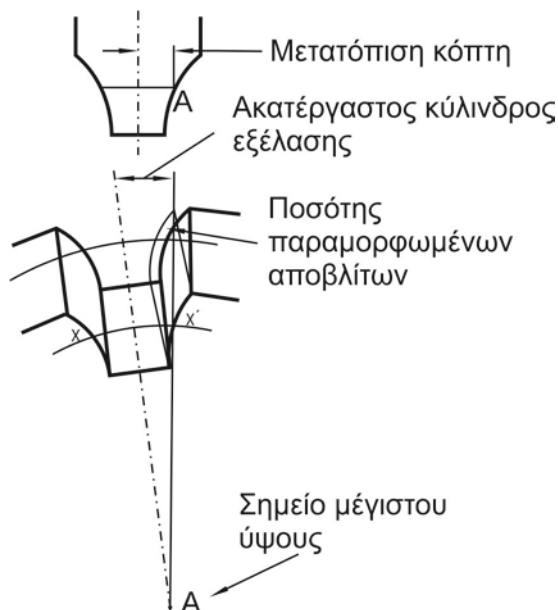


Σχήμα 11.4 : Κωνικό γρανάζι μετά από το δεύτερο πέρασμα κοπής

Ένα τρίτο και τελευταίο πέρασμα χρειάζεται για να μεταθέσει το πλεόνασμα του υλικού από την άλλη πλευρά του δοντιού έτσι ώστε αυτό να ακολουθεί επίσης μια πραγματικά ακτινική γραμμή. Αυτό ολοκληρώνεται με την πρώτη επιστροφή του κόπτη και του ακατέργαστου κομματιού στην αρχική τους θέση και τότε μετατοπίζοντας μια ίση ποσότητα σε αντίθετες κατευθύνσεις. Το τελικό δόντι θα φανεί στο σχήμα 11.5 και με τις δυο πλευρές του δοντιού να είναι ακτινικές. Έμφαση δόθηκε στην μη μετατόπιση του πλεονάσματος υλικού από το μικρό άκρο κατά το πρώτο πέρασμα του κόπτη και η 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> κοπή θα πρέπει να περνούν μέσα από το δόντι στο σημείο αυτό δίχως να αφαιρούν άλλο υλικό. Θεωρητικά αυτό είναι αδύνατο διότι ο κόπτης στο 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πέρασμα είναι σε μια ελαφρά γωνία ως προς το αρχικό πέρασμα το οποίο καταλήγει σε ένα επιφανειακό πέρασμα από το πάνω μέρος της εξελιγμένης καμπύλης. Εντούτοις, η ποσότητα του υλικού που πραγματικά αφαιρείται θα είναι ελάχιστη και δεν θα χει συγκεκριμένη συνέπεια στην λειτουργία του τελικού του γραναζιού.

Όταν χρησιμοποιείται μια φρέζα τα ζητήματα που αναφέρθηκαν μπορούν να εφαρμοστούν πρακτικά. Όταν περιστρέφεται αυτού του τύπου ο κόπτης σε οριζόντια φορά η μετατόπιση του κόπτη θα είναι πάνω - κάτω παρά δεξιά - αριστερά (με αναφορά στα προηγούμενα γι' αυτό και ο λόγος που πρέπει να μηδενίζεται το μικρόμετρο όταν κεντράρεται ο κόπτης). Η πρώτη από τις δυο κινήσεις που χρειάζονται για να αποκτηθεί η σωστή διάρθρωση για τη 2<sup>η</sup> κοπή του 20 δοντιών κωνικού γραναζιού είναι να κινηθεί ο κόπτης κάτω μια απόσταση των 0.039, χρησιμοποιώντας τον τέλειο μηχανισμό τροφοδότησης τις ακίδας. Ο υπολογισμός είναι πάντα ο ίδιος πολλαπλασιάζοντας το μισό της αρχικής διαμέτρου με το ημίτονο της γωνίας:  $\frac{90}{\text{Αριθμό δοντιών}}$ . Είναι σημαντικό να

θυμόμαστε να κλειδώνουμε την ακίδα ασφαλώς μετά την επανεκκίνηση αφού οποιαδήποτε ατυχής κίνηση κατά τη διάρκεια θα ήταν καταστροφική.



Σχήμα 11.5 : Κωνικό γρανάζι τρίτο και τελευταίο πέρασμα κοπής

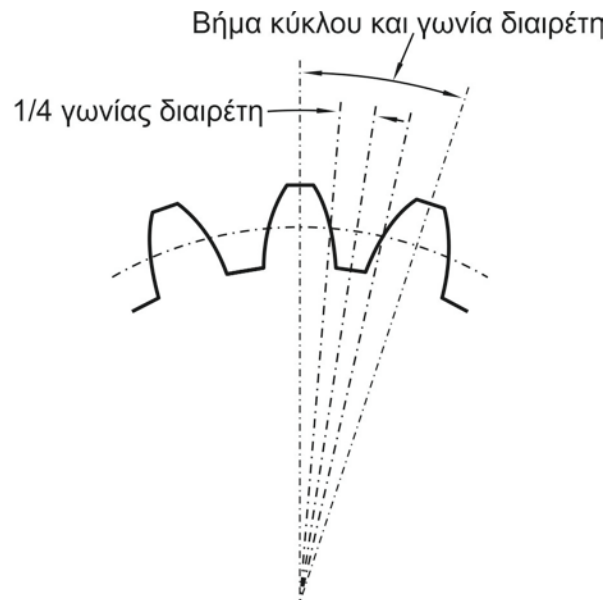
Η 2<sup>η</sup> ή ακτινική κίνηση αποκτάται με την περιστροφή την διαιρούμενης κεφαλής και η ποσότητα περιστροφής που απαιτείται είναι ίση με το μισό του πάχους του δοντιού στην γραμμή βήματος. Σαν γραμμική απόσταση που είναι θα ήταν ένας περίεργος υπολογισμός αλλά σαν γωνιακή μετατόπιση είναι απλώς το  $\frac{1}{4}$  της γωνίας δεικτοδότησης του δοντιού (Σχήμα 11.6). Το γρανάζι που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα έχει 20 δόντια, επομένως η περιστροφή της διαιρούμενης κεφαλής θα είναι το  $\frac{1}{4}$  αυτής ή το  $\frac{1}{8}$  της στροφής. Σε μια 60:1 σχέση μετάδοσης διαιρούμενης κεφαλής αυτό αντιπροσωπεύει τα  $\frac{3}{4}$  της στροφής, επομένως η ανάγκη για μια πλάκα διαίρεσης ικανής να διαιρείτε με τέσσερα. Και πάλι, μην ξεχνάτε τον αιώνιο εχθρό των μηχανικών, ταλαντώσεις, και όταν ορίζεται η διαιρούμενη κεφαλή πίσω κατά  $\frac{3}{4}$  της στροφής, πηγαίνετε πίσω τουλάχιστον μια ολόκληρη στροφή έτσι ώστε η θεμιτή οπή να είναι προσεγγίσιμη στην ίδια κατεύθυνση περιστροφής όπως και στην αρχική δεικτοδότηση.

Για να αποκτηθεί η σωστή διάρθρωση για την 3<sup>η</sup> και τελευταία κοπή, επιστρέψτε και τον κόπτη και την διαιρούμενη κεφαλή πίσω στην αρχική του θέση και τότε κάντε επανεκκίνηση με την κύλιση του ακατέργαστου κομματιού αλλά αυτή τη φορά σε αντίθετη κατεύθυνση. Η κίνηση τις ακίδας θα είναι προς τα πάνω και επομένως για να επιτευχθεί η σωστή τιμή της μικρομετρικής κλίμακας, το 0.039 θα πρέπει να απομακρυνθεί από την ανάγνωση της πλήρους κλίμακας.

Το δόντι φυσικά και μπορεί να κοπεί με μόνο δυο περάσματα, ένα σε κάθε πλευρά του, αλλά προτείνεται να γίνουν τρία περάσματα. Το πλεονέκτημα είναι ότι αν γίνει ένα λάθος

σε οποιαδήποτε στιγμή είναι προφανές, αφού μικρή ποσότητα υλικού αφαιρείται στα δυο τελευταία περάσματα αλλά μια λάθος διάρθρωση όταν χρησιμοποιούνται μόνο δυο κοπές μπορεί να μην γίνει αντιληπτή.

Μια άμεση διαίρεση διαιρούμενης κεφαλής μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά αν γίνει αυτό πρέπει να είναι ικανή να παρέχει έναν αριθμό διαιρέσεων ίσες με τέσσερις φορές του αριθμού των υπαρχόντων δοντιών. Αυτό θα επιτρέψει για την απαιτούμενη διάρθρωση για το  $\frac{1}{4}$  του δοντιού των κυλιόμενων κυλίσεων του ακατέργαστου κομματιού της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> κοπής.

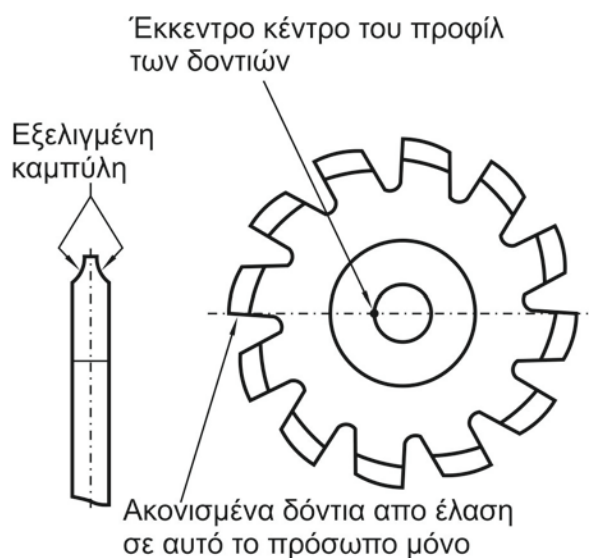


Σχήμα 11.6 : Ακατέργαστος κύλινδρος εξέλασης είναι το  $\frac{1}{4}$  της γωνίας του διαιρέτη

## 12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει ένας ερασιτέχνης εφαρμοστής είναι το κόστος των κοπτικών εργαλείων. Υπάρχουν οχτώ κόπτες σε ένα πλήρες σετ και όσο το σετ απαιτείται για κάθε DP, CP ή μετρικό βήμα, ο αριθμός των κοπτικών που χρειάζονται για να καλύψουν όλα τα αξιόλογα γεγονότα είναι τουλάχιστον υπολογίσιμος. Το κόστος τέτοιου μεγάλου αριθμού κοπτικών απέχει πολύ από τον προϋπολογισμό για την μεγάλη πλειοψηφία των εργαστηρίων με φραϊζες αλλά ευτυχώς όταν τα γρανάζια απαιτούνται για ένα σχήμα είναι συχνά όλα με ίδιο DP και αν πολύ μικροί οδοντωτοί τροχοί μπορούν να αποφευχθούν τότε ίσως δυο ή τρεις κόπτες θα είναι αρκετοί για να κόψουν όλα τα απαιτούμενα γρανάζια. Οι κόπτες γραναζιών, χάρη στο εξειδικευμένο σχήμα τους, είναι ακριβοί και αγοράζοντας κάποιους από αυτούς μπορεί να θεωρηθούν μη πρακτικοί, έτσι η απάντηση είναι να δημιουργήσετε τους δικούς σας. Η ικανοποίηση της παραγωγής μιας ακολουθίας γραναζιών μας επιβραβεύει και ακόμη περισσότερο όταν οι κόπτες είναι χειροποίητοι.

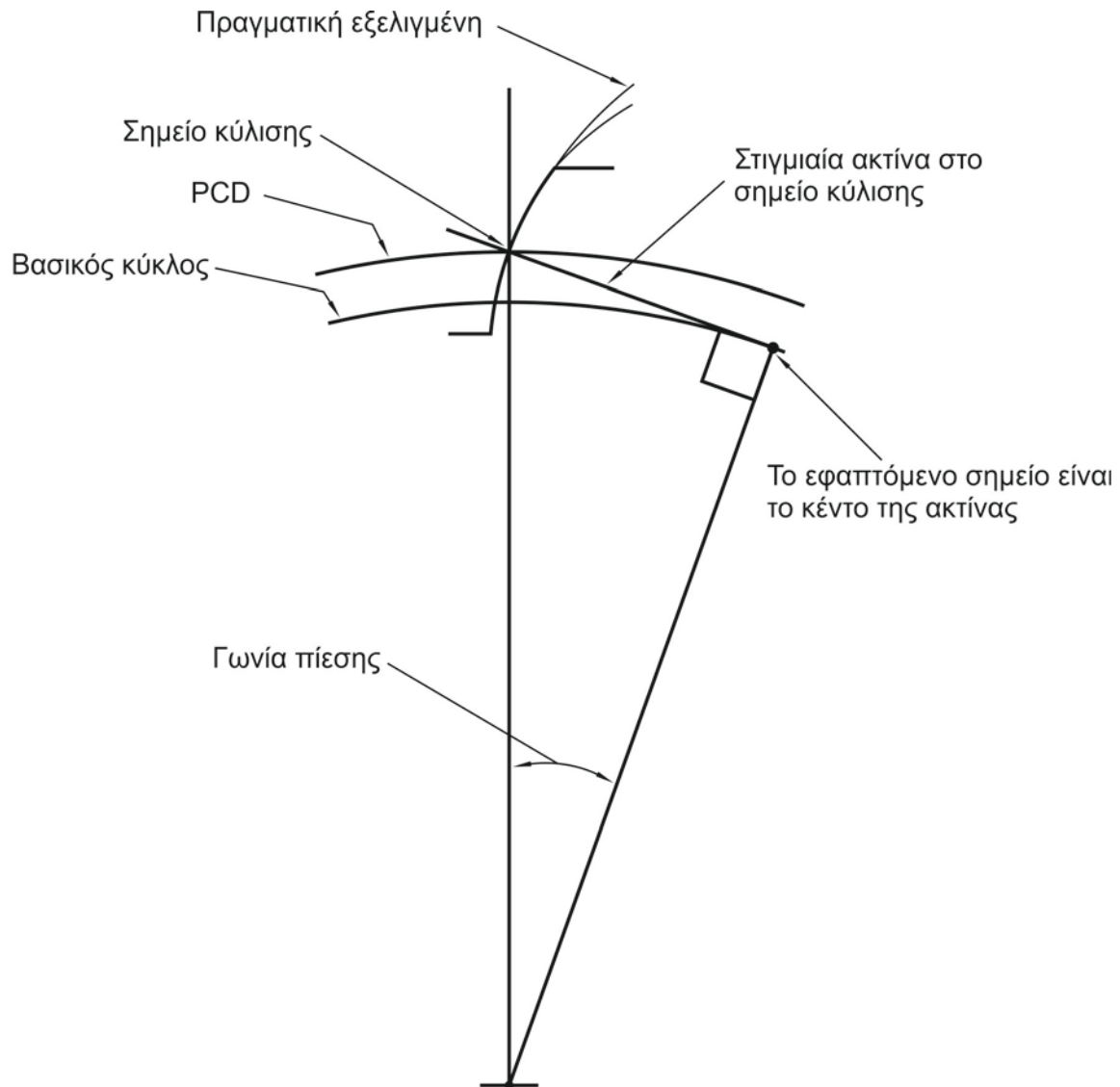
Για να κατανοήσουμε το πρόβλημα στην παραγωγή των κοπτών κάποιου, αναφερόμαστε στο σχήμα 12.1, όπου φαίνεται ότι οι δυσκολίες είναι σε δυο κατηγορίες στοιχείων. Πρωτίστως για να παράγουμε το πραγματικό προφίλ του κόπτη ο οποίος πρέπει να έχει ίδιο σχήμα όσο το κενό ανάμεσα σε δυο συνδεδεμένα δόντια και δεύτερον για να υποχωρήσει το δόντι και για να παρέχει το απαραίτητο διάκενο γύρω από την ακμή κοπής.



Σχήμα 12.1 : Τυπικός κόπτης γραναζιών όπου φαίνεται το σχήμα και η μορφή της εξελιγμένης καμπύλης

Θα ασχοληθούμε αρχικά με το προφίλ του δοντιού όπου είναι συμμετρικό γύρω από την κεντρική ευθεία και κάθε πλευρά να απαρτίζεται από μια καμπύλη, αυτή η καμπύλη δεν είναι παρά μια σωστή καμπύλη εξελιγμένης παρειάς για το θεμιτό προφίλ του δοντιού. Αναφερόμενοι στο σχήμα 3.17 από το Κεφάλαιο 3, μπορεί να φανεί ότι η εξελιγμένη καμπύλη δεν είναι μια που μπορεί να παραχθεί με κανονικές μηχανικές μεθόδους αφού δεν είναι ένα τόξο που δημιουργείται από κάποιο συγκεκριμένο κέντρο, πράγματι η ακτίνα της αλλάζει συνεχώς, ξεκινώντας από μια προεξέχουσα ευθεία και καταλήγοντας σε επίπεδες για να ακολουθήσουν ένα ανώμαλο δακτυλιοειδές μονοπάτι γύρω από το βασικό κύκλο της. Μπορεί επίσης να φανεί ότι μόνο ένας μικρός τομέας, κάθετος στην αρχή της καμπύλης, χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση του προφίλ του δοντιού. Αυτός ο μικρός τομέας της καμπύλης μπορεί να αντικατασταθεί από μια πραγματική ακτίνα με μικρό

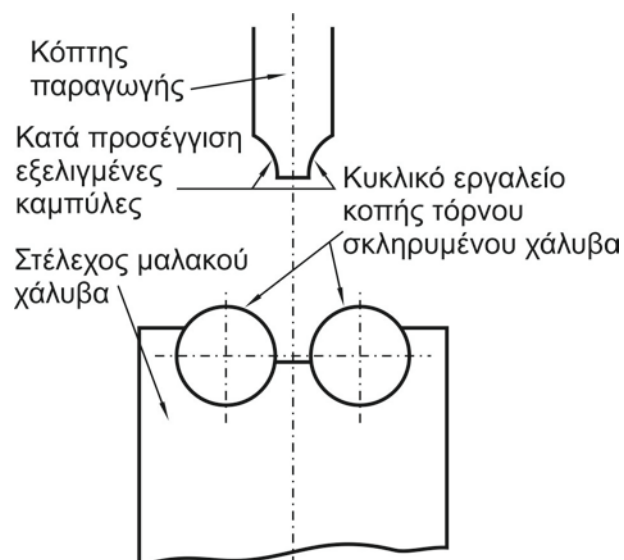
σφάλμα για να διαμορφώσει το σχήμα του γραναζιού, παρέχοντας σωστή ακτίνα έχει επιλεγεί και ότι το κέντρο του είναι σωστά τοποθετημένο. Το πραγματικό σφάλμα ανάμεσα στην ακτίνα και την αληθινή καμπύλη εξελεγμένης παρειάς είναι πολύ μικρό, λιγότερο από το σφάλμα που είναι αποδεκτό στη χρήση ενός κόπτη μόνο για την παραγωγή ενός εύρους δοντιών. Η δυνατότητα αντικατάστασης της πραγματικής ακτίνας με μια εξελεγμένη καμπύλη το κάνει εφικτό για τον ερασιτέχνη να κατασκευάσει κοπτικά τα οποία κάνουν αποδεκτή την κοπή γραναζιών εν απουσία της φρέζας κοπής γραναζιών ή άλλης παραγωγικής μηχανικής.



Σχήμα 12.2 : Τρόπος προσδιορισμού κατά προσέγγιση τόξου κοπτικού

Η μέθοδος καταδεικνύει πως αποκτάται το μέγεθος της πραγματικής ακτίνας και επίσης πώς να εντοπίζεται το κέντρο του, σχήμα 12.2.





Σχήμα 12.3 : Αρχικό στάδιο του εργαλείου

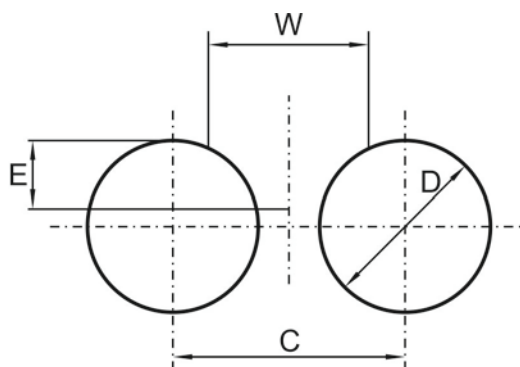
Το διάγραμμα δείχνει ότι στο «αρχικό σημείο» τόσο η αληθινή καμπύλη εξελεγμένης παρειάς και η αντικατεστημένη ακτίνα συμπίπτουν και ότι το πραγματικό σφάλμα στην καμπυλότητα της εξωτερικής όψης του δοντιού είναι πράγματι πολύ μικρό. Αφού και οι δυο πλευρές του δοντιού στο γρανάζι είναι όμοιες με το προφίλ τότε το εργαλείο διαμόρφωσης είναι να κάνει τον κόπτη να μπορεί να απαρτίζεται από δυο κυκλικά σκληρά κομμάτια του κόπτη ή από κυκλικά εργαλεία κατάλληλης διαμέτρου συναρμολογημένα σε προκαθορισμένο κέντρο απόστασης σε ένα στήριγμα μαλακού σιδηρού. Ένας τέτοιος κόπτης θα παράγει δυο παρόμοια τμήματα κύκλου, όταν εφαρμόζεται σε έναν κόπτη γραναζιού και αυτά τα κομμάτια του κύκλου όταν εφαρμόζονται στο ακατέργαστο γρανάζι, θα παράγει την θεμιτή καμπύλη στην επιφάνεια του δοντιού. Το διάγραμμα στο σχήμα 12.3 δείχνει τέτοια εργαλεία και πως παράγουν την απαιτούμενη μορφή στον κόπτη για το γρανάζι.

| ΓΩΝΙΑ ΠΙΕΣΗΣ 20° |         |           |                  |            |        |
|------------------|---------|-----------|------------------|------------|--------|
| Κόπτης           | Γρανάζι | Διάμετρος | Απόσταση κέντρων | Τροφοδοσία | Πλάτος |
| No.              | Δόντι   | D         | C                | E          | W      |
| 1                | 135-R   | 51,30     | 49,60            | 17,79      | 4      |
| 2                | 55-134  | 32,15     | 31,60            | 11,47      | 4      |
| 3                | 35-54   | 15,07     | 15,52            | 5,87       | 4      |
| 4                | 26-34   | 10,26     | 11,03            | 4,27       | 4      |
| 5                | 21-25   | 8,55      | 9,40             | 3,71       | 4      |
| 6                | 17-20   | 7,80      | 8,70             | 3,44       | 4      |

Πίνακας 12.1 : Γωνία πίεσης 20 μοιρών

Ο πίνακας 12.1 συγκαταλέγει τη λίστα των μεγεθών, το κέντρο απόστασης ανάμεσα στα κυκλικά εργαλεία και την τροφοδοσία που χρειάζεται για έξι κόπτες που καλύπτουν ένα εύρος από δεκαεφτά δοντιών οδοντωτό τροχό ως και ένα οδοντωτό κανόνα. Αυτός ο πίνακας είναι για γωνία πίεσης 20° και είναι για τροχούς με αρχική διάμετρο ένα. Για άλλα βήματα απλώς χωρίζουμε την τιμή που δίνεται με το αντίστοιχο διαμετρικό βήμα που απαιτείται. Το πλάτος W είναι το ελάχιστο προτεινόμενο πλάτος του κόπτη και αυτό φυσικά μπορεί να ποικίλει για να ταιριάζει στο διαθέσιμο υλικό.





Σχήμα 12.4 : Διάγραμμα για τις γωνίες πίεσης

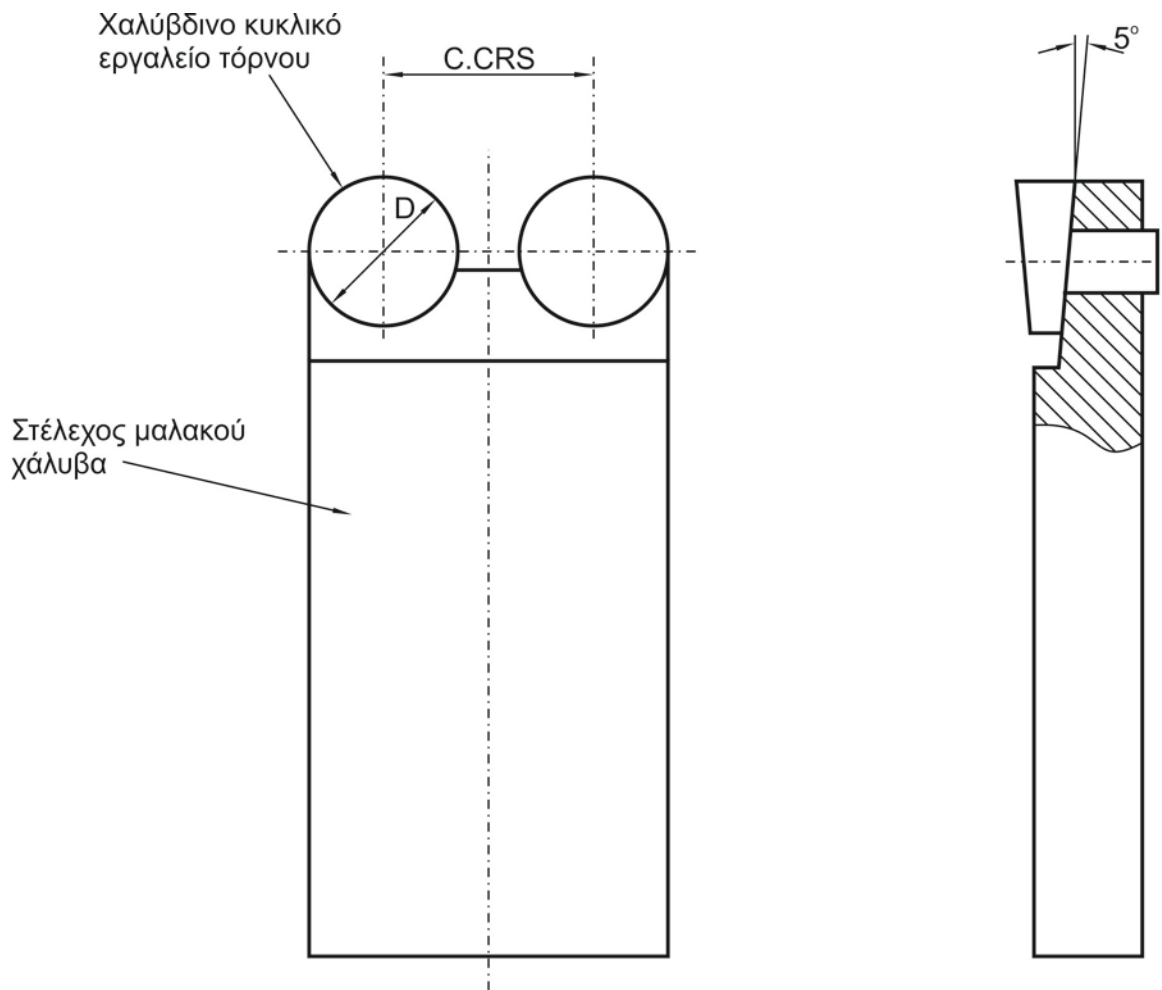
Ένα πλεονέκτημα στην παραγωγή κοπτών κάποιου είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν μη δεδομένες μορφές και άπαξ και εμπλακούν οι αρχές κατανοείται τότε ότι οι κόπτες οποιασδήποτε γωνίας πίεσης ή βήματος μπορούν να παραχθούν. Δεν προτείνεται να υιοθετούνται μη δεδομένες μορφές αλλά η επιλογή είναι ανοιχτή εφόσον προκύψει κάποια ειδική περίπτωση. Για παράδειγμα, αν είναι απαραίτητο στοιχείο για το σχήμα, να έχουν οι οδοντωτοί τροχοί όσο λιγότερα δόντια μπορούν, τότε το πρόβλημα μπορεί να ελαφρύνει με την αύξηση της γωνίας πίεσης. Φυσικά όλα τα συνδεόμενα γρανάζια πρέπει επίσης να έχουν την ίδια γωνία. Ο πίνακας 12.2, παρόμοιος σε θέμα με το προηγούμενο, μπορεί να είναι βοηθητικός στην παραγωγή κοπτών με γωνία πίεσης 30°.

| ΓΩΝΙΑ ΠΙΕΣΗΣ 30° |         |           |                  |            |        |
|------------------|---------|-----------|------------------|------------|--------|
| Κόπτης           | Γρανάζι | Διάμετρος | Απόσταση κέντρων | Τροφοδοσία | Πλάτος |
| No.              | Δόντι   | D         | C                | E          | W      |
| 1                | 135-R   | 67,50     | 59,50            | 17,74      | 4      |
| 2                | 55-134  | 27,50     | 25,00            | 7,72       | 4      |
| 3                | 35-54   | 17,50     | 16,30            | 5,20       | 4      |
| 4                | 26-34   | 13,00     | 12,40            | 4,08       | 4      |
| 5                | 21-25   | 10,50     | 10,25            | 3,44       | 4      |
| 6                | 17-20   | 8,50      | 8,50             | 2,95       | 4      |
| 7                | 14-16   | 7,00      | 7,20             | 2,57       | 4      |
| 8                | 12 & 13 | 6,00      | 6,36             | 2,30       | 4      |
| 9                | 10 & 11 | 5,00      | 5,60             | 2,11       | 4      |

Πίνακας 12.2 : Γωνία πίεσης 30 μοιρών

Το σχήμα 12.5 δείχνει μια τυπικό εργαλείο μορφοποίησης για την παραγωγή κοπτών γραναζιών. Το πραγματικό μέγεθος των διαφόρων διαστάσεων θα εξαρτάται φυσικά από το εύρος και το DP του κόπτη γραναζιού που απαιτείται αλλά η γενική μέθοδος κατασκευής θα είναι βασικά παρόμοια για όλα τα μεγέθη.

Το στέλεχος του κόπτη μπορεί να φτιαχτεί από συμβατικό μαλακό σίδηρο, με το πραγματικό κομμάτι να εξαρτάται από το μέγεθος και τον τύπο του στηρίγματος του εργαλειοφορέα που τοποθετείται στον τόρνο και επίσης στο κέντρο της απόστασης ανάμεσα στα δυο σκληρυμένα χαλύβδινα κυκλικά κοπτικά εργαλεία. Το στέλεχος πρέπει να είναι αρκετά φαρδύ για να παρέχει την κατάλληλη υποστήριξη για τα κυκλικά εργαλεία αφού το φορτίο κοπής πάνω τους είναι υψηλό χάριν στο μακρύ μήκος της κοπής.

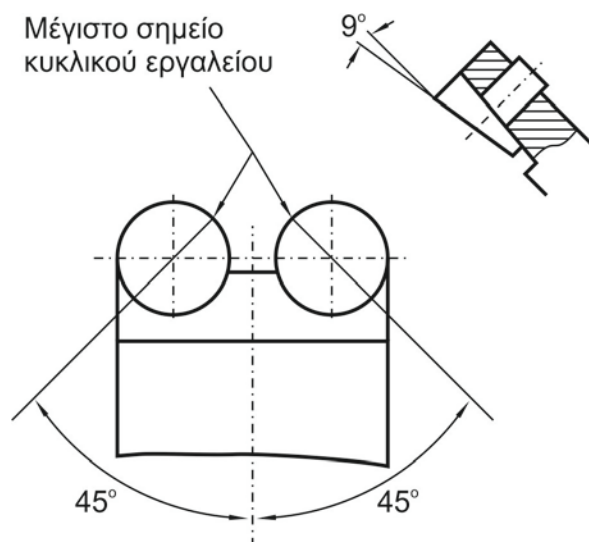


Σχήμα 12.5 : Τυπική μορφή κόπτη

Μετά την κοπή του στελέχους από τη ράβδο υλικού η πρώτη κίνηση είναι η παραγωγή γωνιακής όψης στην οποία είναι συναρμολογημένα τα κυκλικά εργαλεία. Όλα τα απαιτούμενα εργαλεία κοπής θέλουν γωνίες κλίσης και διακένου γύρω από τη κανονική ακμή κοπής. Στη περίπτωση των κυκλικών εργαλείων αυτές οι γωνίες θα μπορούσαν να παρέχονται μετατρέποντας τις σε κωνοειδείς, δίνοντας τους εν μέρει ένα κωνικής τομής. Αν και αυτό μπορεί να δείχνει απλός τρόπος δημιουργίας διακένου, έχει τις δυσκολίες του όπως κάθε μετατιθέμενο μέταλλο από την κορυφή της επιφάνειας των κυκλικών εργαλείων, για λόγους ακονίσματος φυσικά, θα μειώσει την διάμετρο και η σωστή μορφή θα χαθεί. Οι πραγματικές γωνίες δεν είναι σημαντικές, ανάμεσα σε  $4^\circ$  και  $5^\circ$  θα είναι ικανοποιητικές. Ιδανικά το φρεζάρισμα της επικλινής όψης της γωνίας και το τρυπάνισμα των συναρμολογημένων οπών του τροχιστή θα γίνουν στην ίδια διάρθρωση για να πιστοποιηθεί ότι οι οπές θα είναι κάθετες με την όψη. Η κάθετη φρέζα είναι ιδανική για αυτή τη λειτουργία αφού ένας υψηλός βαθμός ακριβείας μπορεί να επιτευχθεί δίχως την ανάγκη για οποιοδήποτε πρόσθετο εξοπλισμό υπολογισμού. Σφίξτε το στέλεχος του κόπτη σε έναν σφιγκτήρα στη μηχανή στην απαιτούμενη γωνία  $5^\circ$ . Μια προεξοχή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η γωνία μπορεί να αποκτηθεί αρκετά εύκολα και με αρκετή ακρίβεια με τη χρήση της ίδιας της μηχανής για τον υπολογισμό της γωνιακής διάρθρωσης. Τοποθετείστε ένα κέντρο του τόρνου ή παρόμοια συσκευή σε έναν άξονα μηχανής και φέρτε τη κάτω στο υψηλό άκρο του στελέχους και τότε θέστε την τιμή του μικρομέτρου στο 0. Κινείστε το τραπέζι 2 ίντσες, αυτό θα αποτελέσει 20 στροφές με 0.100 βήμα ελίκωσης κοχλία, και τότε, μέσω της τροφοδότησης, χαμηλώστε το σημείο σήμανσης μέχρι να έρθει σε επαφή ξανά με τον άξονα του κόπτη. Όταν η διαφορά ανάμεσα στην τιμή του αριθμού είναι 0.175 τότε ο άξονας θα οριστεί σε μια γωνία  $5^\circ$  σε σχέση με την

φρέζα. Είτε με το άκρο ενός κοπτικού λείανσης ή με κοπτικό επιφανειακής κατεργασίας, επαρκή από τον άξονα για να παρέχει μια θέση για τον τροχιστή. Μπορεί να χρειαστεί να διαμορφωθεί μια εσοχή στον άξονα, αλλιώς όταν τα κυκλικά εργαλεία τοποθετηθούν σε θέση μπορεί να είναι πολύ ψηλά και ανίκανα να οριστούν καθ' ύψος με το κέντρο του τόρνου. Αυτό το σημείο χρειάζεται να ελεγχθεί πριν οποιαδήποτε κοπή. Το σχήμα δείχνει μια εσοχή όπου χρησιμοποιεί συγκρατητή εργαλείων τύπου Dixon στο τόρνο τύπου Myford και η εσοχή γίνεται απαραίτητη με τη χρήση αξόνων με πάχος υλικού 3/8 της ίντσας.

Οι οπές για τα στελέχη των κουμπιών θα τρυπηθούν δίχως ενόχληση για το σύνολο του άξονα, αφού αυτό θα εξασφαλίσει ότι οι οπές είναι κάθετες με την κεκλιμένη όψη. Για πολλά μεγέθη τροχιστή μια διάμετρος στελέχους 1/4 της ίντσας θα είναι επαρκής αλλά αυτό μπορεί να ποικίλει για πολύ μικρά και μεγάλα κυκλικά εργαλεία. Η απόσταση ανάμεσα στις δυο οπές αποκτάται από τον πίνακα και θα είναι η σχετική τιμή C διαιρούμενη με το DP που χρησιμοποιείται. Δεν χρειάζεται να υπολογιστεί ξανά με κάποια ειδική μέθοδο. Τοποθετείστε την πρώτη οπή σε ένα βολικό σημείο δίπλα στην άκρη του άξονα και τότε θα αποκτηθεί η απόσταση ανάμεσα στις δυο οπές μέσω του τροφοδοτικού κοχλία τραπεζιού και της μικρομετρικής κλίμακας.

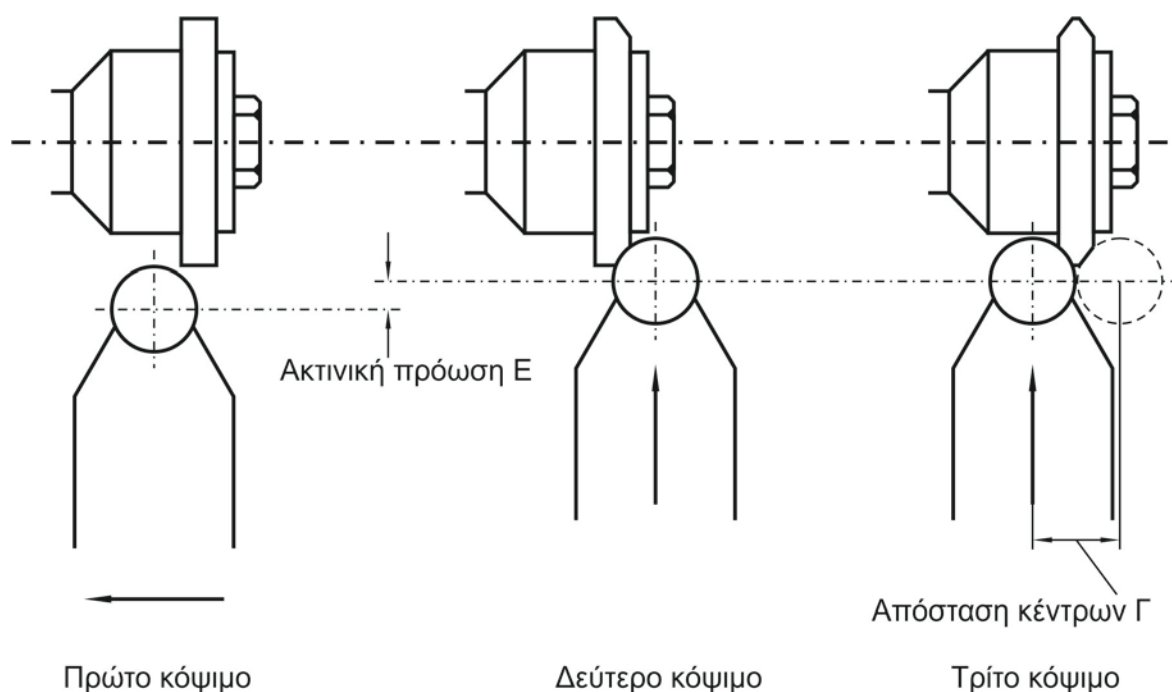


Σχήμα 12.6 : Δείχνει πως είναι τοποθετημένο το κυκλικό εργαλείο στο στέλεχος

Τα κυκλικά εργαλεία θα πρέπει να φτιαχτούν από σίδηρο. Ο ασημοχάλυβας είναι ιδανικός αφού είναι διαθέσιμος σε μορφή ράβδου, σχετικά εύκολος για μηχανική και για απλή τράχυνση και χαλύβδωση. Στρέψτε τα στελέχη προς τα κάτω με ευκολία αλλά με προσεκτικό ταίριασμα στις οπές στον άξονα, η κύρια διάμετρος D στον πίνακα αποκτάται με παρόμοιο τρόπο όπως η κεντρική απόσταση C. Η μπροστινή γωνία διακένου των εργαλείων κοπής κανονίστηκε με την διάτρηση των συναρμολογημένων οπών σε μια γωνία 5° αλλά η πιο υψηλή κλίση είναι απαραίτητη, περίπου 3° με 4° θα είναι ικανοποιητικό. Εξαιτίας της κλίσης των απαιτούμενων κεφαλών για την απόκτηση της γωνίας διακένου, 5° κλίσης θα είναι αρκετά καλά για την αρχικοποίηση αυτής της γωνίας και να αποκτήσουν την κλίση 4° ενώ η συνολική γωνία της πάνω όψης του κομβίου θα είναι 9°. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε χειροκίνητα ή με το φρεζάρισμα με το κατάλληλο εργαλείο. Όποιος κατέχει ένα από τα εργαλεία και τους κόπτες ακονίσματος σχεδιασμένα για ερασιτεχνικό εργαστήριο, όπως το Quorn ή Kennett, θα μπορέσει να τροχίσει την γωνία μετά την σκλήρυνση. Αν ένα κατάλληλο κοπτικό δεν είναι διαθέσιμο τότε το τελείωμα θα γίνει με προσεκτικό χειρισμό μιας πέτρας λείανσης. Η σκληρότητα γίνεται με τον συνήθη τρόπο της υψηλής θέρμανσης και περίχυση με νερό, δίνοντας ένα απαλό ξανθό χρώμα.

Τα κυκλικά εργαλεία ασφαλίζονται στον άξονα με κόλλα συγκράτησης, η οποία θα τους επιτρέψει να κινηθούν προς σωστή γωνία αφού τοποθετηθούν στις αντίστοιχες οπές. Οι υψηλές κορυφές τους χρειάζεται να είναι σε μια  $45^\circ$  γωνία στην κεντρική ευθεία έτσι ώστε να δίνουν θετικό αποτέλεσμα την κλίση και τις γωνίες διακένων (Σχήμα 12.6). Το εργαλείο είναι πια έτοιμο για χρήση.

Και οι δυο πλευρές ενός κόπτη γραναζιού έχουν το ίδιο προφίλ και έτσι και τα δυο κυκλικά εργαλεία είναι ίδιας διαμέτρου. Ο κόπτης ενός τροχιστή είναι πιο απλούστερος και πιο γρηγορότερος να γίνει αλλά απαιτεί περισσότερη προσοχή στη χρήση του, και η μετατόπιση μεταξύ των περικοπών πρέπει να εκτελεσθεί κάθε φορά που γίνεται ένας κόπτης εργαλείων. Ο τύπος διπλού-τροχιστής είναι απλός σε χρήση και η περίπτωση ενός σφάλματος είναι αμελητέο. Είναι μια περίπτωση μιας ταλάντευσης και κυκλικού διαζώματος. Το διάγραμμα στο σχήμα 12.7 απεικονίζει τη χρήση ενός κόπτη τροχιστή.



Σχήμα 12.7 : Σχηματίζοντας τις δυο πλευρές του εργαλείου κοπής χρησιμοποιώντας ένα μόνο εργαλείο κυκλικής μορφής

Το μέσο για την παραγωγή μιας εναλλακτικής πρακτικής στην πραγματική εξελιγμένη καμπύλη έχει λυθεί, το πρόβλημα που μένει είναι πως θα παρέχεται μια κατάλληλη υποχώρηση ή εκτόνωση στα δόντια του κόπτη. Με αναφορά στο σχήμα 12.1 δείχνει ότι όλο το σχήμα του δοντιού δεν παράγεται ομοκεντρικά με το κέντρο του κόπτη, αφού για να γίνει θα δώσει ένα δόντι δίχως διάκενο ή κλίση σε γωνία και ως συνέπεια δεν θα κόβει αλλά θα τρίβει. Το πρόβλημα παροχής εκτόνωσης σε όλους τους κόπτες αυξάνεται από το γεγονός ότι το σχήμα του δοντιού δεν πρέπει να επηρεαστεί όταν πρέπει να σταθεροποιηθεί για να παραμείνει μια θεμιτή κορυφή κοπής. Η προς χρήση μέθοδος για εφαρμογή εκτόνωσης στην κανονική πλευρά και όψη του κόπτη ακονίσματος δεν μπορεί να υιοθετηθεί αφού αυτός ο τύπος κόπτη πάντα χάνει λίγο από το πλάτος του κατά τη διάρκεια του ακονίσματος. Η λύση είναι η εφαρμογή καμπυλωτής χάρης, παράγοντας ένα δόντι γύρο από έκκεντρο κύκλο, (Σχήμα 12.1), το οποίο διατηρεί μια σταθερή διατομή καθ' όλο το μήκος του δοντιού και λόγω της εκκεντρότητας του δοντιού ως προς το τόξο περιστροφής όλες οι επιφάνειες παραμερίζονται από την εμπρόσθια όψη ή την όψη κοπής και έτσι δεν απαιτείται πλευρά με διάκενο. Κατά το ακόνισμα η μορφή θα παραμείνει και ο κόπτης μπορεί να τοποθετηθεί πολλές φορές μέχρι το δόντι τελικά να σπάσει εξαιτίας της αδυναμίας του.

Δεν είναι ούτε απλός ούτε εύκολος ο μηχανικός χειρισμός αυτής της λειτουργίας για της εφαρμογή καμπύλης ανακούφισης σε μια ειδική μορφή εκτόνωσης του τórνου και αυτή η χρονοβόρα διαδικασία είναι ο κύριος παράγοντας για το υψηλό κόστος των κοπτικών εργαλείων. Γυρνώντας σε αμιγώς έκκεντρους άξονες είναι μια απλή λειτουργία για το ερασιτεχνικό εργαστήριο. Αφού έχει δουλευτεί στα κέντρα του το τεμάχιο είναι είτε συναρμολογημένο σε μια διάθρωση κέντρων ή κινείται με ένα τετρασίγγωνο δίσκο έτσι ώστε το έκκεντρο στοιχείο μπορεί να παράγεται με κανονικές λειτουργίες. Αυτός είναι ο τρόπος που οι μηχανικοί κατά το σχεδιασμό κάνουν τα έκκεντρα των βαλβίδων γραναζιών για ατμοκίνητα μοντέλα. Αν ο κόπτης, σχήμα 12.1, ξεκινά για πρώτη φορά και είναι τοποθετημένος στο κανονικό κέντρο του, τα δόντια μπορούν να παραχθούν φρεζάροντας μια σειρά εγκοπών στο δίσκο του κόπτη. Ωστόσο, αυτά τα δόντια, όντας ομοκεντρικά με τον άξονα του κόπτη, δεν θα έχουν χάρη και δεν θα κοπούν, αλλά αν τοποθετήσουμε τον κόπτη σε έναν έκκεντρο άξονα μπορούμε να γυρίσουμε έκκεντρα ένα δόντι γύρω από νέο κέντρο και έτσι να παράγουμε ένα δόντι με σωστή χάρη. Υπάρχει πρόβλημα σ' αυτό που το κάθε δόντι πρέπει να διαμορφωθεί γύρω από διαφορετικό έκκεντρο κέντρο και έτσι η δράση χάρης ενός δοντιού θα καταστρέψει τελείως κάθε δόντι που ακολουθεί. Πράγματι μόνο ένα δόντι εξ ολοκλήρου του δίσκου μπορεί επιτυχώς να ανακουφιστεί με κανονικές έκκεντρες μεθόδους περιστροφής. Αν κόψουμε από τον δίσκο όλα τα ακρωτηριασμένα και ανεπηρέαστα δόντια θα μας μείνει ένας μονόδοντος κόπτης, κοινώς ένας κόπτης επιφανειακής κατεργασίας.

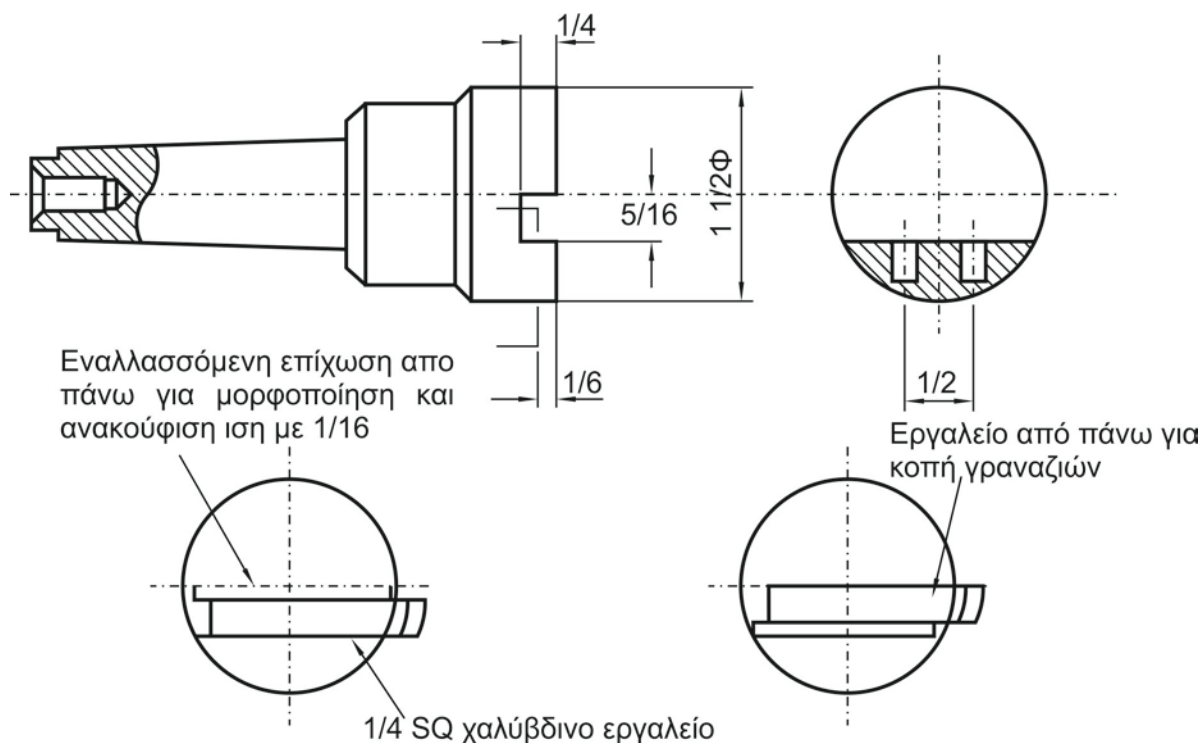
Ο κόπτης επιφανειακής κατεργασίας είναι ένας πολύ χρήσιμος τύπος κόπτη και αν κρατηθεί καταλλήλως θα παρουσιάσει όλες τις εργασίες ενός κανονικού κυκλικού κόπτη. Η κύρια διαφορά είναι ότι όσο ένα δόντι κόβεται για κάθε περιστροφή του κόπτη, ο ρυθμός αφαίρεσης γρεζιών είναι φυσικά πιο χαμηλός και ο συνολικός χρόνο παραγωγής αυξάνεται αλλά παραδόξως όχι σε μεγάλο βαθμό. Οι κόπτες μοναδιαίου σημείου επιφανειακής κατεργασίας είναι ικανοποιητικοί για την κοπή γραναζιού, πράγματι έχουν ένα πλεονέκτημα σχετικά με τον πολύδοντο κόπτη στο ότι είναι πολύ απλό στο να διατηρηθούν αιχμηροί.

Υπάρχει μια ιστορία που λέει ότι το ψητό χοιρινό ανακαλύφθηκε όταν χοιροστάσιο κήκε και όταν ο αγρότης, ενώ μετέφερε ένα σφαχτό, έκαψε τα δάχτυλα του. Έβαλε τα δάχτυλα του μέσα στο στόμα του για να ελαφρύνει τον πόνο και ανακάλυψε ότι η καυτή ουσία στο χέρι του είχε μια ευχάριστη γεύση. Ο αγρότης γρήγορα ανακάλυψε ότι δεν χρειαζόταν να κάψει ένα χοιροστάσιο κάθε φορά που ήθελε ψητό, το ίδιο συμβαίνει με τον τύπο του μονόδοντου κόπτη. Ένας κόπτης επιφανειακής κατεργασίας μπορεί να γίνει δίχως την παραγωγή ενός δίσκου. Ένα κομμάτι τετραγωνικής διατομής ενός μαλακού εργαλείου είναι το μόνο που χρειάζεται και ο ασημοχάλυβας είναι η προφανής επιλογή. Το μέγεθος του εργαλείου εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος του δοντιού που θα παραχθεί: προτείνεται για 20 DP μια  $1\frac{1}{4}$  ίντσες τετραγωνική διατομή αλλά για τύπους γραναζιών με μικρά δόντια είναι  $3/16$  ίντσες ή  $1/8$  ίντσες τετραγωνικού υλικού όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Για να φτιαχτεί ο κόπτης χρειάζεται κάποιας μορφής στήριγμα ενώ οι διαδικασίες διαμόρφωσης και υποχώρησης υπονομεύονται. Ένα στήριγμα επίσης απαιτείται για να στηρίξει και να οδηγήσει το εργαλείο κατά τη διάρκεια των λειτουργιών κοπής του και με λίγη ευφυΐα ένα στήριγμα μπορεί να προσαρμοστεί για να παρουσιάζει και τις δυο λειτουργίες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη του κόπτη ενώ διαμορφώνεται, αφού ο κόπτης έχει σκληρύνει και τοποθετηθεί, το εργαλείο μπορεί να συναρμολογηθεί στο ίδιο στήριγμα για την κανονική διαδικασία κοπής του γραναζιού.

Το σχήμα 12.8 δείχνει ένα τέτοιο στήριγμα, το κλειδί για την μεταβλητότητα του είναι η μικρή σφήνα εμπλοκής. Αυτό χρησιμοποιείται στο στήριγμα και για τον κόπτη διαμόρφωσης και για τη γενική χρήση του τελικού εργαλείου. Η σχισμή στο τέλος της όψης του στηρίγματος φτιάχτηκε με αρκετό φάρδος για να βολεύει και το κόπτη και τη μικρή σφήνα εμπλοκής. Η σχισμή είναι τοποθετημένη έτσι ώστε η κορυφή της επιφάνειας να είναι στην κεντρική γραμμή του στηρίγματος. Για την λειτουργία διαμόρφωσης η θέση

σφήνωσης τοποθετείται πάνω από τον κόπτη, αυτό έπειτα τοποθετεί την άνω όψη του κόπτη κάτω από την κεντρική γραμμή περιστροφής. Με κανονικές μεθόδους περιστροφής και με το στήριγμα να περιστρέφεται πραγματικά γύρω από τον άξονα του, ο τροχιστής θα διαμορφώσει σωστά και την ίδια στιγμή θα απομακρύνει σχετικά τον κόπτη με την όψη κοπής. Μετά την σκλήρυνση και λείανση, ο κόπτης τοποθετείται πίσω στο στήριγμα αλλά αυτή τη φορά η μικρή σφήνα εμπλοκής τοποθετείται κάτω από τον κόπτη, επομένως φέρνοντας στην πάνω όψη του κόπτη συμπτωματικά με την κεντρική γραμμή του στηρίγματος και στη σωστή λειτουργική θέση.



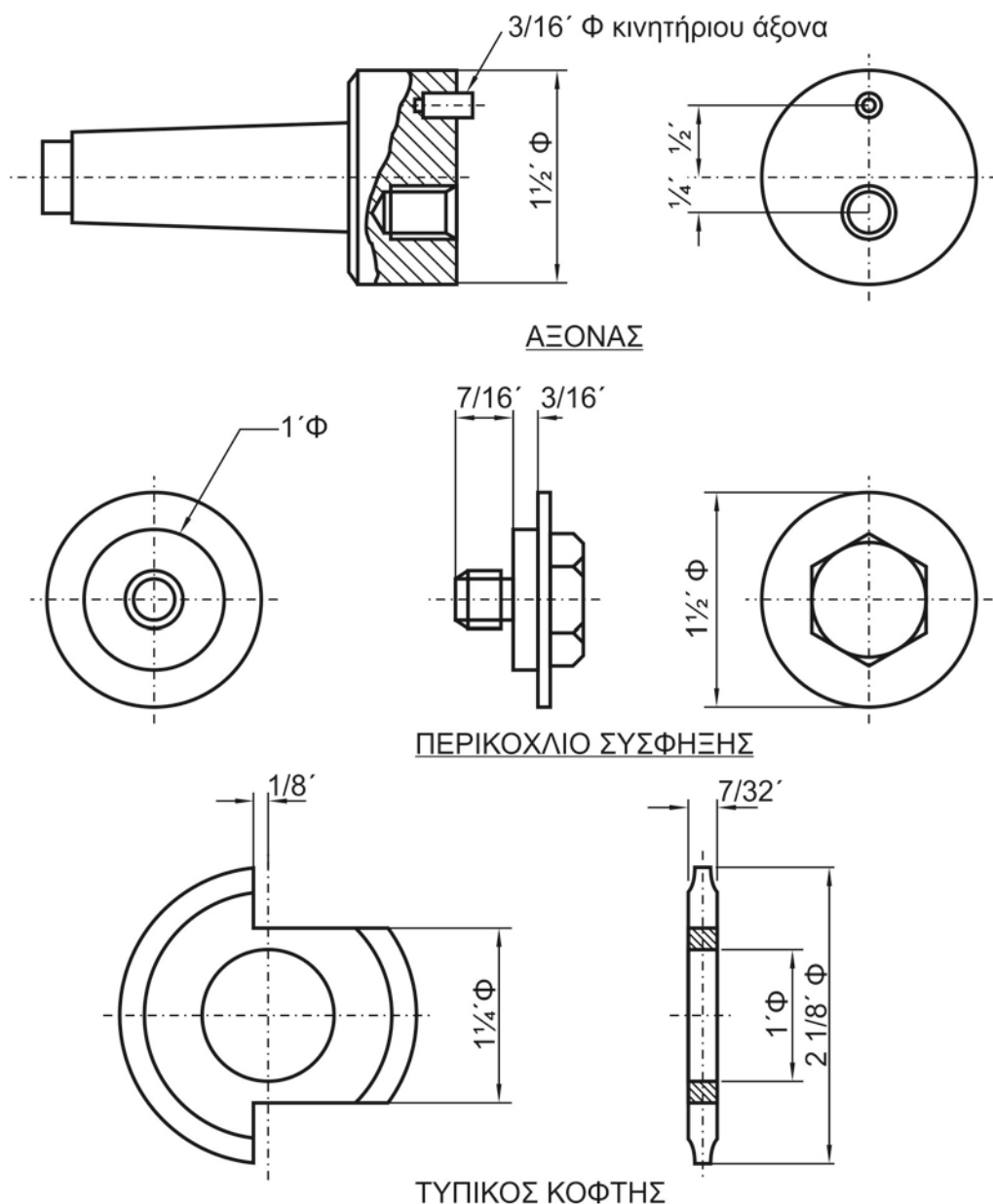
Σχήμα 12.8 : Άξονας συγκράτησης τόσο για την παραγωγή όσο και την τοποθέτηση ενός μονόδοντου κοπτικού

Για να γίνει αιχμηρός ο κόπτης η κορυφή της όψης λειαίνεται και αυτή η λειτουργία μπορεί να γίνει πολλές φορές επειδή η λείπτυνση του κόπτη δεν επηρεάζει την λειτουργία αφού η κορυφή του ή η όψη κοπής είναι πάντα σκληρή απέναντι στην άνω όψη της σχισμής και στο κέντρο της περιστροφής.

Στην έκκεντρη περιστροφή η κανονική κεντρική γραμμή του κόπτη μετατοπίζεται κατά μια ποσότητα με το δόντι που κόβεται. Στην περίπτωση του συγκρατητή και της θέσης της σφήνας η κεντρική γραμμή δεν επηρεάζεται αλλά το εργαλείο ίσως είναι εκτός θέσης. Αυτή είναι μια απλή διαδικασία αλλά το τελικό αποτέλεσμα θα είναι το ίδιο.

Μια άλλη μέθοδος παραγωγής ενός κόπτη επιφανειακής κατεργασίας, σχήμα 12.9, ο κόπτης είναι κυκλικός με ομόκεντρο δόντι προς τον άξονα. Καμία έκκεντρη στροφή ή υποχώρηση δεν χρειάζεται, έτσι το προφίλ του δοντιού μπορεί να λειτουργήσει σε ένα σύνολο ενός πραγματικά κινούμενου άξονα, το εργαλείο και πάλι χρησιμοποιείται για να παράγει το κατάλληλο προφίλ. Η εκτόνωση επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση του κόπτη έκκεντρα στο υπό λειτουργία στέλεχος το οποίο δυστυχώς σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι κατάλληλο για την αρχική στροφή. Αυτός ο τύπος κόπτη στην πραγματικότητα έχει δυο δόντια αλλά μόνο ένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε φορά, το πλεονέκτημα είναι ότι αν καταστεί αναγκαίο να ακονίσει τον κόπτη κατά τη διάρκεια κοπής, η εργασία δεν χρειάζεται να σταματήσει και το δεύτερο δόντι που τίθενται σε λειτουργία χωρίς να ενοχλεί

κάποιο μέρος της όλης λειτουργίας. Όταν δεν χρησιμοποιείται για κοπή, το δεύτερο δόντι έχει ακόμη μια εργασία να κάνει, μέσο μιας ακίδας παρέχει θετική φορά κίνησης στον κόπτη. Αυτό θα εξαλείψει οποιαδήποτε ροπή που ο κόπτης μπορεί να έχει για να ολισθήσει υπό το φορτίο το οποίο αν συμβεί θα μειώσει την εκκεντρότητα και θα καταστρέψει όλο του το βάθος. Τα στελέχη, και για αυτό, και για τα προηγούμενα εργαλεία παρουσιάζονται με κωνικό στέλεχος τύπου Morse's για απευθείας εφαρμογή στη μηχανή κοπής ή για την άτρακτο του τórνου. Αυτός ο τύπος τοποθέτησης υπερτερεί ως προς τη στερέωση στελεχών με σιαγόνες αφού πάντα θα λειτουργούν σωστά, τα οποία είναι απαραίτητα για τον κόπτη γραναζιού και μπορούν επίσης να παρέχουν μεγαλύτερη ακαμψία στον κόπτη. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι η μηχανή μπορεί να οριστεί για να περιστρέφεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση δίχως το φόβο του να λασκάρει η σιαγόνα από τον άξονα.

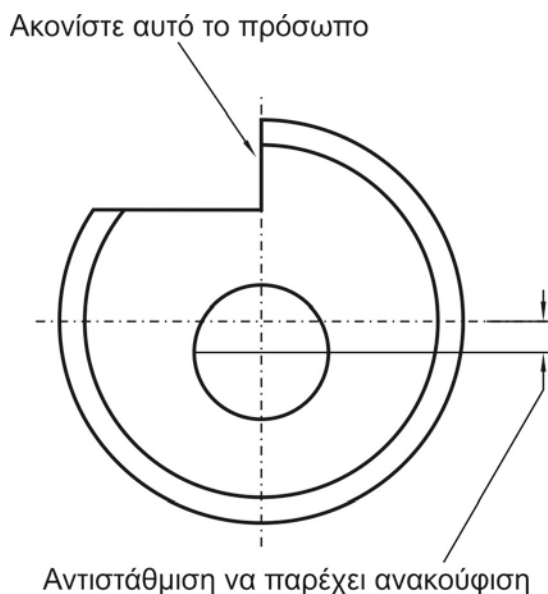


Σχήμα 12.9 : Άξονας συγκράτησης για κυκλικό εργαλείο κοπής όπου το μέγεθος του ποικίλει ανάλογα με τις σχεδιαστικές απαιτήσεις

Στον τύπο του κόπτη που φαίνεται στο σχήμα 12.10 δεν παρέχεται με οδηγητική ακίδα, αλλά στηριζόμενο μόνο στο περικόχλιο σύσφιξης του για να ασφαλιστεί στο οδηγούμενο στέλεχος. Προορίζεται για μικρούς κόπτες όπου τα φορτία κοπής είναι χαμηλά. Ένας



κόπτης κυκλικής διαμόρφωσης με αποκομμένο κομμάτι για να παράσχει ένα δόντι κοπής και την εκτόνωση παρέχεται κάνοντας διάτρηση της οπής έκκεντρα από τον οριζόντιο άξονα, το κέντρο της οπής είναι τοποθετημένο διαμετρικά απέναντι από την τομή τμήματος. Αν και αυτό είναι βασικά ένας απλός τύπος κόπτη η κατασκευή του παρουσιάζει ένα μικρό πρόβλημα διότι το εξωτερικό προφίλ και το διάτρημα δεν μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα. Υπάρχουν ένας ή δυο τρόποι με τους οποίους μπορεί να λυθεί το πρόβλημα και ένας είναι η παραγωγή κόπτη από ραβδοειδές υλικό. Κάνοντας κόπτες τέτοιου τύπου έχουμε το πλεονέκτημα ότι η μεγαλύτερη λειτουργία μπορεί να γίνει σε ένα σύνολο και να δώσει το απαιτούμενο πάχος. Μετά από αυτό, η οπή μπορεί να παραχθεί είτε με τρύπημα σε κανονική πίεση τρυπανιού ή ορίζοντας έκκεντρα ένα τετρασιάγωνο τσόκ και παράγοντας το διαμέτρημα στον τόρνο.



Σχήμα 12.10 : Κόπτης κατάλληλος για την παραγωγή μικρού μεγέθους δόντια

Μια ολοκληρωτικά διαφορετική προσέγγιση είναι να γίνουν κόπτες από υλικό σε σχήμα πλάκας όπως ένα υλικό τυποποιημένου πάχους. Αυτό είναι καλό υλικό για κόπτες αφού είναι εύκολο να λειτουργήσει και να σκληρύνει. Η ποσότητα αλλοίωσης που υπάρχει στη διαδικασία σκλήρυνσης είναι σχεδόν μηδενική. Για να παραχθεί ένα ακατέργαστο κομμάτι, κόψτε ένα κομμάτι από το φύλλο υλικού όσο είναι ο δίσκος με τελική διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από του κόπτη και ανοίξτε μια τρύπα στο κέντρο του. Η διάμετρος της οπής δεν πρέπει να είναι παραπάνω από το μισό του τελικού διατρήματος. Για παράδειγμα αν ο κόπτης τελικά συναρμολογηθεί σε  $3/8$  τις ίντσας διάμετρο συγκρατητή, τότε η αρχική οπή δεν θα είναι πιο πολύ από  $3/16$  ίντσες διάμετρο. Η πραγματική διάμετρος και η δημιουργία προφίλ με το συγκεκριμένο εργαλείο γίνεται σε έναν άξονα αλλά σιγουρέψτε ότι η επίπεδη όψη συγκράτησης είναι σε ορθή γωνία με την διάμετρο του συγκρατητή. Η άκρη του συγκρατητή είναι βιδωμένη για να παρέχει ένα περικόχλιο σύσφιξης. Θα χρειαστεί προσοχή, ειδικά με την λειτουργία διαμόρφωσης, αφού οι δυνάμεις κοπής θα είναι σχετικά υψηλές και η διάμετρος του συγκρατητή μικρή, αλλά μια προσεκτική προσέγγιση θα εξασφαλίσει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Μετά τη διαμόρφωση, η μικρή ομόκεντρη οπή θα πρέπει να γίνει σε μια έκκεντρη και μεγάλη οπή και αυτό θα πρέπει να γίνει με τον ορισμό του ακατέργαστου κομματιού σε ένα τετρασιάγωνο και με τη χρήση ενός μοναδιαίου σημείου εργαλείο διάτρησης. Η μικρότερη διάμετρος της τελικής οπής δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την διάμετρο της αρχικής οπής συν δυο φορές του ποσού της εκκεντρότητας.

Με αυτό το τύπο κόπτη το έκκεντρο στοιχείο είναι ο ίδιος ο κόπτης και αν υπό φορτίο ο κόπτης ολισθαίνει στον άξονα λειτουργίας δεν θα επηρέαζε τη ρύθμιση του κόπτη με



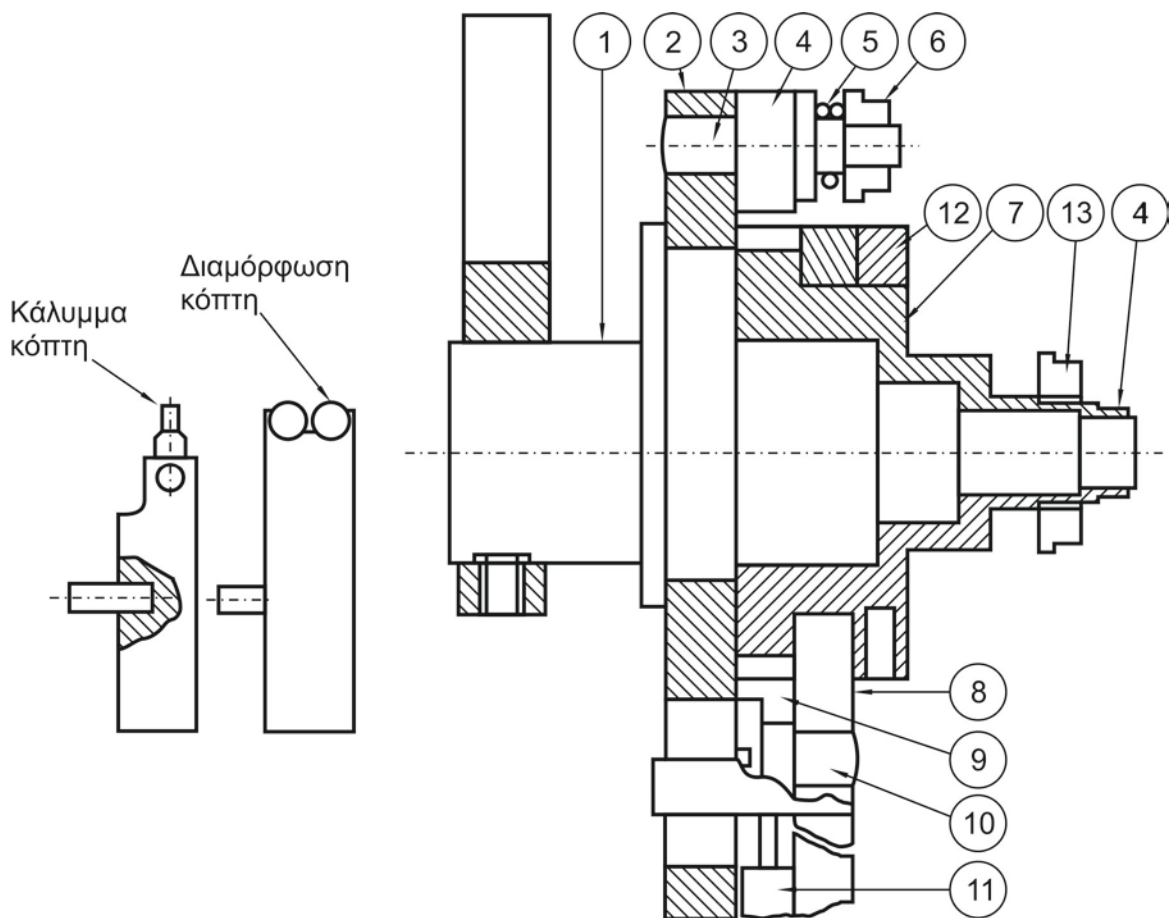
οποιοδήποτε τρόπο, όσο η εκκεντρότητα που παρέχει την εκτόνωση είναι σταθερή για όλες τις θέσεις του κόπτη και του άξονα.

## **12.1 Κυκλικοί κόπτες πολλών δοντιών**

Οι μοναδιαίου σημείου κόπτες επιφανειακών κατεργασιών είναι ικανοποιητικοί για την κοπή του «one off» τύπου γραναζιού αλλά αν ο σκοπός είναι να κοπούν γρανάζια σε τακτική βάση τότε θα αξίζει να χτιστεί ένα απόθεμα από πολυδοντικούς κυκλικούς κόπτες. Αυτός ο τύπος κόπτη μπορεί να παραχθεί επιτυχώς στο ερασιτεχνικό εργαστήριο αλλά δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό κατεργασίας. Όπως έχει ειπωθεί, το κυρίως πρόβλημα είναι η παροχή της ορθής μορφής εκτόνωσης για κάθε δόντι. Πολλές συνδέσεις έχουν σχεδιαστεί και γίνει για να παρουσιάσουν την λειτουργία και πολλές από αυτές λειτουργούν πολύ καλά, η κύρια κριτική είναι ότι αντιμετωπίζουν μονάχα ένα δόντι τη φορά και έτσι η ολόκληρη λειτουργία διαμόρφωσης της εκτόνωσης του 12 δοντιών κόπτη ή περισσότερων δοντιών μπορεί να είναι κάπως κουραστική. Ο Καθ. Chaddock και ο Ivan Law καταπιάστηκαν με το θέμα για αρκετό καιρό όταν ένα αντίγραφο από μια σελίδα ενός παλιού Βικτωριανού καταλόγου εργαλείων έδειχνε μια συνεχή μορφή σύνδεση εκτόνωσης η οποία ήρθε στα χέρια τους. Είχε σταλεί από έναν αναγνώστη του περιοδικού Model Engineer, αλλά δυστυχώς η διαφήμιση δεν ήταν λεπτομερής για το πώς η συσκευή δούλευε ή για το πώς κατασκευάστηκε και με ερεύνα που έγινε στη βιβλιογραφία αποδείχθηκε άκαρπη. Παρόλα αυτά αυτό το παλιό σύγγραμμα έδωσε την έμπνευση και μετά από κάποια συζήτηση ένα εργαλείο σχεδιάστηκε και φτιάχτηκε για να λειτουργεί σωστά. Του δόθηκε το όνομα «Eureka» και δόθηκε μια λεπτομερής περιγραφή σε μια έκδοση του περιοδικού Model Engineer. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε συναρμολογήθηκε ανάμεσα στα κέντρα του τόνου και δίνοντας τη σωστή υποστήριξη στο δόντι ενός κόπτη γραναζιού, τότε προστίθεται στο επόμενο δόντι και παράγει μια συνεχή ανακουφιστική δράση. Το εργαλείο θα ανακουφίσει μόνο έναν κόπτη που κατέχει τον ίδιο αριθμό δοντιών με τον τροχό αναστολών του αλλά δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία ζημιά στην κατασκευή όλων των κοπτών με τον ίδιο αριθμό δοντιών αυτός ο περιορισμός είναι χωρίς συνέπεια. Η συσκευή μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε μέγεθος για κάποιο λόγο πέρα από το πρωτότυπο, και αυτό που έχει παρουσιαστεί, είναι για κόπτες μισής ίντσας οπή και που κατέχουν δώδεκα δόντια. Θα ανακουφίσει επιτυχώς κόπτες μέχρι και 20 DP και 1 ¼-1 ½ ίντσας διαμέτρου. Αυτό το μέγεθος έχει επιλεγεί επειδή το υλικό για την κατασκευή κοπτών όπως ο μαλακός σίδηρος ή η πλάκα τυποποιημένου πάχους είναι ήδη διαθέσιμα και μπορεί να κατεργαστούν θερμικά δίχως ιδιαίτερο εξοπλισμό. Το μέγεθος του κόπτη είναι επαρκές για τις περισσότερες ανάγκες της γενικευμένης μηχανολογίας αλλά όποιος επιθυμεί να κόψει γρανάζια με δόντια μεγαλύτερου προφίλ θα χρειαστεί να αυξήσει το μέγεθος του εργαλείου εκτόνωσης. Ο αριθμός των δοντιών στον αναστολέα τροχό μπορεί επίσης να αυξηθεί αλλά με έναν κόπτη μεγαλύτερης διαμέτρου είναι αμφίβολο αν θα αποκτηθεί κάποιο πλεονέκτημα με την προσθήκη περισσότερων δοντιών.

Η συσκευή «Eureka» δεν είναι περίπλοκη ούτε δύσκολο να φτιαχτεί, το πρωτότυπο ολοκληρώθηκε και ήταν έτοιμο για να λειτουργήσει μέσα σε 4 μέρες. Η συσκευή είναι μια σύνδεση έκκεντρης στροφής που λειτουργεί με δυο έκκεντρα στον ίδιο άξονα. Όταν τοποθετείται στον τόννο ανάμεσα στα δυο κέντρα και περιστρέφεται συνεχώς, μέσω ενός έκκεντρου θα δεικτοδοτεί κάθε δόντι σε σειρά ενώ το άλλο, και μικρότερο, έκκεντρο παρέχει την κίνηση που χρειάζεται να δώσει το δόντι για εκτόνωση. Η πρώτη ή η δεικτοδοτούμενη κίνηση δεν είναι δύσκολο να φανταστεί. Η πιο πίσω πλάκα, το στοιχείο 2 στο σχήμα, είναι η πλάκα του αναστολέα και είναι συναρμολογημένο στο μεγαλύτερο των έκκεντρων. Προλαμβάνεται από την περιστροφή από έναν βραχίονα συνδεδεμένο με μια πακτωμένη ακίδα ασφαλισμένη στην πλάκα συγκράτησης (στοιχείο 8), το οποίο προλαμβάνει τη στροφή του γύρο από την ακίδα του συγκρατητή του κόπτη. Το πιάτο αναστολέα θα ταλαντευθεί σε σχέση με το αναστολέα τροχό, ο ένας πόλος συνδέεται στα δόντια του αναστολέα και εναλλακτικά συγκεντρώνεται και δεικτοδοτώντας τον αναστολέα τροχό. Ο δεύτερος πόλος ασφαρίζεται στην πλάκα συγκράτησης και δρα ως οριοθέτης και προλαμβάνει αντίστροφη περιστροφή κατά την φάση συγκέντρωσης. Τώρα έχουμε έναν

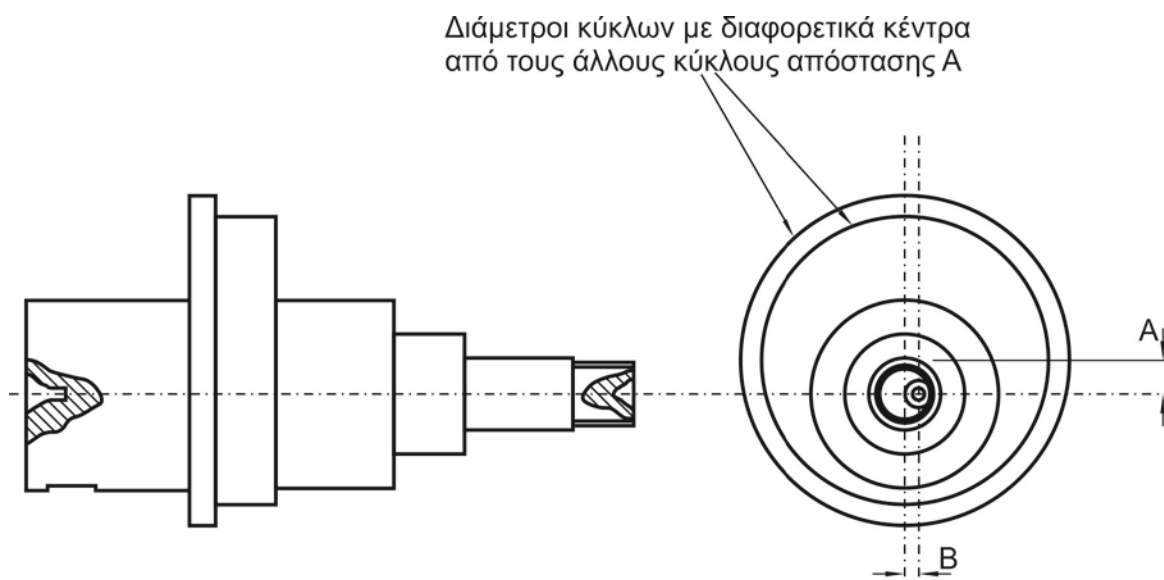
σωστό τρόπο δεικτοδότησης του ακατέργαστου κομματιού δεδομένου ότι και ο αναστολέας τροχός και το γρανάζι του ακατέργαστου κομματιού έχουν τον ίδιο αριθμό δοντιών. Όπως στέκεται το ακατέργαστο κομμάτι θα περιστραφεί μόνο γύρω από ένα σταθερό κέντρο και δεν θα αποκτήσει καμιά εκτόνωση, οπότε εδώ έρχεται το καθήκον του δεύτερου έκκεντρου να παρέχει ανακουφιστική δράση. Η θέση του κόπτη έχοντας δημιουργηθεί για να περιστρέφεται έκκεντρα γύρω από τον οριζόντιο άξονα, προωθεί και αποσύρει το ακατέργαστο κομμάτι του κόπτη προς και από το σταθερό εργαλείο διαμόρφωσης. Ο συγχρονισμός ανάμεσα στις δυο κινήσεις είναι σημαντικό. Όσο ο αναστολέας συγκεντρώνεται, ο αναστολέας τροχός (στοιχείο 7) και ο κόπτης είναι συνδεδεμένος σ' αυτό αλλά δεν περιστρέφεται, αν και κινούνται κάτω από την επιρροή του ανακουφιστικού έκκεντρου, όταν η συγκέντρωση ξεκινά, θα αρχίσει να κινεί τον κόπτη μακριά από το εργαλείο. Εντούτοις, πριν η συγκέντρωση ολοκληρωθεί το ανακουφιστικό έκκεντρο θα έχει αρχίσει να κινεί το ακατέργαστο κομμάτι του κόπτη πίσω προς το εργαλείο έτσι ώστε τότε να σταματήσει η συγκέντρωση και η δεικτοδότηση και η κοπή να ξεκινήσει, ο κόπτης θα έχει προχωρήσει μέχρι το εργαλείο μορφοποίησης και η κοπή θα ξεκινήσει. Το ακατέργαστο κομμάτι του κόπτη θα κινηθεί προς το εργαλείο μορφοποίησης παρέχοντας εκτόνωση όλη την ώρα που περιστρέφεται. Όταν το δόντι που κόβεται έχει περάσει τελείως το εργαλείο και το κενό ανάμεσα στα δυο δόντια προσεγγιστεί, η δεικτοδότηση θα σταματήσει και το ακατέργαστο κομμάτι του κόπτη θα σταματήσει να περιστρέφεται. Την ίδια στιγμή το ανακουφιστικό έκκεντρο θα έχει περάσει στο μεγαλύτερο μήκος του και θα ξεκινήσει να αποσύρει τον κόπτη μακριά από το εργαλείο για να ετοιμαστεί για το νέο κύκλο γεγονότων που ξεκινά με τη δεικτοδότηση του επόμενου δοντιού.



Σχήμα 12.11 : Τυπικό ζευγάρι κοπτικών

Δεν σκοπεύουμε να δώσουμε πολλές λεπτομέρειες για τις ποικίλες λειτουργίες που χρειάζονται για να δημιουργηθεί το εργαλείο διότι δεν είναι η κατάλληλη στιγμή γι αυτό, βλέπουμε μερικές λεπτομέρειες στα σχήματα 12.11 & 12.12.

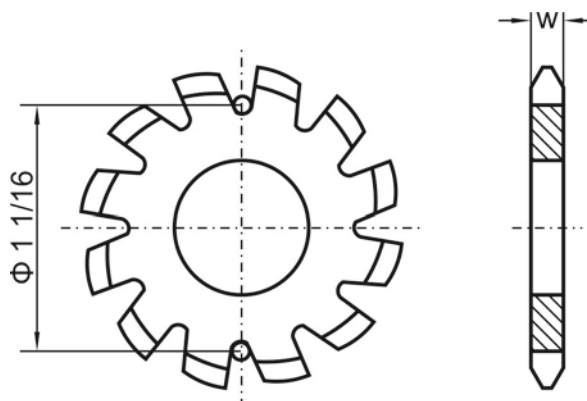
Πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή για να διασφαλίσει το συγχρονισμό των δυο έκκεντρων στον κύριο άξονα ο οποίος πρέπει να είναι σωστός γιατί το όποιο λάθος θα είναι καταστροφικό για τη σωστή λειτουργία της συσκευής. Δεν αναφέρθηκαν ανοχές στα σχήματα, ο λόγος είναι ότι το ταίριασμα μεταξύ εξαρτημάτων είναι σημαντικός παρά τα βασικά τους μεγέθη. Προσπαθήστε να επιτύχετε ένα στενό αλλά όχι σφιχτό ταίριασμα ανάμεσα σε 1 και 0.375 ίντσες διάμετρο στον άξονα και των αντίστοιχων διατρημάτων τους στο ευρετήριο του περιβλήματος (στοιχείο 7). Η συσκευή «Eureka» δεν είναι δύσκολο να κατασκευαστεί και ο μέσος μηχανικός μοντέλων δεν θα έχει προβλήματα στην γρήγορη κατασκευή του.



Σχήμα 12.12 : Συσκευή «Eureka»

Εάν δημιουργηθεί ο απαραίτητος εξοπλισμός εργαλείων η κατασκευή του πραγματικού κόπτη μπορεί να θεωρηθεί το επόμενο βήμα. Το εργαλείο εκτόνωσης προορίζεται για να ανακουφίσει τα κοπτικά εργαλεία με διάμετρο  $1 \frac{1}{4}$  ίντσας, το σχήμα 12.13 δείχνει έναν τυπικό κόπτη τέτοιου μεγέθους. Το πρώτο στάδιο είναι να παράγουμε το ακατέργαστο κομμάτι και αυτό μπορεί να γίνει είτε με ράβδο είτε με υλικό σε πλάκα. Αν έχει επιλεγεί το υλικό σχήματος μπάρας τότε αυτό μπορεί να τεθεί σε λειτουργία σε ένα τετρασιάνγωνο τσόκ με το άκρο κατά μέτωπο. Το διαμέτρημα μπορεί να κατεργαστεί μέσω τρυπανιού ή σειράς τρυπανιών αλλά προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο επιφανειακής κατεργασίας για να φτάσει την οπή στο σωστό μέγεθος. Αν ένα γλύφανο μισής ίντσας είναι διαθέσιμο τότε αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τελειώσει τη διαδικασία γλύφανσης. Η επόμενη λειτουργία είναι να κατεργαστείτε το πάχος όπου μπορεί να είναι περίπλοκη, στον τόρνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ακίδα στήριξης για να έχει θετική επενέργεια ακόμη κι αν η προεξοχή είναι μικρή. Για να αποκτηθεί μια καλή επιφάνεια στην πλάγια όψη, ξεκινάτε να κόβετε ελαφρώς από την παχιά πλευρά, μην ολοκληρώνετε την κοπή αλλά σταματήστε αφήνοντας ένα τείχος πάχους ανάμεσα στην κοπή και το διαμέτρημα περίπου  $1/16$  της ίντσας. Έπειτα αποσύρετε τον κόπτη και με επανεκκίνηση στο θεμιτό πάχος τροφοδοτείτε αργά το εργαλείο διαμόρφωσης, αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας λάδι κοπής και αποτμήστε τελείως. Όταν ο τόρνος οριστεί για τη λειτουργία είναι έτοιμος να παράγει αριθμό ακατέργαστων κομματιών ακόμη κι αν δεν είναι αρχικά απαιτούμενα αφού μπορούν να μπουν στην άκρη για μελλοντική χρήση και έτσι να κάνουμε οικονομία χρόνου.

Αν τα ακατέργαστα κομμάτια είναι να φτιαχτούν από υλικό σε φύλλα όπως το τυποποιημένου πάχους υλικό σε σχήμα πλάκας τότε δύσκολα κόβονται σε προφίλ πριν τη διάνοιξη οπής. Για να στραφεί η εξωτερική διάμετρος, τοποθετήστε το ακατέργαστο κομμάτι σε έναν άξονα αφού έτσι θα εξασφαλιστεί η ομοκεντρικότητα ανάμεσα στις δυο διαμέτρους.

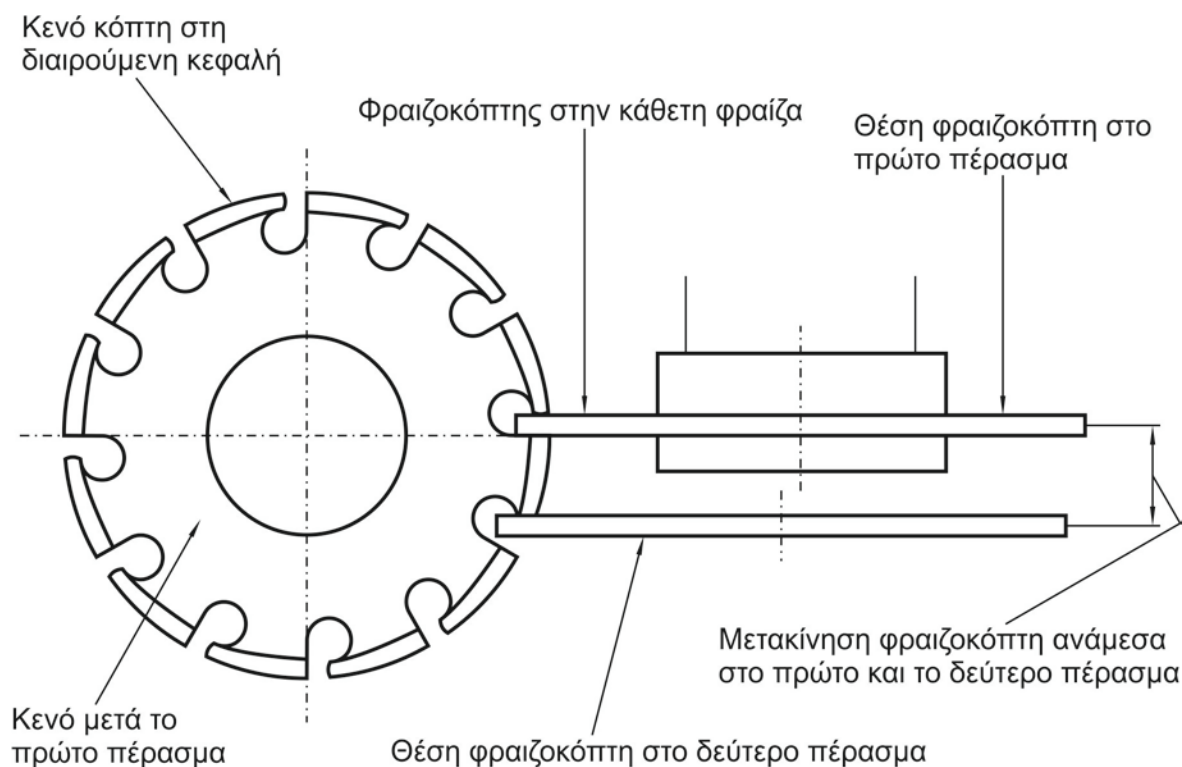


Σχήμα 12.13 : Τυπικό κοπτικό εργαλείο

Η επόμενη λειτουργία είναι να διανοιχθούν δώδεκα ίσα χωρισμένες οπές που διαμορφώνουν τη βάση των κενών ανάμεσα στα δόντια. Μια απλή διάταξη διάτρησης σε πλάκες μπορεί να γίνει για να τοποθετηθούν σωστά αλλά αν μια περιστρεφόμενη συσκευή είναι διαθέσιμη τότε αυτό μπορεί χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα. Η κεντρική άτρακτος της συσκευής είναι απευθείας τοποθετημένη πάνω από τον άξονα της ατράκτου της φρέζας ή της διατρητικής μηχανής και τότε χρησιμοποιώντας τον μοχλό τροφοδοσίας του τραπεζιού και θέτοντας το μικρόμετρο στη σωστή αρχική θέση θα δημιουργηθούν οι οπές. Η ευρετηρίαση ανάμεσα σε κάθε οπή επιτυγχάνεται μέσω του χειροτροχού στην περιστρεφόμενη συσκευή.

Το πραγματικό χάσμα ανάμεσα στα δόντια μπορεί να παραχθεί με προσεκτική πίεση προς τα κάτω και μέσα σε διάτρητες οπές αλλά μια πιο εύκολη μέθοδος είναι η αφαίρεση του ανεπιθύμητου μετάλλου μέσω ενός φρεζοκόπτη στερεωμένο σε κατάλληλο στέλεχος στην άτρακτο μιας κάθετης φρέζας. Το ακατέργαστο κομμάτι του κόπτη τοποθετείται οριζοντίως στην διαιρούμενη κεφαλή. Δυο κοπές χρειάζονται για να διαμορφώσουν κάθε κενό, οι δυο κοπές είναι παράλληλοι μεταξύ τους και η μόνη θεμιτή κίνηση ανάμεσα σε κάθε κοπή είναι το χαμήλωμα του φρεζοκόπτη. Αυτή η λειτουργία θα πρέπει να γίνει και στα δώδεκα δόντια πριν την έναρξη της 2<sup>ης</sup> κοπής. Το σχήμα 12.14 απεικονίζει την αρχή της λειτουργίας διαγραμματικά. Ο κόπτης είναι πια έτοιμος για να δημιουργήσει προφίλ το οποίο γίνεται μέσω ενός εργαλείου τροχιστή.

Ο κόπτης συγκεντρώνεται σε ένα στέλεχος και είναι το ίδιο στέλεχος που χρησιμοποιήθηκε για προηγούμενη λειτουργία αλλά αυτή τη φορά είναι ασφαλισμένο στην άτρακτο του τόνου. Το βάθος κοπής ή η πρόωση του εργαλείου, είναι μεγάλης σημαντικότητας διότι αυτό θα καθορίσει το τελικό σχήμα των δοντιών του γραναζιού. Η απόσταση για την πρόωση των εργαλείων όπως φαίνεται στον πίνακα κάτω από την επικεφαλίδα «υπό τροφοδοσία-Ε». Διαβάζοντας τους κατάλληλους αριθμούς στον κόπτη που δημιουργείται και μετά διαιρέστε τους με το απαιτούμενο DP. Το αποτέλεσμα θα είναι το θεμιτό βάθος κοπής. Το βάθος θα δημιουργηθεί μέσω της μικρομετρικής κλίμακας της οριζόντιας κύλισης. Πρωτίστως ορίστε το εμπρόσθιο άκρο του εργαλείου έτσι ώστε να έρθει σε επαφή ακριβώς με την εξωτερική διάμετρο των δοντιών στον κόπτη, έπειτα ορίστε το μικρόμετρο στο μηδέν και κεντράρεται τα κυκλικά εργαλεία στον κόπτη. Θέτετε ο τόνος σε λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα και προσεκτικά και αργά τροφοδοτείτε ο κόπτης μέχρι να προσεγγιστεί το απαιτούμενο βάθος.



Σχήμα 12.14 : Τυπικό κοπτικό εργαλείο

Η τελευταία μηχανική λειτουργία είναι η εφαρμογή της μορφής εκτόνωσης, η οποία γίνεται με το ίδιο το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για το αρχικό προφίλ. Αυτό το εργαλείο γίνεται πραγματικά μέρος της συσκευής «Eureka» όπως είναι στερεωμένη στον άξονα του εργαλείου η ακίδα που αποτρέπει τον αναστολέα και την πλάκα συγκράτησης από την περιστροφή. Η γωνιακή θέση ανάμεσα στον κόπτη και την συσκευή είναι σημαντική και πρέπει να είναι σωστά ορισμένη αλλιώς η διαδοχική εκτόνωση θα είναι ετεροχρονισμένη. Η δεικτοδότηση ή η περιστροφική κίνηση του κόπτη πρέπει να ξεκινήσει σε ένα από τα κενά ανάμεσα από τα δόντια και να σταματήσει στο επόμενο κενό. Αυτό το σύνολο αποκτάται καλύτερα με δοκιμή, τοποθετείστε τον κόπτη στην συσκευή αλλά σφίξτε ελαφρώς έτσι ώστε να μπορεί να περιστραφεί χειροκίνητα σ' αυτή τη θέση. Προάγετε το εργαλείο περίπου τόσο πάνω στον κόπτη και τότε περιστρέψτε τον άξονα του τόνου. Θα είναι προφανές με μιας αν είναι ή όχι η γωνιακή τοποθέτηση σωστή. Αν όχι προσαρμόστε τη θέση του κόπτη και προσπαθήστε ξανά. Άπαξ και προκαθοριστεί το σύνολο σφίξτε το κόντρα παξιμάδι χρησιμοποιώντας δυο κλειδιά, ένα στο περικόχλιο και το άλλο στο σώμα του αναστολέα. Αν το δεύτερο κλειδί δεν χρησιμοποιηθεί, το σύνολο της δύναμης σύσφιγξης μετατίθεται στον αναστολέα και τους πόλους του και αυτό δεν είναι θεμιτό. Η πραγματική λειτουργία κοπής μπορεί τώρα να ξεκινήσει. Ξεκινήστε το εργαλείο και με τις προσαυξήσεις του ενός χιλιοστού της ίντσας περίπου και μην ξεχνάτε να επιτρέπεται στον κόπτη την εφαρμογή πλήρους περιστροφής ή δώδεκα κοπές κατά περίπτωση, πριν την επόμενη προσαύξηση του εργαλείου. Όταν ξεκινήσει η κοπή θα αφαιρέσει μέταλλο από πίσω ή από την κορυφή του δοντιού αλλά διαδοχικά η κοπή θα επιμηκυνθεί. Όταν προσεγγίσει την μπροστινή ακμή του δοντιού τότε ολοκληρώνεται αυτό το κομμάτι στη φάση της ανακούφισης. Τα κυκλικά εργαλεία θα δώσουν εκτόνωση μόνο στις πλευρές των κυκλικών τόξων του δοντιού και όχι στα εξωτερικά χείλη ή τις κορυφές, αφού αυτό θα περάσει ανάμεσα στα δυο δόντια και έτσι θα παραμείνουν ανεπηρέαστα. Τώρα θα χρειαστεί αλλαγή εργαλείου, το δεύτερο αυτό εργαλείο είναι αποπεράτωσης παρόμοιο με ένα εργαλείο απότμησης. Το πλάτος της άκρης του εργαλείου δεν είναι σημαντικό αλλά πρέπει προφανώς να πλατύνει περισσότερο από τις άκρες των προς κοπή δοντιών. Αυτή η δεύτερη λειτουργία είναι η απλοποιημένη μορφή της αρχικής διαδικασίας συνεχίζοντας

την κοπή μέχρι το μήκος της να φτάσει στο εμπρόσθιο άκρο του δοντιού. Ο κόπτης έχει ολοκληρωτικά ανακουφιστεί και είναι έτοιμος για θερμική κατεργασία. Η διαδικασία σκλήρυνσης θα εξαρτηθεί από το προς χρήση υλικό, στην περίπτωση του ασημοχάλυβα, θερμαίνεται μέχρι να κοκκινίσει και καταβυθίζεται στο νερό. Είναι απαραίτητο να θερμανθεί ο κόπτης αλλιώς τα δόντια θα γίνουν εύθραυστα, αλλά μην το παρακάνετε με την θερμοκρασία μέχρι το χρώμα να αρχίσει να αλλάζει και σβήστε ξανά.

Λειαινοντας τις όψεις των δοντιών θα είναι ένα σχετικά εύκολο ζήτημα για κατόχους κοπτιών ακονίσματος του τύπου Quorn ή Kennett, αλλά αν δεν είναι διαθέσιμοι τέτοιοι κόπτες τότε με προσοχή με μια πετρά λείανσης με λάδι λειάνω το πρόσωπο κάθε δοντιού και έτσι ο κόπτης είναι έτοιμος για χρήση.

Ο καθένας μπορεί στην αρχή να είναι διστακτικός για τα γρανάζια αλλά τώρα πια έχει αυτοπεποίθηση και συνειδητοποιεί ότι η κόπτη ενός γραναζιού είναι αρκετά καλή μέσα στο πλαίσιο της μέσης εφαρμοσμένης μηχανολογίας. Μεγάλη ικανοποίηση για κάποιον μπορεί να επιτευχθεί από την παραγωγή δικών του γραναζιών, και ικανοποίηση δημιουργίας πραγμάτων από τα χέρια κάποιου είναι η βασική κινητήριος δύναμη πίσω από τον ερασιτέχνη κατασκευαστή. Αν επομένως ενθάρρυνε, ενέπνευσε ή ενθουσίασε κάποιους κατασκευαστές που προηγουμένως θεωρούσαν ότι η κοπή των γραναζιών είναι πέραν του πεδίου δράσης τους, πλέον έχουν ένα έναυσμα ώστε να κάνουν μια προσπάθεια.

### 13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Micromachining and Manufacturing Modeling Lab ([www.m3.tuc.gr](http://www.m3.tuc.gr))
- [2] V. Dimitriou, A. Antoniadis, N. Vidakis, "Advanced Computer Aided Design Simulation of Gear Hobbing by Means off Three-Dimensional Kinematics Modeling", ASME Journal of Manufacturing Science & Engineering, in press.
- [3] V. Dimitriou, A. Antoniadis, "Cad Based Simulation of the Hobbing Process for the Manufacturing of Spur and Helical Gears"
- [4] Αντωνιάδης Α. «Μηχανολογικό Σχέδιο», Εκδόσεις Τζιόλα, ISBN 960-418-114-9
- [5] V. Dimitriou, A. Antoniadis, "Advanced 3-Dimentional CAD Modeling of the Gear Hobbing Process", ASME Journal of Manufacturing Science & Engineering, in press.
- [6] Εγχειρίδιο γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic 4
- [7] Εγχειρίδιο του προγράμματος CAD Autodesk Inventor
- [8] Εγχειρίδιο του προγράμματος CorelDraw X5
- [9] Ivan Law "Gears and gear cutting", Argus Book Ltd 1988
- [10] G.H.Thomas, "MODEL ENGINEER"
- [11] Αντωνιάδης Α., "Προσδιορισμός κρουστικών καταπονήσεων των εργαλείων στο φραιζάρισμα κυλίσσεως οδοντώσεως και προσδιορισμός των δυνάμεων κοπής κατά την αποφλοίωση στην αυτή κατεργασία μορφοποίησης οδοντώσεων", Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη 1989.