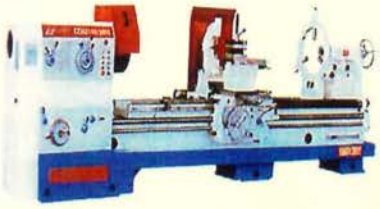
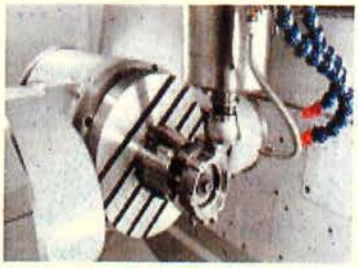
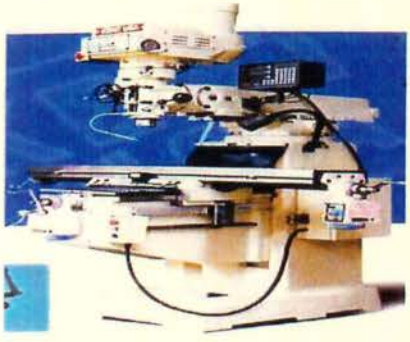
ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΗΧ
668

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα ΠΕΙΡΑΙΑ
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

Πτυχιακή Εργασία

ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ - CNC

Σπουδαστές: ΠΟΥΡΝΑΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ: ΑΜ29242
ΨΥΛΛΑΚΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ: ΑΜ31081

Εισηγητής: Σκιττίδης Φιλήμων

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2012

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, είναι η ανάλυση των εργαλειομηχανών συμβατικών και CNC ως προς την δομή, αλλά και τις εφαρμογές τους. Σε κάθε κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε εργαλειομηχανή, τα δομικά στοιχεία της ο τρόπος λειτουργίας της, καθώς και ο υπολογισμός διαφόρων μεγεθών κατεργασίας (στροφές προώσεις κτλ). Πιο αναλυτικά, τα πρώτα κεφάλαια αναφέρονται σε συμβατικές εργαλειομηχανές, τόρνοι, φρέζες, πλάνες και λειαντικές μηχανές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται CNC εργαλειομηχανές ,καθώς και ο προγραμματισμός κατεργασιών με χρήση εντολών G&M.Γίνεται αναφορά στους ένσφαιρους κοχλίες και στην συμβατότητα λειτουργίας τους, και τέλος αναφέρονται και τα υγρά κοπής.

Abstract

The purpose of this issue is the analysis of machine tools conventional and CNC as it concerns structure and their appliances .In every chapter every machine tool is presented its components functions and the calculation of machining quantities(rpm, feed etc).Furthermore in first chapters we analyze conventional machine tools such as lathes cutters and grinders. In addition we represent CNC machines and programming by using G&M commands. In conclusion we refer to ball bushing screws and machining liquids.

Εισαγωγή

Εργαλειομηχανή είναι το σύνολο των μηχανισμών και εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μιας κατεργασίες .Σκοπός της είναι η παροχή της αναγκαίας ισχύος για την εκτέλεση της κατεργασίας, η εξασφάλιση της συγκράτησης του τεμαχίου ,η εκτέλεση των σχετικών κινήσεων του τεμαχίου και του εργαλείου καθώς και ο έλεγχος τους για την ορθή εξέλιξη της κατεργασίας. Δυο κύριες κατηγορίες εργαλειομηχανών υπάρχουν. Είναι οι εργαλειομηχανές κοπής και οι εργαλειομηχανές διαμόρφωσης (συμπαγούς υλικού και επίπεδου ελάσματος). Οι πρώτες διακρίνονται σε συμβατικές και μη συμβατικές. Οι πρώτες επιτυγχάνουν κοπή με εκμετάλλευση του μηχανισμού διάτμησης του ολικού στη ζώνη κοπής (μηχανικό φαινόμενο) ,ενώ οι άλλες επιτυγχάνουν απομάκρυνση του ολικού με εκμετάλλευση υπερήχων ,χημικών αντιδράσεων ,δέσμης πλάσμα / ηλεκτρονίων κλπ.

Συμβατικές εργαλειομηχανές κοπής

Κινήσεις συμβατικών εργαλειομηχανών κοπής

Η κύρια κίνηση είναι αυτή που απορροφά το μεγαλύτερο τμήμα ισχύος. Συνήθως είναι περιστροφική και σπανιότερα γραμμική.

Οι βοηθητικές κινήσεις είναι συνήθως προώσεις του τεμαχίου ή/και του εργαλείου. Οι βοηθητικές κινήσεις χαρακτηρίζονται με ένα γράμμα : X,Y,Z για γραμμικές κινήσεις σε καρτεσιανό σύστημα αξόνων και A,B,C για περιστροφικές κινήσεις γύρω από τους άξονες του καρτεσιανού συστήματος κατά τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία. Κατά ISO ο άξονας Z είναι τοποθετημένος στην κύρια άτρακτο ή (άν δεν υπάρχει) είναι κάθετος στο τραπέζι της μηχανής. Ο άξονας X είναι συνήθως παράλληλος με τη μεγαλύτερη διαδρομή πρόωσης. Οι επιμέρους κανόνες που ακολουθούνται για τον καθορισμό αξόνων ακολουθούν τυποποίηση ISO.

Ταξινόμηση εργαλειομηχανών κοπής.

Κατά το είδος κατεργασίας

> Διάνοιξη οπών	δράπανα, φρέζες. τόρνοι
> Δημιουργία επίπεδων επιφανειών	πλάνες, φρέζες
> Δημιουργία αξονοσυμμετρικών επιφανειών	τόρνοι
> Δημιουργία πρισματικών και γλυπτών επιφανειών	φρέζες
> Δημιουργία επιφανειών ακριβείας	λειαντικά
> Δημιουργία οδοντοτροχών και διαιρέσεων	φρέζες, γραναζοκόπτες
> Κοπή πρώτης ύλης	πριόνια
> Δημιουργία αυλακώσεων, ελικώσεων, στίλβωση	ειδικές μηχανές

Κατά το βάρος

ελαφρές (< 1 t), μέσες (>1t και <10t), βαριές (>10τ).

Κατά την ακρίβεια κατεργασίας

> Συνήθεις (10 μm)

- > Ακριβείας (1 μm)
- > Υψηλής ακριβείας (0.1 μm)
- > Υψίστης ακριβείας (<0.01 μm).

Κατά το βαθμό αυτοματισμού

- > Κοινές, με πλήρως χειροκίνητη λειτουργία
- > Ημι-αυτόματες, με μηχανικούς αυτοματισμούς πχ τόρνοι ρεβόλβερ
- > Αυτόματες, των οποίων ειδική κατηγορία είναι οι προγραμματιζόμενες με λειτουργία ελεγχόμενη από πρόγραμμα NC.

Κατά το βαθμό εξειδίκευσης

- > Γενικής χρήσης, πχ για ευρεία κατηγορία τεμαχίων
- > Ειδικής χρήσης, πχ για στενά ορισμένη οικογένεια τεμαχίων
- > Αυστηρά ειδικής χρήσης, πχ για ένα ειδικό τύπο τεμαχίου

Συγκρότηση εργαλειομηχανών κοπής

Δομικά στοιχεία	Σώμα Τράπεζα
	Εργαλειοφορείο
	Ολισθητήρες - (γλισιέρες)
	Κύρια άτρακτος
Στοιχεία μετάδοσης κίνησης	Κιβώτιο ταχυτήτων κυρίας ατράκτου
	Κιβώτιο προώσεων
	Μηχανισμοί μετατροπής κίνησης
	Διατάξεις περιοδικής / διακοπτόμενης κίνησης
	Μηχανισμοί βοηθητικών κινήσεων
Στοιχεία πρόσδεσης	τεμαχίου
	εργαλείου
Βοηθητικά συστήματα	λίπανσης
	υγρού κοπής
Σύστημα ελέγχου και προστασίας	έναρξη/ παύση / επείγουσα διακοπή λειτουργίας
	ψηφιακός έλεγχος (CNC)
	προστασία υπερφορτίσεων κλπ

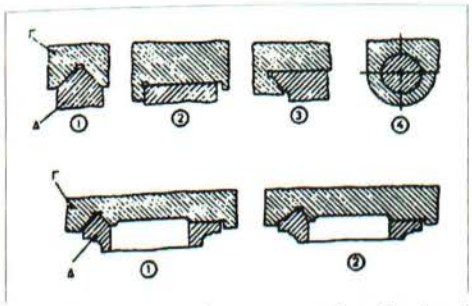
Δομικά στοιχεία

Σώμα : αποτελεί τη βάση της δομής της εργαλειομηχανής με απαιτήσεις στιβαρότητας, αντοχής και χαμηλής παραμόρφωσης. Κατασκευάζεται χυτό (καλή ποιότητα) ή συγκολητό (για μικρές μηχανές).

Κεφαλή : παρέχει τα μέσα πρόσδεσης και κίνησης του τεμαχίου ή του εργαλείου.

Τράπεζα : εξασφαλίζει τη συγκράτηση του τεμαχίου και τη γραμμική ή περιστροφική κίνηση του.

Εργαλειοφορεία : εξασφαλίζουν την πρόοδεση των εργαλείων και κίνηση τους ως προς το τεμάχιο.



Ολισθητήρες : αποτελούν την τροχιά οδήγησης των γραμμικών κινήσεων. Είναι στην ουσία γραμμικά έδρανα από χυτοσίδηρο ή χάλυβα προσαρμοσμένα στο σώμα, την κεφαλή, την τράπεζα κλπ. Υπάρχουν σε διάφορους τύπους (V, επίπεδοι, υδροστατικοί κλπ).

Άτρακτος : Εκτελεί την κύρια κίνηση (περιστροφική) και έχει διαμόρφωση για την υποδοχή – συγκράτηση εργαλειοδετών ή τσόκ πρόοδεσης τεμαχίου. Περιστρέφεται σε έδρανα κύλισης υψηλών απαιτήσεων (συμβατικά ή κεραμικά) ή έδρανα ολίσθησης με ρύθμιση της χάρης (υδροστατικά-χαμηλές rpm ή αεροστατικά-υψηλές rpm). Το υλικό της είναι συνήθως 0.4-0.5% χάλυβας με βαφή και επαναφορά και οι απαιτήσεις αντοχής και περιορισμένης παραμόρφωσης υψηλές.

Μετάδοση κίνησης

Η κίνηση παράγεται συνήθως από ηλεκτροκινητήρες με ορισμένη ταχύτητα περιστροφής και ισχύ. Μεταδίδεται στα κινούμενα μέρη της εργαλειομηχανής μέσω ιμάντων και τροχαλιών, οδοντωτών τροχών και συμπλεκτών. Και η κύρια κίνηση και οι προώσεις περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων. Η κλιμάκωση τους γίνεται κατά DIN803-4 ως γεωμετρική πρόοδος με λόγο φ

$$\Phi - \left(\frac{n_{max}}{n_{min}}\right)^{\frac{1}{z-1}}$$

όπου n_{max}, n_{min} η μέγιστη και η ελάχιστη ταχύτητα (σ.α.λ.) και z ο αριθμός των βαθμίδων των στροφών.

Με αυτή τη φιλοσοφία ορίζονται οι σειρές Renard : για φ=1.12, R10 για φ=1.25, R20/3 για φ=1.4 κλπ. για παράδειγμα, για R10 ορίζονται στροφές ατράκτου διαδοχικά: 112, 140, 180, ..., 900 rpm και ταχύτητα πρόωση 1,1.25,1.6, ..., 10 mm/min.

Σημειώνεται ότι στις προγραμματιζόμενες εργαλειομηχανές CNC η κλιμάκωση ταχυτήτων είναι συνεχής λόγω της χρήσης σερβοκινητήρων.

Κιβώτια ταχυτήτων και προώσεων

Τα κιβώτια ταχυτήτων συμβολίζονται συνήθως με ένα λατινικό αριθμό που υποδηλώνει τον αριθμό ατράκτων και ένα αραβικό που ακολουθεί και υποδηλώνει τον αριθμό ταχυτήτων εξόδου, πχ III/6.

Σημειώνεται ότι κάθε βαθμίδα χαρακτηρίζεται από τη σχέση μετάδοσης κίνησης i :

$i = \frac{n_{κινητήριος}}{n_{κινούμενος}} = \frac{z_{κινούμενος}}{z_{κινητήριος}}$ όπου n ο αριθμός στροφών ανά λεπτό και z ο αριθμός οδόντων

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Αντίστοιχος τύπος ισχύει και για μετάδοση με ιμαντοκίνηση όπου z πλέον η διάμετρος τροχαλίας.

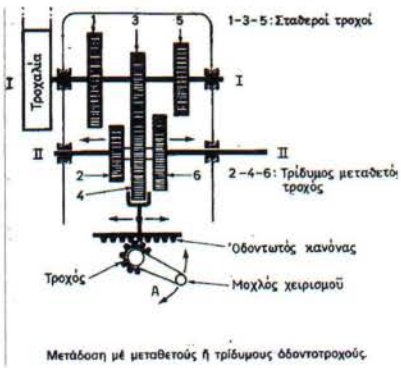
Ο άξονας εξόδου είτε είναι ενσωματωμένος στην κεφαλή της ατράκτου είτε της μεταβιβάζει κίνηση με ενδιάμεση βαθμίδα. Το κιβώτιο προώσεων συχνά λαμβάνει κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων. απαραίτητη είναι η λίπανση η οποία γίνεται με διάφορους τρόπους, πχ με ελαιαντλία ψεκασμού.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κιβωτίων ταχυτήτων, πχ

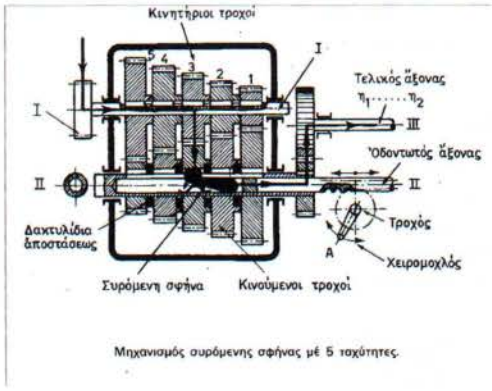
- > με μεταθετούς οδοντωτούς τροχούς
- > με συμπλέκτες

Επίσης υπάρχουν διάφοροι τύποι κιβωτίων προώσεως, πχ

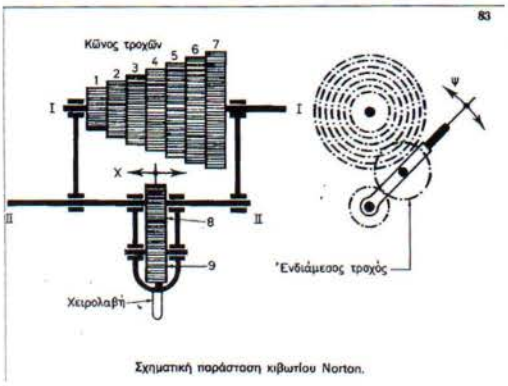
- > με συρόμενη σφήνα (επιλεκτική σφήνωση οδοντωτού τροχού)
- > Norton (για εργαλειοφορεία τόρνων πρόωση και σπείρωμα)



Μετάδοση με μεταθετούς ή τρίδυμους οδοντοτροχούς.



Μηχανισμός συρόμενης σφήνας με 5 ταχύτητες.

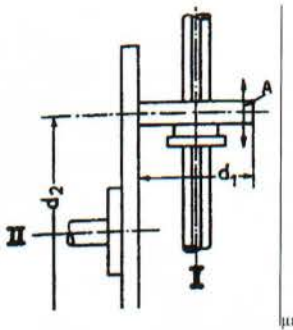


Σχηματική παράσταση κιβωτίου Norton.

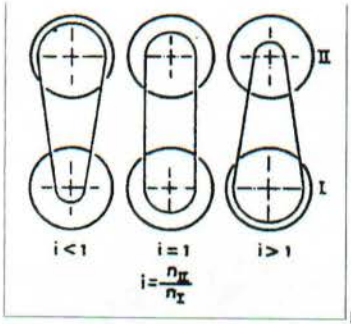
Συνεχής διαβάθμιση ταχύτητας περιστροφικής κίνησης

Αυτή γίνεται με μηχανικά μέσα με :

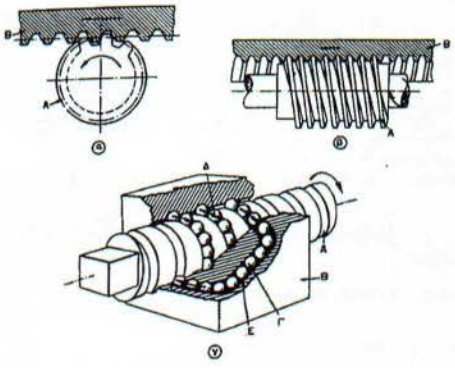
- > επαφή δίσκων με κάθετους άξονες μέσω τριβής
- > με δίδυμους κώνους-τροχαλίες και ιμάντα ή αλυσίδα



με τριβή δίσκων



με δίδυμους κώνους



Παραγωγή γραμμικής (μεταφορικής) κίνησης

Συνήθως η μετατροπή γραμμικής σε περιστροφική κίνηση (και αντίστροφα) γίνεται :

- > με οδηγό κοχλία και περικόχλιο
- > με οδοντωτό τροχό και οδοντωτό κανόνα
- > με ατέρμονα και οδοντωτό τροχό.

Πρόσδεση εργαλείων

Συνήθως χρησιμοποιούνται :

- > κωνικές συναρμογές (εργαλειοδέτη σε άτρακτο ή και εργαλείου σε εργαλειοδέτη)
- > λυόμενες συναρμογές πίεσης (πχ με κοχλίες, μοχλούς κλπ)
- > σφηνώσεις

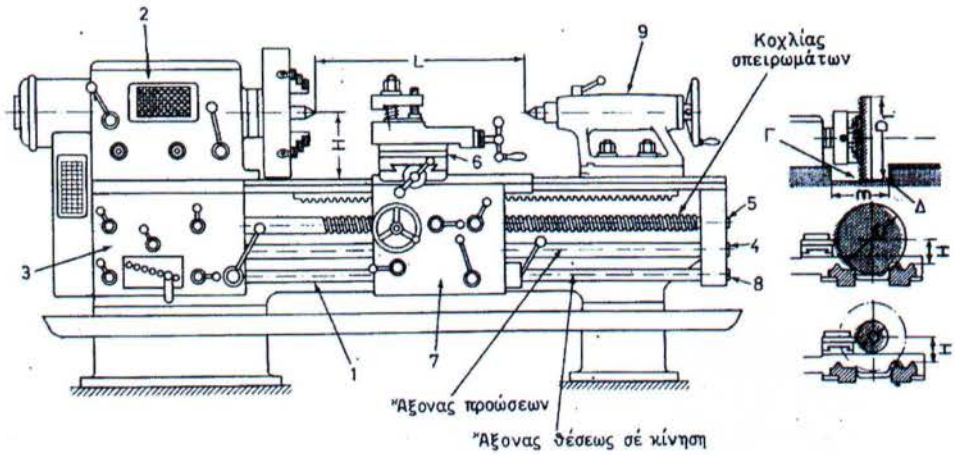
Πρόσδεση τεμαχίων

Συνήθως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνικές :

- > Τσώκ σιαγόνων
- > Πλάκες και πλατώ
- > Κέντρα / πόντες με βοηθητικά στοιχεία (καρδιές, καβαλέτα)
- > Σφιγκτήρες συστολής (τσιμπίδες)
- > Μέγγενες
- > Σφιγκτήρες σε συνδυασμό με αύλακες της τράπεζας τύπου ανεστραμμένου Τ
- > Μαγνητικά τσώκ

Τόρνος

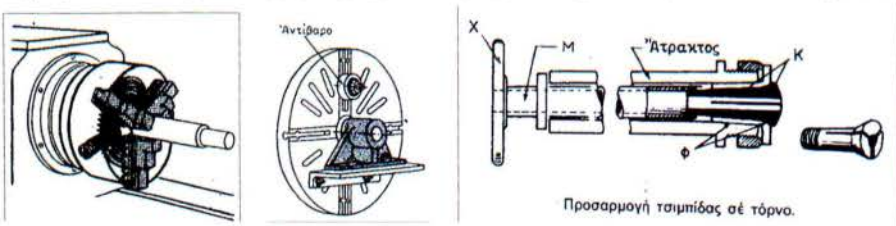
Ο τόρνος είναι είναι από τις παλιότερες εργαλειομηχανές. Αποτελείται από πέντε κύρια μέρη : το σώμα του οποίου το άνω μέρος λέγεται κρεβάτι, το κιβώτιο ταχυτήτων, το κιβώτιο προώσεων, το εργαλειοφορείο (σεπόρτι) και τον κεντροφορέα (κουκουβάγια). Αφαίρεση τμήματος του κρεβατιού (γέφυρας) κοντά στο κιβώτιο ταχυτήτων δημιουργεί επιπλέον κενό για την κατεργασία μεγαλύτερων διαμέτρων τεμαχίων που ονομάζεται γονατιά.



L) Απόσταση κέντρων. Η) ύψος. Γ) Γέφυρα. D) Διάμετρος κομματιού. D_1) Μέγιστη διάμετρος στή θέση γονατιάς. Δ) Γονατιά. m) Μήκος γονατιάς.
1) Κρεβάτι. 2) Κιβώτιο ταχυτήτων. 3) Κιβώτιο προώσεων. 4) Άξονας προώσεων. 5) Κοχλίας σπειρωμάτων. 6) Βάση φορείου εργαλειοδότη. 7) Κιβώτιο μεταδόσεως κινήσεως στό εργαλειοφορείο. 8) Άξονας κινήσεως. 9) Κεντροφορέας.

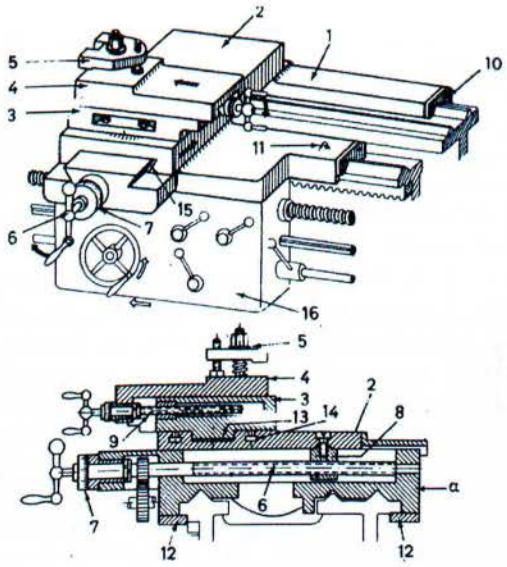
Τα κύρια στοιχεία προδιαγραφής τόρνων είναι η απόσταση κέντρων (μήκος τεμαχίου), το ύψος του άξονα της ατράκτου από το κρεβάτι, η διάμετρος και το μήκος τόρνευσης όταν υπάρχει γονατιά, το εύρος στροφών, ο αριθμός ταχυτήτων, η ισχύς του κινητήρα και το συνολικό βάρος.

Η κύρια άτρακτος στηρίζεται σε δύο ή τρία έδρανα. Είναι διαμπερής ώστε να μπορεί να διέρχεται βέργα προς κατεργασία διαμέσου της. Στο άκρο της φέρει κατάλληλη διαμόρφωση εσωτερικά και εξωτερικά (κωνικότητα, σπείρωμα κλπ) ώστε να προσαρμόζονται στοιχεία συγκράτησης του τεμαχίου, δηλ. τσόκ, πλάκα-πλατώ, πόντα.



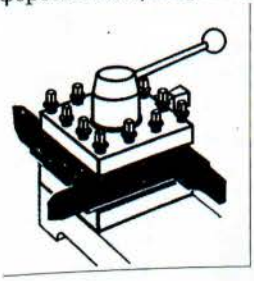
Προσαρμογή τσιμπίδας σέ τόρνο.

Στη μετάδοση της κίνησης από τον ηλεκτροκινητήρα προς την άτρακτο εκτός του κιβωτίου ταχυτήτων παρεμβάλλεται και συμπλέκτης τριβής όπου επίσης αναστρέφεται και η φορά της κίνησης εάν είναι απαραίτητο.

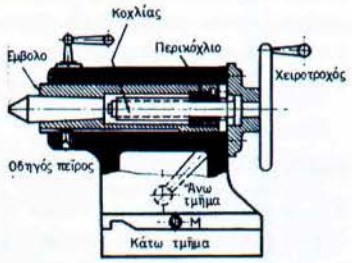


Όψη καί έγκάρσια τομή έργαλειοφορείου.
1) Βάση έργαλειοφορείου μέ τίς γλισιέρες.
2) Έγκάρσιο φορεῖο.
3) Περιστρεφόμενη βάση έργαλειοδέτη.
4) Φορεῖο έργαλειοδέτη.
5) Έργαλειοδέτης.
6) Μεταφορικός κοχλίας έγκάρσιας κινήσεως.
7) Βαθμηνομημένος δακτύλιος.
8) Περικόχλιο έγκάρσιας κινήσεως.
9) Μεταφορικός κοχλίας τοῦ φορείου έργαλειοδέτη.
10) Τσιμούχα καθαρισμοῦ γλισιέρας.
11) Κοχλίας σταθεροποιήσεως έργαλειοφορείου.
12) Λάμα-κόντρα.
13) Όδηγός έδράσεως τῆς περιστρεφόμενης βάσεως 3.
14) Κυκλικά αύλάκια.
15) Σφήνα χελιδονουρᾶς έγκάρσιου φορείου.
16) Κιβώτιο μεταδόσεως κινήσεως.

Το εργαλειοφορείο παίρνει κίνηση από το κιβώτιο προώσεων με δύο άξονες ένα για τις προώσεις κοπής και ένα για τις προώσεις σπειρωμάτων. Το εργαλειοφορείο αποτελείται από το κύριο φορείο που κινείται παράλληλα με τον άξονα της ατράκτου επάνω στους ολισθητήρες του κρεβατιού, το εγκάρσιο φορείο που κινείται σε ολισθητήρες επάνω στο κύριο φορείο κάθετα στον άξονα της ατράκτου, το φορείο του εργαλειοδέτη το οποίο κινείται με μικρή διαδρομή επάνω σε ολισθητήρες στο εγκάρσιο φορείο και τέλος το κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης που μεταφέρει την κίνηση από το κιβώτιο προώσεων στο κύριο ή στο εγκάρσιο φορείο. Αυτόματη κίνηση μπορεί να έχουν το κύριο και το εγκάρσιο φορείο.

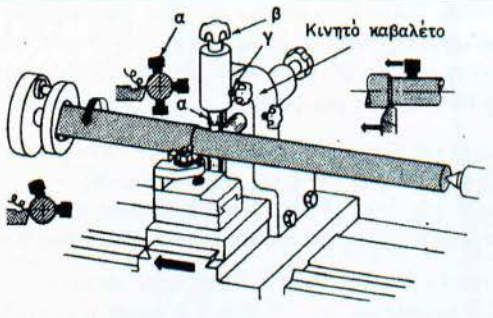


Ο εργαλειοδέτης είναι συνήθως τετραπλός.



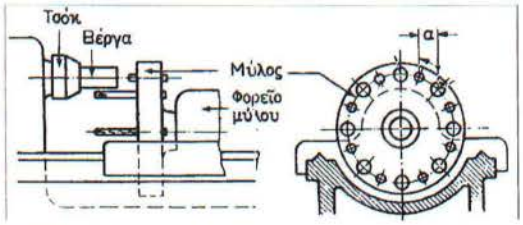
Ο κεντροφορέας συγκρατεί το άλλο άκρο μακριών αξόνων σε πόντα ή τρυπάνι όταν γίνονται οπές στο «πρόσωπο» του τεμαχίου. Η πόντα ή το τρυπάνι προσαρμόζονται στο κινητό τμήμα-έμβολο του κεντροφορέα που ονομάζεται πινόλη. Υπάρχει δυνατότητα μικρής εγκάρσιας μετατόπισης του κεντροφορέα για την επίτευξη ελαφρά κωνικής τόρνευσης.

Η συγκράτηση τεμαχίων σε κέντρα γίνεται αφού δημιουργηθούν με κεντροτρύπανο ειδικές τρύπες κεντρώσεως. Για τη μετάδοση της κίνησης χρησιμοποιείται «καρδιά» και για την αποφυγή βελών κάμψης χρησιμοποιούνται σταθερά και κινητά καβαλέτα. Για μικρά και λεία τεμάχια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τσιμπίδες.

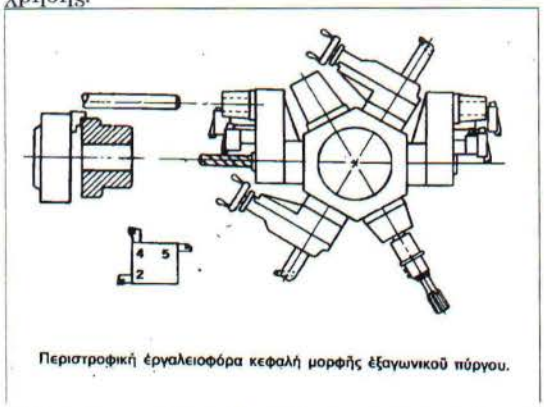


Κινητό καβαλέτο.
α) Έπαφέας. β) Ρυθμιστικός κοχλίας. γ) Ασφαλιστικός κοχλίας.

Τόρνος ρεβόλβερ



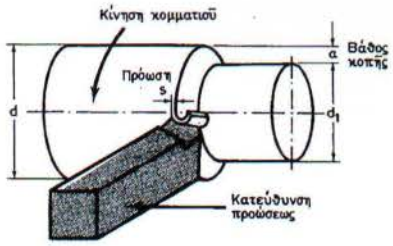
Πρόκειται για ημι-αυτόματη εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται για μεγάλες σειρές (μερίδες) παραγωγής γιατί εκτελεί τις ίδιες κατεργασίες πολύ γρηγορότερα από τον τόρνο γενικής χρήσης.



Περιστροφική ἐργαλειοφόρα κεφαλή μορφῆς ἑξαγωνικοῦ πύργου.

Το βασικό του χαρακτηριστικό είναι η χρήση μύλου (ή εναλλακτικά πύργου) όπου στερεώνονται όλα τα εργαλεία που απαιτούνται για την κατεργασία ενός τεμαχίου. Σε κάθε θέση εργαλείου μπορεί να στερεώνονται περισσότερα του ενός εργαλεία μέσω ιδιοσυσκευής και στους τόρνους με πύργο μπορεί να υπάρχει και εργαλειοφορείο χωριστά. Έτσι μπορεί την ίδια στιγμή να γίνεται ταυτόχρονη κατεργασία με δύο, τρία ή και περισσότερα εργαλεία. Λόγω του εγκάρσια τοποθετημένου του μύλου (και πύργου) υπάρχει περιορισμός στο μήκος του τεμαχίου που μπορεί να κατεργασθεί ένας τόρνος ρεβόλβερ.

Λόγω μικρής διαμέτρου των τεμαχίων που κατεργάζεται ο τόρνος ρεβόλβερ φθάνει σε υψηλούς αριθμούς στροφών με 12 έως 18 ταχύτητες. Οι διαδρομές για κάθε εργαλείο καθορίζονται από ειδικά στόπερ που αντιστοιχούν στη θέση του κάθε εργαλείου στον μύλο (πύργο). Η αλλαγή εργαλείου και διαδρομής κατά την κατεργασία γίνεται με στροφή χειρομοχλού.



Πρακτικοί υπολογισμοί τόρνευσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά της κοπής στον τόρνο είναι το βάθος κοπής a (mm), η πρόωση s (mm/στροφή) και η ταχύτητα κοπής $V_κ$ (m/min).

Το βάθος κοπής ισούται με την ημιδιαφορά της αρχικής και της τελικής διαμέτρου ενός πάσου. Για ξεχόνδρισμα κυμαίνεται ανάλογα με το υλικό του τεμαχίου , το εργαλείο και τη στιβαρότητα της μηχανής από 3 έως 10 mm και για φινίρισμα από 0.5 έως 1 mm.

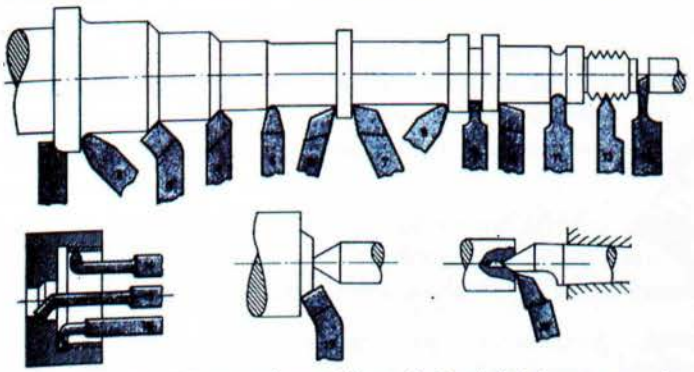
Η πρόωση είναι η μετατόπιση του εργαλείου ανά στροφή της ατράκτου. Διακρίνεται σε διαμήκη παράλληλα με τον άξονα της ατράκτου και εγκάρσια, που συνήθως είναι το ήμισυ της διαμήκους. Συνήθως η πρόωση για ξεχόνδρισμα κυμαίνεται από 0.3 έως 1 mm/στροφή ενώ για φινίρισμα από 0.05 έως 0.20 mm/στροφή.

Η ταχύτητα πρόωσης S (mm/min) είναι η μετατόπιση του εργαλείου σε ένα λεπτό και άρα εκφράζεται ως : $S = s * n$ όπου n ο αριθμός στροφών ανά λεπτό της ατράκτου. Η ταχύτητα πρόωση επηρεάζει αποκλειστικά το χρόνο κοπής $t_κ$ στη διαμήκη τόρνευση ενός τεμαχίου μήκους L : $t_κ = L / S$.

Η ταχύτητα κοπής αντιπροσωπεύει την ταχύτητα με την οποία «ρέει» το απόβλητο και εκφράζεται ως $V_κ$= π * d * n /1000 όπου d η διάμετρος τόρνευσης και n οι στροφές ανά λεπτό της ατράκτου. Κάθε συνδυασμός εργαλείου / υλικού τεμαχίου αντιστοιχεί σε ένα εύρος επιτρεπτών ταχυτήτων κοπής που αποτελούν οδηγό επιλογής. Οι τιμές αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές εργαλείων και αντιστοιχούν σε μία ονομαστική διάρκεια ζωής του εργαλείου (αποδεκτή φθορά) συνήθως 60, 240 ή 480 λεπτά. Αυξημένη διάρκεια ζωής αντιστοιχεί σε προφανώς χαμηλότερες ταχύτητες κοπής, μια σχέση που εκφράζεται μαθηματικά με την εξίσωση Taylor $V_κ$ * T^a = c, όπου a και c σταθερές προσδιοριζόμενες πειραματικά.

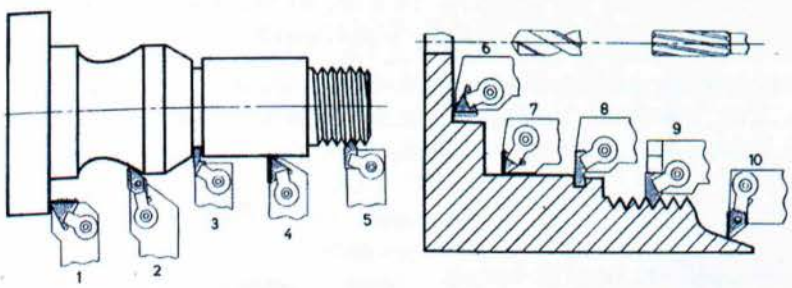
Για παράδειγμα, με εργαλείο από ταχυχάλυβα και διάρκεια ζωής 240 min μαλακός χάλυβας με $σ_B$= 500 ±100 MPa κόβεται με συνιστώμενη ταχύτητα 30-35 m/min, ενώ με εργαλείο από σκληρομέταλλο τύπου P10 κόβεται με 120-140 m/min. Ο χάλυβας 24CrMo4 με $σ_B$= 830 ± 50 MPa κόβεται με τα ίδια εργαλεία με ταχύτητες 15-20 και 90-110 m/min αντίστοιχα.

Για την επιλογή των συνθηκών κοπής στην τόρνευση υπάρχουν περιορισμοί στις ανώτατες τιμές βάθους κοπής, πρόωσης και ταχύτητας κοπής (στροφών ατράκτου) που προέρχονται από την επιθυμητή τραχύτητα επιφάνειας (οπότε οι τιμές βάθους κοπής και πρόωσης κρατούνται χαμηλές), από τη διαθέσιμη ισχύ του κινητήρα (οπότε η ταχύτητα κοπής περιορίζεται), από τη δύναμη συγκράτησης στο τσόκ (οπότε περιορίζεται το βάθος κοπής ή/και η πρόωση) κλπ.



Βασικές μορφές εργαλείων τορνεύσεως άπό ταχυχάλυβα καί οί άντίστοιχες περιπτώσεις τορνεύσεως. 1) Μορφῆς (στρογγυλεμένο κοῖλο). 2) Μορφῆς (στρογγυλεμένο κυρτό). 3) Ξεχονδρίσματος λοξό. 4) Ξεχονδρίσματος ἴσιο. 5) Τελειώματος ἴσιο. 6) Προσώπου ἀριστερό. 7) Προσώπου δεξιό. 8) Μορφῆς. 9) Αὐλακώσεως. 10) Μαχαίρι πλευρικό. 11) Μορφῆς. 12) Σπειρώματος ἐξωτερικό.

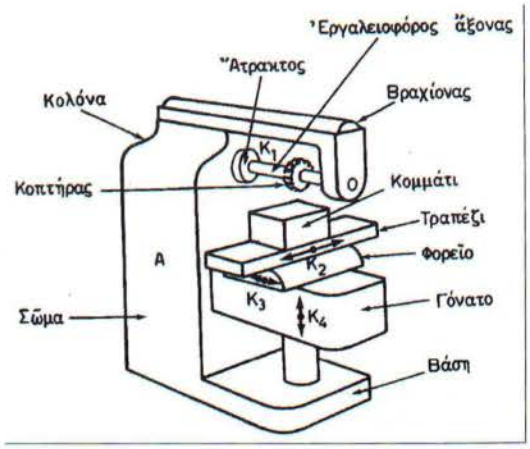
Η επιλογή του κατάλληλου εργαλείου εκτός του υλικού και των χαρακτηριστικών γωνιών του (βλ. παρακάτω), που εξαρτώνται από το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου κυρίως, γίνεται βάσει της μορφολογίας που πρέπει να επιτευχθεί στο τεμάχιο. Χαρακτηριστικές μορφές εργαλείων ταχυχάλυβα και σκληρομετάλλου φαίνονται στις εικόνες που παρατίθενται.



Βασικές μορφές ἐργαλείων γιά ἐξωτερική καί ἐσωτερική τόρνευση μέ ἔνθετα πλακίδια ἀπό σκληρομέταλλο. α) Ἐξωτερική τόρνευση: 1) Προσώπου. 2) Κωνικῆς τορνεύσεως καί μορφῆς. 3) Αὐλακώσεως. 4) Τελικῆς κατεργασίας. 5) Σπειρώματος. β) Ἐσωτερική τόρνευση: 6) Προσώπου. 7) Διατηρήσεως. 8) Αὐλακώσεως. 9) Σπειρώματος. 10) Κωνικῆς τορνεύσεως καί μορφῆς.

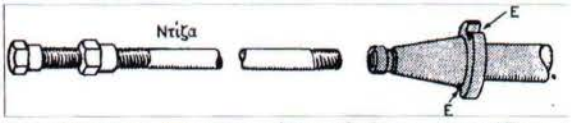
Τα εργαλεία διακρίνονται σε δεξιά και αριστερά. Τα πρώτα χρησιμοποιούνται για κοπή με κατεύθυνση προς το τσόκ. Τα δεύτερα χρησιμοποιούνται για κοπή σε αντίθετη κατεύθυνση, πράγμα γενικά σπάνιο.

Φρέζα



Η φρέζα είναι εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται κυρίως για δημιουργία πρισματικών μορφών και αυλακώσεων. ελικώσεων έως και οδοντοτροχών. Ενσωματώνει τη λειτουργικότητα άλλων εργαλειομηχανών όπως η πλάνη, το δράπανο, και σε κάποιο βαθμό ο τόρνος και ο γραναζοκόπτης. Διακρίνονται δύο κύρια είδη φρεζών ανάλογα με τη θέση της κύριας ατράκτου : οριζόντιες και κατακόρυφες. Οι οριζόντιες είναι πιο κοινές και μετατρέπονται σε κατακόρυφες με προσθήκη επέκτασης, της λεγόμενης «προβοσκίδας». Η κύρια κίνηση της φρέζας είναι η περιστροφή της ατράκτου στην οποία βρίσκεται προσαρμοσμένο το κοπτικό εργαλείο είτε με σφήνωση σε εργαλειοφόρο άξονα (οριζόντια μορφή) είτε προσαρμοσμένο σε κωνικό εργαλειοδέτη (κατακόρυφη μορφή). Οι βοηθητικές κινήσεις είναι τρείς και αντιστοιχούν στο τραπέζι, στο εγκάρσιο φορείο και στο κατακόρυφο φορείο (γόνατο).

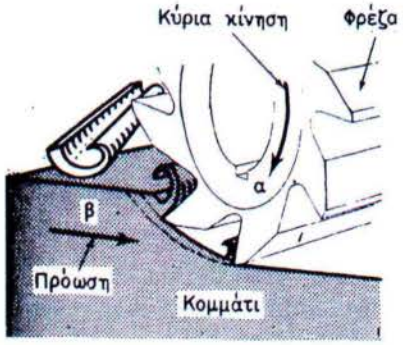
Το σώμα της μηχανής περικλείει τα κιβώτια ταχυτήτων και προώσεων και ενσωματώνει την άτρακτο. Καταλήγει στο άνω μέρος σε πρόβολο ο οποίος αντιστηρίζει τον εργαλειοφόρο άξονα ή την προβοσκίδα. Στο κάτω μέρος καταλήγει ή είναι ενσωματωμένη με τη βάση.



Ο εργαλειοφόρος άξονας εφαρμόζει στον κώνο της ατράκτου και συνήθως συγκρατείται εκεί με τη βοήθεια ντίζας και κοχλία σύσφιξης στο άλλο άκρο του σώματος της μηχανής. Τα κοπτικά εργαλεία προσαρμόζονται στον εργαλειοφόρο άξονα με τη βοήθεια δακτυλιδιών ή/και σφηνών.

Το κιβώτιο ταχυτήτων συνήθως περιλαμβάνει 12-18 ταχύτητες. σε γεωμετρική πρόοδο με λόγο 1.25 ή 1.5. Στις μοντέρνες φρεζομηχανές οι ταχύτητες των προώσεων δεν κλιμακώνονται, αλλά ακολουθούν συνεχή μεταβολή γιατί υλοποιούνται με υδραυλικό κύκλωμα.

Κοπτικά εργαλεία

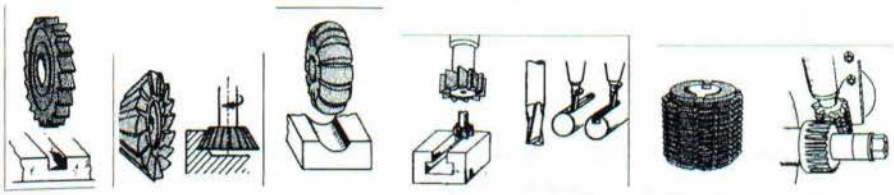


Αυτά έχουν διάφορες μορφές και αρκετά δόντια. Συνήθως περιστρέφονται αντίθετα με την κατεύθυνση της πρόωσης (αντίρροπο φρεζάρισμα) και το απόβλητο έχει πάχος μεταβαλλόμενο από το μηδέν έως τη μέγιστη τιμή του. Στις περισσότερες περιπτώσεις κοπτικές ακμές υπάρχουν και στην περιφερειακή αλλά και στη μετωπική επιφάνεια του εργαλείου. Γενικά διακρίνονται οι εξής μορφές :

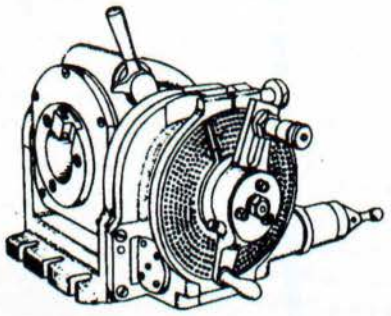
> κυλινδρικές φρεζοκεφαλές κοπής

προσώπου ή σκαλοπατιών

- > δισκοειδείς φρεζοκεφαλές κοπής αυλάκων
- > φρεζοκεφαλές μορφής για κωνικές και καμπύλες μορφές, συνμπεριλαμβανομένων και κοχλιωτών κεφαλών για κοπή οδοντωτών τροχών και χομπ για πολύσφηνα
- > κονδύλια δύο, τριών, τεσσάρων πτερύγων για κοπή προφίλ
- > κονδύλια για κοπή αυλάκων και σφηνοδρόμων

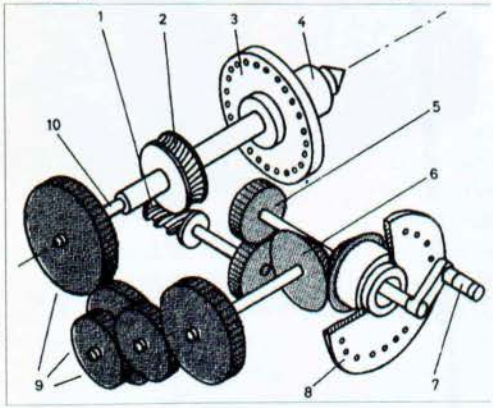


Ο διαιρέτης



Πρόκειται για συσκευή που προσαρμόζεται στο τραπέζι της φρέζας και συγκρατεί το τεμάχιο προς κατεργασία το οποίο και μπορεί να περιστρέψει κατά συγκεκριμένη γωνία, έτσι ώστε να αλλάζει η σχετική γωνία πρόσβασης του κοπτικού εργαλείο στο υπό κατεργασία τεμάχιο. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την περιστροφή ενός χειρομοχλού από τον χειριστή της μηχανής είτε αυτόματα με εξωτερικά μεταδιδόμενη κίνηση στον διαιρέτη από το κιβώτιο προώσεων της φρέζας μέσω ανταλλακτικών οδοντωτών τροχών. Έτσι ο διαιρέτης χρησιμοποιείται για την κατασκευή οδοντωτών τροχών, πολύσφηνων, κανονικών πρισμάτων, ελικοειδών αυλακώσεων, σπειρωμάτων σε μεγάλης διατομής κοχλίες (πχ κίνησης) κλπ.

Απλοί διαιρέτες είναι ουσιαστικά ένα τσόκ με ένα δίσκο με οπές (6,8,12 ή 24) κανονικά διατεταγμένες στην περιφέρεια του, ο οποίος χρησιμοποιείται για την επιλογή γωνίας περιστροφής και στερέωση του τσόκ σε κάθε θέση με μικρό πείρο που τοποθετείται στην αντίστοιχη οπή του δίσκου. Διαιρέτες γενικής χρήσεως έχουν κύρια άτρακτο (4) με πόντα ή τσόκ για τη συγκράτηση του τεμαχίου, κορώνα 40 οδόντων (2) και ατέρμονα (1) και δίσκο διαιρέσεως (8) όπως του απλού διαιρέτη. Επίσης περιλαμβάνει γρανάζια μετάδοσης της κίνησης (5) σχέσης 1:1 και χειροστρόφαλο, βλήτρο ασφάλισης του δίσκου διαιρέσεως σε οποιαδήποτε θέση καθώς και βλήτρο σύνδεσης του χειροστρόφαλου με το δίσκο. Κάθε πλήρης περιστροφή του τεμαχίου αντιστοιχεί σε 40 περιστροφές του χειροστρόφαλου (ατέρμονα). Έτσι για χωρισμό του τεμαχίου περιφερειακά σε 36 ίσα μέρη απαιτούνται 40/36 = 1+4/36 περιστροφές του χειροστρόφαλου, δηλαδή απαιτείται δίσκος διαιρέσεως με 9 οπές ή ισοδύναμος του (18,36). Αν τέτοιος δίσκος δεν είναι διαθέσιμος τότε εφαρμόζεται διαφορική



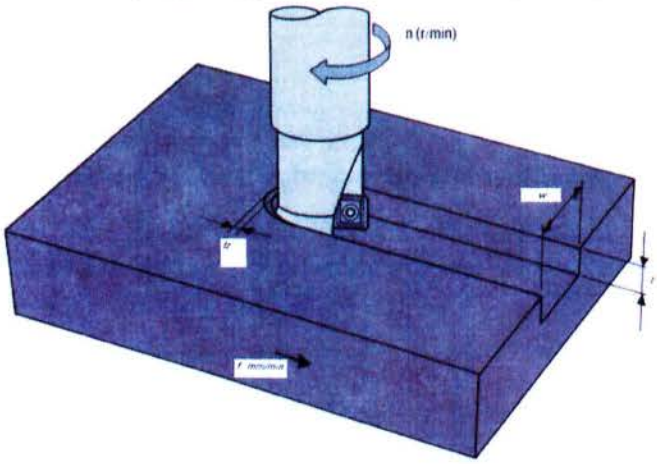
διαίρεση. Κατ' αυτή ο χειροστρόφαλος γυρίζει κατά ένα αριθμό στροφών κοντά στον ζητούμενο, που μπορεί να επιτευχθεί με το διατιθέμενο δίσκο διαιρέσεως και η διαφορά μέχρι το ζητούμενο προστίθεται ή αφαιρείται με τη στροφή του δίσκου με τη βοήθεια ενός ή δύο ζευγών ανταλλακτικών τροχών με αριθμούς δοντιών υπολογισμένους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η τελικά ζητούμενη διαφορική περιστροφή.

Για την κατασκευή ελικώσεων με το διαιρέτη απαιτείται καθετότητα του άξονα της ατράκτου στην εφαπτόμενη της έλικας και για αυτό το λόγο πρέπει να στραφεί το τραπέζι κατά γωνία συμπληρωματική αυτής της έλικας. Οι φρέζες που έχουν αυτή τη δυνατότητα λέγονται Universal.

Πρακτικοί υπολογισμοί φρεζαρίσματος

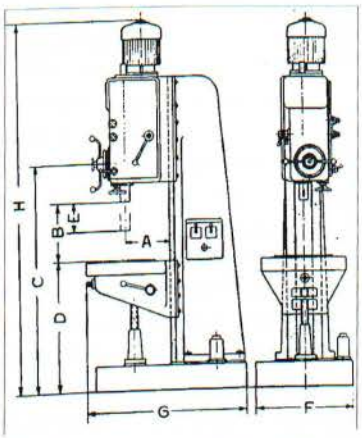
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του (περιφερειακού) φρεζαρίσματος είναι

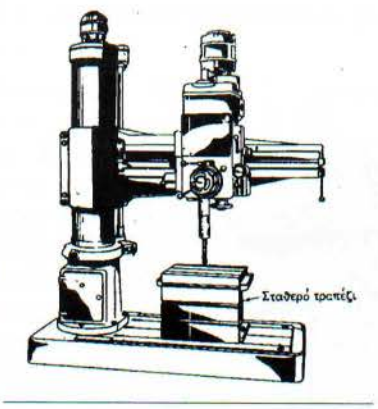
- η ταχύτητα κοπής $V_K = \pi * d * n /1000$ (m/min) όπου d η διάμετρος του εργαλείου και n οι στροφές ανά λεπτό της ατράκτου.
- η πρόωση ανά οδόντα s ή f_z (mm/tooth) που είναι η μετατόπιση του τεμαχίου μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών εισόδου διαδοχικών δοντιών στο υλικό και αντιστοιχεί στο μέγιστο πάχος αποβλήτου
- η πρόωση ανά λεπτό S ή f (mm/min) που προκύπτει ως $S = s * Z * n$ όπου Z ο αριθμός δοντιών της φρέζας.
- το βάθος κοπής t (mm) το οποίο ελέγχει τον αριθμό των πάσων - ακτινικά για την απομάκρυνση του καθορισμένου συνολικού πάχους υλικού. Για ξεχόνδρισμα με φρέζες ταχυχάλυβα το βάθος κοπής είναι 2-4 mm ενώ για αντίστοιχα κονδύλια μπορεί να φθάσει τη διάμετρο του κονδυλιού (100% engagement)
- το πλάτος κοπής w (mm) το οποίο ελέγχει το βαθμό βύθισης του εργαλείου αξονικά στο υλικό. Αυτό εξαρτάται από το μήκος της κόψης, αλλά και από τις δυνάμεις κοπής που μπορεί να αντέξει το εργαλείο χωρίς ταλάντωση.



Η επιλογή των παραπάνω μεγεθών γίνεται με βάση περιορισμούς παρόμοιους με αυτούς της τόρνευσης. Ανάλογα με το υλικό του τεμαχίου και του εργαλείου συνιστώνται συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας κοπής και πρόωσης ανά οδόντα (με ένα οδόντα σε επαφή με το τεμάχιο ανά πάσα στιγμή) από τους κατασκευαστές εργαλείων πχ για χυτοσίδηρο και κυλινδρικές φρέζες από ταχυχάλυβα 15-30 m/min και 0.18-0.22 mm/οδόντα ενώ για φρέζες με ένθετα πλακίδια σκληρομετάλλου 6-100 m/min και 0.06-0.10 mm/tooth.

Δράπανο

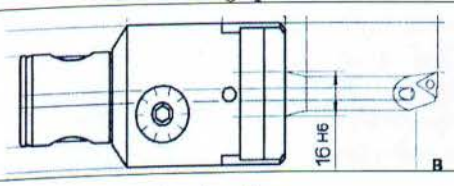
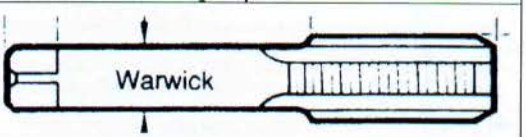




Τα δράπανα είναι εργαλειομηχανές διάνοιξης οπών. Δράπανα υπάρχουν ελαφρού, μεσαίου και βαρέως τύπου. Από πλευράς μορφής κατατάσσονται σε δράπανα με ορθοστάτη (α), σε δράπανα στήλης και σε δράπανα ακτινικά (radial) (β) τα οποία θεωρούνται μηχανές ακριβείας. Συνήθως τα δράπανα έχουν μία άτρακτο, αλλά υπάρχουν και πολυάτρακτα.

Η άτρακτος του δραπάνου καταλήγει σε κώνο Mors όπου στερεώνονται τα τρυπάνια είτε απευθείας είτε μέσω τσώκ τρυπανιών το ποίο έχει κωνικό στέλεχος.

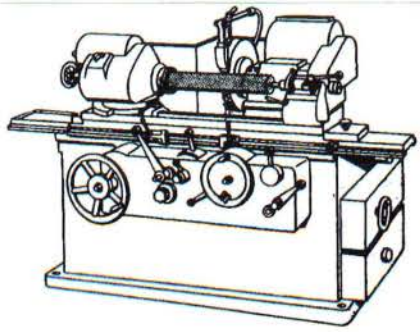
Στα δράπανα γίνεται διάνοιξη οπών με χρήση τρυπανιών καθώς και εργαλείων εσωτερικής τόρνευσης και γλυφάνων. Τα δύο τελευταία είναι εργαλεία που επιτυγχάνουν αποπεράτωση οπών για καλή ακρίβεια κατεργασίας. Επίσης γίνεται σπειροτόμηση με ειδικά εργαλεία (κολαούζα μηχανής) και χρήση ιδιοσυσκευής που ονομάζεται κολαουζιέρα και δίνει τη δυνατότητα επίτευξης του τυποποιημένου βήματος του σπειρώματος και προστασίας έναντι μπλοκαρίσματος και σπασίματος του εργαλείου.

ελικοειδές τρυπάνι	γλύφανο
	
boring bar	σπειροτόμος

Η ταχύτητα κοπής του τρυπανιού αντιστοιχεί στην περιφερειακή γραμμική ταχύτητα και για κάθε τύπο υλικού τεμαχίου και εργαλείου καθορίζεται όπως και στην περίπτωση των άλλων κατεργασιών. Για παράδειγμα, για διάτρηση κράματος αλουμινίου με χαμηλή περιεκτικότητα σε Si η ταχύτητα κοπής είναι 50-120 m/min για τρυπάνι από ταχυχάλυβα, ενώ για τρυπάνι σκληρομετάλλου είναι 110-130 m/min. Αντίστοιχα, η πρόωση (αξονική) του τρυπανιού είναι στις δύο παραπάνω περιπτώσεις 0.15-0.5 και 0.1-0.18 mm/στροφή αντίστοιχα. Ο χρόνος κοπής t καθορίζεται από το μήκος διάτρησης L, την αξονική πρόωση s και τον αριθμό στροφών n ως : $t = L / (s * n)$.

Λειαντικό

Λειαντικά μηχανήματα χρησιμοποιούν στις περισσότερες περιπτώσεις λειαντικούς τροχούς. υπάρχουν τρείς κύριοι τύποι τέτοιων μηχανών : για εξωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, για εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, για επίπεδες επιφάνειες και για ειδικές επιφάνειες.

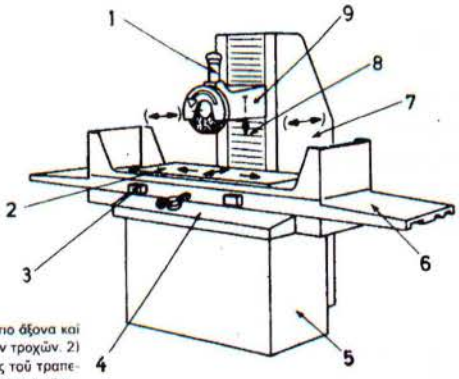


Στα λειαντικά εξωτερικών κυλινδρικών επιφανειών το τεμάχιο συγκρατείται όπως στον τόρνο. Το τεμάχιο περιστρέφεται και αν απαιτείται εκτελεί και αξονική πρόωση. Ο λειαντικός τροχός περιστρέφεται ομόρροπα με το τεμάχιο. Παραλλαγή αποτελεί η μηχανή άκεντρης λείανσης όπου το τεμάχιο απλά στηρίζεται στον λειαντικό τροχό και σε ένα βοηθητικό τροχό ενώ υποστηρίζεται από κάτω με ράουλο. Έτσι δεν χάνεται χρόνος για δέσιμο στο τσώκ και δεν υπάρχει πρόβλημα συγκράτησης μικρών τεμαχίων.

Στα λειαντικά εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών ο τροχός είναι μικρός και περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του αλλά συχνά και πλανητικά.

Στα λειαντικά μηχανήματα επίπεδων επιφανειών το τεμάχιο συγκρατείται μαγνητικά και το τραπέζι παλινδρομεί ή, σπανιότερα, περιστρέφεται. άλλα δέχονται οριζόντιο άξονα τροχού και άλλα κατακόρυφο.

Το βάθος κοπής επιτυγχάνεται με μετατόπιση του τροχού προς το τεμάχιο με ανάλυση μm διότι το βάθος κοπής για εκχόνδριση είναι τυπικά 0.5 mm ενώ για αποπεράτωση 5-50 μm.

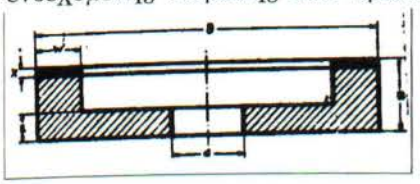


Βασική διαμόρφωση μηχανής λειάνσεως επιπέδων επιφανειών με οριζόντιο άξονα και συμβολισμός των αναγκαίων κινήσεων. 1) Συσκευή γιά διαμαντάρισμα των τροχών. 2) Τραπέζι με λούκια ή καί μαγνητική πλάκα. 3) Όρια άντιστροφής κινήσεως τοῦ τραπεζιοῦ. 4) Ἐγκάρσιες γλισιέρες. 5) Σῶμα τῆς μηχανῆς σταθερό. 6) Τραπέζι γιά παλινδρομική κίνηση. 7) Σῶμα μηχανῆς μέ ἐγκάρσια κίνηση. 8) Κατακόρυφες γλισιέρες φορέα τροχοῦ. 9) Φορέας τροχοῦ.

Στα λειαντικά ειδικών επιφανειών ανήκουν αυτά που εκτελούν λείανση κυλίνδρων ΜΕΚ με τη βοήθεια ράβδων λείανσης προσαρμοσμένων με ελατήρια σε στέλεχος το οποίο περιστρέφεται και παλινδρομεί ταυτόχρονα. Αυτή η κατεργασία λέγεται honning και είναι ακριβέστερη από την τυπική λείανση. Άλλο είδος ειδικών μηχανών λείανσης είναι αυτές που κατεργάζονται στροφαλοφόρους άξονες και συνεπώς έχουν τρείς άξονες περιστροφής του τεμαχίου, λειαντικά βαλβίδων ΜΕΚ και λειαντικά κοπτικών κονδυλιών και τρυπανιών.

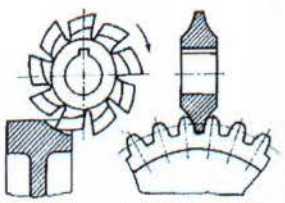
Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα λείανσης (γραμμική – περιφερειακή στον τροχό) είναι μεγάλη συγκριτικά με την τόρνευση κλπ. Τυπικά για χάλυβα είναι 25 m/sec για επίπεδες και εξωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες και 30 m/sec για εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες.

Λειαντικοί τροχοί χρησιμοποιούνται διαφόρων μορφών (προφίλ). Λόγω της φθοράς και ενδεχόμενης στόμωσης που υφίστανται κατά την κατεργασία εφαρμόζεται αναγέννηση της επιφάνειας τους με αδαμαντοφόρα εργαλεία, ενώ για την αποκατάσταση του σχήματος τους γίνεται τόρνευση με διαμάντι.

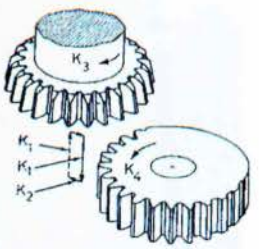


Γραναζοκόπτης

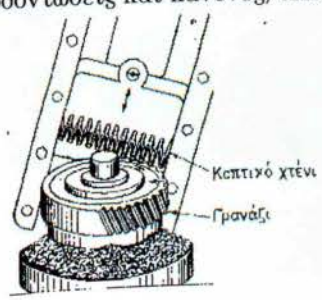
Παρότι στη φρέζα γίνεται κοπή οδοντωτών τροχών με τη βοήθεια του διαιρέτη, η κοπή γίνεται με δισκοειδή κοπτήρα που είναι κατάλληλη για ένα εύρος αριθμού οδόντων και άρα η κατατομή του οδόντος είναι προσεγγιστική. Για μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιείται ο γραναζοκόπτης που απαντάται σε τρείς μορφές ανάλογα με τη μέθοδο κοπής του τροχού.



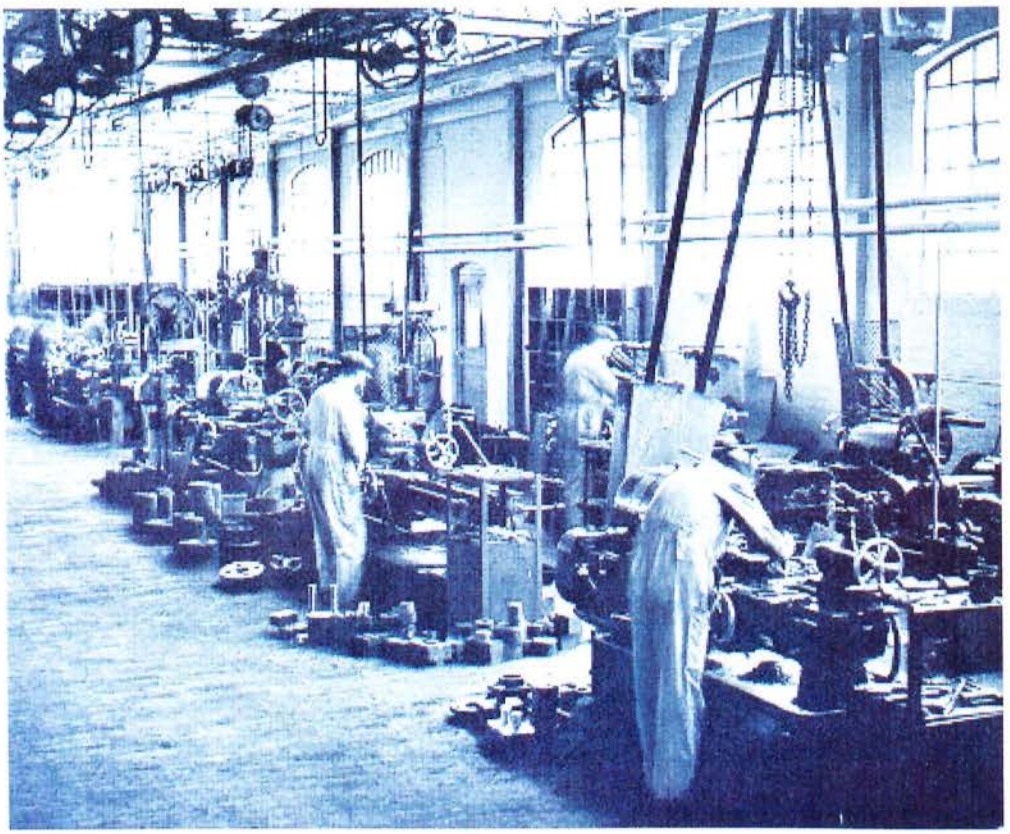
Η πρώτη μέθοδος είναι με χρήση κοχλιωτής φρεζοκεφαλής χόμπ η οποία περιστρέφεται συνεχώς περί άξονα κάθετο σε αυτό του οδοντωτού τροχού υπό κατεργασία. Μια πλήρης στροφή του εργαλείου αντιστοιχεί σε περιστροφή του τεμαχίου κατά ένα οδόντα. Το εργαλείο επίσης κινείται αργά γραμμικά προς το τεμάχιο. Το μειονέκτημα αυτής της μηχανής είναι ότι δεν κόβονται εσωτερικές οδοντώσεις και ότι τα εργαλεία χομπ είναι σχετικά ακριβά.



Η δεύτερη μέθοδος είναι με χρήση κοπτικού τροχού ως εργαλείου ο οποίος περιστρέφεται συνεχώς όπως και το τεμάχιο. Εκτελείται επίσης παλινδρομική κίνηση γραμμικά παράλληλα στον άξονα περιστροφής οριζόντια και κατακόρυφα. Τέτοιες μηχανές μπορούν να κόβουν εσωτερικές οδοντώσεις, τμηματικές οδοντώσεις και κανόνες, αλλά είναι δύσκολες στη ρύθμιση.



Η τρίτη μέθοδος χρησιμοποιεί αντί κοπτικού τροχού κοπτικό χτένι, που μοιάζει με οδοντωτό κανόνα και είναι φθηνό. Οι εκτελούμενες κινήσεις από το εργαλείο είναι παλινδρόμηση άνω-κάτω και από το τεμάχιο παλινδρόμηση και περιστροφή.



Μηχανουργείο 19ου αιώνα

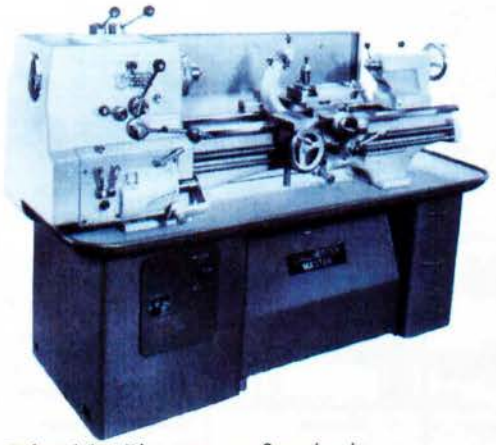
Πηγή: http://www.localhistory.scit.wlv.ac.uk/Museum/OtherTrades/BCN/BJB.htm

1 ΤΟΡΝΕΥΣΗ-ΤΟΡΝΟΣ

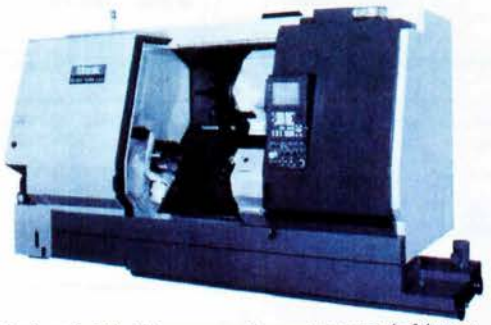
1.1 Γενικά.

Ο τόρνος είναι από τις πιο παλιές μηχανές που επινοήθηκαν από τον άνθρωπο. Η μορφοποίηση των κατεργαζόμενων τεμαχίων στον τόρνο βασίζεται στην αφαίρεση υλικού. Ο τόρνος αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη εργαλειομηχανή και μπορεί κανείς να τον συναντήσει σε όλο το φάσμα της βιομηχανικής παραγωγής.

Η γενική τεχνολογική πρόοδος βοήθησε, ώστε ο τόρνος τα τελευταία 30 χρόνια να εξελιχθεί παράλληλα προς τις άλλες μηχανές και τον κατέστησε ικανό να ανταποκριθεί στις καινούργιες απαιτήσεις των κατασκευών, που σαν κύριο γνώρισμά τους έχουν την **ταχύτητα παραγωγής,** την **ακρίβεια** και τον **αυτοματισμό.** Η παραπάνω εξέλιξη έγινε αιτία, ώστε να αλλάξει ριζικά και η εξωτερική μορφή του τόρνου. Στα σχήματα 1.1α και 1.1β φαίνονται δύο σύγχρονοι τόρνοι.



Σχήμα 1.1α : Σύγχρονος συμβατικός τόρνος.



Σχήμα 1.1β : Σύγχρονος τόρνος ψηφιακού ελέγχου (C.N.C).

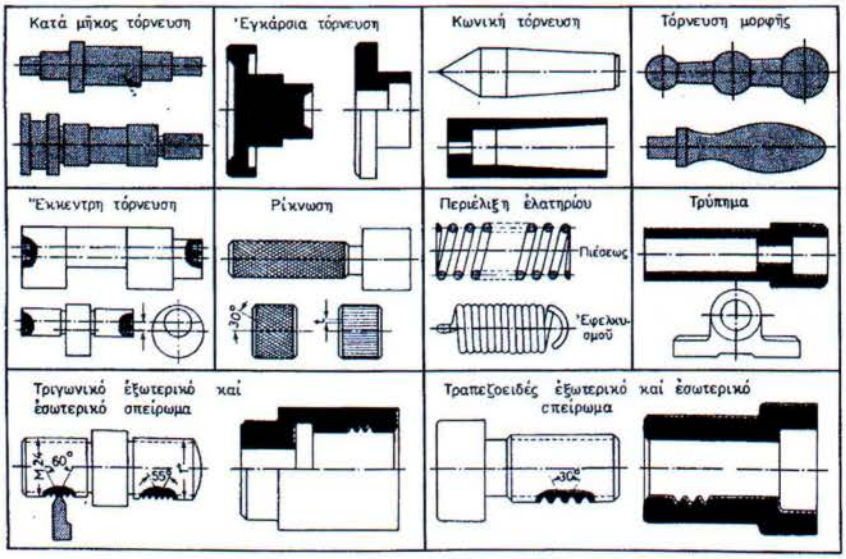
Οι διάφορες εξειδικευμένες μορφές τόρνων καλύπτουν σήμερα κάθε απαίτηση της βιομηχανίας με αποτέλεσμα και σήμερα η εργαλειομηχανή αυτή να διατηρεί τη θέση που κατέχει από παλιά στον κατασκευαστικό τομέα.

Ο τόρνος μπορεί να κατεργασθεί όλα τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα και ένα μεγάλο μέρος από τα μη μεταλλικά τεχνητά υλικά. Σήμερα ο τόρνος , όταν είναι εφοδιασμένος με κοπτικό εργαλείο από σκληρό μέταλλο, μπορεί να επεξεργασθεί ακόμη και βαμμένο χάλυβα.

Ένας τόρνος γενικής χρήσης (σχήμα 1.1α) μπορεί να κάνει τις εξής εργασίες:

- Τόρνευση εξωτερικών και εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών.
- Τόρνευση κωνικών επιφανειών.
- Τόρνευση επίπεδων επιφανειών (εγκάρσια Τόρνευση).
- Τρυπήματα και διάνοιξη οπών.
- Κατεργασία επιφανειών μορφής.
- Έκκεντρη Τόρνευση (έκκεντρα, στροφαλοφόροι άξονες κλπ.).
- Κοπή εξωτερικών και εσωτερικών σπειρωμάτων όλων των μορφών.
- Περιέλιξη ελατηρίων.
- Ρικνώματα (κανελάζ).
- Κατεργασία σφαιρικών εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών.
- Λείανση, με ιδιοσυσκευή, εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών.

Στο σχήμα 1.1γ φαίνονται αντιπροσωπευτικά σχέδια τεμαχίων που μπορούν να κατασκευασθούν στον τόρνο.



Σχήμα 1.1γ : Κατεργασίες σε τόρνο γενικής χρήσης.

Η ταξινόμηση των τόρνων δεν μπορεί να βασισθεί μόνο σε ένα κριτήριο, εξαιτίας της ποικιλίας τους. Παρακάτω επιχειρείται η ταξινόμησή τους με βάση :

α) Το βαθμό αυτοματισμού

- Τόρνοι απλοί, στους οποίους οι βοηθητικές κινήσεις δίνονται, τις περισσότερες φορές, με το χέρι.
- Τόρνοι ημιαυτόματοι (ρεβόλβερ).
- Τόρνοι αυτόματοι μηχανικού προγραμματισμού.
- Τόρνοι αυτόματοι ελεγχόμενοι από συστήματα ψηφιακού ελέγχου (CNC).

β) Το είδος των εκτελού μενών κατεργασιών

- Τόρνοι γενικής χρήσης.
- Τόρνοι για παραγωγή σειράς εξαρτημάτων.
- Ειδικοί τόρνοι, π.χ. κοπής σπειρωμάτων, κατεργασίας στροφαλοφόρων αξόνων, αντιγραφής κλπ.

γ) το επίπεδο κίνησης του εργαλείου

- Παράλληλοι στους οποίους το κομμάτι τοποθετείται παράλληλα προς το κρεβάτι και το κοπτικό εργαλείο έχει δυνατότητα κίνησης σε οριζόντιο επίπεδο παράλληλα και κάθετα προς τον άξονα του κομματιού. Διακρίνονται σε **παράλληλους κεντροφόρους** για κατεργασία μικρών διαμέτρων και μεγάλων μηκών και σε **μετωπικούς** για κατεργασία μεγάλων διαμέτρων και μικρών μηκών.
- Κατακόρυφοι στους οποίους το κομμάτι τοποθετείται κάθετα προς το κρεβάτι και το κοπτικό εργαλείο έχει δυνατότητα κίνησης σε κατακόρυφο επίπεδο.

Το μέγεθος του τόρνου εκτιμάται βασικά από δύο χαρακτηριστικά:

- Τη μέγιστη διάμετρο τεμαχίου που μπορεί να δεθεί στους σφιγκτήρες και να περιστραφεί γύρω από τους οδηγούς.
- Το μήκος κατεργασίας.

Εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών , σημαντικό ρόλο παίζουν και τα εξής:

- Το εύρος και το πλήθος των στροφών που μπορεί να επιτευχθεί.
- Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα.
- Το συνολικό βάρος.

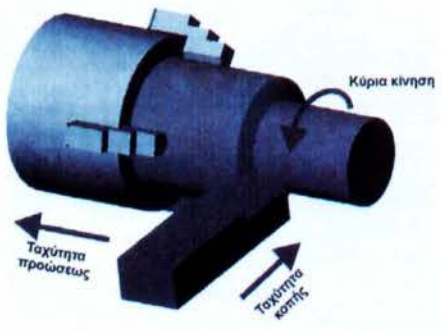
Στον **πίνακα 1.1** παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές κατασκευαστικές διαστάσεις και τα μεγέθη διαφόρων τύπων τόρνων.

Πίνακας 1.1: **Κατασκευαστικές διαστάσεις και χαρακτηριστικά τόρνων**

Τύπος τόρνων	Μέγιστη διάμετρος τεμαχίου(mm)	Μέγιστο μήκος τεμαχίου(mm)	Πλήθος ταχυτήτων	Μέγιστες στροφές ατράκτου(στρ/min)	Ελάχιστη πρόωση κοπτικού εργαλείου (mm/στρ)	Ισχύς κινητήρα(KW)	Βάρος(T)
Παράλληλοι	100	250	6	71	0.01	0.25	0.025
Κεντροφόροι	4000	15000	36	3800	1.25	150	80
Μετωπικοί	1500 4000		12 18	72 280	0.05 0.1	7.5 40	40 50
Κατακορυφοι	850 11000	700 4000	12 24	12 350	0.05 0.4	12 80	6 80

1.2 Τόρνευση.

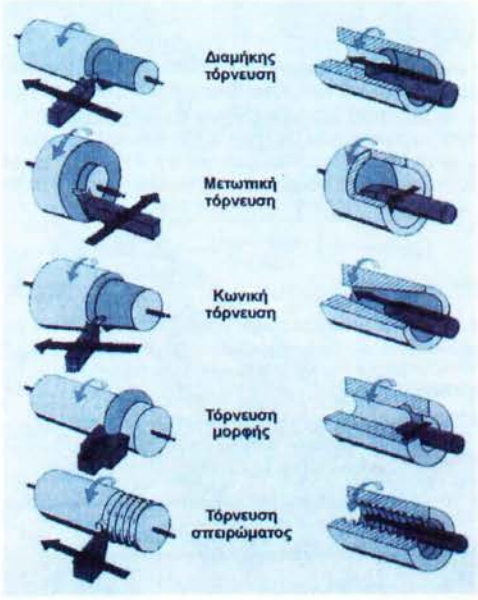
Κατά την διαδικασία της τόρνευσης, το κατεργαζόμενο τεμάχιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του , συγκροτούμενο στον σφιγκτήρα (τσοκ) του τόρνου. Με αυτόν τον τρόπο, είναι σε επαφή με το κοπτικό εργαλείο, το οποίο έχει δυνατότητα διαμήκους και εγκάρσιας μετακίνησης, δηλαδή ευθύγραμμα και παράλληλα προς τον άξονα του τεμαχίου ή σε ορθή γωνία ως προς τον άξονα του τεμαχίου. Οι κινήσεις αυτές, κατά την τόρνευση, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.2α.



Σχήμα 1.2α : Κινηματική της τόρνευσης.

Οι μορφές, που μπορεί να πάρει το κατεργαζόμενο τεμάχιο κατά την Τόρνευση, απαιτούν διαφορετικό συνδυασμό κινήσεων, όπως και χρησιμοποίηση του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται εξαρτάται τόσο από το είδος της παραγόμενης

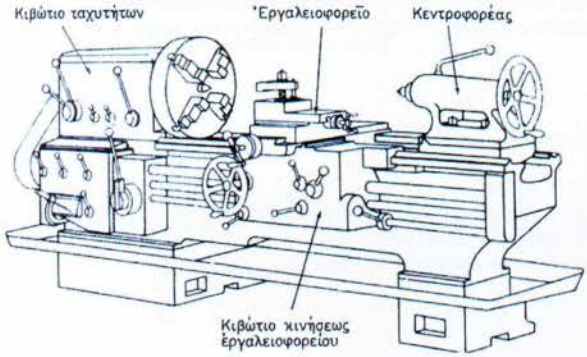
επιφάνειας, όσο και από το αν η τόρνευση είναι **εξωτερική ή εσωτερική.** Στο σχήμα 1.2β παρουσιάζονται διάφορα είδη εξωτερικής και εσωτερικής τόρνευσης για την κατεργασία κυλινδρικών και κωνικών επιφανειών, επιφανειών ειδικής μορφής και σπειρωμάτων. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται με βέλη οι κινήσεις που απαιτούνται κάθε φορά για τη συγκεκριμένη κοπή.



Σχήμα 1.2β : Είδη εσωτερικής και εξωτερικής τόρνευσης.

1.3 Δομή του τόρνου - κύρια μέρη.

Ο τόρνος αποτελείται, βασικά, από πέντε κύρια μέρη (σχήμα 1.3 α):

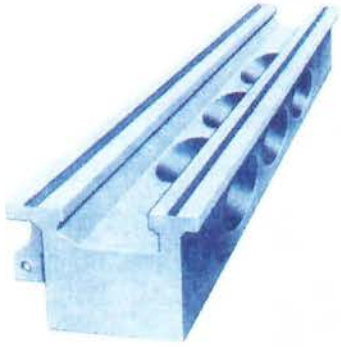


Σχήμα 1.3α : Τόρνος γενικής χρήσης.

- Το σώμα, του οποίου το πάνω μέρος, συνήθως, λέγεται κρεβάτι.
- Το κιβώτιο ταχυτήτων.
- Το κιβώτιο προώσεων.
- Το εργαλειοφορείο (σεπόρτ).
- Τον κεντροφορέα (κουκουβάγια).

1.3.1 Το σώμα.

Το σώμα, το οποίο κατά κανόνα κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο, είναι το τμήμα του τόρνου πάνω στο οποίο προσαρμόζονται και κινούνται όλα τα υπόλοιπα μέρη του. Η κατατομή του έχει διάφορες μορφές και φέρει τους πρισματοδηγούς (γλισιέρες) για την καθοδήγηση του **εργαλειοφορείου** και του **κεντροφορέα** ,(σχήμα 1.3β). Εσωτερικά φέρει νευρώσεις για να είναι στιβαρό με σκοπό την αντοχή στις παραμορφώσεις για την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας στις διαστάσεις του τεμαχίου. Στηρίζεται σε ποδαρικά που θεμελιώνονται στο δάπεδο.



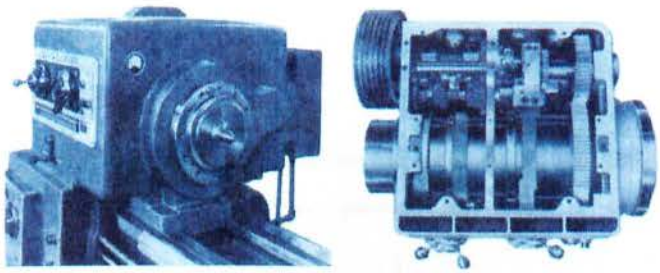
Σχήμα 1.3β : Σώμα τόρνου.

Οι καταπονήσεις που δέχεται το σώμα είναι οι εξής:

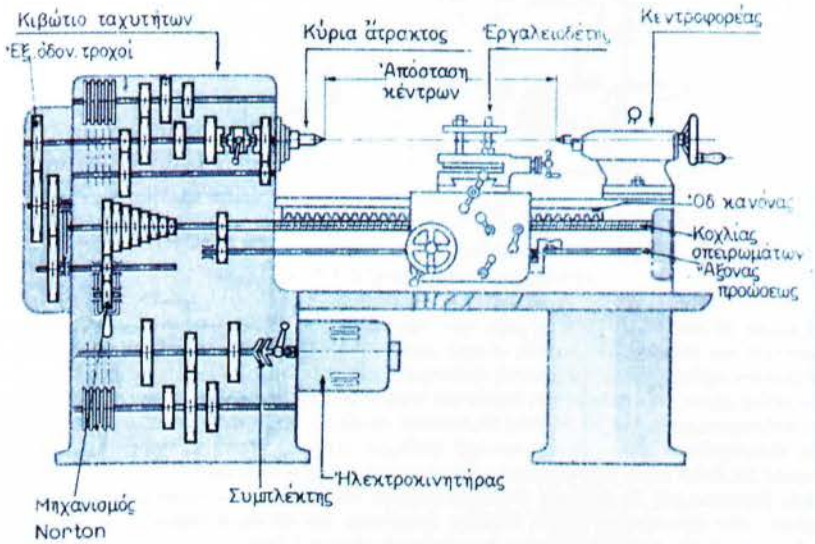
- Στατική φόρτιση από το βάρος των υπερκείμενων μερών.
- Εσωτερικές δυνάμεις που προέρχονται από τις δυνάμεις κοπής
- Εξωτερικές δυναμικές και στοχαστικές φορτίσεις από τυχόν διπλανές εργαλειομηχανές.

1.3.2 Κιβώτιο ταχυτήτων - Κίνηση του τόρνου.

Προορισμός του κιβωτίου ταχυτήτων (σχήμα 1.3γ) είναι να μεταφέρει την περιστροφική ταχύτητα από τον ηλεκτροκινητήρα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο μέσω της **κύριας ατράκτου.** Η μετάδοση κίνησης από τον ηλεκτροκινητήρα στο κιβώτιο ταχυτήτων γίνεται με τη βοήθεια τραπεζοειδών ιμάντων ή με απευθείας σύνδεση (σχήμα 1.3δ).



Σχήμα 1.3γ : Κιβώτιο ταχυτήτων τόρνου



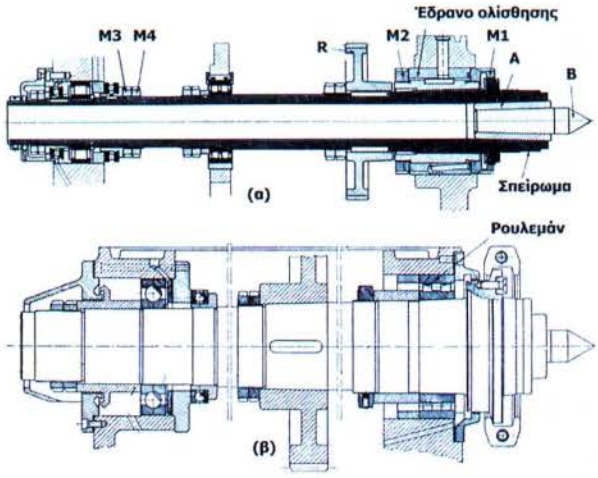
Σχήμα 1.3δ : Διαγραμματική μετάδοση κίνησης στον τόρνο.

Το κιβώτιο ταχυτήτων αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

- **Την κύρια άτρακτο.**
- **Το μηχανισμό ταχυτήτων.**

α) Κύρια άτρακτος τόρνου.

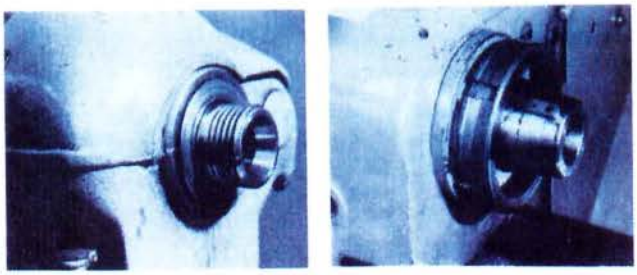
Είναι από τα κυριότερα μέρη του κιβωτίου ταχυτήτων του τόρνου. Στηρίζεται και περιστρέφεται επάνω σε δύο ή τρία έδρανα ολίσθησης (σχήμα 1.3 ε(α)) ή κύλισης (ρουλεμάν), (σχήμα 1.3 ε(β)).



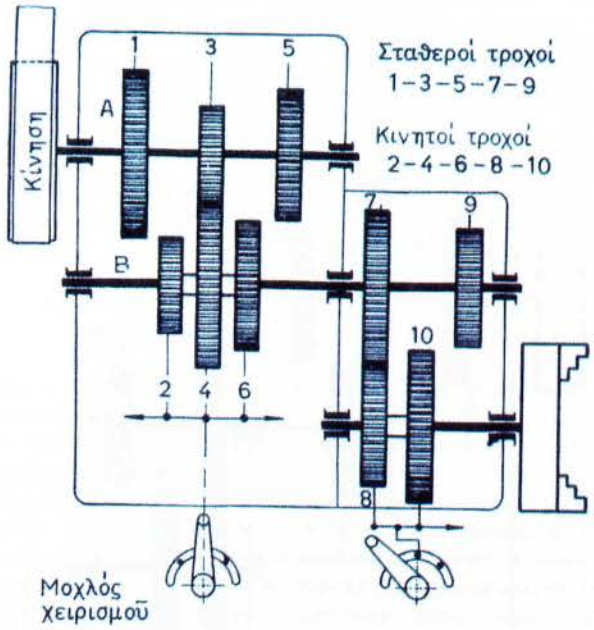
Σχήμα 1.3ε : Κατασκευαστικό σχέδιο ατράκτου τόρνου.
α) Με έδρανα ολίσθησης β) Με ρουλεμάν.

Η κύρια άτρακτος, σε όλα τα είδη των τόρνων, είναι σε όλο το μήκος της κοίλη για την συγκράτηση και επεξεργασία βέργας υλικού μεγάλου μήκους. Η εσωτερική διάμετρος του κοίλου της ατράκτου καθορίζει και την μέγιστη διάμετρο της βέργας που μπορεί να υποστεί κατεργασία.

Το κοίλο μέρος του χείλους της ατράκτου στην πλευρά του τραπεζιού είναι διαμορφωμένο σε σχήμα κολουροκωνικό, για να δέχεται τις κωνικές «φωλιές» **A** για την συγκράτηση της πόντας **B** ή άλλων εξαρτημάτων που φέρουν κωνικό στέλεχος στήριξης (κώνος Μορς), (σχήμα 1.3 ε(α)). Εξωτερικά το δεξιό άκρο της ατράκτου έχει τυποποιημένη διαμόρφωση και είτε φέρει σπείρωμα μεγάλου βήματος για να βιδώνει η πλάκα-φορέας του τσοκ ή το «πλατώ» συγκράτησης των τεμαχίων , είτε έχει κωνικό τμήμα μεγάλης διαμέτρου και σύστημα σύσφιξης με κοχλίες, για το κεντράρισμα και την στήριξή του τσοκ ή του πλατώ. (σχήμα 1.3στ).



Σχήμα 1.3στ : Διαμόρφωση άκρου ατράκτου με σπείρωμα ή με κωνική φωλιά.



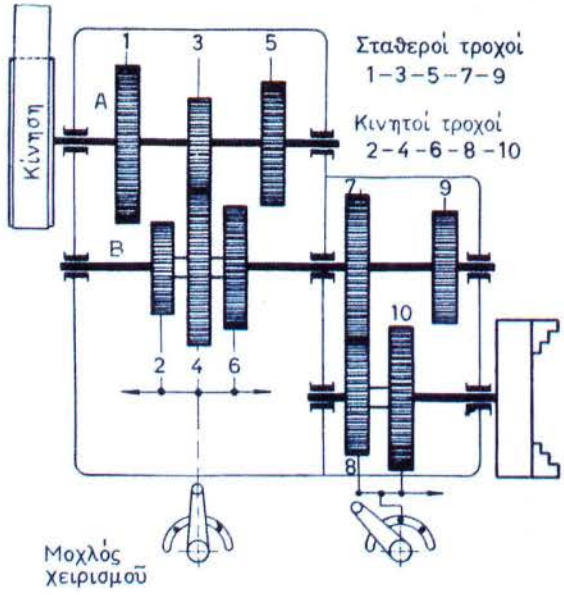
Σχήμα 1.3στ : Διαμόρφωση άκρου ατράκτου με σπείρωμα ή με κωνική φωλιά.

β) Μηχανισμός ταχυτήτων.

Η αλλαγή στις ταχύτητες γίνεται με τη βοήθεια οδοντωτών τροχών που βρίσκονται στο κιβώτιο ταχυτήτων του τόρνου (σχήμα 1.3γ).

Στο σχήμα 1.3ζ φαίνεται σε λεπτομέρεια ένα απλό κιβώτιο ταχυτήτων τόρνου. Ο άξονας **Α** παίρνει την κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα με τη βοήθεια ιμάντα, ενώ ο άξονας **Β**, ανάλογα με τον τρόπο που εμπλέκονται οι ενδιάμεσοι οδοντωτοί τροχοί, μπορεί να κινηθεί με τρεις διαφορετικές ταχύτητες.

Οι τροχοί **1-3-5-7-9** είναι σταθεροί, ενώ οι τροχοί **2-4-6-8-10** είναι κινητοί. Έτσι συνολικά η κύρια άτρακτος μπορεί να κινηθεί με **6** διαφορετικές ταχύτητες.

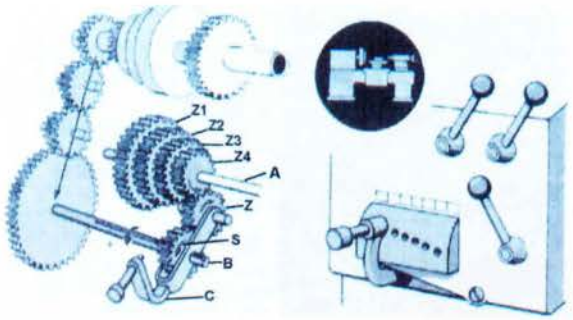


Σχήμα 1.3ζ : Αναπαράσταση απλού κιβωτίου ταχυτήτων τόρνου.

1.3.3 Κιβώτιο προώσεων.

Κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας τόρνευσης, το κατεργαζόμενο τεμάχιο αναγκάζεται μέσω του τσοκ σε περιστροφική κίνηση. Η περιστροφή αυτή μπορεί να γίνεται με μια ποικιλία στροφών, γεγονός που εξασφαλίζεται από το κιβώτιο ταχυτήτων. Η εξασφάλιση όμως της αυτόματης πρόωσης γίνεται διαμέσου του κιβωτίου ταχυτήτων στον άξονα προώσεων, αφού παρεμβληθεί ένα δεύτερο κιβώτιο με οδοντωτούς τροχούς, το **κιβώτιο προώσεων.** Σε παλαιότερους τόρνους η μετάδοση της κίνησης στον άξονα προώσεων γινόταν με ιμάντες ή οδοντωτούς τροχούς, όπου ο χειριστής έπρεπε να αντικαθιστά, προκειμένου να εξασφαλίσει την εναλλαγή στις τιμές των προώσεων.

Σε πιο σύγχρονους τόρνους η μετάδοση της κίνησης αυτής γίνεται διαμέσου του κιβωτίου **Norton** (σχήμα 1.3η).



Σχήμα 1.3η : Κιβώτιο προώσεων τύπου Norton.

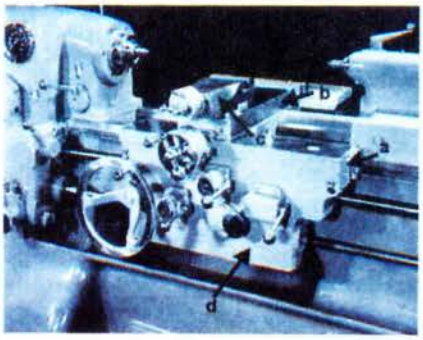
Με το μοχλό **C** ο χειριστής συμπλέκει διαφορετικούς μεταξύ τους οδοντωτούς τροχούς, με αποτέλεσμα τη γρήγορη και με ποικιλία τιμών επιλογή της πρόωσης. Οι οδοντωτοί τροχοί ενός κιβωτίου **Norton** παρουσιάζονται στη χαρακτηριστική μορφή ενός ενιαίου συνόλου γραναζιών διαφορετικών μεγεθών σε μορφή κώνου.

Οι οδοντοτροχοί **Z1,Z2,Z3,Z4** είναι σταθεροί επάνω στον άξονα προώσεως **A.** Κατά μήκος του κινητήριου άξονα **B,** ολισθαίνει ο οδοντοτροχός **S,** ο οποίος εμπλέκεται με τον ενδιάμεσο οδοντοτροχό **Z.** Οι οδοντοτροχοί **Z** και **S** προσαρμόζονται στο μοχλό **C,** ο οποίος έχει δυνατότητα ολίσθησης κατά μήκος του κινητήριου άξονα και περιστροφής γύρω από αυτόν. Με τη μετακίνηση του μοχλού **C,** ο ενδιάμεσος οδοντοτροχός **Z** εμπλέκεται με ένα οδοντοτροχό του άξονα **A,** ανάλογα με την επιλεγόμενη ταχύτητα πρόωσης. Ο μοχλός **C** μένει στη σταθερή θέση με τη βοήθεια περόνης, η οποία εισάγεται στην οπή που αντιστοιχεί στη επιθυμητή ταχύτητα πρόωσης.

Για να μετακινηθεί το εργαλείο από αριστερά προς τα δεξιά ή από τα δεξιά προς τα αριστερά, επιβάλλεται η αλλαγή της κατεύθυνσης περιστροφής του άξονα προώσεων. Αυτή η αλλαγή της κατεύθυνσης εξασφαλίζεται μέσω ενός **οδοντωτού τροχού αναστροφής** του οποίου η εμπλοκή και η απεμπλοκή εξασφαλίζει τη μία κατεύθυνση ή την άλλη.

1.3.4 Εργαλειοφορείο ή σεπόρτ.

Το εργαλειοφορείο μπορεί να εκτελεί διάφορες ανεξάρτητες επιμέρους κινήσεις. Περιλαμβάνει, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3θ , εκτός από το κυρίως σώμα του και δύο ολισθητήρες (γλισιέρες) που εξασφαλίζουν τη διαμήκη και εγκάρσια κίνηση του κοπτικού εργαλείου.



a: Σώμα
b: Εγκάρσιο φορείο
c: Φορείο εργαλειοδέτη
d: Ποδιά

Σχήμα 1.3θ : Εργαλειοφορείο τόρνου.

Το εργαλειοφορείο υπακούει στην κίνηση που μεταδίδεται από τον άξονα των προώσεων, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει και το μοχλό σταματήματος των στροφών του τόρνου. Διατρέχεται από δύο άξονες, **τον άξονα των προώσεων, τον κοχλιωτό άξονα** ή **κοχλία σπειρωμάτων** για την κοπή σπειρωμάτων και τη ράβδο εκκίνησης ή σταματήματος των στροφών.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα συνηθισμένο εργαλειοφορείο είναι τα εξής:

- **Το σώμα.**

Φέρει επάνω του όλα τα υπόλοιπα μέρη του εργαλειοφορείου και κινείται κατά μήκος του σώματος του τόρνου μέσω των γλισιερών.

- **Το εγκάρσιο φορείο.**

Φέρει επάνω του το φορείο του εργαλειοδέτη και κινείται εγκάρσια.

- **Το φορείο του εργαλειοδέτη.**

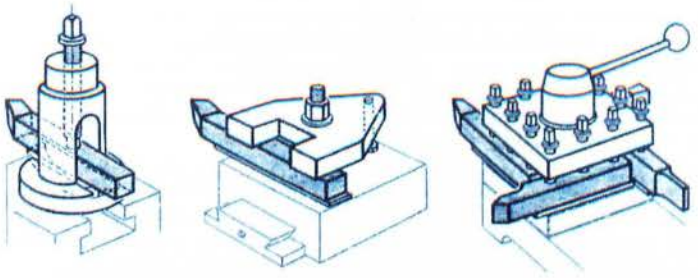
Φέρει επάνω του τον εργαλειοδέτη και έχει δυνατότητα κίνησης παράλληλα , κάθετα ή υπό γωνία ως προς την αξονική της ατράκτου. Φέρει στην βάση του μοιρογνωμόνιο με την βοήθεια του οποίου επιλέγεται η υπό γωνία κίνησή του (π.χ. κωνική τόρνευση).

- **Η ποδιά.**

Φέρει το μηχανισμό για την μεταφορά της κίνησης από το κιβώτιο πρόωσης στο εργαλειοφορείο με τη βοήθεια των κατάλληλων χειρομοχλών.

- **Ο εργαλειοδέτης.**

Ο εργαλειοδέτης είναι το εξάρτημα εκείνο που συγκρατεί απευθείας το κοπτικό εργαλείο. Οι κυριότεροι τύποι εργαλειοδετών φαίνονται στο σχήμα 1.3ι.

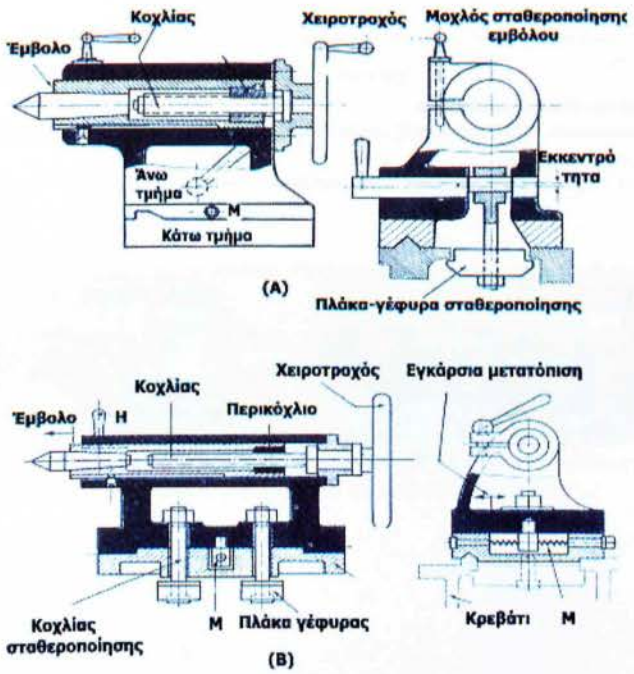


Σχήμα 1.3ι: Απλοί και τετραπλός εργαλειοδέτης.

Σήμερα όλοι σχεδόν οι τόρνοι γενικής χρήσης είναι εφοδιασμένοι με τετραπλό εργαλειοδέτη γιατί έχει το πλεονέκτημα να δέχεται **4** διαφορετικά εργαλεία των οποίων η εναλλαγή από το ένα στο άλλο γίνεται εύκολα με περιστροφή του. Έτσι ο τετραπλός εργαλειοδέτης συντελεί στην αύξηση της παραγωγής κομματιών σε σειρά με δυνατότητα γρήγορης εκτέλεσης μέχρι και τεσσάρων διαφορετικών φάσεων κατεργασίας.

1.3.5 Ο Κεντροφορέας (κουκουβάγια).

Είναι βασικό εξάρτημα του τόρνου και βρίσκεται επάνω στο κρεβάτι δεξιά από το εργαλειοφορείο (σχήμα 1.2ια).



Σχήμα 1.3ια : Κεντροφορέας τόρνου.
Α)Σταθεροποίηση με έκκεντρο και μοχλό Β)Σταθεροποίηση με κοχλίες

Ο κεντροφορέας χρησιμοποιείται για την **υποστήριξη τεμαχίων μεγάλου μήκους** ή για κατεργασίες **διάτρησης** και **γλύφανσης** με την χρησιμοποίηση κατάλληλων εργαλείων.

Το κάτω τμήμα εφαρμόζει σε ειδικό πρισματοδηγό του κρεβατιού (γλισιέρα). Το επάνω τμήμα φέρει το έμβολο το οποίο μέσω ενός χειροτροχού και κοχλία κινείται μπρος-πίσω και σταθεροποιείται, σε οποιαδήποτε θέση χρειασθεί, με τη βοήθεια μοχλού σταθεροποίησης. Το έμβολο στο αριστερό άκρο του φέρει **θηλυκό κώνο Μορς** όπου εφαρμόζει η πόντα στήριξής ή τα στελέχη των κοπτικών εργαλείων διάτρησης ή γλύφανσης.

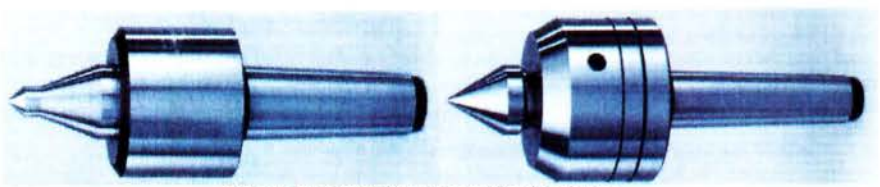
Ολόκληρος ο κεντροφορέας μετακινείται σε όλο το μήκος του κρεβατιού γλιστρώντας στον ειδικό πρισματοδηγό (γλισιέρα) που αναφέραμε. Η σταθεροποίησή του γίνεται με το σφίξιμο μιας πλάκας-γέφυρας που βρίσκεται στην εσωτερική και κάτω πλευρά του κρεβατιού. Το σφίξιμο της πλάκας αυτής σε μικρούς τόρνους γίνεται με τη βοήθεια ενός μοχλού σταθεροποίησης με έκκεντρο, ενώ σε μεγαλύτερους γίνεται με ένα ή δύο κοχλίες σύσφιξης (σχήμα 1.2η).

Το επάνω τμήμα του κεντροφορέα, με τη βοήθεια ενός ή δύο ρυθμιστικών κοχλιών **Μ,** μπορεί και κάνει μια μικρή **εγκάρσια κίνηση.** Η κίνηση αυτή χρησιμεύει για την περίπτωση **κωνικής τόρνευσης** με μικρή σχετικά κωνικότητα.

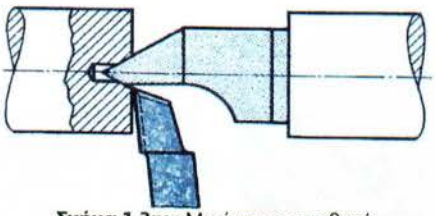
Γενικά ο κεντροφορέας είναι ένα εξάρτημα του τόρνου που έχει ακρίβεια στην κατασκευή και στις κινήσεις του. Πρέπει να τονισθεί ότι ο νοητός άξονας του εμβόλου και της πόντας πρέπει πάντα να συμπίπτει ακριβώς με τον άξονα της ατράκτου του τόρνου. Διαφορετικά τα κομμάτια που τορνεύονται δεν θα είναι απόλυτα κυλινδρικά.

Οι πόντες χρησιμεύουν για την συγκράτηση των κομματιών και προσαρμόζονται στον κεντροφορέα και την κύρια άτρακτο. Είναι τριών ειδών:

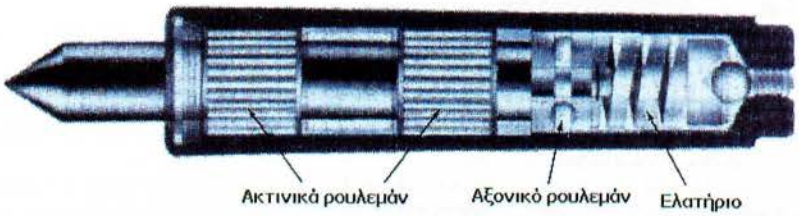
- **Πόντες σταθερές και ολόσωμες.**
  Έχουν την μεγαλύτερη χρήση , (σχήμα 1.3ιΒ)
- **Σταθερές μισόποντες.**
  Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατεργασία του προσώπου στα άκρα των τεμαχίων , (σχήμα 1.3ιγ).
- **Περιστρεφόμενες με ρουλεμάν.**
  Χρησιμοποιούνται σε κατεργασίες όπου απαιτούνται υψηλές στροφές και δεν χρειάζονται λίπανση , (σχήμα 1.3ιδ).



Σχήμα 1.3ιβ : Ολόσωμες σταθερές πόντες.



Σχήμα 1.3ιγ : Μισόποντα σταθερή.



Σχήμα 1.3ιδ : Περιστρεφόμενη πάντα με ρουλεμάν.

1.4 Συγκράτηση των τεμαχίων στον τόρνο.

1.4.1 Συσκευές συγκράτησης τεμαχίων.

Οι συσκευές για τη συγκράτηση των τεμαχίων για κατεργασία στον τόρνο είναι δύο ειδών:

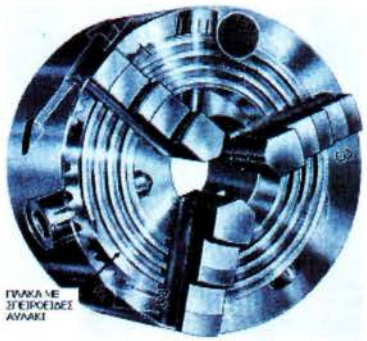
α) Τα τσοκ.

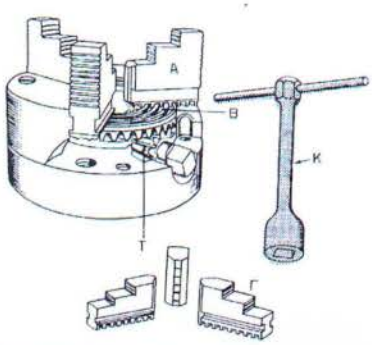
Χρησιμοποιούνται όταν τα κομμάτια είναι μικρά και με κυλινδρικό η άλλο κανονικό πολυγωνικό σχήμα.

β) Τα πλατώ.

Χρησιμοποιούνται για μεγάλα κομμάτια με οποιαδήποτε μορφή.

Τα τσοκ και τα πλατώ στερεώνονται στην κεφαλή της κύριας ατράκτου του τόρνου και περιστρέφονται μαζί της. Στο σχήμα 1.4α φαίνεται η διαμόρφωση και ο τρόπος λειτουργίας του τσοκ. Τα τσοκ έχουν **3** η **4 σιαγόνες** (σφιγκτήρες) και σπάνια **2.**





Σχήμα 1.4α : Τσοκ με τρεις κανονικούς και τρεις ανάποδους σφιγκτήρες.

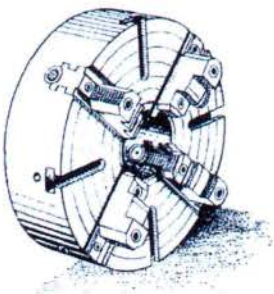
Οι σφιγκτήρες πλησιάζουν ή απομακρύνονται ταυτόχρονα, ομοκεντρικά και με μεγάλη ακρίβεια, με τη βοήθεια του κλειδιού του τσοκ.

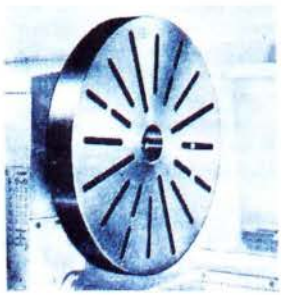
Με το γύρισμα του κλειδιού γυρίζει ο κωνικός τροχός **Τ** περιστρέφοντας την πλάκα **Β,** η οποία από τη μια μεριά της φέρει οδοντωτή στεφάνη και από την άλλη σπειροειδές αυλάκι πάνω στο οποίο προσαρμόζονται οι σφιγκτήρες του τσοκ.

Οι σφιγκτήρες **Α** πλησιάζουν η απομακρύνονται από το κέντρο του τσοκ σφίγγοντας ή ξεσφίγγοντας το τεμάχιο που δένεται επάνω τους. Οι σφιγκτήρες διακρίνονται σε κανονικούς και ανάποδους οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με την κατεργασία που πρόκειται να πραγματοποιηθεί. Πρέπει να προσέχουμε κατά την τοποθέτηση των σφιγκτήρων ώστε οι αριθμοί που είναι γραμμένοι επάνω τους να συμπίπτουν με τους αριθμούς των υποδοχών τους.

Για την προσαρμογή του τσοκ στην κύρια άτρακτο χρησιμοποιείται πλάκα πάνω στην οποία στερεώνεται με **3** ή **4** κοχλίες.

Τα πλατώ είναι μεγάλες στρογγυλές πλάκες από χυτοσίδηρο, (σχήμα 1.4).





Σχήμα 1.4β : Πλατώ τόρνου με και χωρίς σφιγκτήρες.

Υπάρχουν πλατώ χωρίς σφιγκτήρες και πλατώ που φέρουν σφιγκτήρες , οι οποίοι δεν μετακινούνται όλοι ταυτόχρονα, όπως στα τσοκ, αλλά καθένας χωριστά. Με τον τρόπο αυτό τα πλατώ μπορούν να συγκροτήσουν και να κεντράρουν οχι μόνο κυλινδρικά κομμάτια αλλά και κομμάτια οποιουδήποτε σχήματος.

1.4.2 Τρόποι συγκράτησης των τεμαχίων στον τόρνο.

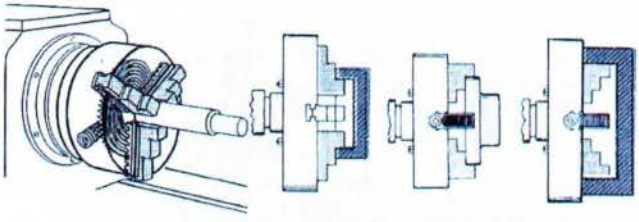
Γενικά διακρίνομε πέντε τρόπους συγκράτησης τεμαχίων στον τόρνο:

- Συγκράτηση μόνο στο τσοκ.
- Συγκράτηση στο πλατώ.
- Συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα (κουκουβάγια).
- Συγκράτηση μεταξύ κέντρων (πόντες).
- Συγκράτηση με τσιμπίδες.

Κατά τη συγκράτηση μεταξύ κέντρων ή κατά τη συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα μπορεί, αν το κομμάτι είναι μεγάλου μήκους, να τοποθετηθεί σταθερό ή κινητό καβαλέτο.

α) Συγκράτηση στο τσοκ.

Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται όταν τα κομμάτια έχουν μικρό μήκος και δεν υπάρχει φόβος κατά την τόρνευση να λυγίσουν από τις δυνάμεις κοπής. Στο σχήμα 1.γ φαίνονται διάφοροι τρόποι συγκράτησης με κανονικούς και ανάποδους σφιγκτήρες.

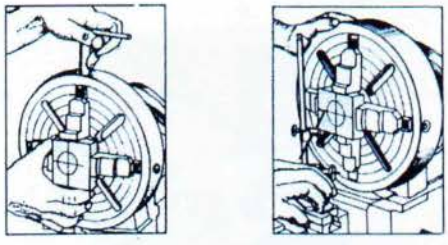


Σχήμα 1.4β : Συγκράτηση στο τσοκ με κανονικούς και ανάποδους σφιγκτήρες.

β) Συγκράτηση στο πλατώ.

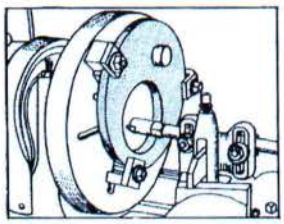
Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται όταν τα κομμάτια έχουν μικρό σχετικά μήκος αλλά μεγάλες τις άλλες δύο διαστάσεις τους .

Όταν το πλατώ φέρει σφιγκτήρες (σχήμα 1.4γ) τότε το κομμάτι δένεται με τους σφιγκτήρες.



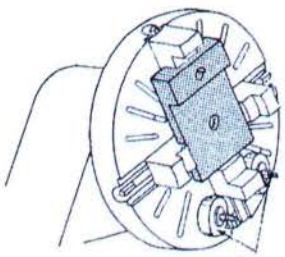
Σχήμα 1.4γ : Συγκράτηση στο πλατώ με σφιγκτήρες.

Όταν το πλατώ δεν φέρει σφιγκτήρες το κομμάτι δένεται πάνω του με **φουρκέτες** (σχήμα 1.4δ).



Σχήμα 1.4δ : Συγκράτηση στο πλατώ με φουρκέτες.

Όταν τα κομμάτια δεν είναι συμμετρικά, για να περιστρέφονται ομαλά και να μην υποφέρει ο μηχανισμός του τόρνου, δένονται επάνω στο πλατώ κατάλληλα αντίβαρα.
Στο σχήμα 1.4ε φαίνεται το δέσιμο παραλληλεπίπεδου κομματιού πάνω στο πλατώ με σφιγκτήρες και η ζυγοστάθμισή του με αντίβαρα.



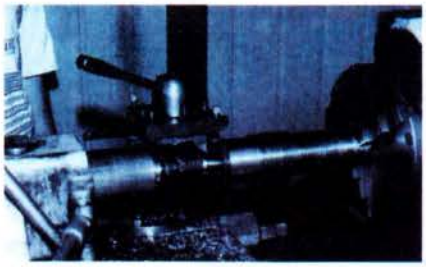
Σχήμα 1.4ε : Ζυγοστάθμισή παράκεντρου κομματιού με αντίβαρα.

Σε πολλές περιπτώσεις και κυρίως για παράκεντρα δεσίματα, χρησιμοποιούνται για τη στερέωση του κομματιού πάνω στο πλατώ γωνιές από χυτοσίδηρο. Τα κομμάτια δένονται επάνω στις γωνίες όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3στ. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα παράκεντρα δεμένα κομμάτια, πρέπει να ζυγοσταθμίζονται με αντίβαρα.

Σχήμα 1.4στ : Συγκράτηση στο πλατώ με γωνία και ζυγοστάθμισή με αντίβαρα.

γ) Συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα.

Εφαρμόζεται για συγκράτηση κομματιών με μεγάλο μήκος (σχήμα 1.4ζ). Πριν όμως από την τόρνευση απαιτείται έλεγχος του κεντραρίσματος του άκρου του κομματιού προς την πλευρά του τσοκ γιατί μπορεί να στραβοπιάσει.

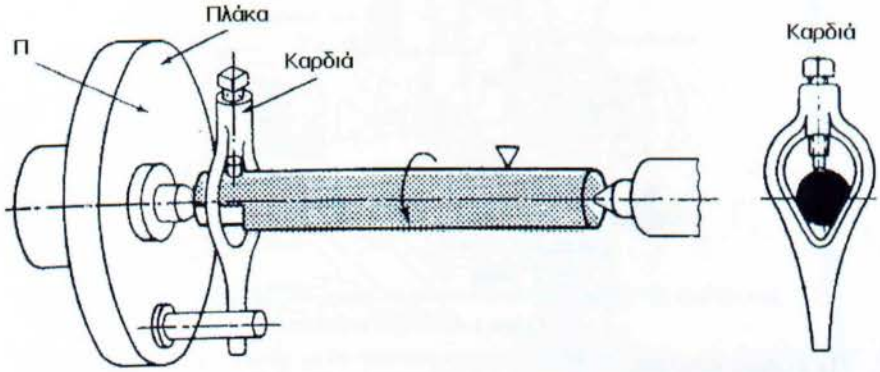


Σχήμα 1.4ζ : Συγκράτηση κομματιού μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα.

Το ένα άκρο του κομματιού δένεται στο τσοκ και ο κεντροφορέας μετατοπίζεται ολόκληρος μέχρις ότου η πόντα του εφαρμόσει στην έδρα του ελεύθερου δεξιού άκρου του κομματιού. Ο κεντροφορέας σταθεροποιείται πάνω στο κρεβάτι με τον ειδικό μοχλό ή κοχλία. Η ρύθμιση της σωστής έδρασης της μύτης της πόντας του κεντροφορέα γίνεται από την κίνηση του εμβόλου με τη βοήθεια του χειροτροχού (σχήμα 1.3ια).

δ) Συγκράτηση κομματιών μεταξύ κέντρων (πόντες).

Τα άκρα του κομματιού στην περίπτωση αυτή στηρίζονται ανάμεσα στην πόντα της κύριας ατράκτου και την πόντα του κεντροφορέα. Αντί για τσοκ βιδώνεται στην άτρακτο η πλάκα περιστροφής Π (σχήμα 1.4η).



Σχήμα 1.4η : Συγκράτηση κομματιού μεταξύ κέντρων.

Η περιστροφή των τεμαχίων, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πλάκες περιστροφής, εξασφαλίζεται με τη χρήση ειδικών εξαρτημάτων που λέγονται **καρδιές**, οι οποίες προσδένονται πάνω στην πλάκες, (σχήματα 1.4.η,1.4θ).

Σχήμα 1.4Θ : Διάφοροι τύποι καρδιών.

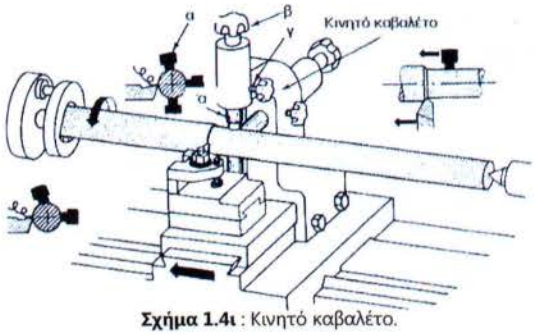
Η συγκράτηση κομματιών μεταξύ κέντρων παρουσιάζει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι το κομμάτι, όσες φορές και αν απομακρυνθεί και ξανατοποθετηθεί στον τόρνο , παραμένει κεντραρισμένο, με πρακτικά απόλυτη ακρίβεια.

Σε περίπτωση τόρνευσης τεμαχίων μεγάλου μήκους χρησιμοποιούνται επί πλέον και ενδιάμεσες συσκευές στήριξης (καβαλέτα).

Τα καβαλέτα είναι βοηθητικά εξαρτήματα του τόρνου και διακρίνονται σε **κινητά** και **σταθερά.**

- **Το κινητό καβαλέτο** (σχήμα 1.4ι) χρησιμοποιείται κατά την τόρνευση τεμαχίων μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου. Στερεώνεται πάνω στο εργαλειοφορείο , έπεται του κοπτικού εργαλείου και ακολουθεί την κίνησή του. Οι δύο επαφείς **α** του καβαλέτου ακουμπούν ελαφρά στην κατεργασμένο επιφάνεια του κομματιού.

Σε κάθε καινούργιο πέρασμα οι επαφείς του κινητού καβαλέτου πλησιάζουν περισσότερο, ώστε να ακουμπούν πάντα στο κομμάτι απέναντι από το κοπτικό εργαλείο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται ο λυγισμός του κομματιού λόγω των δυνάμεων κοπής και ταυτόχρονα το κέντρο περιστροφής στη θέση της κοπής βρίσκεται συνεχώς στο νοητό άξονα ατράκτου-κεντροφορέα.



Σχήμα 1.4ι : Κινητό καβαλέτο.

- **Το σταθερό καβαλέτο.**

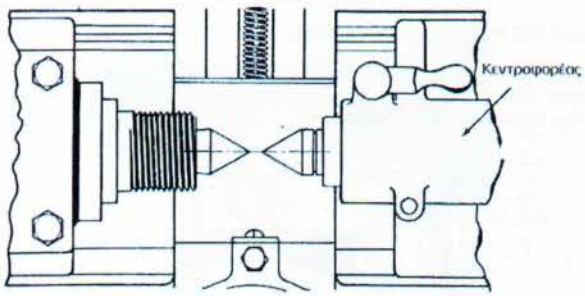
Στερεώνεται στο κρεβάτι του τόρνου και χρησιμοποιείται για τόρνευση βαρέων αξόνων μεγάλου μήκους όταν δεν απαιτείται κατεργασία σε όλο τους το μήκος ή για εσωτερική τόρνευση σε άξονες που δεν μπορεί να γίνει αντιστήριξη με τον κεντροφορέα , (σχήμα 1.4ια).

Σχήμα 1.4ια : Σταθερό καβαλέτο.
Συγκράτηση μεταξύ κέντρων και πλατώ που φέρει σφιγκτήρες.

Η συγκράτηση των κομματιών μεταξύ δύο κέντρων, καθώς και μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα, απαιτεί ελέγχους τόσο της πόντας του κεντροφορέα όσο και της πόντας της ατράκτου. Ταυτόχρονα απαιτεί έλεγχο της ομοαξονικότητας μεταξύ της πόντας της ατράκτου και της πόντας του κεντροφορέα καθώς και κατάλληλη προετοιμασία του κομματιού.

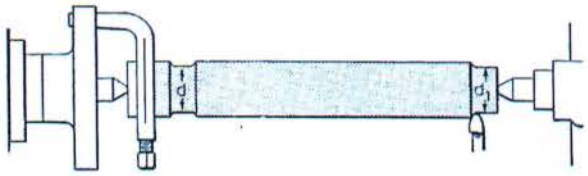
- **Έλεγχος της πόντας του κεντροφορέα.**

Ένας **πρώτος** προσεγγιστικός και σύντομος έλεγχος γίνεται με πλησίασμα της πόντας του κεντροφορέα στην πόντα της φωλιάς της κύριας ατράκτου , (σχήμα 1.4ιβ) Αν δεν συμπίπτουν οι πόντες, μεταφέρεται εγκάρσια η πόντα του κεντροφορέα με την βοήθεια του κοχλία **Μ** (σχήμα 1.3ια).



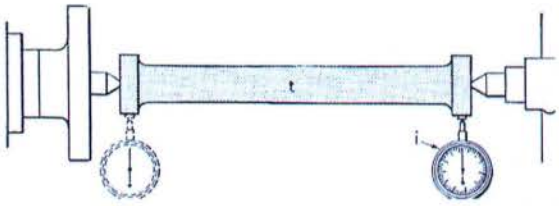
Σχήμα 1.4ιβ : Έλεγχος πόντας κεντροφορέα με πλησίασμα στην πόντα της φωλιάς της ατράκτου.

Ένας **δεύτερος** έλεγχος γίνεται με δοκιμαστική τόρνευση άξονα και έλεγχο των διαμέτρων **d** και $\mathbf{d_1}$, που απέχουν αρκετά μεταξύ τους και που πρέπει να είναι ακριβώς ίσες ,(σχήμα 1.4ιγ)



Σχήμα 1.4ιγ : Έλεγχος πόντας κεντροφορέα με τόρνευση δοκιμαστικού άξονα.

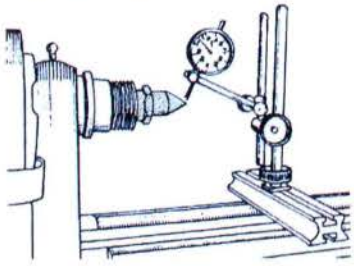
Ένας **τρίτος** έλεγχος ακρίβειας που μπορεί να γίνει φαίνεται στο σχήμα 1.4ιδ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας προκατεργασμένος πρότυπος άξονας με δεδομένη ακρίβεια κατασκευής. Το μετρητικό ρολόι που χρησιμοποιείται πρέπει να δείχνει την ίδια ένδειξη και στις δύο θέσεις ελέγχου.



Σχήμα 1.4ιδ : Έλεγχος πόντας κεντροφορέα με χρήση πρότυπου άξονα.

- **Έλεγχος της πόντας της ατράκτου.**

Ένας τρόπος ελέγχου του κεντραρίσματος της πόντας της ατράκτου είναι με τη βοήθεια μετρητικού ρολογιού όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4ιε. Κατά την περιστροφή της ατράκτου και της πόντας το ρολόι δεν πρέπει να δείχνει απόκλιση.



Σχήμα 1.4ιε : Έλεγχος κεντραρίσματος της πόντας της ατράκτου.

- **Προετοιμασία του κομματιού.**

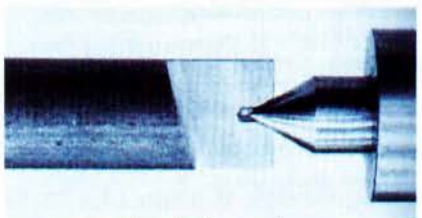
Η προετοιμασία του κομματιού συνίσταται στο να γίνουν στα δύο άκρα του ειδικές οπές κέντρωσης (κεντροτρύπες) για την ευθύγραμμη συγκράτησή του ανάμεσα στις πόντες. Τορνεύονται πρώτα τα πρόσωπα του κομματιού, αφού τοποθετηθούν στο τσοκ για να γίνουν κάθετα προς τον κύριο άξονα και κατόπιν διανοίγονται οι οπές κέντρωσης με την βοήθεια ειδικών κοπτικών εργαλείων που ονομάζονται **κεντροτρύπανα.**

Τα κεντροτρύπανα είναι τυποποιημένα και το μέγεθος τους χαρακτηρίζεται από τη διάμετρο $\mathbf{d_1}$ του κυλινδρικού τμήματος της οπής που διανοίγουν, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3ιστ.

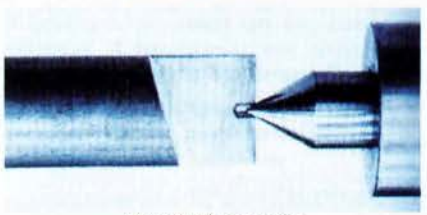
Σχήμα 1.4ιστ : Κεντροτρύπανο με χαρακτηριστική διάμετρο $\mathbf{d_1}$.

Στο κωνικό τμήμα της τρύπας , που διαμορφώνεται με το κεντροτρύπανο , εφαρμόζει ο κώνος της πόντας και στην κυλινδρικό τμήμα εισχωρεί ελεύθερα η άκρη της μύτης της πόντας. Μέσα στην τρύπα τοποθετείται λιπαντικό για την ελάττωση της τριβής.

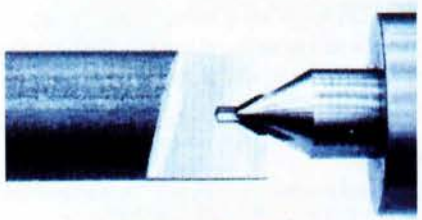
Στο σχήμα 1.4ιζ φαίνονται τα λάθη που μπορούν να προκύψουν στην στήριξη του κομματιού όταν η τρύπα που διαμορφώνεται με το κεντροτρύπανο δεν έχει το σωστό μήκος.



Σωστό μήκος οπής



Μικρό μήκος οπής



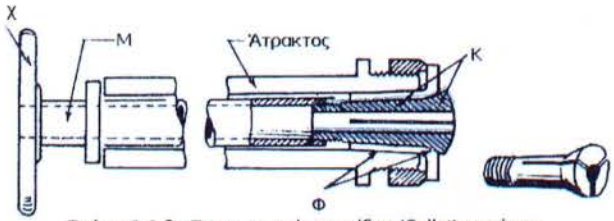
Μεγάλο μήκος οπής

Σχήμα 1.4ιζ : Κανονική και αντικανονικές εδράσεις της πόντας.

ε) Συγκράτηση κομματιών με τσιμπίδες.

Οι τσιμπίδες (Collets) είναι βαμμένα χαλύβδινα στοιχεία που φέρουν στο μπροστινό μέρος τους διαμήκεις σχισμές, ώστε να μπορούν να ανοιγοκλείνουν με ελαστικότητα, και στο πίσω μέρος τους σπείρωμα , (σχήμα 1.4ιη).

Σχήμα 1.4ιη : Τσιμπίδες συγκράτησης (Collets).



Σχήμα 1.4ιθ : Προσαρμογή τσιμπίδας (Collet) σε τόρνο.

Στο σπείρωμα βιδώνει η ράβδος έλξης **Μ** (σχήμα 1.4ιθ) Με το βίδωμα της ράβδου έλξης τραβιέται ο σφιγκτήρας και αναγκάζεται να κλείσει και να σφίξει το κατεργαζόμενο κομμάτι εξαιτίας της κωνικότητάς του **Κ** που προσαρμόζεται στην κωνική φωλιά **Φ.**

Η ράβδος έλξης **Μ** περνά μέσα από την τρύπα της ατράκτου. Το βίδωμα και ξεβίδωμα της ράβδου έλξης γίνεται με τη βοήθεια του χειροτροχού **Χ**. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου το σφίξιμο της τσιμπίδας γίνεται με εξωτερικό περικόχλιο ή ειδικό μοχλό που βρίσκεται κοντά στη φωλιά της ατράκτου.

1.5 Κοπτικά εργαλεία τόρνου.

Σε αντίθεση με τα εργαλεία των δραπάνων και των φρεζομηχανών, όλα τα κοπτικά εργαλεία του τόρνου χαρακτηρίζονται σαν εργαλεία με μία μόνο κόψη, την **κύρια κόψη.** Σε λίγες μόνο περιπτώσεις υπάρχει και χρησιμοποιείται και η δευτερεύουσα κόψη.

Η διάρκεια ζωής ενός κοπτικού εργαλείου εξαρτάται κατά πολύ από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο και από τη γεωμετρία της κόψης του. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα κοπτικό εργαλείο συνοψίζονται στις παρακάτω :

- **μεγάλη σκληρότητα.**

Το κοπτικό εργαλείο πρέπει να μπορεί να εισχωρεί στο μαλακότερο κατεργαζόμενο τεμάχιο.

- **αντίσταση στη θερμότητα**

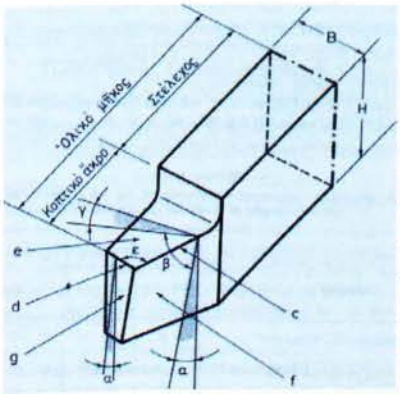
Το κοπτικό εργαλείο πρέπει να διατηρεί τη σκληρότητα του στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή.

- **αντίσταση σε φθορά**

Η κοπτική ακμή του εργαλείου πρέπει να διατηρεί τις κοπτική της ικανότητα για κάποιο αποδεκτό χρονικό διάστημα.

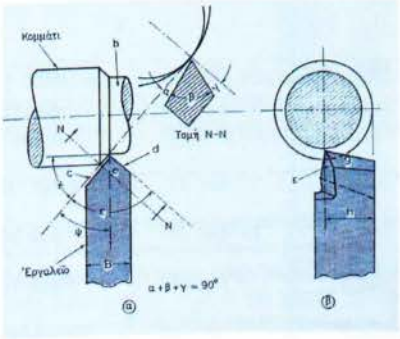
1.5.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κοπτικών εργαλείων.

Το κοπτικό εργαλείο έχει **μορφή σφήνας** με χαρακτηριστικές τις γωνίες **α,β** και **γ** , (σχήματα 1.5α,β).



α. Γωνία ελευθερίας
β. Γωνία σφήνας
γ. Γωνία αποβλήτου
ε. Γωνία κόψης
c. Κύρια κόψη
d: Δευτερεύουσα κόψη
e: Επιφάνεια αποβλήτου
f: Ελεύθερη επιφάνεια της κόψης c
g: Ελεύθερη επιφάνεια της κόψης d
H: Ύψος εργαλείου
B:Πλάτος εργαλείου

Σχήμα 1.5α : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοπτικού εργαλείου τόρνου.



b:Κατεργασμένη επιφάνεια
κ: Γωνία θέσης (τοποθέτησης) της κόψης του εργαλείου
ψ:Κλίση της κόψης προς τον άξονα του εργαλείου
h:Ύψος αιχμής εργαλείου

Σχήμα 1.5β : Λοξή κοπή.
α)Κάθετη τομή N-N στην κοπτική ακμή. β)Πλάγια όψη του κομματιού και του εργαλείου.

Η γωνία **α** ονομάζεται **γωνία ελευθερίας** και αποτρέπει την επαφή της επιφάνειας **f** του εργαλείου με το κομμάτι για την αποφυγή του φαινομένου της τριβής.

Η γωνία **γ** ονομάζεται **γωνία αποβλήτου** και συντελεί στην διευκόλυνση της δημιουργίας και της ροής του αποβλήτου κατά την κοπή.

Η γωνία **β** ονομάζεται **γωνία σφήνας** του κοπτικού εργαλείου.

Οι τρεις αυτές βασικές γωνίες συνδέονται με την σχέση:

$$\alpha+\beta+\gamma=90^\circ$$

Η γωνία **α** είναι σχεδόν σταθερή σε όλα τα κοπτικά εργαλεία και η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ **6~8°. Η** γωνία αποβλήτου **γ** , όσο μεγαλώνει , τόσο μικραίνει η απαιτούμενη δύναμη και αντίστοιχα η ισχύς κοπής. Εξασθενίζει ,όμως , η γωνία σφήνας **β** και κατά συνέπεια η αντοχή του κοπτικού εργαλείου. Ταυτόχρονα το κοπτικό εργαλείο στομώνει γρηγορότερα.

Έτσι , για την τόρνευση των μαλακών υλικών όπου το κοπτικό εργαλείο δεν καταπονείται σημαντικά , χρησιμοποιούνται μεγάλες γωνίες αποβλήτου (μικρές γωνίες σφήνας). Για την τόρνευση όμως σκληρών υλικών όπου το εργαλείο καταπονείται σημαντικά , χρησιμοποιούνται μικρές έως και αρνητικές γωνίες αποβλήτου.

Στον **πίνακα 1.2** δίνονται οι γωνίες αποβλήτου και ελευθερίας για κοπτικά εργαλεία τόρνου από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο.

Πίνακας 1.2 : Γωνίες αποβλήτου και γωνίες ελευθερίας για κοπτικά εργαλεία τόρνου από ταχυχάλυβα (SS) και σκληρομέταλλο (HM).

ΥΛΙΚΟ	Γωνία ελευθερίας α		Γωνία αποβλήτου Υ	
	SS	HM	SS	HM
Χάλυβας έως 60 Kp/mm²	8°	6° έως 8°	10° έως 20°	10° έως 15°
Χάλυβας πάνω από 60 Kp/mm²	8°	6° έως 8°	10° έως 15°	0° έως 10°
Κράματα χάλυβα πάνω από 100 Kp/mm²	8°	6° έως 8°	10° έως 15°	6°
Ανοξείδωτος χάλυβας καμινευμένος	8°	6° έως 8°	15° έως 20°	10° έως 20°
Χυτοσίδηρος σκληρότητας έως HB=250 Kp/mm²	6° έως 8°	6° έως 8°	0° έως 6°	10° έως 15°
Κράματα χυτοσιδήρου HB=250...400 Kp/mm²	6°	6° έως 8°	0°	0° έως 5°
Χαλκός, Ορείχαλκος έως HB=85 Kp/mm²	έως 14°	10° έως 15°	15° έως 20°	10° έως 20°
Ορείχαλκος,	6°	8° έως 10°	10° έως 20°	5° έως 10°

Κασσιτεροχαλκος πάνω από HB=85 Kp/mm²				
Κράματα αλουμινίου με HB=60 Kp/mm²	έως 10°	10°	έως 40°	20° έως 35°
Κράματα Al-Si (Si: 9 έως 13%)	6°	8° έως 10°	10° έως 18°	8° έως 15°
Κράματα αλουμινίου με HB=60...110 Kp/mm²	έως 10°	8° έως 10°	έως 25°	10° έως 20°
Τεχνητά Υλικά-Σκληρό χαρτί	6° έως 10°	12° έως 14°	18° έως 30°	0°

Εκτός από τις τρεις βασικές γωνίες κοπής, υπάρχουν και άλλες τρεις γωνίες, σημαντικές για την κατεργασία της τόρνευσης. Οι γωνίες αυτές είναι οι παρακάτω:

Γωνία θέσης (τοποθέτησης) κ. Ορίζεται ανάμεσα στην κύρια κοπτική ακμή και στην διεύθυνση της πρόωσης. Όταν η γωνία **κ** είναι μεγάλη, το πλάτος του αποβλήτου είναι μικρό και συνεπώς η κατανομή της φόρτισης στο εργαλείο γίνεται σε μια πολύ μικρή περιοχή του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ζωής του κοπτικού εργαλείου. Μια μικρή γωνία **κ** ισοδυναμεί με πιο πλατύ απόβλητο για το ίδιο βάθος κοπής και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου . Συνήθως η γωνία **κ** λαμβάνεται **45°.**

Γωνία αιχμής ε. Ορίζεται ανάμεσα στην κύρια και δευτερεύουσα κόψη του εργαλείου. Συνήθως είναι γύρω στις **90°,** ενώ εργαλεία με μικρή γωνία αιχμής **ε** γρήγορα γίνονται ιδιαίτερα μυτερά.

Γωνία κλίσης λ. Η γωνία αυτή προσδιορίζει τη θέση της κύριας κοπτικής ακμής ως προς την οριζόντια θέση. Η ακμή αυτή μπορεί να λαμβάνει θέση οριζόντια ή με κλίση. Για κατεργασία εκχόνδρισης, η κλίση της κύριας κόψης αποδεικνύεται ευνοϊκή, μια και το απόβλητο ρέει ευκολότερα. Η γωνία κλίσης **λ** για εργαλεία εκχόνδρισης λαμβάνει τιμές περίπου από **30° έως 50°.**

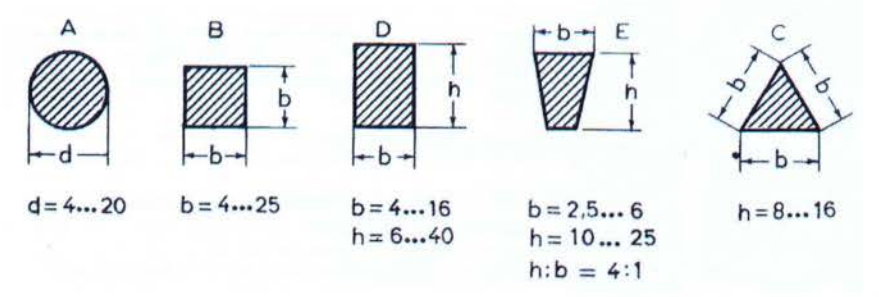
1.5.2 Υλικά κατασκευής των κοπτικών εργαλείων.

Τα υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων τόρνευσης είναι οι ταχυχάλυβες, τα σκληρομέταλλα και τα κεραμικά υλικά.

α) Οι ταχυχάλυβες.

Οι ταχυχάλυβες είναι ειδικοί χάλυβες που περιέχουν βολφράμιο και χρώμιο και σε μικρότερη αναλογία βανάδιο και μολυβδαίνιο. Διατηρούν τις ιδιότητές τους μέχρι τους **600° C.**

Τα εργαλεία από ταχυχάλυβα προσφέρονται στο εμπόριο με τη μορφή ράβδων (ατσαλάκια) και είναι βαμμένα και έτοιμα για χρήση αφού στερεωθούν στις κατάλληλες μανέλες. Τόσο η μορφή όσο και οι διαστάσεις της διατομής τους είναι τυποποιημένες (σχήμα 1.5γ)



Σχήμα 1.5γ : Τυποποιημένες μορφές ράβδων από ταχυχάλυβα.

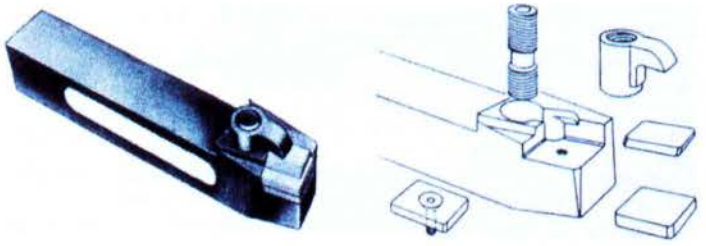
Ο τύπος **E** συγκροτείται σε ειδικές μανέλες και χρησιμοποιείται στους τόρνους σαν μαχαίρι αποκοπής (σχισίματος).

β) Σκληρομέταλλο.

Τα σκληρομέταλλα είναι μείγματα από καρβίδια του βολφραμίου **(WC)** , του τιτανίου **(T|C)** και του τανταλίου **(T_aC)** με συνδετικό υλικό το κοβάλτιο **(C_o)** και είναι προϊόντα κονιομεταλλουργίας. Διατηρούν την σκληρότητα τους μέχρι τους **900-1000° C** . Έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα με αποτέλεσμα να αποβάλουν γρήγορα την θερμότητα. Οι επιτυγχανόμενες ταχύτητες κοπής μπορεί να είναι ακόμη και πενταπλάσιες από τις αντίστοιχες με τη χρήση κοπτικών από ταχυχάλυβα.

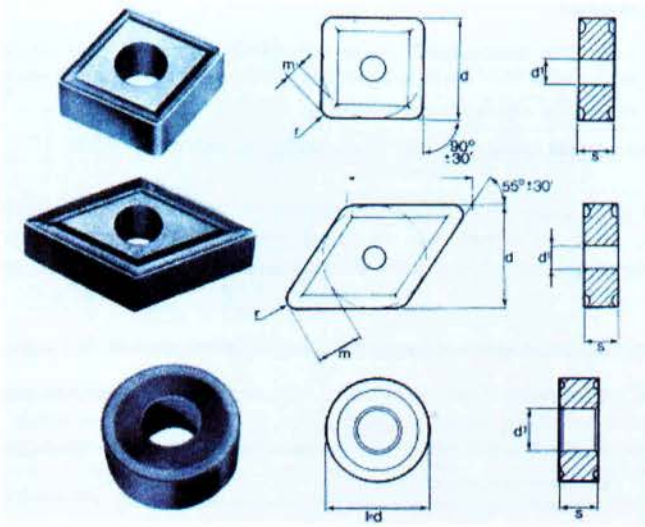
Μειονέκτημα αποτελεί η υψηλή ψαθυρότητα τους που έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή της ακμής κόψης σε περίπτωση ανεπιθύμητης κρούσης.

Οι μορφές των εργαλείων από σκληρομέταλλο είναι πολλές. Η διαμόρφωσή τους εξαρτάται από το είδος της κατεργασίας (ξεχόνδρισμα, σπειροτόμηση, εσωτερική τόρνευση κλπ.) και από τον τρόπο στερέωσής τους πάνω στα στελέχη (μανέλες) συγκράτησης, (σχήμα 1.5δ).



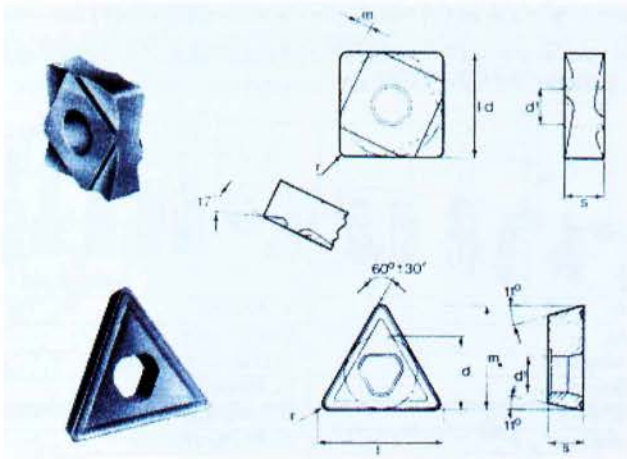
Σχήμα 1.5δ : Ένθετο πλακίδιο σκληρομετάλλου με τα εξαρτήματα στερέωσης στην μανέλα.

Τελευταία επεκτείνεται η χρησιμοποίηση πλακιδίων με μηδενική γωνία ελευθερίας (σχήμα 1.5ε). Ένα τέτοιο πλακίδιο, τετραγωνικό ή ρομβοειδές, χρησιμοποιείται και από τις δύο πλευρές του, συνολικά δηλαδή 8 φορές (4 + 4 = 8 άκμες) και τελικά απορρίπτεται χωρίς να ακονισθεί, γιατί το ακόνισμα είναι οικονομικά ασύμφορο.



Σχήμα 1.5ε :Πλακίδια σκληρομετάλλων με μηδενική γωνία ελευθερίας.

Στο σχήμα 1.5στ φαίνονται πλακίδια με θετική γωνία ελευθερίας στα οποία γίνεται εκμετάλλευση των κοπτικών ακμών μόνο της μιας πλευράς.



Σχήμα 1.5στ :Πλακίδια σκληρομετάλλων με θετική γωνία ελευθερίας.

γ) Τα κεραμικά υλικά.

Η χρήση τους είναι περιορισμένη και χρησιμοποιούνται κυρίως σε τελικές κατεργασίες σε παραγωγή «εν σειρά» με πολύ μεγάλες ταχύτητες κοπής. Είναι ευαίσθητα σε μεγάλα φορτία και κραδασμούς.

1.5.3 Είδη και μορφές εργαλείων από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλα.

Ανάλογα με τη μορφή και το είδος της τόρνευσης απαιτούνται και διαφορετικά κοπτικά εργαλεία ως προς τη μορφή και τη γεωμετρία τους. Έτσι, ειδικής μορφής εργαλεία χρησιμοποιούνται για εκχόνδριση, άλλα για φινίρισμα και για κοπή σπειρώματος, άλλα για boring κ.λ.π.

Τα κοπτικά εργαλεία τάρνευσης μπορούν να διαχωριστούν σε :

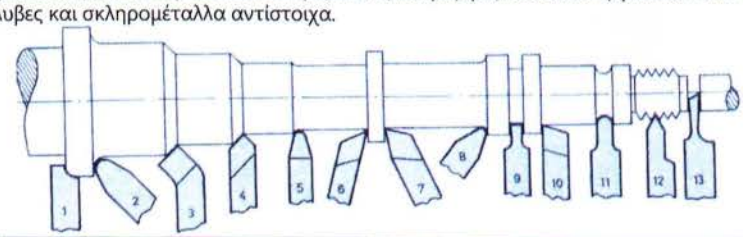
Εργαλεία εκχόνδρισης. Είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε να αντέχουν την ισχυρή πίεση που δέχονται για την αφαίρεση υλικού σε μικρά χρόνο. Η μορφή τους είναι ευθεία ή καμπυλωτή. Ανάλογα με τη θέση της κύριας κόψης διακρίνονται σε δεξιόκοπα και αριστερόκοπα εργαλεία εκχόνδρισης.

Εργαλεία φινιρίσματος ή αποπεράτωσης. Έχουν σκοπό την κατεργασία της τελικής επιφάνειας. Για το σκοπό αυτό τα εργαλεία αυτά έχουν ευθεία δομή με καμπύλες ακμές. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται πλατιά εργαλεία φινιρίσματος με τετράγωνη μύτη.

Πλευρικά εργαλεία. Χρησιμοποιούνται για κατεργασίες προσώπου και για εξομάλυνση αιχμηρών γωνιών. Τα εργαλεία αυτα δεν έχουν δύο κοπτικές ακμές και ως εκ τούτου πρέπει να χρησιμοποιούνται από το κέντρο προς το εξωτερικό του τεμαχίου.

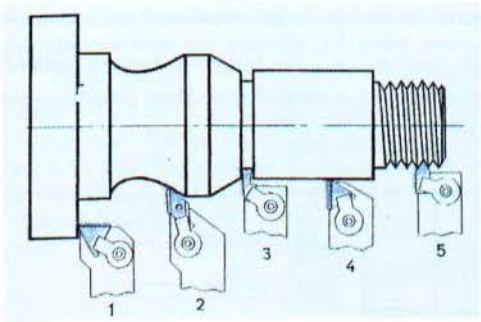
Εργαλεία ειδικών μορφών. Χρησιμοποιούνται για ειδικές κατεργασίες όπως η απότμηση, η τόρνευση μορφής, η σπειροτόμηση, η διάνοιξη εσωτερικής οπής (boring) κ.λ.π

Στα σχήματα 1.5η και 1.5θ φαίνονται διάφορα είδη και μορφές κοπτικών εργαλείων από ταχυχάλυβες και σκληρομέταλλα αντίστοιχα.



1. Κοίλο μορφής	1. Μορφής
2.Κυρτό μορφής	9.Αυλάκωσης
3.Λοξό ξεχονδρίσματος	10.Πλευρικό μαχαίρι
4.Ίσιο ξεχονδρίσματος	11. Μορφής
5.Ίσιο αποπεράτωσης	12.Σπειρώματος
δ.Αριστερό προσώπου	13.Απότμησης
7.Δεξιό προσώπου	

Σχήμα 1.5η :Βασικές μορφές εργαλείων τάρνευσης από ταχυχάλυβα.



1. Προσώπου
2. Κωνικής τόρνευσης και μορφής
3. Αυλάκωσης
4. Αποπεράτωσης
5. Σπειρώματος

Σχήμα 1.5ζ :Βασικές μορφές εργαλείων τόρνευσης από σκληρομέταλλο.

1.5.4 Συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου.

Το εργαλείο αποδίδει καλά όταν είναι σωστά τοποθετημένο και στερεωμένο πάνω στον εργαλειοδέτη. Κατά τη συγκράτηση των εργαλείων πρέπει να δοθεί προσοχή στα σημεία που περιγράφονται παρακάτω.

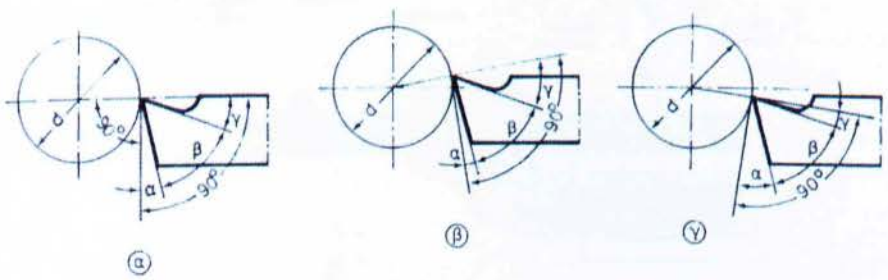
α) Το ύψος της αιχμής του κοπτικού εργαλείου.

Η αιχμή της κόψης του εργαλείου πρέπει κανονικά να βρίσκεται ακριβώς στο ύψος του νοητού άξονα του τόρνου (σχήμα 1.5η(α)).

Αν το εργαλείο είναι στερεωμένο ψηλότερα, τότε ελαττώνεται η γωνία ελευθερίας **α** και αυξάνεται η γωνία αποβλήτου **γ** (σχήμα 1.5η(β)) Η ελάττωση της γωνίας **α** αυξάνει μερικώς την τριβή μεταξύ εργαλείου και κομματιού. Η αύξηση όμως της γωνίας **γ** διευκολύνει τον σχηματισμό και την ροή του αποβλήτου και συνεπώς διευκολύνει την κοπή.

Όταν το εργαλείο είναι τοποθετημένο ψηλότερα από την αξονική της ατράκτου του τόρνου κατά το **1 έως 2%** της διαμέτρου του κομματιού διευκολύνεται η κατεργασία **ξεχονδρίσματος.**

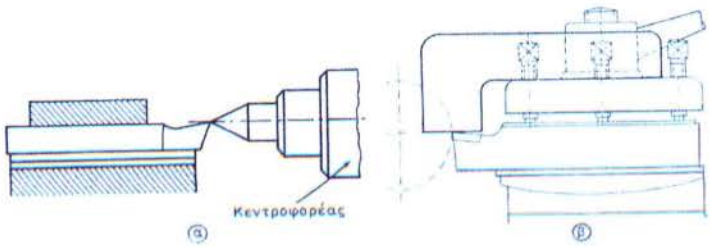
Αν το εργαλείο είναι τοποθετημένο χαμηλότερα (σχήμα 1.5η(γ)) , τότε αυξάνονται οι δυνάμεις κοπής με αποτέλεσμα την δημιουργία κραδασμών κατά την κοπή με κίνδυνο την καταστροφή του κοπτικού εργαλείου ή την αποσταθεροποίηση του κομματιού στα σημεία συγκράτησης (τσοκ-πλατώ-πόντες).



Σχήμα 1.5η :Θέση κοπτικού εργαλείου προς την αξονική της ατράκτου.
α)Στο ύψος του άξονα β)Ψηλότερα γ)Χαμηλότερα

Η κατεργασία **αποπεράτωσης** , κατά την οποία αποδίδονται οι τελικές διαστάσεις του κομματιού , απαιτεί την τοποθέτηση της αιχμής του εργαλείου στο ύψος του άξονα της ατράκτου του τόρνου. Αυτό ελέγχεται είτε πλησιάζοντας τη αιχμή του εργαλείου στη μύτη της πόντας του κεντροφορέα (σχήμα 1.5θ(α)) είτε με τη βοήθεια ελεγκτήρα (γωνία κέντραρίσματος) όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5θ(β).

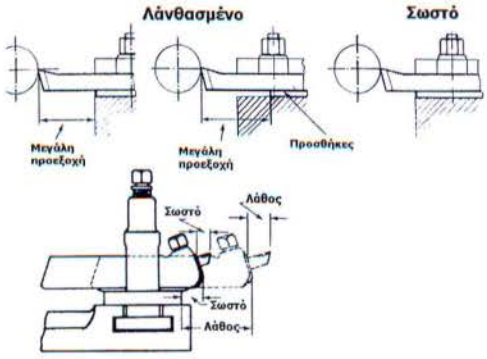
Το ύψος του εργαλείου ρυθμίζεται με την προσθήκη πλακιδίων (επίπεδα λαμάκια) διαφόρων παχών που τοποθετούνται κάτω από το στέλεχος του εργαλείου



Σχήμα 1.5Θ :Έλεγχος ύψους κοπτικού εργαλείου.
α)Με την μύτη της πόντας του κεντροφορέα β)Με ελεγκτήρα

β) Η προεξοχή από τον εργαλειοδέτη.

Το εργαλείο πρέπει να προεξέχει όσο το δυνατόν λιγότερο από το στέλεχος συγκράτησης (μανέλα). Ταυτόχρονα και η μανέλα πρέπει με τη σειρά της να προεξέχει και αυτή όσο το δυνατόν λιγότερο από τον εργαλειοδέτη (σχήμα 1.5ι).



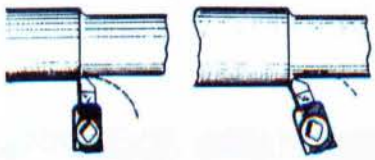
Σχήμα 1.5ι:Σωστή και λανθασμένη προεξοχή του εργαλείου.

Η μεγάλη προεξοχή δημιουργεί σημαντική παραμόρφωση του συστήματος κοπτικού εργαλείου-μανέλας με συνέπεια την δημιουργία κραδασμών που έχουν σαν αποτέλεσμα την απόκλιση των κατασκευαστικών διαστάσεων του κομματιού από τις επιθυμητές και την

δημιουργία κακής ποιότητας επιφάνειας κατεργασίας.

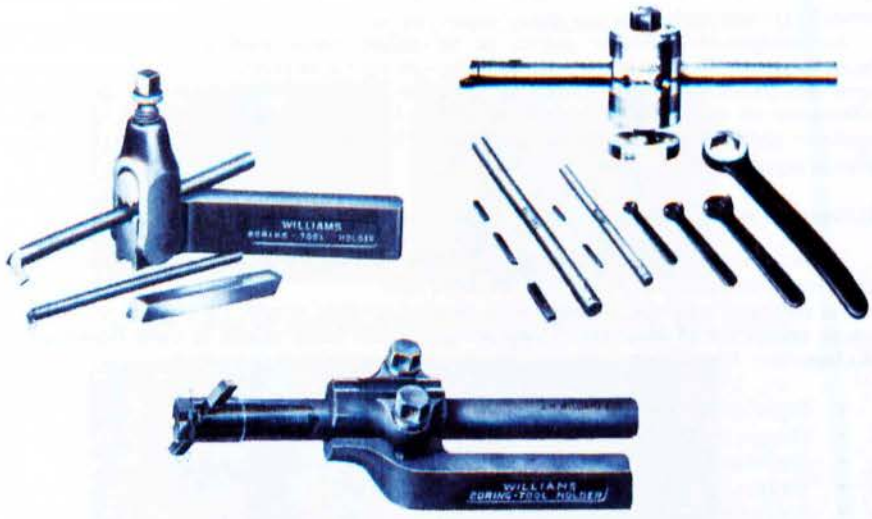
Υ) Η κλίση της μανέλας.

Κατά το δέσιμο του εργαλείου στον εργαλειοδέτη, η μανέλα πρέπει να τοποθετείται κάθετα προς την κατεύθυνση πρόωσης (σχήμα 1.5ια). Πρέπει δηλαδή η μανέλα να έχει τέτοια κλίση ώστε αν για κάποιο λόγο αυξηθεί η δύναμη πρόωσης και αναγκασθεί το κοπτικό εργαλείο να μετατοπισθεί, ιδίως σε περίπτωση ξεχονδρίσματος , να μη βυθιστεί (βουτήξει) μέσα στο κομμάτι αλλά να απομακρυνθεί από την επιφάνεια κοπής.



Σχήμα 1.5ια :Σωστή και λανθασμένη κλίση του εργαλείου.

Για την τόρνευση εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών χρησιμοποιούνται κοπτικά εργαλεία στερεωμένα σε **μανέλες εσωτερικής τάρνευσης** (σχήμα 1.5ιβ). Το κοπτικό εργαλείο (ατσαλάκι η πλακίδιο σκληρομετάλλου) έχει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της κατεργασίας (ξεχόνδρισμα, λείανση, σπείρωμα κλπ.).



Σχήμα 1.5ια :Μανέλες και κοπτικά εργαλεία εσωτερικής τόρνευσης.

Οι μανέλες για πρόσδεση εργαλείων εσωτερικής τόρνευσης κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής για να αντέχουν στις υψηλές καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται από τις

δυνάμεις κοπής είναι αυξημένες λόγω του μεγάλου μήκους τους. Η διατομή και το μήκος τους καθορίζονται από τη διάμετρο και το βάθος της οπής καθώς επίσης και από το βάθος κοπής και την πρόωση. Η μανέλες δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να υφίσταται σημαντική παραμόρφωση κατά την διαδικασία κοπής.

1.5.5 Ακόνισμα των κοπτικών εργαλείων.

α) Σημασία και ανάγκη του ακονίσματος.

Για την σωστή εκμετάλλευση ενός εργαλείου μέχρι να εξαντληθεί το υλικό του ή να καταστραφεί είναι αναγκαίο να ακονίζεται. Ένα σωστά ακονισμένο εργαλείο, εκτός από την απόδοση επιφάνειας κατεργασίας καλύτερης ποιότητας, ελαττώνει σημαντικά το χρόνο κατεργασίας, άρα και το κόστος παραγωγής.

β) Ακονιζόμενα Εργαλεία.

Σήμερα ή χρήση κοπτικών εργαλείων με ένθετα πλακίδια από σκληρομέταλλο τείνει να εκτοπίσει ένα μεγάλο μέρος από τα εργαλεία από ταχυχάλυβα. Τα ένθετα όμως πλακίδια όταν φθαρούν σε όλες τις κόψεις τους κατά κανόνα αντικαθίστανται με νέα και δεν ακονίζονται. Επομένως το ακόνισμα σήμερα γίνεται στα κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα.

γ) Μέθοδος ακονίσματος.

Τα κοπτικά εργαλεία τόρνου σε βιοτεχνίες και μικρές επιχειρήσεις τροχίζονται συνήθως με το χέρι. Ο τρόπος όμως αυτός δεν αποδίδει καλά αποτελέσματα και ταυτόχρονα απαιτεί από τον τεχνίτη μεγάλη εμπειρία στο ακόνισμα.

Αποτελεσματικό ακόνισμα γίνεται με τη χρήση τροχιστικών μηχανημάτων που έχουν την δυνατότητα απόδοσης των απαραίτητων κλίσεων για τις επίτευξη των γωνιών κοπής. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν απλοί δίδυμοι τροχοί εφοδιασμένοι με κατάλληλες συσκευές και χρησιμοποιούνται από ειδικευμένο και εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό. Σε οργανωμένες βιομηχανίες το ακόνισμα όλων των κοπτικών εργαλείων γίνεται από ειδικό συνεργείο τεχνιτών στο εργαλειοκατασκευαστήριο με τη χρήση ειδικών μηχανών ακονίσματος .

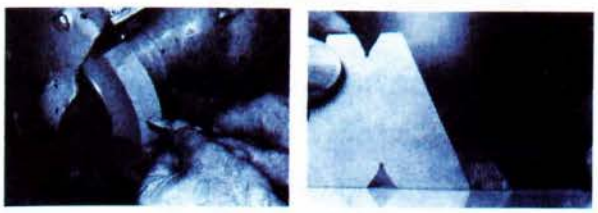
δ) Τεχνική του ακονίσματος.

Οι γωνίες κοπής των κοπτικών εργαλείων εξαρτώνται από το υλικό του κοπτικού εργαλείου και το υλικό του κατεργαζόμενου κομματιού ,**(πίνακας 1.2).**

Για καλύτερο τρόχισμα χρησιμοποιείται πρώτα χονδρός τροχός για εκχόνδριση , και στη συνέχεια λεπτός τροχός για το φινίρισμα. Ο έλεγχος των γωνιών κοπής γίνεται με απλές συσκευές μετρήσεως ή με ελεγκτήρες .Τα στάδια τροχίσματος του κοπτικού εργαλείου είναι τα εξής:

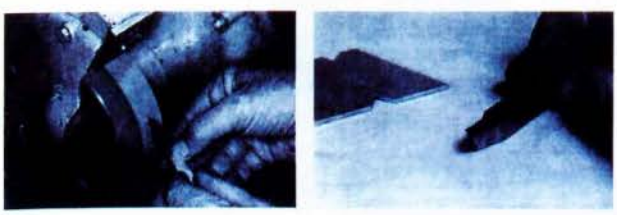
- Εκχόνδριση της κύριας επιφάνειας ελευθερίας (σχήμα 1.5ια)
- Έλεγχος της γωνίας ελευθερίας με ελεγκτήρα (σχήμα 1.5ια)
- Εκχόνδριση της δευτερεύουσας επιφάνειας ελευθερίας (σχήμα 1.5ιβ)
- Έλεγχος της γωνίας αποβλήτου (σχήμα 1.5ιβ)
- Φινίρισμα της ελεύθερης επιφάνειας
- Φινίρισμα της δευτερεύουσας επιφάνειας
- Εκχόνδριση της επιφάνειας αποβλήτου (σχήμα 1.5ιγ)
- Έλεγχος της γωνίας σφήνας (σχήμα 1.5ιγ)
- Στρογγύλεμα της κυρίας κοπτικής ακμής (σχήμα 1.5ιδ)

Σχήμα 1.5ια :Εκχόνδριση της κύριας επιφάνειας ελευθερίας και έλεγχος της γωνίας ελευθερίας.



Σχήμα 1.5ιβ :Εκχόνδριση της δευτερεύουσας επιφάνειας ελευθερίας και έλεγχος της γωνίας αποβλήτου.

Σχήμα 1.5ιγ :Εκχόνδριση της επιφάνειας αποβλήτου και έλεγχος της γωνίας σφήνας.

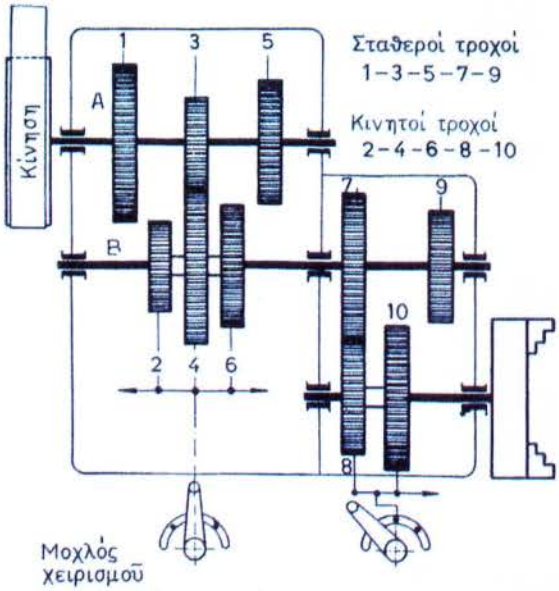


Σχήμα 1.5ιδ :Στρογγύλεμα της κύριας κοπτικής ακμής.

1.5.6 Διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων.

Όπως κάθε κοπτικό εργαλείο, έτσι και τα κοπτικά εργαλεία της τόρνευσης έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Με τον όρο **ζωή του εργαλείου** εννοούμε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το εργαλείο

έχει την δ



υνατότητα συνεχούς κοπής χωρίς να απαιτείται επανατροχισμός ή

αντικατάσταση του. Τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία ένα εργαλείο κρίνεται άχρηστο, καλούνται **κριτήρια αστοχίας.** Στην πράξη τα κριτήρια αστοχίας μπορεί να είναι τα ακόλουθα :

- Η ανώτερη επιτρεπτή τιμή για το πλάτος ζώνης φθοράς ή για το βάθος κρατήρα .
- Η ανώτερη τιμή της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας.
- Η επιτρεπόμενη ανοχή διαστάσεων στο κατεργασμένο τεμάχιο.
- Το προκαθορισμένο μέγιστο ποσοστό αύξησης των δυνάμεων ή της ισχύος κοπής.

Οι παράγοντες που επιδρούν σημαντικά στη διάρκεια ζωή του κοπτικού εργαλείου είναι :

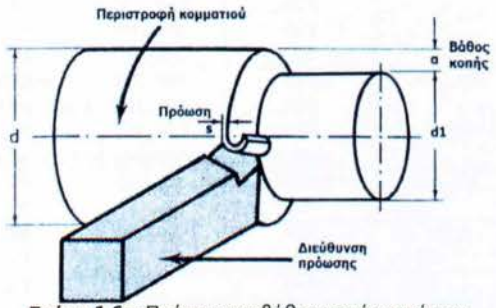
- Οι συνθήκες κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση και βάθος κοπής).
- Η γεωμετρία του εργαλείου.
- Το υλικό του εργαλείου.
- Το κατεργαζόμενο υλικό.
- το ψυκτικό υγρό κοπής.

Η βέλτιστη επιλογή των παραγόντων αυτών οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου με αποτέλεσμα την οικονομικότερη κατεργασία.

1.6 Χαρακτηριστικά στοιχεία κατεργασίας στον τόρνο.

1.6.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία κοπής.

Τα κύρια χαρακτηριστικά στοιχεία κοπής κατα την τόρνευση είναι ή ταχύτητα κοπής $\mathbf{V_K}$, ή πρόωση **S** και το βάθος κοπής **α** (σχήμα 1.6α).



Σχήμα 1.6α :Πρόωση και βάθος κοπής κατά την τόρνευση.

α) Ταχύτητα κοπής.

Είναι ή περιφερειακή ταχύτητα του κομματιού που τορνεύεται. Υπολογίζεται με βάση τη διάμετρο **d** που είχε το κομμάτι πριν από την τόρνευση και εκφράζεται σε μέτρα ανά λεπτό **(m/min)** . Η αχύτητα

κοπής δίνεται από την σχέση :

(m/min)

όπου:

d : Η διάμετρος του κομματιού σε mm

η : Οι στροφές της ατράκτου και του κομματιού ανά λεπτό σε στροφές/λεπτό ή rpm.

Ο πίνακας 1.3 δίνει ενδεικτικές τιμές της ταχύτητας κοπής, για ξεχόνδρισμα με κοπτικό εργαλείο από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο.

Πίνακας 1.3 : Ενδεικτικές τιμές ταχυτήτων κοπής U_{60}, U_{240} και U_{480} ξεχόνδρισμα σε τόρνο με εργαλεία από ταχυχάλυβα (SS) και σκληρομέταλλο (HM).

ΥΛΙΚΟ	σ_B (Kp/mm^2)	Υλικό Εργαλείου	U_{60} (m/min)	U_{240} (m/min)	U_{480} (m/min)
Ανθρακούχος Χάλυβας C35 (C:0.35%)	55...65	P10	160...200	120...140	80...100
		P20	150...180	100...120	60...80
		P30	120...150	70...90	50...60
		SS	40...50	30...35	--
Ανθρακούχος Χάλυβας C 45 (C:0.45%)	65...75	P10	150...180	110...130	--
		P20	120...150	90...110	60...70
		P30	100...120	60...80	50...60
		SS	35...40	28...33	--
Ανθρακούχος Χάλυβας C 60 (C:0.60%)	75...90	P10	110...130	70...90	50...60
		P20	90...110	50...60	--
		P30	70...90	30...40	--
		SS	25...30	18...22	--
Χάλυβας Mn-Si (37 Mπ Si 5)	80...90	P10	150...170	100...120	70...80
		P20	120...140	80...100	60...70
		P30	90...110	60...70	35...45
		SS	20...25	15...20	--
Χάλυβας Cr-Mo (24 Cr Mo 4)	80...90	P10	140...160	90...110	70...80
		P20	110...130	70...90	60...70
		P30	80...100	40...60	35...45
		SS	20...25	15...20	--
Χάλυβες Ενανθράκωσης	50...70	P10	160...200	110...140	70...100
		P20	140...180	100...130	60...90
		P30	120...160	70...130	--
		SS	40...50	30...45	--
Χυτοσίδηρος (GG 18)	15...20	K10	80...120	60...90	50...70
		SS	30...35	30...25	15...18
Χυτοσίδηρος (GG 26)	~26	K10	60...75	40...50	30...40
		SS	25...30	15...20	--
Χαλκός		K20	--	350...450	--
		SS		30...50	
Μπρούντζος		K20	--	300...400	--
		SS		35...50	
Χυτός μπρούντζος		K20	--	250...350	--
		SS		30...45	
Κράμα Al		K20	--	200...500	--
		SS		30...60	
Κράμα Al-Si		K20	--	100...160	--
		SS		20...50	

β) Πρόωση-Ταχύτητα πρόωσης.

Πρόωση είναι η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου σε κάθε στροφή του κομματιού. Συμβολίζεται με το **s** και εκφράζεται σε χιλιοστά ανα **στροφή(mm/στροφή)**, (σχήμα 1.6α).

Ταχύτητα πρόωσης (S) είναι η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου σε κάθε λεπτό και εκφράζεται σε χιλιοστά ανά λεπτό **(mm/min).**

Η ταχύτητα πρόωσης συνδέεται με την πρόωση με την ακόλουθη σχέση:

$$S = s * n \text{ (mm/min)}$$

όπου :

n : Στροφές της ατράκτου ανά λεπτό (στροφές / λεπτό ή rpm)

γ) Βάθος κοπής.

Είναι η απόσταση της ακατέργαστης από την κατεργασμένη επιφάνεια και μετριέται ακτινικά. Συμβολίζεται με το γράμμα **α** και εκφράζεται σε χιλιοστά **(mm)** (σχήμα 1.6α). Είναι:

$$a = \frac{d - d_1}{2} (mm)$$

οπου:
d : διάμετρος ακατέργαστης επιφάνειας σε **mm**
d_1: διάμετρος κατεργασμένης επιφάνειας σε **mm**

δ) Χρόνος κατεργασίας.

Ο χρόνος κατεργασίας t_n είναι ίσος με το πηλίκον του μήκους κατεργασίας **L** προς την ταχύτητα πρόωσης **S** και εκφράζει τον απαιτούμενο χρόνο για να διανύσει το κοπτικό εργαλείο το συγκεκριμένο μήκος κατεργασίας.

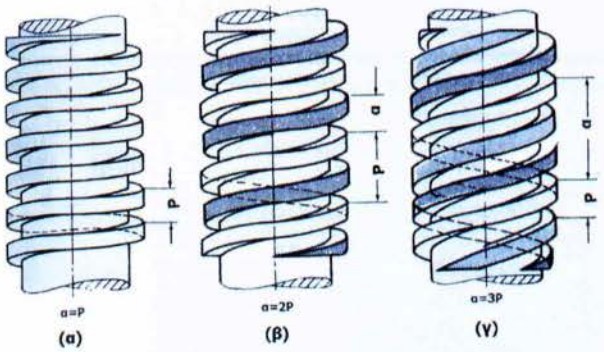
$$t_1 = \frac{L}{S} = \frac{L}{s \cdot n} (min)$$

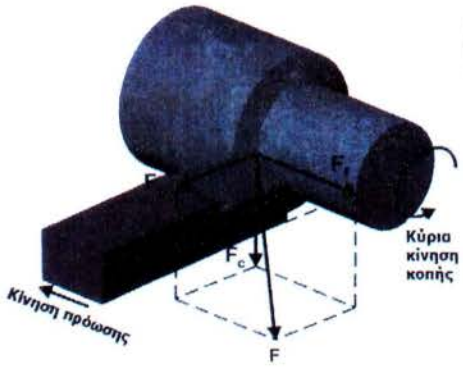
όπου:

L : Μήκος κατεργασίας σε **mm**
S :Ταχύτητα πρόωσης σε **mm/min**
s : Πρόωση σε **mm/στροφή**
n : Στροφές της ατράκτου ανα λεπτό **(στροφές / λεπτό ή rpm)**

ε) Δυνάμεις και ισχύς κοπής.

Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας τόρνευσης αναπτύσσονται δυνάμεις στο κοπτικό εργαλείο. Η συνισταμένη δύναμη κοπής , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.17 , μπορεί να αναλυθεί σε τρεις συνιστώσες σε ένα σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων.





Σχήμα 1.6β :Δυνάμεις κοπής κατά την τόρνευση.

Η **κύρια δύναμη κοπής** F_c έχει διεύθυνση εφαπτομενική προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια και είναι η μεγαλύτερη από τις τρεις συνιστώσες της δύναμης κοπής.
Η συνιστώσα F_p καλείται **δύναμη πρόωσης** και έχει διεύθυνση ίδια με την διεύθυνση της πρόωσης.

Η συνιστώσα F_f καλείται παθητική δύναμη ή δύναμη απώθησης ή δύναμη αντίδρασης και έχει διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα του κατεργαζόμενου κομματιού.
Ανάμεσα στις τρεις αυτές συνιστώσες ισχύει η προσεγγιστική σχέση :

$$F_c : F_f : F_p = 5:1:2$$

Η συνισταμένη δύναμη κοπής F δίνεται από την σχέση :

$$F = \sqrt{(F_c^2 + F_f^2 + F_p^2)}$$

Η κύρια δύναμη κοπής δίνεται από την σχέση:

$$F_c = \frac{\alpha}{} \cdot Ks_{1,1} \cdot h^{(1-z)}$$

όπου :

- α : Βάθος κοπής σε **mm**
- $Ks_{1,1}$: Ειδική αντίσταση κοπής σε **Kp/mm²**
- κ : Γωνία τοποθέτησης της κύριας κόψης του κοπτικού εργαλείου(ως προς διεύθυνση της πρόωσης) σε **μοίρες**
- h : Πάχος του αποβλήτου σε **mm**
- Z : Σταθερά

Το πάχος του αποβλήτου δίνεται από την σχέση:

$$h = s \cdot \eta\mu\kappa$$

όπου :

s : Πρόωση σε **mm/στροφή**

Στον πίνακα 1.4 δίνονται τιμές της ειδικής αντίστασης κοπής $Ks_{1,1}$ και της σταθεράς Z.

Πίνακας 1.4: Τιμές της ειδικής αντίστασης κοπής $Ks_{1,1}$ (Kp/mm²) και της σταθεράς Z

Υλικό τεμαχίου	Z	Ks_M	Υλικό τεμαχίου	Z	Ks_M	Υλικό τεμαχίου	Z	Ks_M
St34,St37,St42	0.17	178	18 CrNi6	0.30	226	GGL-15	0.21	95
St50	0.26	199	20 MnCr5	0.25	214	GGL-20	0.25	102
St60	0.17	211	25 CrMo4	0.25	207	GGL-25	0.26	116
St70	0.30	226	41 Cr4	0.25	207	GS-45	0.17	160
C15	0.22	182	30 CrNiMo8	0.20	260	GS-52	0.17	178
C35	0.20	186	34 CrMo4	0.21	224	Σκληρός Χυτοσίδηρος	0.19	206
CK45	0.14	222	37 MnV7	0.26	181	Κρατέρωμα	0.17	178
CK60	0.18	213	37 MnSi5	0.20	226	Ορείχαλκος	0.18	78
15 CrMo5	0.17	229	42 CrMo4	0.26	250	Κράματα Mg	0.19	28
16 MnCr5	0.26	210	50 CrV4	0.26	222			

Η ισχύς κοπής $N_κ$ δίνεται από την σχέση :

$$N_{\kappa} = \frac{F \cdot V_{\kappa}}{6120} (KW)$$

οπου :

F : Δύναμη κοπής σε **Kp**
$V_κ$: Ταχύτητα κοπής σε **m/min**

1.6.2 Επιλογή των χαρακτηριστικών κοπής.

Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερες τιμές έχουν η ταχύτητα κοπής, η πρόωση και το βάθος κοπής, τόσο πιο μικρός είναι ο χρόνος κατεργασίας και κατά συνέπεια τόσο πιο μικρό είναι το κόστος του παραγόμενου εξαρτήματος.

Τις περισσότερες όμως φορές υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην επιλογή των τιμών.

Ειδικότερα:

1. Κατά την τελική κατεργασία (αποπεράτωση) πρέπει αναγκαστικά να επιλέξουμε μικρή πρόωση και μικρό βάθος κοπής για να επιτύχουμε λεία και καθαρή επιφάνεια μικρής

τραχύτητας. Έτσι η μόνη δυνατότητα που μας απομένει είναι η αύξηση της ταχύτητας κοπής.

2. Το βάθος κοπής κατά το ξεχόνδρισμα μπορεί να αυξηθεί στα μεγαλύτερα επιτρεπτά όρια.
3. Σχετικά με την ταχύτητα κοπής, πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:
   - Η ποιότητα του κοπτικού εργαλείου.
   - Η σκληρότητα του κομματιού.
   - Η ισχύς, η στιβαρότητα και ο βαθμός φθοράς του τόρνου.
   - Η ασφαλής ή μη συγκράτηση του κομματιού στον τόρνο.
   - Η διάρκεια ζωής του εργαλείου.
   - Η χρησιμοποίηση ή μη ψυκτικού υγρού.

Για εργασίες ξεχονδρίσματος η πρόωση πρέπει να είναι χονδρικά το **1/5** του βάθους κοπής. Στον **πίνακα 1.4** δίνονται ενδεικτικές τιμές πρόωσης και βάθους για ξεχόνδρισμα και τελική κατεργασία.

Πίνακας 1.4 Ενδεικτικά όρια διακύμανσης της πρόωσης και του βάθους για ξεχόνδρισμα και τελική κατεργασία

Χαρακτηριστικά κοπής	Είδος κατεργασίας	
	Ξεχόνδρισμα	Αποπεράτωση
Βάθος κοπής mm	3...10	0.4...1
Πρόωση mm/στρ	0.3...1	0.05...0.21

8.6.3 Παραδείγματα - Εφαρμογές.

- **Παράδειγμα 1.**

Πρόκειται να τορνευθεί ένας κύλινδρος διαμέτρου **d = 200 mm** και μήκους **L = 485 mm** με κοπτικό εργαλείο από ταχυχάλυβα, με ταχύτητα κοπής V_K = **25 m/min** και πρόωση **S = 0,3 mm/στροφή**. Με πόσες στροφές πρέπει να εργαστεί ο τόρνος και πόσος θα είναι ο καθαρός χρόνος κοπής;

Λύση

$$V_k = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot V_k}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 200} = 39,80 \approx 40 \sigma\tau\rho$$

$$t_n = \frac{L}{S} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{485}{0,3 \cdot 40} = 40,41 min$$

- **Παράδειγμα 2.**

Πρόκειται να γίνει εκχόνδριση με τα παρακάτω δεδομένα:

- Υλικό άξονα από χάλυβα αντοχής **85 kp/mm²**

- Διάμετρος άξονα **76 mm (τελική 74 mm)**
- Μήκος τόρνευσης **380 mm**
- Κοπτικό εργαλείο τύπου **P30** (σκληρομέταλλο)
- Διάρκεια ζωής εργαλείου τουλάχιστον **4 ώρες (240 min)**

Να καθορισθούν οι συνθήκες κοπής (**$V_κ$,s ,α,n)** και ο καθαρός χρόνος κοπής **t_n.**

Λύση

Από τον **πίνακα 1.3** ταχυτήτων κοπής, για υλικό τεμαχίου από ανθρακούχο χάλυβα αντοχής **$σ_B$ = 85 kp/mm²** και κοπτικό εργαλείο από σκληρομέτταλλο τύπου **P30** για διάρκεια ζωής **240 min** , επιλέγουμε ταχύτητα κοπής **$V_κ$** (**U_{240}**) μεταξύ των προτεινόμενων τιμών **30 έως 40 m/min**.

Δεχόμαστε την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για την επίτευξη του μικρότερου δυνατού χρόνου κατεργασίας , δηλαδή **$V_κ$=40 m/min.**

Οι στροφές της ατράκτου δίνονται από την σχέση :

$$V_κ = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot V_κ}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 40}{3.14 \cdot 76} = 167.61 \approx 168 \text{ στρ}$$

Η πρόωση **s** με βάση τον **πίνακα 1.4** επιλέγεται με κριτήριο την μέτρια καταπόνηση του κοπτικού εργαλείου ίση με **0.6 mm/στρ.**

Το βάθος κοπής υπολογίζεται από την σχέση :

$$a = \frac{d - d_1}{2} = \frac{76 - 74}{2} = 1 \text{ mm}$$

Ο καθαρός χρόνος κοπής υπολογίζεται από την σχέση :

$$t_n = \frac{L}{S} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{380}{0.6 \cdot 168} = 3.76 \text{ min}$$

1.7 Κωνική Τόρνευση.

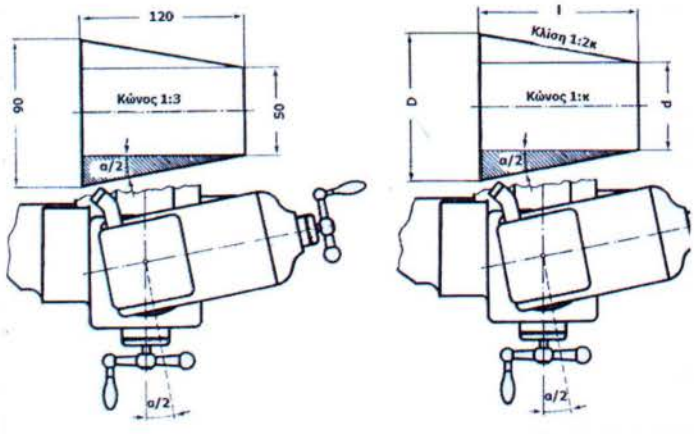
Η διαμόρφωση μιας κωνικής επιφάνειας στον τόρνο καλείται **κωνική τόρνευση**.Στην τόρνευση κυλινδρικών επιφανειών , το κοπτικό εργαλείο κινείται παράλληλα προς την αξονική της ατράκτου.Στην κωνική τόρνευση , το κοπτικό εργαλείο κινείται πάνω σε έναν άξονα που τέμνει την αξονική της ατράκτου.Η κωνική τόρνευση μπορεί να επιτευχθεί και με κίνηση του εργαλείου παράλληλη προς την αξονική της ατράκτου εάν ο άξονας του κομματιού έχει κλίση προς το κρεβάτι του τόρνου.

Κωνική τόρνευση γίνεται στις μηχανουργικές κατασκευές με σκοπό την σφήνωση δύο κομματιών , την επίτευξη στεγανότητας ή την βαθμιαία μεταβολή της διαμέτρου μιας κυλινδρικής επιφάνειας.

α) Κωνικότητα.

Ονομάζεται ή μεταβολή της διαμέτρου του κώνου που αντιστοιχεί στη μονάδα μήκους του τεμαχίου και συμβολίζεται με **1/κ** όπου :

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{D-d}{l}$$



Σχήμα 1.7α :Γεωμετρικά στοιχεία κώνου.

Στο σχήμα 1.7α παρατηρούμε ότι σε μήκος 120 mm στην διεύθυνση της αξονικής της ατράκτου η διάμετρος μεταβάλλεται κατά 90 - 50 = 40 mm. Άρα η κωνικότητα είναι :

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{D-d}{l} = \frac{90-50}{120} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3}$$

Η ημιγωνία **α/2** της κορυφής του κώνου , που είναι και η γωνία στροφής του εγαλειοφορείου , προκύπτει από την τριγωνομετρική σχέση:

$$\varepsilon\phi\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{D-d}{2\cdot l}$$

Για μικρές γωνίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η προσεγγιστική σχέση :

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2\cdot l}\cdot 29$$

β) Κλίση του κώνου.

Ονομάζεται η μεταβολή της ακτίνας του κώνου στη μονάδα μήκους στην κατεύθυνση του άξονα τόρνευσης.

$$\frac{1}{i} = \frac{\frac{D}{2}-\frac{d}{2}}{l} = \frac{D-d}{2l} = \varepsilon\phi\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{1}{2\cdot\kappa}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει πώς η κωνικότητα είναι διπλάσια από την κλίση και την

εφαπτομένη της ημιγωνίας του κώνου :

Στα σχέδια των μηχανολογικών κατασκευών , για τον σχεδιασμό των κωνικών επιφανειών , χρησιμοποιείται κατα κανόνα η κωνικότητα και όχι η κλίση.

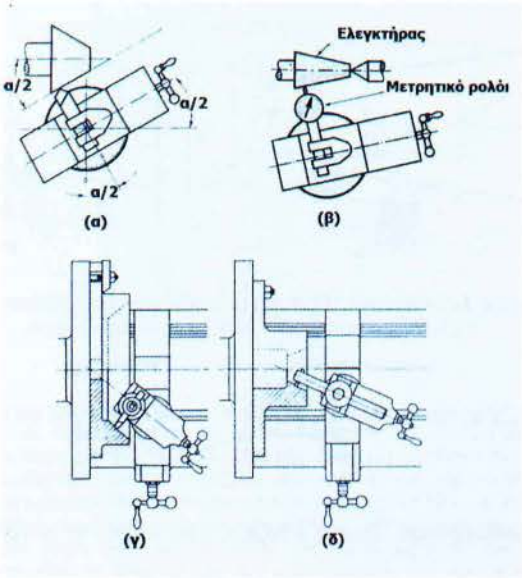
1.7.1 Τρόποι κωνικής τόρνευσης.

Η κωνική τόρνευση στον τόρνο γενικής χρήσης μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- Με **στροφή του φορείου του εργαλειοδέτη** και κίνηση του εργαλείου από τη νέα θέση του εργαλειοδέτη.
- Με **εγκάρσια μετάθεση του κεντροφορέα** (μόνο για εξωτερικούς κώνους).
- Με χρησιμοποίηση **της συσκευής κωνικής αντιγραφής του τόρνου.** Και στις τρείς περιπτώσεις κωνικής τόρνευσης πρέπει η αιχμή του εργαλείου να βρίσκεται στο ύψος της αξονικής της ατράκτου για την ακριβή απόδοση της κωνικής επιφάνειας.

α) Στροφή του φορείου του εργαλειοδέτη (σχήμα 1.7β(α)).

Με τη βοήθεια του μοιρογνωμονίου που υπάρχει στη βάση του εργαλειοδέτη, στρέφεται το φορείο του κατά την ημιγωνία **α/2** του κώνου.



Σχήμα 1.7β :Κωνική τόρνευση με στροφή του φορείου του εργαλειοδέτη.
α)Εξωτερική τόρνευση β)Στροφή του φορείου με ελεγκτήρα και μετρητικό ρολόι γ)Εσωτερική τόρνευση μεγάλης διαμέτρου χωρίς μανέλα δ) Εσωτερική τόρνευση μικρής διαμέτρου με μανέλα εσωτερικής τόρνευσης.

Το κοπτικό εργαλείο , που κινείται με το χειρομοχλό του κοχλία του φορείου, μετατοπίζεται παράλληλα πρός τη γενέτειρα του κώνου που θέλουμε να διαμορφώσουμε.

Αν υπάρχει ένα έτοιμο σωστό κωνικό κομμάτι ή ένας πρότυπος κώνος (ελεγκτήρας), τότε τον δένουμε στα κέντρα και ρυθμίζουμε την κλίση του φορείου με τη βοήθεια μετρητικού ρολογιού με αντιγραφή όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7β(β).

- **Πλεονεκτήματα της μεθόδου.**

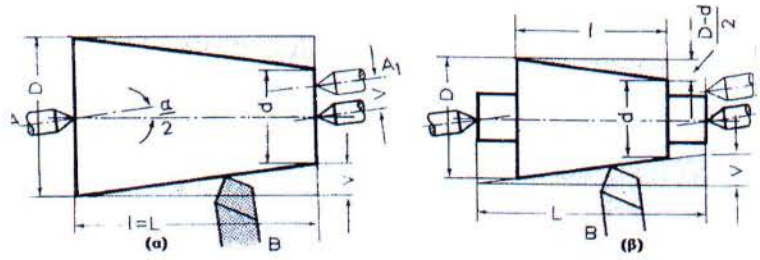
- Η μέθοδος αυτή είναι εύκολη και σύντομη.
- Μπορεί να κατασκευασθεί κώνος με οποιαδήποτε γωνία.

- **Μειονεκτήματα της μεθόδου.**

- Η πρόωση γίνεται με το χέρι και όχι αυτόματα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να παραχθεί εύκολα λεία (καθαρή) επιφάνεια καλής ποιότητας.
- Το μεγαλύτερο μήκος του κώνου που μπορεί να παραχθεί περιορίζεται από την διαδρομή του φορείου του εργαλειοδέτη.

β) Με εγκάρσια μετάθεση του κεντροφορέα (σχήμα 1.7γ).

Με τη μέθοδο αυτή το κομμάτι δένεται ανάμεσα στην πόντα της ατράκτου και την πόντα του κεντροφορέα. Με τη βοήθεια του κοχλία **Μ** (σχήμα 1.3ια) μετατοπίζεται ο κεντροφορέας μαζί με το κομμάτι τόσο, ώστε η γενέτειρα του τελικού κώνου που θα προκύψει να είναι παράλληλη προς τον άξονα του τραπεζιού του τόρνου **Α-Α1** , δηλαδή πρός την κατεύθυνση κίνησης του κοπτικού εργαλείου **Β** , (σχήμα 1.7γ).



Σχήμα 1.7γ :Κωνική τόρνευση με μετάθεση του κεντροφορέα.
α)Ολόσωμος κώνος β)Κώνος με κυλινδρικά άκρα.

Από το σχήμα 1.7γ(α) προκύπτει ότι η μετάθεση του κεντροφορέα για ολόσωμο κώνο είναι:

$$V = \frac{D-d}{2}$$

Για κώνο με κυλινδρικά άκρα , (σχήμα 1.7γ(β)) , η μετάθεση του κεντροφορέα είναι:

$$V = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{L}{l}$$

Ο νέος άξονας περιστροφής **Α-Α$_1$** του κομματιού σχηματίζει με τον νοητό άξονα του τόρνου **Α-Α** γωνία **α/2.**

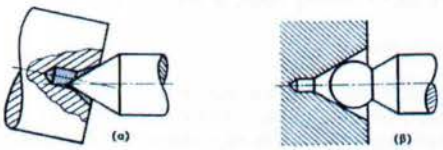
- **Πλεονεκτήματα της μεθόδου.**

- Το μήκος του κώνου μπορεί να γίνει όσο και το μέγιστο μήκος τόρνευσης μεταξύ κέντρων.
- Η πρόωση του κοπτικού εργαλείου γίνεται αυτόματα από το εργαλειοφορείο, με συνέπεια να

αποδίδεται καθαρή και ομαλή επιφάνεια καλής ποιότητας.

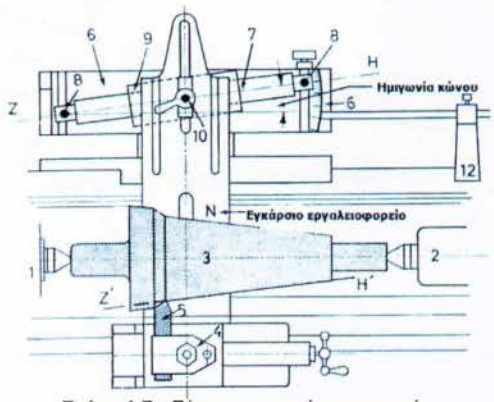
- **Μειονεκτήματα της μεθόδου.**

- Η εγκάρσια μετάθεση του κεντροφορέα είναι περιορισμένη, με συνέπεια να μήν μπορεί να γίνει κώνος με σχετικά μεγάλες γωνίες.
- Η έδραση των κέντρων (πόντες) είναι αντικανονική και μονόπλευρη (σχήμα 1.δ(α)).Το μειονέκτημα αυτό , όταν η μετάθεση του κεντροφορέα είναι μεγάλη , αντιμετωπίζεται με χρησιμοποίηση πόντας με σφαιρικό άκρο (σχήμα 1.δ(β)).
- Μετά το τέλος της κατεργασίας και την επαναφορά του κεντροφορέα στην κανονική του θέση, χρειάζεται προσεκτικός έλεγχος γιά τη σύμπτωση του νοητού άξονα του κεντροφορέα με το νοητό άξονα της ατράκτου.



Σχήμα 1.7δ :Συγκράτηση στις πόντες με μετάθεση του κεντροφορέα.
α)Κοινή πόντα β)Σφαιρική πόντα

γ) Κωνική τόρνευση με σύστημα αντιγραφής (σχήμα 1.7ε).



Σχήμα 1.7ε :Σύστημα κωνικής αντιγραφής.

Ο τρόπος αυτός της κωνικής τόρνευσης λέγεται τόρνευση με σύστημα αντιγραφής γιατί το κοπτικό εργαλείο του τόρνου αντιγράφει την κλίση που δίνεται στον οδηγό της κωνικότητας.
Το συγκρότημα κωνικής αντιγραφής στηρίζεται στο κρεβάτι του τόρνου στην πλευρά που βρίσκεται απέναντι από τον τεχνίτη και στερεώνεται με το βραχίονα **12** στην κατάλληλη θέση.

Επάνω στην πλάκα του συγκροτήματος στηρίζεται ο οδηγός κωνικότητας **7**. Ο οδηγός αυτός ρυθμίζεται κάθε φορά, ώστε να έχει κλίση υπό γωνία ως πρός τον νοητό άξονα του τόρνου και σταθεροποιείται με τους κοχλίες **8**. Για τη ρύθμιση της γωνίας κωνικότητας είναι χαραγμένες στην πλάκα **6** υποδιαιρέσεις σε μοίρες από το ένα μέρος και σε κλίσεις από το άλλο.

Για να λειτουργήσει το συγκρότημα που περιγράφεται πρέπει να αποδεσμευθεί ο κοχλίας

εγκάρσιας κίνησης του εργαλειοφορείου **Ν** από το περικόχλιό του που βρίσκεται στο φορείο της εγκάρσιας κίνησης. Με τον τρόπο αυτό το εργαλειοφορείο κινείται εγκάρσια ελεύθερα και δεν υπακούει στον έλεγχο της κίνησής του από το χειριστήριο εγκάρσιας πρόωσης.

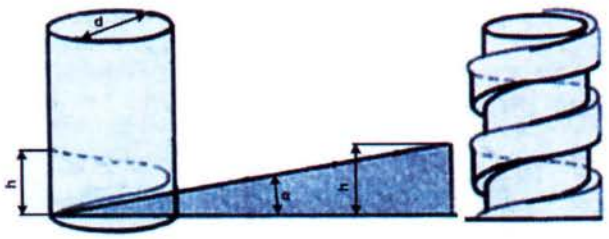
Μετά την σταθεροποίηση του οδηγού **7** , το εργαλείο **5** ακολουθεί την κίνηση του εγκάρσιου φορείου **Ν** που είναι στερεωμένο στο σύστημα αντιγραφής με τη βοήθεια του περικοχλίου **10**. Κατά την κίνησή του το κοπτικό εργαλείο ακολουθεί την πορεία **ΖΗ'** που είναι παράλληλη με την κλίση της γλίστρας-οδηγού **7**, δηλαδή είναι παράλληλη προς την **ΖΗ** και με κλίση προς το νοητό άξονα ίση με την κλίση του υπό κατεργασία κώνου.

Η πρόωση του εργαλείου μπορεί να γίνει αυτόματα. Η γωνία και το μήκος του κώνου περιορίζονται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος αντιγραφής.

1.8 Τα σπειρώματα και η κοπή τους στον τόρνο.

1.8.1 Γενικά περί σπειρωμάτων.

Πολλά στοιχεία μηχανών που χρησιμοποιούνται για σύνδεση , όπως είναι οι κοχλίες , ή για μεταφορά κίνησης , όπως είναι ο κοχλίας σπειρωμάτων στον τόρνο , φέρουν **σπείρωμα**. Τα σπειρώματα έχουν ελικοειδή μορφή και η αρχή κατασκευής τους φαίνεται στο σχήμα 1.8α.



Σχήμα 1.8α :Ελικοειδής μορφή σπειρώματος.

α) Διάκριση σπειρωμάτων

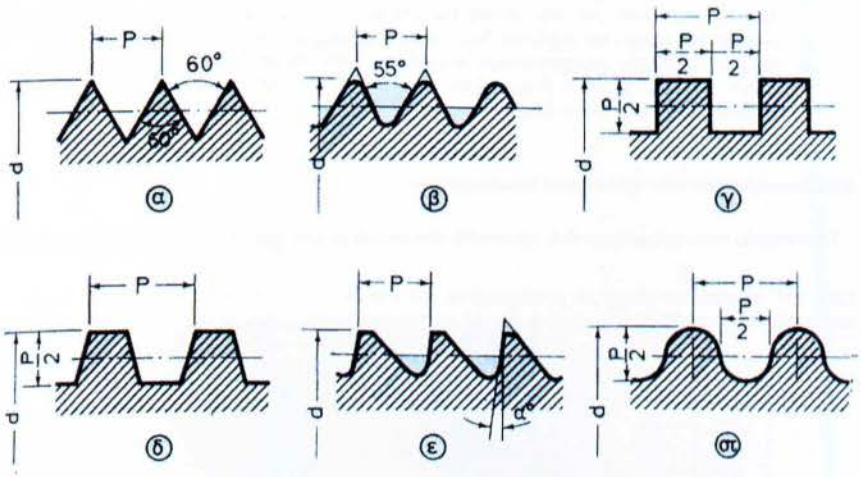
Τα σπειρώματα , με βάση τον αριθμό των αρχών τους διακρίνονται , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8β , σε

Σχήμα 1.8β :Σπειρώματα με μία και πολλές αρχές
α)Με μία αρχή β) Με δύο αρχές γ)Με τρεις αρχές

- Σπειρώματα με μία αρχή.
- Σπειρώματα με πολλές αρχές.

Ανάλογα με την μορφή τους διακρίνονται, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8γ , σε :

- Τριγωνικά
- Ορθογωνικά
- Τραπεζοειδή
- Πριονωτά
- Κυκλικά



Σχήμα 1.8γ :Μορφές σπειρωμάτων.
α,β)Τριγωνικά γ)Ορθογωνικό δ)Τραπεζοειδές ε)Πριονωτό στ)Ημικυκλικό

Ανάλογα με την φορά της ελίκωσής τους διακρίνονται σε :

- Δεξιόστροφα
- Αριστερόστροφα

Ανάλογα με την θέση του σπειρώματος τους διακρίνονται σε :

- Εξωτερικά (π.χ κοχλίας)
- Εσωτερικά (π.χ περικόχλιο)

Ανάλογα με την χρήση τους τα σπειρώματα τους διακρίνονται σε :

- **Σπειρώματα σύνδεσης.**

  Έχουν τη μεγαλύτερη χρήση και διάδοση. Είναι κατά κύριο λόγο **τριγωνικά,** γιατί ή κατασκευή τους και ο έλεγχος της ακρίβειάς τους γίνονται ευκολότερα σε σύγκριση με τα σπειρώματα άλλων μορφών. Διακρίνονται σε :

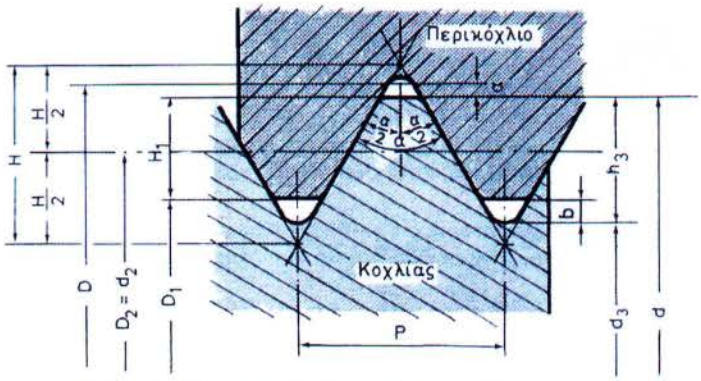
  - Κανονικά σπειρώματα σύνδεσης κοχλιών και περικοχλίων.
  - Σπειρώματα κατασκευών με μικρό βήμα σε σχέση με την διάμετρό τους για την εξυπηρέτηση ειδικών κατασκευαστικών αναγκών.
  - Σπειρώματα σωληνώσεων υε μικρό βάθος και βήμα λόγω του μικρού πάχους του τοιχώματος των σωλήνων. Ο συνδυασμός αυτός εξυπηρετεί και την ανάγκη στεγανότητας που απαιτείται στις σωληνώσεις.

- **Σπειρώματα κίνησης.**

  Χρησιμεύουν είτε για την μεταφορά κίνησης , που κατά κανόνα συνδυάζεται με μεταβίβαση έργου και μεγάλων δυνάμεων (πρέσες, ανυψωτικά μηχανήματα κ.λ.π.), είτε για την απόδοση μικρομετρικών κινήσεων. Στην πρώτη περίπτωση τα σπειρώματα έχουν σχετικά μεγάλο βήμα. Στη δεύτερη περίπτωση έχουν μεγάλη ονομαστική διάμετρο και πολύ μικρό βήμα .

β)Χαρακτηριστικά των τριγωνικών σπειρωμάτων.

Τα στοιχεία που καθορίζουν ένα τριγωνικό σπείρωμα με μια αρχή είναι τα εξής (σχήμα 1.8δ):



Σχήμα 1.8δ :Χαρακτηριστικά στοιχεία τριγωνικών σπειρωμάτων.

- **Η ονομαστική διάμετρος του σπειρώματος (d για τον κοχλία ή D για το περικόχλιο.**

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η εξωτερική διάμετρος είναι η απόσταση των κορυφών του σπειρώματος του κοχλία ή η απόσταση των εσοχών του σπειρώματος του περικοχλίου από την αξονική τους.

- **Διάμετρος πυρήνα κοχλία ή εσωτερική διάμετρος περικοχλίου (d_3 ή D_1) .**

Αντίστοιχα προς τα προηγούμενα, είναι ή απόσταση των εσοχών του σπειρώματος του κοχλία ή η απόσταση των κορυφών του σπειρώματος του περικοχλίου από την αξονική τους.

- **Μέση διάμετρος σπειρώματος (d_2 ή D_2) .**

Είναι η απόσταση του μέσου των πλευρών του σπειρώματος από την αξονική του κοχλία ή του περικοχλίου.

- **Βήμα σπειρώματος (P) .**

Είναι η απόσταση δύο κορυφών ή εσοχών του σπειρώματος μετρούμενη παράλληλα προς την αξονική του κοχλία ή του περικοχλίου. Εκφράζει την αξονική μετατόπιση του κοχλία ή του περικοχλίου σε μία περιστροφή τους.

Στο αγγλοαμερικανικά σπειρώματα το βήμα εκφράζεται όχι σαν μήκος αλλά σαν αριθμός σπειρών Z ανά ίντσα. Αφού σε **1"=25.4 mm** αντιστοιχούν Z σπείρες , το αντίστοιχο βήμα σε **mm** δίνεται από την σχέση:

$$P = \frac{1"}{Z} = \frac{25,4}{Z} mm$$

- **Η κλίση της ελίκωσης (φ) .**

Είναι ή γωνία που σχηματίζει η ελίκωση του σπειρώματος ως προς το επίπεδο που είναι κάθετο στην αξονική του κοχλία ή του περικοχλίου. Η κλίση αυτή υπολογίζεται στην έλικα που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο d_2.
Ισχύει:

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$$

όπου :

P : Βήμα σπειρώματος **mm**

d_2 : Μέση διάμετρος σπειρώματος **mm**

- **Η γωνία των πλευρών (α) .**

Είναι ή γωνία που σχηματίζουν οι δύο πλευρές της τομής του τριγωνικού σπειρώματος.

- **Το ύψος κατατομής (H) .**

Είναι το ύψος του θεωρητικού τριγώνου, που σχηματίζει το σπείρωμα χωρίς τα αποκόμματα ή στρογγυλέματα στις κορυφές και τον πυρήνα.

- **Το βάθος του σπειρώματος (h_3) ·**

Είναι η απόσταση από την κορυφή μέχρι το βάθος της κατατομής του σπειρώματος .

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

$$h_2 = \frac{d - d_2}{2}$$

- Το βάθος επαφής τών δύο πλευρών κοχλία και περικοχλίου (H_1) .

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2}$$

- Η χάρη κορυφών (a και b).

Είναι τα διάκενα μεταξύ κοχλία περίκοχλίου στην εξωτερική και εσωτερική διάμετρο του κοχλία.

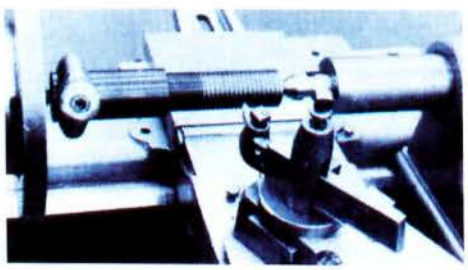
- **Η ακτίνα καμπυλότητας (R)** που βρίσκεται στο βάθος του σπειρώματος του κοχλία.

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των τριγωνικών σπειρωμάτων είναι οι εξής:

1. Το μετρικό σπείρωμα έχει όλες τις διαστάσεις σε **mm** και το τρίγωνο που δημιουργεί το σπείρωμα είναι ισόπλευρο **(γωνία α = 60°)**.
2. Το αγγλικό σπείρωμα έχει όλες τις διαστάσεις σε ίντσες και το τρίγωνο που δημιουργεί το σπείρωμα έχει γωνία κορυφής **α =55°**.
3. Το αμερικανικό σπείρωμα έχει όλες τις διαστάσεις έπίσης σε ίντσες και το τρίγωνο με γωνία κορυφής **α = 60°**.
4. Για την ίδια περίπου ονομαστική διάμετρο, τα μετρικά σπειρώματα είναι λεπτότερα, δηλαδή έχουν μικρότερο βήμα από τα αγγλικά και τα αμερικάνικα.

1.8.2 Κοπή και μέθοδοι κοπής σπειρωμάτων στον τόρνο.

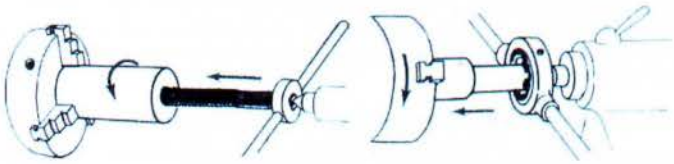
Τα σπειρώματα στην πράξη κατασκευάζονται είτε με παραμόρφωση είτε με κοπή, δηλαδή με αφαίρεση υλικού από τον κορμό του κοχλία ή την εσωτερική οπή του περικοχλίου (σχήμα 1.8ε). Στην περίπτωση της κοπής επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια.



Σχήμα 1.8ε :Κοπή εξωτερικού σπειρώματος στον τόρνο.

Είναι πολλοί οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να κοπεί ένα σπείρωμα στον τόρνο. Οι σπουδαιότεροι είναι:

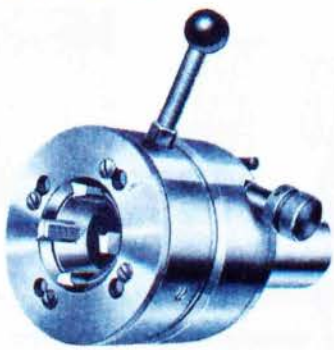
α) Με σπειροτόμο (κολαούζο) και βιδολόγο (φιλιέρα) (σχήμα 1.8στ).



Σχήμα Ι.8στ :Κοπή εξωτερικού σπειρώματος στον τόρνο.
Α)Εσωτερικό με σπειροτόμο β)Εξωτερικό με βιδολόγο

Ανάλογα με την περίπτωση, το κομμάτι (κοχλίας ή περικόχλιο) μπορεί να είναι δεμένο στο τσόκ ή στον κεντροφορέα και ο βιδολόγος ή ο σπειροτόμος αντίστοιχα στον κεντροφορέα ή στο τσόκ.

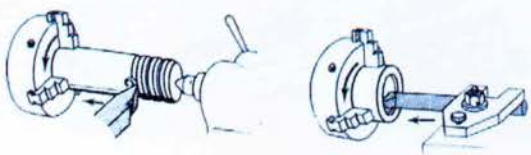
β) Με αυτοανοιγόμενο βιδολόγο (σχήμα 1.8ζ).



Σχήμα 1.8ζ :Αυτοανοιγόμενος βιδολόγος.

Ο βιδολόγος αυτός δέχεται σειρά (σετ ή τακίμια) από **4** σιαγόνες με σπείρωμα διαφόρων βημάτων, ώστε να καλύπτει ορισμένη περιοχή διαμέτρων. Χρησιμοποιείται πάρα πολύ σε τόρνους ρεβόλβερ για παραγωγή σε σειρά και αρκετά συχνά σε τόρνους γενικής χρήσης, όπου συνήθως προσαρμόζεται στον κεντροφορέα.

γ) Με κοπτικά εργαλεία που στερεώνονται στον εργαλειοδέτη (σχήμα 1.8η).



Σχήμα 1.8η. :Κοπή εξωτερικού και εσωτερικού τριγωνικού σπειρώματος.

Οι δύο προηγούμενοι τρόποι εφαρμόζονται κυρίως για τριγωνικά σπειρώματα και για περιορισμένη περιοχή διαμέτρων. Η κοπή με κοπτικό εργαλείο στον εργαλειοδέτη εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε περίπτωση, δηλαδή οποιαδήποτε και αν είναι η μορφή του σπειρώματος, το βήμα, το πλήθος των αρχών, η μορφή και το μέγεθος του κομματιού καθώς και η θέση του σπειρώματος πάνω στο κομμάτι.

1.8.3 Είδη εργαλείων και υλικά κατασκευής τους για κοπή σπειρωμάτων.

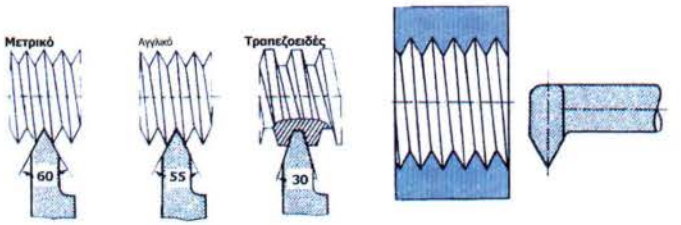
Για κοπή σπειρώματος με κοπτικά εργαλεία που δένονται στον εργαλειοδέτη χρησιμοποιούνται στην πράξη τα παρακάτω εργαλεία κοπής.

α) Εργαλεία από ταχυχάλυβα.

1. Κοινό κοπτικό εργαλείο (μαχαίρι για σπείρωμα).

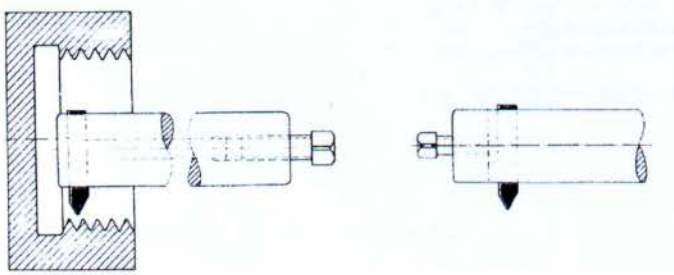
Φέρει γωνία αιχμής ανάλογη με τη μορφή του σπειρώματος (για τριγωνικά σπειρώματα 60° ή 55°). Η κοπή στην περίπτωση αυτή γίνεται με διαδοχικά περάσματα (πάσα).

Στο σχήμα 1.8θ φαίνεται η κοπή τριγωνικού σπειρώματος με κοπτικά εργαλεία τόρνου .



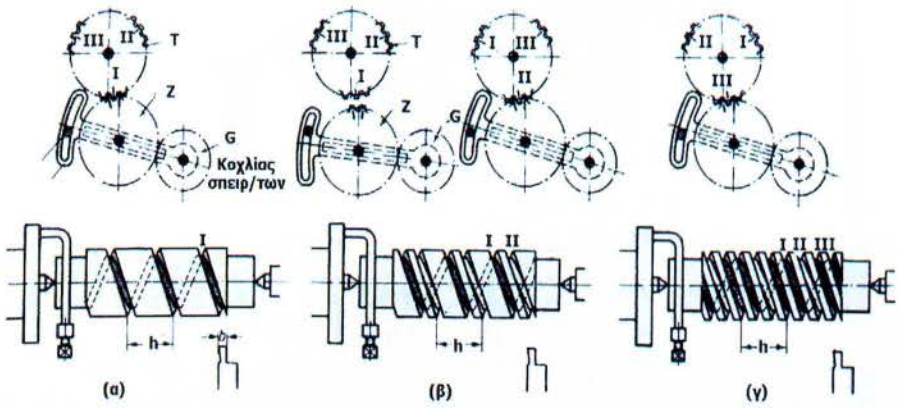
Σχήμα 1.8θ. :Κοπή εξωτερικού και εσωτερικού τριγωνικού σπειρώματος.

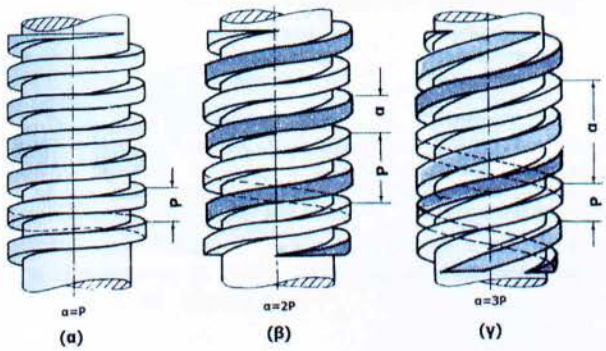
Για εσωτερικά τριγωνικά σπειρώματα χρησιμοποιούνται μανέλες, στρογγυλές ή τετραγωνικές με αξονική διεύθυνση πρόσδεσης , οι οποίες στο άκρο τους έχουν στερεωμένο το κοπτικό εργαλείο (σχήμα 1.8ι),

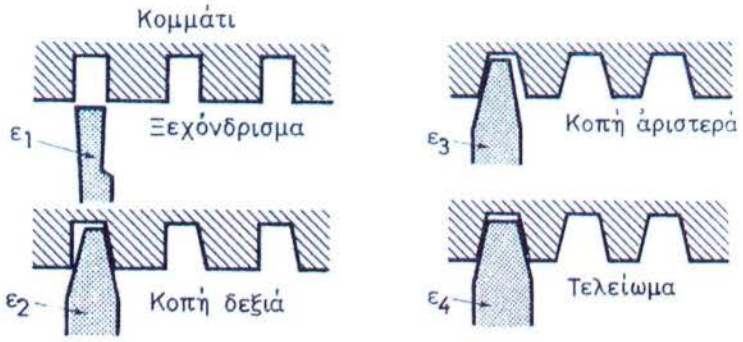


Σχήμα 1.8ι. :Κοπή εσωτερικού τριγωνικού σπειρώματος με εργαλεία στερεωμένα σε μανέλες εσωτερικής τόρνευσης.

2. Απλό, διπλό και πολλαπλό χτένι (σχήμα 1.8ια).

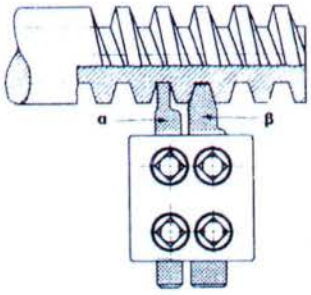






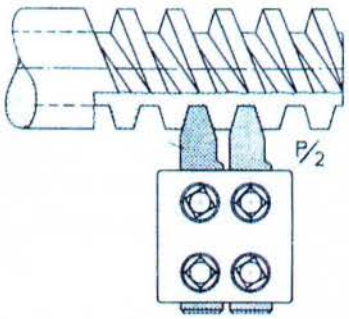
Σχήμα 1.8ιε. :Φάσεις κοπής τραπεζοειδούς σπειρώματος με μεγάλο βήμα .

Για μεσαία μεγέθη βημάτων μπορεί να γίνει συνδυασμός δύο εργαλείων από τα οποία το ένα κάνει ξεχόνδρισμα και το άλλο που ακολουθεί αποπεράτωση (σχήμα Ι-8ιστ(α) και (β))



Σχήμα Ι.8ιστ. :Χρήση εργαλείων.
α)Ξεχόνδρισμα β)Αποπεράτωση

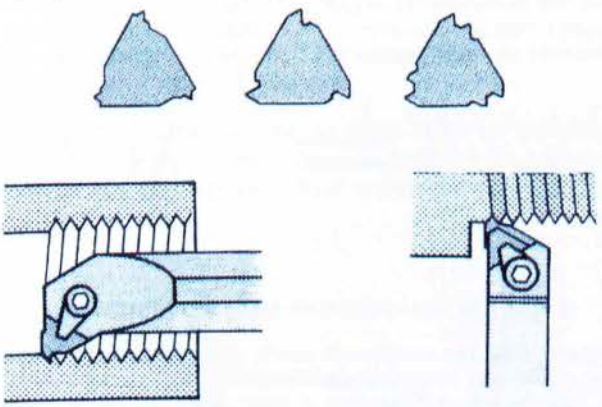
Επίσης γιό τραπεζοειδή σπειρώματα με δύο αρχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα δύο εργαλεία (σχήμα 1.8ιζ). ιδίως για ξεχόνδρισμα. Στην περίπτωση αυτή η απόσταση των μαχαιριών ισούται με το απόστημα των ελικώσεων , δηλαδή **P/2** όπου **P** το βήμα.



Σχήμα 1.8ιζ. :Χρήση δύο εργαλείων για κοπή τραπεζοειδούς σπειρώματος με δύο αρχές.

β) Εργαλεία από σκληρομέταλλο.

Τα εργαλεία από σκληρομέταλλο είναι ειδικά ένθετα πλακίδια μορφής που χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη βιομηχανική παραγωγή για κοπή σπειρωμάτων. Τα πλακίδια αυτά φέρουν μία, δύο ή τρεις κοπτικές αιχμές με τυποποιημένη μορφή ίδια με την κατατομή του σπειρώματος. Τα πλακίδια αυτά στερεώνονται σε ειδικές μανέλες. Στο εμπόριο προσφέρονται πλακίδια για τριγωνικά μετρικά γωνίας **60°**, για αγγλικά σπειρώματα **Γουίτγουερθ** γωνίας **55°** και για σπειρώματα σωλήνων.
Στο σχήμα 1.8ιη φαίνονται ένθετα πλακίδια με μία ή δύο κοπτικές αιχμές και αντίστοιχες μανέλες συγκράτησης για εξωτερικά και εσωτερικά σπειρώματα.



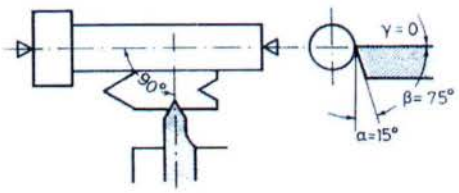
Σχήμα 1.8ιη :Ένθετα πλακίδια και μανέλες συγκράτησης για εσωτερική και εξωτερική σπειροτόμηση.

1.8.4 Προετοιμασία για την κοπή σπειρώματος.

Πριν από την κοπή του σπειρώματος πρέπει να γίνεται η εξής προετοιμασία:

α) Κεντράρισμα του κοπτικού εργαλείου.

Το κοπτικό εργαλείο δένεται στον εργαλειοδέτη με τέτοιο τρόπο , ώστε η διχοτόμος της γωνίας αιχμής του να είναι κάθετη προς το νοητό άξονα του κομματιού (σχήμα 1.8ιθ).



Σχήμα Ι.8ιθ :Θέση κοπτικού εργαλείου ως προς το κομμάτι.

Για την σωστή τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου τοποθετείται ένας ελεγκτήρας σπειρωμάτων επάνω στο κυλινδρικό κομμάτι κατά την γενέτειρά του και το κοπτικό εργαλείο πλησιάζει και εφαρμόζει στην εγκοπή του ελεγκτήρα. Ταυτόχρονα η αιχμή του κοπτικού εργαλείου πρέπει να βρίσκεται ακριβώς στο ύψος του νοητού άξονα του κομματιού.

β) Όριο βάθους και ξεθύμασμα.

Εφόσον δεν υπάρχει κάποιο κώλυμα , εξυπηρετεί την κοπή του σπειρώματος η τόρνευση της άκρης του κομματιού σε ένα μικρό μήκος μέχρι τη διάμετρο του πυρήνα του σπειρώματος. Όταν πρόκειται για εσωτερικό σπείρωμα , η τόρνευση αυτή γίνεται μέχρι την εσωτερική διάμετρο του σπειρώματος. Η προετοιμασία αυτή αποτελεί οδηγό για το όριο βάθους του κοπτικού εργαλείου (σχήμα 1.8κ).

Σχήμα 1.8κ :Όριο βάθους και ξεθύμασμα σπειρώματος.

Επίσης εξυπηρετεί πολύ την κατεργασία κοπής του σπειρώματος η ύπαρξη μιας περιοχής ξεθυμάσματος στο τέλος του σπειρώματος. Το ξεθύμασμα γίνεται πριν από την κοπή του σπειρώματος και έχει σκοπό να ξεθυμαίνει η αιχμή του κοπτικού εργαλείου μετά από κάθε πέρασμα. Το ξεθύμασμα αυτό δίνει τον απαραίτητο χρόνο στον τεχνίτη για την έγκαιρη απομάκρυνση του κοπτικού εργαλείου μετά από κάθε πέρασμα.

Το μήκος ξεθυμάσματος πρέπει βάσει κανονισμών να είναι τριπλάσιο του βήματος του σπειρώματος για εξωτερικά σπειρώματα και τετραπλάσιο για εσωτερικά σπειρώματα.

γ) Διαμόρφωση άκρου.

Το άκρο του κομματιού στρογγυλεύεται στην αρχή του σπειρώματος όπως στο σχήμα 1.8κ ή σπάζει η κόγχη του υπό γωνία **45°** μέχρι τη διάμετρο τουλάχιστον του πυρήνα.

1.8.5 Κοπή σπειρώματος.

α) Η εισχώρηση του εργαλείου.

Κατά την εκτέλεση της κοπής , η εισχώρηση του κοπτικού εργαλείου γίνεται με διαδοχικά βάθη κοπής μέχρι την επίτευξη του τελικού βάθους του σπειρώματος. Η εισχώρηση του κοπτικού εργαλείου μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους :

- **Κάθετα προς το νοητό άξονα του τόρνου.**

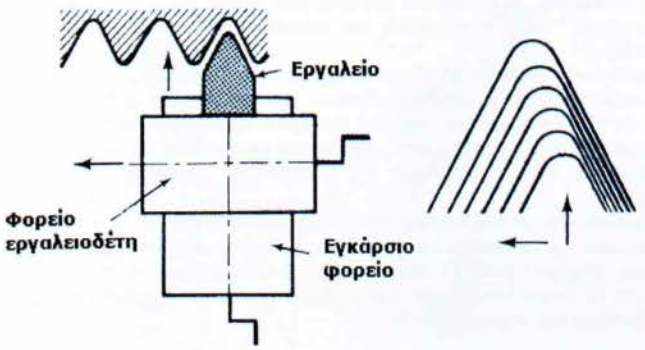
Η εγκάρσια μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου πραγματοποιείται με τη κίνηση μόνο του εγκάρσιου φορείου (σχήμα Ι.8κα).

Σχήμα Ι.8κα : Κάθετη εισχώρηση του εργαλείου σπειροτόμησης.

Στην περίπτωση αυτή κόβουν και οι δύο πλευρές του εργαλείου και βγαίνουν ταυτόχρονα δύο απόβλητα που αλληλοεμποδίζονται. Το εργαλείο δυσκολεύεται στην κοπή, συχνά τρέμει και η επιφάνεια του σπειρώματος γίνεται τραχιά. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα σε όλα τα συνεκτικά υλικά , που σχηματίζουν συνεχές και μακρύ απόβλητο. ΓΓ αυτό η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε ψαθυρά υλικά όπως ο χυτοσίδηρος, ο σκληρός ορείχαλκος κλπ. και σε συνεκτικά υλικά μόνο για λεπτά σπειρώματα με πολύ μικρό βάθος κοπής.

- **Κάθετα και ταυτόχρονα παράλληλα προς τον νοητό άξονα του τόρνου.**

Με την μέθοδο αυτή πραγματοποιείται κάθετη εισχώρηση του εργαλείου με το εγκάρσιο φορείο και ταυτόχρονα μικρή πλευρική μετατόπιση με το φορείο του εργαλειοδέτη , (σχήμα 1.8κβ).

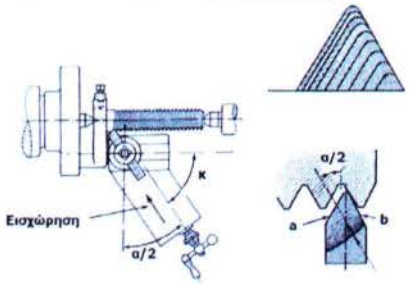


Σχήμα 1.8κβ :Εισχώρηση του εργαλείου σπειροτόμησης με δύο ταυτόχρονες κινήσεις.

Με τον τρόπο αυτό κόβει ελεύθερα **μόνο η μία πλευρά του εργαλείου.** Η αποπεράτωση όμως γίνεται μόνο με εγκάρσια μετατόπιση και μικρά βάθη κοπής, όποτε κόβουν και οι δύο κόψεις του εργαλείου και αποδίδεται καθαρό σπείρωμα, ανεξάρτητα από το είδος του υλικού του κομματιού (ψαθυρό η συνεκτικό).

- **Υπό γωνία ίση με την ημιγωνία α/2 του σπειρώματος.**

Η εισχώρηση του εργαλείου σε αυτή την περίπτωση γίνεται από το φορείο του εργαλειοδέτη , το οποίο στρέφεται υπό γωνία ίση με το ήμισυ της γωνίας των πλευρών του σπειρώματος. Με τον τρόπο αυτό κόβει μόνο η πλευρά **α** του εργαλείου (σχήμα Ι.8κγ).



Σχήμα Ι.8κγ :Εισχώρηση του εργαλείου σπειροτόμησης υπό γωνία.

Στην περίπτωση αυτή ή γωνία αιχμής του κοπτικού εργαλείου , για διευκόλυνση της κατεργασίας , μπορεί να γίνει **58...59°** για μετρικό και **53...54°** για αγγλικό σπείρωμα για να υπάρχει μια μικρή ελευθερία στην πλευρά **b** (σχήμα Ι.8κγ).

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για όλα τα είδη των υλικών, είναι αποδοτική και εφαρμόζεται για μεγάλη παραγωγή και ιδιαίτερα για σπειρώματα με μεγάλο βήμα, όπου πρέπει να αφαιρεθεί μεγάλη ποσότητα υλικού.

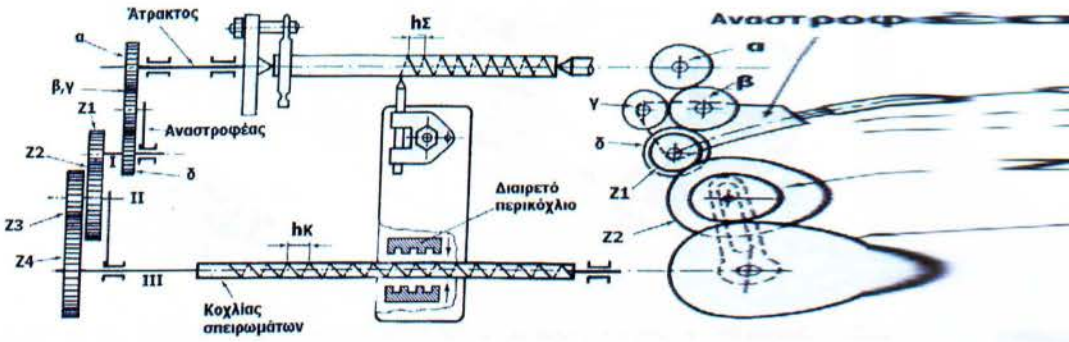
Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το τελείωμα του σπειρώματος πρέπει να γίνεται με κανονικό εργαλείο **(γωνία 60° ή 55°)** και με εισχώρηση μόνο κάθετα με τη βοήθεια του εγκάρσιου φορείου χρησιμοποιώντας πολλά διαδοχικά περάσματα μικρού βάθους.

β) Η μετακίνηση του εργαλειοφορείου.

Όπως έχει αναφερθεί, το σπείρωμα έχει ελικοειδή μορφή και η διαμόρφωσή του απαιτεί δύο ταυτόχρονες κινήσεις - την περιστροφή του κομματιού και την παράλληλη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου.

Η μετακίνηση του εργαλειοφορείου κατά μήκος του κομματιού για την κοπή σπειρώματος, γίνεται αποκλειστικά από τον κοχλία σπειρωμάτων , με πρόωση ίση με το βήμα του σπειρώματος. Θα μπορούσε η κίνηση αυτή να γίνει και από τον άξονα προώσεων, αλλά ο άξονας αυτός και όλα τα συνεργαζόμενα με αυτόν εξαρτήματα , υφίστανται φθορά από τις υπόλοιπες εργασίες κοπής και είναι ακατάλληλα για την απόδοση της απαραίτητης ακρίβειας που απαιτείται κατά την σπειροτόμηση.

Η περιστροφική κίνηση του κοχλία σπειρωμάτων μετατρέπεται σε ευθύγραμμη μετατόπιση του εργαλειοφορείου με τη βοήθεια ενός περικοχλίου που είναι ενσωματωμένο στο σώμα του εργαλειοφορείου , (σχήμα Ι.8κδ). Το περικόχλιο αυτό είναι διαιρεμένο σε δύο μέρη για να μπορεί να εμπλέκεται και να απεμπλέκεται από τον κοχλία σπειρωμάτων. Η εμπλοκή και απεμπλοκή του γίνεται με την βοήθεια του χειρομοχλού **Μ**.

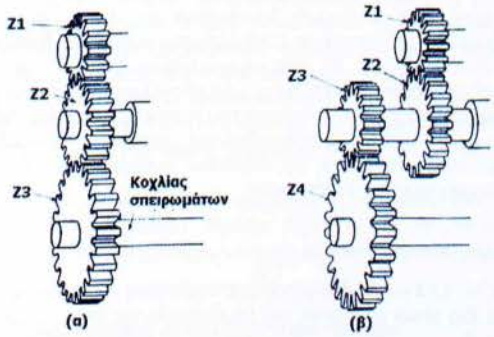


Σχήμα 1.8κστ :Σχηματική παράσταση μετάδοσης κίνησης για κοπή σπειρώματος.

Στο σχήμα αυτό δίνονται οι εξής συμβολισμοί:

$\mathbf{h_\Sigma}$ = βήμα του σπειρώματος του κομματιού.
$\mathbf{h_K}$ = βημα του σπειρώματος του κοχλίου σπειρωμάτων.
α = πρώτος σταθερός κινητήριος τροχός στο άκρο της κύριας ατράκτου και **β, γ, δ** βοηθητικοί τροχοί για τη μεταφορά και αναστροφή (παλαιότεροι τόρνοι) της κίν στον κοχλία σπειρωμάτων. Η σχέση μετάδοσης από τον **α** στον **δ** τροχό είναι 1= 1.
$\mathbf{Z_1, Z_2}$ = κινητήριοι ανταλλακτικοί τροχοί.
$\mathbf{Z_3, Z_4}$ = κινούμενοι ανταλλακτικοί τροχοί.

Λεπτομερέστερη διάταξη των ανταλλακτικών τροχών της κιθάρας φαίνεται στο σχήμα



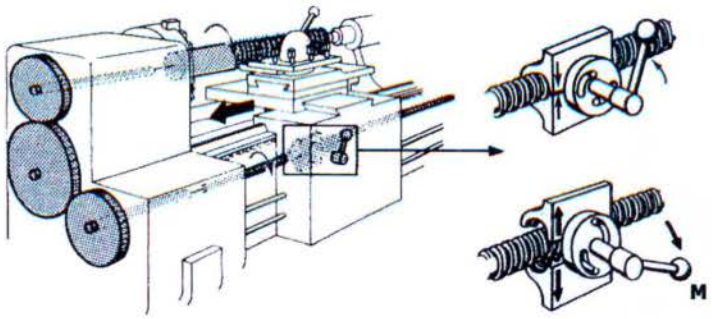
Σχήμα 1.8κζ :Σχηματική παράσταση μετάδοσης κίνησης για κοπή σπειρώματος.

Η ταχύτητα πρόωσης του εργαλείου – εργαλειοφορείου δίνεται από την σχέση:

$$S = h_K \cdot n_K = h_\Sigma \cdot n_\Sigma$$

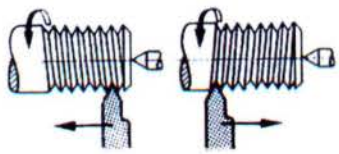
όπου :

$\mathbf{n_k}$: Στροφές του κοχλία σπειρωμάτων/min



Σχήμα 1.8κδ :Κοπή σπειρώματος με την βοήθεια του κοχλία σπειρωμάτων και του διαιρεμένου περικοχλίου .

Για να κοπεί δεξιόστροφο σπείρωμα το εργαλειοφορείο κινείται από τα δεξιά πρός τα αριστερά, ενώ για αριστερόστροφο σπείρωμα κινείται αντίθετα (σχήμα 1.8κε).



Σχήμα 1.8κε :Κοπή δεξιόστροφου και αριστερόστροφου σπειρώματος.

Στην περίπτωση που **το βήμα του κοχλία σπειρωμάτων είναι πολλαπλάσιο του βήματος του σπειρώματος** που πρόκειται να κοπεί , η επαναφορά του κοπτικού εργαλείου στην αρχική θέση μετά από κάθε πέρασμα μπορεί να γίνει χειροκίνητα με απεμπλοκή του περικοχλίου **Μ** στο τέλος κάθε διαδρομής.Ταυτόχρονα θα πρέπει το σπείρωμα του κοχλία σπειρωμάτων να είναι του ίδιου τύπου με το σπείρωμα του κομματιού δηλαδή και τα δύο μετρικά ή και τα δύο Γουίτγουερθ ή και τα δύο αμερικάνικου τύπου.Η χειροκίνητη επαναφορά ελαχιστοποιεί τούς νεκρούς χρόνους κατεργασίας , με αποτέλεσμα την οικονομικότερη κοπή.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις , η επαναφορά του κοπτικού εργαλείου πρέπει να γίνεται χωρίς απεμπλοκή του περικοχλίου **Μ** , χρησιμοποιώντας αντίθετη (ανάποδη) περιστροφή της ατράκτου.Η αναστροφή της περιστροφής της ατράκτου γίνεται στο τέλος κάθε διαδρομής με την χρήση του κατάλληλου χειρομοχλού αναστροφής.

γ) Ταχύτητα κοπής για σπειροτόμηση.

Λαμβάνεται ίση με το **1/3** ώς **1/4** περίπου της ταχύτητας κοπής που αντιστοιχεί σε τόρνευση ξεχονδρίσματος γιά το ίδιο υλικό κομματιού και με εργαλείο της ίδιας ποιότητας. Η ταχύτητα αυτή δίνεται στον **πίνακα 1.3.**

δ) Υπολογισμός τών ανταλλακτικών τροχών για κοπή σπειρωμάτων.

Στο σχήμα 1.8κστ φαίνεται ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης από την κύρια άτρακτο, με την βοήθεια των ανταλλακτικών οδοντοτροχών της κιθάρας , στον κοχλία σπειρωμάτων και από αυτόν με τη βοήθεια του διμερούς περικοχλίου στο εργαλειοφορείο για την κοπή του σπειρώματος.

$\mathbf{n_\Sigma}$: Στροφές της ατράκτου/min

Άρα :

$$\frac{h_\Sigma}{h_K} = \frac{n_K}{n_\Sigma} = \frac{n_4}{n_a} = \frac{n_4}{n_3} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{n_\delta}{n_a}$$

επειδή $n_K=n_4$, $n_2=n_3$ και $n_1=n_\delta$

Ισχύουν όμως :

$$\frac{n_4}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_4} \quad , \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad \text{και} \quad \frac{n_\delta}{n_a} = 1$$

Άρα :

$$\frac{h_\Sigma}{h_K} = \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{Z_1}{Z_2}$$

Σε απλούς τόρνους (παλαιότερες κατασκευές) μία κανονική σειρά ανταλλακτικών τροχών αποτελείται από **22** συνολικά τροχούς. Δηλαδή:

17 τροχοί με **Z = 20** μεχρι **Z=100** ανά **5** δόντια.
5 τροχοί με **Z=100, 110, 120, 125 και 127**.

Για ειδικές περιπτώσεις, όταν γίνεται κοπή σπειρωμάτων σε ατέρμονες κοχλίες που συνεργάζονται με κορώνες με βήμα οδοντώσεων σε μοντουλ ή πιτς, χρησιμοποιούνται κατα περίπτωση και άλλοι τροχοί όπως **Z= 24, 26, 28, 32, 36, 47, 57, 97**.

Οι κοχλίες σπειρωμάτων σε τόρνους κατασκευασμένους σύμφωνα με το μετρικό σύστημα, έχουν βήματα $\mathbf{h_K}$ = **4, 6, 12 ή 24 mm**. (Τόρνοι εργαστηρίου $\mathbf{h_K}$ = **6 mm**)

Οι κοχλίες τόρνων αγγλικής και αμερικανικής κατασκευής έχουν βήματα $\mathbf{h_K}$ = **1/6, 1/4, 1/2"** ή , όπως συνηθέστερα γράφεται, **6 ή 4 ή 2 δόντια ανά ίντσα**.

Από τα προηγούμενα φαίνεται στι οι ανταλλακτικοί τροχοί $\mathbf{Z_1, Z_2, Z_3}$ **και** $\mathbf{Z_4}$ που χρειάζονται κάθε φορά, εξαρτώνται από το βήμα του σπειρώματος του κομματιού $\mathbf{h_\Sigma}$ που μπορεί να είναι σε **mm** ή σε **ίντσες** και από το βήμα του κοχλία σπειρωμάτων που μπορεί με την σειρά του να είναι σε **mm** ή σε **ίντσες**.

Για κάθε σπείρωμα μπορούμε να βρούμε περισσότερους συνδυασμούς τροχών $\mathbf{Z_1, Z_2, Z_3}$ **και** $\mathbf{Z_4}$ που να δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Πρέπει όμως πάντα οι τέσσερις τροχοί να είναι εφαρμόσιμοι. δηλαδή να μπορούν να μονταριστούν και να χωρέσουν ανάμεσα στους όξονες **I, II, III** (σχήμα 1.8κστ).

- **Παραδείγματα υπολογισμού ανταλλακτικών τροχών**

Παράδειγμα 1.

Βήμα κοχλία σπειρωμάτων : $\mathbf{h_K}$**=6mm**
Βήμα σπειρώματος : $\mathbf{h_\Sigma}$**=2mm**

$$\frac{h_\Sigma}{h_K}=\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}\Rightarrow\frac{2}{6}=\frac{2\cdot10}{6\cdot10}\Rightarrow\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{20}{60}$$

Άρα αρκεί απλή σχέση μετάδοσης με δύο ανταλλακτικούς τροχούς **Z_1=20 δόντια** και **Z_2=60 δόντια.**

Παράδειγμα 2.

Βήμα κοχλία σπειρωμάτων : **h_K=12mm**
Βήμα σπειρώματος : **h_Σ=1mm**

$$\frac{h_\Sigma}{h_K}=\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}\Rightarrow\frac{1}{12}=\frac{1\cdot1}{4\cdot3}\Rightarrow\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{1\cdot20}{4\cdot20}\cdot\frac{1\cdot30}{3\cdot30}=\frac{20}{80}\cdot\frac{30}{90}$$

Άρα απαιτούνται οι ανταλλακτικοί τροχοί **Z_1=20 , Z_2=80 , Z_3=30** και **Z_4=90 δόντια.**

Παράδειγμα 3.

Βήμα κοχλία σπειρωμάτων : **h_K=1/2" (2 δόντια στην ίντσα)**
Βήμα σπειρώματος : **h_Σ=4mm**

$$\frac{h_\Sigma}{h_K}=\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}\Rightarrow\frac{4}{\frac{1}{2}\cdot25.4}=\frac{8}{25.4}\Rightarrow\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{8\cdot5}{25.4\cdot5}=\frac{40}{127}$$

Άρα αρκεί απλή σχέση μετάδοσης με δύο ανταλλακτικούς τροχούς **Z_1=40 δόντια** και **Z_2=127 δόντια.**

Παράδειγμα 4.

Βήμα κοχλία σπειρωμάτων : **h_K=1/2" (2 δόντια στην ίντσα)**
Βήμα σπειρώματος : **h_Σ=4 ½ δόντια ανά ίντσα για σπείρωμα σωλήνων BSW 2"**

$$\frac{h_\Sigma}{h_K}=\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}\Rightarrow\frac{\frac{1}{4+\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}}=\frac{\frac{2}{9}}{\frac{1}{2}}\Rightarrow\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{4\cdot10}{9\cdot10}=\frac{40}{90}$$

Άρα αρκεί απλή σχέση μετάδοσης με δύο ανταλλακτικούς τροχούς **Z_1=40 δόντια** και **Z_2=90 δόντια.**

Παράδειγμα 5.

Βήμα κοχλία σπειρωμάτων : $\mathbf{h_K=6mm}$
Βήμα σπειρώματος : $\mathbf{h_\Sigma=1/11''}$ **(11 δόντια ανά ίντσα για σπείρωμα σωλήνων R1")**

$$\frac{h_\Sigma}{h_K}=\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}\Rightarrow\frac{\frac{1}{11}\cdot 25.4}{6}=\frac{25.4}{6\cdot 11}\Rightarrow\frac{Z_3}{Z_4}\cdot\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{254}{6\cdot 120}=\frac{2}{6}\cdot\frac{127}{110}=\frac{40}{120}\cdot\frac{127}{110}$$

Άρα απαιτούνται οι ανταλλακτικοί τροχοί $\mathbf{Z_1=40}$, $\mathbf{Z_2=120}$, $\mathbf{Z_3=127}$ και $\mathbf{Z_4=110}$ **δόντια.**

ε) Μετάδοση κίνησης για κοπή σπειρωμάτων στους σύγχρονους τόρνους.

Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα ο καθορισμός τών αναγκαίων τροχών και το μοντάρισμά τους στον τόρνο , ακόμα και στην περίπτωση που δεν τους υπολογίζουμε αλλά τους παίρνουμε έτοιμους από σχετικούς πίνακες, είναι μια εργασία που απαιτεί προσοχή και απώλεια χρόνου.

Στους σύγχρονους τόρνους το κιβώτιο προώσεων (**κιβώτιο Norton**) έχει τέτοιες δυνατότητες εσωτερικών μεταδόσεων, ώστε με τη βοήθεια πινάκων και οδηγιών που είναι πάνω από το κιβώτιο και με τον χειρισμό κατάλληλων μοχλών , επιτυγχάνεται οποιοδήποτε βήμα σπειρώματος.

Η επιλογή του σπειρώματος είναι συνάρτηση των ανταλλακτικών τροχών της κιθάρας και του κιβωτίου προώσεων **Norton** , το οποίο περεμβάλλεται ανάμεσα στο σύστημα κιθάρας-ανταλλακτικών τροχών και τον κοχλία σπειρωμάτων , (σχήμα 1.3δ).

ζ) Κοπή σπειρωμάτων με πολλές αρχές.

1) Με περιστροφή του κομματιού.

Για την κοπή σπειρωμάτων με πολλές αρχές μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότερα κατά περίπτωση κοπτικά εργαλεία, το ένα δίπλα στο άλλο , τα οποία κόβουν ταυτόχρονα και βρίσκονται σε απόσταση ίση με το **1/v** του βήματος του σπειρώματος , όπου **v** είναι ο αριθμός των αρχών , (σχήμα 1.8ιζ).

Όταν όμως η κοπή των σπειρωμάτων, όπως συμβαίνει συχνά, πρέπει να γίνει με ένα εργαλείο, τότε, μετα την κατασκευή του αυλακιού της πρώτης αρχής , πρέπει το κομμάτι να περιστραφεί κατά το **1/v** της στροφής , με το εργαλείο εντελώς ακίνητο και κατόπιν να αρχίσει η κοπή για το επόμενο αύλάκι.

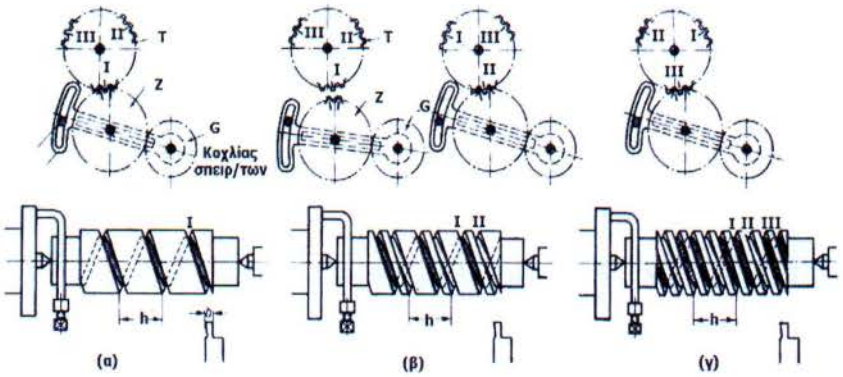
Η περιστροφή αυτή του κομματιού πραγματοποιείται με ένα από τους παρακάτω τρόπους:

- **Περιστροφή του πρώτου κινητήριου ανταλλακτικού τροχού (σχήμα 1.8κη).**

Προυπόθεση είναι ότι ο τροχός αυτός **T** , πρέπει να έχει αριθμό δοντιών που να διαιρείται ακριβώς με τον αριθμό τών αρχών του σπειρώματος. Για το λόγο αυτό συνήθως εκλέγεται τροχός με **Z = 60.**

Έστω ότι κατασκευάζουμε σπείρωμα με **3** αρχές (σχήμα 1.8κη). Διαιρούμε των αριθμό των δοντιών του ανταλλακτικού τροχού **T** με το **3** και σημαδεύουμε στον κινητήριο τροχό τις ενδείξεις **I,II και III** και στον κινούμενο **Z** τα δύο διπλανά δόντια που ανάμεσά τους βρίσκεται το δόντι με την ένδειξη **I** , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8 κη (α).

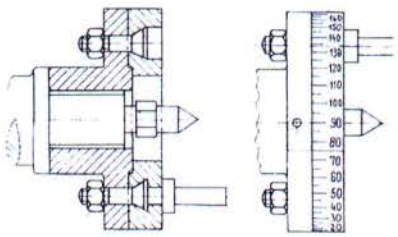
Όταν τελειώσει ή κοπή του πρώτου αύλακιού, βγάζουμε τον τροχό **T** εκτός επαφής, περιστρέφουμε την άτρακτο με το κομμάτι και συνεπώς και τον τροχό **T** κατα το **1/3** της στροφής και εμπλέκουμε στον **Z** το δόντι της ένδειξης **II** (σχήμα 1.8 κη (β)). Μετά την κοπή και του δεύτερου αυλακιού, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για την ένδειξη **III** και προχωράμε στην κοπή και του τρίτου αυλακιού.



Σχήμα 1.8κη :Σχηματική παράσταση μετάδοσης κίνησης για κοπή σπειρώματος.

- **Περιστροφή του κομματιού με τη βοήθεια βαθμονομημένης πλάκας.**

Σε μια πλάκα όμοια με αυτή που στερεώνεται στην κύρια άτρακτο για τη συγκράτηση του τσόκ προσαρμόζεται μια δεύτερη πλάκα βαθμονομημένη με ακρίβεια, που μπορεί και περιστρέφεται ώς πρός την πρώτη και σταθεροποιείται κατάλληλα με κοχλίες , (σχήμα 1.8κθ).



Σχήμα 1.8κθ :Βαθμονομημένη πλάκα.

Όταν τελειώσει η κοπή του πρώτου αυλακιού, αντί να γίνει περιστροφή της ατράκτου γίνεται περιστροφή μόνο της βαθμονομημένης πλάκας και συνεπώς και του κομματιου κατα το **1/v** της στροφής , όπου **v** οι αρχές του σπειρώματος.

2) Με μετατόπιση του φορείου του εργαλειοδέτη.

Μετα την κατασκευή του πρώτου αυλακιού , ακινητοποιείται η κύρια άτρακτος και μετατοπίζεται το φορείο του εργαλειοδέτη , με τη βοήθεια του βαθμονομημένου δακτυλίου και του αντίστοιχου χειρομοχλού κατά το **1/v** του βήματος αντίστοιχα , όπου v οι αρχές του σπειρώματος.
Η μέθοδος αυτή οδηγεί πολλές φορές σε σφάλματα γιατί η μετατόπιση δεν μπορεί να γίνει με την ακρίβεια που χρειάζεται, γι' αυτό και δεν συνιστάται η εφαρμογή της. . Δεν πρέπει να χειρίζεται

1.9 Μέτρα ασφάλειας κατά την χρήση του τόρνου.

Η χρήση του τόρνου υπόκειται στους παρακάτω σημαντικούς κανόνες ασφάλειας που πρέπει να τηρούνται πιστά.

> Δεν πρέπει να χειρίζεται τόρνο κάποιος ή κάποια που έχει λυμένα μακριά μαλλιά, που δεν φορά την κατάλληλη ενδυμασία ή φορά μπρασελέ, βραχιόλια, πουκάμισα με φαρδιά μανίκια και γενικά οτιδήποτε θα μπορούσε να εμπλακεί στο περιστρεφόμενο τσοκ ή στον κοχλία σπειρωμάτων.

> Τα προστατευτικά γυαλιά για την προστασία των ματιών από τα απόβλητα, είναι υποχρεωτικά.

> Πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο και μανέλα.

> Πρέπει πάντα να γίνεται έλεγχος αν οι σφιγκτήρες έχουν κλείσει σωστά και το περιστρεφόμενο τεμάχιο συγκροτείται καλά στη θέση του.

> Πριν ο τόρνος τεθεί σε λειτουργία θα πρέπει να γίνει έλεγχος για το ενδεχόμενο να έχει ξεχαστεί το κλειδί του τσοκ στην υποδοχή σύσφιξης.

> Πρέπει ο τόρνος να σταματά σε κάθε απόπειρα μέτρησης.

> Πρέπει η περιοχή εργασίας του τόρνου να είναι καθαρή από εργαλεία ή οτιδήποτε άλλο.

> Δεν επιτρέπεται η κατεργασία κομματιών μεγάλου μήκους χωρίς την υποστήριξη του κεντροφορέα.

> Τα απόβλητα δεν πρέπει ποτέ να απομακρύνονται με το χέρι αλλά με ειδική βούρτσα και ποτέ, όταν ο τόρνος είναι σε λειτουργία.

> Πριν ο τόρνος τεθεί σε λειτουργία πρέπει να γίνεται μια πλήρης περιστροφή του τσοκ με το χέρι, ώστε να ελέγχεται αν η κίνησή του εμποδίζεται από οτιδήποτε μπορεί να υπάρχει πάνω στον τόρνο.

> Ο τόρνος πρέπει να σταματά αμέσως μόλις ακουστεί οποιοσδήποτε ασυνήθιστος θόρυβος ή παρουσιαστεί κραδασμός και αμέσως να ενημερώνεται ο υπεύθυνος.

> Ο τόρνος δεν πρέπει ποτέ να σταματά με αναστροφή της περιστροφής του τσοκ.

> Κατά το χειρισμό του τόρνου ο μόνος υπεύθυνος που έχει τη δυνατότητα να τον θέσει ή όχι σε λειτουργία είναι ο χειριστής του και αυτός πρέπει πάντα να έχει την προσοχή του μόνο στον τόρνο.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΞΟΝΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΗΣ ΤΡΟΧΑΛΙΑΣ ΣΕ ΤΟΡΝΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Δίνονται:

> Άξονας **Φ25 mm** μήκους **125 mm** από χάλυβα **St.50**

> Άξονας **Φ60 mm** από αλουμίνιο (για την κατασκευή της τροχαλίας)

> Ισχύς κινητήρα τόρνου: ..... (ονομαστική ισχύς). Συμβουλευθείτε τον πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τόρνου του εργαστηρίου.

> Βαθμός απόδοσης τόρνου : **70%**

> Κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα **(SS)**

> Ταχύτητα κοπής : Επιλογή από σχετικό πίνακα σημειώσεων , U_{240}

> Βάθος κοπής : Επιλογή μεταξύ **0.025-4 mm**

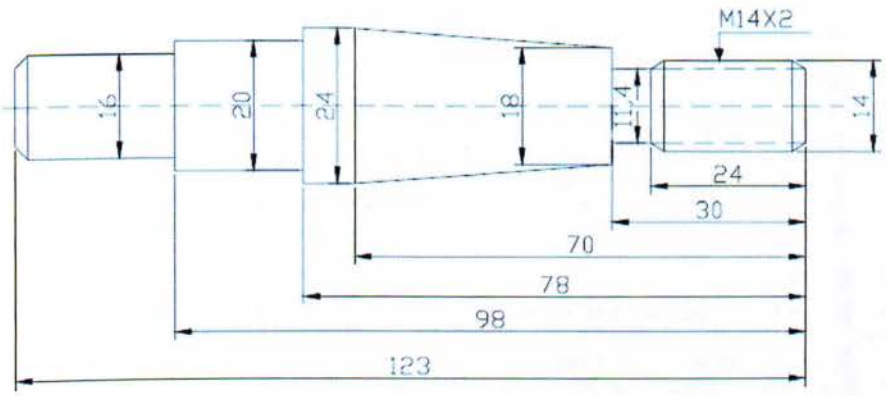
> Πρόωση : Επιλογή μεταξύ **0.01-0.3 mm/στροφή**

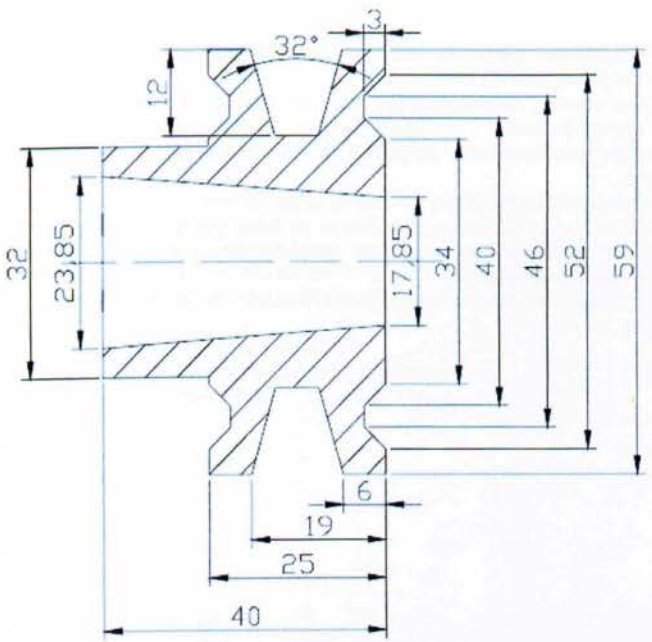
Ζητούνται

1.Να κατασκευασθούν ο άξονας και συνεργαζόμενη τροχαλία με βάσει το κατασκευαστικό τους σχέδιο.

2. Να καταχωρηθούν σε ειδικό έντυπο οι φάσεις κατεργασίας , οι διαδοχικές διαμορφώσεις κάθε φάσης (με σκαριφήματα) και να υπολογισθεί ο συνολικός ενεργητικός χρόνος κατεργασίας του άξονα.

3. Επιλέξτε για τους υπολογισμούς τις μέγιστες προαναφερθέντες τιμές συνθηκών κατεργασίας για τον άξονα και αποδείξτε εάν ο τόρνος μπορεί να ανταποκριθεί.





Κατασκευαστικό σχέδιο άξονα και συνεργαζόμενης τροχαλίας

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΑΞΟΝΑ

Α) Ορισμός φάσεων κατεργασίας.

Η διαμόρφωση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο φάσεις.

Β) Ορισμός αριθμού και είδους κοπτικών εργαλείων.

Απαιτούνται τέσσερα κοπτικά εργαλεία , ήτοι:

- Κοπτικό εξωτερικής τόρνευσης
- Κοπτικό για αυλακώσεις (σχησίματος πλάτους 3mm)
- Κοπτικό σπειροτόμησης
- Κοπτικό για διάτρηση (κεντροτρύπανο 3,15mm).

Γ) Ορισμός συνθηκών κατεργασίας.

Οι συνθήκες κατεργασίας (για τις επιμέρους διαμορφώσεις) επιλέγονται από σχετικούς πίνακες.

Φάση πρώτη.

> Συγκράτηση τεμαχίου στους σφιγκτήρες του τσοκ.Να αφεθεί ελεύθερο μήκος περίπου 65 mm
> Ομαλοποίηση μετωπικής επιφάνειας (Α).
> Διαμόρφωση τμήματος με διάμετρο 20 mm σε μήκος 45 mm.
> Διαμόρφωση τμήματος με διάμετρο 16mm σε μήκος 25 mm
> Διαμόρφωση κωνικού άκρου (σπάσμο γωνίας 2x45°)

Φάση δεύτερη

> Συγκράτηση τεμαχίου από το κατεργασμένο τμήμα έως τα όρια περίπου του κατεργασμένου τμήματος των 45 mm
> Ομαλοποίηση μετωπικής επφράνειας (Β) και οριστικοποίηση του συνολικού μήκους
> Διάτρηση με κεντροτρύπανο
> Διαμόρφωση του ακατέργαστου τμήματος σε όλο το μήκος των 78 mm και απόδοση διαμέτρου 24 mm.
> Διαμόρφωση τμήματος με διάμετρο 14 mm σε μήκος 30mm.
> Διαμόρφωση αύλακα.. Η διάμετρος είναι ίση με τη διάμετρο του πυρήνα του κοχλία.
> Διαμόρφωση του κωνικού τμήματος. Να υπολογισθεί η ημιγωνία του κώνου (γωνία περιστροφής του εργαλειοφορείου)
> Διαμόρφωση κωνικού άκρου (σπάσμο γωνίας 2x45°)
> Σπειροτόμηση.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΡΟΧΑΛΙΑΣ

Α) Ορισμός φάσεων κατεργασίας.

Η διαμόρφωση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο φάσεις.

Β) Ορισμός αριθμού και είδους κοπτικών εργαλείων.

Απαιτούνται έξι κοπτικά εργαλεία , ήτοι:

- Κοπτικό εξωτερικής τόρνευσης
- Κοπτικό εσωτερικής τόρνευσης
- Κοπτικό για αυλακώσεις (σχησίματος πλάτους 3mm)
- Κοπτικό για διάτρηση (κεντροτρύπανο 3,15mm).
- Δύο τρυπάνια με διαμέτρους περίπου 7 και 17mm.

Γ) Ορισμός συνθηκών κατεργασίας.

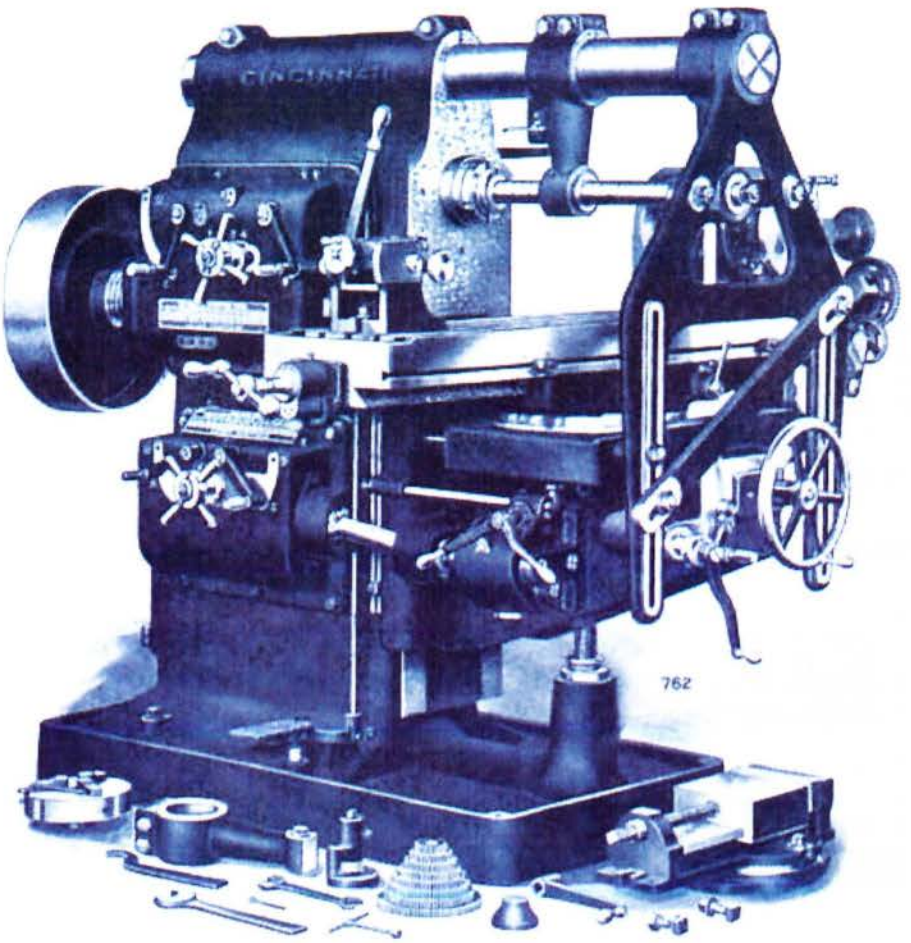
Οι συνθήκες κατεργασίας (για τις επιμέρους διαμορφώσεις) επιλέγονται από σχετικούς πίνακες.

Φάση πρώτη.

> Συγκράτηση τεμαχίου στους σφιγκτήρες του τσοκ. Να αφεθεί ελεύθερο μήκος περίπου 25 mm
> Ομαλοποίηση μετωπικής επφάνειας (Α).
> Διάτρηση διαδοχική με κεντροτρύπανο και με τρυπάνια 7 mm και 17 mm .
> Διαμόρφωση τμήματος με διάμετρο 25 mm σε μήκος 15mm
> Διαμόρφωση εσωτερικού κώνου.

Φάση δεύτερη

> Συγκράτηση τεμαχίου από το κατεργασμένο τμήμα (πλήμνη).
> Ομαλοποίηση δεύτερης μετωπικής επιφάνειας (Β) και οριστικοποίηση του συνολικού μήκους του τεμαχίου.
> Απόδοση διαμέτρου 59 mm σε μήκος 25 mm
> Διαμόρφωση περιφερειακού τραπεζοειδούς αυλακιού.
> Διαμόρφωση μετωπικού αυλακιού.

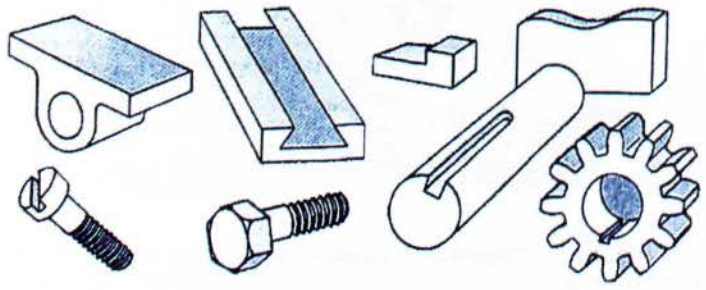


Φρέζα οριζόντια 19ου αιώνα

Πηγή: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Horizontal_milling_machine

2.1 ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ-ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΕΣ

Το φρεζάρισμα είναι κατεργασία με αφαίρεση υλικού, κατά την οποία διαμορφώνονται τεμάχια από διάφορα υλικά, όπως χάλυβας, χυτοσίδηρος, συνθετικά υλικά κ.λ.π. Με φρεζάρισμα μπορούμε να κατεργαστούμε επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες, εσοχές, αυλάκια ακόμα και οδοντωτούς τροχούς, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Τα τεμάχια αυτά, συνήθως, εκχονδρίζονται ή φινίρονται (αποπερατώνονται), ενώ, όταν απαιτούνται πολύ καλές επιφάνειες, σαν τελική κατεργασία χρησιμοποιείται η λείανση.



Σχήμα 2.1 : Κατεργασμένα τεμάχια σε φρεζομηχανή

Η κατεργασία αυτή πραγματοποιείται από ένα περιστρεφόμενο κοπτικό εργαλείο. Το εργαλείο διαθέτει πολλές κοπτικές ακμές διατεταγμένες σε περιφέρεια κύκλου, ενώ, για να μπορεί να εισέρχεται το εργαλείο στο κατεργαζόμενο κομμάτι, οι κοπτικές ακμές έχουν τη μορφή της σφήνας όπως και στο εργαλείο τόρνευσης. Η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου αποτελεί και την κύρια κίνηση κοπής. Για τη συνέχεια της κοπής το κατεργαζόμενο κομμάτι, το οποίο συγκρατείται στο τραπέζι της εργαλειομηχανής, μετατοπίζεται με προκαθορισμένο ρυθμό που είναι η πρόωση.

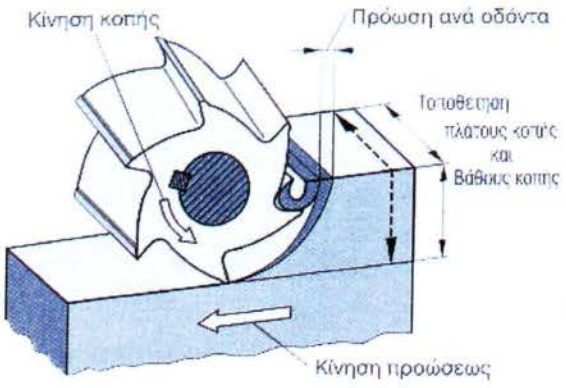
Κατά τη διάρκεια της κοπής, τα κοπτικά δόντια μίας φρέζας (φρέζα ονομάζεται η εργαλειομηχανή, αλλά συχνά φρέζα καλείται και το κοπτικό εργαλείο φρεζαρίσματος), εισέρχονται και εξέρχονται το καθένα από το κομμάτι . Τα ενεργά δόντια που συμμετέχουν στην κοπή ανήκουν συνήθως σε ένα μικρό τμήμα της περιφέρειας του κοπτικού εργαλείου. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα κοπτικά δόντια να προλαβαίνουν να αποβάλουν θερμότητα στο διάστημα που δεν κόβουν και έτσι να μην καταπονούνται θερμικά, σε αντίθεση με το εργαλείο της τόρνευσης , το οποίο εκτελεί συνεχή κοπή. Η κοπή γι' αυτό το λόγο στο φρεζάρισμα λέγεται διακοπτόμενη.

2.1.1 Μέθοδοι φρεζαρίσματος

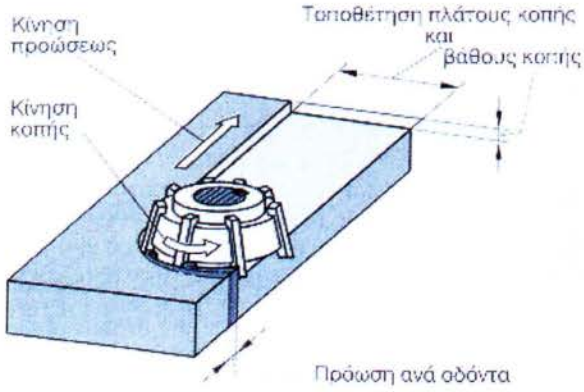
Ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα του κοπτικού εργαλείου ως προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια, το φρεζάρισμα διακρίνεται σε περιφερικό ή μετωπικό φρεζάρισμα.

Στο περιφερικό φρεζάρισμα, ο άξονας του εργαλείου είναι παράλληλος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει κυλινδρική μορφή, κόβοντας τα απόβλητα από το τεμάχιο με περιφερειακά διατεταγμένες κοπτικές ακμές. Τα προκύπτοντα απόβλητα έχουν στην περίπτωση αυτή σφηνοειδές σχήμα.

Στο μετωπικό φρεζάρισμα, ο άξονας του εργαλείου είναι κάθετος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει, εκτός των περιφερειακών κοπτικών ακμών του και κοπτικές ακμές στο μέτωπό του. Στα σχήματα 2.2α,2.2β παρουσιάζονται τα δυο αυτά είδη φρεζαρίσματος και η κινηματική τους.



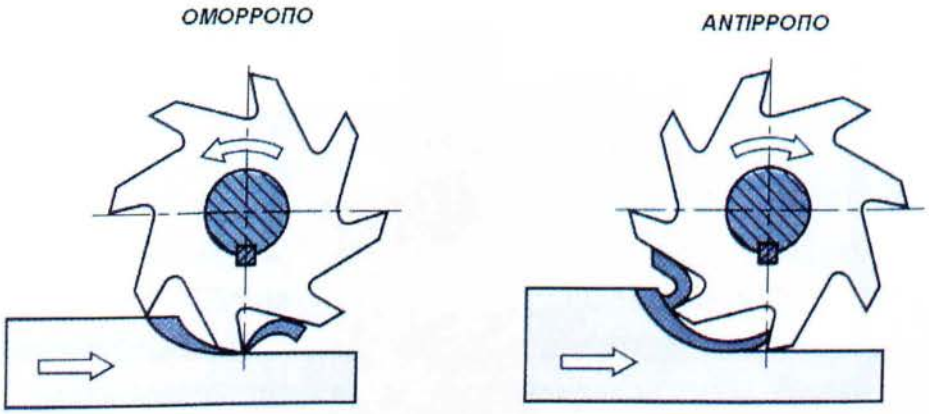
Σχήμα 2.2α : Περιφερικό φρεζάρισμα



Σχήμα 2.2β : Μετωπικό φρεζάρισμα

Το μετωπικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για κατεργασία μόνο επιπέδων επιφανειών, ενώ το περιφερικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για κατεργασία επιπέδων επιφανειών, σφηνοδρόμων, αυλακιών, καμπυλωτών επιφανειών και επιφανειών με σύνθετη μορφή. Στο μετωπικό φρεζάρισμα, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων κοπής απ' ότι στο περιφερικό φρεζάρισμα. Επίσης, στο μετωπικό φρεζάρισμα, το πάχος του αποβλήτου είναι μεγαλύτερο απ' ότι στο περιφερικό, με συνέπεια τη μείωση της ειδικής αντίστασης κοπής.

Στο περιφερικό φρεζάρισμα, η πρόωση του τεμαχίου συνήθως είναι αντίθετη στην περιστροφή του εργαλείου αλλά μπορεί και να συμβαίνει το αντίθετο. Η επιλογή αυτή της κίνησης του τεμαχίου διακρίνει το φρεζάρισμα σε ομόρροπο και αντίρροπο. Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η κινηματική για τα δύο αυτά είδη φρεζαρίσματος.



Σχήμα 2.3 : Ομόρροπο και αντίρροπο φρεζάρισμα

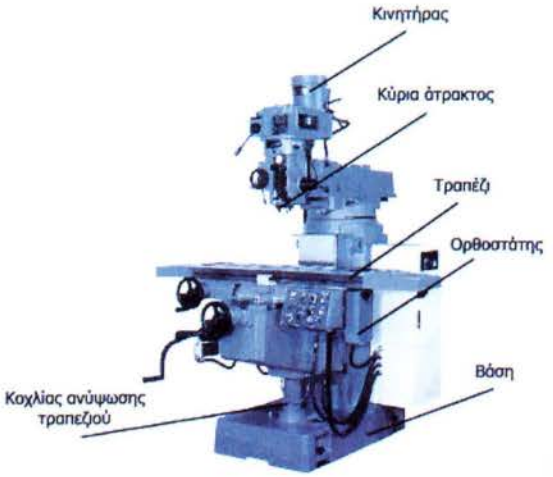
Από το σχήμα γίνεται φανερό πως, κατά το αντίρροπο φρεζάρισμα, το πάχος του αποβλήτου στην αρχή της τροχιάς της κόψης του δοντιού του κοπτικού εργαλείου έχει μηδενική τιμή, η οποία αυξάνεται μέχρι μία μέγιστη τιμή στο τέλος της κόψης. Κατά το ομόρροπο φρεζάρισμα, στην αρχή της κόψης του δοντιού το πάχος του αποβλήτου είναι μέγιστο, στη συνέχεια ελαττώνεται και παίρνει την τιμή μηδέν στο τέλος της κόψης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κοπτικό εργαλείο στο ομόρροπο φρεζάρισμα να δέχεται ισχυρές καταπονήσεις κατά την είσοδό του στο τεμάχιο και έτσι να αυξάνει ο κίνδυνος θραύσης του.

Στο ομόρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο, όπως προκύπτει από την κινηματική, πιέζει το τεμάχιο στο τραπέζι της εργαλειομηχανής και έτσι η κοπή είναι πιο σταθερή. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κατεύθυνση των δυνάμεων κοπής στα δύο είδη φρεζαρίσματος.

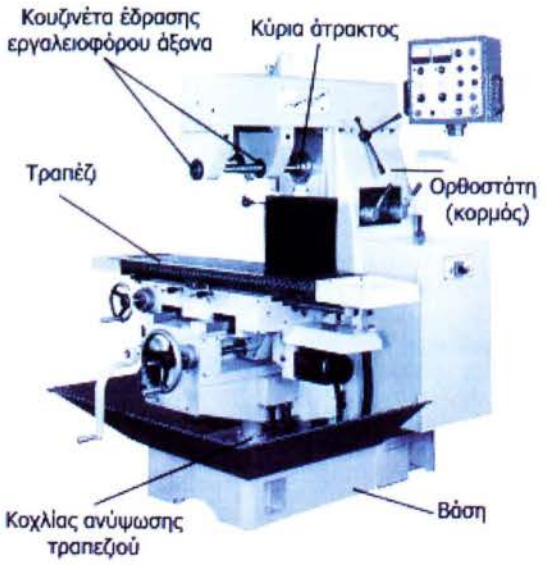
2.2 Φρεζομηχανή.

Η διαμόρφωση διάφορων μορφών και τεμαχίων στη φρέζα απαιτεί και διάφορους τύπους εργαλειομηχανών για οικονομικότερη κατεργασία. Έτσι, διακρίνονται οι εξής βασικοί τύποι:

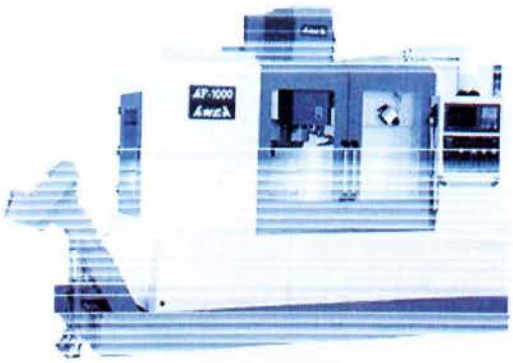
- Κάθετη φρεζομηχανή (σχήμα 2.5)
- Οριζόντια φρεζομηχανή (σχήμα 2.6)
- Κέντρο κατεργασίας (σχήμα 2.7)



Σχήμα 2.5: Κάθετη φρεζομηχανή



Σχήμα 2.6: Οριζόντια φρεζομηχανή



Σχήμα 2.7: Κέντρο κατεργασίας

Το κέντρο κατεργασίας ανήκει στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση C.N.C. και εξετάζεται σε άλλο μάθημα.

Η οριζόντια φρεζομηχανή

Η οριζόντια φρέζα χρησιμοποιείται για γενικές εργασίες και το χαρακτηριστικό της είναι ότι ο κύριος άξονας, που μεταφέρει κίνηση στο εργαλείο, είναι οριζόντιος.
Τα κύρια μέρη της οριζόντιας φρέζας είναι τα εξής:

- Η βάση,
- ο κορμός ή ορθοστάτης,
- η κυρία άτρακτος,
- το συγκρότημα τραπεζιού.

Η βάση. Είναι το στοιχείο πάνω στο οποίο σταθεροποιείται ο κορμός. Σε πολλές φρεζομηχανές η βάση με τον κορμό αποτελούν ένα σώμα. Η βάση είναι ενισχυμένη με διάφορα νεύρα, ώστε να έχει καλή στατική συμπεριφορά λόγω φόρτισης όλων των υπόλοιπων στοιχείων της φρεζομηχανής.

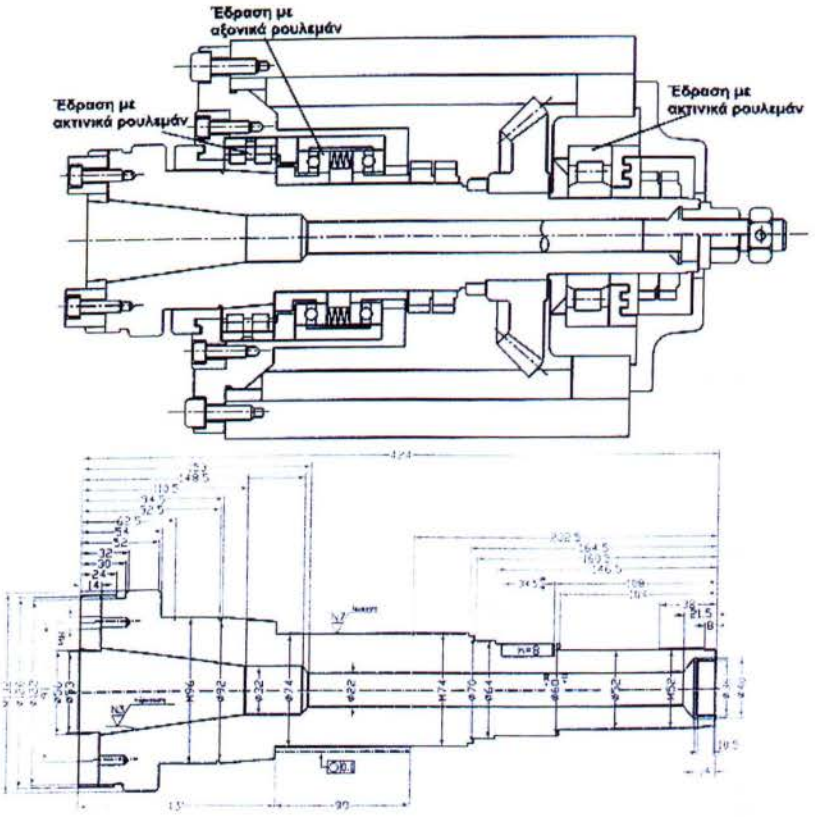
Ο κορμός ή ορθοστάτης. Είναι το βασικότερο μέρος μίας φρεζομηχανής, πάνω στο οποίο συγκρατούνται το συγκρότημα τραπεζιού και ο πρόβολος. Ο πρόβολος βρίσκεται στο πάνω μέρος του κορμού, έχει τη μορφή βραχίονα και είναι εφοδιασμένος με δυο ή τρία κουζινέτα για την έδραση του εργαλειοφόρου άξονα. Το μπροστινό μέρος του κορμού φέρει ολισθητήρες επί των οποίων ολισθαίνει το σύστημα τραπεζιού πάνω-κάτω.

Στο εσωτερικό του κορμού βρίσκονται τα κιβώτια ταχυτήτων για την μεταφορά της περιστροφικής κίνησης στην κύρια άτρακτο και μεταφορικής στο συγκρότημα τραπεζιού (σύγχρονες φρεζομηχανές).

Η κύρια άτρακτος. Στερεώνει στο άκρο της τον εργαλειοφόρο άξονα. Σ' αυτή καταλήγουν οι περιστροφικές ταχύτητες. Η κύρια άτρακτος δέχεται και ακτινικές και αξονικές φορτίσεις, οι οποίες προέρχονται από τις δυνάμεις κοπής, γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται για την έδραση της ακτινικά και αξονικά έδρανα κύλισης, που τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις.

Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται η πρόοψη σε τομή της έδρασης μίας κύριας ατράκτου, καθώς και το κατασκευαστικό σχέδιό της, όπου φαίνονται και τα απαραίτητα σύμβολα ανοχών και κατεργασιών.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η άτρακτος είναι διάτρητη σε όλο το μήκος της και καταλήγει σε μία κολουροκωνική οπή, μέσα στην οποία προσαρμόζεται το κωνικό άκρο του εργαλειοφόρου. Η κωνική οπή είναι τυποποιημένη κατά DIN 2079,2080 με κωνικότητα 3.5:12.



Σχήμα 2.8: Έδραση και κατασκευαστικό σχέδιο της κύριας ατράκτου φρεζομηχανής

Το συγκρότημα τραπεζιού. Σε μία κοινή φρεζομηχανή, της οποίας το τραπέζι δεν έχει δυνατότητα περιστροφής, τα κύρια μέρη του συγκροτήματος τραπεζιού, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 2.9. είναι τα εξής:

- Το κατώτερο φορείο. Οδηγείται και ολισθαίνει πάνω σε κατακόρυφους ολισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται στο μέτωπο του κορμού της φρεζομηχανής. Χρησιμοποιείται για κατακόρυφες κινήσεις του συγκροτήματος τραπεζιού. Η μεταφορά κίνησης γίνεται με τη βοήθεια μίας κολόνας - κοχλία.

- Το ανώτερο φορείο. Ολισθαίνει μέσα έξω πάνω σε γλισιέρες, που βρίσκονται πάνω στο κατώτερο φορείο, και οδηγεί το συγκρότημα τραπεζιού επιτρέποντας εγκάρσιες κινήσεις κάθετα στο μέτωπο του κορμού.

- Το τραπέζι. Πάνω σε αυτό συγκρατείται το τεμάχιο που πρόκειται να κατεργασθεί. Έχει δυνατότητα οριζόντιας ολίσθησης πάνω σε γλισιέρες που βρίσκονται πάνω στο ανώτερο φορείο.

Σχήμα 2.9: Συγκρότημα τραπεζιού οριζόντιας φρεζομηχανής

Σε μία φρεζομηχανή γενικής χρήσης (universal) το συγκρότημα τραπεζιού, εκτός από τα παραπάνω μέρη, περιλαμβάνει και ένα ενδιάμεσο φορείο μεταξύ του κατώτερου και του ανώτερου φορείου (σχήμα 2.10).Το ενδιάμεσο φορείο δίνει τη δυνατότητα στο τραπέζι να περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα παράλληλο προς τον κορμό. Η γωνία περιστροφής είναι ±45°.

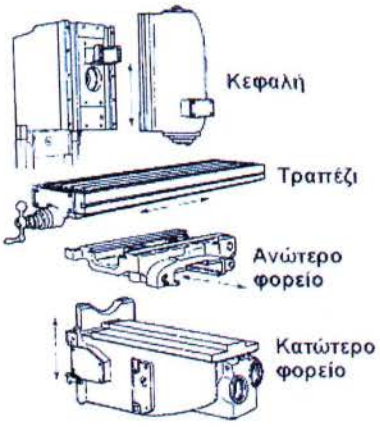
Όλες οι κινήσεις των μερών του συγκροτήματος τραπεζιού πραγματοποιούνται είτε χειροκίνητα, με τη βοήθεια χειρομοχλών που φέρουν βαθμονομημένα δακτυλίδια, είτε μηχανικά.

Σχήμα 2.10: Συγκρότημα τραπεζιού οριζόντιας φρεζομηχανής γενικής χρήσης (universal)

Η κατακόρυφη φρεζομηχανή

Το κύριο χαρακτηριστικό της κατακόρυφης φρεζομηχανής είναι ότι ο κύριος άξονας, που μεταφέρει κίνηση στο εργαλείο, είναι κάθετος. Τα κύρια μέρη μίας κατακόρυφης φρεζομηχανής δε διαφέρουν από τα αντίστοιχα της οριζόντιας φρεζομηχανής, εκτός από τη διαμόρφωση της κεφαλής. Στο σχήμα 2.11 φαίνονται τα κύρια μέρη μίας κατακόρυφης

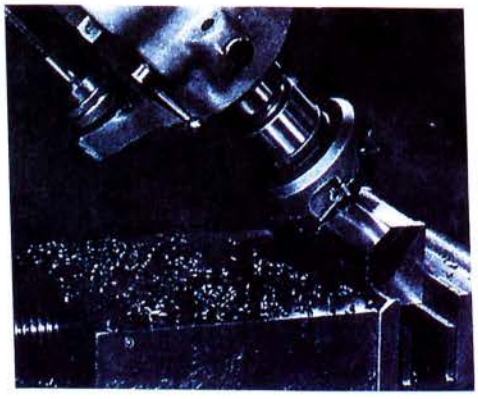
φρεζομηχανής, καθώς και οι κατευθύνσεις των κινήσεων τους.



Σχήμα 2.11: Κύρια μέρη μιας κατακόρυφης φρεζομηχανής

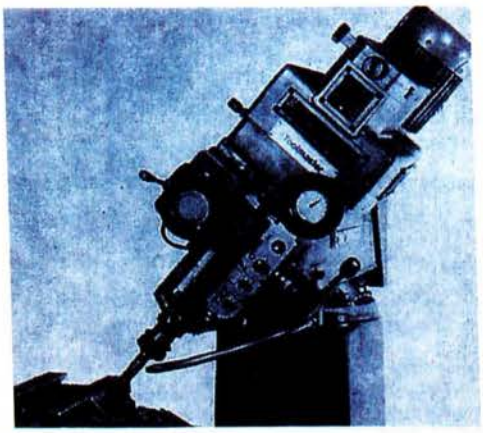
Τα είδη των κατακόρυφων φρεζομηχανών, ανάλογα με τις δυνατότητες των κινήσεων της κεφαλής, είναι τα εξής:

- Με σταθερή κεφαλή πάνω στον κορμό.
- Με περιστρεφόμενη κεφαλή (σχήμα 2.12). Η γωνία περιστροφής γύρω από τον οριζόντιο άξονα είναι ±45°.



Σχήμα 2.12: Περιστροφική κεφαλή κατακόρυφης φρεζομηχανής

- Με περιστρεφόμενη κεφαλή και δυνατότητα μετατόπισης της κύριας ατράκτου (σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13: Περιστροφική κεφαλή κατακόρυφης φρεζομηχανής και δυνατότητα μετατόπισης της κύριας ατράκτου.

2.2.1 Διαστάσεις των φρεζομηχανών

Η συνηθισμένη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα στις φρεζομηχανές είναι από 0.75 έως 37kW (1 έως 50hp).

Ανάλογα με τις διαστάσεις του τεμαχίου, που μπορεί να κατεργαστεί, οι φρεζομηχανές αριθμούνται από 1 έως 6 και κάθε αριθμός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη διαμήκη διαδρομή του τραπεζιού (πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Διαμήκης διαδρομή τραπεζιού.

Μέγεθος	Διαμήκης διαδρομή τραπεζιού	
	mm	In
1	559	22
2	711	28
3	813	32
4	1015	40
5	1270	50
6	1525	60

Μία τυπική φρεζομηχαμή μεγέθους 3 έχει διαμήκη διαδρομή τραπεζιού 813 mm, εγκάρσια διαδρομή 305 mm και κατακόρυφη διαδρομή 508 mm, ενώ μία φρεζομηχανή αριθμού 6 έχει διαμήκη διαδρομή τραπεζιού 1515 mm, εγκάρσια διαδρομή 457 mm και κατακόρυφη διαδρομή 508 mm.

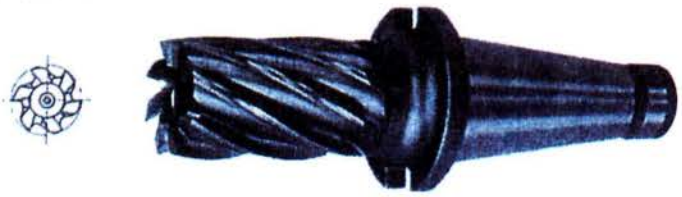
Τα μεγέθη του παραπάνω πίνακα δεν είναι δεσμευτικά, πολλές φρεζομηχανές έχουν διαμήκη διαδρομή τραπεζιού που διαφέρει από την αντίστοιχη του πίνακα.

2.2.2 Συγκράτηση των κοπτικών εργαλείων

Ανάλογα με τη μορφή των κοπτικών εργαλείων και τη μέθοδο φρεζαρίσματος, οι τρόποι συγκράτηση ς των κοπτικών εργαλείων είναι οι εξής:

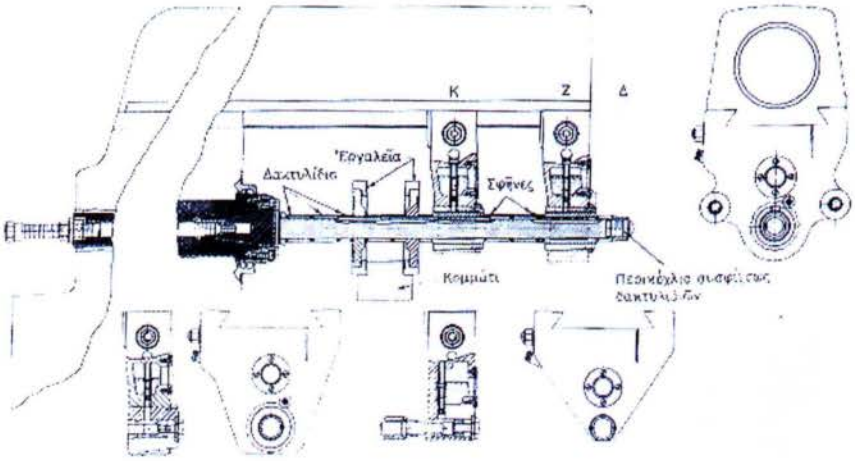
- Κατευθείαν στην κεφαλή της ατράκτου. Τα κοπτικά εργαλεία έχουν ολόσωμο κώνο, με κωνικότητα 3.5:12, και φωλιάζουν απευθείας στην κεφαλή της ατράκτου (σχήμα 2.14). Στην περίπτωση που καταλήγουν σε κώνο Μόρς, χρησιμοποιείται μία συστολή, η οποία εσωτερικά έχει κοίλο κώνο Μόρς, και στην οποία φωλιάζει η φρέζα (κοπτικό

εργαλείο) ενώ εξωτερικά έχει κώνο με κωνικότητα 3.5:12, ο οποίος προσαρμόζεται στην κωνική κεφαλή.



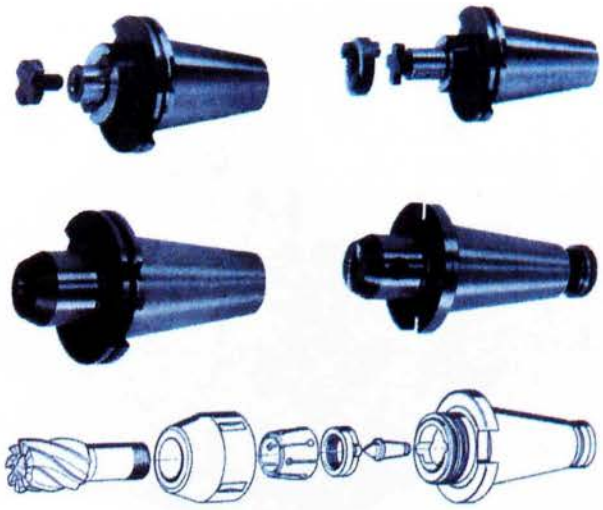
Σχήμα 2.14: Φρέζα ολόσωμη με κώνο.

- Πάνω στους εργαλειοφόρους άξονες μεγάλου μήκους. Οι εργαλειοφόροι άξονες μεγάλου μήκους έχουν τουλάχιστον δύο σημεία στήριξης. Ένα άκρο τους διαμορφώνεται σε κώνο με κωνικότητα 3.5:12, για να προσαρμόζεται στην κωνική κεφαλή της ατράκτου και το άλλο άκρο έχει σπείρωμα για να βιδώνεται ένα περικόχλιο, το οποίο σταθεροποιεί τα διάφορα στοιχεία που συναρμολογούνται στον άξονα. Σε όλο το μήκος του εργαλειοφόρου είναι διαμορφωμένος ένας σφηναύλακας, ο οποίος είναι απαραίτητος για να σφηνώνουν οι φρέζες πάνω στον εργαλειοφόρο και να μεταφέρονται οι περιστροφικές ταχύτητες στα κοπτικά εργαλεία μέσω σφηνών. Στο σχήμα 2.15 παρουσιάζονται εργαλειοφόροι άξονες μεγόλου μήκους, καθώς και ο τρόπος συναρμολόγησής τους στην κύρια άτρακτο.



Σχήμα 2.15: Εργαλειοφόροι άξονες και τρόπος συναρμολόγησης τους στην κύρια άτρακτο.

- Πάνω στους εργαλειοφόρους άξονες μικρού μήκους. Οι εργαλειοφόροι άξονες μικρού μήκους στηρίζονται σαν πρόβολοι μόνο στην κωνική κεφαλή, ενώ τα κοπτικά εργαλεία προσαρμόζονται στο άλλο άκρο. Τέτοιοι εργαλειοφόροι χρησιμοποιούνται στην περιπτωση του μετωπικού και κυλινδρικού φρεζαρίσματος. Στο σχήμα 2.16 παρουσιάζονται διάφορες μορφές συγκράτησης φρεζών στον εργαλειοφόρο άξονα μικρού μήκους.



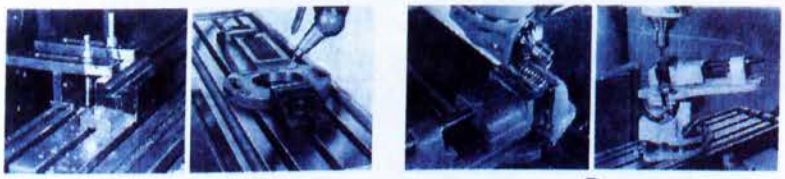
Σχήμα 2.16: Μικροί εργαλειοφόροι άξονες - πρόβολοι

Η συγκράτηση των κοπτικών εργαλείων στις κατακόρυφες φρεζομηχανές γίνεται είτε απευθείας στην κωνική κεφαλή, είτε μέσω εργαλειοφόρων αξόνων μικρού μήκους.

2.2.3 Συγκράτηση των τεμαχίων

Η συγκράτηση των τεμαχίων για κατεργασία στη φρεζομηχανή γίνεται είτε απευθείας στο τραπέζι, με τη βοήθεια διάφορων φουρκετών, είτε πάνω σε μέγγενη, η οποία συγκρατείται πάνω στο τραπέζι.

Κατά μήκος του τραπεζιού υπάρχουν αυλάκια τύπου "Τ", μέσα στα οποία περνάνε οι κεφαλές των βιδών που σφίγγουν τα κομμάτια ή τις συσκευές συγκράτησής τους. Στο σχήμα 2.17 Α παρουσιάζονται δύο τυπικοί τρόποι συγκράτησης κομματιών κατευθείαν πάνω στο τραπέζι της φρεζομηχανής με τη βοήθεια φουρκετών. Στο σχήμα 2.17 Β η συγκράτηση γίνεται πάνω σε μέγγενη.



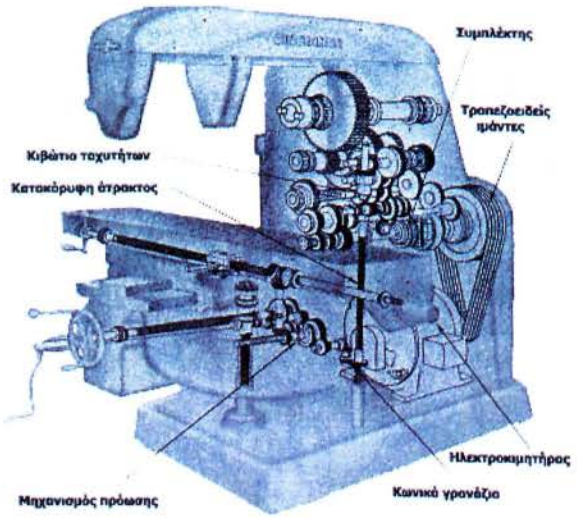
Α Β

Σχήμα 2.17: Συγκράτηση τεμαχίων σε φρεζομηχανές

Στις περιπτώσεις κατεργασίας τεμαχίων ειδικών απαιτήσεων συγκράτησης κατασκευάζονται κατάλληλες ιδιοσυσκευές.

2.2.4 Κίνηση στις φρεζομηχανές

Η κίνηση μεταδίδεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε μία μικρή άτρακτο μέσω τραπεζοειδούς ιμάντα μορφής "V". Ο ηλεκτροκινητήρας τοποθετείται στο εσωτερικό και κάτω μέρος του κορμού της φρεζομηχανής (σχήμα 2.18) ή συγκρατείται στο εξωτερικό μέρος του κορμού. Από την αρχική άτρακτο η κίνηση μεταδίδεται στην κινητήρια άτρακτο του κιβωτίου ταχυτήτων μέσω συμπλέκτη.



Σχήμα 2.18: Μετάδοση κίνησης σε οριζόντια φρεζομηχανή

Η επιθυμητή περιστροφική ταχύτητα της κύριας ατράκτου επιτυγχάνεται με σύμπλεξη διαφόρων ζευγών οδοντωτών τροχών στο κιβώτιο ταχυτήτων. Στις φρεζομηχανές το κιβώτιο ταχυτήτων συνήθως έχει 12 έως 18 συνδυασμούς ταχυτήτων. Οι ταχύτητες είναι κλιμακωτές με γεωμετρική πρόοδο φ=1.25 ή φ=1.4 (για απλές φρεζομηχανές). Το μέγεθος των υψηλών περιστροφικών ταχυτήτων της κύριας ατράκτου ανέρχεται μέχρι 1600 - 2000 στρ/min για μικρές φρεζομηχανές, ενώ για μεγάλες φρεζομηχανές μέχρι 1000 - 1600 στρ/min.

Όλες οι φρεζομηχανές εκτός των απλών, έχουν μηχανισμό μετάδοσης πρόωσης και στις τρεις κατευθύνσεις του συγκροτήματος τραπεζιού: κατά μήκος, εγκάρσια και κατακόρυφα. Επίσης, προβλέπονται ταχύτητες επαναφοράς και για τις τρεις κατευθύνσεις. Οι απλές φρεζομηχανές έχουν μόνο μηχανισμό κίνησης κατά μήκος της πρόωσης του τραπεζιού.

Η μετάδοση κίνησης στο συγκρότημα τραπεζιού γίνεται είτε από ανεξάρτητο ηλεκτροκινητήρα, είτε από το βασικό ηλεκτροκινητήρα της φρεζομηχανής. Η κίνηση μεταδίδεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε μία κατακόρυφη άτρακτο μέσω ζεύγους κωνικών οδοντωτών τροχών (σχήμα 2.18). Ένα γρανάζι, που ολισθαίνει κατά μήκος της κατακόρυφης ατράκτου, ενεργοποιεί μία σειρά από όλα γρανάζια, που χρησιμεύουν για τις κινήσεις των μερών του συγκροτήματος τραπεζιού στις τρεις κατευθύνσεις.

2.3 Κοπτικά εργαλεία.

Για τα διάφορα είδη φρεζαρίσματος χρησιμοποιούνται διαφορετικών μορφών κοπτικά εργαλεία. Συνήθως τα εργαλεία αυτά κατασκευάζονται από ταχυχάλυβα, επειδή επιτρέπει τη χρησιμοποίηση υψηλότερων ταχυτήτων κοπής από τους κοινούς χάλυβες εργαλείων. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται και πλακίδια σκληρομετάλλων (ιδίως στο μετωπικό φρεζάρισμα). Ανάλογα με το είδος φρεζαρίσματος οι συνήθεις μορφές κοπτήρων είναι:

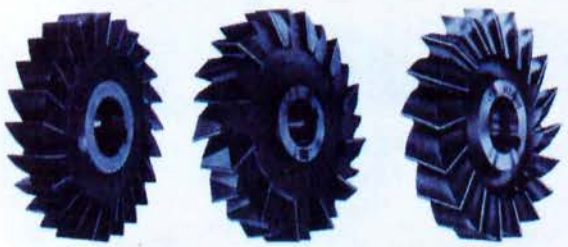
Περιφερικό φρεζάρισμα

- Κυλινδρικοί (σχήμα 2.19),
- Δισκοειδείς (σχήμα 2.20),

- Πριονοειδείς (σχήμα 2.21),
- Γωνιακοί (σχήμα 2.22),
- Κοπτήρες μορφής (σχήμα 2.23),
- Κονδύλια (σχήμα 2.24),
- Κοχλιωτοί (σχήμα 2.25).

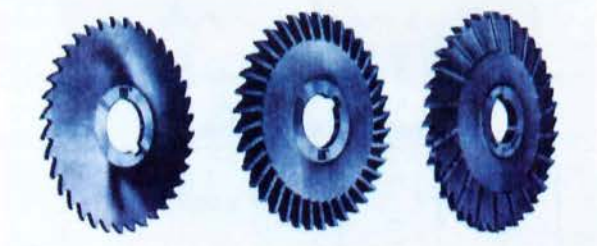
Ελαφρού τύπου Βαρέως τύπου

Σχήμα 2.19: Κυλινδρικοί κοπτήρες

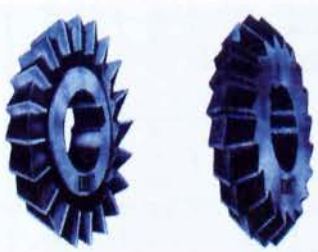


Απλός Τρίκοπος Δεξιόκοπος

Σχήμα 2.20: Δισκοειδείς κοπτήρες



Σχήμα 2.21: Πριονοειδείς κοπτήρες



Μονής Γωνίας Διπλής Γωνίας

Σχήμα 2.22: Γωνιακοί κοπτήρες

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Κυρτός Κοίλος Διαμόρφωσης οδόντωσης

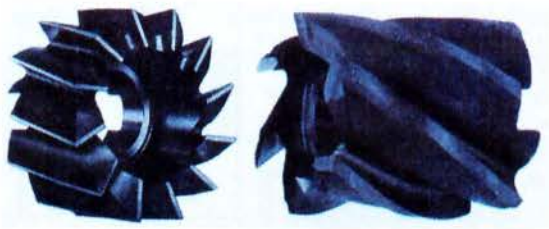
Σχήμα 2.23: Γωνιακοί κοπτήρες

Σχήμα 2.24: Κονδύλια

Σχήμα 2.25: Κοχλιωτοί κοπτήρες

Μετωπικό φρεζάρισμα

- Κυλινδρικοί (σχήμα 2.26),
- Πρισματικοί (σχήμα 2.27),
- Εντιθέμενων δοντιών (σχήμα 2.28).



Τρίκοπος Δίκοπος

Σχήμα 2.26: Κυλινδρικοί κοπτήρες

Σχήμα 2.27: Πρισματικός κοπτήρας

Σχήμα 2.28:Κοπτήρας εντιθέμενων δοντιών

Ανάλογα με τον αριθμό των κοπτικών πλευρών, οι κοπτήρες χαρακτηρίζονται μιας κόψης, δίκοποι ή τρίκοποι , ενώ ανάλογα με την κατεργασία που προορίζονται διακρίνονται σε ελαφρού ή βαρέως τύπου.

Πληροφορίες για το πεδίο εφαρμογής των υλικών κατασκευής φρεζών (κοπτήρων) διδονται στον πίνακα 2.2.

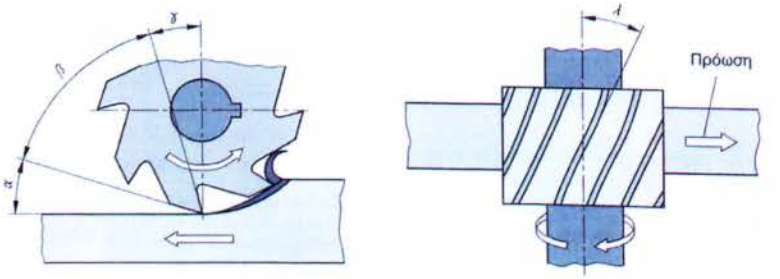
Πίνακας 2.2 : Πεδίο εφαρμογής υλικών κατασκευής κοπτήρων φρεζαρίσματος

Είδος Φρεζαρίσματος	Υλικό φρέζας	Χάλυβας			Χυτοχάλυβας	Ανοξείδωτος χάλυβας	Χυτοσίδηρος		Μη σιδηρούχα υλικά	Μη μεταλλικά υλικά
		Μαλακός	Μέσης σκληρότητας	Σκληρός			Μέσης σκληρότητας	Σκληρός		
Περιφερικό	ΤΧ	***	***	**	***	***	***	*	***	***
	ΧΚΕ	**	**	*	*	*	***	*	**	***
	ΣΜ	***	***	**	**	*	***	-	***	***
Μετωπικό	ΤΧ	***	***	**	***	***	***	*	***	***
	ΧΚΕ	***	**	*	*	*	***	*	***	***
	ΣΜ	***	***	***	***	***	***	**	***	***
Με κονδύλια	ΤΧ	***	***	**	***	***	***	*	***	***

	ΧΚΕ	**	**	*	*	*	***	*	**	***
	ΣΜ	***	***	***	***	**	***	-	***	***
Με τρίκοπο Κοπτήρα	ΤΧ	***	***	**	***	***	***	*	***	***
	ΧΚΕ	**	**	*	*	*	***	*	-	***
	ΣΜ	***	***	**	**	*	***	**	***	***
Με κοπτήρα μορφής	ΤΧ	***	***	**	***	***	***	**	***	***
	ΧΚΕ	**	**	*	*	*	***	--	**	
	ΣΜ	***	***	*	**	*	***	**	***	***
ΤΧ:Ταχυχάλυβας, ΧΚΕ: Χυτευτό κράμα κοπτικών εργαλείων, ΣΜ: Σκληρομέταλλο										
***: Καλά **Σχεδόν καλά *: Μέτρια										

2.3.1 Γωνίες κοπής φρεζών

Η ποιότητα επιφάνειας του κατεργαζόμενου τεμαχίου, καθώς και η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου, εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις γωνίες κοπής στα δόντια των φρεζών. Οι γωνίες κοπής μετρούνται σε ένα επίπεδο κάθετο προς την κόψη του δοντιού (σχήμα 2.30). Όπως και στην τόρνευση, διακρίνονται τρεις γωνίες κοπής: γωνία ελευθέριας α, γωνία σφηνός β και γωνία αποβλήτου γ, όπου α+β+γ=90°.



Σχήμα 2.30: Γωνίες κοπής φρεζαρίσματος

Μεγάλο ρόλο παίζει η γωνία αποβλήτου γ, η οποία εξαρτάται από το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Όσο πιο μαλακό είναι το κατεργαζόμενο υλικό, τόσο η γωνία γ μεγαλώνει και μπορεί να φθάσει μέχρι 25°. Επίσης, όταν είναι σωστή η γωνία αποβλήτου γ, το απόβλητο αποκτά σωστή κυλινδρική μορφή και η δύναμη κοπής ελαττώνεται. Στους κοπτήρες με ελικοειδή οδόντωση είναι σημαντική η γωνία της έλικας λ του δοντιού.

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι τιμές των γωνιών κοπής διαφόρων κοπτήρων από ταχυχάλυβα για κοπή διαφόρων υλικών.

Ανάλογα με τη σκληρότητα, οι φρέζες χαρακτηρίζονται με τα γράμματα Ν, Η και W. Όπου: Ν είναι για μαλακούς χάλυβες με όριο θραύσης μέχρι 80 kp/mm^2 και χυτοσίδηρο με σκληρότητα μέχρι 180 HB, Η είναι για πολύ σκληρούς χάλυβες με όριο θραύσης πάνω από 80 kp/mm^2 και χυτοσίδηρο με σκληρότητα πάνω από 180 HB και W είναι για πολύ μαλακά υλικά.

Πίνακας 2.3 : Τιμές γωνιών κοπής διάφορων φρεζών από ταχυχάλυβα (HSS)

		Ανθακούχοι χάλυβες 70 kp/mm2	Ανθακούχοι χάλυβες 70 - 90 kp/mm2	Ανθακούχοι χάλυβες 90 - 110 kp/mm2	Κατεργασμένοι χάλυβες	Χυτοχάλυβες 38 - 52 kp/mm2	Φαιός χυτοσίδηρος Έως 200 BHN	Φαιός χυτοσίδηρος Άνω του 200 BHN	Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτου	Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	Κράματα αργιλίου	Ορείχαλκος	Κρατέρωμα	Πλαστικά
Περιφερική φρέζα	α	7	6	6	5	5	6	6	6	5	8	6	6	8
	γ	18	15	10	8	14	15	12	14	15	25	15	12	25
	λ	45	45	40	40	40	45	40	40	40	45	40	40	40
Μετωπική φρέζα	α	7	6	6	5	5	6	6	6	5	8	6	6	8
	γ	15	12	8	6	10	12	12	12	12	25	12	12	25
	λ	25	25	25	20	22	25	20	22	22	35	20	20	35
Δισκοειδής φρέζα	α	7	6	6	5	5	6	6	6	5	8	6	6	8
	γ	15	12	8	6	10	12	12	12	12	25	12	12	20
	λ	20	15	12	10	20	15	15	15	20	35	20	15	35
Δισκοειδής φρέζα	α	8	6	6	6	6	6	7	6	6	8	6	6	8
	γ	15	12	8	8	12	12	12	12	12	25	10	10	20
	λ	40	30	30	20	40	30	30	30	35	40	30	30	40

2.4 Συνθήκες κατεργασίας.

Ο αριθμός των στροφών του κοπτικού εργαλείου εξαρτάται, όπως και στην τόρνευση, από την επιθυμητή ταχύτητα κοπής. Η ταχύτητα κοπής στο φρεζάρισμα αντιπροσωπεύει την κίνηση του δοντιού του κοπτικού στο χρόνο.

Ταχύτητα κοπής. Εκφράζει το ρυθμό κοπής στην κύρια κίνηση , που είναι η περιστροφή κίνηση του εργαλείου. Όπως και στην τόρνευση έτσι και στο φρεζάρισμα τεμαχίου με κοπτικό εργαλείο διαμέτρου D [mm] , το οποίο περιστρέφεται με n στροφές το λεπτό (rpm), η ταχύτητα κοπής U, ισούται:

$$U = \pi \cdot \frac{D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]}$$

Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας κοπής U για φρεζάρισμα με κοπτήρα από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο πλην των μετωπικών κοπτήρων εντιθέμενων δοντιών, των οποίων οι αντίστοιχες συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας κοπής παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.4: Συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας κοπής U[m/min] για φρεζάρισμα με κοπτήρα από ταχυχάλυβα ή σκληρομέταλλο πλην μετωπικών κοπτήρων εντιθέμενων δοντιών.

Υλικό	Ταχύτητα κοπής U[m/min]	
	Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50 kp/mm^2	17...24	100...150
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50-70 kp/mm^2	16...24	80...120
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 70-90 kp/mm^2	15...20	60...110
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 90-110 kp/mm^2	11...18	50...80
Κεκραμένοι χάλυβες	13...17	60..100
Χυτοχάλυβες 38-52 kp/mm^2	13...19	40...70
Φαιός χυτοσίδηρος έως 200 BHN	14...19	50...80
Φαιός χυτοσίδηρος άνω 200 BHN	10...16	40..60
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτου	10...20	50...100
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	16...22	50...80
Κράματα αργιλίου	200...300	200...600
Ορείχαλκος	34...48	80...120
Κρατέρωμα	30...40	80...120
Πλαστικά	30...50	80...100

Πίνακας 2.5: Συνιστώμενες τιμές της ταχύτητας κοπής U[m/min] για φρεζάρισμα με μετωπικούς κοπτήρες εντιθεμένων δοντιών.

Υλικό	Ταχύτητα κοπής U[m/min]	
	Ταχυχάλυβας	Σκληρομέταλλο
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50 kp/mm^2	21...30	90...200
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50-70 kp/mm^2	20...38	80...160

Ανθρακούχοι χάλυβες έως 70-90 kp/mm^2	15...23	60...110
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 90-110 kp/mm^2	12...19	50...100
Κεκραμένοι χάλυβες	12...20	45...80
Χυτοχάλυβες 38-52 kp/mm^2	15...25	50...90
Φαιός χυτοσίδηρος έως 200 BHN	19...26	65...100
Φαιός χυτοσίδηρος άνω 200 BHN	14...25	40...70
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	18...28	80...120
Κράματα αργιλίου	180...270	200...1000
Ορείχαλκος	50...70	120...240
Κρατέρωμα	40...65	100...220
Πλαστικά	60..80	80...120

- Παράδειγμα 2.1

Πλάκα από χάλυβα St50 πρόκειται να εκχονδρισθεί με κοπτικό εργαλείο φρεζαρίσματος διαμέτρου 75mm. Να υπολογιστεί ο ενδεικνυόμενος αριθμός στροφών του εργαλείου.

Λύση

Από τον πίνακα 2.4 προκύπτει, για το είδος της κατεργασίας και το συγκεκριμένο κατεργαζόμενο υλικό, ταχύτητα κοπής U=17m/min. Έτσι:

$$n = \frac{1000 \cdot U}{\pi \cdot 75} = \frac{1000 \cdot 7}{\pi \cdot 75} = 72 \text{ [στρ/min ή rpm]}$$

Πρόωση. Αντιστοιχεί στη μετατόπιση του τραπεζιού της εργαλειομηχανής και κατά συνέπεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου σε μία περιστροφή του κοπτικού εργαλείου.

Η ταχύτητα κίνησης του τραπεζιού της εργαλειομηχανής καλείται ταχύτητα πρόωσης και εκφράζει την μετατόπιση του τραπεζιού σε ένα λεπτό. Η πρόωση συνδέεται με τη ταχύτητα πρόωσης με την ακόλουθη σχέση:

$$S_T \text{ [mm/min]} = S \text{ [mm/στρ]} \cdot n \text{ [στρ/min ή rpm]}$$

Η πρόωσης S εξαρτάται από το κοπτικό εργαλείο, το κατεργαζόμενο υλικό, το βάθος κοπής και την επιδιωκόμενη ποιότητα επιφάνειας.

Η επιλογή της πρόωσης στο φρεζάρισμα γίνεται από πίνακες που αναφέρουν τις συνιστώμενες τιμές της πρόωσης ανά δόντι S_z που αντιστοιχεί στην μετατόπιση του τραπεζιού στο διάστημα από την εισχώρηση ενός δοντιού της φρέζας στο κατεργαζόμενο κομμάτι μέχρι την εισχώρηση του επόμενου.

Η σχέση που συνδέει την πρόωση S με τη πρόωση ανά δόντι S_z είναι η ακόλουθη.

$$S = S_z \cdot Z$$

Όπου Z είναι ο αριθμός των δοντιών του κοπτικού εργαλείου (φρέζας).

Στους πίνακες 2.7 και 2.8 παρουσιάζονται οι συνιστώμενες τιμές της πρόωσης ανά

δόντι S_z για φρεζάρισμα με κοπτήρες από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο αντίστοιχα.

Πίνακας 2.7: Συνιστώμενες τιμές της πρόωσης ανά δόντι Sz [mm/δόντι] για φρεζάρισμα με φρέζες από ταχυχάλυβα (HSS).

Υλικό	Πρόωση ανά δόντι S_z [mm/δόντι]				
	Περιφερική φρέζα	Μετωπική φρέζα	Δισκοειδής φρέζα	Κονδύλι	Σμίλη φρέζα
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50 kp/mm^2	0.2	0.25	0.07	0.05	0.04
Ανθρακούχοι χάλυβες 50-70 kp/mm^2	0.15	0.2	0.06	0.05	0.04
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 70-90 kp/mm^2	0.1	0.15	0.06	0.04	0.03
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 90-110 kp/mm^2	0.08	0.1	0.05	0.03	0.02
Κεκραμένοι χάλυβες	0.08	0.1	0.05	0.03	0.02
Χυτοχάλυβες 38-52 kp/mm^2	0.15	0.15	0.07	0.05	0.04
Φαιός χυτοσίδηρος έως 200 BHN	0.2	0.2	0.07	0.05	0.05
Φαιός χυτοσίδηρος άνω 200 BHN	0.1	0.15	0.05	0.03	0.02
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτου	0.2	0.2	0.07	0.05	0.05
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	0.2	0.2	0.07	0.05	0.04
Κράματα αργιλίου	0.15	0.1	0.07	0.04	0.03
Ορείχαλκος	0.2	0.2	0.07	0.05	0.04
Κρατέρωμα	0.15	0.15	0.06	0.04	0.03
Πλαστικά	0.15	0.2	0.1	0.06	0.04

Πίνακας 2.8: Συνιστώμενες τιμές της πρόωσης ανά δόντι Sz [mm/δόντι] για φρεζάρισμα με φρέζες από σκληρομέταλλο.

Υλικό	Πρόωση ανά δόντι S_z [mm/δόντι]				
	Περιφερική φρέζα	Μετωπική φρέζα	Δισκοειδής φρέζα	Κονδύλι	Σμίλη φρέζα
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 50 kp/mm^2	0.25	0.28	0.1	0.05	0.04
Ανθρακούχοι χάλυβες 50-70 kp/mm^2	0.2	0.25	0.07	0.04	0.03

Ανθρακούχοι χάλυβες έως 70-90 kp/mm^2	0.15	0.22	0.06	0.04	0.03
Ανθρακούχοι χάλυβες έως 90-110 kp/mm^2	0.15	0.22	0.05	0.03	0.02
Κεκραμένοι χάλυβες	0.15	0.22	0.04	0.02	0.02
Χυτοχάλυβες 38-52 kp/mm^2	0.15	0.22	0.07	0.05	0.02
Φαιός χυτοσίδηρος έως 200 BHN	0.2	0.25	0.07	0.05	0.04
Φαιός χυτοσίδηρος άνω 200 BHN	0.2	0.22	0.07	0.05	0.04
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτου	0.2	0.22	0.07	0.05	0.04
Μαλακτοποιημένος χυτοσίδηρος	0.2	0.25	0.07	0.05	0.04
Κράματα αργιλίου	0.1	0.15	0.07	0.05	0.04
Ορείχαλκος	0.25	0.3	0.07	0.05	0.04
Κρατέρωμα	0.25	0.3	0.07	0.05	0.04
Πλαστικά	0.25	0.3	0.1	0.07	0.06

Χρόνος κοπής. Είναι το πηλίκο της απόστασης που διανύει το τραπέζι της εργαλειομηχανής διά την ταχύτητα της πρόωσης.

$$t_n = \frac{L}{S.n}$$

Η απόσταση L εξαρτάται από το μήκος κατεργασίας l και τα διαστήματα πριν και μετά την κοπή l_a και l_u.

$$L = l + l_a + l_u$$

- Παράδειγμα 2.2

Τεμάχιο από χάλυβα St42 πρόκειται να εκχονδρισθεί σε μήκος 250mm με κυλινδρικό κοπτήρα. Να υπολογισθεί ο χρόνος κοπής. Δίδονται l_a = 30mm, l_u = 5mm, πρόωση S=0.1mm/στρ και n=1000στρ/min.

Λύση

Η απόσταση που διανύει το τραπέζι είναι:

$$L = l + l_a + l_u = 250 + 30 + 5 = 285\text{mm}$$

Ο χρόνος κοπής είναι :

$$t_n = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{285}{0.1 \cdot 1000} = 2.85 \quad \text{min}$$

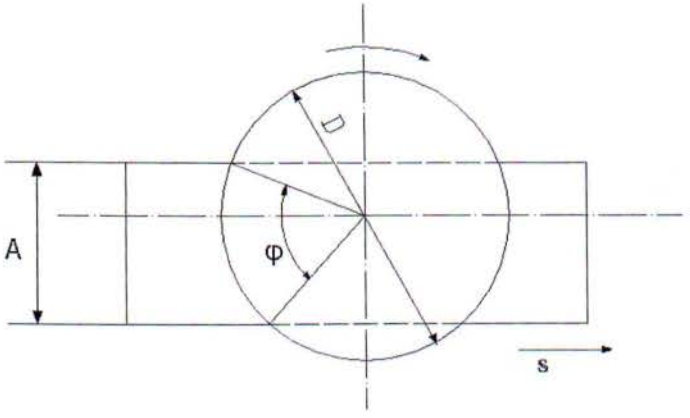
Δυνάμεις κοπής. Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του φρεζαρίσματος αναπτύσσονται δυνάμεις στο κοπτικό εργαλείο, οι οποίες έχουν διεύθυνση και μέτρο εξαρτώμενα, εκτός των άλλων, και από το είδος της κατεργασίας. Στο σχήμα 2.3, για τις περιπτώσεις του ομόρροπου και αντίρροπου φρεζαρίσματος, παρουσιάζονται οι συνιστώσες της δύναμης κοπής F. Από τη φορά της δύναμης κοπής F στις δύο αυτές περιπτώσεις φρεζαρίσματος εξάγεται το

συμπέρασμα ότι στο ομόρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο πιέζει το κομμάτι στο τραπέζι, ενώ στο αντίρροπο προσπαθεί να το ανασηκώσει.

Α)Δυνάμεις κοπής κατά το μετωπικό φρεζάρισμα

Στο σχήμα 2.2β φαίνεται η κινηματική του μετωπικού φρεζαρίσματος καθώς και τα μεγέθη του βάθους α και του πλάτους Α κατεργασίας.

Στο σχήμα 2.31 φαίνονται τα μεγέθη του πλάτους Α κατεργασίας , η ενεργή γωνία κοπής φ, η διάμετρος του κοπέα D και η πρόωση S.



Σχήμα 2.31: Συμπληρωματικά μεγέθη κατά το μετωπικό φρεζάρισμα

Το πάχος του αποβλήτου και η δύναμη κοπής είναι μεταβαλλόμενα μεγέθη.

- Τό μέσο πάχος του αποβλήτου h_m δίνεται από την σχέση:

$$h_m = \frac{114.6}{\varphi^0} \cdot S_z \cdot \eta\mu\kappa \cdot \frac{A}{D}$$

όπου :

φ^0: Ενεργή γωνία κοπής σε μοίρες
S_z : Πρόωση ανά οδόντα (mm/Δ)
κ : Γωνία τοποθέτησης της κύριας κόψης του κοπτικού εργαλείου(ως προς τη διεύθυνση της πρόωσης) σε μοίρες
A : Πλάτος κατεργασίας σε mm
D : Διάμετρος μετωπικού κοπέα σε mm

- Η μέση κύρια δύναμη κοπής ανά οδόντα $Fp_{z,m}$ δίνεται από την σχέση:

$$Fp_{z,m} = \frac{\alpha}{\eta\mu\kappa} \cdot Ks_{1,1} \cdot h_m^{(1-z)}$$

όπου :

α : Βάθος κοπής σε mm
$Ks_{1,1}$: Ειδική αντίσταση κοπής σε Kp/mm^2

Στόν πίνακα 2.9 δίνονται τιμές της ειδικής Αντίστασης κοπής $Ks_{1,1}$ και τής σταθεράς Z.

Πίνακας 2.9: Τιμές της ειδικής αντίστασης κοπής $Ks_{1,1}(Kp/mm^2)$ και τής σταθεράς Z

Υλικό τεμμαχίου	Z	$Ks_{1,1}$	Υλικό τεμμαχίου	Z	$Ks_{1,1}$	Υλικό τεμμαχίου	Z	$Ks_{1,1}$
St34,St37,St42	0.17	178	18 CrNi6	0.30	226	GGL-15	0.21	95
St50	0.26	199	20 MnCr5	0.25	214	GGL-20	0.25	102
St60	0.17	211	25 CrMo4	0.25	207	GGL-25	0.26	116
St70	0.30	226	41 Cr4	0.25	207	GS-45	0.17	160
C15	0.22	182	30 CrNiMo8	0.20	260	GS-52	0.17	178
C35	0.20	186	34 CrMo4	0.21	224	Σκληρός Χυτοσίδηρος	0.19	206
CK45	0.14	222	37 MnV7	0.26	181	Κρατέρωμα	0.17	178
CK60	0.18	213	37 MnSi5	0.20	226	Ορείχαλκος	0.18	78
15 CrMo5	0.17	229	42 CrMo4	0.26	250	Κράματα Mg	0.19	28
16 MnCr5	0.26	210	50 CrV4	0.26	222			

- Η μέση κύρια δύναμη κοπής Fp_m δίνεται από την σχέση:

$$Fp_m = Fp_{,\ \varepsilon}$$

όπου z_ε ο αριθμός των ενεργών δοντιών που κόβουν ταυτόχρονα και δίνεται από την σχέση:

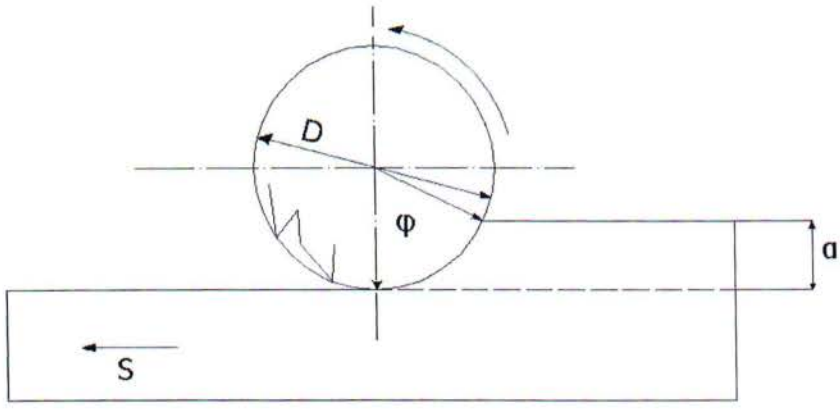
$$z_\varepsilon = \frac{\varphi_0}{360} \cdot z$$

Z : Συνολικός αριθμός οδόντων του κοπέα

Β)Δυνάμεις κοπής κατά το περιφερικό φρεζάρισμα

Στο σχήμα 2.2α φαίνεται η κινηματική του περιφερικού φρεζαρίσματος καθώς και τα μεγέθη του βάθους α και του πλάτους Α κατεργασίας.

Στο σχήμα 2.32 φαίνονται τα μεγέθη της ενεργής γωνία κοπής φ , η διάμετρος του κοπέα D και η πρόωση S.



Σχήμα 2.32: Συμπληρωματικά μεγέθη κατά το περιφερικό φρεζάρισμα

Το πάχος του αποβλήτου και η δύναμη κοπής είναι μεταβαλλόμενα μεγέθη.

- Τό μέσο πάχος του αποβλήτου h_m δίνεται από την σχέση:

$$h_m = S_z \cdot \left(\frac{1-\sigma\upsilon\nu\varphi}{\varphi} \right)$$

όπου :

S_z : Πρόωση ανά οδόντα (mm/Δ) φ
: Ενεργή γωνία κοπής σε rad

- Η μέση κύρια δύναμη κοπής ανά οδόντα $Fp_{z,m}$ δίνεται από την σχέση:

$$Fp_{z,m} = A \cdot Ks_{1,1} \cdot h_m^{(1-Z)}$$

όπου :

A : Πλάτος κατεργασίας σε mm
$Ks_{1,1}$: Ειδική αντίσταση κοπής σε Kp/mm^2

Στόν <u>πίνακα 2.9</u> δίνονται τιμές της ειδικής Αντίστασης κοπής $Ks_{1,1}$ και τής σταθεράς Z.

- Η μέση κύρια δύναμη κοπής Fp_m δίνεται από την σχέση:

$$Fp_m = Fp \cdot \varepsilon$$

όπου z_ε ο αριθμός των ενεργών οδόντων που κόβουν ταυτόχρονα και δίνεται από την σχέση:

$$z_\varepsilon = \frac{\varphi^0}{360} \cdot z$$

όπου :

Z : Συνολικός αριθμός οδόντων του κοπέα φ^0
: Ενεργή γωνία κοπής σε μοίρες

2.4.1 Γενικές οδηγίες για το φρεζάρισμα τεμαχίων

- Πρέπει να επιλεγεί ο σωστός κοπτήρας.

- Οι στροφές του κοπτήρα και η ταχύτητα πρόωσης πρέπει να υπολογίζονται ακριβώς. Κατά τη διάρκεια της εκχόνδρισης, επιλέγονται χαμηλές περιστροφικές ταχύτητες και μεγάλη ταχύτητα πρόωσης, για προστασία του κοπτικού εργαλείου. Κατά την αποπεράτωση (φινίρισμα), επιλέγονται υψηλές περιστροφικές ταχύτητες και μικρή πρόωση.

- Για κατεργασία φινιρίσματος πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο εργαλείο και βάθος κοπής όχι μεγαλύτερο του 0.5 - 1 mm.

- Σε όλες τις φάσεις του φρεζαρίσματος είναι απαραίτητο πάντα το υγρό κοπής, για προστασία του κοπτικού εργαλείου και για καλύτερη ποιότητα επιφάνειας.

- Να μη χρησιμοποιείται φθαρμένο κοπτικό εργαλείο.

- Το κομμάτι πρέπει να συγκρατείται σωστά, με ασφάλεια και στιβαρά, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος κραδασμών λόγω των δυνάμεων κοπής.

2.4.2 Μέτρα ασφάλειας κατά τη διάρκεια του φρεζαρίσματος

Εκτός από τα γνωστό μέτρα ασφάλειας που πρέπει να παίρνονται κατά την εργασία σε μηχανουργείο , επιπλέον κατά το φρεζάρισμα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

- Το κοπτικό εργαλείο δεν πρέπει να πιάνεται κατά τη διάρκεια της κοπής.

- Ποτέ να μην καθαρίζονται τα απόβλητα με το χέρι, αλλά με τη χρήση ειδικής βούρτσας.

- Μετρήσεις πρέπει να γίνονται μόνο όταν είναι σταματημένη η εραλειομηχανή.

2.5 Διαιρέτης.

Ο διαιρέτης είναι ένα ξεχωριστό εξάρτημα των φρεζομηχανών , το οποίο δίνει τη δυνατότητα κατεργασίας σε ίσες γωνίες είτε σε κυλινδρικές είτε σε μετωπικές επιφάνεια. Οι διαιρέτες διακρίνονται σε επίπεδους ή κάθετους, ανάλογα με τη δυνατότητα έδρασης του τεμαχίου, όπως επίσης σε διαιρέτες άμεσης ή έμμεσης διαίρεσης.

Στους επίπεδους διαιρέτες η άτρακτος του διαιρέτη είναι κάθετη προς το επίπεδο του τραπεζιού της φρεζομηχανής, ενώ στους αντίστοιχους κάθετους η άτρακτος είναι παράλληλη προς το επίπεδο του τραπεζιού.

Οι διαιρέτες δίνουν τη δυνατότητα κατεργασίας στη φρεζομηχανή πολύσφηνων,

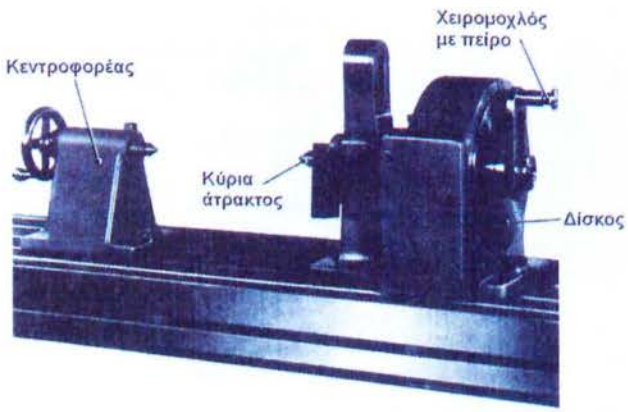
οδοντώσεων, πολυγώνων, ελικοειδών αυλακιών, Κ.λπ. Σήμερα οι χρησιμοποιούμενοι διαιρέτες στις ψηφιακά καθοδηγούμενες φρέζες και στα κέντρα κατεργασίας είναι και αυτοί καθοδηγούμενοι ψηφιακά.

Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης κίνησης στο τεμάχιο, οι διαιρέτες χωρίζονται σε:

- απλούς για άμεση διαίρεση,
- απλούς για έμμεση διαίρεση,
- με διαφορική διαίρεση.

Διαιρέτης απλός για άμεση διαίρεση

Ο απλός διαιρέτης είναι κατάλληλος, όταν ο αριθμός των διαιρέσεων είναι μικρός. Ένας απλός διαιρέτης για άμεση διαίρεση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.33.



Σχήμα 2.33: Απλός διαιρέτης για άμεση διαίρεση

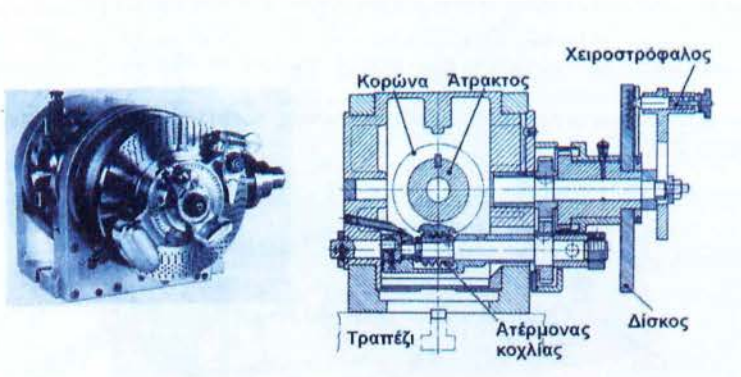
Το τεμάχιο συγκρατείται μεταξύ των κέντρων της κύριας ατράκτου του διαιρέτη και του κεντροφορέα. Ο δίσκος στερεώνεται πάνω στην κύρια άτρακτο του διαιρέτη, η περιφέρειά του έχει οπές ή εγκοπές ομοιόμορφα μοιρασμένες σε ίσες γωνίες. Ο αριθμός των οπών είναι ανάλογος με τον αριθμό των διαιρέσεων που απαιτείται για μία συγκεκριμένη κατεργασία. Ο πείρος σταθεροποιεί την άτρακτο σε μία θέση που αντιστοιχεί σε μία οπή ή σε μία εγκοπή του δίσκου. Έτσι, η περιστροφή του δίσκου συνδέεται άμεσα με την περιστροφή της ατράκτου και συνεπώς του κομματιού. Γι' αυτό το λόγο ο διαιρέτης αυτός ονομάζεται απλός για άμεση διαίρεση. Με τον απλό διαιρέτη μπορούν να πραγματοποιηθούν μέχρι 50 διαιρέσεις.

Ας υποτεθεί ότι θα φρεζαρισθεί μία εξαγωνική κεφαλή ενός κοχλία. Τοποθετείται ένας δίσκος με 12 οπές ή εγκοπές. Ο πείρος εισχωρεί στην οπή και ασφαλίζει το δίσκο σε μία θέση με την πίεση του ελατηρίου. Φρεζάρεται σε αυτή τη θέση η μία πλευρά του εξαγώνου. Στη συνέχεια, αποσύρεται ο πείρος για να απελευθερωθεί η άτρακτος και με τη βοήθεια του χειρομοχλού γυρίζει η άτρακτος κατά 1/6 της στροφής, δηλαδή κατά 2 οπές (12/6=2). Με τη στροφή της ατράκτου περιστρέφεται και το κομμάτι κατά 1/6 της στροφής. Με αυτό τον τρόπο φρεζάρονταιι και οι υπόλοιπες πλευρές του εξαγώνου.

Διαιρέτης απλός για έμμεση διαίρεση

Ο απλός διαιρέτης για έμμεση διαίρεση χρησιμοποιείται για μεγαλύτερο αριθμό διαιρέσεων σε σχέση με τον προηγούμενο. Στο σχήμα 2.34 φαίνεται ένας απλός διαιρέτης για έμμεση

διαίρεση .



Σχήμα 2.34: Απλός διαιρέτης για έμμεση διαίρεση

Η λειτουργία του παραπάνω διαιρέτη βασίζεται στη μετάδοση κίνησης στην κύρια άτρακτο από ένα ζεύγος ατέρμονα κοχλία-κορώνας, των οποίων η σχέση μετάδοσης είναι συνήθως 40:1. Η κορώνα είναι σφηνωμένη σταθερά στην άτρακτο. Ο δίσκος διαιρέσεως στηρίζεται στον άξονα του ατέρμονα κοχλία. Για κάθε διαιρέτη υπάρχουν τρεις δίσκοι διαίρεσης. Ο καθένας από τους δίσκους αποτελείται από έξι περιφέρειες με ομοιόμορφα μοιρασμένες οπές, (πίνακας 2.10).

Πίνακας 2.10: Αριθμός οπών στους τρεις δίσκους ενός απλού διαιρέτη για έμμεση διαίρεση.

$1_{ος}$ δίσκος	15	16	17	18	19	20
$2_{ος}$ δίσκός	21	23	27	29	31	33
$3_{ος}$ δίσκος	37	39	41	43	47	49

Ο χειρομοχλός έχει την δυνατότητα ακτινικής μετατόπισης για την επιλογή μιας από τις έξι περιφέρειες του δίσκου.

Η περιστροφική κίνηση μεταδίδεται από το χειρομοχλό στον ατέρμονα κοχλία, στην κορώνα, στην κύρια άτρακτο και συνεπώς στο κομμάτι. Ας υποτεθεί ότι στο κομμάτι θα γίνουν Z διαιρέσεις και η σχέση μετάδοσης είναι 40:1. ο δίσκος τότε πρέπει να στραφεί X φορές. Όπου:

$$X = \frac{40}{Z}$$

Για την κατεργασία μίας εξαγωνικής κεφαλής ενός κοχλία με τη χρήση ενός διαιρέτη με έμμεση διαίρεση , ο αριθμός στροφών του χειρομοχλού για κάθε κατεργασία υπολογίζεται από τη σχέση :

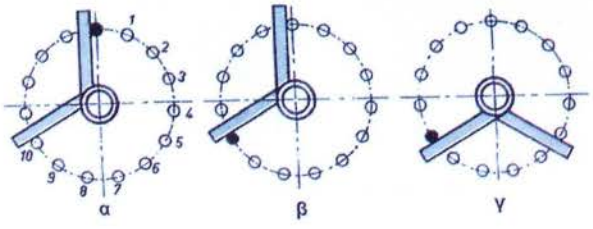
$$X = \frac{40}{Z} = \frac{40}{6} = 6 + \frac{4}{6} \text{ [στροφές]}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.9, δεν υπάρχει δίσκος με 6 οπές και συνεπώς πρέπει να βρεθεί άλλο κλάσμα ισοδύναμο του 4/6:

$$X = 6 + \frac{4}{6} = 6 + \frac{2}{3} = 6 + \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 5} = 6 + \frac{10}{15} \text{ [στροφές]}$$

Ο χειρομοχλός πρέπει να γυρίσει κάθε φορά 6 στροφές και 10 οπές στην περιφέρεια των 15 οπών.

Για το μέτρημα των οπών χρησιμοποιείται γωνιακός δείκτης, ο οποίος τοποθετείται πάνω στο δίσκο (σχήμα 2.35).

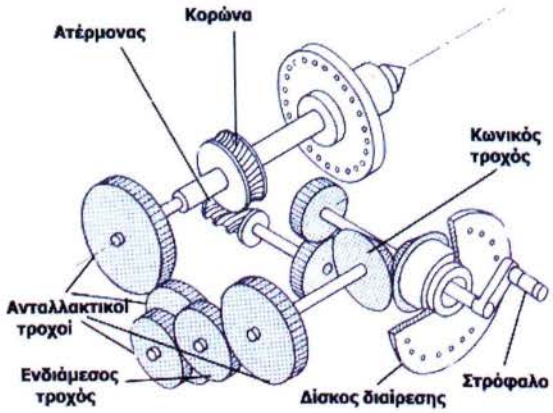


Σχήμα 2.35: Γωνιακός δείκτης διαιρέτη

Το άνοιγμα του γωνιακού δείκτη καλύπτει 10 οπές στην περιφέρεια των 15 οπών. Ο πρώτος δείκτης τοποθετείται ακριβώς πριν από την οπή, όπου είναι ο πείρος (θέση 0) και ο δεύτερος δείκτης τοποθετείται στη θέση 10 (σχήμα 2.35α). Μετά το φρεζάρισμα της πρώτης πλευράς του εξαγώνου, ο χειρομοχλός γυρίζει 6 στροφές και 10 οπές (σχήμα 2.35β). Ο γωνιακός δείκτης θα γυρίσει έτσι, ώστε ο πρώτος δείκτης να πάρει τη θέση του δεύτερου και ο δεύτερος μία καινούρια θέση, η οποία θα είναι η επόμενη θέση του χειρομοχλού για την κατεργασία της τρίτης πλευράς (σχήμα2.35γ).

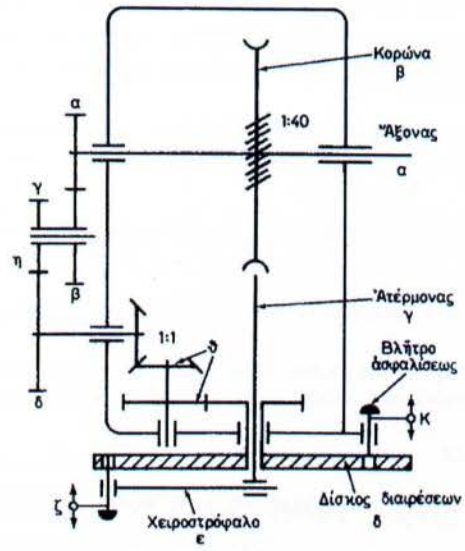
Διαιρέτης με διαφορική διαίρεση.

Σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται περιφέρεια οπών, η οποία δεν υπάρχει στους τρεις δίσκους που αναφέρονται στον πίνακα 2.10 και σε αυτήν τη περίπτωση χρησιμοποιείται διαιρέτης με διαφορική διαίρεση. Για τη διαφορική διαίρεση χρησιμοποιείται ένα ή δύο ζεύγη ανταλλακτικών οδοντοτροχών(σχήμα 2.36).



Σχήμα 2.36: Μετάδοση κίνησης στη διαφορική διαίρεση

Κατά τη διαφορική διαίρεση, ο δίσκος είναι ελεύθερος και η περιστροφική κίνηση μεταφέρεται από τους ανταλλακτικούς οδοντοτροχούς στον ατέρμονα κοχλία μέσω ζεύγους κωνικών οδοντοτροχών με σχέση μετάδοσης 1:1 (σχήματα 2.36 και 2.37).



Σχήμα 2.37: Γραμμική παράσταση διαφορικού διαιρέτη

Για τον υπολογισμό των οδοντοτροχών της διαφορικής διαίρεσης εκλέγεται ένας φανταστικός αριθμός διαίρεσης, ο οποίος είναι ο πλησιέστερος του πραγματικού, με τον οποίο είναι δυνατή η απλή διαίρεση. Η αναγκαία σχέση μετάδοσης της κίνησης, με κατεύθυνση από την άτρακτο προς το βοηθητικό άξονα του διαιρέτη, δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{\alpha}{\beta}\cdot\frac{\gamma}{\delta}=\left(\frac{\Phi-Z}{\Phi}\right)\cdot\frac{40}{1}$$

Όπου: α, β, γ, δ είναι ο αριθμός δοντιών των ανταλλακτικών οδοντοτροχών, Φ και Z είναι ο φανταστικός και ο πραγματικός αριθμός διαίρεσης αντίστοιχα.

Αν Φ > Z, τότε ο δίσκος πρέπει να γυρίζει ομόρροπα ως προς το στρόφαλο.
Αν Φ < Z, τότε ο δίσκος πρέπει να γυρίζει αντίρροπα ως προς το στρόφαλο.

Η ομμόροπη ή αντίρροπη περιστροφή του δίσκου ως προς τον χειροστόφαλο επηρεάζεται από την χρήση ενός ή δύο ζευγών ανταλλακτικών οδοντοτροχών και μπορεί να απαιτηθεί η παρουσία ενός ή και δύο πρόσθετων (ενδιάμεσων) οδοντοτροχών.

- Παράδειγμα 2.4

Να καθορισθεί ο διαιρέτης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για κατεργασία ενός οδοντοτροχού με Z=57 δόντια σε φρεζομηχανή.

Λύση

Ο χειροστρόφαλος πρέπει να στραφεί Χ=40/57 φορές, δηλαδή 40 οπές στην περιφέρεια των 57 οπών. Επειδή δεν υπάρχει δίσκος των 57 οπών (πίνακας 2.10), επιλέγεται ένας φανταστικός αριθμός διαιρέσεων πολύ κοντό στον πραγματικό, με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί απλή διαίρεση. Εάν Φ=60 τότε Χ= 40/60=2/3=18/27, δηλαδή 18 οπές στην περιφέρεια των 27 οπών. Άρα ο φανταστικός αριθμός Φ=60 είναι δεκτός, γιατί μπορεί να γίνει απλή διαίρεση στον υπαρκτό δίσκο των 27 οπών.

Για να βρεθεί ο πραγματικός αριθμός διαιρέσεων, χρησιμοποιείται ένας διαιρέτης με διαφορική διαίρεση, του οποίου οι εξωτερικοί τροχοί μετάδοσης της κίνησης είναι:

$$\frac{\alpha}{\beta}\cdot\frac{\gamma}{\delta}=(\Phi-Z)\cdot\frac{40}{Z}=(60-57)\cdot\frac{40}{60}=\frac{6}{3}=\frac{48}{24}$$

Στην περίπτωση αυτή αρκεί ένα ζεύγος ανταλλακτικών οδοντοτροχών με δόντια 48 και 24 αντίστοιχα.

Επειδή Φ > Z ο χειροστρόφαλος και ο δίσκος πρέπει να γυρίζουν ομόρροπα και για το σκοπό αυτό χρειάζεται ένας ενδιάμεσος οδοντοτροχός, γιατί η μετάδοση είναι απλή.

- Παράδειγμα 2.5

Για κοπή Z=327 δοντιών σε φρεζομηχανή, να καθορισθούν ο διαιρέτης και οι στροφές του στροφάλου.

Λύση

Ο χειροστρόφαλος πρέπει να στρέφεται κατά 40/327 της στροφής για κάθε διαίρεση. Περιφέρεια με 327 οπές δεν υπάρχει και γι' αυτό το λόγο θα χρησιμοποιηθεί η διαφορική διαίρεση.

Επιλέγεται ο φανταστικός αριθμός Φ=330 οπότε Χ=40/330=4/33, δηλαδή 4 οπές στην περιφέρεια των 33 οπών. Άρα, ο φανταστικός αριθμός Φ=330 είναι δεκτός γιατί μπορεί να γίνει με απλή διαίρεση.

Οι εξωτερικοί τροχοί μετάδοσης της κίνησης υπολογίζονται από τη σχέση (2.6):

$$\frac{\alpha}{\beta}\cdot\frac{\gamma}{\delta}\qquad(\Phi-Z)\cdot\frac{40}{Z}=(330-327)\cdot\frac{40}{330}=3\cdot\frac{4}{33}=\frac{4}{11}=\frac{32}{44}\cdot\frac{24}{48}$$

Άρα, οι οδοντοτροχοί α, β, γ και δ θα έχουν αριθμό δοντιών 32,44,24 και 48 αντίστοιχα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται χωρίς ενδιάμεσο τροχό. Ο χειροστρόφαλος και ο δίσκος πρέπει να γυρίζουν ομόρροπα.

- Παράδειγμα 2.6

Για κοπή Z=73 δοντιών σε φρεζομηχανή, να καθορισθούν ο διαιρέτης και οι στροφές του στροφάλου.

Λύση

Ο χειροστρόφαλος πρέπει να στρέφεται κατά 40/73 φορές, δηλαδή 40 οπές σε περιφέρεια των 73 οπών. Επειδή δεν υπάρχει δίσκος των 73 οπών (πίνακας 2.10), επιλέγεται ένας φανταστικός αριθμός διαιρέσεων πολύ κοντό στον πραγματικό, ο οποίος μπορεί να γίνει με απλή διαίρεση. . Έστω Φ=70 οπότε X = 40/70=4/7=12/21 , δηλαδή 12 οπές στην περιφέρεια των 21 οπών. Άρα ο φανταστικός αριθμός Φ=70 είναι δεκτός, γιατί μπορεί να γίνει με απλή διαίρεση.

Για να βρεθεί ο πραγματικός αριθμός διαιρέσεων, χρησιμοποιείται ένας διαιρέτης με διαφορική διαίρεση, του οποίου οι εξωτερικοί τροχοί μετάδοσης της κίνησης είναι:

$$\frac{\alpha}{\beta}\cdot\frac{\gamma}{\delta}=(\Phi-Z)\cdot\frac{40}{Z}=(70-73)\cdot\frac{40}{70}=-\frac{12}{7}=-\frac{48}{28}$$

Επειδή Φ<Z, Ο χειροστρόφαλος και ο δίσκος πρέπει να γυρίζουν αντίρροπα, γι' αυτό το λόγο τοποθετείται ένας ενδιάμεσος τροχός.

2.5.1 Κατασκευή ελικώσεων με διαιρέτη

Μια αξιόλογη εργασία πού γίνεται στη φρεζομηχανή με τη βοήθεια καί του διαιρέτη είναι ή κατασκευή ελικώσεων. Η εργασία αυτή δίνει την δυνατότητα να κατασκευασθούν :

- Σπειρώματα ορθογωνικά, τραπεζοειδεί,τριγωνικά κλπ,
- Ελικοειδή δόντια οδοντοτροχών,
- Ελικοειδή αυλάκια σε τρυπάνια, κοπτικά εργαλεία και άλλα σχετικά εξαρτήματα μηχανών με οποιοδήποτε βήμα,
- Ατέρμονες κοχλίες.

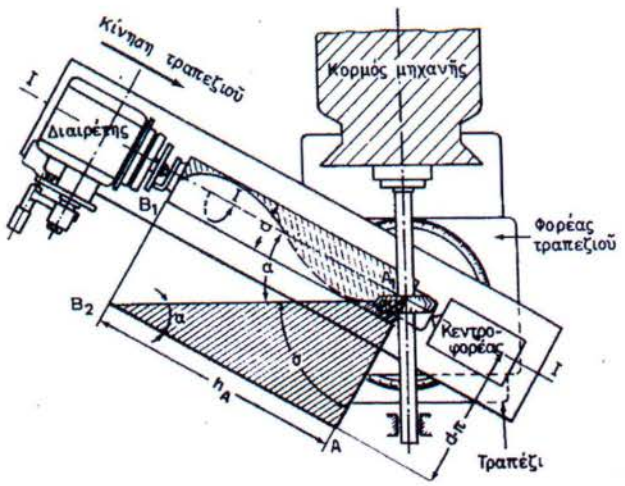
Το κομμάτι στην περίπτωση αυτή πρέπει να γυρίζει και ταυτόχρονα να προωθείται ευθύγραμμα.

Η ευθύγραμμη κίνηση δίνεται από το τραπέζι, ενώ η περιστροφική από την άτρακτο του διαιρέτη, η όποία παίρνει κίνηση από τον κοχλία του τραπεζιού μέσω των εξωτερικών ανταλλακτικών τροχών του διαιρέτη.

Για να κοπεί οποιαδήποτε έλικα, χρησιμοποιείται κοπτικό εργαλείο με ανάλογη μορφή δοντιών.

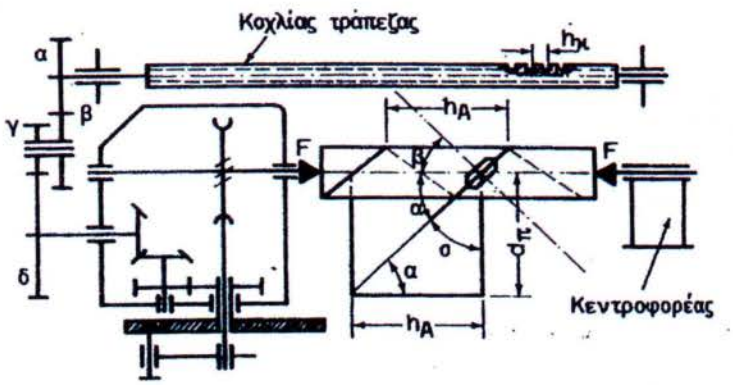
Απαραίτητη προυπόθεση είναι η στροφή του τραπεζιού της φρεζομηχανής ανάλογα με την κλίση τής έλικας , γιατί διαφορετικά ή φρέζα θα καταστρέψει το ελικοειδές αυλάκι. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η χρήση φρεζομηχανής Γιουνιβέρσαλ (Universal) . Η γωνία της έλικας επιτυγχάνεται είτε με περιστροφή του τραπεζιού (μέγιστο 45°) είτε με στροφή της περιστρεφόμενης κεφαλής της εργαλειομηχανής .

Στο σχήμα 2.38 φαίνεται σε κάτοψη ο τρόπος κοπής έλικας σε φρεζομηχανή.



Σχήμα 2.38:Σχετική θέση τραπεζιού και σώματος φρεζομηχανής για κοπή έλικας

Στό σχήμα 2.39 φαίνεται σε σχηματική παράσταση πως μεταφέρεται η περιστροφική κίνηση στο κομμάτι από τον κοχλία του τραπεζιού μέσω του διαιρέτη.



Σχήμα 2.39:Σχηματική παράσταση των κύριων στοιχείων κίνησης για κοπή ελικώσεων στη φρεζομηχανή.

Τα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε όταν πρόκειται να κόψουμε έλικα είναι:

- Η γωνία α στροφής του τραπεζιού ή της κεφαλής της φρεζομηχανής η οποία είναι συμπληρωματική της γωνίας σ της κλίσης που έχει η έλικα του σπειρώματος.
- Το βήμα του κοχλία κίνησης του τραπεζιού h_k.
- Το βήμα της ελίκωσης h_A.
- Τους ανταλλακτικούς τροχούς α,β,γ,δ.

Στο σχήμα 2.38 έχει σχεδιαστεί το ανάπτυγμα της κυλινδρικής επιφάνειας του κομματιού σε μήκος ενός βήματος h_A. Από το διαγραμμισμένο τρίγωνο προκύπτει:

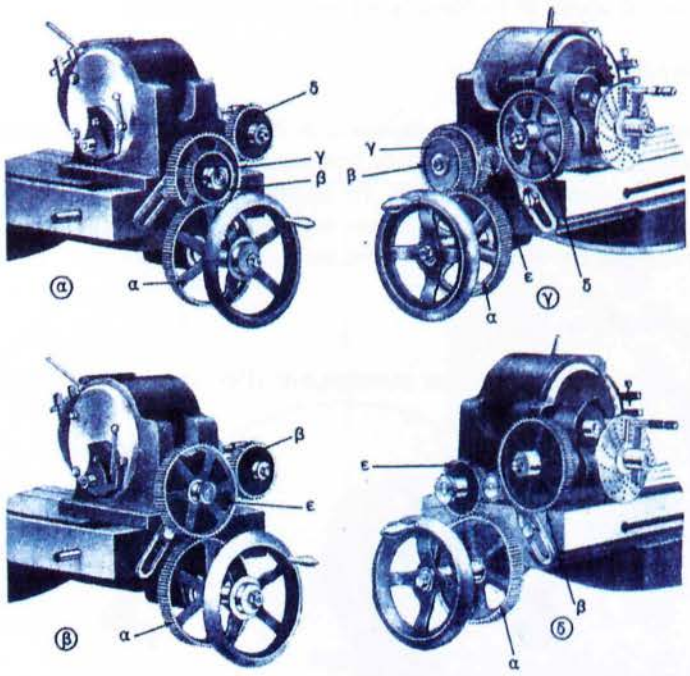
$$\varepsilon\varphi\alpha = \frac{\pi \cdot d}{h_A}$$

Όταν λοιπόν γνωρίζουμε τη διάμετρο του κομματιού και το βήμα της ελίκωσης μπορούμε να βρούμε την εφα και από τους τριγωνομετρικούς πίνακες την αντίστοιχη γωνία α κατά την οποία πρέπει να στραφεί το τραπέζι ή η κεφαλή της φρεζομηχανής.

Οι ανταλλακτικοί τροχοί α,β,γ,δ (σχήμα 2.40) βρίσκονται από την σχέση :

$$\frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{\gamma}{\delta} = \frac{h_k}{h_A} \cdot 40$$

Στο σχήμα 2.40 (α),(β),(γ),(δ), φαίνεται πως μεταδίδεται η κίνηση από το άκρο του κοχλία κίνησης του τραπεζιού προς το διαιρέτη με τους ανταλλακτικούς τροχούς α,β,γ και δ και όταν είναι ανάγκη με τον ενδιάμεσο οδοντοτροχό ε.



Σχήμα 2.40 : Διάφορες περιπτώσεις διάταξης των τροχών για τη μετάδοση κίνησης από τον κοχλία του τραπεζιού στο διαιρέτη. α) Διπλή μετάδοση. β) Απλή μετάδοση με ένα ενδιάμεσο τροχό. γ) Διπλή μετάδοση με ένα ενδιάμεσο τροχό. δ) Απλή μετάδοση με δύο ενδιάμεσους τροχούς.

- Παράδειγμα 2.7

Σε ένα άξονα με διάμετρο d=38mm πρέπει να κατασκευαστεί ελικοειδές αυλάκι με βήμα h_A=132mm. Ο κοχλίας του τραπεζιού της φρεζομηχανής έχει βήμα h_k=5mm.
Να υπολογισθούν οι ανταλλακτικοί τροχοί α,β,γ,δ του διαιρέτη που θα μεταδώσουν την κατάλληλη κίνηση.

Λύση

Για να βρούμε τη στροφή του τραπεζού α, εφαρμόζουμε τον γνωστό μας τύπο:

$$\varepsilon\varphi\alpha = \frac{\pi \cdot d}{h_A} = \frac{\pi \cdot 38}{132} = 0.9044$$

Από τους τριγωνομετρικούς πίνακες βρίσκουμε ότι για εφα=0.9044 αντιστοιχεί γωνία α=42.25°

Για να βρούμε τους ανταλλακτικούς τροχούς εφαρμόζουμε τον τύπο:

$$\frac{\alpha}{\beta}\cdot\frac{\gamma}{\delta} = \frac{5}{132}\cdot 40 = \frac{200}{132}\cdot\frac{50}{33} = \frac{50}{11\cdot 3} = \frac{50\cdot 2\cdot 2}{11\cdot 2\cdot 2\cdot 3} = \frac{100\cdot 2}{44\cdot 3} = \frac{100\cdot 2\cdot 24}{44\cdot 3\cdot 24} = \frac{100}{44}\cdot\frac{48}{72}$$

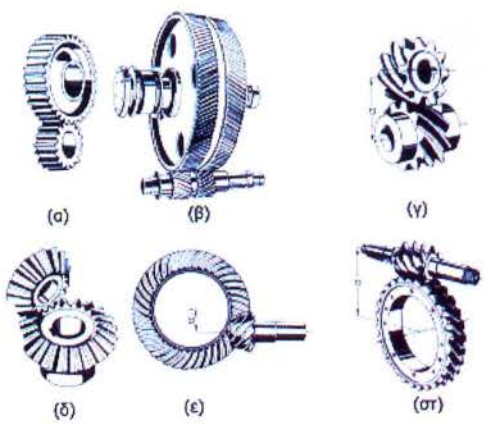
Δηλαδή : α=100 δόντια, β=44 δόντια, γ=48 δόντια και δ=72 δόντια.

2.6 Κατασκευή οδοντοτροχών.

Οι οδοντοτροχοί χρησιμοποιούνται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και αποτελούν ένα από τα βασικότερα στοιχεία μηχανών που μεταφέρουν κίνηση. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από αυτούς σε ό,τι αφορά τη μορφή και το μέγεθος τους. Η αποδοτική λειτουργία ενός οδοντοτροχού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ακρίβεια κατασκευής του, η οποία σχετίζεται με τα σφάλματα του βήματος και της μορφής της οδόντωσης.

2.6.1 Είδη οδοντοτροχών

Ανάλογα με τη μορφή τους, τα συνηθισμένα είδη οδοντοτροχών είναι τα ακόλουθα (σχήμα 2.41):



Σχήμα 2.41
Τα πιο συνηθισμένα είδη οδοντοτροχών
α)Κυλινδρικοί με ευθύγραμμα δόντια β) Κυλινδρικοί με ελικοειδή δόντια γ) Κυλινδρικοί με ελικοειδή δόντια και ασύμβατους κάθετους άξονες δ)Κωνικοί με ευθύγραμμα δόντια ε)

Κωνικοί με ελικοειδή δόντια στ) Ατέρμονας κοχλίας και κορώνα.

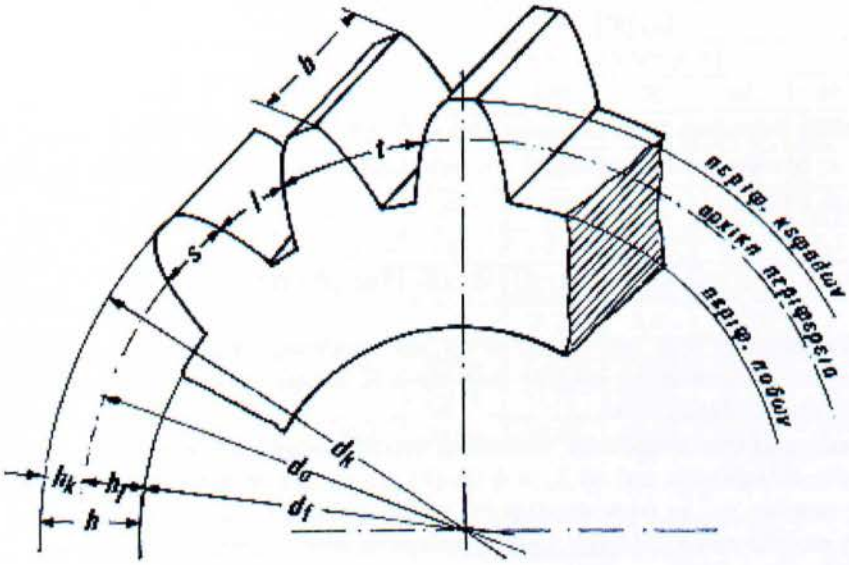
- Οι μετωπικοί οδοντοτροχοί. Έχουν κυλινδρική μορφή και χρησιμοποιούνται στη μετάδοση κίνησης ανάμεσα σε παράλληλες ατράκτους ή μεταξύ οδοντοκανόνα και ατράκτου. Η μορφή της οδόντωσης μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή ελικοειδής. Ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν οι μετωπικοί ελικοειδείς οδοντοτροχοί που μεταφέρουν κίνηση σε ασύμβατους (μη τεμνόμενους) άξονες.

- Οι κωνικοί οδοντοτροχοί. Έχουν κωνική μορφή και οι άξονες των ατράκτων του ζεύγους τέμνονται. Η μορφή της οδόντωσης μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή ελικοειδής.

- Η κορώνα. Συνεργάζεται με ατέρμονα κοχλία. Οι άξονες των ατράκτων του ζεύγους είναι ασύμβατοι κατά ορθή γωνία.

2.6.2 Χαρακτηριστικά της οδόντωσης

Τα βασικά μεγέθη της οδόντωσης είναι τα ακόλουθα (σχήμα 2.42):



Σχήμα 2.42:Βασικά στοιχεία οδόντωσης

- Ο αριθμός δοντιών z.

- Το βήμα t σε [mm] είναι το μήκος του τόξου του αρχικού κύκλου, που περιλαμβάνεται ανάμεσα σε δυο αριστερές παρειές δύο διαδοχικών δοντιών. Το βήμα ορίζεται ανάλογα με το είδος της οδόντωσης, όπως π.χ. το μετωπικό και το κάθετο βήμα στους οδοντοτροχούς με ελικοειδή οδόντωση ή το βήμα μεγάλης ή μικρής διαμέτρου στους κωνικούς οδοντοτροχούς.

- Η αρχική διάμετρος d_0 σε [mm] προσδιορίζεται από τη γενική σχέση:

$$\pi \cdot d_0 = z \cdot t \Leftrightarrow d_0 = \frac{z \cdot t}{\pi}$$

- Όπου z είναι ο αριθμός δοντιών του οδοντοτροχού.
- Το μέτρο βήματος της οδόντωσης ή μέτρο της οδόντωσης (modul) m σε mm σχετίζεται με το αρχικό βήμα στο μετρικό σύστημα ως εξής:

$$m = \frac{t}{\pi} = \frac{d_0}{z}$$

- Στο Αγγλοσαξονικό σύστημα ορίζεται το περιφερειακό βήμα (circular pitch) C_p ή P_t ως:

$$C_p\,[in] = \frac{\pi \cdot d_0\,[in]}{z} = \frac{t[mm]}{25.4} = \frac{m[mm]}{8.09}$$

- Το διαμετρικό βήμα (diametral pitch) D_p ή P. Εκφράζει τον αριθμό των δοντιών του οδοντοτροχού που αντιστοιχεί σε μία ίντσα της αρχικής διαμέτρου, δηλαδή:

$$D_p\,[in^{-1}] = \frac{z}{d_0\,[in]} = \frac{\pi}{C_p\,[in]} = \frac{25.4}{m[mm]}$$

Προτυποποιημένες τιμές του μέτρου m και του διαμετρικού βήματος D_p για μετωπικούς οδοντοτροχούς δίδονται στους πίνακες 2.11 και 2.12 σύμφωνα με την προδιαγραφή 180 54-1977 (ή DIN 780, Teil 1).

Τα προαναφερθέντα στοιχεία της οδόντωσης συμπληρώνονται και με άλλα, τα οποία κατά περίπτωση προσδιορίζονται από τα Z, m ή Dp (P). Τα μεγέθη αυτά της οδόντωσης, όπως η διάμετρος κεφαλής $d_κ$, το ύψος κεφαλής h_K, το ύψος ποδός h_f, και το συνολικό ύψος του δοντιού h και όλα τα άλλα (σχήμα 2.42) , χρειάζονται τόσο για την κατεργασία του δισκοειδούς κομματιού, στο οποίο περιφεραιακά θα μορφοποιηθεί η οδόντωση, όσο και για την κατεργασία της ιδίας της οδόντωσης (π.χ. το συνολικό ύψος των δοντιών αποτελεί το βάθος κοπής κατά την κατεργασία της κοπής).

Στους πίνακες 2.13 και 14 δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού των στοιχείων των μετωπικών οδοντοτροχών με ευθύγραμμή οδόντωση με βάση το βήμα m και το διαμετρικό βήμα D_p. Στον πίνακα 2.15 δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού των στοιχείων των μετωπικών οδοντοτροχών με ελικοειδή οδόντωση με βάση το κάθετο (m_n) ή μετωπικό (m_s) βήμα και την γωνία ελίκωσης β.

Πίνακας 2.11: Προτυποποιημένες τιμές του μέτρου οδόντωσης m κατά ISO 54-1977 ή DIN 780 (Teil 1) για μετωπικούς οδοντοτροχούς.

	Μοντούλ m [mm]								
Σειρά 1	0.05	0.06	0.08	0.1	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3
Σειρά 2	0.056	0.07	0.09	0.11	0.14	. 0.18	0.22	0.28	0.35
Σειρά 1	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25	1.5
Σειρά 2	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.125	1.375	1.75
Σειρά 1	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Σειρά 2	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14
Σειρά 1	16	20	25	32	40	50	60		
Σειρά 2	18	22	28	36	45	55	70		

Πίνακας 2.12: Προτυποποιημένες τιμές του διαμετρικού βήματος P κατά ISO 54-1977 ή DIN 780 (Teil 1) για μετωπικούς οδοντοτροχούς.

	Διαμετρικό βήμα P [1/inch] και m=25.4/P [mm]								
P [1/inch]	200	180	160	140	120	100	80	64	48
m [mm]	0,127	0,141	0,158	0,181	0,211	0,254	0,317	0,396	0,529
P [1/1nch]	40	36	32	26	24	20	18	16	14
m [mm}	0,635	0,705	0,793	0,907	1,058	1,27	1,411	1,587	1,814
P [1/inch }	12	11	10	9	8	7	6	5,5	5
m [mm}	2,116	2,309	2,54	2,822	3,175	3,628	4,233	4,618	5,08
P [1/inch]	4,5	4	3,5	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75
m [mm}	5,644	6,350	7,257	8,466	9,236	10,16	11,24	12,7	14,51
P [1/inch }	1,5	1,25	1	0,875	0,75	0,625	0,5		
m [mm]	16,93	20,32	25,4	29,03	33,87	40,64	50,80		

Πίνακας 2.13: Στοιχεία οδοντοτροχού μετρικού συστήματος με ευθύγραμμη οδόντωση.

Περιγραφή	Σύμβολο	Υπολογισμός
Μοντούλ	m	$m=t/\pi=d_0/z$
Βήμα οδοντωτής	t	$t=m.\pi= d_0.\pi/z$
Αρχική διάμετρος	d_0	$d_0 =z.m=d_k-2m$
Εξωτερική διάμετρος	d_k	$d_k=(z+2).m=d_0+2m$
Ύψος κεφαλής δοντιού	h_k	$h_k=m$
Ύψος ποδιού δοντιού	h_f	$h_f=1.166m$
Ύψος δοντιού (βάθος κοπής)	h	$h=2.166m=0.7t$
Αριθμός δοντιών	z	$z=d_0/m=d_0.\pi/t$
Απόσταση αξόνων τροχών	A	$A=m.(z_1+z_2)/2=(d_{01}+d_{02})/2$

Η σειρά των οκτώ (8) κοπτήρων αποτελεί τη βασική σειρά και χρησιμοποιείται για μέτρο οδόντωσης (modul) m<8mm. Για μεγαλύτερο μέτρο (8mm≤=m≤=16mm) χρησιμοποιείται σειρά των δέκα πέντε (15) κοπτήρων ενώ για m> 16 διατίθενται σειρές των είκοσι έξι (26) κοπτήρων (πίνακες 2.16 και 2.17).

Πρέπει να τονισθεί ότι για την κοπή κωνικών οδοντοτροχών και κορωνών συνιστάται η χρήση ειδικών φρεζομηχανών (γραναζοκόπτες).

Πίνακας 2.16: Επιλογή δισκοφρεζών σε σχέση με τον αριθμό δοντιών της οδόντωσης για δεδομένο μέτρο οδόντωσης m.

Αριθμός Φρέζας	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2
Αριθμός δοντιών της σειράς των 8 τεμαχίων	12-13		14-16		17-20		21-25	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 15 τεμαχίων	1 2	13	14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-25
Αριθμός Φρέζας	5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 8 τεμαχίων	26-34		35-54		55-135		135-00	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 15 τεμαχίων	26-29	30-34	35-41	42-54	55-80	81-134	135-00	

Πίνακας 2.17: Επιλογή δισκοφρεζών σε σχέση με τον αριθμό δοντιών της οδόντωσης για δεδομένο διαμετρικό βήμα P.

Αριθμός Φρέζας	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	41/2
Αριθμός δοντιών της σειράς των 8 τεμαχίων	135-∞		55-134		35-54		26-34	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 15 τεμαχίων		80-134		42-54		30-34		23-25
Αριθμός Φρέζας	5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 8 τεμαχίων	21-25		17-20		14-17		12-13	
Αριθμός δοντιών της σειράς των 15 τεμαχίων		19-20		15-16		13		

Σε κάθε δισκοφρέζα αναγράφονται τα παρακάτω στοιχεία:

- Το μοντούλ m ή το διαμετρικό βήμα P,
- ο αριθμός της φρέζας (1-8) για σειρά των 8 τεμαχίων ή (1-15) για σειρά των 15 τεμαχίων
- η περιοχή του αριθμού δοντιών,

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΦΡΕΖΩΝ

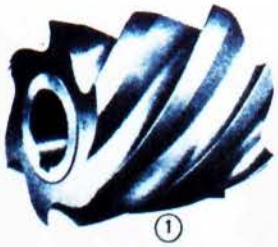
Πηγή:

ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΙ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Δ. ΠΑΠΑΔΑΝΙΗΛ
Ομότιμος καθ. Ε.Μ.Π.

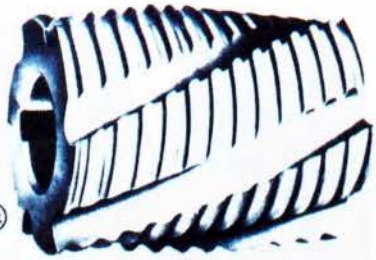
ΜΙΧΑΗΛ Μ. ΣΦΑΝΤΖΙΚΟΠΟΥΛΟΣ
Διδάκτωρ Μηχανολόγος – Μηχανικός
καθ. Ε.Μ.Π.

ΤΕΥΧΟΣ Β΄



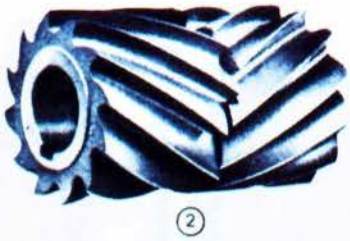
1

Με απλή ελικοειδή οδόντωση.



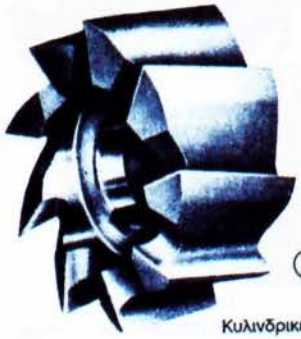
1α

Με ελικοειδή διακεκομμένη οδόντωση.



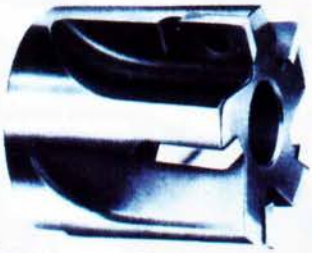
2

Ζεύγος με αντίθετη φορά ελικώσεως.



3

Από ταχυχάλυβα.



4

Κυλινδρικές - μετωπικές φρέζες.
Με ένθετα δόντια από σκληρομέταλλο.

5

Δισκοειδής μονόκοπη.

6

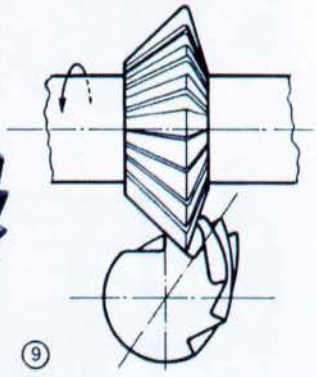
Δισκοειδής τρίκοπη.

7

Διμερής δισκοειδής τρίκοπη φρέζα.

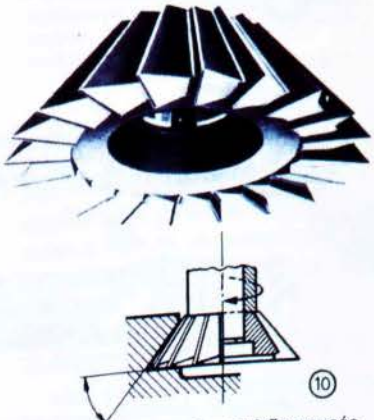
8

Γωνιακή δισκοειδής για λούκι οξείας γωνίας.



9

Γωνιακή για ελικοειδείς αυλακώσεις.



10

Γωνιακή 50° για γλισιέρες χελιδονοουράς.

11

Δισκοειδής για ημικυκλικό αυλάκι.

12

Δισκοειδής για ημικυκλική προεξοχή.

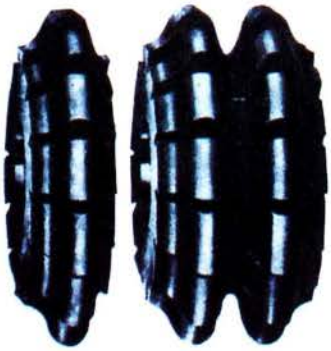
13

Δισκοειδής για λούκι τρυπανιών.

Σχήμα 6.39 *Συλλογή από εικόνες φρεζών όλων των ειδών (αριθμημένα από 1 ... 13).*

(14)

Κονδύλι με δισκοειδή φρέζα για αυλάκια

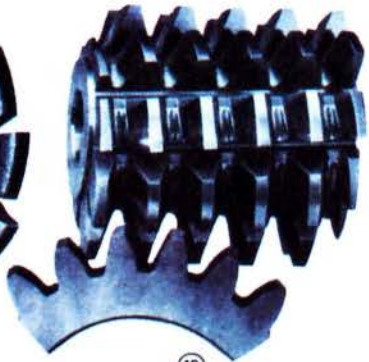


(15) (16)

Απλή και διπλή δισκοειδής φρέζα μορφής για δόντια αλυσίδας.

(17)

Δισκοειδής μορφή για οδοντωτούς τροχούς.

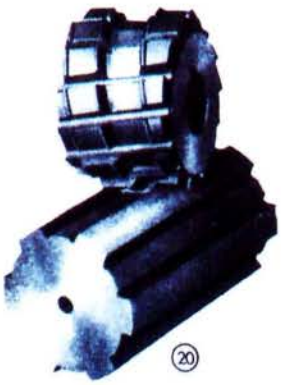


(18)

Κυλινδρική ελικοειδής φρέζα (χόμπ) για οδοντωτούς τροχούς σε γρανα-ζοκόπτη.

(19)

Κυλινδρική ελικοειδής φρέζα (χόμπ) για αλυσοτροχό.



(20)

Κυλινδρική ελικοειδής φρέζα για πολύσφηνο.

(21)

Κονδύλι δίφτερο για σφηναύλακες.

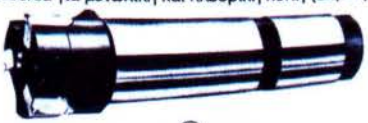
(22)

(23)

Κονδύλια για μετωπική και πλευρική κοπή (22, 23).

(24)

Κονδύλι με σπείρωμα για τσοκ Clarkson.



(25)

Κονδύλι με κώνο Μόρς και ένθετα σκληρομέταλλα.

(26)

(27)

Κονδύλια για μεγάλη απόδοση κοπής δίφτερα και διάμετρο ø 12 ... 63 mm.

(28)

(29)

Κονδύλια με ελικοειδείς διακεκομμένες κόψεις για εργασίες ξεχονδρίσματος (28, 29).

Σχήμα 6.39 *Συλλογή από εικόνες φρεζών όλων των ειδών (αριθμημένα από 14 ... 29).*

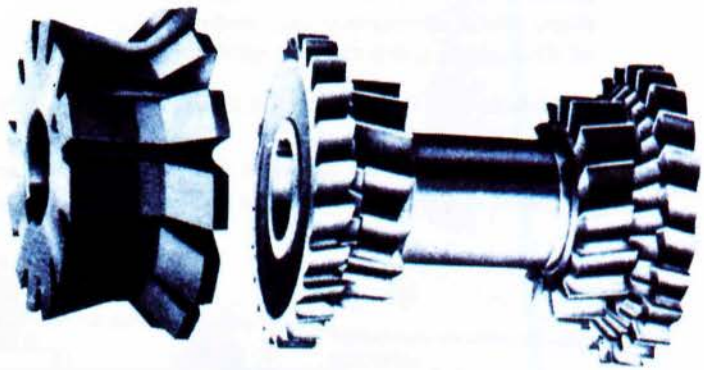
(30)

Κονδύλι για εκβανθύσεις και εργασίες αντιγραφής.

(31)

(32)

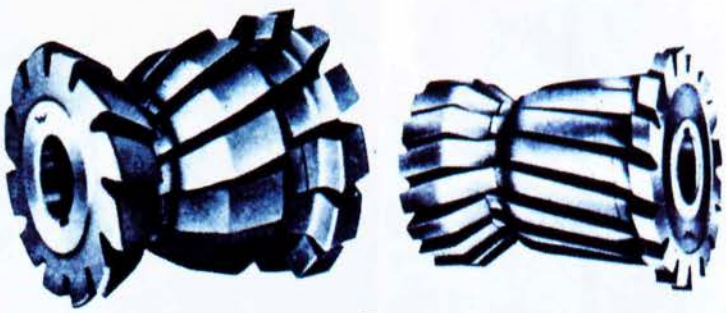
Κονδύλια αυτοφερόμενα με κολλητά (31) και ένθετα (32) πλακίδια με μεγάλη απόδοση κοπής.



(33)

(34)

Κονδύλια για αυλάκια και δισκοειδείς σφήνες. (33) Με κώνο Μόρς. (34) Με σπείρωμα για τσοκ Clarkson.



(35)

Ειδικές φρέζες και τακίμια (σύνολα) φρεζών.

Σχήμα 6.39 *Συλλογή από εικόνες φρεζών όλων των ειδών (αριθμημένα από 30 ... 35).*

τελευταία χρόνια κατασκευάζονται και με δόντια εφοδιασμένα με ένθετα σκληρομέταλλα. Συγκρατούνται πάντοτε σε κοντούς (προβόλους) εργαλειοφόρους άξονες μόνο στο άκρο της κύριας ατράκτου.

3) Δισκοειδείς φρέζες (σχ. 6.39 - 5, 6 και 7).

Εδώ περιλαμβάνεται μεγάλη ποικιλία τέτοιων φρεζών, ανάλογα με το είδος και τη μορφή που αποδίδουν στο κομμάτι που φρεζάρουν. Διακρίνονται σε ***μονόκοπες,*** όταν κόβουν μόνο στην περιφέρεια και σε ***τρίκοπες,*** όταν τα δόντια έχουν κόψεις και στις δύο πλευρικές επίπεδες επιφάνειες. Μια κατηγορία των δισκοειδών φρεζών είναι οι πριονοδίσκοι. Χαρακτηρίζονται από το λεπτό σχετικά πάχος τους.

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

4) *Γωνιακές φρέζες* (σχ. 6.39 - 8, 9 και 10).

Έχουν δύο κόψεις που σχηματίζουν μια γωνία συνήθως τυποποιημένη.

5) *Δισκοειδείς φρέζες μορφής* (σχ. 6.39 - 11, 12, 13, 14, 15, 16, και 17).

Χρησιμοποιούνται για διάφορες εργασίες, όπως φαίνεται και εξηγείται στα σχετικά σχήματα.

6) *Κυλινδρικές κοχλιωτές (Χομπ)* (σχ. 6.39 - 18, 19 και 20).

Έχουν μεγάλη σημασία, γιατί αποτελούν τα κοπτικά εργαλεία μιας από τις τρεις κυριότερες μεθόδους για κοπή οδοντωτών τροχών καθώς και άλλου είδους οδοντώσεων στις ειδικές για το σκοπό αυτό μηχανές, δηλαδή τους γραναζοκόπτες.

7) *Κονδύλια* (σχ. 6.39 - 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33 και 34).

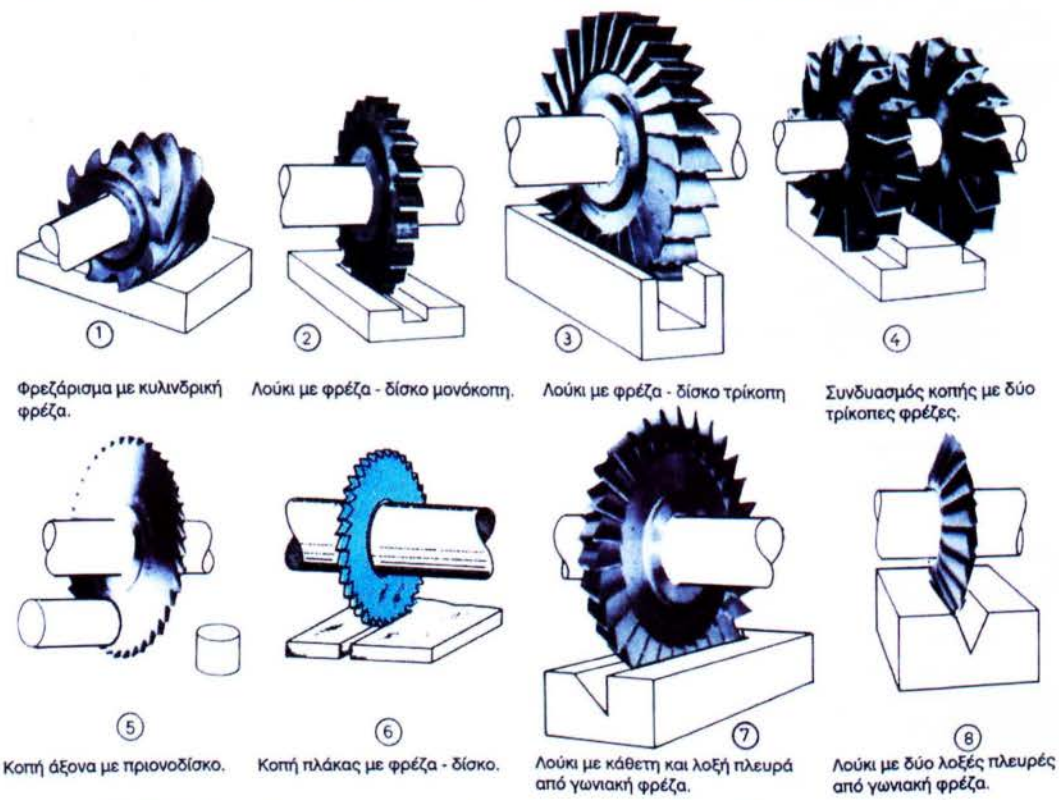
Έχουν πολύ μεγάλη χρήση σε όλες τις μηχανουργικές εργασίες. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζονται όλο και περισσότερο τέτοια κονδύλια με ένθετα δόντια από σκληρομέταλλο, γιατί το μεγαλύτερο κόστος τους υπερκαλύπτεται από τη μεγάλη τους απόδοση, ιδίως για εργασίες ξεχονδρίσματος.

- Κονδύλια με δύο ή περισσότερα φτερά ολόσωμα από ταχυχάλυβα ή με πλακίδια από σκληρομέταλλο (σχ. 6.39 25, 26, και 27).
- Κονδύλια στα οποία οι ελικοειδείς κόψεις τους είναι διακεκομμένες από εγκοπές μ' ένα ορισμένο σχήμα (σχ. 6.39 - 28, 29 και 30).
- Κονδύλια για αυλάκια ταυ (σχ. 6.39 - 33, 34) και κονδύλια αυτοφερόμενα μεγάλης αποδόσεως (σχ. 6.39 - 31, 32).

8) *Φρέζες ειδικής μορφής* (σχ. 6.39 - 35).

9) *Σετ κυλινδρικών φρεζών* (σχ. 6.40 - 19, 20).

Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι έχουν μεγάλη απόδοση, οικονομία χρόνου κατεργασίας και ακρίβεια στην πολυσύνθετη μορφή που αποδίδεται.



① Φρεζάρισμα με κυλινδρική φρέζα.

② Λούκι με φρέζα - δίσκο μονόκοπη.

③ Λούκι με φρέζα - δίσκο τρίκοπη

④ Συνδυασμός κοπής με δύο τρίκοπες φρέζες.

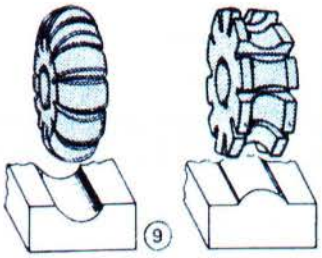
⑤ Κοπή άξονα με πριονοδίσκο.

⑥ Κοπή πλάκας με φρέζα - δίσκο.

⑦ Λούκι με κάθετη και λοξή πλευρά από γωνιακή φρέζα.

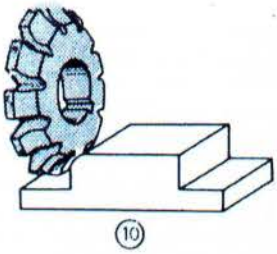
⑧ Λούκι με δύο λοξές πλευρές από γωνιακή φρέζα.

Σχήμα 6.40 *Παραδείγματα εργασιών φρεζαρίσματος 1....8 με φρέζες διαφόρων ειδών και μορφών.*



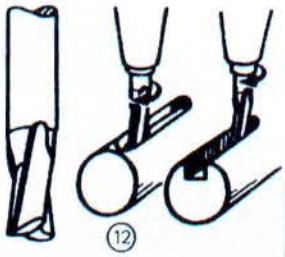
9

Φρεζάρισμα για ημικυλινδρικό λούκι και ημικυλινδρική προεξοχή.



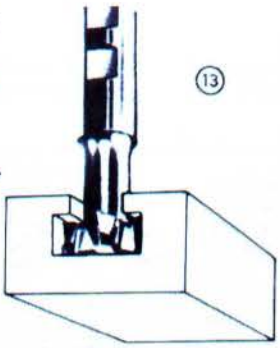
10

Στρογγύλεμα γωνίας.



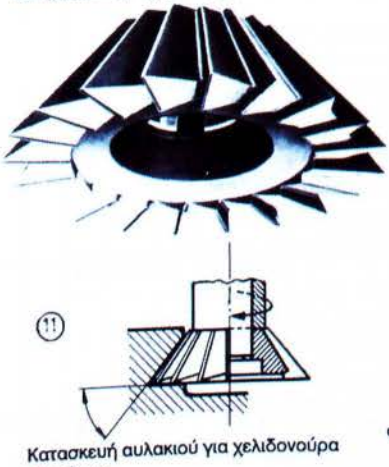
12

Φρεζάρισμα σφηναυλάκων.



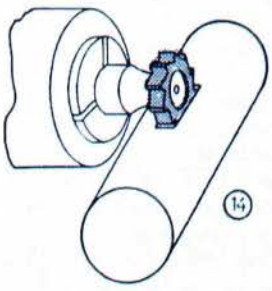
13

Φρεζάρισμα για λούκι.



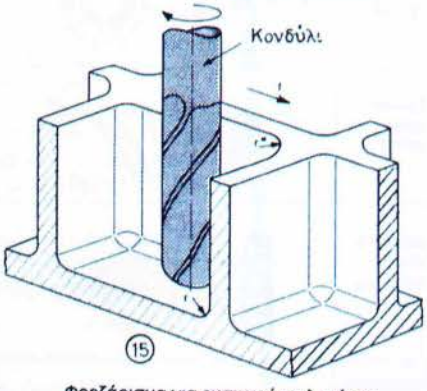
11

Κατασκευή αυλακιού για χελιδονούρα γλισιέρας.



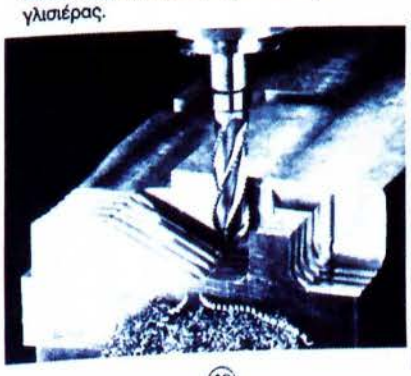
14

Φρεζάρισμα άξονα για δισκοειδή σφήνα.



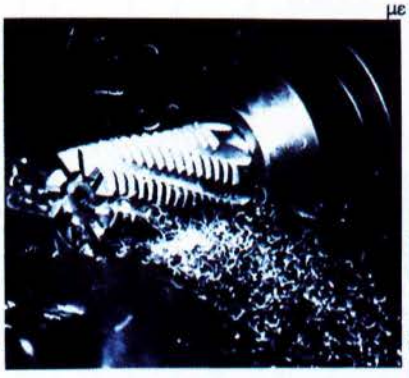
15

Φρεζάρισμα για εκσκαφή κοιλοτήτων με κονδύλι



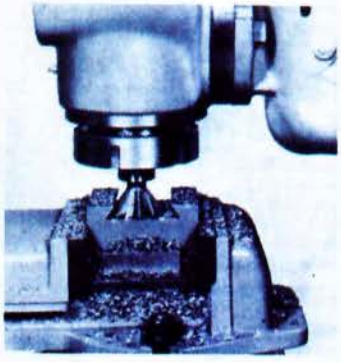
16

Φρεζάρισμα κοιλοτήτων σε φρεζομηχανή αντιγραφής.



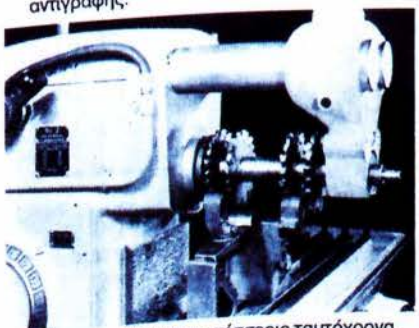
17

Ξεχόνδρισμα μεγάλης αποδόσεως με κονδύλι με ελικοειδή αυλακωτά δόντια.



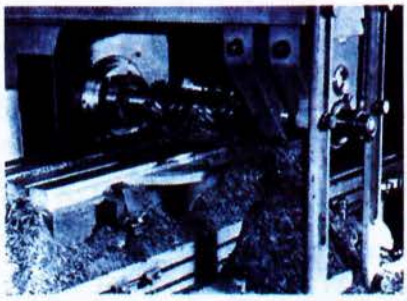
18

Φρεζάρισμα αυλακιού χελιδονοουράς.



19 20

Φρεζάρισμα δίχαλου σε τέσσερις ταυτόχρονα παράλληλες πλευρές από σετ με φρέζες - δίσκους.



Φρεζάρισμα αυλακιών τραπεζιού εργαλειομηχανής από σέτ με κυλινδικές και δισκοειδείς φρέζες.

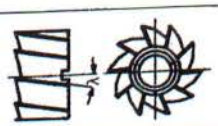
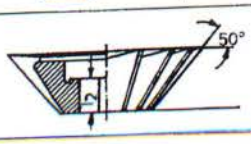
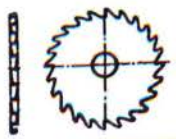
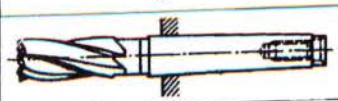
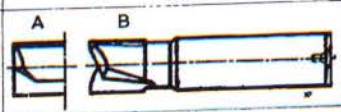
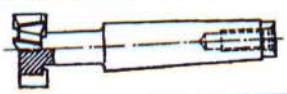
Σχήμα 6.40 *Παραδείγματα εργασιών φρεζαρίσματος 9...20 με φρέζες διαφόρων ειδών και μορφών.*

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2

Οδηγίες για την εκλογή αριθμού δοντιών και γωνιών κοπής σε φρέζες απο ταχυχάλυβα

Γωνίες κοπής
N για κανονικούς χάλυβες
H για σκληρά υλικά
W για ελαφρά μέταλλα

Αριθμός δοντιών { d_1 = εξωτερική διάμετρος; z_1 = για κανονικούς χάλυβες; z_2 = για σκληρά υλικά; z_3 = για ελαφρά μέταλλα

Τυποποιημένη φρέζα	Μορφή		α	γ	λ																
Κυλινδρικές φρέζες DIN 884 και 1892		N*	5 ... 8°	10°	35 ... 40°	z_1	6	7	8	8	10	10	12								
		H	3 ... 5°	5°	30°	z_2	10	12	14	16	18	20	22								
		W	8 ... 12°	25°	45°	z_3	4	5	6	6	8	8	10								
Κυλινδρικές - μετωπικές φρέζες DIN 1880		N*	5 ... 8°	10°	20 ... 25°	z_1	8	8	10	10	12	14	16								
		H	3 ... 5°	5°	15°	z_2	12	14	16	18	20	22	24								
		W	8 ... 12°	22°	30°	z_3	5	5	6	8	8	10	10								
Γωνιακές φρέζες DIN 842		N	5 ... 8°	0°	0°	z_1	16	18	20	22	24	28	32								
		W	8 ... 12°	20°	8 ... 15°																
Δισκοειδείς φρέζες DIN 885 και 1891		N*	5 ... 8°	10°	15 ... 20°	z_1	–	10	10	12	14	16	18	20							
						z_2	–	14	16	18	20	24	26	30							
		H	3 ... 5°	5°	10°	z_3	–	6	6	8	8	10	10	12							
		W	8 ... 12°	25°	20 ... 30°	z_1	–	–	10	12	14	16	18	20							
						z_2	–	–	14	18	20	22	26	30							
Κυλινδρικές - ελικοειδείς φρέζες για οδοντωτούς τροχούς. DIN 8002		N	10°	0°	1 ... 5°	–	–	12	10	10	9	8	9	9							
Φρέζες για ημικυκλικά προφίλ κοίλα και κυρτά DIN 855, 856 & 6513 (τεταρτοκύκλιο)		N	10°	0°	0°			56 ø													
		W	15°	bis 20°	0 ... 10°		–	12	12	12	10	10	–	–							
							–	12	12	10	10	10	–	–							
Δίσκοι κοπής ΔΙΝ 1837, 1838	Για μορφή δοντιού βλέπε DIN 1840 	N	5°	5° (15)	0°																
		H	3°	0° (8)	0°																
		W	8°	10° (25)	0°																
Κονδύλια DIN 844, 845						d_1	2	5	8	10	16	20	25	32	36	40	50	63			
		N	8 ... 10°	10°	20°	z_1	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	8	8			
		H	4 ... 6°	5°	15°	z_2	4	5	5	6	6	8	8	10	10	10	12	14			
		W	8 ... 12°	20°	30°	z_2	–	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5			
Κονδύλια για σφηναύλακες DIN 326, 327	A B 	N	5 ... 8°	8°	bis 15°	z_1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	–	–			
		H	3 ... 5°	4°	10°																
		W	8 ... 12°	20°	20°																
Κονδύλια για αυλάκια DIN 851						d_1	12,5	16	22	25	32	40	50	63	75	85	95	–			
		N	5 ... 8°	10°	0 ... 10°		6	6	6	8	8	8	10	10	12	12	14				

3.1 ΠΛΑΝΙΣΜΑ-ΠΛΑΝΕΣ

Με το πλάνισμα κατεργαζόμαστε επιφάνειες επίπεδες οριζόντιες , κατακόρυφες η υπό κλίση. Η κύρια κίνηση κοπής σ' αυτό είναι ευθύγραμμη παλινδρομική. Κατά την κατεργασία με την πλάνη διακρίνομε δύο περιπτώσεις:

- Το κομμάτι μένει σταθερό και κινείται παλινδρομικά το κοπτικό εργαλείο. Η αναγκαία μικρή κίνηση για την πρόωση γίνεται από το κομμάτι.
- Το κομμάτι κινείται παλινδρομικά και παραμένει σταθερό το κοπτικό εργαλείο. Η αναγκαία μικρή κίνηση για την πρόωση δίνεται από το εργαλείο.

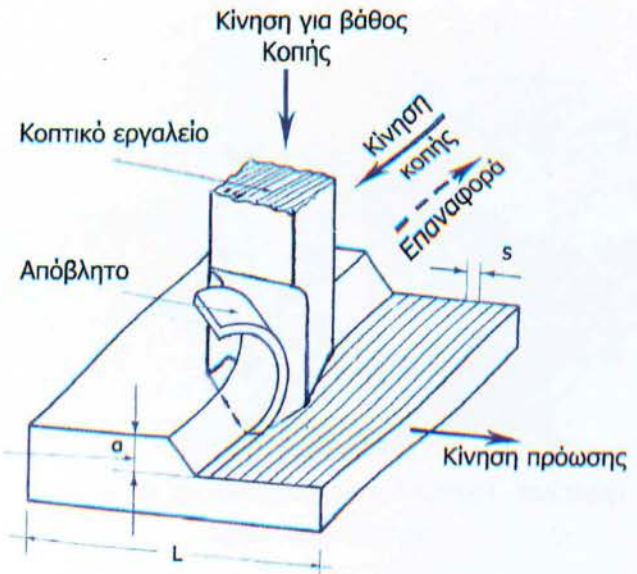
Ο πλήρης κύκλος κατεργασίας στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει:

- Κύρια ωφέλιμη ευθύγραμμη κίνηση του κοπτικού εργαλείου για την κοπή.
- Κίνηση του εργαλείου προς τα πίσω (επιστροφή, μη ωφέλιμη κίνηση).
- Πρόωση του κομματιού με διεύθυνση κάθετη προς την κίνηση κοπής.
- Κάθετη κίνηση του εργαλείου προς την επιφάνεια κατεργασίας στο τέλος του πάσου για νέο βάθος κοπής. Και οι τέσσερις κινήσεις είναι διακοπτόμενες.

Κατά την έναρξη της διαδρομής επιστροφής, το εργαλείο ανασηκώνεται ελαφρά προς τα επάνω για να μην τρίβεται η αιχμή του πάνω στην κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού.

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι βασικές κινήσεις κατά το πλάνισμα με κινούμενο το εργαλείο και σταθερό το κομμάτι.

Πρέπει να τονισθεί ότι κατά την διάρκεια της επιστροφής το εργαλείο έχει την δυνατότητα αποβολής θερμότητας προς το περιβάλλον. Η διακοπτόμενη αυτή λειτουργία κοπής έχει σαν αποτέλεσμα την ικανοποιητική ψύξη του κοπτικού εργαλείου χωρίς την παρουσία ψυκτικού υγρού.



Σχήμα 3.1 : Βασικές κινήσεις Κατά το πλάνισμα

3.1.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία κοπής

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία κοπής , όπως και στον τόρνο , είναι τα εξής:

- Ταχύτητα κοπής (U). Μετριέται σε m/min
- Βάθος κοπής (α). Μετριέται σε mm
- Πρόωση (s). Μετριέται σε mm μετατόπισης του κομματιού ή του κοπτικού εργαλείου σε μια πλήρη διαδρομή του εργαλείου.

Από το σχήμα 3.1 φαίνεται ότι το απόβλητο έχει διατομή περίπου ορθογωνική. Το πλάτος του εξαρτάται από το βάθος κοπής , ενώ το πάχος του από την πρόωση.

3.2 Διάκριση των πλανών.

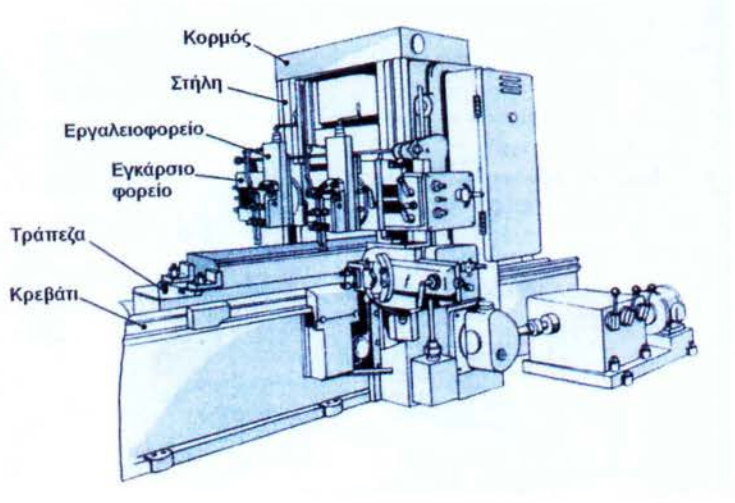
Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης τους, οι πλάνες διακρίνονται σε:

- Μηχανικές
- Υδραυλικές

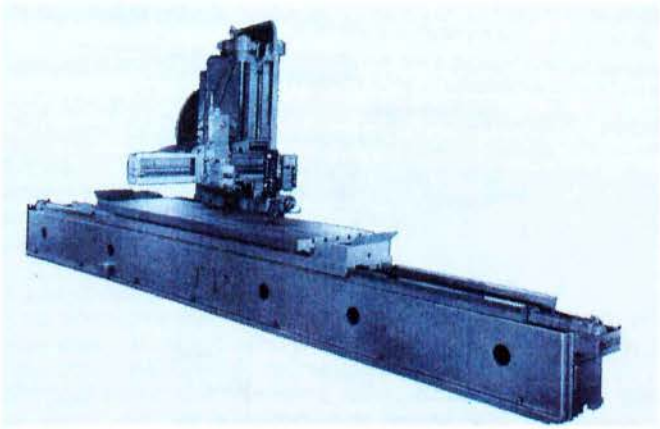
Ανάλογα με το είδος της εργασίας πού κάνουν, το μέγεθος και την κατασκευαστική διαμόρφωση τους, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Τραπεζοπλάνες με δύο ορθοστάτες και γέφυρα (σχήμα 3.2α) ή με ένα ορθοστάτη και πρόβολο (σχήμα 3.2β).

Βασικό χαρακτηριστικό της τραπεζοπλάνης είναι ότι παλινδρομεί το τραπέζι μαζί με το κατεργαζομενο τεμάχιο, ενώ το κοπτικό εργαλείο παραμένει κατά τη διάρκεια της κοπής ακίνητο. Οι εργαλειομηχανές αυτές προορίζονται κυρίως για κατεργασία μεγάλων κομματιών και έχουν ωφέλιμο μήκος διαδρομής από 2-10 m.



Σχήμα 3.2α : Τραπεζοπλάνη με δύο ορθοστάτες και γέφυρα



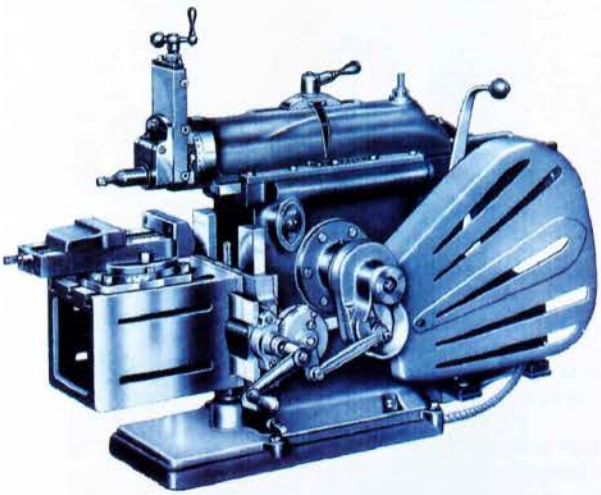
Σχήμα 3.2β : Τραπεζοπλάνη με ένα ορθοστάτη και πρόβολο

2. Ταχυπλάνες (σχήμα 3.2γ).

Η κίνηση τους είναι συνήθως οριζόντια και κατεργάζονται μικρά σχετικά κομμάτια. Το κομμάτι κατά την διάρκεια της κοπής μένει σταθερό στο τραπέζι, και παλινδρομεί το κοπτικό εργαλείο. Η πρόωση δίνεται από το τραπέζι στο τέλος της κίνησης επαναφοράς του εργαλείου.

Στο σχήμα 3.2δ φαίνονται οι κινήσεις μιας οριζόντιας ταχυπλάνης. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μέγιστη διαδρομή της κινούμενης κεφαλής πού φέρει και το κοπτικό εργαλείο.

Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη με διαδρομή κεφαλής από 400-1000 mm.

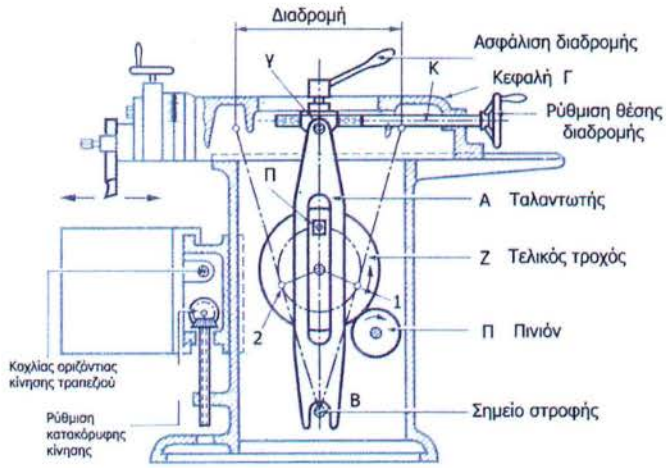


Σχήμα 3.2γ: Ταχυπλάνη

Στο εμπρόσθιο μέρος της φέρει το εργαλειοφορείο. Ολισθαίνει παλινδρομικά μέσα σε οδηγούς - γλισιέρες πού βρίσκονται στο επάνω μέρος του σώματος της πλάνης (σχήμα 3.2γ)

4. Μηχανισμός μετατροπής της κίνησης (μηχανισμός ταλαντωτή).
Ο μηχανισμός αυτός (σχήμα 3.3β) αποτελείται:

i. Από το βραχίονα (ταλαντωτή) Α. Ο ταλαντωτής στο κάτω άκρο του στηρίζεται ελεύθερα στο σταθερό σημείο Β, ενώ στο επάνω συνδέεται αρθρωτά.
ii. Από το μεγάλο γρανάζι Ζ. Πάνω σ' αυτό είναι στερεωμένο το ορθογώνιο κομβίο Π το οποίο ολισθαίνει μέσα στη σχισμή του βραχίονα Α.



Σχήμα 3.3β: Μηχανισμός κίνησης ταχυπλάνης

Όταν περιστρέφεται το γρανάζι Ζ, ταλαντεύεται ο βραχίονας Α , επειδή ταυτόχρονα με το γρανάζι Ζ περιστρέφεται και το κομβίον Π πού αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του.

Με την ταλάντωση του όμως ο βραχίονας Α μεταδίδει την κίνηση του στην κεφαλή Γ, αφού είναι συνδεμένος μαζί της.

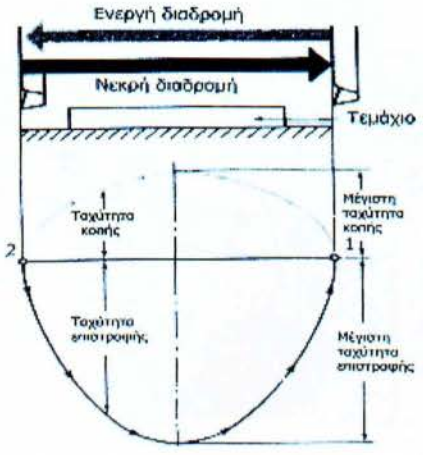
Έτσι η περιστροφική κίνηση, πού από το κιβώτιο ταχυτήτων καταλήγει στο γρανάζι Ζ, με τη βοήθεια του ταλαντωτή μετατρέπεται σε παλινδρομική κίνηση της κεφαλής Γ.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.3β, όσο περισσότερο απέχει το κομβίο Π από το κέντρο Ο του τροχού Ζ, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η διαδρομή της κεφαλής Γ και επομένως και η διαδρομή του εργαλείου κοπής. Αντίθετα, όσο το κομβίο πλησιάζει προς το κέντρο, τόσο μικραίνει η διαδρομή κοπής .

Στο σχήμα 3.3β τα βέλη δείχνουν τη φορά περιστροφής του γραναζιού Ζ και του κομβίου Π. Όταν το κομβίον φύγει από τη θέση 1 και φθάσει στη θέση 2, η κεφαλή Γ προχωρεί προς τα εμπρός. Όταν στη συνέχεια γυρίσει από τη θέση 2 στη θέση 1, η κεφαλή επιστρέφει. Η προς τα εμπρός κίνησης της κεφαλής επάνω στην οποία στερεώνεται το εργαλείο, είναι η ενεργητική διαδρομή, γιατί τότε μόνο κόβει το εργαλείο. Η κίνηση προς τα πίσω είναι η νεκρή διαδρομή γιατί το εργαλείο επιστρέφει χωρίς νά κόβει.

Η ενεργητική διαδρομή όμως αντιστοιχεί σε πολύ μεγαλύτερο τόξο κύκλου από ότι η νεκρή. Άρα και ο χρόνος της κοπής τού εργαλείου είναι μεγαλύτερος από το χρόνο επιστροφής. Το 60-70% τού χρονου μιας παλινδρομήσεως προσφέρεται για την κοπή και το 30-40% για την επιστροφή τού εργαλείου.

Στο σχήμα 3.3γ φαίνεται πως μεταβάλλεται η ταχύτητα κίνησης της κεφαλής στις διάφορες θέσεις της διαδρομής της. Ακόμη φαίνεται ότι η ταχύτητα επιστροφής τού εργαλείου είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα κοπής.



Σχήμα 3.3γ: Διάγραμμα ταχύτητας κατά το πλάνισμα

Άλλο χαρακτηριστικό σημείο της κινητής κεφαλής της ταχυπλάνης είναι ότι μπορεί και μεταβάλλεται η θέση μιας ορισμένης διαδρομής . Έτσι ένα ορισμένο μήκος διαδρομής Π.χ. 150 mm μπορεί νά ρυθμιστεί και νά γίνει στην αρχή τού τραπεζιού , κοντά στο σώμα της πλάνης ή στο άκρο τού τραπεζιού. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια του κοχλία Κ (σχήμα 3.3β) και κατά συνέπεια η διαδρομή στην πλάνη μπορεί να μεταβληθεί κατά θέση και μέγεθος.

5. Τραπέζι ταχυπλάνης. Μηχανισμός κίνησης του.

Το τραπέζι της πλάνης έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου και πάνω σε αυτό στερεώνεται το κομμάτι πού θα πλανισθεί.

Στην επάνω επιφάνεια και στα δύο πλευρά του έχει τυποποιημένα λούκια για νά περνούν οι ειδικοί κοχλίες για τη συγκράτηση των κομματιών ή της μέγγενης.

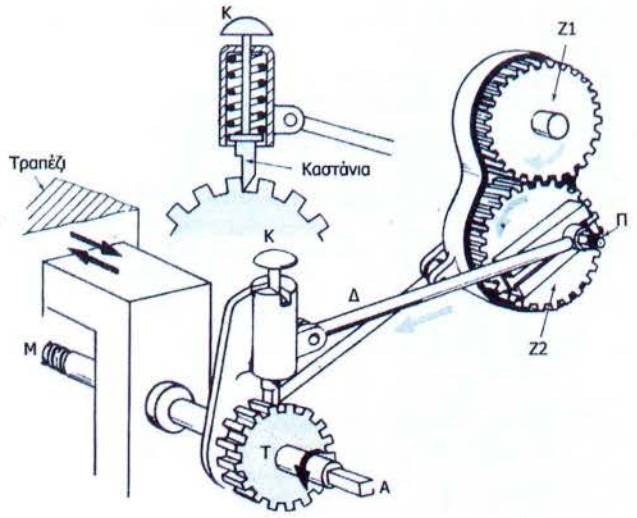
Το τραπέζι στερεώνεται στο σώμα της πλάνης μέσω ενός ενδιάμεσου φορέα κατά τρόπο πού νά μπορεί νά μετακινείται οριζόντια και κατακόρυφα. Η μετακίνηση γίνεται με τη βοήθεια δύο συστημάτων γλισιερών πού έχει ο ενδιάμεσος φορέας.

Με την κατακόρυφη κίνηση τού τραπεζιού μπορεί το κομμάτι να πλησιάζει ή να απομακρύνεται από το εργαλείο. Με την οριζόντια κίνηση επιτυγχάνεται είτε γρήγορη αλλαγή θέσης τού κομματιού είτε βηματική μετατόπιση του, δηλαδή οριζόντια πρόωση.

Υπενθυμίζεται ότι στο πλάνισμα, πρόωση είναι η κάθετη προς την κίνηση τού εργαλείου βηματική μετατόπιση τού κομματιού σε μια πλήρη παλινδρόμηση τού εργαλείου.

Η πρόωση γίνεται άλλοτε μηχανικά (αυτόματα) και άλλοτε χειροκίνητα. Στο σχήμα 3.3δ φαίνεται ένας απλός μηχανισμός για αυτόματη πρόωση.

Η κίνηση μεταδίδεται από τον οδοντοτροχό Z1 στον οδοντοτροχό Z2. . Η περιστροφική κίνηση τού τροχού Z2 μετατρέπεται σε παλινδρομική με τη βοήθεια τού διωστήρα Δ πού συνδέεται με την καστάνια Κ . Μέσα σε μια γλισιέρα του τροχού Z2 μετατοπίζεται και στερεώνεται σε διάφορες θέσεις ο πείρος Π , πού ενεργεί σαν κομβίο στροφάλου τού διωστήρα Δ. Η απομάκρυνση τού πείρου από το κέντρο τού τροχού Z2 μεγαλώνει τη διαδρομή τού άλλου άκρου τού διωστήρα. Όταν η καστάνια βρίσκεται σε εμπλοκή με τον τροχό Τ, τότε εφόσον δέχεται ώθηση από το διωστήρα Δ, αναγκάζει τον τροχό Τ νά στραφεί κατά ορισμένο τόξο. Αυτή όμως η μικρή στροφή τού τροχού προκαλεί αντίστοιχη μετάθεση του τραπεζιού με το οποίο συνδέεται. Έτσι κάθε στροφή τού γραναζιού Z2 προκαλεί και μια βηματική μετατόπιση τού τραπεζιού.



Σχήμα 3.3δ: Μηχανισμός πρόωσης τραπεζιού

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3δ η καστάνια από το ένα μέρος είναι πλαγιοκομμένη. Έτσι μόνο κατά τη μια φορά γαντζώνει στον τροχό Τ, ενώ κατά την αντίθετη φορά εξαιτίας της κλίσεως της ανασηκώνεται.

Στο σχήμα 3.3δ ο τροχός Τ στρέφεται αριστερόστροφα. Για να γυρίσει δεξιόστροφα και να αλλάξει η διεύθυνση της πρόωσης, ανασηκώνεται και στρέφεται η καστάνια Κ κατά 180^0.

Η αυξομείωση της πρόωσης επιτυγχάνεται όπως αναφέραμε με την αυξομείωση της απόστασης του πείρου Π από το κέντρο του τροχού Z2.

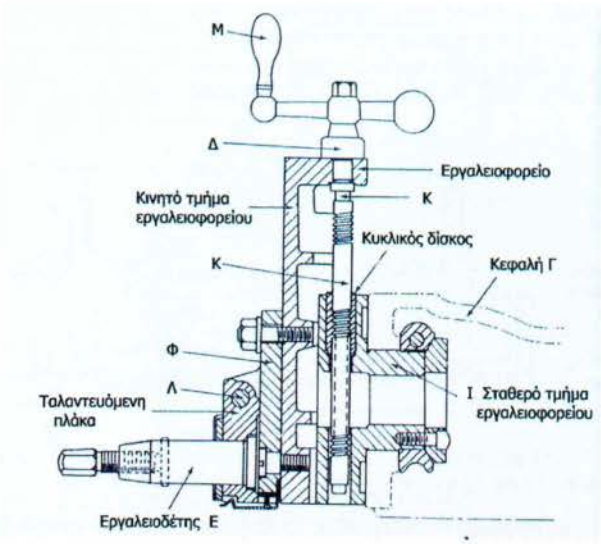
Η πρόωση αύτη μπορεί να κυμαίνεται από 0,1 ως και 6 mm ανά παλινδρόμηση ανάλογα με την περίπτωση. Το βάθος κοπής, πού είναι το βάθος εισχώρησης του εργαλείου, κυμαίνεται από 0,1 ως 5 mm ή και περισσότερο.

Για να μετατραπεί η κίνηση του τραπεζιού σε χειροκίνητη, αναστέλλεται η λειτουργία της καστάνιας Κ, οπότε σταματά η μηχανική κίνηση του τραπεζιού και κινείται το τραπέζι με περιστροφή του χειροστροφάλου, πού εφαρμόζεται στο άκρο Α του κοχλία Μ, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3δ.

Υπάρχουν πλάνες, των οποίων το τραπέζι είναι πάντα οριζόντιο και πλάνες πού το τραπέζι μπορεί να πάρει και ορισμένη κλίση. Σε τραπέζι τέτοιας πλάνης μπορούμε εύκολα να πλανίσομε ένα κομμάτι υπό κλίση. Έπειτα όμως από κάθε χρησιμοποίηση του το τραπέζι πρέπει να οριζοντιώνεται με προσοχή. Ο έλεγχος της οριζοντίωσής του γίνεται με διάφορους τρόπους και συνήθως με τη βοήθεια ενός μετρητικού ρολογιού.

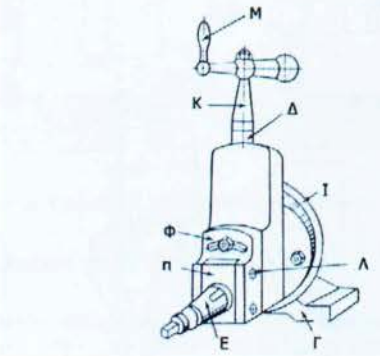
6. Εργαλειοφορείο.

Το τμήμα της κεφαλής της ταχυπλάνης πού φέρει το κοπτικό εργαλείο, ονομάζεται εργαλειοφορείο. Το εργαλειοφορείο είναι βιδωμένο πάνω στην κεφαλή και αποτελείται από δύο κύρια τμήματα: το σταθερό και το κινητό (σχήμα 3.3ε).



Σχήμα 3.3ε: Κατακόρυφη τομή εργαλειοφορείου

Το σταθερό τμήμα Ι , πού συνδέει το εργαλειοφορείο με την κεφαλή, φέρει έναν κυκλικό δίσκο έδρασης με υποδιαιρέσεις σε μοίρες, για νά μπορεί ολόκληρο το εργαλειοφορείο νά περιστρέφεται όταν πρόκειται να πλανισθούν επιφάνειες πού έχουν ορισμένη κλίση προς την κατακόρυφο (σχήμα 3.3στ).



Σχήμα 3.3στ: Διάταξη εργαλειοφορείου

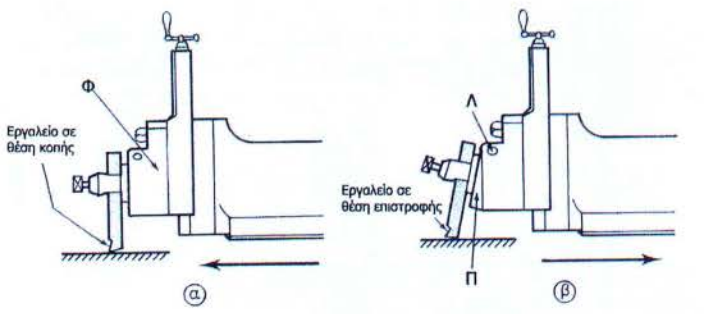
Τα δύο τμήματα τού εργαλειοφορείου έχουν γλισιέρες σε μορφή χελιδονουράς. Το κινητό , μαζί φυσικά με το εργαλείο κοπής , ανεβοκατεβαίνει με τη βοήθεια του μεταφορικού κοχλία Κ μέσω του χειρομοχλού Μ (σχήμα 3.3ε).

Στο κινητό τμήμα βρίσκεται και ο φορέας Φ της πλάκας Π , πού φέρει τον εργαλειοδέτη Ε με το κοπτικό εργαλείο (σχήμα 3.3ε).

Ο φορέας Φ μπορεί να στρέφεται και νά σταθεροποιείται υπό κάποια κλίση προς τα δεξιά ή αριστερά.

Η πλάκα Π μπορεί να κάνει μικρή περιστροφή προς τα επάνω, γύρω από τον πείρο Λ. Κατά την ενεργητική διαδρομή της κεφαλής (κίνηση προς τα εμπρός) , η πλάκα κάθεται στην υποδοχή της και έτσι δημιουργείται σταθερή στήριξη του εργαλείου . Κατά την επιστροφή της κεφαλής - νεκρή διαδρομή (κίνηση προς τα πίσω) , η πλάκα ανασηκώνεται και έτσι

αποφεύγεται η τριβή και φθορά της κοπτικής αιχμής του εργαλείου. Ταυτόχρονα το εργαλείο δεν αφήνει σημάδια πάνω στην κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού (σχήμα 3.3ζ). Σε μερικές μάλιστα πλάνες, η πλάκα με το εργαλείο ανασηκώνονται ηλεκτρικά ή υδραυλικά τόσο, ώστε το εργαλείο να μην ακουμπά καθόλου κατά την επιστροφή.

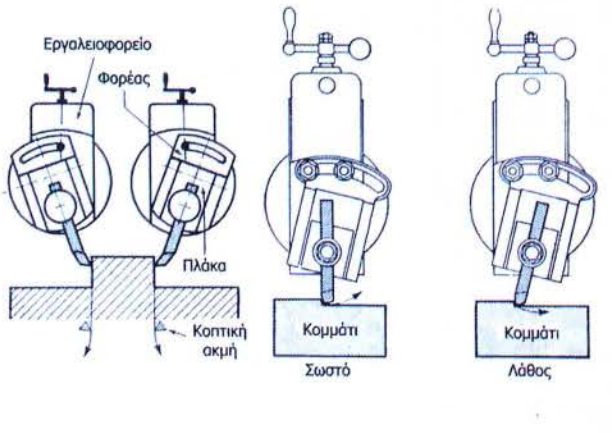


Σχήμα 3.3ζ: Διάταξη εργαλειοφορείου
α) Εργαλείο σε θέση κοπής β) Εργαλείο σε θέση επιστροφής

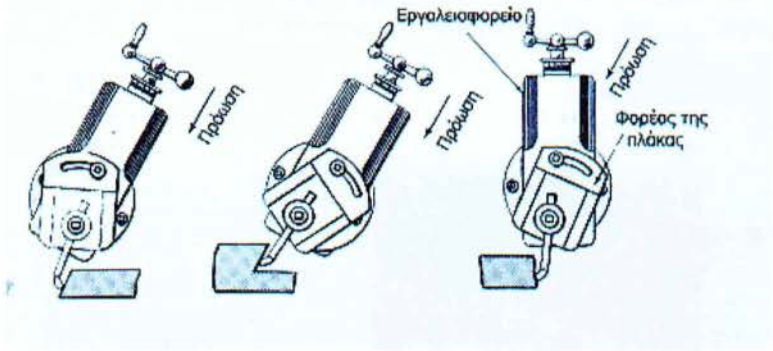
Όταν δεν χρειάζεται να σηκώνεται, η πλάκα ασφαλίζεται με έναν πείρο για να εμποδίζεται η ταλάντευσή της.

Ο εργαλειοδέτης Ε μπορεί να περιστρέφεται μέσα στην πλάκα ώστε, ανάλογα με τις ανάγκες , να μπορεί να δένεται το εργαλείο είτε κατακόρυφα είτε με κάποια κλίση, ανεξάρτητα από την κλίση του φορέα και από την κλίση του όλου εργαλειοφορείου πάνω στην κεφαλή της πλάνης.

Στο σχήμα 3.3η φαίνεται η κλίση που πρέπει να δοθεί στον φορέα της πλάκας κατά το οριζόντιο και κατακόρυφο πλάνισμα ενώ στο σχήμα 3.3θ φαίνεται η αντίστοιχη κλίση για το πλάνισμα κεκλιμένων επιφανειών.

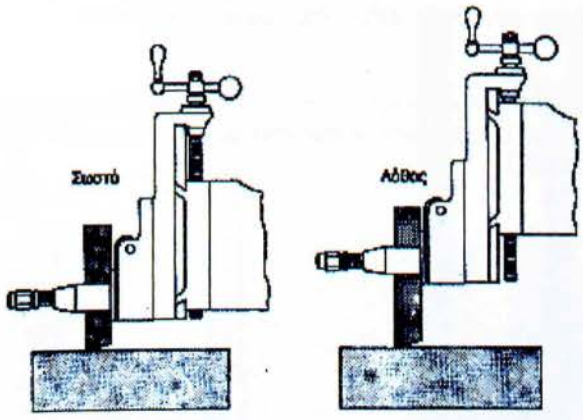


Σχήμα 3.3η: Κλίση του φορέα της πλάκας κατά το οριζόντιο και κατακόρυφο πλάνισμα



Σχήμα 3.3θ: Κλίση του φορέα της πλάκας κατά το πλάνισμα κεκλιμένων επιφανειών

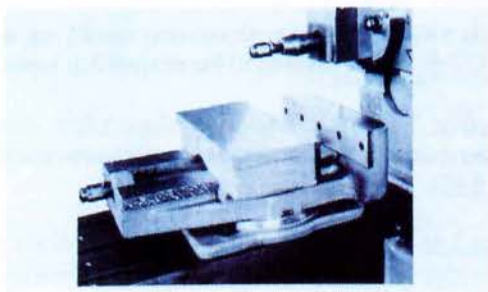
Το εργαλείο πρέπει να εξέχει από το κάτω μέρος της πλάκας κατά ένα λογικό και αναγκαίο μήκος έτσι ώστε να μην καταπονείται από μεγάλες καμπτικές ροπές που μπορούν να προκαλέσουν τρέμουλο ή ακόμα και θραύση του (σχήμα 3.3ι).



Σχήμα 3.3ι: Προεξοχή του εργαλείου κάτω από την πλάκα

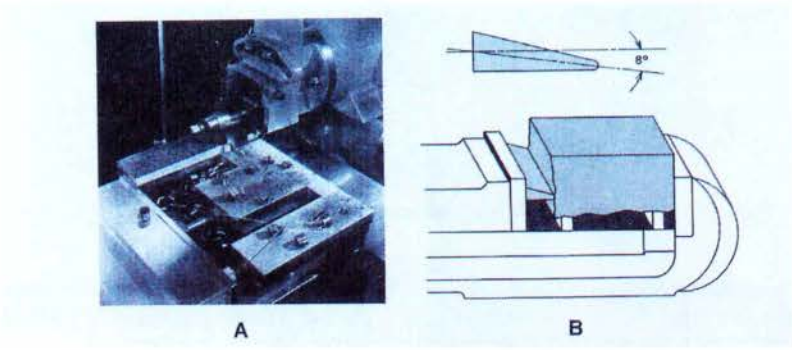
3.4 Συγκράτηση τεμαχίων κατά το πλάνισμα.

Για το πλάνισμα μικρών ταμαχίων , η συγκράτηση γίνεται συνήθως στη μέγγενη της εργαλειομηχανής (σχήμα 3.4α) , η οποία στηρίζεται στο τραπέζι μέσω των αυλακιών σχήματος Τ.



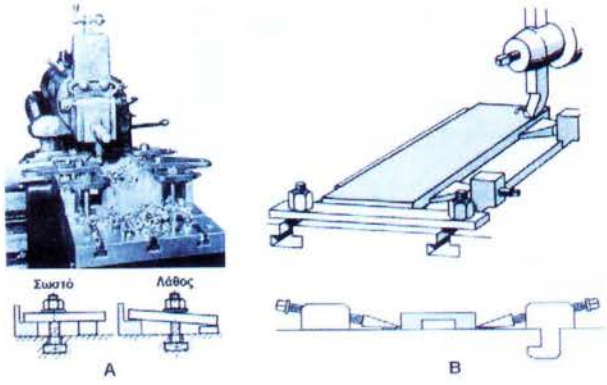
Σχήμα 3.4α: Μέγγενη πλάνης

Όταν το τεμάχιο δεν έχει ομοιόμορφο μήκος , χρησιμοποιούνται βοηθητικοί συγκρατητήρες (σχήμα 3.4β,Α) ή σφήνες συγκράτησης και παράλληλα πλακίδια (σχήμα 3.4β,Β).



Σχήμα 3.4β: Βοηθητική συγκράτηση τεμαχίων στη μέγγενη πλάνης
Α) Με συγκρατητήρες Β) Με σφήνα συγκράτησης

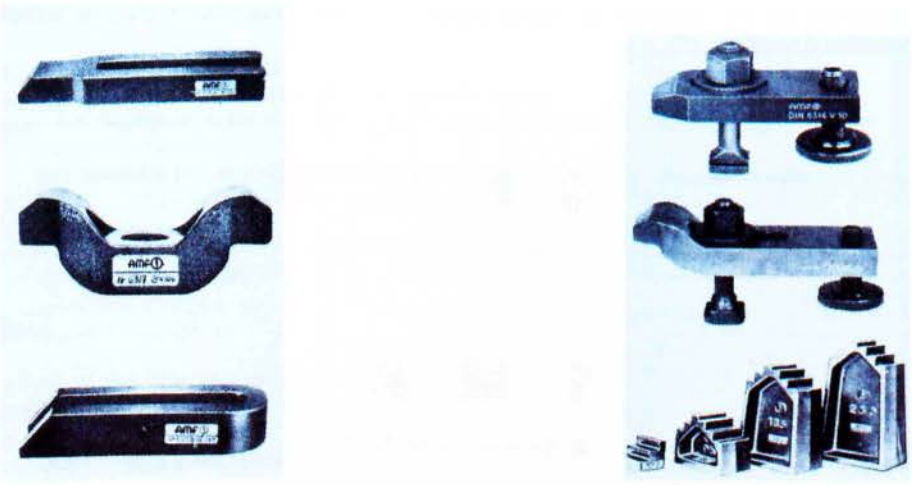
Τα μεγάλα τεμάχια προσδένονται στο τραπέζι της πλάνης απευθείας είτε με υποστηρίγματα και σφιγκτήρες μορφής Τ (σχήμα 3.4γ,Α) , είτε με σφηνοειδείς σφιγκτήρες όταν πρόκειται για τεμάχια μικρού πάχους (σχήμα 3.4γ,Β) .



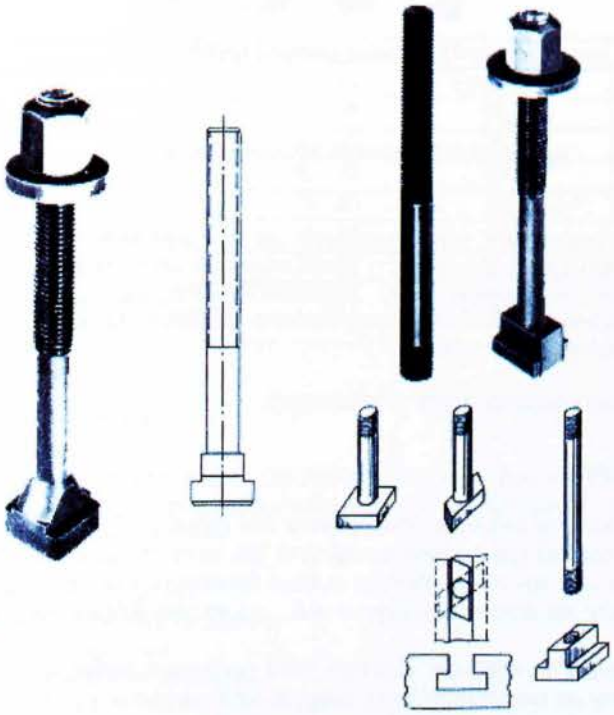
Σχήμα 3.4γ: Πρόσδεση τεμαχίων στο τραπέζι της πλάνη
Α) Με σφιγκτήρες μορφής Β) Με σφηνοειδείς σφιγκτήρες

Οι σφιγκτήρες μορφής Τ αποτελούνται από εξαρτήματα διαφόρων σχημάτων που ονομάζονται φουρκέτες ή λάμες σφιξίματος και κοχλίες συγκράτησης από χάλυβα αντοχής 70-80 Kp/mm^2 (σχήμα 3.4δ).

Στα σχήματα 3.4δ και 3.4ε φαίνοται διάφορα είδη σφιγκτήρων και τα εξαρτήματά τους.



Σχήμα 3.4δ: Φουρκέτες και υποστηρίγματα για την συγκράτηση τεμαχίων.

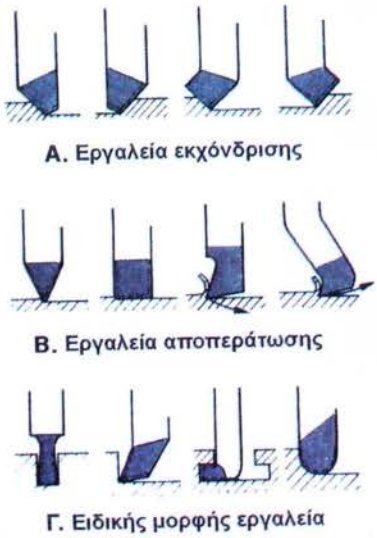


Σχήμα 3.4ε: Κοχλίες και κεφαλές κοχλιών για στερέωση τεμμαχίων στο τραπέζι

3.5 Κοπτικά εργαλεία πλανίσματος.

Τα κοπτικά εργαλεία πλανίσματος είναι μιας κύριας κόψης , όπως και τα κοπτικά εργαλεία της τόρνευσης. Διακρίνονται , όπως όλα τα κοπτικά εργαλεία , σε εργαλεία εκχόνδρισης και

αποπεράτωσης ενώ υπάρχουν και ειδικής μορφής που χρησιμοποιούντοι κυρίως για πλάνισμα αυλακιών ή γωνιών.



Σχήμα 3.5: Είδη κοπτικών εργαλείων πλανίσματος

Τα εργαλεία εκχόνδρισης χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση μεγάλης ποσότητας μετάλλου σε μικρό χρόνο και πρέπει η γωνία κόψης να είναι ισχυρή για να αντέχει στις μεγάλες δυνάμεις καταπόνησης του εργαλείου.Αντίθετα τα εργαλεία αποπεράτωσης καταπονούνται λιγότερο και οι γωνίες κόψης τους είναι πιο κάθετες και αιχμηρές , ώστε να δίνουν καλή ποιότητα επιφάνειας στο τεμμάχιο.

3.6 Συνθήκες κατεργασίας κατά το πλάνισμα.

3.6.1 Ταχύτητα κοπής

Το εργαλείο κατά το πλάνισμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.ζ , δεν κόβει συνεχώς. Κατά την επιστροφή αδρανεί (μή ενεργό).Η ταχύτητά του κατά την ενεργή διαδρομή δεν είναι σταθερή. Αρχίζει από την τιμή μηδέν και αυξάνει προοδευτικά μέχρι μια μέγιστη τιμή στο μέσο της διαδρομής και κατόπιν ελαττώνεται πάλι , για να γίνει βαθμιαία πάλι μηδέν στο τέλος της διαδρομής.

Εάν ονομάσουμε $u_{εν}$ την μέση ταχύτητα κατά την ενεργή διαδρομή και $u_{μη-εν}$ την μέση ταχύτητα κατά την μη ενεργή (παθητική) διαδρομή τότε προκύπτει η μέση ταχύτητα κοπής $u_μ$ κατά το πλάνισμα από την σχέση:

$$u_μ = 2 \cdot \frac{u_{εν} \cdot u_{μη-εν}}{u_{εν} + u_{μη-εν}}$$

όπου: $u_{εν} = \frac{\Delta}{t_{εν}}$ και $u_{μη-εν} = \frac{\Delta}{t_{μη-εν}}$

όπου:

Δ : Διαδρομή του εμβόλου σε mm.
t_{ev} : Χρόνος μιας ενεργούς κίνησης του εμβόλου σε min.
$t_{μη\text{-}ev}$: Χρόνος μιας μη ενεργούς (παθητικής) κίνησης του εμβόλου σε min.

Μια προσεγγιστική σχέση απόδοσης της μέσης ταχύτητας κοπής είνα η ακόλουθη:

$$u_{\mu} = \frac{\Delta}{1000 \cdot \mu} (m / min)$$

όπου:

η: Αριθμός που δίνει τις πλήρεις διαδρομές ανά λεπτό. μ:
συντελεστής με τιμή 0.6~0.7

Στον πίνακα 3.1 δίνονται ενδεικτικές τιμές της ταχύτητας κοπής για πλάνισμα με εργαλεία από ταχυχάλυβο (SS) και σκληρομέταλλο (HM).

Πίνακας 3.1: Ενδεικτικές τιμές ταχυτήτων κοπής για πλάνισμα με εργαλεία από ταχυχάλυβα και σκληρομέταλλο

Α/Α	Κατεργαζόμενο Υλικό	Αντοχή Kp/mm2	Ταχύτητα Κοπής m/min	
			Εργαλείο SS	Εργαλείο HM
1	Χάλυβας μαλακός	30...45	30...35	70...100
2	Χάλυβας	50...60	25...30	60...80
3	Χάλυβας	65...75	20...25	50...75
4	Χάλυβας	75...90	15...20	25...35
5	Χυτοσίδηρος μαλακός	15...20	15...20	40...75
6	Χυτοσίδηρος 26	20...30	12...18	30...40
7	Ορείχαλκος και ελαφρά μέταλλα	-	30...40	200...300

3.6.2 Βάθος κοπής και πρόωση

Κατά την εκχόνδριση στην πλάνη , το βάθος κοπής και η πρόωση επιδιώκεται να έχουν μεγάλες τιμές για να γίνεται η κατεργασία συντομότερα.Τα δύο αυτά μεγέθη εξαρτώνται από του παρακάτω παράγοντες:

- Το μέγεθος του κομματιού
- Το μέγεθος και την ισχύ της πλάνης
- Το υλικό του κομματιού
- Το υλικό του κοπτικού εργαλείου
- Την ασφαλή ή όχι συγκράτηση του κομματιού στην πλάνη.

Με βάση τα παραπάνω , το βάθος κοπής κατά την εκχόνδριση στις ταχυπλάνες ρυθμίζεται κατά περίπτωση από 1...8 ή και 10 mm.

Η πρόωση κατά την εκχόνδριση λαμβάνεται ίση με το 1/3...1/5 του βάθους κοπής.Στις βαρύτερες περιπτώσεις δεν ξεπερνά το 1 mm ανά παλινδρόμηση.

Το βάθος κοπής κατά την αποπεράτωση λαμβάνεται 0.5~1 mm και η πρόωση 0.1~0.25 mm ανά παλινδρόμηση.

3.6.3 Χρόνος κατεργασίας

Ο χρόνος που θα χρειαστεί για να γίνει ένα πάσο σε όλη την επιφάνεια με πλάτος L (Σχήμα 3.1) δίνεται από την σχέση:

$$t = \frac{L}{s \cdot n} \text{ (min)}$$

όπου:

L: Πλάτος κατεργασίας σε mm
s:Πρόωση σε mm/διαδρομή
η: Διαδρομές(παλινδρομήσεις) ανά λεπτό (διαδρομές/min)

3.6.4 Μήκος διαδρομής της πλάνης

Το κοπτικό εργαλείο πρέπει κατά την διαδρομή του να ξεθυμαίνει δηλαδή να ξεπερνά το κομμάτι και από τα δύο του άκρα.ΟΙ αναγκαίες αυτές διαδρομές λαμβάνονται:

$$l_1=15\sim20 \text{ mm και } l_2=10\sim20 \text{ mm}$$

Άρα η διαδρομή της κεφαλής της πλάνης δίνεται από την σχέση:

$$\Delta=l_{τεμ}+l_1+l_2$$

όπου:

$l_{τεμ}$: Μήκος κατεργαζόμενου τεμμαχίου σε mm

- Παοάδειγμα 3.1

Θέλουμε να πλανίσουμε με εργαλείο από ταχυχάλυβα πλάκα από μαλακό χάλυβα με επιφάνεια 400 mm μήκους και 250 mm πλάτους.Δεχόμαστε ότι για την πλάνη ο συντελαστής μ=0.6. Αν η πλάνη εργαστεί με πρόωση 0.4 mm/διαδρομή πόση ώρα θα χρειαστεί για το πλάνισμα της επιφάνειας;

Λύση

Ο χρόνος κατεργασίας δίνεται από την σχέση:

$$t = \frac{L}{s \cdot n} \text{ (min)}$$

όπου:

L=250 mm

S=0.4 mm/διαδρομή

$$n = \frac{1000 \cdot \mu \cdot u_\mu}{\Delta} \text{ (διαδρομές/min)}$$

Από τον πίνακα 3.1 για μαλακό χάλυβα και για εργαλείο από Ταχυχάλυβα u_μ=30 m/min.

μ=0.6

$\Delta = l_{τεμ} + l_1 + l_2$ mm=400+10+20=430 mm

Άρα $n = \frac{1000 \cdot \mu \cdot u_\mu}{\Delta} = \frac{1000 \cdot 0.6 \cdot 30}{430} = 41.86$ (διαδρομές/min)

Άρα $t = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{250}{0.4 \cdot 41.86} = 14.93(\text{min})$

4. ΛΕΙΑΝΣΗ - ΛΕΙΑΝΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

4.1 Γενικά.

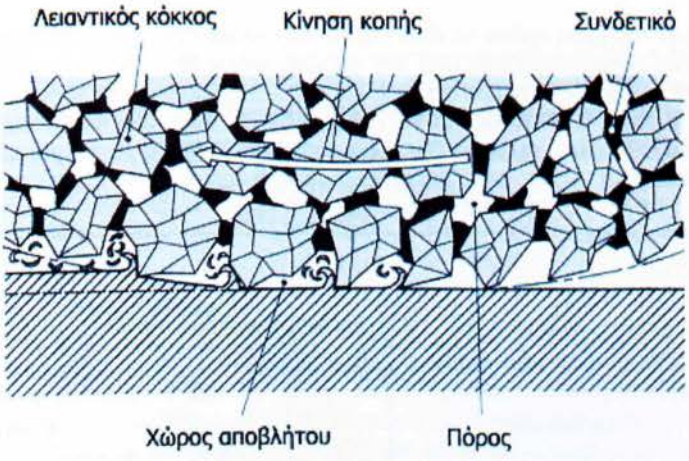
Η λείανση είναι ένα είδος κατεργασίας που χρησιμοποιείται για την αφαίρεση υλικού απο το κατεργαζόμενο κομμάτι με τη βοήθεια περιστρεφόμενου λειαντικού τροχού.

Η λείανση είναι κατά κανόνα μια κατεργασία αποπεράτωσης με την οποία επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια κοπής από εκείνη που επιτυγχάνεται με μια συνηθισμένη εργαλειομηχανή , όπως είναι ο τόρνος, η πλάνη και η φρέζα. Η λείανση ταυτόχρονα αποδίδει πολύ καλύτερη ποιότητα επιφάνειας.

Η λείανση χρησιμοποιείται και για την αναπαραγωγή των ιδιοτήτων κοπής των κοπτικών εργαλείων με επανατρόχιση των στομωμένων κόψεων.

Το κοπτικό εργαλείο στις λειαντικές μηχανές είναι ο λειαντικός τροχός , ο οποίος περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Οι λειαντικοί τροχοί αποτελούνται από μια συνδετική μάζα που περιέχει ένα πλήθος μικρών λειαντικών κόκκων από σκληρά φυσικά ή τεχνητά υλικά.

Οι λειαντικοί κόκκοι σε αντίθεση με τα άλλα κοπτικά εργαλεία είναι άμορφοι και δεν έχουν αυστηρά καθορισμένες γωνίες κοπής. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται σε μεγένθυση η δομή των λειαντικών τροχών και ο μηχανισμός αφαίρεσης του υλικού από το κατεργαζόμενο κομμάτι.



Σχήμα 4.1: Δομή των λειαντικών τροχών και μηχανισμός λείανσης.

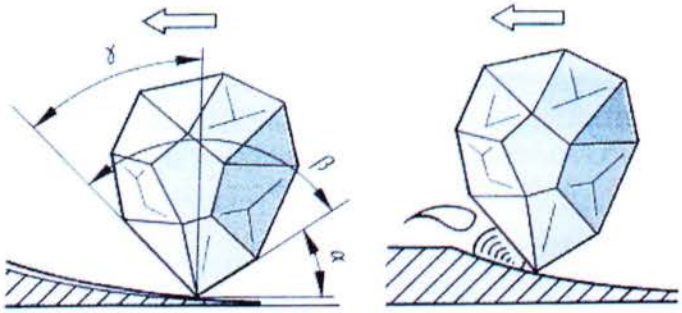
4.2 Δομή και χαρακτηριστικά λειαντικών τροχών.

Οι ιδιότητες ενός λειαντικού τροχού καθορίζονται από το λειαντικό υλικό και την κόκκωσή του, καθώς και από το συνδετικό υλικό και την σκληρότητά του. Μεγάλη σημασία έχει και η υφή του λειαντικού τροχού.

4.2.1 Λειαντικά υλικά.

Το πραγματικό υλικό κοπής είναι οι λειαντικοί κόκκοι, οι οποίοι αφαιρούν το υλικό του κατεργαζόμενου κομματιού. Στη λείανση, η αφαίρεση του υλικού γίνεται από ένα απροσδιόριστο πλήθος ακανόνιστων κόψεων των λειαντικών κόκκων. Αν η μεγέθυνση είναι μεγάλη μπορεί κανείς να αναγνωρίσει και εδώ περίπου την μορφή της χαρακτηριστικής

σφήνας κοπής των συμβατικών εργαλείων. Κατά κανόνα η γωνία σφήνωσης β και η γωνία ελευθερίας α είναι μεγαλύτερη από μια ορθή γωνία ($\alpha + \beta > 90^\circ$) και η γωνία αποβλήτου γ είναι αρνητική, ώστε να προκαλείται απόξεση. Στο σχήμα 4.2α φαίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοπτικής αιχμής των λειαντικών κόκκων.



Σχήμα 4.2α:Γωνίες κοπής του λειαντικού κόκκου.

Το λειαντικό μέσο πρέπει να είναι σημαντικά σκληρότερο από το κατεργαζόμενο υλικό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι είτε φυσικής προελεύσεως είτε τεχνητά.

Από τα φυσικά λειαντικά υλικά έχουν σήμερα σημασία μόνο τα λαδάκονα, η σμύριδα και το διαμάντι.Τα τεχνητά υλικά παράγονται είτε με τήξη σε ηλεκτικούς κλιβάνους όπως το κορούνδιο (οξείδιο του αλουμινίου Al_2O_3) και το ανθρακοπυρίτιο (SiC) είτε με υψηλή συμπίεση σε υψηλή θερμοκρασία όπως το αζωτούχο βόριο (BN) και το διαμάντι (C).

Στον πίνακα 4.1 φαίνεται η περιοχή χρήσης των λειαντικών υλικών στις διάφορες μορφές κατεργασίας.

Πίνακας 4.1 : Πεδίο χρήσης λειαντικών υλικών

Σήμα	Λειαντικό υλικό	Σκληρότητα κατά		Περιοχή χρήσης
		Mohs	Knoop HK	
A	Κανονικό κορούνδιο μέσης ποιότητας (Al_2O_3)	~ 9	1635~2080	Ημισυνεκτικά έως σκληρά υλικά κάτω από 60 HRC , όπως χάλυβας και ελατός χυτοσίδηρος.
	Καλής ποιότητας κορούνδιο (Al_2O_3)	9.0~9.2	2080	Σκληροί και συνεκτικοί χάλυβες με σκληρότητα μεγαλύτερη των 60 HRC , όπως χάλυβας εργαλείων, λείανση και στίλβωση γυαλιού.
C	Ανθρακούχο πυρίτιο (SiC)	9.5~9.7	2480	Επίπεδη λείανση σκληρομετάλλων, χυτοσιδήρου, κεραμικών, μη σιδηρούχων μετάλλων, βαθειά λείανση χάλυβα, καθάρισμα τροχών.
B	Αζωτούχο Βόριο (BN)	-	4700	Λείανση ακριβείας σκληρών

				και συνεκτικών χαλύβων, όπως ταχυχάλυβες (HSS) , χάλυβες κατεργασίας εν θερμώ ή ψυχρώ.
D	Διαμάντι (D)	10	7000	Λείανση ακριβείας σκληρών και συνεκτικών ή ψαθυρών υλικών, όπως σκληρομέταλλα, χυτοσίδηρος, γυαλί κεραμικών.

Κάθε λειαντικός τροχός περιλαμβάνει λειαντικό υλικό σταθερού μεγέθους κόκκων. Το μέγεθος των κόκκων επηρεάζει την κοπτική ικανότητα και την ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας .

Η κόκκωση του λειαντικού υλικού δίνει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των κόκκων. Οι χαρακτηρισμοί λεπτός, μέσος, χονδρός καθορίζονται με κοσκίνισμα σε κόσκινα διαφόρων μεγεθών. Ο αριθμός κόκκωσης αντιστοιχεί με τον αριθμό των διακένων του κόσκινου ανά μία ίντσα μήκους. Στον πίνακα 4.2 δίνεται η διαβάθμιση της κόκκωσης των λειαντικών υλικών και το αντίστοιχο πεδίο χρήσης τους.

Πίνακας 4.2 : Κόκκωση λειαντικών υλικών και πεδίο χρήσης τους.

Μέγεθος κόκκου	Κόκκωση	Χρήση
Χονδρός	4 6 8 10 12 14 16 20 24	Ξεχόνδρισμα
Μέσος	30 36 46 54 60	Αποπεράτωση
Λεπτός	70 80 90 100 120 150 180 220	
Πολύ λεπτός	230 240 280 320 400 500 600 800 1000 1200	Λεπτή και πολύ λεπτή λείανση

4.2.2 Συνδετικά υλικά λειαντικών τροχών.

Το συνδετικό υλικό έχει σκοπό να συγκρατεί τους κόκκους του λειαντικού υλικού τόσο χρόνο έως ότου αυτοί αμβλυνθούν. Το είδος και η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου συνδετικού υλικού επηρεάζουν το βαθμό σκληρότητας και τις λειαντικές ιδιότητες του τροχού.

Στον πίνακα 4.3 δίνονται τα συνδετικά υλικά των λειαντικών τροχών και οι περιοχές χρησιμοποίησής τους.

Πίνακας 4.3 : Συνδετικά υλικά λειαντικών τροχών και πεδίο χρήσης τους.

Σήμα	Τύπος συνδετικού υλικού	Συνδετικό υλικό	Ιδιότητες	Χρήση
V	Κεραμικό υλικό	Αλκαλικές γαίες , πυριτιούχα αργιλλοχώματα,χαλαζιακή άμμος	Πορώδες, ψαθυρό,σταθερό έναντι θερμότητας - νερού-λαδιού,εύκολη μορφοποίηση	Ξεχόνδρισμα και αποπεράτωση χαλύβων με κορούνδιο και ανθρακοπυρίτιο.
B	Τεχνητή ρητίνη	Ρητίνη φαινόλης με υλικά	Πυκνό ή	Ξεχόνδρισμα ή

BF	ενισχυμένη με ίνες	πλήρωσης καλούς αγωγούς θερμότητας ή σταθεροποιητές	πορώδες, συνεκτικό, ελαστικό, σταθερό έναντι λαδιού, υψηλή περιφεραιακή ταχύτητα,κρύα λείανση.	κοπή με τροχό, λείανση υψηλής πίεσης με ζιρκόνιο-κορούνδιο.
M	Μεταλλικό υλικό	Υλικά κονιομεταλλουργίας, μπρούντζος, σκληρομέταλλα, βολφράμιο.	Πυκνό ή πορώδες, συνεκτικό, ανθεκτικό έναντι πίεσης και θερμότητας, υψηλή δύναμη συγκράτησης των πόρων.	Λείανση μορφής με διαμάντι ή αζωτούχο βόριο (με ψυκτικό υγρό)
G	Ηλεκτρολυτική σύνδεση	Ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση	Τραχεία επιφάνεια λόγω προεξοχής των κόκκων.	Εσωτερική λείανση σκληρομετάλλων, ταχυχαλύβων HSS, λείανση με το χέρι.
R RF	Ελαστικό υλικό ενισχυμένο με ίνες	Ελαστικό (φυσική ρητίνη)	Ελαστικό, κρύα λείανση, ευπαθές έναντι λαδιού και θερμότητας.	Κοπή με τροχό, ρυθμιστικοί τροχοί.

Η ονομαστική σκληρότητα εκφράζει την αντίσταση που παρουσιάζουν οι κόκκοι στις δυνάμεις εκρίζωσής τους από το συνδετικό υλικό. Στον πίνακα 4.4 δίνεται ο βαθμός σκληρότητας των λειαντικών τροχών και οι περιοχές χρησιμοποίησής τους.

Πίνακας 4.4 : Σκληρότητα τροχών λείανσης και πεδίο χρήσης τους.

Χαρακτηρισμός τροχού	Βαθμός σκληρότητας	Χρήση
Πάρα πολύ μαλακός - πολύ μαλακός	A,B,C,D,E,F,G	Βαθειά λείανση και πλευρική λείανση σκληρών υλικών.
Μαλακός - μέσος	H,I,J,K,L,M,N,O	Συνήθης λείανση μετάλλων.
Σκληρός - πολύ σκληρός - πάρα πολύ σκληρός	P,Q,R,S,T,U,V,W,X,Y,Z	Εξωτερική κυλινδρική λείανση μαλακών υλικών.

Στη λείανση σκληρών ή ψαθυρών υλικών , λόγω της μεγάλης φθοράς από την τριβή , οι κόκκοι αμβλύνονται πολύ γρήγορα. Μόνο ένας μαλακός τροχός μπορεί να εξασφλίσει την αυτογέννησή του στη σχετικά μικρή φόρτιση των κόκκων.

Στη λείανση μαλακών και συνεκτικών υλικών η φθορά είναι μικρότερη , αλλά η φόρτιση των κόκκων μεγαλύτερη. Οι κόκκοι έχουν την τάση να θρυμματισθούν και να εκριζωθούν. Για τον περιορισμό της φθοράς στα μαλακά υλικά πρέπει να χρησιμοποιούνται σκληρότεροι τροχοί με συνεκτικότερους κόκκους.

Κατά την λείανση ισχύει ο γενικός κανόνας : Για σκληρά υλικά χρησιμοποιούνται μαλακοί τροχοί και για μαλακά υλικά σκληροί τροχοί.

4.2.3 Υφή των λειαντικών τροχών.

Η υφή των λειαντικών τροχών είναι αποτέλεσμα της κατανομής των λειαντικών κόκκων, του συνδετικού υλικού και των εγκλωβισμένων πόρων. Οι θάλαμοι αποβλήτων (δηλαδή οι πόροι) πρέπει να είναι τόσο μεγάλοι ώστε να μπορούν να δεχθούν την ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται από τους κόκκους στην περιοχή επαφής , (σχήμα 4.α).

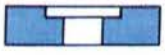
Η υφή χαρακτηρίζεται με τους ενδεικτικούς αριθμούς από 0 έως 14. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ενδεικτικός αυτός αριθμός τόσο περισσότερο πορώδης είναι ο τροχός.

4.3 Μορφή και τυποποίηση λειαντικών τροχών.

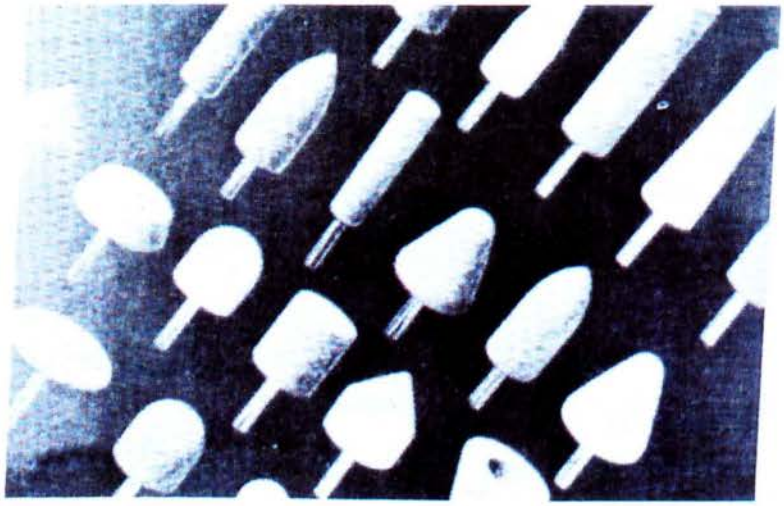
Οι λειαντικοί τροχοί κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές και μεγέθη για να καλύψουν όλο το φάσμα των κατεργασιών λείανσης. Βασικά μεγέθη των λειαντικών τροχών είναι η εξωτερική διάμετρος D , η διάμετρος της κεντρικής οπής d και το πάχος τους.

Στον πίνακα 4.5 φαίνονται οι διάφοροι τύποι των λειαντικών τροχών ενώ στο σχήμα 4.2β φαίνονται οι διάφοροι τύποι των λειαντικών κονδυλιών.

Πίνακας 4.5 : Μορφές τροχών λείανσης και πεδίο χρήσης τους.

Μορφή	Περιγραφή	Χρήση
	Ευθύς λειαντικός τροχός	Κυλινδρική και άκεντρη εσωτερική λείανση, επιφανειακή λείανση, τρόχισμα κοπτικών εργαλείων
	Κυλινδρικός λειαντικός τροχός	Επιφανειακή λείανση σε οριζόντιες και κάθετες λειαντικές μηχανές
	Λειαντικός τροχός με κωνικά άκρα	Λείανση εσοχών.Η κωνικότητα τών άκρων μειώνει την πιθανότητα θραύσης του τροχού.
	Ευθύς λειαντικός τροχός με εσοχή στη μία πλευρά	Κυλινδρική και έγκεντρη εσωτερική λείανση, επιφανειακή λείανση.Η εσοχή χρησιμεύει για την τοποθέτηση φλάντζας συγκράτησης.
	Κυλινδρικός λειαντικός τροχός μορφής κυπέλου	Τρόχισμα κοπέων και κοπτικών εργαλείων, επιφανειακή λείανση σε οριζόντιες και κάθετες λειαντικές μηχανές.
	Ευθύς λειαντικός τροχός με εσοχή και στις δύο πλευρές	Κυλινδρική και έγκεντρη εσωτερική λείανση, επιφανειακή λείανση.Οι εσοχές χρησιμεύουν για την τοποθέτηση φλαντζών συγκράτησης.
	Κωνικός λειαντικός τροχός μορφής κυπέλου	Τρόχισμα κοπέων και κοπτικών εργαλείων κυρίως φρεζών και εργαλείων γλύφανσης.

	Κωνικός λειαντικός τροχός μορφής πιάτου	Τρόχισμα κοπέων και κοπτικών εργαλείων.Τα λεπτά άκρα του επιτρέπουν την λείανση λεπτών εσοχών.
	Λειαντικός τροχός μορφής δίσκου	Τρόχισμα πριονιών και οδόντων φρεζών.



Σχήμα 4.2β: Διάφοροι τύποι κονδυλιών λείανσης.

Η κατάταξη και η ονομασία των εργαλείων λείανσης είναι τυποποιημένη. Όλα τα αναγκαία στοιχεία βρίσκονται πάνω σε ετικέτες, οι οποίες είναι κολλημένες στους λειαντικούς τροχούς. Πρώτα αναφέρεται η βασική μορφή, ακολουθούν οι διαστάσεις και κατόπιν το υλικό λείανσης. Για σμυριδοταινίες, σμυριδόχαρτα και άλλα λειαντικά μέσα ισχύουν παρόμοιοι κανόνες. Στον πίνακα 4.6 δίνεται ένα παράδειγμα και η επεξήγηση των τυποποιημένων στοιχείων ενός λειαντικού τροχού.

Πίνακας 4.5 : Στοιχεία τυποποίησης λειαντικών τροχών

Μορφή	Διαστάσεις					Υλικό					
7	400	X	100	X	127	A	60	K	8	V	35
Βασική μορφή κατά ISO	Εξωτερική διάμετρος D=400 mm		Πλάτος b=100 mm		Διάμετρος οπής d=127 mm	Λειαντικό υλικό A: κορούνδιο	Κόκκωση (κόσκινο μέσο με 60 οπές/ίντσα)	Βαθμός σκληρότητας K:μαλακός	Ενδεικτικός αριθμός υφής 8:μέση	Συνδετικό υλικό V:κεραμικό	Επιτρεπόμενη περιφερειακή ταχύτητα κοπής 35 m/sec

4.4 Έλεγχος και στερέωση των λειαντικών τροχών.

Οι λειαντικοί τροχοί με κεραμικό συνδετικό είναι πολύ ευπαθείς στις κρούσεις λόγω της ψαθυρότητάς τους. Αν ο τροχός σπάσει είτε λόγω ρωγμών, είτε λόγω κακής στερέωσής του στην άτρακτο περιστροφής, είτε λόγω φυγόκεντρων δυνάμεων , τότε τα θραύσματα, τα οποία εκτοξεύονται με ταχύτητες από 80 km/h έως 400 km/h , αποτελούν ένα θανατηφόρο κίνδυνο σε περίπτωση που η λείανση γίνεται χωρίς τη χρήση προστατευτικών μέσων.

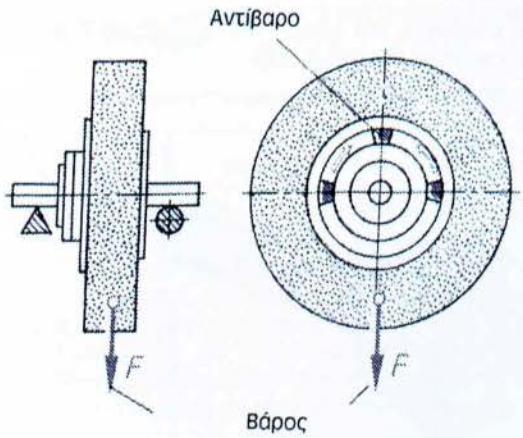
- Κανονισμοί προστασίας από ατυχήματα.

1. Πριν τοποθετηθεί ο τροχός στον άξονα, γίνεται ένας ηχητικός έλεγχος. Ο τροχός συγκρατείται από την οπή στερέωσης και τον κτυπάμε ελαφρά με ένα ξυλόσφυρο ή με την λαβή ενός κατσαβιδιού. Αν ο τροχός δεν έχει ρωγμές τότε ο ήχος του είναι οξύς.
2. Οι τροχοί πρέπει να ωθούνται ελαφρά και χωρίς τη χρήση βίας στον άξονα πρόσδεσης.
3. Η ελάχιστη διάμετρος της φλάντζας σύσφιξης πρέπει να είναι 2/3*d για τους ευθείς τροχούς και 1/2*d στους κωνικούς .
4. Οι φλάντζες πρέπει να έχουν το ίδιο μέγεθος και την ίδια μορφή, και οι παράκυκλοι να είναι από μαλακό χαρτόνι, για να μην προκύψει καμπτική καταπόνηση.
5. Κάθε καινούργιος τροχός πρέπει να δοκιμάζεται για τουλάχιστον 5 λεπτά με τις μέγιστες επιτρεπόμενες στροφές.
6. Ο τεχνίτης πρέπει να φοράει προστατευτικά γυαλιά κατά τη διάρκεια της εργασίας.

- Ζυγοστάθμιση των λειαντικών τροχών.

Η ζυγοστάθμιση των τροχών έχει μεγάλη σημασία στους μεγάλους και πλατείς τροχούς και ιδίως στις υψηλές περιφερειακές ταχύτητες, διότι οι φυγόκεντρες δυνάμεις είναι αυξημένες.

Στη στατική ζυγοστάθμιση τοποθετείται ο τροχός στο ζυγό ζυγοστάθμισης σε διάταξη κύλισης . Τα αντίβαρα μετακινούνται στο περιφερειακό αυλάκι. έως ότου ο τροχός ισορροπεί σε κάθε θέση , σχήμα 4.4.

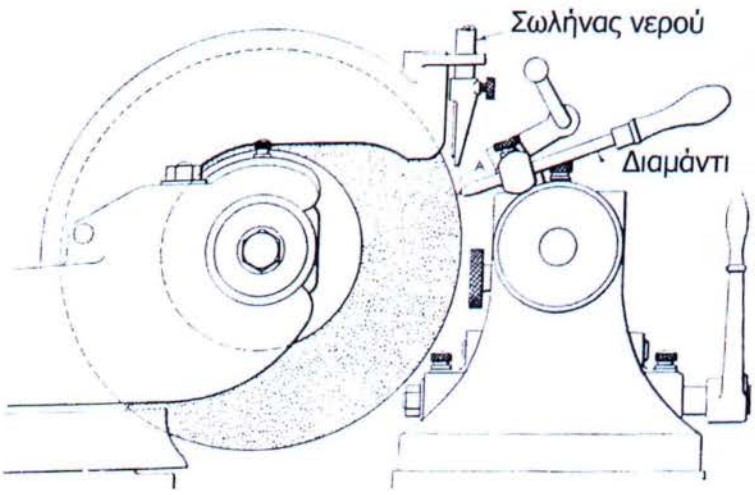


Σχήμα 4.4: Ζυγοστάθμιση λειαντικού τροχού.

4.5 Καθάρισμα και τόρνευση λειαντικού τροχού.

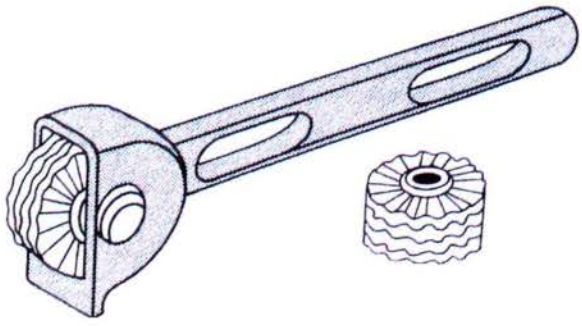
Το καθάρισμα και η τόρνευση του λειαντικού τροχού έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν ομαλή περιστροφική κίνηση και να απομακρύνουν από την λειαντική επιφάνεια τα απόβλητα και τους αμβλείς κόκκους έτσι ώστε ο τροχός να επανέλθει στην κανονική του κατάσταση. Για την εκτέλεση αυτών των εργασιών χρησιμοποιούνται εργαλεία με διαμάντι . Οι κόκκοι διαμαντιού μπορούν λόγω της σκληρότητάς τους να τεμαχίσουν τους κόκκους από κορούνδιο ή πυρίτιο.

Τα εργαλεία με ένα διαμάντι μετατοπίζονται κατά μήκος της λειαντικής επιφάνειας του τροχού. Το βάθος κοπής είναι 0,01 mm έως 0,03 mm και η πρόωση ανά στροφή του τροχού 0,05 mm έως 0,2 mm. Η διάρκεια ζωής του διαμαντιού μπορεί να παραταθεί σημαντικά, αν το εργαλείο έχει κλίση 10 έως 15^0 , σχήμα 4.5α .



Σχήμα 4.5α: Τόρνευση λειαντικού τροχού με διαμάντι.

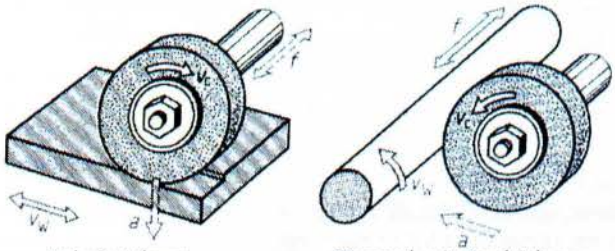
Η αναγέννηση της επιφάνειας του τροχού γίνεται μηχανικά ή με το χέρι χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.5β.



Σχήμα 4.5β: Εργαλείο για την αναγέννηση του τροχού.

4.6 Στοιχεία κατεργασίας στη λείανση

Τα στοιχεία κατεργασίας επηρεάζουν πολύ τη φθορά του τροχού, την ποιότητα της κατεργασίας και την οικονομικότητα της μεθόδου λείανσης , σχήμα 4.6 και πίνακας 4.6.



Σχήμα 4.6:Στοιχεία κατεργασίας κατά την λείανση.

Πίνακας 4.6 : Στοιχεία κατεργασίας στη λείανση.

Στοιχεία κατεργασίας	Συμβατική λείανση	Λείανση υψηλής Βαθειά λείανση ταχύτητας	
V_c σε m/s	20 έως 35	60 έως 120	10 έως 35
V_w σε m/min	4 έως 30	1 έως 4	0.003 έως 0.3
$q=V_c / V_w$	20 έως 120	500 έως 7000	500 έως 200000
α σε mm	0.002 έως 0.1	0.01 έως 20	0.5 έως 20

Η ταχύτητα κοπής V_c αντιστοιχεί προς την περιφερειακή ταχύτητα του τροχού. Δεν επιτρέπεται να γίνει μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη διότι υπάρχει κίνδυνος θραύσης του τροχού κάτω από την επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης. Οι λειαντικοί τροχοί που είναι κατάλληλοι για υψηλές περιφερειακές ταχύτητες φέρουν ειδική έγχρωμη ταινία (πίνακας 4.7). Στην ταινία αναγράφεται εκτός από την μέγιστη επιτρπόμενη περιφερειακή ταχύτητα και ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός στροφών.

Πίνακας 4.7 : Επιτρεπόμενη περιφερειακή ταχύτητα λείανσης.

Εγχρωμη ταινία	Μπλε	Κίτρινη	Κόκκινη	Πράσινη
V_c σε m/s	45	60	80	100

Η ταχύτητα πρόωσης V_w (ταχύτητα του αντικείμενου) αντιστοιχεί για την επίπεδη λείανση προς την ταχύτητα πρόωσης του τραπεζιού της μηχανής, ενώ για την κυλινδρική λείανση προς την περιφερειακή ταχύτητα του αντικειμένου.

Η εγκάρσια πρόωση f αντιστοιχεί για την επιπεδη λείανση προς την κατά μήκος ματατόπιση του τραπεζιού σε κάθε διαδρομή (mm ανά διαδρομή) ,ενώ για την κυλινδρική προς την κατά μήκος πρόωση (mm ανά στροφή) του αντικείμενου και καθορίζει το πλάτος επαφής του τροχού.

Το μέγεθος του βάθους κοπής α εξαρτάται από τη μέθοδο λείανσης, το υλικό του αντικειμένου, το λειαντικό υλικό του τροχού και την επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας.

Ο λόγος ταχύτητας q εκλέγεται ανάλογα με τή μέθοδο λείανσης και το υλικό του αντικειμένου, (πίνακας 4.8).

$$q=\frac{V_c}{V_w}\ \frac{m}{s}\chi\frac{m}{s}$$

Πίνακας 4.8 : Λόγοςταχύτητας q (συμβατική λείανση).

Υλικό	Επίπεδη λείανση		Κυλινδρική λείανση	
	Περιφερειακή	Πλευρική	Εξωτερική	Εσωτερική
Χάλυβας	80	50	125	80
Χυτοσίδηρος	65	40	100	65
Χαλκός-Κράματα χαλκού	50	30	80	50
Ελαφρά μέταλλα	30	20	50	30

- Παράδειγμα

Ένας χαλύβδινος άξονας λειαίνεται με ταχύτητα κοπής 35 m/s (q= 125). Η περιφερειακή ταχύτητα του άξονα δίνεται από την σχέση:

$$V_w=\frac{V_c}{q}=\frac{35}{125}=0.28\ \frac{m}{s}=16.8\ \frac{m}{min}$$

4.7 Θερμότητα κατά τη λείανση και ψύξη.

Κατά τη λείανση αναπτύσσεται θερμότητα λόγω της τριβής και της παραγωγής αποβλήτων. Στο οριακό στρώμα του αντικειμένου μπορούν να δημιουργηθούν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1000 ^{0}C χωρίς την παρουσία ψυκτικού υγρού. Η θέρμανση του οριακού στρώματος καθώς και η ταχεία ψύξη είναι οι αιτίες για τη δημιουργία ανωμαλιών κατά τη λείανση.

Αποκλίσεις από τις διαστάσεις, τάσεις, και πρόκληση ρωγμών δημιουργούνται από τη διαστολή και την επακολουθούσα συστολή στην περιοχή λείανσης. Καμμένες περιοχές είναι ένα ορατό δείγμα, ότι στην επιφάνεια εμφανίστηκαν θερμοκρασίες επαναφοράς. Αυτό οδηγεί, τις περισσότερες φορές, σε αποσκλήρυνση και σκλήρυνση εκ νέου. Οι περιοχές επαναφοράς, οι οποίες καλούνται και μαλακή επιδερμίδα, μπορούν να προχωρήσουν σε βάθος έως 140 μm.

Οι μικρές θερμοκρασίες στο οριακό στρώμα επιτυγχάνονται:

- Με μικρό βάθος κοπής και μικρό μήκος επαφής
Με μικρό λόγο ταχύτητας q.
- Με λειαντικούς τροχούς με μεγάλη τραχύτητα, με μικρή δύναμη συγκράτησης των κόκκων και λειαντικό υλικό με ψαθυρούς κόκκους.
- Με εντατική ψύξη.

Με την ψύξη επιτυγχάνεται μείωση της αναπτυσσόμενης θερμότητας τριβής, καθαρισμός των χώρων αποβλήτων και ψύξη του αντικείμενου.

Το πλέον αποτελεσματικό ψυκτικό είναι το λάδι λείανσης, διότι ελαττώνει περισσότερο την θερμότητα από το σαπουνέλαιο. Με τη χρήση σαπουνέλαιου θερμαίνεται περισσότερο το οριακό στρώμα και κατόπιν ψύχεται απότομα, έτσι ώστε να δημιουργούνται συχνότερα ρωγμές.

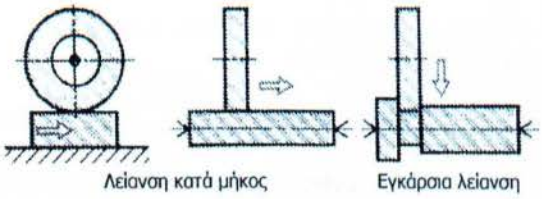
Όταν χρησιμοποιούνται μεγάλες ταχύτητες λείανσης πρέπει το ψυκτικό να εκτοξεύεται με μεγάλη πίεση. Όσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα πρόωσης και όσο περισσότερη θερμότητα αναπτύσσεται, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η παροχή του ψυκτικού υγρού.

4.8 Μέθοδοι Λείανσης.

Η κατάταξη των μεθόδων λείανσης μπορεί να γίνει σύμφωνα με διάφορα κριτήρια , τα οποία είναι τα εξής:

- Η διεύθυνσπ πρόωσης.

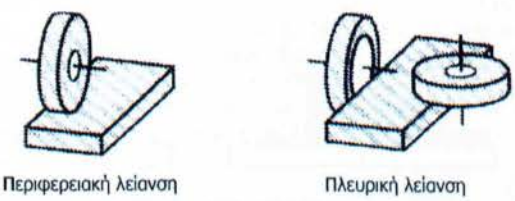
Ανάλογα με την διεύθυνση πρόωσης διακρίνουμε την κατά μήκος και την εγκάρσια λείανση , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8α.



Σχήμα 4.8α: Κατά μήκος και εγκάρσια λείανση.

- Ενεργή επιφάνεια του λειαντικού τροχού.

Ανάλογα με την ενεργή επιφάνεια του τροχού διακρίνουμε την περιφερειακή και την πλευρική λείανση , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8β.



Σχήμα 4.8β: Περιφερειακή και πλευρική λείανση.

- Θέση και είδος της κατεργαζόμενης επιφάνειας.

Ανάλογα με την θέση της κατεργαζόμενης επιφάνειας διακρίνουμε την εξωτερική και την εσωτερική λείανση ενώ ανάλογα με το είδος της κατεργαζόμενης επιφάνειας διακρίνουμε την επίπεδη και την κυλινδρική λείανση , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8γ.

Σχήμα 4.8γ: Εξωτερική επίπεδη και εσωτερική κυλινδρική λείανση.

- Ταχύτητα κοπής.

Ανάλογα με την ταχύτητα κοπής διακρίνουμε την συμβατική λείανση και την λείανση με μεγάλη ταχύτητα.

- Βάθος κοπής.

Ανάλογα με το βάθος κοπής διακρίνουμε την βαθειά λείανση και την λείανση με παλινδρόμηση (το οριστικό βάθος επιτυγχάνεται σταδιακά).

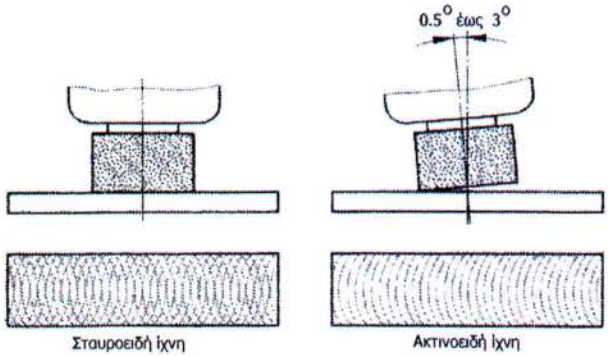
- Τραχύτητα.

Ανάλογα με την επιτυγχανόμενη τραχύτητα διακρίνουμε το ξεχόνδρισμα την αποπεράτωση και την λεπτή λείανση.

1. Επίπεδη - πλευρική λείανση.

Στην πλευρική επίπεδη λείανση οι χώροι των αποβλήτων είναι σπάνια τόσο μεγάλοι, ώστε να μπορούν να δεχθούν τον όγκο των αποβλήτων λόγω της μεγάλης επιφάνειας επαφής. Οι συνέπειες αυτού του φαινομένου είναι: Μεγάλη πίεση κατά τη λείανση, μεγάλη κατανάλωση ισχύος και κακή ποιότητα επιφάνειας κατεργασίας.

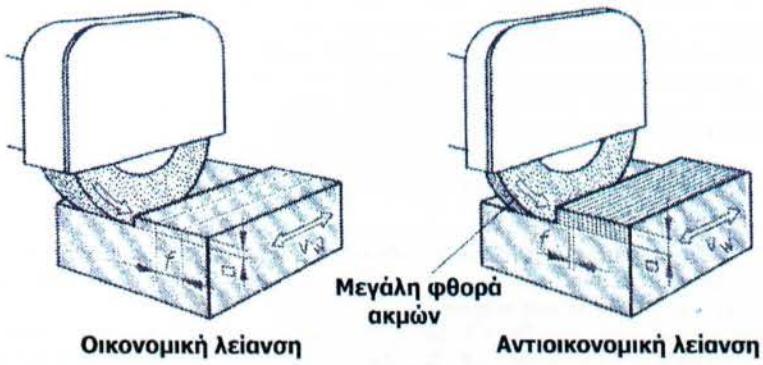
Για να μικρύνει το μήκος επαφής, μπορεί κανείς να εκτρέψει τον άξονα το τροχού κατά $0,5^0$ έως 3^0 από την κατακόρυφο , σχήμα 4.8δ.



Σχήμα 4.8δ: Πλευρική και επίπεδη λείανση.

2. Επίπεδη - περιφερειακή λείανση.

Στην περιφερειακή λείανση η κατεργασία γίνεται κυρίως από τους κόκκους που βρίσκονται στην περιφέρεια του τροχού. Το μήκος επαφής είναι μικρό, έτσι ώστε οι χώροι αποβλήτων του τροχού σπάνια γεμίζουν αλλά και μπορούν εύκολα με την πίεση του ψυκτικού και τη φυγόκεντρη δύναμη να καθαριστούν από τα απόβλητα. Η διάμετρος και το πλάτος του τροχού πρέπει να εκλέγονται κατά το δυνατό μεγάλα ώστε να συμμετέχουν στη διαδικασία της κατεργασίας όσο το δυνατόν περισσότεροι κόκκοι , σχήμα 4.8ε.



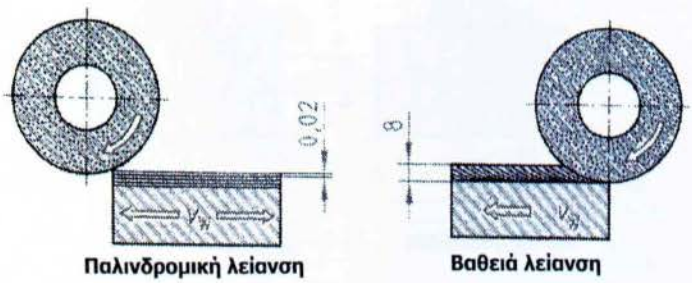
Σχήμα 4.8ε: Επίδραση της εγκάρσιας πρόωσης και της προσέγγισης του τροχού στην επίπεδη λείανση.

Στην ιδανική περίπτωση το πλάτος του τροχού θα έπρεπε να είναι ίσο με το πλάτος του αντικειμένου. Η εγκάρσια πρόωση πρέπει να είναι 1/2 έως 4/5 του πλάτους του τροχού. Ένα μικρό βάθος κοπής με μεγάλη εγκάρσια πρόωση έχουν σαν αποτέλεσμα τη συμμετοχή όλων των κόκκων που βρίσκονται στην περιφέρεια στην διαδικασία της λείανσης. Έτσι αποφεύγονται η μεγάλη φθορά των ακμών του τροχού και η ανάπτυξη τοπικά υψηλής θερμοκρασίας. Η περιφερειακή λείανση είναι ιδιαίτερα οικονομική, αν είναι δυνατή η κατεργασία με μεγάλους και πλατείς τροχούς και με μεγάλη εγκάρσια πρόωση.

3. Λείανση με παλινδρομική κίνηση και βαθειά λείανση.

Στη λείανση με παλινδρομική κίνηση η κατεργασία γίνεται με μικρό βάθος κοπή και μεγάλη ταχύτητα πρόωσης του τραπεζιού , σχήμα 4.8στ. Το οριστικό βάθος κοπής επιτυγχάνεται σταδιακά. Ταυτόχρονα, πρέπει στο τέλος κάθε διαδρομής ο τροχός να υπερβεί την ακμή του αντικείμενου, πράγμα που οδηγεί σε μεγάλη φθορά των ακμών της κατεργαζόμενης επιφάνειας. Επιζήμια είναι αυτή η υπέρβαση και στη φθορά του τροχού ιδιαίτερα στη λείανση αντικειμένων μικρού μήκους.

Στη βαθειά λείανση επιλέγεται μεγάλο βάθος και λόγω της μεγάλης ενεργής επιφάνειας λείανσης επιλέγεται μικρή ταχύτητα πρόωσης , σχήμα 4.8στ. Έτσι δημιουργούνται λεπτά απόβλητα. μικρή φόρτιση των κόκκων και συνεπώς μικρή φθορά του λειαντικού τροχού.



Σχήμα 4.8στ: Παλινδρομική και βαθειά λείανση.

Μειονεκτήματα της βαθειάς έναντι της παλινδρομικής λείανσης αποτελούν η μεγαλύτερη απόκλιση στην επιπεδότητα της επιφάνειας κατεργασίας , η μεγαλύτερη πίεση κατεργασίας

και η υψηλότερη θερμοκρασία στην ενεργή επιφάνεια λείανσης. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα μπορεί να παραμείνει σε παραδεκτά όρια όταν η λείανση είναι ομόρροπη και ταυτόχρονα χρησιμοποιείται μεγάλη παροχή ψυκτικού υγρού.

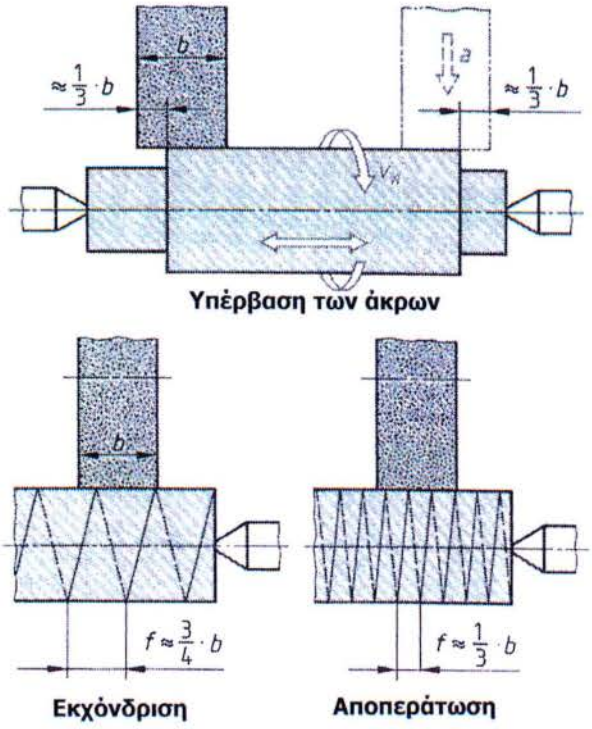
Στη βαθειά λείανση του χάλυβα η κατεργασία γίνεται με ταχύτητες πρόωσης από 10 mm/min έως 300 mm/min και ταχύτητες κοπής 20 m/s έως 35 m/s και χρησιμοποιούνται μαλακοί τροχοί με μεγάλους πόρους.

4. Εξωτερική κυλινδρική λείανση.

Τυπικό γνώρισμα της εξωτερικης κυλινδρικης λείανσης είναι τα πολύ μικρά μήκη επαφής μεταξύ αντικειμένου και τροχού. Αυτό σημαίνει μικρή θερμότητα , καλή ψύξη και εύκολη παραλαβή των αποβλήτων από τους πόρους του τροχού.

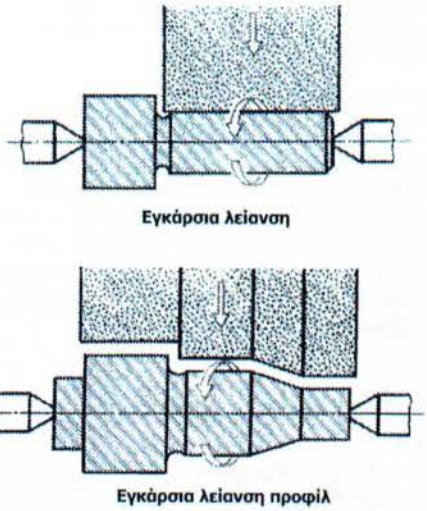
Στην κατά μήκος κυλινδρική λείανση το αντικείμενο περιστρέφεται σε επαφή με τον τροχό λείανσης ενώ ταυτόχρονα ο φορέας του αντικείμενου εκτελεί την κατά μήκος πρόωση , σχήμα 4.8ζ. Αν το αντικείμενο έχει κυλινδρική μορφή με την αυτή διάμετρο σε όλο το μήκος του, τότε πρέπει ο λειαντικός τροχός να υπερβαίνει λίγο το αντικείμενο στο τέλος κάθε διαδρομής , διότι διαφορετικά θα υπάρχει διαμετρική διαφορά στα άκρα του αντικειμένου.

Λεπτά και μεγάλου μήκους αντικείμενα κάμπτονται με την πίεση που ασκεί ο τροχός και πρέπει να υποστηρίζονται με καβαλέττα. Η κατά μήκος πρόωση πρέπει στο ξεχόνδρισμα να είναι περίπου τα 3/4 του πλάτους του τροχού και στην αποπεράτωση περίπου το 1/3.



Σχήμα 4.8ζ: Εξωτερική και κατά μήκος κυλινδρική λείανση.

Στην εγκάρσια κυλινδρική λείανση η προώθηση του τροχού κατά τη διεύθυνση του βάθους κοπής είναι συνεχής μέχρι την τελική διάσταση του αντικειμένου , σχήμα 4.8η .



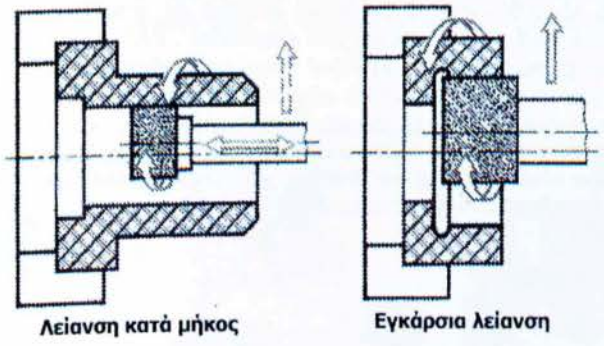
Σχήμα 4.8η: Εξωτερική και εγκάρσια κυλινδρική λείανση.

Το πλάτος του τροχού είναι λίγο μεγαλύτερο του αντικειμένου και έτσι δεν υπάρχει κατά μήκος πρόωση. Ο αριθμός των κόκκων που συμμετέχουν στην κατεργασία είναι μεγάλος. Αυτό σημαίνει μεγάλη αφαίρεση υλικού ανά μονάδα χρόνου στην κυλινδρική λείανση και στη λείανση προφίλ.

Η πίεση του τροχού και η ισχύς απαιτούν ιδιαίτερα στιβαρές μηχανές και περιορίζουν την χρησιμοποίηση της εγκάρσιας κυλινδρικής λείανσης στην μαζική παραγωγή.

5. Εσωτερική κυλινδρική λείανση.

Και στην εσωτερική κυλινδρική λείανση διακρίνουμε την κατά μήκος λείανση και την εγκάρσια , σχήμα 4.8θ . Σε αντίθεση με την εξωτερική λείανση, στην εσωτερική λείανση το ενεργό μήκος λείανσης και η επιφάνεια επαφής μεταξύ τροχού και αντικείμενου είναι μεγάλα. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία λεπτών απόβλητων μεγάλου μήκους και μη ικανοποιητική ψύξη.



Σχήμα 4.8θ: Εσωτερική κυλινδρική λείανση.

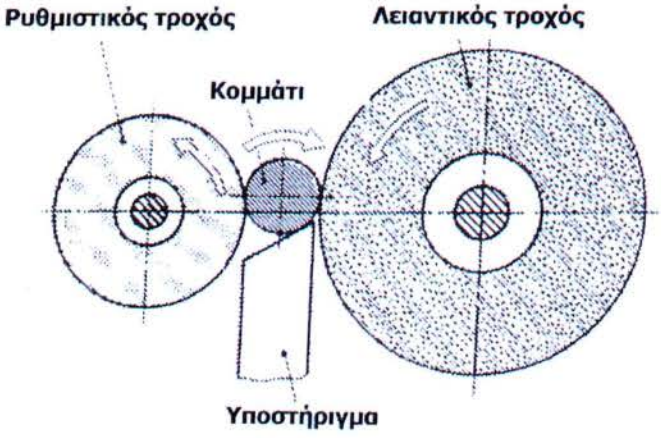
Για να μη συμπιεστούν τα απόβλητα στους χώρους αποβλήτων και για να αποφύγουμε μεγάλη αλλαγή της διαμέτρου του τροχού λόγω αυξημένης φθοράς του τροχού, πρέπει η διάμετρος του τροχού να είναι 6/10 έως 8/10 της διαμέτρου της κατεργαζόμενης

εσωτερικής κυλινδικής επιφάνειας. Κατάλληλοι είναι μαλακοί τροχοί με μεγάλους πόρους και μεγάλη κόκκωση. Το αντικείμενο και ο άξονας του τροχού δεν πρέπει να καταπονούνται σε μεγάλες δυνάμεις κοπής και ταυτόχρονα το πλάτος του τροχού και το βάθος λείανσης πρέπει να επιλέγονται μικρά.

6. Άκεντρη λείανση.

Στην άκεντρη λείανση το αντικείμενο οδηγείται από το υποστήριγμα, τον τροχό λείανσης και τον ρυθμιστικό τροχό και λειαίνεται με ένα πέρασμα , σχήμα 4.8ι .

Η κατεργασία γίνεται από τον τροχό λείανσης, ενώ ο ρυθμιστικός τροχός, ο οποίος περιστρέφεται βραδύτερα και περιέχει ελαστικό συνδετικό υλικό , προωθεί το αντικείμενο χάρη στην κλίση κατά 1^0 έως 5^0. Το αντικείμενο περιστρέφεται με περιφερειακή ταχύτητα περίπου ίση με εκείνη του ρυθμιστικού τροχού. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για κυλινδρικά τεμάχια χωρίς αλλαγές διαμέτρων (πατούρες), π.χ. αξονίσκους-πειράκια.

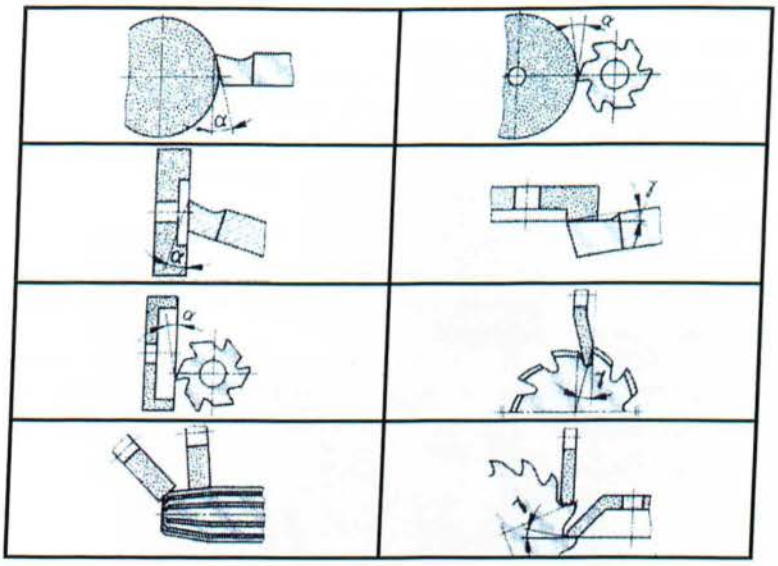


Σχήμα 4.8ι: Άκεντρη εξωτερική κυλινδρική λείανση.

7. Τρόχισμα εργαλείων.

Το τρόχισμα με το χέρι στα απλά εργαλεία , όπως εργαλεία τόρνου και τρυπάνια , είναι δυνατόν να γίνει στους απλούς επιτραπέζιους τροχούς ,σχήμα 4.9α. Επειδή το τρόχισμα γίνεται χωρίς χρήση ψυκτικού υγρού επιλέγεται μικρή ταχύτητα κοπής και σκληρός δίσκος και το κατεργαζόμενο εργαλείο ψύχεται με συχνό βύθισμα σε νερό. Για το τρόχισμα χαλύβδινων εργαλείων κατάλληλοι είναι οι τροχοί από κορούνδιο , ενώ για το τρόχισμα εργαλείων από σκληρομέταλλα χρησιμοπουούνται λειαντικοί τροχοί από ανθρακοπυρίτιο.

Το τρόχισμα σε ειδικά τροχιστικά μηχανήματα επιτρέπει την χρησιμοποίηση ψυκτικού υγρού και ταυτόχρονα επιτρέπει το τρόχισμα κατά συγκεκριμένες γωνίες με ακρίβεια καθώς και το τρόχισμα ελικοειδών αυλάκων. Χρησιμοποιούνται συνήθως τροχοί μορφής κυπέλου ή πιάτου , σχήμα 4.8ια. Σαν υλικό λείανσης για τους ταχυχάλυβες εργαλείων χρησιμοποιείται το αζωτούχο βόριο ενώ για τα σκληρομέταλλα το διαμάντι.



Σχήμα 4.8ια:Τρόχισμα εργαλείων.

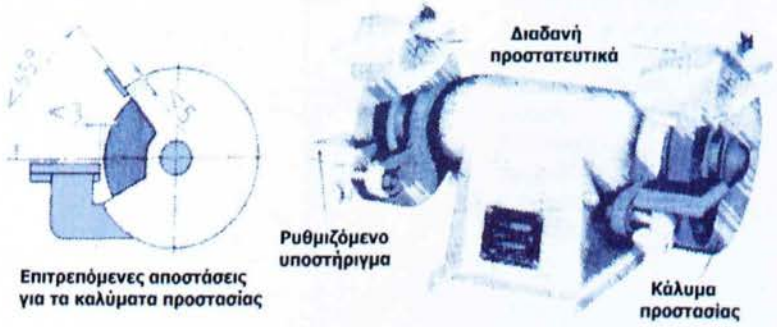
4.9 Λειαντικές μηχανές.

Τα σπουδαιότερα στοιχεία μιας λειαντικής μηχανής είναι η κύρια άτρακτος και η έδρα της. Μεγάλη ακαμψία, ακρίβεια στην περιστροφική κίνηση και απόσβεση των ταλαντώσεων είναι οι προϋποθέσεις για την επίτευξη μεγάλης ακρίβειας στη μορφή και στην ποιότητα της επιφάνειας του αντικειμένου.

Οι γλισιέρες των διαφόρων φορείων πρέπει κατά το δυνατόν να μην έχουν χάρη, να κινούνται εύκολα και να μην εμφανίζουν κραδασμούς. Τα υδραυλικά συστήματα πρόωσης πρέπει να εργάζονται αθόρυβα και να επιτρέπουν την αδιαβάθμητη αλλαγή της ταχύτητας πρόωσης , ενώ τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα πρόωσης πρέπει να παράγουν ομαλή και σταθερή κίνηση πρόωσης

4.9.1 Ο επιτραπέζιος τροχός.

Σ' αυτές τις μηχανές τροχίζονται τα εργαλεία με το χέρι, ,σχήμα 4.9α . Το υποστήριγμα του εργαλείου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στον τροχό, διότι, αν η απόσταση του εργαλείου από τον τροχό είναι μεγάλη, τότε το τροχιζόμενο εργαλείο μπορεί να σφηνωθεί στο σχηματιζόμενο διάκενο.



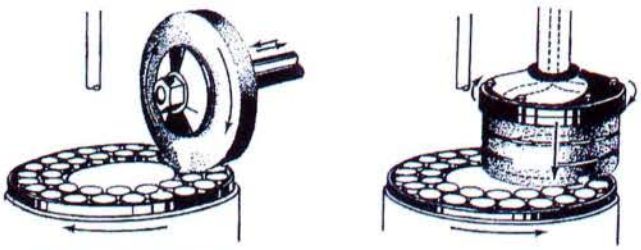
Σχήμα 4.9α:Επιτραπέζιος λειαντικός τροχός.

Για το λόγο αυτό, τόσο το υποστήριγμα όσο και το προστατευτικό κάλυμα είναι ρυθμιζόμενα, ώστε και στην περίπτωση που ο τροχός έχει φθαρεί να ρυθμίζονται πάντοτε οι κατάλληλες αποστάσεις. Το υποστήριγμα και το προστατευτικό κάλυμμα επιτρέπεται να μετακινηθούν μόνον όταν η μηχανή είναι εν στάσει. Επίσης , κατά το τρόχισμα ο τεχνίτης πρέπει να χρησιμοποιεί γυαλιά προστασίας.

4.9.2 Μηχανές επίπεδης λείανσης.

Ανάλογα με την θέση της ατράκτου του μηχανήματος διακρίνει κανείς μηχανές επίπεδης λείανσης με οριζόντια ή κατακόρυφη άτρακτο.Η κίνηση του κομματιού μπορεί να είναι ευθύγραμμη παλινδρομική ή περιστροφική.

Στις οριζόντιες λειαντικές μηχανές επίπεδης λείανσης χρησιμοποιούνται επίπεδοι λειαντικοί τροχοί ενώ στις κατακόρυφες μηχανές χρησιμοπούνται λειαντικοί τροχοί που έχουν μορφή κυπέλου , σχήμα 4.9β . Όταν η κίνηση του τραπεζιού είναι παλινδρομική δίνεται συνήθως υδραυλικά.



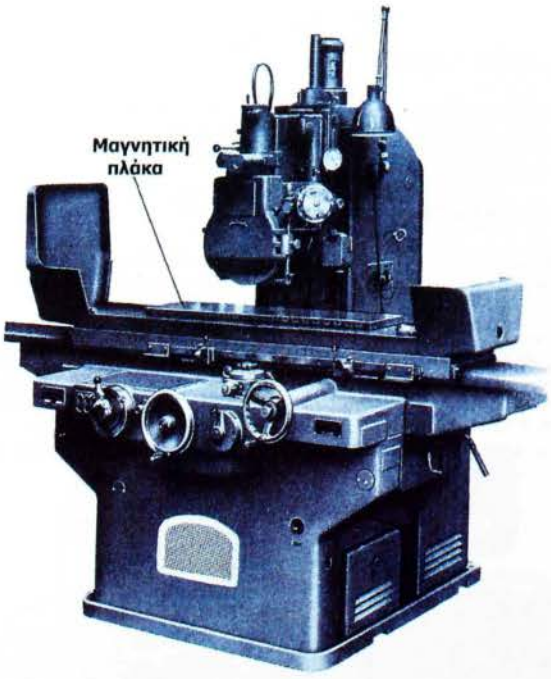
Επίπεδος λειαντικός τροχός **Λειαντικός τροχός με μορφή κυπέλου**

Σχήμα 4.8β: Λείανση σε οριζόντια και κατακόρυφη μηχανή.

Τα προς κατεργασία αντικείμενα δένονται στο τραπέζι της μηχανής μηχανικά ή μαγνητικά. Στην δεύτερη περίπτωση το τραπέζι εφοδιάζεται με μια ισχυρά μαγνητισμένη πλάκα που αντικαθιστά σχεδόν κάθε άλλο μέσο συγκράτησης.

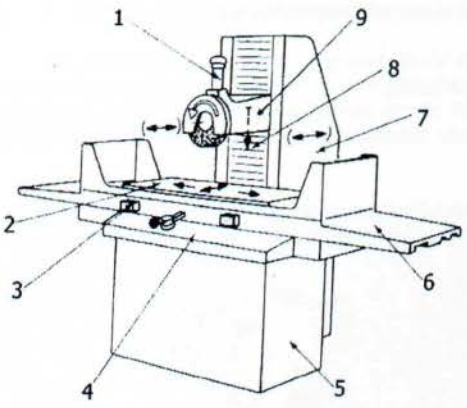
Στις μηχανές επίπεδης λείανσης το βάθος κοπής καθορίζεται πάντα με μικρομετρική μετακίνηση του τροχού προς το κομμάτι και επιτυγχάνεται ακρίβεια εκατοστού του χιλιοστού. Για ξεχόνδρισμα το βάθος κοπής είναι μέχρι 0.5 mm ενώ για τελική λείανση κυμαίνεται από 0.0005 έως 0.05 mm.

Στο σχήμα 4.9γ φαίνεται μια οριζόντια λειαντική μηχανή επίπεδης λείανσης με τραπέζι που εκτελεί παλινδρομική κίνηση. Το τραπέζι είναι εφοδιασμένο με μαγνητική πλάκα συγκράτησης.



Σχήμα 4.9γ: Μηχανή επίπεδης λείανσης.

Στο σχήμα 4.9δ φαίνεται η διαμόρφωση , οι κινήσεις και η ονοματολογία των κύριων μερών της μηχανής.



1.Συσκευή τόρνευσης των τροχών με διαμάντι.
2.Τραπέζι με λούκια και μαγνητική πλάκα.
3.Όρια αντιστροφής της παλινδροικής κίνησης του τραπεζιού.
4.Εγκάρσιες γλισιέρες.
5.Σώμα της μηχανής.
6.Τραπέζι με παλινδρομική κίνηση.
7.Σώμα μηχανής με εγκάρσια κίνηση.
8.Κατακόρυφες γλισιέρες φορέα τροχού.
9.Φορέας τροχού.

Σχήμα 4.9δ:Διαμόρφωση μηχανής επίπεδης λείανσης.

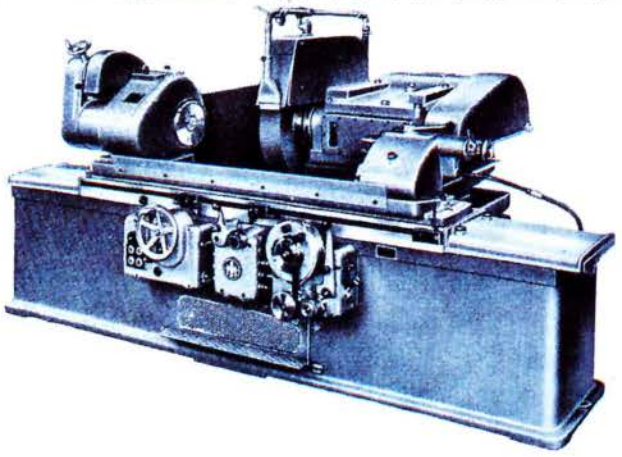
4.9.3 Μηχανές κυλινδρικής λείανσης.

Οι μηχανές κυλινδρικής λείανσης υποδιαιρούνται σε μηχανές εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης , σε μηχανές εσωτερικής λείανσης και σε μηχανές άκεντρης εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης.

1. Μηχανές εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης.

Στις μηχανές αυτές ο τροχός λειαίνει κυλινδρικά κομμάτια τα οποία , εκτός από περιστροφική κίνηση , εκτελούν και κατά μήκος βραδεία μετατόπιση (πλευρική πρόωση) μπροστά από τον περιστρεφόμενο τροχό.

Τα κατεργαζόμενα κομμάτια μικρού μήκους συγκρατούνται σε τσοκ ενώ τα κομμάτια μεγάλου μήκους σε δύο πόντες. Περιστρέφονται πολύ πιο σιγά από τον λειαντικό τροχό και ομόρροπα με αυτόν. Στο σχήμα 4.9ε φαίνεται μια μηχανή εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης.

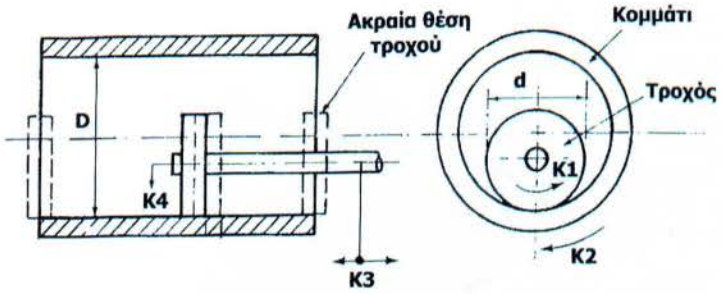


Σχήμα 4.9ε: Μηχανή εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης.

2. Μηχανές εσωτερικής κυλινδρικής λείανσης.

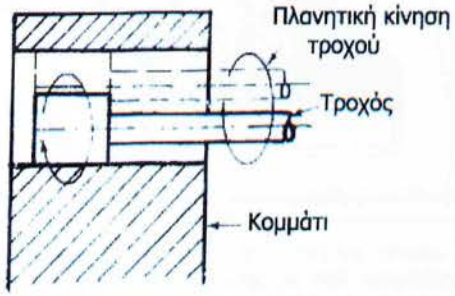
Τα λειαντικά μηχανήματα εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών ανήκουν σε ένα από τους παρακάτω τύπους:

- Μηχανήματα στα οποία το κομμάτι δένεται σε περιστρεφόμενα τσοκ , ενώ ο λειαντικός τροχός περιστρέφεται αντίστροφα και ταυτόχρονα κινείται κατά μήκος μέσα στο κομμάτι , σχήμα 4.9στ.



Σχήμα 4.9στ: Εσωτερική κυλινδρική λείανση.
Κ1=Κύρια κίνηση τροχού Κ2=Κίνηση κομματιού
Κ3=Παλινδρομική κίνηση τροχού Κ4=Κίνηση για το βάθος κοπής.

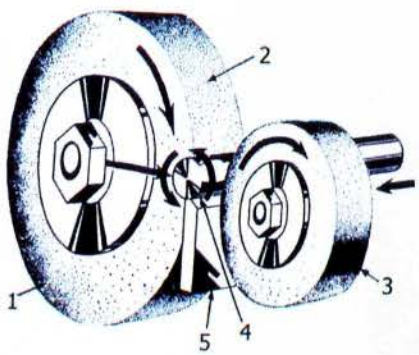
- Μηχανήματα στα οποία ο τροχός εκτός από την περιστροφική εκτελεί και πλανητική κίνηση. Ο άξονας περιστροφής του λειαντικού τροχού περιστρέφεται και αυτός γύρω από τον νοητό άξονα της οπής , σχήμα 4.9ζ , ενώ το κομμάτι παραμένει σταθερό.



Σχήμα 4.9ζ: Εσωτερική κυλινδρική λείανση με σταθερό κομμάτι και περιστρεφόμενο τροχό που εκτελεί πλανητική κίνηση.

3. Μηχανές άκεντρης κυλινδρικής λείανσης.

Στις λειαντικές μηχανές άκεντρης κυλινδρικής λείανσης το κομμάτι δεν στηρίζεται σε κέντρα αλλά παρεμβάλεται ανάμεσα στον λειαντικό τροχό και σε ένα βοηθητικό τροχό που ονομάζεται τροχός πρόωσης ή ρυθμιστικός τροχός. Κάτω από το κομμάτι βρίσκεται ένα σταθερό υποστήριγμα, σχήμα 4.9η.

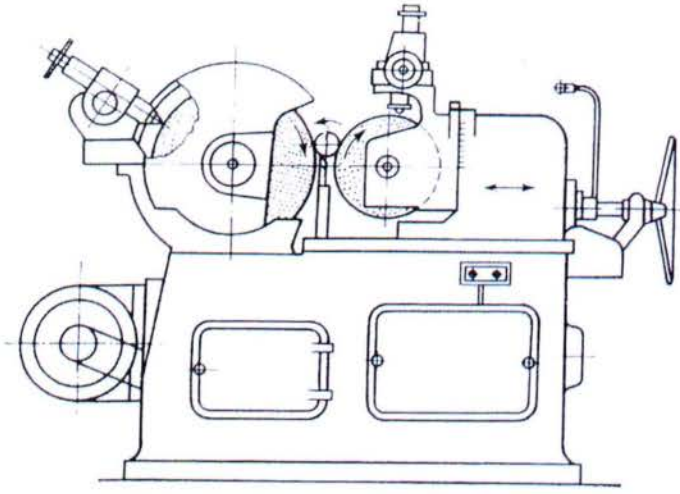


1. Λειαντικός τροχός.
2. Λειαντική όψη.
3. Ρυθμιστικός τροχός
4. Κομμάτι
5. Υποστήριγμα

Σχήμα 4.9η: Διάταξη για άκεντρη εξωτερικη λείανση.

Ο ρυθμιστικός τροχός , λόγω της κλίσής του κατά 1^{0} έως 5^{0} , προωθεί το κομμάτι εγκάρσια και ταυτόχρονα το πιέζει προς τον λειαντικό τροχό. Ο ρυθμιστικός τροχός 3 δεν έχει δική του κίνηση , αλλά κινείται παρασυρόμενος από τον λειαντικό τροχό 1 μέσω του κομματιού 4.

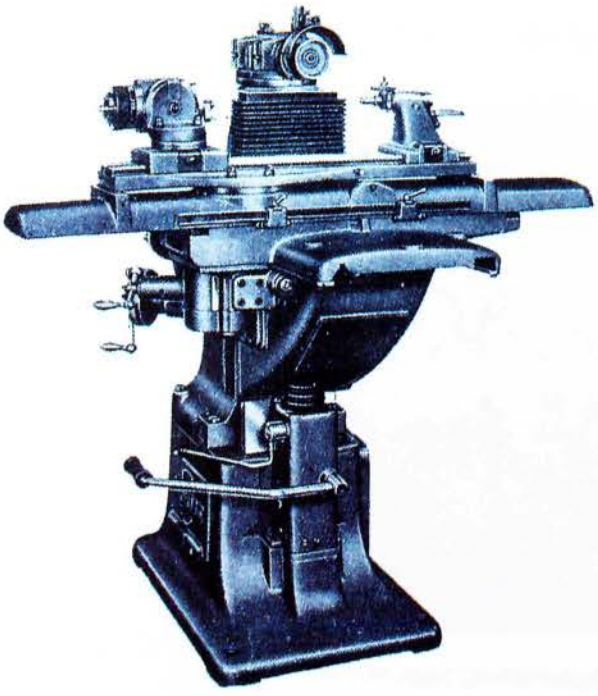
Οι μηχανές αυτές αποδίδουν μεγάλη ακρίβεια και είναι πολύ παραγωγικές , αφού δεν χάνεται χρόνος για το δέσιμο των κομματιών. Ταυτόχρονα παρέχουν την δυνατότητα λείανσης κομματιών μικρής διαμέτρου , των οποίων το δέσιμο σε λειαντικές μηχανές με κέντρα θα ήταν πολύ δύσκολο. Στο σχήμα 4.9θ φαίνεται μία τυπική μηχανή για άκεντρη εξωτερική κυλινδρική λείανση.



Σχήμα 4.9η: Λειαντική μηχανή για άκεντρη εξωτερική λείανση.

4.9.4 Λειαντικά μηχανήματα για τρόχισμα κοπτικών εργαλείων.

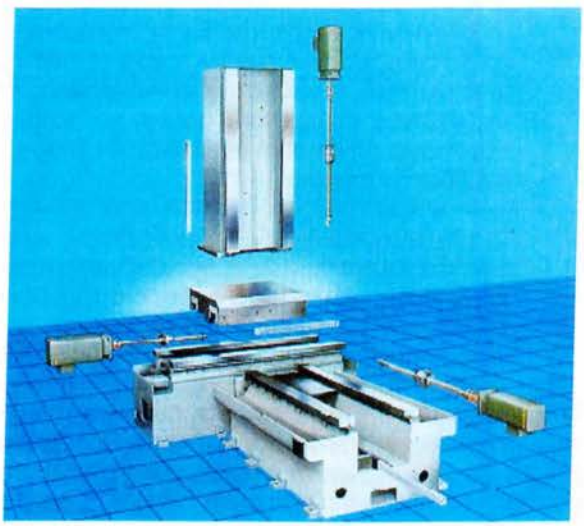
Στα μηχανήματα αυτά ακονίζονται εργαλεια κοπής όπως κοπτήρες, φρέζες όλων των ειδών , σπειροτόμοι , γλύφανα κ.λ.π., σχήμα 4.9ι .



Σχήμα 4.9ι: Μηχανή γενικής χρήσης για τρόχισμα κοπτικών εργαλείων

Τα τροχιστικά εργαλείων έχουν την δυνατότητα να κάνουν όλες τις κατεργασίες που απαιτούνται για το ακόνισμα εργαλείων κοπής με την τοποθέτηση τροχών οποιασδήποτε μορφής και σχήματος.Τα κοπτικά εργαλεία που τοποθετούνται και συγκρατούνται σε αυτά τα μηχανήματα μπορούν να περιστραφούν κατά οποιαδήποτε γωνία σχετικά με την θέση του τροχιζόμενου εργαλείου. Ο άξονας του τροχού είναι οριζόντιος και μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα και να σταθεροποιείται σε διάφορες θέσεις.

Δ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ



Δομικά στοιχεία εργαλειομηχανών

Στο τέλος της μελέτης του τέταρτου κεφαλαίου ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

- Ποιες είναι οι επιπλέον απαιτήσεις κατασκευής των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές.
- Ποια είναι τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων και πως καθοδηγούνται από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου MCU.
- Τι είδους κινητήρες χρησιμοποιούνται για τις κινητήριες ατράκτους και τι είδους για τις κινήσεις προώσεων. Ποιες είναι οι προδιαγραφές των κινητήρων αυτών.
- Ποιες άλλες διατάξεις χρησιμοποιούνται με ειδικές προδιαγραφές στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση.
- Τι σημαίνει η έννοια «μέτρηση» και πως μετρούνται τα μήκη και οι γωνίες.
- Τι είναι οι μετρητές στις εργαλειομηχανές και σε ποιες κατηγορίες χωρίζονται.

1. Κατασκευαστική φιλοσοφία εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση

Η βασική αρχή των μη συμβατικών εργαλειομηχανών στηρίζεται, όπως περιγράφηκε, σε ένα μεγάλης ακρίβειας σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου, το οποίο παράγει ψηφιακά σήματα, που καθοδηγούν τις λειτουργίες και τις παραμέτρους της κατεργασίας. Τα σήματα αυτά επεξεργάζονται και προσαρμόζονται δυναμικά από το σύστημα ελέγχου της μηχανής και, τελικά, ενεργοποιούν τους κινητήρες του κάθε άξονα κατεργασίας, την άτρακτο κοπής και τις περιφερειακές λειτουργίες της μηχανής, όπως είναι η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων, η τροφοδοσία υγρού κοπής κ.λπ.. Οι παραπάνω μηχανισμοί αντικαθιστούν τους χειροτροχούς, τους μοχλούς και τους διακόπτες των συμβατικών μηχανών.

Οι μηχανικοί σχεδιασμού και ανάπτυξης τέτοιου είδους εργαλειομηχανών έχουν πάντα ως αρχή την κατασκευή εργαλειομηχανών, οι οποίες εκτελούν, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερο όγκο κατεργασίας με μία μόνο διαδικασία καθοδήγησης και ρύθμισης. Σε αυτήν τη σκέψη στηρίζεται η εξέλιξη των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, δηλαδή στην αύξηση του βαθμού αυτοματοποίησης της μηχανουργικής τεχνολογίας. Σε αυτήν την προσπάθεια συμβάλλουν πολλές άλλες επιμέρους επιστήμες, όπως η τεχνολογία των υλικών, η τεχνολογία των κοπτικών εργαλείων, η ηλεκτρονική, η ρομποτική, η επιστήμη των υπολογιστών και ιδίως η μηχανολογία. Μάλιστα, η τελευταία επιστήμη καθορίζει την ταχύτητα εξέλιξης των μηχανικών τμημάτων των εργαλειομηχανών (συστήματα κίνησης, οδηγοί κοχλίες, οδοντώσεις, εδράσεις ατράκτων κ.λπ.).

Όπως περιγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο, οι μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης έχουν να αντιμετωπίσουν αποστολές κατεργασίας που σχετίζονται με πολύ δυσμενείς συνθήκες κοπής. Για παράδειγμα, οι ταχύτητες κοπής, άρα και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες, είναι πολύ υψηλές. Ακόμα, οι προώσεις και οι δυνάμεις κοπής ξεπερνούν κατά πολύ τα μεγέθη των αντίστοιχων συμβατικών μηχανών. Η δυναμική και στατική συμπεριφορά των μηχανών αυτών απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη, αφού οι απαιτήσεις σε ακρίβεια είναι κατά πολύ αυξημένες. Επίσης, στην περίπτωση των CNC εργαλειομηχανών, που εργάζονται σε δύο ή και τρεις βάρδιες μέσα σε μεγάλα μηχανουργεία ή βιομηχανίες, η απομάκρυνση των αποβλίττων είναι ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με σκούπα και φαράσι, όπως στις συμβατικές εργαλειομηχανές. Έτσι, λοιπόν, οι κατασκευαστικές υποομάδες των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, παράγονται με ξεχωριστές προδιαγραφές σε σχέση με αυτές των συμβατικών. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν κάποιες από αυτές τις υποομάδες, που σχετίζονται κυρίως με τα μηχανικά και όχι με τα ηλεκτρονικά μέρη των εργαλειομηχανών.

2. Ηλεκτρικοί κινητήρες εργαλειομηχανών

2.1 Γενικά για τους ηλεκτρικούς κινητήρες, που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από τα σημαντικότερα υποσυστήματα των εργαλειομηχανών, καθώς όλες σχεδόν οι κινήσεις μετατόπισης και κοπής οδηγούνται από αυτούς. Η απόδοσή τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό, την ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών και την παραγωγικότητα των εργαλειομηχανών, που τους περιέχουν. Σήμερα οι NC, CNC οι DNC μηχανές περιέχουν, ως βασικό εξοπλισμό, ολόκληρα συστήματα σερβοκινητήρων (servomotors), που προσφέρουν διαρκή έλεγχο των παραμέτρων τους (ταχύτητα περιστροφής και αποδιδόμενη ισχύς).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο των προώσεων, όσο και των ταχυτήτων κοπής. Αποτελούνται από ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες. Η λειτουργία αυτών των κινητήρων θα περιγραφεί στις επόμενες παραγράφους, ανάλογα με την εφαρμογή τους. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μετρητής της ταχύτητας περιστροφής και μηχανισμός άμεσης πέδησης. Οι σερβοκινητήρες ενσωματώνουν ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας, ενώ μπορεί να περιλαμβάνουν και μηχανικά υποσυστήματα, όπως συμπλέκτες και μειωτήρες.

Οι απαιτήσεις για τους κινητήρες ενεργοποίησης των αξόνων κατεργασίας (κινητήρες προώσεων) είναι κατά πολύ διαφορετικές από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τις κύριες ατράκτους των εργαλειομηχανών. Επίσης, η σχεδιαστική φιλοσοφία διαφέρει από τύπο σε τύπο μηχανής, αφού, για παράδειγμα, η ταχύτητα κοπής σε λειαντική μηχανή είναι πολλαπλάσια από τις αντίστοιχες του φρεζαρίσματος και της τόρνευσης. Πριν περιγραφούν οι εφαρμογές των διαφόρων τύπων κινητήρα στις εργαλειομηχανές, είναι σκόπιμο να δοθούν μερικά βασικά δεδομένα, που σχετίζονται γενικότερα με τις κατεργασίες.

2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία κινητήρων.

Η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει την ταχύτητα κοπής ή μετατόπισης και επηρεάζεται από τον κινητήρα, είναι η γωνιακή ταχύτητα ω. Το μέγεθος αυτό προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα, που μετριέται σε στροφές ανά λεπτό (rpm) και δίνεται από τη σχέση :

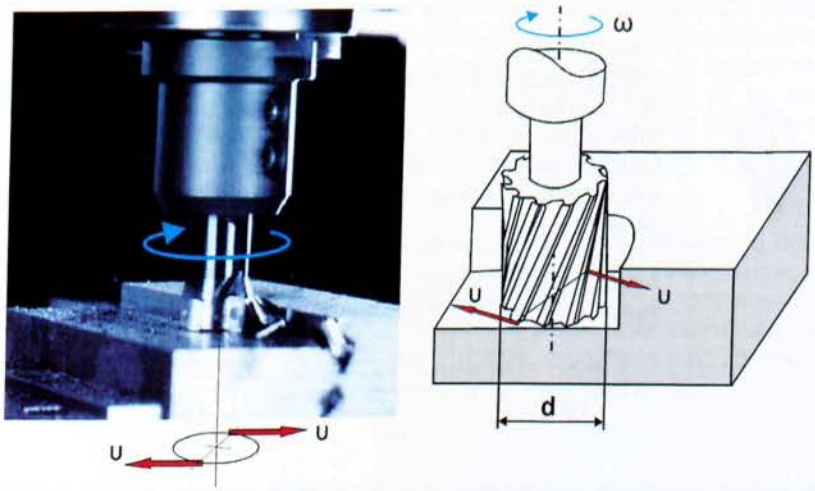
$$\omega = 2 \times \pi \times n / 60 \qquad \text{(σχέση Δ.1)}$$

Η ταχύτητα κοπής, εκτός από τη γωνιακή ή την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα, εξαρτάται και από τη γεωμετρία της θέσης κοπής. Ο υπολογισμός της ταχύτητας κοπής υ προκύπτει, στην περίπτωση του φρεζαρίσματος, με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα Δ.1, ενώ στην περίπτωση της τόρνευσης, με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα Δ.2. Η μαθηματική σχέση που δίνει την ταχύτητα κοπής είναι:

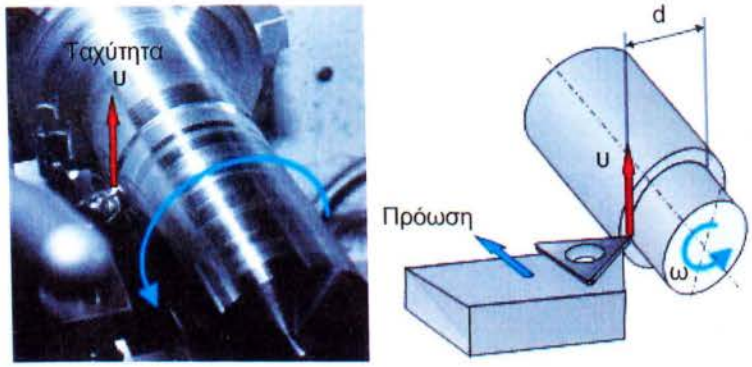
$$\upsilon = \pi \times d \times n \qquad \text{(σχέση Δ.2)}$$

Στην παραπάνω σχέση, d είναι η διάμετρος του περιστρεφόμενου σώματος στη θέση κοπής, δηλαδή του εργαλείου για την περίπτωση του φρεζαρίσματος και της λείανσης, και του κατεργαζόμενου τεμαχίου, για την περίπτωση της τόρνευσης. Η σχέση Δ.2 μετασχηματίζεται για την ταχύτητα κοπής στη σχέση Δ.3, όταν η ταχύτητα κοπής μετριέται σε [m/min], η διάμετρος d σε [mm] και οι στροφές n σε στροφές το λεπτό [rpm].

$$\upsilon = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \qquad \text{(σχέση Δ.3)}$$



Σχήμα Δ.1 : Ταχύτητα κοπής σε κατεργασίες φρεζαρίσματος



Σχήμα Δ. 2 : Ταχύτητα κοπής σε κατεργασία τόρνευσης

Εφαρμογή 1η
Να υπολογιστεί η ταχύτητα κοπής στην τόρνευση τεμαχίου σε διάμετρο 20 mm με στροφές n=500 rpm.

Λύση
Εφαρμόζοντας τον τύπο Δ.3 προκύπτει :

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 20 \cdot 500}{1000} = 31{,}4 m/min$$

Εφαρμογή 2η
Για την τόρνευση χάλυβα St42 με κοπτικό εργαλείο από ταχυχάλυβα, δίδεται από πίνακες επιθυμητή ταχύτητα κοπής 80 m/min. Η διάμετρος του αρχικού κομματιού είναι 40 mm και το βάθος κοπής 3 mm. Σε πόσες στροφές πρέπει να ρυθμιστεί ο τόρνος ;

Λύση
Επειδή η αρχική διάμετρος του κομματιού είναι 40 mm και το βάθος κοπής είναι 3 mm, η τελική διάμετρος του τεμαχίου θα είναι 40-6=34 mm. Αυτό συμβαίνει, γιατί στον τόρνο το βάθος κοπής είναι ακτινικό και μετριέται δύο φορές. Το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί 3 mm γύρω - γύρω από το κομμάτι, δηλαδή συνολικά 6 mm στη διάμετρο. Η διάμετρος, λοιπόν, στην οποία πραγματοποιείται η κοπή, είναι 34 mm.

Από τον τύπο Δ.3 είναι γνωστές η ταχύτητα u και η διάμετρος d, οπότε με λύση του τύπου ως προς τις στροφές n έχουμε :

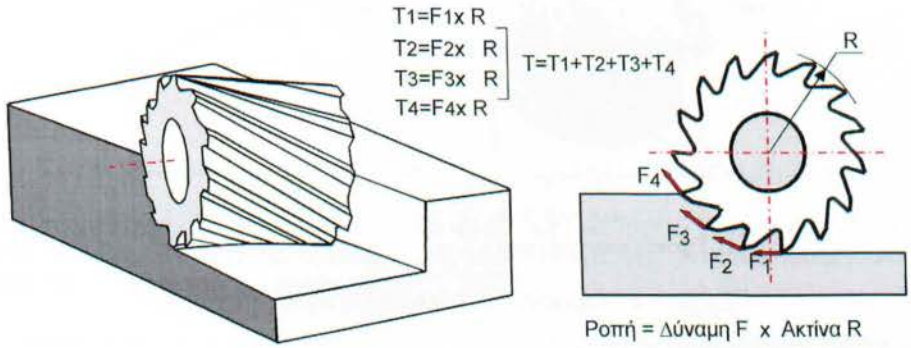
$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{u \cdot 1000}{\pi \cdot d} \Rightarrow = \frac{80 \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 34} = \text{περίπου } 750 rpm$$

Μία ακόμη σημαντική παράμετρος των ηλεκτρικών κινητήρων είναι η αποδιδόμενη ισχύς P, η οποία μετριέται σε kWatt και σπανιότερα σε Hp. Σε όλες τις περιπτώσεις των κινητήρων δεν ενδιαφέρει τόσο η απόλυτη ισχύς, όσο η συσχέτισή της με τις στροφές, στις οποίες αποδίδεται

αυτή η μέγιστη ισχύς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται περισσότερο η ροπή στρέψεως T που μετριέται σε N.m και εκφράζεται από τη σχέση :

$T = P / \omega$ (σχέση Δ.4)

Η ροπή στρέψεως ενός κινητήρα εκφράζει τη δυνατότητα υπερνίκησης μιας αντίστοιχης ροπής. Στην περίπτωση της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής, η ροπή που πρέπει να υπερνικηθεί, οφείλεται στην αντίσταση κοπής, δηλαδή στην κάθετη δύναμη κοπής. Η ροπή αυτή περιγράφεται στο σχήμα Δ.3 για το φρεζάρισμα σαν τη συνολική ροπή, που προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ροπών, που οφείλονται στις αντίστοιχες δυνάμεις κοπής.

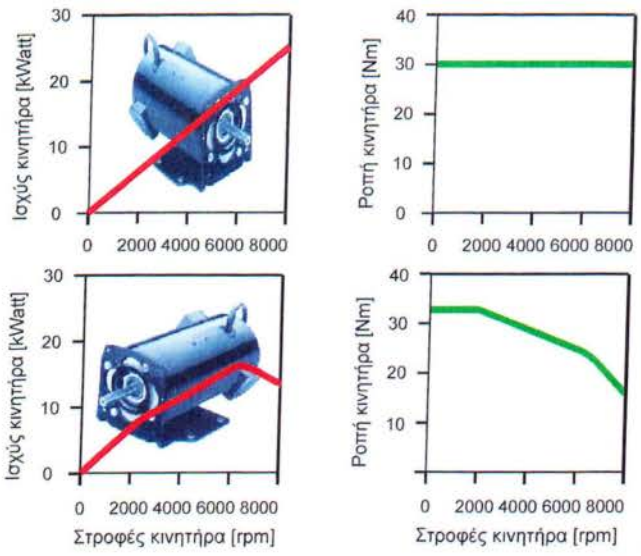


Σχήμα Δ.3 : Χρησιμοποίηση της ροπής για την υπερνίκηση της αντίστασης κοπής

Έτσι, ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατεργασία, επιλέγεται και ο αντίστοιχος κινητήρας, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά ροπής και ισχύος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση λειαντικής μηχανής που απαιτεί μεγάλη ταχύτητα και εμφανίζει μικρές δυνάμεις κοπής και ροπή αντίστασης, θα χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας, που αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του σε υψηλές στροφές. Σε αντίθετη περίπτωση, θα απαιτηθεί η προσθήκη πολλαπλασιαστή στροφών, που όμως αυξάνει το κόστος.

Οι βέλτιστοι σε απόδοση κινητήρες είναι αυτοί που εμφανίζουν σταθερή στρεπτική ροπή, σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας τους. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα να αυξάνεται, ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας (γραμμικά). Οι καμπύλες που παρουσιάζουν την αποδιδόμενη ισχύ και ροπή του κινητήρα, σε σχέση με τις στροφές του, ονομάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες. Στην περίπτωση αυτή, η αποδιδόμενη ροπή στρέψεως είναι σταθερή, σε σχέση με τις στροφές και το φαινόμενο αυτό συχνά ονομάζεται επίπεδη απόδοση ροπής.

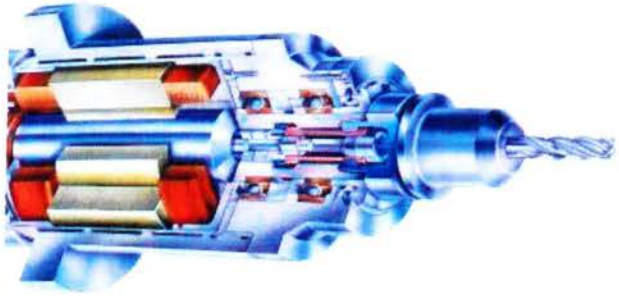
Τέτοια περίπτωση φαίνεται στο πάνω μέρος του σχήματος Δ.4. Για παράδειγμα, ο συγκεκριμένος κινητήρας μπορεί να διπλασιάσει τις στροφές του, άρα και την ταχύτητα κοπής, χωρίς να χάσει σε ικανότητα υπερνίκησης της ροπής αντίστασης. Υπάρχουν όμως και κινητήρες που δεν έχουν τη συμπεριφορά αυτή, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος. Στην περίπτωση αυτή, η ροπή του κινητήρα δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος των στροφών, γεγονός που δε βοηθάει τον ακριβή έλεγχο της κινητήριας ατράκτου.



Σχήμα Δ.4 : Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής

2.3 Ηλεκτροκινητήρες κινητήριας ατράκτου κοπής

Όπως περιγράφηκε, η ταχύτητα κοπής παράγεται από κάποια περιστροφική κίνηση που στην περίπτωση της τόρνευσης την εκτελεί το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ενώ σχεδόν σε όλες τις άλλες κατεργασίες την εκτελεί το κοπτικό εργαλείο. Σε κάθε περίπτωση, η περιστροφική κίνηση δίδεται από την κινητήρια άτρακτο της εργαλειομηχανής. Η άτρακτος αυτή ενεργοποιείται άμεσα ή έμμεσα από κάποιου είδους ηλεκτρικό κινητήρα. Ένας τέτοιος ηλεκτρικός κινητήρας ατράκτου σε τομή παρουσιάζεται στο σχήμα Δ.5. Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι άτρακτοι, εκτός από τον κινητήρα τους και τον εργαλειοδέτη, περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών και μηχανικών υποσυστημάτων. Χαρακτηριστικές ηλεκτρονικές ομάδες είναι οι ρυθμιστές του ρεύματος τροφοδοσίας, τα συστήματα προστασίας του κινητήρα, οι μετασχηματιστές κ.λπ.. Τα μηχανικά συστήματα περιέχουν κιβώτια σταθερών ή διαρκώς μεταβαλλόμενων σχέσεων μετάδοσης και την πέδη της ατράκτου.



Σχήμα Δ.5 : Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής

Αντίστοιχα στο σχήμα Δ.6 παρουσιάζεται κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών.

Σχήμα Δ.6 : Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών

Οι κινητήρες ατράκτων πρέπει να μπορούν να λειτουργούν σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος στροφών, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν όλες τις εναλλαγές στις συνθήκες κατεργασίας. Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων αυτών είναι :

- Η δυνατότητα παραγωγής επίπεδων καμπυλών ροπής, για ένα μεγάλο εύρος στροφών.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 12.000 rpm για τόρνους, φρέζες και κέντρα κατεργασίας και 50.000 rpm για λειαντικές μηχανές.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak), τουλάχιστον διπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.
- Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη περιστροφική ταχύτητα να κυμαίνεται για τόρνους από 40 έως 60, για φρέζες από 30 έως 50 και για κέντρα κατεργασίας από 50 έως 70.
- Ονομαστική ισχύς έως 100 kWatt.

Ένα τυπικό παράδειγμα που εξηγεί αυτήν την απαίτηση για λειτουργία σε μεγάλο εύρος στροφών, περιγράφεται στο σχήμα Δ.7. Ας υποτεθεί ότι, για την επίτευξη της επιθυμητής διάστασης στο τεμάχιο του σχήματος, που είναι 84 mm, χρησιμοποιείται διαίρεση του βάθους κοπής 2 mm. Αυτό σημαίνει ότι για την κατεργασία στην επιθυμητή διάμετρο, απαιτούνται τέσσερα περάσματα του κοπτικού εργαλείου, μια και η διαφορά αρχικής και τελικής ακτίνας, δηλαδή το συνολικό βάθος κοπής, είναι 50 - 42 = 8 mm.

Εάν η βέλτιστη ταχύτητα κοπής, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι τα 100 m/min και η αρχική διάμετρος της ατράκτου είναι 100 mm, τότε ο τόρνος πρέπει να ρυθμιστεί στις 320 rpm (εφαρμόζεται η σχέση Δ.2). Εάν οι στροφές διατηρηθούν σταθερές, στο τελευταίο πέρασμα του κοπτικού εργαλείου η ταχύτητα κοπής θα έχει πέσει στα 84 m/min, κάτι που είναι απαράδεκτο για την παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής.

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC feed drives). Οι κινητήρες αυτοί είναι αντίστοιχοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση των κινητήριων ατράκτων των εργαλειομηχανών. Είναι φυσικό να χρησιμοποιούνται κινητήρες με σαφώς μικρότερη ονομαστική ισχύ, σε σχέση με τις ατράκτους. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές λύσεις και, γενικά, οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται αρκετά στις κινήσεις προώσεων σε όλους τους άξονες κατεργασίας.

- Τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες (Three phase synchronous motors). Σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα δε χρειάζονται εναλλάκτη ρεύματος, με αποτέλεσμα να μην έχουν ιδιαίτερα προβλήματα φθοράς, ενώ η απουσία συλλέκτη λύνει το πρόβλημα της καρβουνόσκονης. Επίσης, μπορούν να δώσουν τη μέγιστη ροπή τους ακόμα και κατά τη στιγμή της εκκίνησης, όταν δηλαδή ο ρότοράς τους δεν περιστρέφεται. Ακόμα για τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις αποδίδουν μεγαλύτερη ροπή, ενώ δεν έχουν προβλήματα υπερθέρμανσης. Για τους λόγους αυτούς, οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες είναι πολύ ελκυστικοί στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών.

- Βηματικοί κινητήρες (stepping motor drives). Οι βηματικοί κινητήρες ενεργοποιούνται με παλμούς, δηλαδή με ψηφιακό σήμα. Κάθε παλμός περιστρέφει την άτρακτο του κινητήρα ακριβώς κατά μία αυστηρά προκαθορισμένη γωνία. Έτσι δε χρειάζεται να μετατραπεί το ψηφιακό σήμα καθοδήγησης σε αναλογικό ρεύμα ενεργοποίησης, όπως συμβαίνει σε όλους τους άλλους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων. Επίσης, δε χρειάζονται σύστημα μέτρησης της θέσεως, αφού η ακρίβεια κίνησης είναι δεδομένη. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά θα έκαναν τους βηματικούς κινητήρες πολύ ελκυστικούς για ενεργοποίηση των ατράκτων προώσεων, εάν δεν είχαν κάποια μεγάλα μειονεκτήματα για τέτοιες εφαρμογές. Έτσι, οι συχνότητες βήματος είναι πολύ μικρές, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται μεγάλες προώσεις. Ακόμα, οι διαθέσιμες ροπές είναι πολύ χαμηλές, ενώ και η επιτάχυνση τους είναι πολύ αργή. Για τους λόγους αυτούς, οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στις εργαλειομηχανές.

- Υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης (hydraulic feed drives). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, ενώ αργότερα αντικαταστάθηκε σχεδόν πλήρως από τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Όμως, τα τελευταία χρόνια, η βελτίωση των υδραυλικών κυλίνδρων είναι τόσο θεαματική, ώστε τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται αρκετά από τους σχεδιαστές εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των υδροστατικών μεταδόσεων κίνησης είναι το μικρό τους βάρος, οι μικρές διαστάσεις τους, η μεγάλη ισχύς τους, η απευθείας γραμμική κίνηση και οι μικρές απαιτήσεις σε ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης τους.

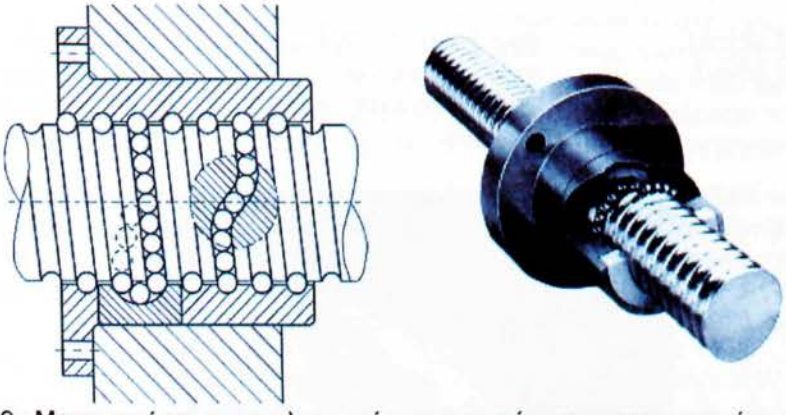
3. Άλλα υποσυστήματα εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης

3.1 Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης στους άξονες κατεργασίας και έλεγχος της πρόωσης

Οι μετακινήσεις κατά μήκος και γύρω από τους άξονες κατεργασίας εκτελούνται από τους αντίστοιχους κινητήρες προώσεων, που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Οι κινήσεις των κινητήρων αυτών ενεργοποιούνται από παλμούς, που ξεκινούν από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου και μετατρέπονται σε κινήσεις του τεμαχίου ή του κοπτικού εργαλείου. Ο τρόπος, όμως, που μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση των κινητήρων προώσεως σε γραμμικές μετατοπίσεις της τράπεζας της μηχανής, για παράδειγμα, δεν είναι απλή υπόθεση. Αντίθετα, πρέπει να καλύπτει ένα σύνολο απαιτήσεων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Για παράδειγμα, η ζητούμενη ακρίβεια μετακίνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την αξιοπιστία μιας εργαλειομηχανής. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατεργασίας μεγάλων και βαριών τεμαχίων, η

επιτάχυνση και επιβράδυνση της μάζας του φορείου και του τεμαχίου και η δύναμη της αδράνειας μπορεί να είναι πολύ μεγάλη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετατροπής περιστροφικής κίνησης σε γραμμική είναι ο μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιρών, που φαίνεται στο σχήμα Δ.9. Ο κινητήρας προώσεως είναι συνδεμένος με τον κοχλία κινήσεως, που φαίνεται στο σχήμα. Το σπείρωμα αυτού του κοχλία είναι σφαιρικό αντί για τριγωνικό, που χρησιμοποιείται στους κοινούς κοχλίες. Στη θέση επαφής του κοχλία κίνησης με την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο της μηχανής, υπάρχει ένα ειδικό περικόχλιο (παξιμάδι), που έχει το ίδιο σπείρωμα αλλά εσωτερικό (βλ. σχήμα Δ.10). Ανάμεσα στον κοχλία και το περικόχλιο υπάρχουν σφαίρες κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό, με το οποίο κατασκευάζονται οι σφαίρες των ρουλμάν, δηλαδή από βαμμένο χάλυβα. Οι σφαίρες συμπιέζουν η μια την άλλη, ώστε να μην υπάρχουν διάκενα (τζόγος), που επηρεάζουν την ακρίβεια της μετατόπισης. Καθώς περιστρέφεται ο κοχλίας κίνησης, οι σφαίρες κινούνται έξω από το περικόχλιο και μπαίνουν σε ένα ειδικό κανάλι που τις μεταφέρει στο άλλο άκρο του περικοχλίου. Έτσι, υπάρχει μία ανακύκλωση των σφαιρών, που αναγκάζει το περικόχλιο και, άρα, και την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο να μετακινηθούν. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες μεταφοράς πάνω από 20 m/min με ακρίβεια της τάξης των 5 μm, σε όλο το μήκος μετατόπισης της τράπεζας.



Σχήμα Δ.9 : Μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιρών που χρησιμοποιείται στην κίνηση των γραμμικών αξόνων κατεργασίας

Σχήμα Δ.10 : Τα μέρη και η συναρμολόγηση του μηχανισμού επανακυκλοφορούντων σφαιρών

Εκτός από τις γρήγορες μετατοπίσεις, κατά τις οποίες το κοπτικό εργαλείο δεν κόβει αλλά απλά μετατοπίζεται, υπάρχει και η αντίστοιχη κίνηση προώσεως, όταν εκτελείται κοπή. Στην περίπτωση αυτή, το χαρακτηριστικό μέγεθος που χρησιμοποιείται, για να περιγράψει τις συνθήκες κοπής (εκτός την ταχύτητα κοπής) είναι η πρόωση. Η πρόωση, παρ' όλο που έχει την ίδια φιλοσοφία σε τόρνευση και σε φρεζάρισμα, εκφράζεται με διαφορετικούς τρόπους και μονάδες μέτρησης.

Στην τόρνευση η πρόωση εκφράζει την ταχύτητα της κίνησης του κοπτικού εργαλείου σε χιλιοστά ανά λεπτό [mm/min] ή χιλιοστά ανά περιστροφή του τεμαχίου [mm/rev] και συμβολίζεται αντίστοιχα με f_u ή f_{rev}. Ουσιαστικά πρόκειται για την ταχύτητα μετακίνησης του κοπτικού εργαλείου. Η σχέση ανάμεσα στις δύο εκφράσεις της πρόωσης είναι :

$f_u = f_{rev} \cdot n$ όπου n οι στροφές του τόρνου [rpm] (σχέση Δ.5)

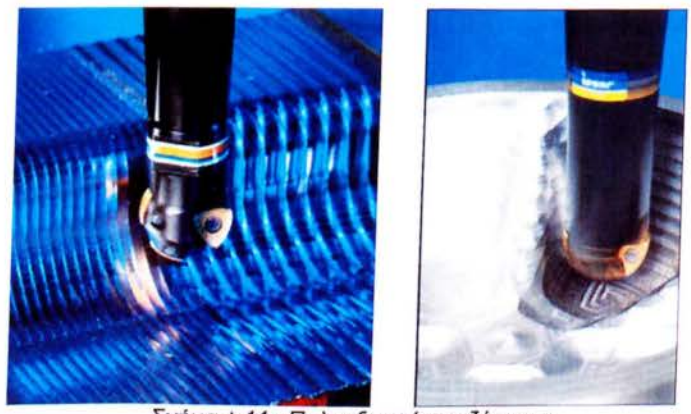
Στο φρεζάρισμα η πρόωση αντιστοιχεί στη μετατόπιση του τραπεζιού της εργαλειομηχανής και κατά συνέπεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου, σε ένα λεπτό. Η πρόωση, επειδή εκφράζεται ως η ταχύτητα κίνησης του τραπεζιού της εργαλειομηχανής, καλείται ταχύτητα πρόωσης. Η ταχύτητα της πρόωσης f_u, εξαρτάται από το κοπτικό εργαλείο, το κατεργαζόμενο υλικό, το βάθος κοπής και την επιδιωκόμενη ποιότητα επιφάνειας. Η πρόωση στο φρεζάρισμα δίνεται με δύο μορφές :

πρόωση ανά λεπτό f_u : είναι η μετατόπιση του τραπεζιού σε ένα λεπτό.
πρόωση ανά δόντι f_z : είναι η μετατόπιση του τραπεζιού στο διάστημα από την εισχώρηση ενός δοντιού της φρέζας μέχρι την εισχώρηση του επόμενου.

Η σχέση που συνδέει τις δύο αυτές προώσεις προκύπτει ως εξής : Έστω φρέζα με z κοπτικές ακμές (ή δόντια), η οποία περιστρέφεται με n στροφές το λεπτό και το τραπέζι της μετατοπίζεται με πρόωση ανά δόντι f_z. Τότε το τραπέζι της φρέζας προχωρά με f_u χιλιοστά το λεπτό. Επειδή σε ένα λεπτό η φρέζα κάνει n στροφές και κάθε στροφή αντιστοιχεί στην κοπή z δοντιών, προκύπτει μετατόπιση ανά δόντι f_z⊠z ⊠n. Άρα, ο τύπος που συνδέει τις δύο προώσεις είναι :

$f_u = f_z \cdot z \cdot n$ (σχέση Δ.6)

Τα πράγματα όμως διαφοροποιούνται συνήθως στην περίπτωση του πολυαξονικού φρεζαρίσματος, όπου υπάρχουν πολλές ταυτόχρονες μετακινήσεις του κοπτικού σε διάφορους άξονες κατεργασίας, όπως η κατεργασία που φαίνεται στο σχήμα Δ.11. Στις περιπτώσεις αυτές είναι δυνατόν να ορισθούν διαφορετικές τιμές πρόωσης, κυρίως, για τους περιστροφικούς άξονες κατεργασίας.

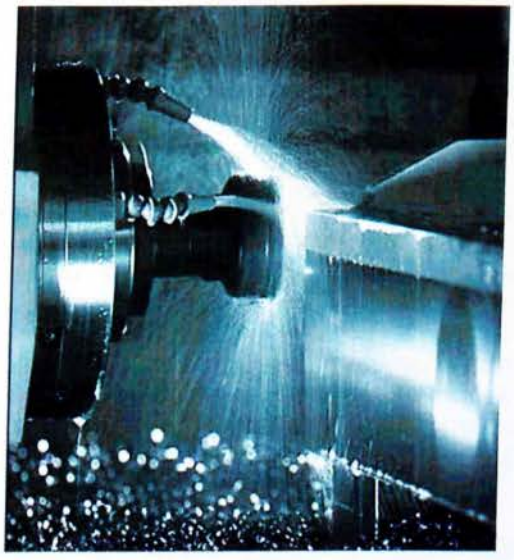


Σχήμα Δ.11 : Πολυαξονικό φρεζάρισμα

Σε κάθε περίπτωση πάντως, η πρόωση κατεργασίας είναι μία παράμετρος της κοπής, που προγραμματίζεται ταυτόχρονα με την περιγραφή της γεωμετρίας του τεμαχίου, που πρόκειται να κατεργαστεί. Η τιμή που θα δοθεί στο μέγεθος αυτό, μετατρέπεται αυτόματα από την κεντρική μονάδα ελέγχου της μηχανής σε εντολές στους κινητήρες προώσεων και, τελικά, σε μετακινήσεις του εργαλείου ή του τεμαχίου. Η επιλογή της πρόωσης, όπως και στις κατεργασίες σε συμβατικές εργαλειομηχανές, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το υλικό του εργαλείου, το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου και τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής. Η χρήση ειδικών πινάκων του κατασκευαστή των εργαλειομηχανών και των κοπτικών εργαλείων, καθώς επίσης και η εμπειρία του προγραμματιστή, εξασφαλίζουν τη σωστή επιλογή της βέλτιστης πρόωσης.

3.2 Συστήματα τροφοδοσίας υγρού κοπής, πεπιεσμένου αέρα και απομάκρυνσης των αποβλίττων

Όπως και στις κατεργασίες με συμβατικές μηχανές, έτσι και στην περίπτωση κοπής με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης απαιτείται η χρήση υγρού κοπής ή αέρα. Μάλιστα, επειδή οι κατεργασίες στις σύγχρονες μηχανές γίνονται με πολύ μεγάλες ταχύτητες κοπής, η χρήση υγρού κοπής για την προστασία του κοπτικού εργαλείου από πρόωρη φθορά είναι πολύ σημαντική. Ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας, χρησιμοποιείται έλαιο κοπής ή σαπουνέλαιο. Για το λόγο αυτό, σχεδόν όλες οι εργαλειομηχανές CNC είναι εξοπλισμένες με ακροφύσια, που πετούν με πίεση το ψυκτικό υγρό στη θέση κοπής, όπως φαίνεται στο σχήμα Δ.12. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν ιδιαίτερα ακροφύσια για το λάδι κοπής, για το σαπουνέλαιο και για τον αέρα. Τα δύο πρώτα τροφοδοτούνται από δύο ξεχωριστά δοχεία, που βρίσκονται εντός της μηχανής, στα οποία και ανακυκλώνεται το υγρό κοπής κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Το ακροφύσιο του αέρα συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα του μηχανουργείου.



Σχήμα Δ.12 : Φρεζάρισμα με υγρό κοπής

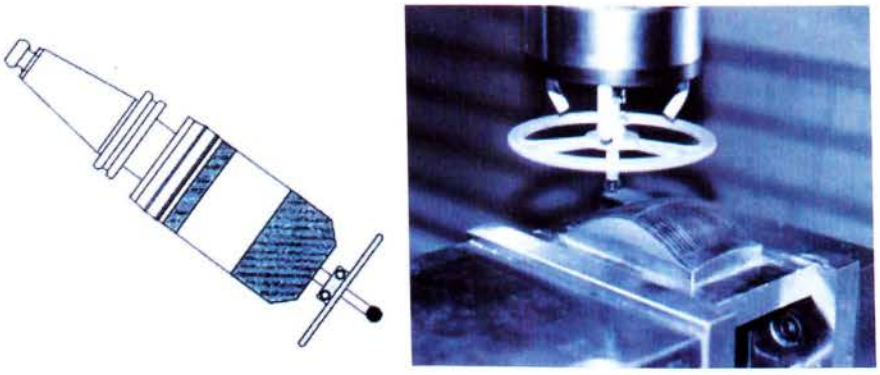
Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής υγρού κοπής και πεπιεσμένου αέρα γίνεται χειροκίνητα από τον τεχνίτη, ο οποίος χρησιμοποιεί τους μικρούς διακόπτες των ακροφυσίων. Αντίθετα, στις εργαλειομηχανές CNC, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής προγραμματίζεται από το χειριστή της εργαλειομηχανής και ενεργοποιείται αυτόματα μέσω αντλιών, που παίρνουν εντολές από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σημαντικά η άσκοπη ανακύκλωση των υγρών κοπής. Επίσης, για να υπάρχει μόνιμη

Όπως αναφέρθηκε, είναι αναγκαία η τυποποίηση, που πρέπει να έχουν, όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης. Ειδικά για τους εργαλειοδέτες η τυποποίηση έχει τα εξής οφέλη :

- μειώνει το πλήθος των εργαλειοδετών και το κόστος αγοράς τους.
- δίνει τη δυνατότητα χρήσης του ίδιου εργαλειοδέτη σε πολλές εργαλειομηχανές.
- διευκολύνει τη διαχείριση και αποθήκευσή τους στο μηχανουργείο.
- δίνει τη δυνατότητα συνεργασίας τους με συστήματα αυτόματης αλλαγής του κοπτικού εργαλείου, που διαθέτουν οι περισσότερες εργαλειομηχανές, που πωλούνται σήμερα.

3.4 Συστήματα αναγνώρισης γεωμετρίας τεμαχίων και αντιγραφής

Στην αυτοματοποιημένη παραγωγή, τα συστήματα μετρήσεων είναι απαραίτητα, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι γνωστό και να ελέγχεται το αποτέλεσμα των εντολών καθοδήγησης (μετατοπίσεις, περιστροφές κ.λπ.). Ιδιαίτερα η χρήση του μετρητικού βραχίονα (βλ. σχήμα Δ.16) είναι σημαντική για τις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, αφενός για το μηδενισμό των κατεργαζομένων τεμαχίων και αφετέρου για μετρήσεις ακριβείας και επίτευξη συγκεκριμένου πεδίου ανοχών σε μηχανουργικές κατεργασίες. Πρόκειται για μετρητικό όργανο υψηλής ακρίβειας, το οποίο εισάγεται αυτόματα από την αποθήκη εργαλείων της εργαλειομηχανής. Αποτελείται από το κυρίως σώμα, στο οποίο προσαρμόζεται ο αντίστοιχος κώνος τοποθέτησης στην εργαλειομηχανή, από το στέλεχος με την ακίδα μέτρησης, την προστατευτική στεφάνη και τους αεραγωγούς εξαγωγής αέρα για τον καθαρισμό της μετρούμενης επιφάνειας. Οι σύγχρονοι μετρητικοί βραχίονες έχουν τη δυνατότητα μέσω κατάλληλου αισθητηρίου που διαθέτουν, να επικοινωνούν ασύρματα με την καθοδήγηση της εργαλειομηχανής.



Σχήμα Δ.16 : Χρήση μετρητικού βραχίονα

Οι μετρητικοί βραχίονες χρησιμοποιούνται και για αντιγραφή πολύπλοκων επιφανειών, γεγονός που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην κατεργασία καλουπιών. Σήμερα χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο εξειδικευμένα συστήματα αντιγραφής, που αποτελούνται από ανιχνευτές συνεχούς επαφής και που υποστηρίζονται από κατάλληλο για το σκοπό αυτό λογισμικό. Το λογισμικό και οι ανιχνευτές αυτοί, που σαρώνουν την επιφάνεια διατηρώντας συνεχή επαφή, έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Σε αντίθεση με τους ανιχνευτές συνεχούς επαφής, οι απλοί μετρητικοί βραχίονες έχουν υποπολλαπλάσιο κόστος αλλά βασικό μειονέκτημα ότι πραγματοποιούν λήψεις συντεταγμένων σημείων και μάλιστα ενός σημείου ανά προσέγγισή τους με τη μετρούμενη επιφάνεια. Ο μετρητικός βραχίονας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για αντιγραφή σύνθετων επιφανειών, με την προϋπόθεση ότι η λήψη των σημείων από το πρωτότυπο θα γίνεται με τρόπο που θα εξασφαλίζει την ακρίβεια αντιγραφής της μορφής της επιφάνειας.

Ο μετρητικός βραχίονας, προκειμένου να λειτουργεί σε συνθήκες υψηλής ακρίβειας, ρυθμίζεται (καλιμπράρεται) με τη βοήθεια ειδικού για το σκοπό αυτό δακτυλίου (βλ. σχήμα Δ.17). Η ρύθμιση αυτή γίνεται συνήθως μέσω προγραμμάτων ψηφιακής καθοδήγησης, όπου ο μετρητικός βραχίονας προσεγγίζει το δακτύλιο καλιμπραρίσματος και ρυθμίζονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του στη μνήμη της ψηφιακής καθοδήγησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά που απαιτούνται για ρύθμιση, είναι το συνολικό μήκος του βραχίονα με τον κώνο καθώς και η ακτίνα της σφαιρικής απόληξης του στελέχους.

Σχήμα Δ.17 : Δακτύλιος ρύθμισης μετρητικού βραχίονα

4. Μετρητές θέσης αξόνων κατεργασίας

4.1 Τι σημαίνει μέτρηση σε μηχανές αριθμητικού ελέγχου

Στην αυτοματοποιημένη παραγωγή τα συστήματα μετρήσεων είναι απαραίτητα, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι γνωστό το αποτέλεσμα των εντολών καθοδήγησης (μετατοπίσεις, περιστροφές κ.λπ..). Μάλιστα, οι απαιτήσεις σε ακρίβεια κατεργασίας, οδηγούν στη ζήτηση τέτοιων μετρητών με ολοένα μεγαλύτερη ακρίβεια, διακριτική ικανότητα, αξιοπιστία και εύρος λειτουργίας. Κάθε άξονας κατεργασίας απαιτεί το δικό του σύστημα μέτρησης της θέσης του. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν τέτοιου είδους συστήματα μέτρησης, που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές. Σε επόμενο μάλιστα κεφάλαιο θα φανεί ότι, χωρίς τους μετρητές, δεν είναι δυνατός ο απόλυτος έλεγχος των κατεργασιών και η επίτευξη των απαιτήσεων σε ακρίβεια κατεργασίας.

Πριν όμως αναλυθεί η λειτουργία αυτών των διατάξεων, πρέπει να προσδιορισθούν ορισμένες λέξεις κλειδιά, που χρησιμοποιούνται στην περιοχή αυτή. Η μέτρηση ενός μήκους ή μίας γωνίας σημαίνει τη σύγκρισή τους με ένα πρότυπο μήκος ή μία πρότυπη γωνία, αντίστοιχα. Το πρότυπο μήκος είναι το μέτρο (m), το οποίο ισούται με την απόσταση, που διανύει το φως μέσα στο κενό σε χρονικό διάστημα $3x10^{-9}$ sec. Στη μηχανουργική τεχνολογία οι μονάδες μήκους που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι το χιλιοστό (1 mm = 10^{-3} m) και το μικρόμετρο ή μικρό (1 μm = 10^{-6} m).

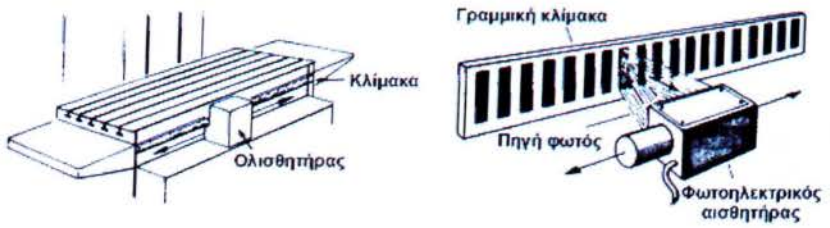
Αντίστοιχα, η πρότυπη γωνία είναι το ακτίνιο (rad) και αντιστοιχεί σε τόξο κύκλου ίσο με την ακτίνα του ίδιου κύκλου. Πιο διαδεδομένη μονάδα μέτρησης γωνιών είναι η μοίρα (°), η οποία αντιστοιχεί στο 1/360 τμήμα της πλήρους γωνίας. Στην καθοδήγηση των εργαλειομηχανών για λόγους ευκολίας χρησιμοποιούνται δεκαδικές υποδιαιρέσεις της μοίρας αντί των πρώτων (') και δεύτερων λεπτών ("). Τέλος, ο όρος ψηφιακή μέτρηση (digital measurement) σημαίνει ότι το μετρούμενο μέγεθος αντιστοιχίζεται σε μια ακολουθία ψηφιακών σημάτων, που καταλαβαίνει η μονάδα κεντρικού ελέγχου MCU της εργαλειομηχανής.

Οι μετρητές των εργαλειομηχανών ανήκουν στη γενικότερη οικογένεια των αισθητήρων και στην περίπτωση αυτή ονομάζονται κωδικοποιητές θέσης (encoders). Στην πλειοψηφία τους,

χρησιμοποιούν αρχές της οπτικής, του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού, περιέχουν και μηχανικά τμήματα, ενώ όλες οι πληροφορίες διακινούνται με χρήση ψηφιακών σημάτων. Μετρούν, ανάλογα με τον άξονα κατεργασίας, μήκη ή γωνίες και προσδιορίζουν την τρέχουσα θέση των ολισθητήρων ή των περιστρεφόμενων στοιχείων των εργαλειομηχανών. Στους κωδικοποιητές των εργαλειομηχανών η ελάχιστη ακρίβεια μέτρησης, σε περίπτωση μηκών, είναι 1 μm, ενώ, στην περίπτωση των γωνιών, είναι 0.001°. Το εύρος μέτρησης στην περίπτωση γραμμικών αξόνων κατεργασίας είναι μεγαλύτερο από 100 mm.

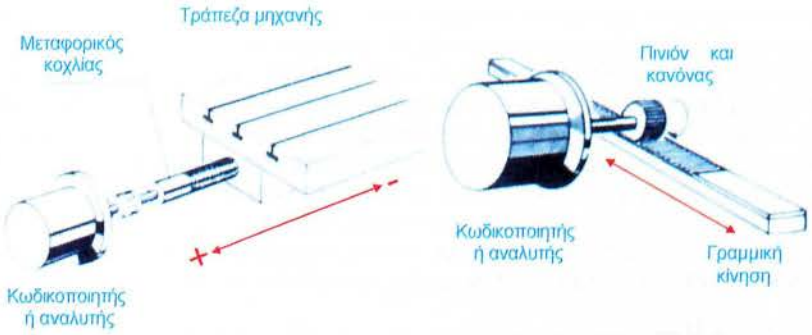
4.2 Άμεσα και έμμεσα συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής

Τα άμεσα συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής βασίζονται σε επαγωγικές ή φωτοηλεκτρικές διατάξεις που θα περιγραφούν σε επόμενες παραγράφους. Ονομάζονται έτσι, διότι κατά τη λειτουργία τους παράγουν ψηφιακά σήματα, τα οποία μεταδίδονται άμεσα στην κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Στο σχήμα Δ.18 παρουσιάζονται δύο τυπικές περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος φαίνεται σύστημα μέτρησης θέσης στην τράπεζα της εργαλειομηχανής με ολισθητήρα και κλίμακα. Στη δεξιά πλευρά του ίδιου σχήματος παρουσιάζεται η αντίστοιχη αρχή μέτρησης με φωτοηλεκτρικό αισθητήρα. Τα συστήματα άμεσης μέτρησης έχουν το πλεονέκτημα της απευθείας μετατροπής μίας κίνησης σε ψηφιακό σήμα, που αντιστοιχεί στο μήκος της μετατόπισης.



Σχήμα Δ.18 : Άμεσα συστήματα μέτρησης θέσης που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης

Σε αντίθεση με αυτά, τα έμμεσα συστήματα μέτρησης που βασίζονται σε μηχανικές διατάξεις με κανόνες και πινιόν ή σπειρώματα, χρειάζονται αποκωδικοποιητές, για να παράγουν το απαιτούμενο ψηφιακό σήμα. Στην περίπτωση αυτή η βασική μεταφορική κίνηση της τράπεζας μετατρέπεται σε περιστροφική και τελικά σε ψηφιακό σήμα μέτρησης. Στο σχήμα Δ.19 παρουσιάζονται δύο τυπικές περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος φαίνεται σύστημα μέτρησης με κοχλία και κωδικοποιητή, ενώ στη δεξιά πλευρά παρουσιάζεται η αρχή της μέτρησης με ζεύγος κανόνα - πινιόν και κωδικοποιητή. Στην περίπτωση των εμμέσων συστημάτων μέτρησης, στα τυπικά σφάλματα της μετάδοσης ψηφιακών σημάτων προστίθενται και τα σφάλματα που μπορεί να εισάγει η μετατροπή της κίνησης από γραμμική σε περιστροφική.



Σχήμα Δ.19 : Έμμεσα συστήματα μέτρησης θέσης

4.3 Απόλυτα και βηματικά συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής
Η μετατόπιση ή η περιστροφή σε έναν άξονα κατεργασίας μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους :

- Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται απόλυτος και μετράει τη διαφορά δύο μετρήσεων, δηλαδή της αρχής και του τέλους της κίνησης, όταν αυτοί έχουν μετρηθεί σε σχέση με το μηδενικό σημείο της μηχανής. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή των απόλυτων συντεταγμένων, που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το απόλυτο σύστημα μετρήσεων μετράει την απόλυτη θέση κάθε άξονα χωριστά, αμέσως, μόλις η εργαλειομηχανή τεθεί σε λειτουργία. Στην περίπτωση αυτή η άτρακτος της μηχανής δε χρειάζεται να μετακινηθεί στο μηδενικό σημείο. Για το λόγο αυτό, τα απόλυτα συστήματα μέτρησης είναι πολύ ελκυστικά. Έτσι, στην περίπτωση διακοπής της κατεργασίας, για παράδειγμα, λόγω διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, η μηχανή δε χρειάζεται να μηδενιστεί ξανά. Όμως, τα απόλυτα συστήματα μέτρησης έχουν μεγάλο όγκο, η λειτουργία τους είναι πολύπλοκη και έχουν αυξημένο κόστος.

- Ο δεύτερος τρόπος ονομάζεται βηματικός και μετράει τη μετατόπιση ή την περιστροφή του κάθε άξονα κατεργασίας πάντα σε σχέση με την αρχή της κίνησης. Η μέθοδος αυτή αντίστοιχα βασίζεται στην αρχή των βηματικών συντεταγμένων. Στην περίπτωση αυτή, οι κλίμακες μέτρησης είναι χωρισμένες σε πολλά διαστήματα, που η μετατόπιση από θέση σε θέση τα προσθέτει και τα αφαιρεί ώστε να προκύψει η τελική μετατόπιση. Έτσι, το μηδενικό σημείο κάθε άξονα ορίζεται πάνω στην κλίμακα με ένα ειδικό σημάδι, ώστε να το προσδιορίζει ο μετρητής. Σε περίπτωση διακοπής της κατεργασίας, η τρέχουσα θέση του άξονα χάνεται από τη μνήμη της μηχανής και απαιτείται επιστροφή στο μηδενικό της σημείο. Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τρόπο μέτρησης, αφού έχει το μικρότερο κόστος.

Στην κατασκευαστική βιομηχανία των εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται και άλλα συστήματα που συνδυάζουν χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω μεθόδων και ονομάζονται υβριδικά ή ψευδό-απόλυτα συστήματα.

4.4 Επαγωγικά στοιχεία μετρήσεων διαδρομής
Σε αυτήν την κατηγορία μετρητών ανήκουν οι αναλυτές (resolvers), οι συγχρομηχανισμοί (synchromechaninsms) ή επαγωγικές κλίμακες (indactosyn scales). Οι διατάξεις αυτές παράγουν κατά τη λειτουργία τους μία τάση αναφοράς και μία τάση θέσεως. Η κεντρική μονάδα ελέγχου MCU της εργαλειομηχανής χρησιμοποιεί αυτές τις τάσεις, ώστε να προσδιορίσει με ακρίβεια τις μετατοπίσεις του κοπτικού εργαλείου ή του τεμαχίου. Αυτή η λειτουργία εκτελείται συνεχώς και ταυτόχρονα για όλους τους άξονες κατεργασίας. Οι αναλυτές κατασκευάζονται, για να προσφέρουν μετρήσεις ακριβείας γωνιακών θέσεων, και έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους ηλεκτρικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με δακτυλίους. Φυσικά, είναι μικρότεροι και πιο ακριβείς.

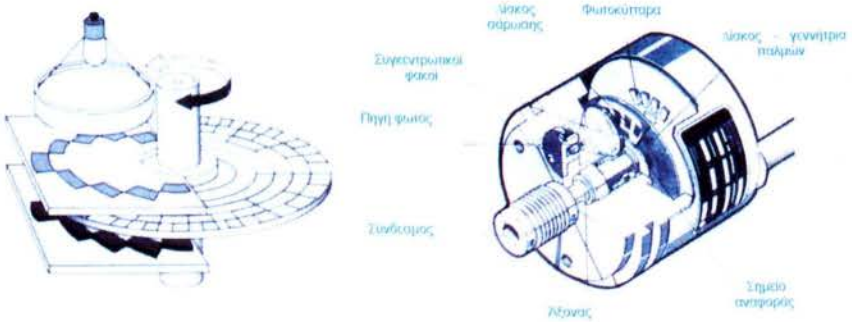
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Αποτελούνται από ένα εξωτερικό κέλυφος και ένα ρότορα, που εδράζεται σε έδρανα μεγάλης ακρίβειας και υψηλής ποιότητας κατασκευής. Ο στάτορας έχει δύο περιελίξεις, που αποδίδουν δύο τάσεις εξόδου, ενώ η περιέλιξη του ρότορα είναι μονή και διέρχεται από την τάση εισόδου. Όταν η εξωτερική τάση διεγείρει το ρότορα, αυτός περιστρέφεται και παράγει δύο τάσεις στα άκρα των δύο περιελίξεων του στάτορα. Η διαφορά της μιας τάσης σε σχέση με την άλλη εξαρτάται από τη θέση του ρότορα σε σχέση με αυτή του στάτορα. Η διαφορά φάσης τελικά είναι αυτή που, αφού μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα, περιγράφει τη θέση του άξονα κατεργασίας. Επειδή το σύστημα δεν έχει ψήκτρες, δεν υπάρχουν προβλήματα επαφής και δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου. Για το λόγο αυτό οι αναλυτές δεν απαιτούν κανενός είδους συντήρηση. Εκτός από διπολικούς αναλυτές υπάρχουν και αντίστοιχοι δεκαπολικοί, οι οποίοι προσφέρουν μεγαλύτερη ευαισθησία μέτρησης.

Αντίστοιχα, οι περιστροφικές επαγωγικές κλίμακες μπορεί να θεωρηθούν ως αναλυτές με πολύ μεγάλο αριθμό πόλων. Για παράδειγμα, μια περιστροφική κλίμακα με 2000 πόλους περιέχει 1000 ζεύγη πόλων και μία περιστροφή του μαγνητικού πεδίου κατά 360° αντιστοιχεί μόλις σε 0.36° περιστροφής του ρότορα του μετρητή. Οι γραμμικές επαγωγικές κλίμακες είναι αντίστοιχες των περιστροφικών, με τη διαφορά ότι τα πηνία είναι σε γραμμική διάταξη. Το εύρος και η διαφορά φάσης των τάσεων στις περιελίξεις δημιουργούνται επίσης μέσω του φαινομένου της επαγωγής, λόγω της μετατόπισης του ολισθητήρα, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των περιστροφικών επαγωγικών κλιμάκων.

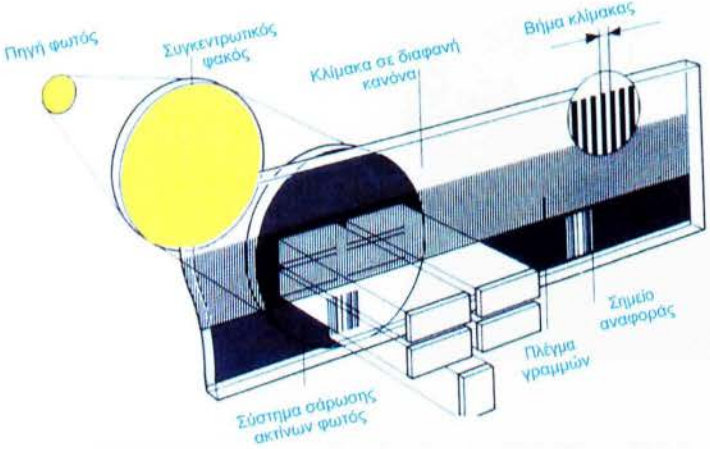
4.5 Φωτοηλεκτρικά συστήματα

Στα φωτοηλεκτρικά συστήματα μέτρησης θέσης ανήκουν οι κωδικοποιητές θέσης (encoders) και οι μετρητικές κλίμακες (measuring scales). Οι κωδικοποιητές θέσης είναι περιστροφικές διατάξεις μετατροπής, οι οποίοι δημιουργούν ένα προκαθορισμένο αριθμό ηλεκτρονικών παλμών σε κάθε μία περιστροφή τους. Οι παλμοί παράγονται από τη διέλευση του φωτός μίας πηγής από ένα διάφανο δίσκο, που όμως διακόπτεται από μαύρες γραμμές με κυκλική διάταξη και σε ίσες αποστάσεις. Οι κωδικοποιητές είναι διαθέσιμοι σε διάφορα μεγέθη εξωτερικών διαμέτρων (από 30 έως 150 mm) και ευαισθησίας (από 50 έως 100,000 παλμοί ανά περιστροφή). Στις εργαλειομηχανές τα τυπικά μεγέθη είναι 75 mm και 5,000 παλμοί, αντίστοιχα. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε αρχές της οπτικής και φαίνεται στο σχήμα Δ-20. Πολλές φορές, ο αριθμός των παλμών ανά περιστροφή αυξάνεται τεχνητά με ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, αυξάνοντας έτσι την ευαισθησία του κωδικοποιητή με χαμηλό κόστος. Οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στις εργαλειομηχανές, διότι είναι πολύ αξιόπιστοι, έχουν υψηλή ανάλυση, σχετικά χαμηλό κόστος και ευκολία τοποθέτησης. Ακόμα, δεν έχουν προβλήματα λόγω απότομων επιταχύνσεων ή επιβραδύνσεων και μπορούν να λειτουργήσουν σωστά από χαμηλές έως πολύ υψηλές περιστροφικές ταχύτητες.



Σχήμα Δ.20: Αρχή λειτουργίας των κωδικοποιητών θέσης

Επίσης διαδεδομένες είναι και οι μετρητικές κλίμακες, οι οποίες στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους κωδικοποιητές, όπως φαίνεται στο σχήμα Δ.21. Σε αυτήν την περίπτωση δηλαδή, οι ηλεκτρονικοί παλμοί παράγονται από τη διέλευση ή μη φωτός από ένα διαφανή κανόνα, που περιέχει και αυτός μαύρες γραμμές, σε ευθύγραμμη όμως διάταξη. Οι μετρητικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές, είναι εντελώς κλειστές από ένα στεγανό περίβλημα, ώστε να αποφεύγονται βλάβες ή δυσλειτουργίες σε αυτά τα ευαίσθητα συστήματα, λόγω σκόνης, υγρού κοπής κ.λπ..



Σχήμα Δ.21 : Αρχή λειτουργίας των κλιμάκων μέτρησης

Οι δύο παραπάνω περιπτώσεις συσκευών που βασίζονται σε οπτικά φαινόμενα, χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή βηματικών συστημάτων μέτρησης θέσης εργαλειομηχανών. Όμως, ιδίως οι κωδικοποιητές θέσεως, χρησιμοποιούνται σπανιότερα και στην κατασκευή απολύτων συστημάτων μέτρησης θέσεως.

Ανακεφαλαίωση

Οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης λόγω της διαφοράς τους στη φιλοσοφία λειτουργίας, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με ειδικές προδιαγραφές και αυστηρούς κανόνες. Αυτό ισχύει τόσο για το μηχανικό, όσο και το ηλεκτρονικό τους μέρος. Ειδικά τα υποσυστήματα που ενεργοποιούν την κεντρική άτρακτο και τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου, πρέπει να είναι σε αρμονία με τις σημερινές απαιτήσεις σε ακρίβεια κατεργασίας. Οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών μπορούν σήμερα να επιλέξουν από μία μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών κινητήρων, που τους προσφέρουν μεγάλη σχεδιαστική άνεση και ευελιξία.

Επειδή λοιπόν οι εργαλειομηχανές εκτελούν και άλλες λειτουργίες, που συμμετέχουν και υποστηρίζουν τις κατεργασίες κοπής, μεγάλη εξέλιξη έχουν δει και τα λιγότερο βασικά εξαρτήματα των μηχανών αυτών. Τέτοιες διατάξεις είναι τα συστήματα, που οδηγούν τις τράπεζες και τα εργαλειοφορεία, τα συστήματα παροχής υγρού κοπής και απομάκρυνσης των αποβλίττων, οι συγκρατητές των κοπτικών εργαλείων κ.λπ.. Όλα αυτά τα συστήματα σχεδιάζονται σήμερα, ώστε να εξυπηρετούν και να επιταχύνουν τις παραγωγικές δυνατότητες των εργαλειομηχανών. Με τον τρόπο αυτό εκπληρώνονται ακόμα περισσότερο οι απαιτήσεις σε διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής των παραγόμενων προϊόντων.

Όμως, αυτή η ζητούμενη ακρίβεια στις κινήσεις του εργαλείου πρέπει να ελέγχεται και να εξασφαλίζεται ανά πάσα στιγμή και μάλιστα αυτόματα. Δηλαδή, η κεντρική μονάδα ελέγχου της

εργαλειομηχανής πρέπει να γνωρίζει την πραγματική θέση των αξόνων κατεργασίας και να τη συγκρίνει με την προγραμματισμένη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή συνεχών μετρήσεων κατά τη διάρκεια των κατεργασιών, με ειδικές διατάξεις, που ονομάζονται μετρητές θέσης. Ανάλογα με την μετατόπιση ή την περιστροφή που μετρούν και καταγράφουν, οι μετρητές θέσης έχουν πολλές παραλλαγές, που βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας.

Ε. Ακρίβεια των CNC εργαλειομηχανών

Στο τέλος της μελέτης του πέμπτου κεφαλαίου ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

- Ποιες είναι οι επιπλέον απαιτήσεις ακρίβειας των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές.
- Πως γίνεται ο έλεγχος παραλαβής των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης.
- Πότε και με ποιο τρόπο γίνεται ο έλεγχος της ακρίβειας των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης.
- Τι είναι τα συμβολόμετρα LASER, τι εφαρμογές έχουν στη μέτρηση της ακρίβειας μιας εργαλειομηχανής ψηφιακής καθοδήγησης ή συμβατικής.

1. Απαιτήσεις σε ακρίβεια εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους της ραγδαίας εξάπλωσης των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης είναι η, κατά πολύ, μεγαλύτερη ακρίβεια κατεργασίας που προσφέρουν, σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Η ακρίβεια αυτή, μάλιστα, είναι ανεξάρτητη από την εμπειρία και την προσοχή του χειριστή της εργαλειομηχανής και, το σημαντικότερο, δε μεταβάλλεται από τεμάχιο σε τεμάχιο. Η ακρίβεια λοιπόν των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης αναπαράγεται χωρίς περιορισμό, είτε πρόκειται για μερικές δεκάδες, είτε για αρκετές χιλιάδες όμοιων προϊόντων. Η ποιότητα παραγωγής των σύγχρονων εργαλειομηχανών βασίζεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, στο συνεχή έλεγχο και την προσαρμογή των κινήσεων των αξόνων κατεργασίας με τη βοήθεια των μετρητών θέσης.

Ενδεικτικά μεγέθη ακρίβειας των σύγχρονων εργαλειομηχανών NC, CNC και DNC ανά άξονα κατεργασίας, είναι 0.008 έως 0.015 mm ανά πλήρη διαδρομή του άξονα. Αυτό σημαίνει ότι, εάν ένας άξονας κατεργασίας καθοδηγηθεί με μετατόπιση από το ένα έως το άλλο όριο μετατόπισης του, η διαφορά της προγραμματισμένης από την πραγματική θέση δεν πρέπει να βρίσκεται έξω από το παραπάνω διάστημα. Επίσης, όταν ένας άξονας κατεργασίας προγραμματιστεί να εκτελέσει κάποια κίνηση για δεύτερη φορά, η διαφορά των κινήσεων δεν θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του διαστήματος από 0.001 mm έως 0.002 mm (1-2 μm). Η παραπάνω δυνατότητα εκφράζει την επαναληψιμότητα της μετακίνησης, που θα περιγραφεί περισσότερο στο επόμενο κεφάλαιο.

Η ανάπτυξη των κατεργασιών αφαίρεσης μετάλλου με μη συμβατικό τρόπο, όπως για παράδειγμα με χρήση LASER, οδήγησε στην επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης ακρίβειας κατεργασιών (βλέπε σχήμα Ε.1). Επίσης, μεγάλη ανάπτυξη έχει γνωρίσει τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των μικροκατεργασιών (λεπτομηχανική). Πρόκειται για διαδικασίες που διεξάγονται σε πολύ μικρή κλίμακα (ακόμα και σε ατομική ή μοριακή), με χρήση ειδικών μηχανών αντιστοίχου μεγέθους. Οι κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τεμαχίων πολύ μικρών διαστάσεων με εξαιρετικά περιορισμένες ανοχές. Στο σχήμα Ε.2 φαίνεται μία εργαλειομηχανή μικροκατεργασιών που λειτουργεί σε χώρο ελεγχόμενης καθαρότητας και χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή μικροεπεξεργαστών. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται μία τυπική εφαρμογή μικροκατεργασίας σε πυρίτιο. Πρόκειται για τη διάνοιξη εσοχής διαστάσεων 100x230 μm για τη χάραξη μήτρας μικροεπεξεργαστή. Η διάρκεια αυτής της κατεργασίας του παραδείγματος είναι περίπου 15min. Άλλη τυπική περίπτωση αποτελεί η κατεργασία των φακών, που χρησιμοποιούνται σε επίγεια ή διαστημικά τηλεσκόπια και γενικά σε τεμάχια που προορίζονται για ιατρικούς, βιολογικούς και διαστημικούς σκοπούς.

Σχήμα Ε.1 : Κατεργασίες ακρίβειας με χρήση ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών με δέσμη LASER και τυπικά προϊόντα (κάτοπτρα)

Σχήμα Ε.2 : Μικροκατεργασία με ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανή σε μικρή κλίμακα

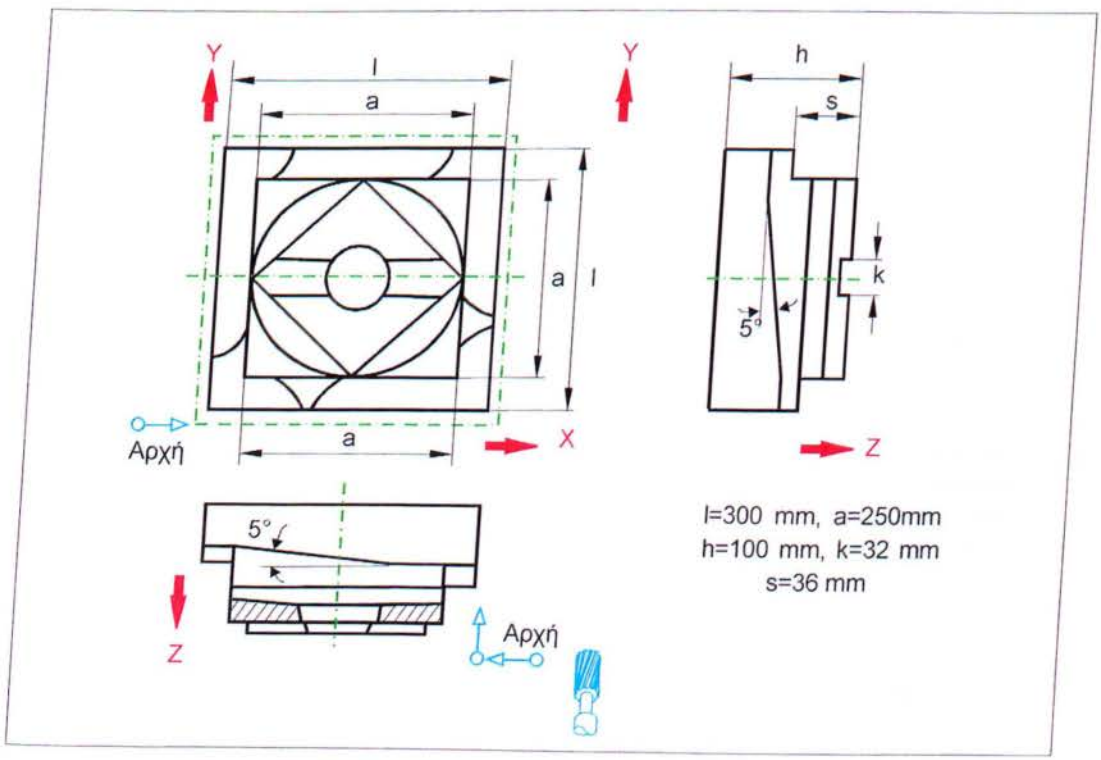
Στις παραπάνω περιπτώσεις, δεν αρκεί μόνο η ποιότητα της εργαλειομηχανής, για να επιτευχθούν τα όρια των ανοχών, αλλά και η λειτουργία της σε ειδικούς χώρους. Οι χώροι αυτοί ονομάζονται χώροι ελεγχόμενης καθαρότητας (clean rooms) και μέσα σε αυτούς η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία και η καθαρότητα του αέρα ελέγχονται συνεχώς και διατηρούνται στις επιθυμητές τιμές. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις, οι χώροι αυτοί είναι απομονωμένοι από δονήσεις του περιβάλλοντος και είναι θεμελιωμένοι σε ειδικές αντικραδασμικές βάσεις.

2. Έλεγχος παραλαβής εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης

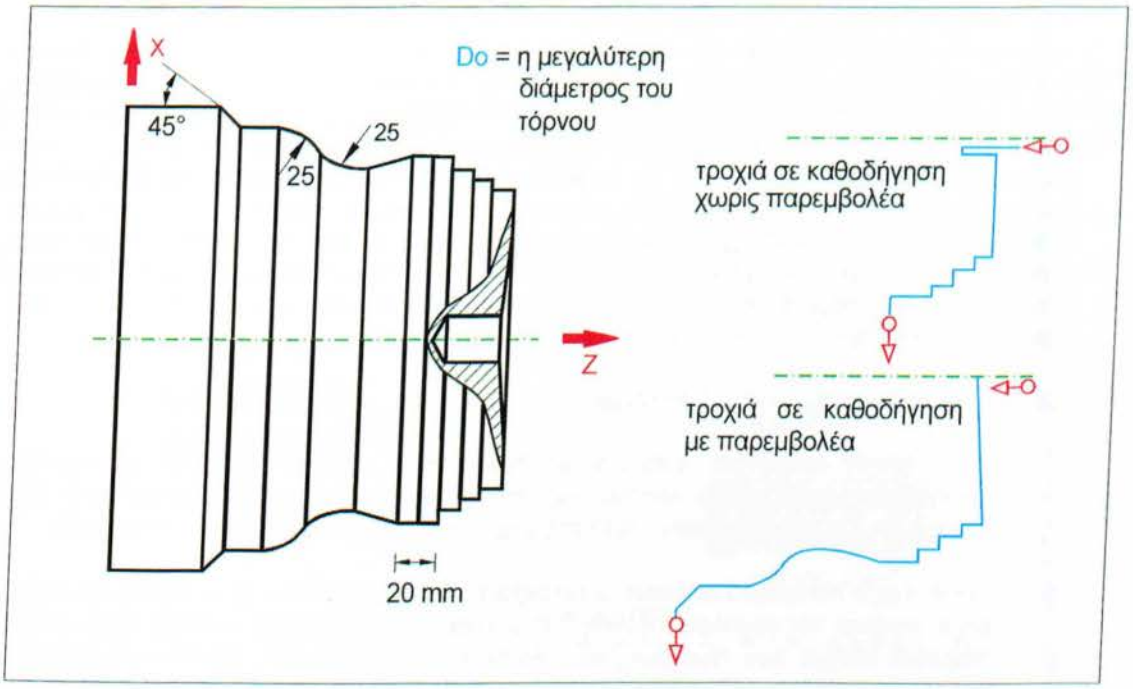
Οι προδιαγραφές και απαιτήσεις ακρίβειας των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης επιβάλλουν τη διεξαγωγή ελέγχου παραλαβής, αμέσως μετά την εγκατάστασή τους στο μηχανουργείο. Οι μηχανές αυτές ελέγχονται και ρυθμίζονται κατά τη διάρκεια του ποιοτικού ελέγχου από τον κατασκευαστή και δεν πωλούνται, εάν δεν περάσουν από συγκεκριμένες δοκιμασίες. Παρ' όλα αυτά, οι μηχανές συχνά διατίθενται σε επιχειρήσεις μακριά από το εργοστάσιο παραγωγής τους. Έτσι, μεταφέρονται με αεροπλάνα, πλοία, τρένα και φορτηγά, σε αποστάσεις πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, η κοντινότερη στην Ελλάδα χώρα κατασκευής είναι η Ιταλία, ενώ εισάγονται μηχανές από τη Γερμανία, την Αμερική, την Κορέα και την Ιαπωνία. Παρά το γεγονός της προσεγμένης τους συσκευασίας σε ειδικά ξύλινα κιβώτια μεταφοράς με ελαστικές βάσεις και ελατήρια, είναι προφανές ότι, κατά τη μεταφορά, υπάρχει πιθανότητα οι τρανταγμοί να προκαλέσουν βλάβες σε κάποια υποσυστήματα της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατές απορρυθμίσεις ή ακόμα και βλάβες που επηρεάζουν, λίγο ή πολύ, την ακρίβεια κατεργασίας των μηχανών.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε από την αρχή της διάθεσης των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με τον καθορισμό δοκιμών παραλαβής. Μάλιστα, για να μην υπάρχουν διαφωνίες μεταξύ του κατασκευαστή και του πελάτη, τυποποιήθηκαν συγκεκριμένες δοκιμασίες ελέγχου, ανάλογα με την εργαλειομηχανή. Οι έλεγχοι αυτοί βασίζονται κυρίως στην παραγωγή ενός συγκεκριμένου τεμαχίου ανά τύπο εργαλειομηχανής. Μετά την κατεργασία αυτού του τυποποιημένου τεμαχίου, ο μετροτεχνικός έλεγχος πρέπει να δώσει τις προβλεπόμενες ανοχές, ώστε ο πελάτης να παραλάβει τη μηχανή. Σε αντίθετη περίπτωση, ο κατασκευαστής ή ο αντιπρόσωπός του ανά χώρα ή ανά πόλη είναι υποχρεωμένος να επισκευάσει ή να αντικαταστήσει τη μηχανή. Όταν γίνει αυτή η διαδικασία, η επισκευασμένη ή η νέα μηχανή περνάει από τον ίδιο έλεγχο, αφού ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος για την αβλαβή μεταφορά της εργαλειομηχανής στο χώρο εγκατάστασης του πελάτη.

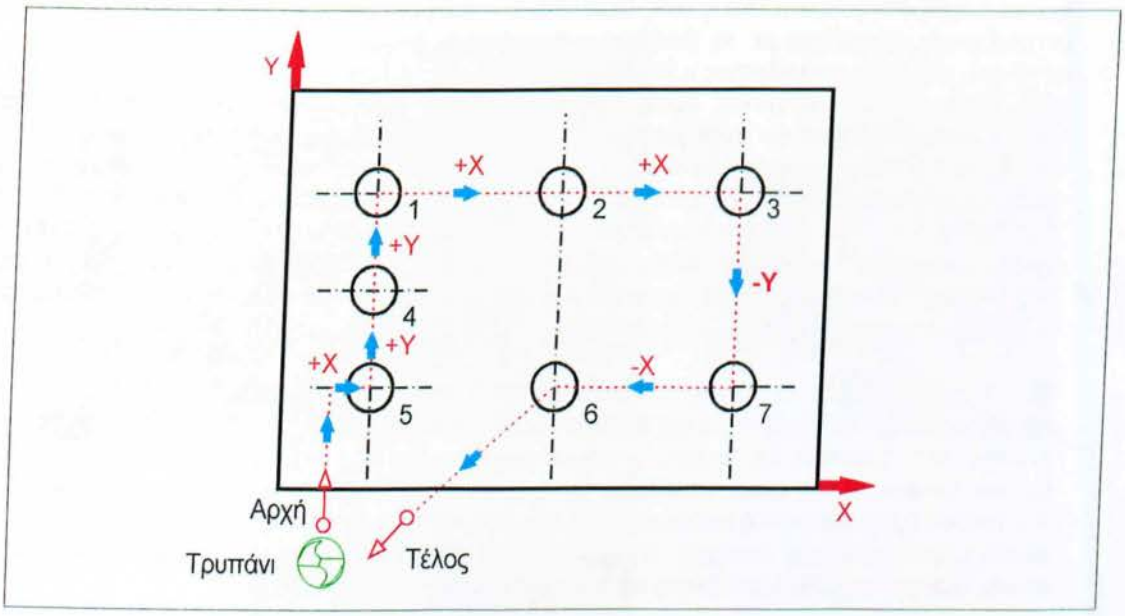
Τα τυποποιημένα τεμάχια έχουν προδιαγραφεί από διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης, όπως είναι οι ISO, DIN και NAS. Στο σχήμα Ε.3 παρουσιάζεται το τυποποιημένο τεμάχιο για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων φρεζών τριών αξόνων. Το τεμάχιο αυτό προδιαγράφεται να κατασκευαστεί από χάλυβα συγκεκριμένης σκληρότητας. Για φρέζες τεσσάρων και πέντε αξόνων έχει τυποποιηθεί αντίστοιχα άλλο τεμάχιο. Στο σχήμα Ε.4 παρουσιάζεται το τυποποιημένο τεμάχιο για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων τόρνων. Μάλιστα, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του παρεμβολέα της μηχανής (κεφάλαιο Ζ5), προδιαγράφεται διαφορετική τροχιά καθοδήγησης για το κοπτικό εργαλείο. Τέλος, στο σχήμα Ε.5 παρουσιάζεται το τεμάχιο κατεργασίας για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων δραπάνων. Στην περίπτωση αυτή το κοπτικό εργαλείο πρέπει να κινηθεί με την απαιτούμενη ακρίβεια και να ολοκληρώσει επιτυχώς με μία κίνηση ένα κύκλο διατρήσεων. Στο ίδιο σχήμα, φαίνεται και η συγκεκριμένη τροχιά που πρέπει να ακολουθήσει η άτρακτος του δραπάνου.



Σχήμα Ε.3 : Δοκιμαστικό τεμάχιο για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων φρεζών



Σχήμα Ε.4 : Δοκιμαστικό τεμάχιο για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων τόρνων



Σχήμα Ε.5 : Δοκιμαστικό τεμάχιο για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων δραπάνων

Τέτοια τυποποιημένα τεμάχια υπάρχουν για όλους τους τύπους των κατεργασιών. Λαμβάνοντας υπόψη τη γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, οι παραπάνω κανονισμοί δοκιμασιών παραλαβής εξελίσσονται και εμπλουτίζονται συνεχώς. Είναι φυσικό ότι, όσο οι απαιτήσεις σε ακρίβεια παραγωγής αυξάνονται, καθορίζονται πιο δύσκολες κατεργασίες ελέγχου παραλαβής.

3. Έλεγχος ακρίβειας εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης

Αφού εγκατασταθεί, ελεγχθεί και παραληφθεί μία εργαλειομηχανή ψηφιακής καθοδήγησης, είναι πια σίγουρο ότι μπορεί να κατεργαστεί τεμάχια με την απαιτούμενη ακρίβεια κατεργασίας. Αυτό όμως δεν είναι δεδομένο ότι θα ισχύσει για όλη τη διάρκεια ζωής της. Αφού οι εργαλειομηχανές έχουν κινούμενα μέρη τα οποία μάλιστα δέχονται μεγάλες δυνάμεις και επιταχύνσεις, είναι επόμενο να υποστούν φυσιολογική φθορά. Για παράδειγμα, λόγω κάποιας βλάβης του δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος, μπορεί να υποστούν βλάβη οι μετρητές θέσεως (encoders) ή άλλα ηλεκτρονικά υποσυστήματα της εργαλειομηχανής. Ακόμα υπάρχει η όχι και τόσο σπάνια περίπτωση, λόγω κακού προγραμματισμού, να γίνει κάποια πρόσκρουση του εργαλείου πάνω στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Για τους παραπάνω λόγους, οι εργαλειομηχανές πρέπει να ελέγχονται και να τους γίνεται προληπτική συντήρηση σε όλη τη διάρκεια ζωής τους.

Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να είναι δύο ειδών :

- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι προληπτικοί έλεγχοι μετά τη συμπλήρωση προκαθορισμένων ωρών λειτουργίας της εργαλειομηχανής. Τα χρονικά αυτά διαστήματα καθορίζονται από τον κατασκευαστή της μηχανής στο βιβλίο συντήρησης και ελέγχου.

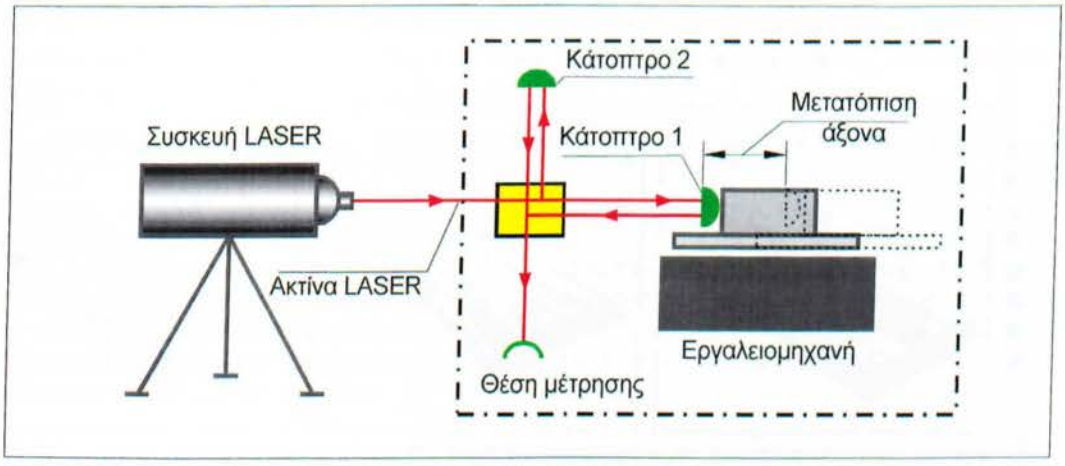
- Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι έκτακτοι έλεγχοι και γίνονται, όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι η ακρίβεια της εργαλειομηχανής έχει μειωθεί. Τέτοιες τυπικές ενδείξεις είναι, όταν κατά τον ποιοτικό έλεγχο των τεμαχίων, που κατεργάστηκε η μηχανή, βρεθεί ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός σκάρτων ή, όταν ο χειριστής της μηχανής αναφέρει κάποιο έκτακτο περιστατικό.

Και στις δύο μορφές ελέγχου υπάρχει η εύκολη λύση της μέτρησης του κατεργαζόμενου τεμαχίου, για να εντοπιστούν αποκλίσεις στις διαστάσεις ή στη μορφή του. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε μετροτεχνικό εργαστήριο με τη βοήθεια παχυμέτρων, μικρομέτρων, μετρητικών ρολογιών, οργάνων μέτρησης κυκλικότητας κ.λπ.. Στην περίπτωση αυτή μπορεί εύκολα να ανιχνευτεί, αν κάτι δεν πάει καλά. Ο τρόπος αυτός όμως έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα. Επειδή στην πολυαξονική καθοδήγηση μία επιφάνεια παράγεται από συνδυασμένες κινήσεις σε πολλές διευθύνσεις, δεν είναι εύκολο να εντοπίσει κάποιος πού ακριβώς υπάρχει το πρόβλημα ή τα προβλήματα. Αλλά ακόμα και αν αυτό συμβεί, δηλαδή τα προβλήματα εντοπισθούν, είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστεί η έκτασή τους ποσοτικά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές μετρητικές διατάξεις ελέγχου των εργαλειομηχανών. Τις διατάξεις αυτές μπορεί να αγοράσει ένα μηχανουργείο για έλεγχο των μηχανών που διαθέτει, αλλά, επειδή έχουν μεγάλο κόστος, είναι συνηθισμένο να αναθέτει την αποστολή αυτή σε ειδικές επιχειρήσεις ή σε ερευνητικά κέντρα.

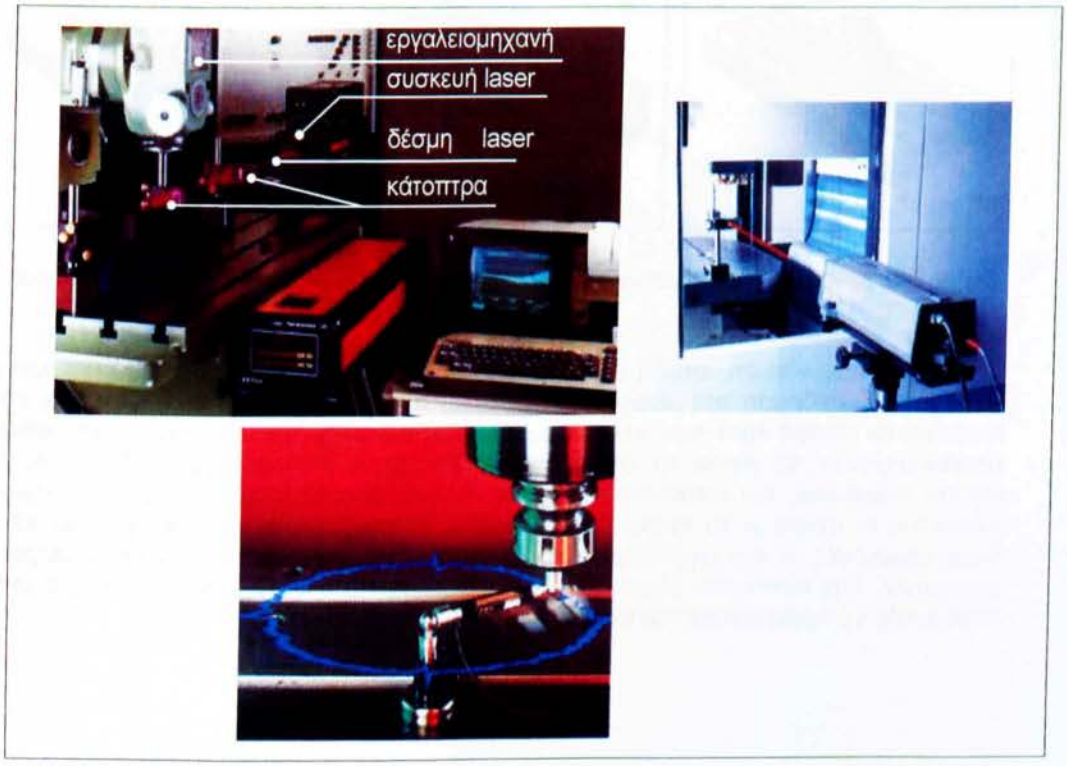
Οι πιο συνηθισμένες μετρητικές διατάξεις είναι τα λεγόμενα συμβολόμετρα λέϊζερ (LASER interferometers). Τα συμβολόμετρα αυτά βασίζονται στο φαινόμενο της συμβολής του φωτός που είναι γνωστό από τη φυσική. Ως όργανα ακριβείας είναι γνωστά ήδη από την αρχή του εικοστού αιώνα και βρήκαν εφαρμογή στη μέτρηση μικρών μετατοπίσεων στη μετρολογία, έχοντας ακρίβεια εκατοστού του μικρού (μm). Πρακτική εφαρμογή στη μετροτεχνία βρήκαν μετά την εξέλιξη των λέϊζερ σε πηγή φωτός μεγάλου βαθμού συνοχής. Ο βαθμός αυτός συνοχής είναι το μήκος εκείνο, στο οποίο μια πηγή φωτός διατηρεί σχεδόν αμετάβλητη τη συνοχή της.

Η αρχή λειτουργίας των συμβολόμετρων φαίνεται στο σχήμα Ε.6. Η ακτίνα που δημιουργεί η συσκευή λέιζερ, κατευθύνεται στο πρώτο κάτοπτρο (ειδικός τύπος καθρέφτη) και χωρίζεται σε δύο δέσμες. Η πρώτη λέγεται δέσμη μέτρησης και κατευθύνεται προς ένα κάτοπτρο, που στερεώνεται στο αντικείμενο, που μετακινείται προς μία κατεύθυνση (άξονας κατεργασίας). Η δεύτερη ονομάζεται δέσμη αναφοράς και οδηγείται σε ένα σταθερό κάτοπτρο. Στη συνέχεια οι δύο δέσμες ενώνονται (συμβάλλουν) ξανά και από την επεξεργασία της νέας δέσμης με ηλεκτρονικό υπολογιστή μετριέται με μεγάλη ακρίβεια η μετατόπιση. Η επεξεργασία γίνεται με την εφαρμογή των νόμων της επιστήμης της φωτομετρίας. Με τον τρόπο αυτό συγκρίνεται το μήκος, της

μετατόπισης που έπρεπε να μετακινηθεί ένας άξονας κατεργασίας με βάση το πρόγραμμα καθοδήγησης, με αυτό που πραγματικά έγινε και μετρήθηκε από το συμβολόμετρο. Εάν η διαφορά των μηκών ξεπερνάει τις προδιαγραφές, η καθοδήγηση αυτού του άξονα κατεργασίας έχει πρόβλημα και πρέπει να επιδιορθωθεί. Διαδοχικά μπορούν γρήγορα και αποτελεσματικά να μετρηθούν όλοι οι άξονες κατεργασίας μίας μηχανής. Στο σχήμα Ε.7 παρουσιάζονται διαδικασίες μέτρησης ακρίβειας εργαλειομηχανών με χρήση συμβολόμετρων λέιζερ.



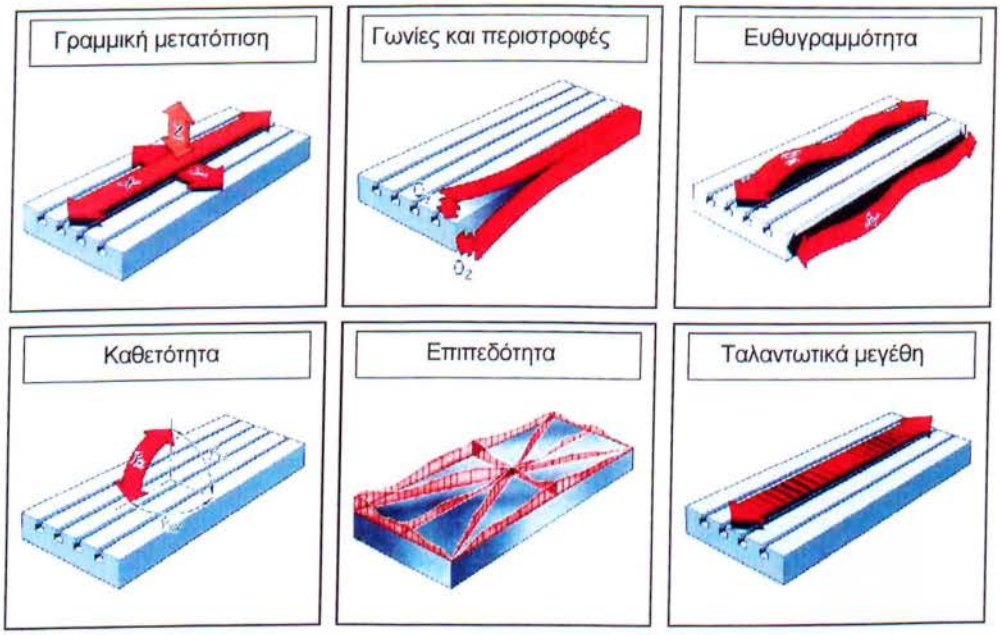
Σχήμα Ε.6 : Αρχή λειτουργίας συμβολόμετρου λέιζερ



Σχήμα Ε.7 : Μετρήσεις ακρίβειας εργαλειομηχανών με χρήση της τεχνολογίας των λέιζερ

Στο σχήμα Ε.8 φαίνονται οι δυνατότητες μετρήσεων αξόνων εργαλειομηχανών με τη βοήθεια των συμβολόμετρων λέιζερ. Συγκεκριμένα αυτές είναι :

- μέτρηση γραμμικής μετατόπισης,
- μέτρηση γωνιών και περιστροφών,
- μέτρηση ευθυγραμμότητας,
- μέτρηση καθετότητας,
- μέτρηση επιπεδότητας,
- μέτρηση ταλαντωτικών μεγεθών.



Σχήμα Ε.8: Δυνατότητες μετρήσεων αξόνων εργαλειομηχανών με τη βοήθεια της τεχνολογίας των συμβολόμετρων λέιζερ

Πρέπει να σημειωθεί ότι, επειδή οι συνθήκες του περιβάλλοντος (υγρασία, θερμοκρασία κ.λπ.) έχουν μεγάλη επίδραση στη μέτρηση, οι χαρακτηριστικές τους παράμετροι μετρώνται και λαμβάνονται υπόψη κατά τους ελέγχους. Είναι πια συνηθισμένο, στην περίπτωση καινούργιων εργαλειομηχανών, να γίνεται και έλεγχος παραλαβής με τη βοήθεια συμβολομέτρων. Αυτό γίνεται κατόπιν συμφωνίας του κατασκευαστή με τον πελάτη και αυξάνει περισσότερο την ασφάλεια του τελευταίου σε σχέση με το προϊόν, που αγοράζει. Τα συμβολόμετρα λέϊζερ βρίσκουν και πολλές άλλες εφαρμογές σε ένα μηχανουργείο, όπως είναι ο έλεγχος ακρίβειας διαφόρων μετροτεχνικών συσκευών. Την επιστασία όλων των ελέγχων με τέτοια όργανα, έχει συνήθως ο μηχανικός παραγωγής ή ο προϊστάμενος του ποιοτικού ελέγχου.

Ανακεφαλαίωση

Η ακρίβεια των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι ένας από τους βασικότερους λόγους της καθιέρωσης τους στη μηχανουργική τεχνολογία. Άλλωστε, οι αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας είναι αυτές που οδήγησαν στη σύλληψη της ιδέας των εργαλειομηχανών αυτών, κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου. Για το λόγο αυτό, αμέσως μετά τη συναρμολόγηση στους χώρους παραγωγής τους, αυτές ελέγχονται με διάφορες τυποποιημένες δοκιμασίες. Όμως, υπάρχει ο κίνδυνος, κατά τη μεταφορά και την εγκατάσταση τους στα διάφορα μηχανουργεία να υποστούν βλάβες, που μπορεί να μειώσουν την ακρίβεια τους. Έτσι, έχουν θεσπιστεί τυποποιημένες δοκιμασίες παραλαβής των εργαλειομηχανών με κατεργασία συγκεκριμένων τεμαχίων, οι οποίες αποδεικνύουν ή όχι την ακρίβεια τους.

Επειδή οι εργαλειομηχανές NC, CNC και DNC είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, η διαρκής λειτουργία τους έχει ως αποτέλεσμα τη φθορά και την απορρύθμισή τους. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα έλεγχος της ακριβείας τους. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους. Πιο διαδεδομένος από όλους αυτούς είναι η χρήση των συμβολόμετρων λέιζερ. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει γρήγορο και εποπτικό τρόπο μέτρησης της ακρίβειας της μηχανής σε όλους τους άξονες κατεργασίας. Τα συμβολόμετρα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στη μέτρηση ακρίβειας συμβατικών εργαλειομηχανών. Σήμερα, αυτός ο έλεγχος παραλαβής των εργαλειομηχανών με χρήση συμβολόμετρων έχει αντικαταστήσει τον παραδοσιακό τρόπο ελέγχου με κατεργασία συγκεκριμένων τεμαχίων.

ΣΤ. Βασικά στοιχεία αυτομάτου ελέγχου εργαλειομηχανών

Στο τέλος της μελέτης του έκτου κεφαλαίου ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

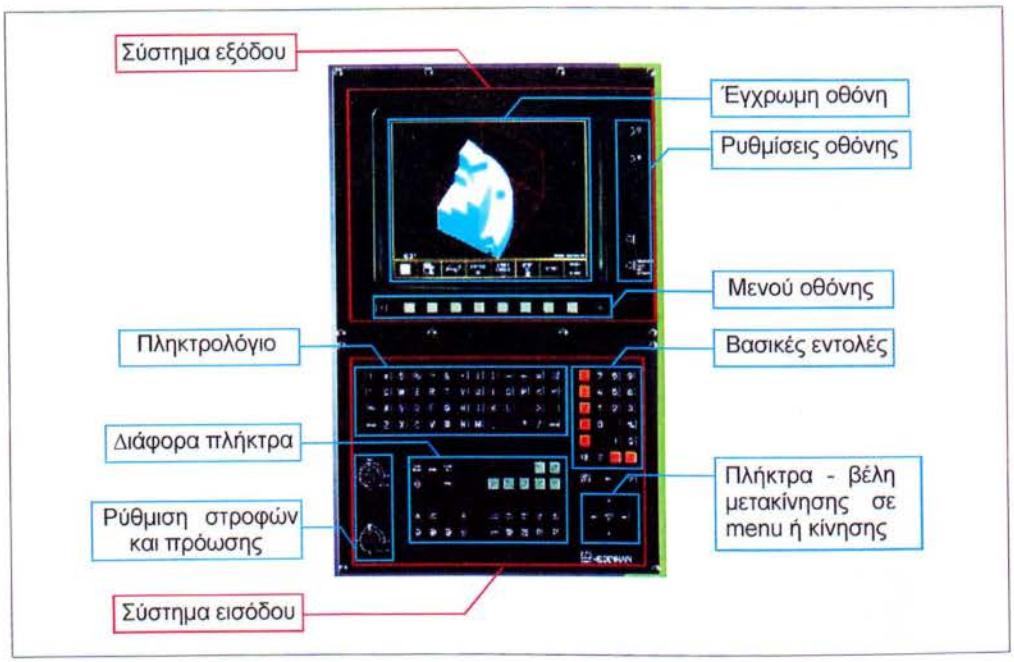
- Ποιες είναι οι αρχές του αυτομάτου ελέγχου και τι είναι τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ).
- Πώς λειτουργούν τα συστήματα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου.
- Πώς λειτουργούν τα συστήματα καθοδήγησης κλειστού βρόγχου.
- Τι είναι ο προσαρμοστικός έλεγχος και ποιες εφαρμογές βρίσκει στον αριθμητικό έλεγχο των εργαλειομηχανών.
- Τι σημαίνουν οι έννοιες διακριτική ικανότητα, επαναληψιμότητα, αστάθεια και χρόνος απόκρισης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

1. Αρχές αυτομάτου ελέγχου

Όπως ήδη περιγράφηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, οι λειτουργίες των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης προγραμματίζονται στη μονάδα κεντρικού ελέγχου ή σε κάποιο υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή και την εξυπηρετεί. Το σύστημα ελέγχου μετατρέπει τις εντολές καθοδήγησης σε σήματα ελέγχου υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης ή παλμών. Τα σήματα αυτά ενεργοποιούν τελικά όλες τις λειτουργίες της εργαλειομηχανής, με βάση τις αρχές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ). Τα συστήματα αυτά ονομάζονται αυτόματα, διότι η λειτουργία τους δεν γίνεται αντιληπτή από το χειριστή της εργαλειομηχανής. Οι διαδικασίες αυτομάτου ελέγχου συνθέτουν μία ολόκληρη επιστήμη, με εφαρμογές, εκτός από τη μηχανουργική τεχνολογία, στην ιατρική, στη βιολογία, στις οικονομικές επιστήμες και στην επιχειρηματική δραστηριότητα.

Στις εφαρμοσμένες θετικές επιστήμες, εκεί που ανήκει και η μηχανουργική τεχνολογία, ο αυτόματος έλεγχος χρησιμεύει στο να παρακολουθούνται διάφορες καταστάσεις, να μετρώνται τα φυσικά μεγέθη και να επηρεάζεται η εξέλιξη μίας διαδικασίας προς τον καλύτερο και πιο επιθυμητό τρόπο. Η ανάλυση των αρχών του αυτομάτου ελέγχου ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου. Όμως, για να γίνει πιο κατανοητή η εφαρμογή του αυτομάτου ελέγχου στις εργαλειομηχανές, θα δοθούν παραδείγματα σε αυτήν ακριβώς την περίπτωση. Για τον αυτόματο έλεγχο απαιτείται η ύπαρξη και συνεργασία ενός συνόλου ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα χρειάζονται :

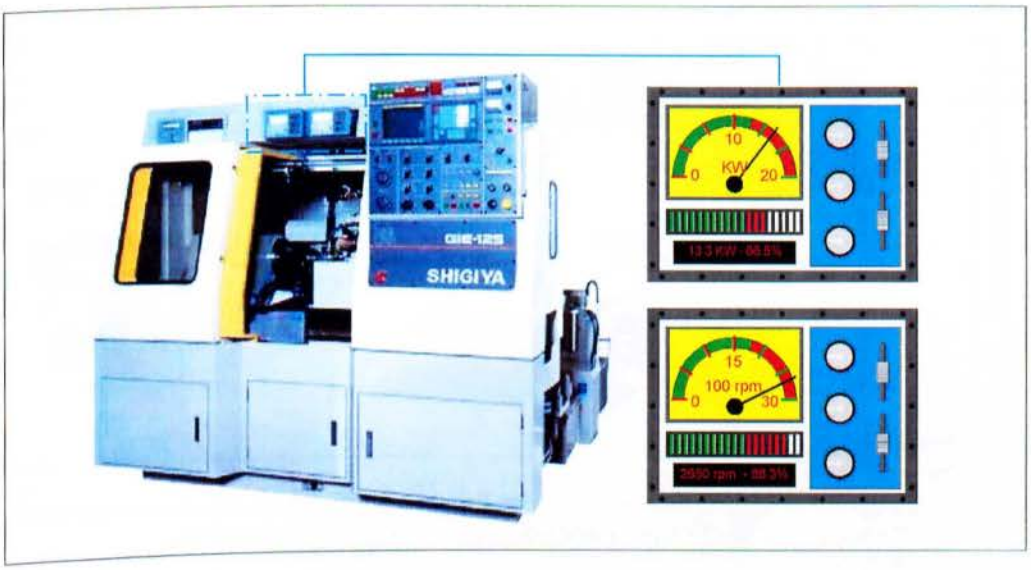
- Κεντρικό σύστημα ελέγχου, το οποίο να συντονίζει όλες τις επιμέρους διεργασίες, που συμμετέχουν στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, το ρόλο αυτό αναλαμβάνει η μονάδα ελέγχου της μηχανής MCU. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει έναν τρόπο επικοινωνίας με το χειριστή της μηχανής, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η οθόνη και το πληκτρολόγιο (βλέπε σχήμα ΣΤ.1). Επίσης, υπάρχουν και διάφορα πλήκτρα, τα οποία διευκολύνουν την εισαγωγή δεδομένων και ελέγχουν διάφορες λειτουργίες της εργαλειομηχανής.



Σχήμα ΣΤ.1 : Κεντρικό σύστημα ελέγχου στις εργαλειομηχανές με μονάδα εισόδου (πληκτρολόγιο) και μονάδα εξόδου (έγχρωμη οθόνη)

- Μηχανισμοί και διαδικασίες, που να μπορούν να επιδράσουν και να διαμορφώσουν το μέγεθος που ελέγχεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ελέγχου της κίνησης κατά μήκος ενός άξονα κατεργασίας, πρέπει να υπάρχει κάποιος σερβομηχανισμός ή κάποιος βηματικός κινητήρας, όπως αυτοί περιγράφηκαν στο κεφάλαιο Δ.

- Αισθητήρες για τη μέτρηση του μεγέθους, που πρέπει να ελεγχθεί κατά τη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Για παράδειγμα, εάν ελέγχεται η ακρίβεια της κίνησης κατά μήκος ενός γραμμικού άξονα κατεργασίας, χρησιμοποιείται σαν αισθητήρας ένας κωδικοποιητής θέσεως (encoder). Εάν το μέγεθος που μετριέται, είναι οι δυνάμεις κοπής, τότε χρησιμοποιείται απευθείας δυναμόμετρο ή γίνεται επεξεργασία της ισχύος που απορροφά η άτρακτος της εργαλειομηχανής. Στο σχήμα ΣΤ.2 φαίνονται τα όργανα, που μετρούν την απορροφούμενη ισχύ από την κύρια άτρακτο της μηχανής και την ταχύτητα περιστροφής της.



Σχήμα ΣΤ.2 : Συστήματα ένδειξης της ισχύος, που απορροφά η κεντρική άτρακτος κοπής και της περιστροφικής της ταχύτητας

- Ηλεκτρονικά κυκλώματα και ηλεκτρικά υποσυστήματα, που να μπορούν να επεξεργάζονται και να μεταφέρουν τα σήματα καθοδήγησης, που παράγονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου προς τους μηχανισμούς. Επίσης, οι ίδιες διαδικασίες γίνονται και στην περίπτωση μεταφοράς των σημάτων των αισθητήρων προς το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ενισχυτές, ανορθωτές, μετασχηματιστές, καλωδιώσεις κ.λπ..

Στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, η κύρια λειτουργία του συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι να τοποθετεί την τράπεζα ή την άτρακτο της μηχανής στην προγραμματισμένη θέση. Δεν είναι υπερβολή να πει κανείς ότι η διαδικασία αυτή αποτελεί το 95% του συνολικού χρόνου λειτουργίας του συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι ελέγχου, με τους οποίους το σύστημα αριθμητικού ελέγχου εκπληρώνει την ακριβή τοποθέτηση. Πρόκειται για το σύστημα κλειστού και το σύστημα ανοικτού βρόγχου, που περιγράφονται, αντίστοιχα, στις δύο επόμενες παραγράφους.

2. Συστήματα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου (open loop control) φαίνεται στο σχήμα ΣΤ.3. Το σήμα ελέγχου κάθε μετατόπισης ή κίνησης, που προέρχεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, ενισχύεται, ώστε να μπορεί να ενεργοποιήσει τον αντίστοιχο κινητήρα. Με τη σειρά του, ο κινητήρας μεταδίδει κίνηση στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής απευθείας είτε μέσω κατάλληλου μειωτήρα στροφών. Με τη διαδικασία αυτή, η παροχή ισχύος από τους κινητήρες ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή ταχύτητα ή πρόωση κατεργασίας. Εάν όμως, για παράδειγμα, το φορτίο της εργαλειομηχανής μεταβληθεί, διότι αυξάνεται το βάθος κοπής, τότε η ταχύτητα του σερβοκινητήρα θα επηρεασθεί. Η μείωση της ταχύτητας όμως δεν θα γίνει αντιληπτή από την κεντρική μονάδα ελέγχου, αφού δεν υπάρχει κάποιος τρόπος να φτάσει ως εκεί η πληροφορία. Για το λόγο αυτό, το σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόγχου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μηχανές με μεταβαλλόμενο φορτίο κοπής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε εργαλειομηχανές διάτρησης, όπου το φορτίο κοπής είναι σταθερό. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων περιορίζεται σε κατεργασίες, στις οποίες δεν απαιτείται ακρίβεια μεγαλύτερη από 25 μm.

Σχήμα ΣΤ.3 : Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση

Στο παραπάνω παράδειγμα, ο κινητήρας συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι το σύστημα ελέγχου να σταματήσει την τροφοδοσία, όταν η προγραμματισμένη θέση επιτευχθεί. Εάν, για παράδειγμα, ο κινητήρας έχει κάποια βλάβη ή μεγάλη φθορά, είναι πιθανόν, ενώ έχει δεχθεί την κατάλληλη εντολή, να μη την εκτελέσει σωστά. Όμως δεν υπάρχει δυνατότητα αυτό να γίνει αντιληπτό. Στην πράξη, το σύστημα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου θυμίζει ένα στρατηγό, που έχει οργανώσει μία μάχη από το στρατηγείο του, αλλά δεν έχει πληροφορίες για την έκβασή της. Στην περίπτωση που η μάχη εξελιχθεί σύμφωνα με τις προβλέψεις του, θα την κερδίσει. Εάν όμως, για κάποιο λόγο, κάτι δεν πάει καλά, δεν έχει τρόπο να το πληροφορηθεί και να αλλάξει τη στρατηγική του.

3. Συστήματα καθοδήγησης κλειστού βρόγχου

Στο παραπάνω παράδειγμα, τα πράγματα θα ήταν ευκολότερα για το στρατηγό, εάν κατά τη διάρκεια της μάχης είχε διαρκή πληροφόρηση για την έκβασή της. Στην περίπτωση αυτή, θα μπορούσε με κατάλληλους χειρισμούς να ανατρέψει την επίδραση τυχαίων γεγονότων και να διορθώσει τυχόν λάθη του. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των εργαλειομηχανών, τα προβλήματα ελέγχου που δεν είναι δυνατό να λυθούν με χρήση συστήματος ανοικτού βρόγχου, λύνονται με συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop control). Η λειτουργία των συστημάτων αυτών βασίζεται στην αρχή της ανάδρασης (feedback), που είναι το θεμέλιο στην επιστήμη του αυτομάτου ελέγχου.

Ανάδραση σημαίνει η σύγκριση της πραγματικής τιμής ενός μεγέθους με την επιθυμητή τιμή και κατάλληλη επέμβαση, ώστε η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών να ελαχιστοποιηθεί. Για παράδειγμα, εάν το ελεγχόμενο μέγεθος είναι η μετατόπιση ενός άξονα κατεργασίας μίας εργαλειομηχανής, πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα μέτρησης (ο κωδικοποιητής θέσεως). Ανά πάσα στιγμή συγκρίνεται η πραγματική θέση του ολισθητήρα με την προγραμματισμένη θέση. Η διαφορά των τιμών οδηγείται στην κεντρική μονάδα ελέγχου και το σήμα καθοδήγησης αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα του αντίστοιχου σερβοκινητήρα, ώστε να διορθωθεί το λάθος.

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος κλειστού βρόγχου φαίνεται στο σχήμα ΣΤ.4. Οι διαφορές από το αντίστοιχο σχήμα του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου είναι η εισαγωγή του κωδικοποιητή θέσης και της μονάδας ανάδρασης (transducer). Τα συστήματα ανάδρασης είναι ηλεκτρονικές συσκευές, που συγκρίνουν σε ηλεκτρικές ή μαγνητικές κλίμακες. Εάν το σύστημα είναι ψηφιακό, η συσκευή συγκρίνει παλμούς, ενώ, εάν είναι αναλογικό, συγκρίνει τάσεις. Έχουν

όλα μία βασική κατασκευαστική αρχή. Όταν ένα σύστημα επιτύχει την επιθυμητή θέση και τη διατηρεί, το σύστημα ανάδρασης παράγει παλμούς μηδενικού μεγέθους ή μηδενική τάση. Στην περίπτωση αυτή, η κεντρική μονάδα ελέγχου δεν έχει κάποιο ερέθισμα, ώστε να τροποποιήσει κάποιες από τις αρχικές εντολές της. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν στο σύστημα ανάδρασης παράγονται παλμοί ή τάση, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει τις αρχικές εντολές της.

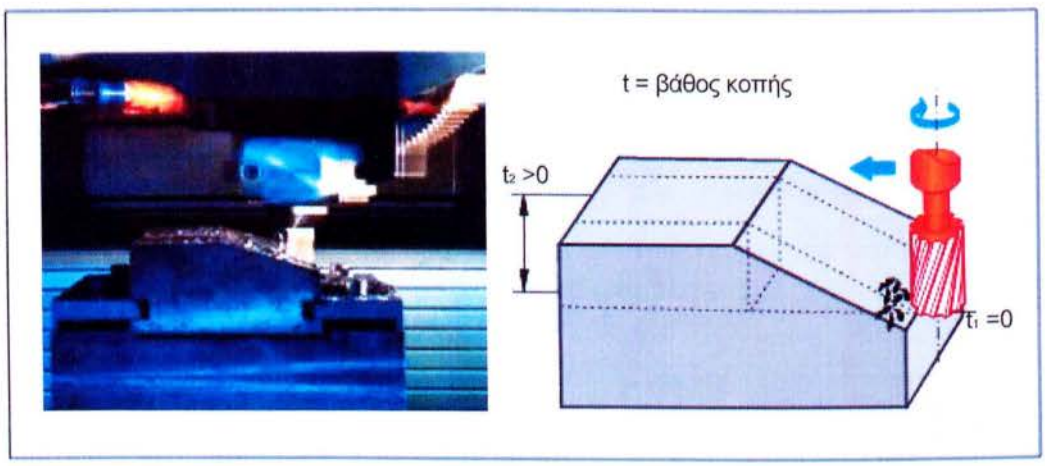
Σχήμα ΣΤ.4 : Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση

Σε συστήματα κλειστού βρόγχου με παλμούς, απαιτούνται περίπου 10.000 ηλεκτρικοί παλμοί, για να μετακινηθεί ο ολισθητήρας 25 mm. Ο κάθε παλμός ελέγχεται από το σύστημα ανάδρασης και αυτό σημαίνει ότι υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της κίνησης του ολισθητήρα κατά 2.5 μm. Έτσι, η ακρίβεια που επιτυγχάνουν τα συστήματα κλειστού βρόγχου, είναι δεκαπλάσια από αυτήν των συστημάτων ανοικτού βρόγχου. Πέρα από την ανάδραση για τον έλεγχο της θέσης κάποιου ολισθητήρα, υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που πρέπει να ελέγχονται αυτόματα. Τυπική περίπτωση αποτελεί ο έλεγχος της ταχύτητας κοπής, που χρησιμοποιείται, για να βελτιστοποιήσει την ποιότητα σύνθετων επιφανειών κ.λπ..

4. Αρχές προσαρμοστικού ελέγχου

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και επισκευών. Το αυξημένο κόστος εγκατάστασης δηλώνει ότι οι μηχανές αυτές, για να αποδώσουν οικονομικά, πρέπει να λειτουργούν κοντά στα όρια, που έχει ορίσει ο κατασκευαστής τους. Για παράδειγμα, η πρόωση στην κατεργασία και η ταχύτητα κοπής πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν, κοντά στα όρια ισχύος, που έχει η μηχανή. Με τον τρόπο αυτό η παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής βελτιστοποιείται. Από την άλλη πλευρά, η λειτουργία των μηχανών στα όρια τους εγκυμονεί πάντα κάποιο κίνδυνο υπέρβασής τους και τη δημιουργία βλαβών. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται, όσο πιο πολύπλοκο είναι το τεμάχιο κατεργασίας, αφού αλλάζει συνεχώς το βάθος, άρα και οι δυνάμεις κοπής. Οι μεταβολές στις δυνάμεις, λόγω μεταβολών του βάθους κοπής, είναι ως ένα βαθμό προβλέψιμες, αφού η αρχική και η τελική μορφή του τεμαχίου είναι γνωστή. Υπάρχουν όμως και άλλες συνθήκες, που επηρεάζουν την αλλαγή των συνθηκών κοπής, όπως είναι η φθορά του κοπτικού εργαλείου ή οι μεταβολές στην ποιότητα της πρώτης ύλης.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται στις σύγχρονες εργαλειομηχανές με την εισαγωγή τεχνικών προσαρμοστικού ελέγχου (adaptive control). Ο βασικός στόχος του προσαρμοστικού ελέγχου είναι να συμπληρώνει το σύστημα ελέγχου της μηχανής με αισθητήρες, που προσδιορίζουν τις συνθήκες κοπής. Με τη χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, που επεξεργάζονται τα συστήματα των αισθητήρων, μπορούν να ρυθμίζονται αυτόματα η πρόωση και η ταχύτητα κοπής στις βέλτιστες ανά περίπτωση τιμές. Στο σχήμα ΣΤ.5 φαίνεται ένα παράδειγμα λειτουργίας του προσαρμοστικού ελέγχου στον αριθμητικό έλεγχο εργαλειομηχανών. Καθώς το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται από αριστερά προς τα δεξιά, το βάθος κοπής αυξάνεται και, κατά συνέπεια, αυξάνουν οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής. Έτσι, η απορροφούμενη ισχύς από τον κινητήρα της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής αυξάνεται και πιθανά να υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη. Για το λόγο αυτό, το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου μεταβάλλει αφενός την πρόωση κατεργασίας, ώστε να μειωθούν οι δυνάμεις κοπής, και αφετέρου την ταχύτητα κοπής, ώστε να μειωθεί η απορροφούμενη ισχύς, προστατεύοντας έτσι το σύστημα εργαλειομηχανή - κοπτικό εργαλείο - κατεργαζόμενο τεμάχιο.



Σχήμα ΣΤ.5 : Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος προσαρμοστικού ελέγχου σε εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση

Οι βασικοί στόχοι ενός συστήματος ελέγχου, που ενσωματώνει τεχνικές προσαρμοστικού ελέγχου, είναι :

- Η προστασία της κύριας ατράκτου κοπής της εργαλειομηχανής από υπερφορτίσεις ή απότομες μεταβολές ισχύος κατά την είσοδο και έξοδο από θέσεις κοπής.
- Η προστασία του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου από βλάβη ή καταστροφή.
- Ο σταθερός ρυθμός αφαίρεσης υλικού, στρατηγική που προσφέρει καλύτερη ποιότητα κατεργασίας.
- Η βελτιστοποίηση της διάρκειας ζωής του κοπτικού εργαλείου με τη διατήρηση σταθερών συνθηκών κοπής.
- Η μεταβολή της παροχής υγρού κοπής, ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ισχύς κοπής.
- Η επίτευξη μέγιστης ταχύτητας μεταφοράς σε περίπτωση απρόβλεπτου κενού κατεργασίας.
- Η ελαχιστοποίηση των τεχνολογικών παραμέτρων κοπής, που πρέπει να εισαχθούν από το χειριστή, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος λαθών λόγω άγνοιας ή απειρίας.

Σήμερα, ολοένα και περισσότερες σύγχρονες εργαλειομηχανές ενσωματώνουν αρχές προσαρμοστικού ελέγχου. Μάλιστα η έννοια αυτή είναι σε μεγάλο βαθμό συγγενική με τους όρους των εργαλειομηχανών με άμεση καθοδήγηση DNC και τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου.

5. Απαιτήσεις ελέγχου εργαλειομηχανών

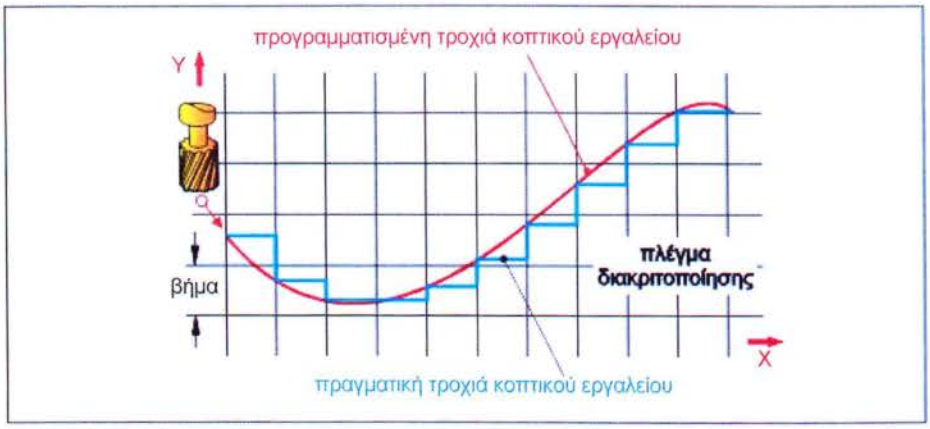
Όπως φάνηκε στις προηγούμενες παραγράφους, οι δυνατότητες των σύγχρονων εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στις εφαρμογές, που προσφέρει ο αυτόματος έλεγχος. Επειδή ίσως να φάνηκε ότι τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου είναι αλάθητα και προσφέρουν πάντα μεγάλη ακρίβεια, είναι σωστό να αναφερθούν και τα προβλήματα, που συχνά αντιμετωπίζουν. Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται κυρίως με το μεγάλο αριθμό υπολογισμών, που πρέπει να εκτελεστούν αλλά και με το ότι έχουν να συνεργαστούν με καθαρά μηχανικές διατάξεις. Τα μηχανικά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών δεν βρίσκονται πάντα σε άριστη κατάσταση, αφού συχνά εμφανίζουν φυσιολογικές φθορές ή απορρυθμίζονται. Έτσι, σε περίπτωση που εμφανίζονται μηχανικά προβλήματα, σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό πράξεων καθοδήγησης, είναι πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα στην ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών.

Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν οι απαιτήσεις ελέγχου των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης και θα φανεί η επίδραση τους στην ακρίβεια των μηχανουργικών κατεργασιών. Έτσι, αναλύονται βασικές έννοιες, όπως η διακριτική ικανότητα, η επαναληψιμότητα και η αστάθεια των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Οι νέες αυτές γνώσεις δείχνουν, έστω και περιγραφικά, την πολυπλοκότητα των συστημάτων αυτών.

5.1 Διακριτική ικανότητα

Η μονάδα κεντρικού ελέγχου MCU των εργαλειομηχανών αποτελεί τον εγκέφαλο που ελέγχει όλες τις λειτουργίες τους και κυρίως την καθοδήγηση των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου. Και αν αυτό το πρόβλημα ελέγχου φαίνεται απλό στην περίπτωση εκτέλεσης γραμμικών μετατοπίσεων, τα πράγματα είναι κατά πολύ δυσκολότερα στην περίπτωση κατεργασίας διαφόρων καμπυλών. Η δυσκολία αυτή είναι σημαντική ακόμα και κατά μήκος μόνο δύο αξόνων, για παράδειγμα στην τόρνευση σφαιρικών επιφανειών. Όπως είναι γνωστό από τη γεωμετρία, οι γραμμές και οι επιφάνειες αποτελούνται από άπειρο αριθμό σημείων. Δεν είναι φυσικά δυνατό να περιγραφούν οι μετατοπίσεις των αξόνων κατεργασίας σε όλα αυτά τα σημεία, αφού πρακτικά αυτό απαιτεί άπειρους υπολογισμούς. Στην πράξη, αυτό που γίνεται, είναι να διαιρούνται οι μετατοπίσεις ανά άξονα σε ένα πεπερασμένο αριθμό διαδοχικών διαστημάτων. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η θέση πεπερασμένου αριθμού σημείων, που είναι τα άκρα των διαστημάτων αυτών.

Το πόσα πολλά είναι τα σημεία αυτά εξαρτάται από την διακριτική ικανότητα (resolution) της μονάδας κεντρικού ελέγχου (βλέπε σχήμα ΣΤ.6). Το μέγεθος αυτό εξαρτάται από τη χωρητικότητα της MCU, την ακρίβεια μετατόπισης των κινητήρων των αξόνων κατεργασίας αλλά και την ικανότητα ελέγχου των μετρητών θέσης. Έτσι, η συνολική ακρίβεια των μετατοπίσεων από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου των εργαλειομηχανών εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό από τη διακριτική ικανότητα τους. Όσο προχωρά η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο μεγαλώνουν και οι δυνατότητες αύξησης του διακριτικού ελέγχου των εργαλειομηχανών. Φυσικά, επειδή η ανάπτυξη των άλλων μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων που εκτελούν τις εντολές καθοδήγησης, είναι πολύ πιο αργή, η αύξηση της διακριτικής ικανότητας τελικά καθορίζεται από την εξέλιξη αυτών των εξαρτημάτων των εργαλειομηχανών.



Σχήμα ΣΤ.6 : Διακριτική ικανότητα διαγραφής τροχιάς του κοπτικού εργαλείου

5.2 Επαναληψιμότητα

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που επέβαλαν την εφαρμογή του αριθμητικού ελέγχου στη μηχανουργική τεχνολογία, ήταν η ανάγκη της εκτέλεσης κατεργασιών με μεγάλη ακρίβεια. Όμως, ακόμα και στην περίπτωση παραγωγής ενός τέλειου τεμαχίου, το ζητούμενο είναι κατά πόσο αυτό μπορεί να επαναληφθεί από μία έως χιλιάδες ή ακόμα και εκατοντάδες χιλιάδες φορές. Υπάρχει δηλαδή η απαίτηση της επαναληψιμότητας και της πιστής αναπαραγωγής ενός συγκεκριμένου συνόλου κατεργασιών. Για να γίνει πιο απλή η έννοια της επαναληψιμότητας, αυτή μπορεί να ορισθεί από το εάν το κοπτικό εργαλείο ή το τεμάχιο μπορεί να πάει σε μία συγκεκριμένη θέση, για περισσότερες από μία φορές. Εάν αυτό γίνει για όλες τις θέσεις καθοδήγησης και κατά μήκος όλων των αξόνων κατεργασίας, το δεύτερο και τα επόμενα τεμάχια θα είναι ακριβώς όμοια με το πρώτο.

Στην περίπτωση των συμβατικών εργαλειομηχανών, το πρόβλημα της μικρής επαναληψιμότητας είναι ένα από τα μεγαλύτερα αίτια της μειωμένης ακρίβειας, που προσφέρουν. Τα προβλήματα που μπορούν να παρουσιασθούν στην παραγωγή ενός συγκεκριμένου τεμαχίου με χρήση συμβατικών εργαλειομηχανών, μπορεί να είναι :

- Παραγωγή του πρώτου τεμαχίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τις προβλεπόμενες ανοχές και αναπαραγωγή όλων των υπόλοιπων με κάποιο σφάλμα. Αυτό για παράδειγμα μπορεί να οφείλεται σε συστηματικό λάθος στη νέα επιλογή μηδενικών σημείων και συστημάτων αναφοράς. Αυτή η περίπτωση είναι σπάνια.
- Παραγωγή του πρώτου τεμαχίου και ενός ακόμα αριθμού τεμαχίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τις προβλεπόμενες ανοχές και αναπαραγωγή των υπόλοιπων με κάποιο σφάλμα. Τυπική αιτία μπορεί να είναι η αλλαγή χειριστή, η αλλαγή εργαλειομηχανής ή ακόμα και η απορρύθμισή της.
- Περιοδική παραγωγή, σωστών τεμαχίων, με ενδιάμεσες παρτίδες ελαττωματικών. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αλλαγή χειριστών σε μηχανουργεία με δύο ή και τρεις βάρδιες εργασίας, στην κόπωση των χειριστών και σε άλλες περιοδικά μεταβαλλόμενες συνθήκες παραγωγής.

Και στις τρεις περιπτώσεις, η παραγωγή ελαττωματικών τεμαχίων οδηγεί σε αύξηση του κόστους παραγωγής και στη μείωση της παραγωγικότητας. Σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα αυτό λύνεται στις κατεργασίες με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, αφού η σχεδιαστική φιλοσοφία τους

εξασφαλίζει την επαναληψιμότητα ενός κύκλου κατεργασιών. Αυτή η ικανότητα πιστής αναπαραγωγής μεγάλου αριθμού όμοιων τεμαχίων, οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι ότι η αλληλουχία του κύκλου των κατεργασιών βρίσκεται αποθηκευμένη σε ψηφιακή μορφή, που δεν επηρεάζεται από τον ανθρώπινο παράγοντα και τις συνθήκες εργασίας. Ο δεύτερος είναι η μεγάλη ακαμψία και στιβαρότητα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, που εκμηδενίζει δυναμικά φαινόμενα και επιτρέπει την επίτευξη μεγάλων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, χωρίς προβλήματα ακρίβειας. Οι παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την επαναληψιμότητα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, είναι κυρίως μηχανικά προβλήματα και ανθρώπινα λάθη.

5.3 Αστάθεια

Όπως φάνηκε στην περιγραφή του αυτομάτου ελέγχου, τα συστήματα που τον περιέχουν, μπορεί να είναι απλά (π.χ. συστήματα ανοικτού βρόγχου) ή πιο σύνθετα (π.χ. συστήματα κλειστού βρόγχου). Σε όλες τις περιπτώσεις, υπάρχει ένας αριθμός ελέγχων που πρέπει να γίνουν, ώστε να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετατοπίσεων των αξόνων κατεργασίας. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στη λειτουργία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή τα συστήματα δεν μπορούν να εκπληρώσουν με ακρίβεια την αποστολή τους και λειτουργούν, όπως λέγεται, σε κατάσταση αστάθειας.

Στην περίπτωση των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, αν υποτεθεί ότι έχει πάθει βλάβη ένας μετρητής θέσης, αυτός ή μετράει λάθος τη θέση του άξονα που τον περιέχει, ή δε δίνει καθόλου μέτρηση. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα αυτομάτου ελέγχου θέσης δε δέχεται τουλάχιστον ένα από τα δεδομένα που χρειάζεται, για να λειτουργήσει σωστά. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην μπορεί να γίνει ο έλεγχος θέσης για το συγκεκριμένο άξονα κατεργασίας, με επακόλουθο να μειωθεί η ακρίβεια της κατεργασίας. Σε ακόμα χειρότερη περίπτωση, οι λανθασμένες ενδείξεις του μετρητή μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβη της εργαλειομηχανής, αν για παράδειγμα οδηγήσουν το κοπτικό εργαλείο σε σύγκρουση με το τεμάχιο.

Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει αστάθεια στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου της εργαλειομηχανής, είναι το να φθάνουν σε αυτό οι μετρήσεις καθυστερημένα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε βλάβη των μετρητών θέσης ή ακόμα και σε υπερφόρτωση του υπολογιστή, που επεξεργάζεται τις μετρήσεις. Στη δεύτερη περίπτωση ο χρόνος απόκρισης του συστήματος, όπως αυτός ονομάζεται, είναι τόσο μεγάλος, ώστε το σύστημα αυτομάτου ελέγχου δεν μπορεί να λειτουργήσει σωστά και να οδηγήσει πάλι σε μείωση της ακρίβειας μετατόπισης. Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση έχουν εξελιχθεί πάντως σε τέτοιο βαθμό, που σπάνια αντιμετωπίζουν προβλήματα αστάθειας του συστήματος αυτομάτου ελέγχου τους.

Ανακεφαλαίωση

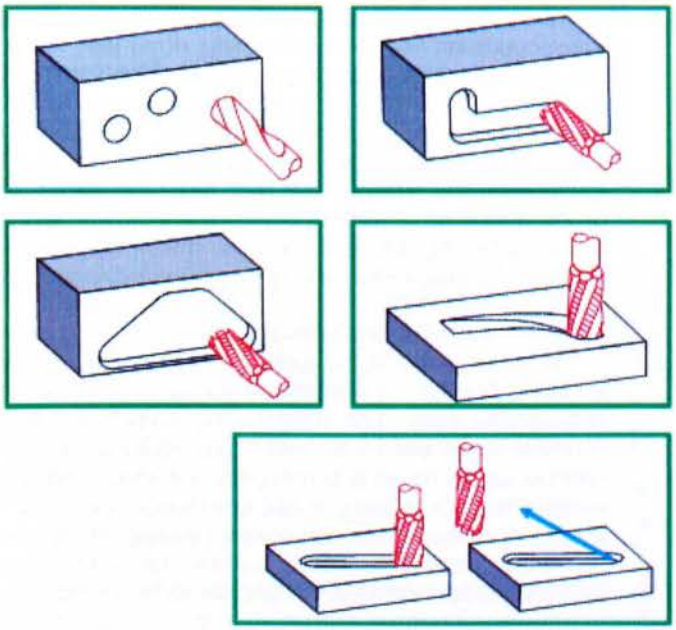
Ο βασικός σχεδιαστικός στόχος των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι η απαλλαγή του χειριστή από όσο το δυνατό περισσότερες εργασίες και λειτουργίες. Αυτό έγινε δυνατό με την εφαρμογή στη μηχανουργική τεχνολογία διαδικασιών αυτομάτου ελέγχου. Αυτές οι διαδικασίες, στις περιπτώσεις σύνθετων κατεργασιών, είναι πολλές σε αριθμό και μάλιστα πολύ δύσκολες για τον άνθρωπο. Σε αυτήν την προσπάθεια ο μεγαλύτερος σύμμαχος είναι η επιστήμη των υπολογιστών και η ηλεκτρονική. Έτσι, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μιας εργαλειομηχανής, ένας σημαντικός αριθμός παραμέτρων της κοπής καταγράφεται και ελέγχεται συνεχώς, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα κατασκευής. Τέτοιες παράμετροι είναι οι μετατοπίσεις, οι ταχύτητες της ατράκτου και των προώσεων των αξόνων κατεργασίας, οι δυνάμεις κοπής, κ.λπ..

Γενικά υπάρχουν δύο στρατηγικές αυτομάτου ελέγχου, που και οι δύο εφαρμόζονται στην ψηφιακή καθοδήγηση. Πρόκειται για τον απλούστερο έλεγχο ανοικτού βρόγχου και το δυσκολότερο έλεγχο κλειστού βρόγχου. Παρά τις δυσκολίες και το αυξημένο κόστος των συστημάτων κλειστού βρόγχου, αυτά έχουν επικρατήσει στις εργαλειομηχανές CNC, λόγω των ανάγκης συνεχούς

παρακολούθησης των κατεργασιών κοπής. Τα συστήματα κλειστού βρόγχου εξασφαλίζουν, για παράδειγμα, πολλαπλάσια ακρίβεια μετατόπισης των αξόνων κατεργασίας, σε σχέση με αυτήν που προσφέρουν τα συστήματα ανοικτού βρόγχου. Επίσης οι εφαρμογές των συστημάτων ανάδρασης προσφέρουν μεγάλες υπηρεσίες στην προστασία των εργαλειομηχανών από κινδύνους ατυχημάτων και βλαβών. Η εφαρμογή των αρχών αυτών οδήγησε στην κατασκευή των εργαλειομηχανών με άμεση καθοδήγηση (DNC).

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, παρά το γεγονός ότι λύνουν πολλά προβλήματα, που οδηγούσαν σε μειωμένη ακρίβεια παραγωγής των συμβατικών εργαλειομηχανών, έχουν και αυτά κάποια όρια. Τέτοια είναι η μικρή διακριτική ικανότητα, η μειωμένη επαναληψιμότητα και η πιθανή αστάθεια τους. Όμως η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας και ειδικότερα των ηλεκτρονικών υπολογιστών τα έχει επιλύσει σε τέτοιο βαθμό, που σπάνια συναντώνται στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης.

Ζ. Τύποι ελέγχου θέσης εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση



Στο τέλος της μελέτης του εβδόμου κεφαλαίου ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

- Τι ονομάζεται έλεγχος θέσης σε μία εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση και πως αυτός επιτυγχάνεται.
- Τι είναι ο έλεγχος από σημείο σε σημείο και τι περιορισμούς έχει.
- Τι είναι ο έλεγχος ευθύγραμμης κοπής και τι περιορισμούς θέτει στο φρεζάρισμα και στην τόρνευση.
- Τι είναι ο έλεγχος συνεχούς κοπής σε δύο ή περισσότερους άξονες κατεργασίας και ποιες είναι οι δυνατότητες που προσφέρει.
- Τι ονομάζεται παρεμβολέας και ποια είδη παρεμβολής χρησιμοποιούνται στην ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών.

1. Γενικά για τον έλεγχο θέσης στην ψηφιακή καθοδήγηση

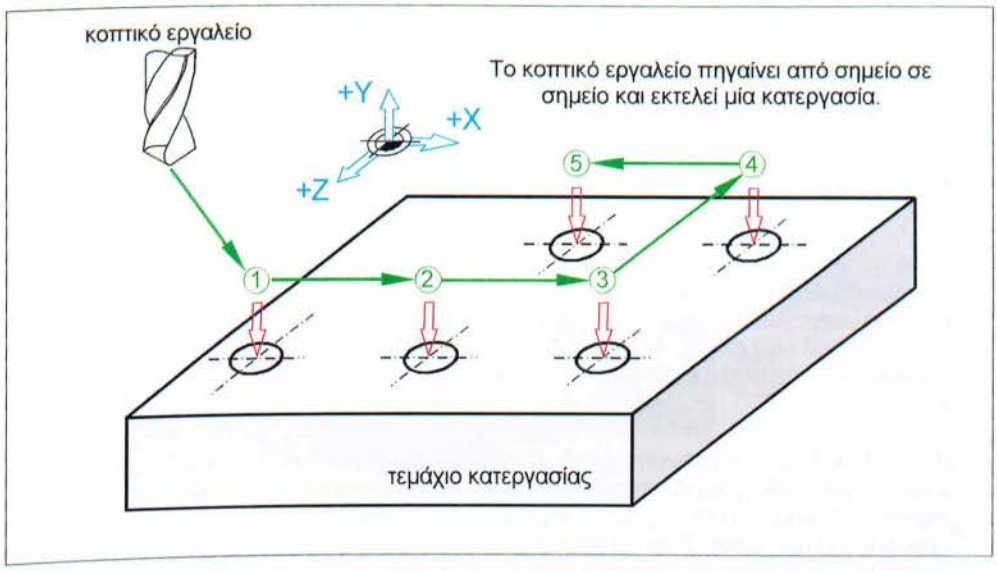
Οι ανεξάρτητες αλλά ταυτόχρονες μετακινήσεις της τράπεζας ή του κοπτικού εργαλείου στις εργαλειομηχανές NC, CNC και DNC, καθορίζουν τη σχετική θέση του κοπτικού εργαλείου σε σχέση με το τεμάχιο. Όλη αυτή η διαδικασία, η οποία παράγει την κοπή, περιγράφεται από τον προγραμματιστή της εργαλειομηχανής μέσω μίας συμβολικής ακολουθίας γραμμάτων και αριθμών, που είναι το πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης. Το πρόγραμμα αυτό έχει ως βασικό σκοπό την περιγραφή των κινήσεων που πρέπει να γίνουν, ώστε να παραχθεί η γεωμετρία του τεμαχίου. Ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής είναι μία εύκολη σχετικά διαδικασία για ένα έμπειρο χειριστή. Όμως η μετατροπή των εντολών του προγράμματος καθοδήγησης σε κινήσεις του εργαλείου ή του τεμαχίου δεν είναι απλή διαδικασία. Αντίθετα, απαιτεί την εκτέλεση ενός μεγάλου όγκου αριθμητικών υπολογισμών, που ευτυχώς γίνονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Μάλιστα, όσο πιο πολύπλοκη είναι η γεωμετρία του κατεργαζόμενου τεμαχίου, τόσο πιο μεγάλος είναι ο φόρτος εργασίας της κεντρικής μονάδας ελέγχου.

Αυτή η πολύπλοκη υπολογιστική εργασία του ηλεκτρονικού υπολογιστή της εργαλειομηχανής, δε γίνεται αντιληπτή από το χειριστή της, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επίσης, ο χειριστής δεν έχει τη δυνατότητα επέμβασης σε αυτή τη διαδικασία, αφού αυτή ξεπερνάει κατά εκατομμύρια φορές την ταχύτητα της ανθρώπινης σκέψης. Παρ' όλα αυτά, για πληροφοριακούς σκοπούς, στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν μερικές βασικές αρχές του ελέγχου θέσης, δηλαδή του τρόπου, με τον οποίο οι εντολές του προγραμματιστή μετατρέπονται σε μετατοπίσεις των αξόνων κατεργασίας. Οι πρώτες γενιές εργαλειομηχανών NC είχαν περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου θέσης, άρα και δυνατοτήτων κατεργασίας. Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των υπολογιστών και των μηχανικών διατάξεων, ώθησε την ανάπτυξη μηχανών με πιο σύνθετο έλεγχο θέσης και επέτρεψε τη δυνατότητα συνθετότερων κινήσεων κατεργασίας.

Για να αντιληφθεί κανείς πόσο δύσκολη εργασία είναι ο ταυτόχρονος έλεγχος κινήσεων, έστω και δύο μόνο, δεν έχει παρά να κάνει ένα απλό πείραμα. Να τοποθετήσει και τις δύο παλάμες του πάνω σε ένα τραπέζι και να χτυπάει το ένα χέρι πάνω σε αυτό, ενώ το άλλο να κινείται στην επιφάνεια του. Ενώ η κάθε μία κίνηση ξεχωριστά γίνεται με πολύ εύκολο τρόπο από οποιονδήποτε άνθρωπο, η ταυτόχρονη κίνηση είναι πολλαπλάσια πιο δύσκολη υπόθεση. Και να σκεφτεί κανείς ότι η πιο σύνθετη και εξελιγμένη μηχανή δεν μπορεί να συγκριθεί με την τελειότητα της λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος.

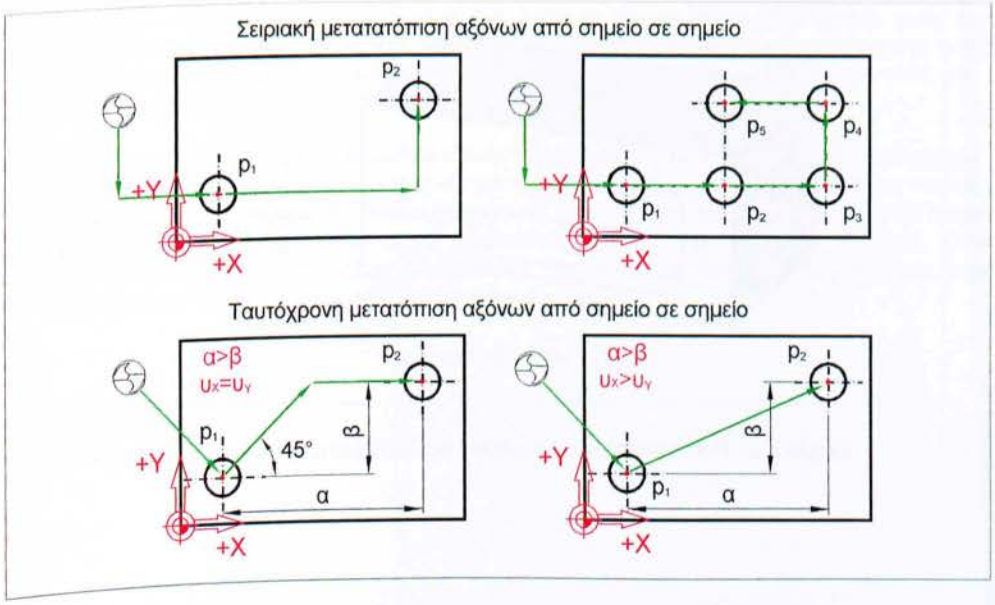
2. Έλεγχος από σημείο σε σημείο (Σημειακή καθοδήγηση)

Στο σύστημα αυτό το κοπτικό εργαλείο κινείται με ταυτόχρονη ενεργοποίηση όλων των αξόνων κατεργασίας, ώστε κάθε άξονας να φθάσει στην προγραμματισμένη θέση. Κατά τη μετατόπιση από σημείο σε σημείο το κοπτικό εργαλείο δεν έχει επαφή με το τεμάχιο κατεργασίας. Η κατεργασία κοπής ξεκινάει μόνο, όταν το εργαλείο φτάσει στο προγραμματισμένο σημείο. Παράδειγμα κατεργασίας με έλεγχο από σημείο σε σημείο (point to point positioning system), παρουσιάζεται στο σχήμα Ζ.1. Το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται προς την πρώτη θέση κατεργασίας, εκτελεί την κατεργασία και κατόπιν μετατοπίζεται διαδοχικά στις επόμενες θέσεις κατεργασίας.



Σχήμα Ζ.1 : Πορεία κοπτικού εργαλείου σε σύστημα ελέγχου από σημείο σε σημείο

Κατά την καθοδήγηση με αυτή τη μέθοδο, κάθε άξονας κίνησης του εργαλείου ελέγχεται ανεξάρτητα. Για το λόγο αυτό, σε περίπτωση εκτέλεσης διαγώνιων μετακινήσεων, υπάρχουν δύο δυνατότητες εκτέλεσής τους, που ονομάζονται σειριακή και ταυτόχρονη αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα Ζ.2.



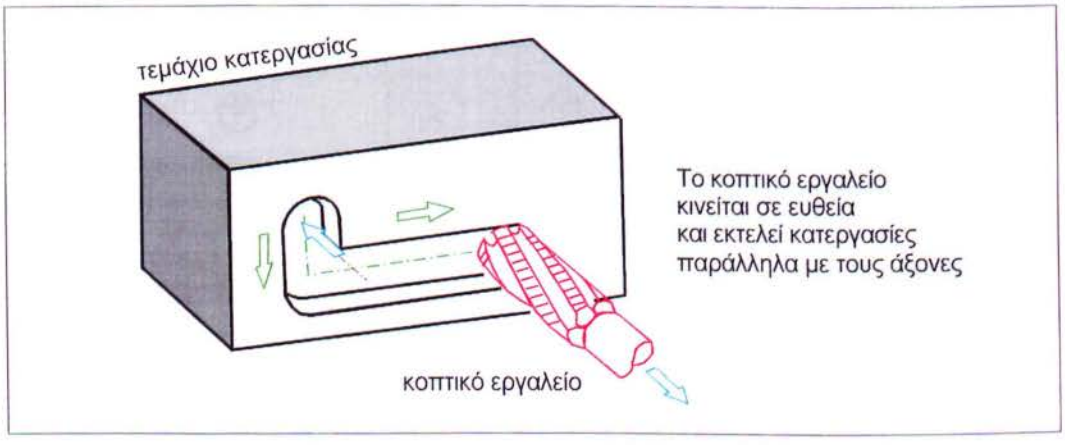
Σχήμα Ζ.2 : Σειριακή και ταυτόχρονη μετατόπιση από σημείο σε σημείο

Εάν η μετατόπιση των αξόνων είναι σειριακή, τότε το εργαλείο θα μετακινηθεί κατά ένα άξονα σε ορθογώνια τροχιά και μόλις ολοκληρώσει αυτήν την κίνηση, θα μετακινηθεί διαδοχικά στους επόμενους άξονες. Το ποιος άξονας θα μετακινηθεί πρώτος το αποφασίζει το σύστημα ελέγχου. Στην περίπτωση ταυτόχρονης μετατόπισης οι άξονες μετακινούνται παράλληλα έτσι, ώστε το εργαλείο να εκτελέσει διαγώνια τροχιά. Εάν οι κινητήρες των αξόνων κινούνται με την ίδια ταχύτητα, η γωνία της κίνησης είναι 45°. Έτσι, το εργαλείο συμπληρώνει τη μικρότερη διάσταση κίνησης και μετά κινείται παράλληλα προς τον άξονα, κατά τον οποίο η μετατόπιση είχε μεγαλύτερο μήκος.

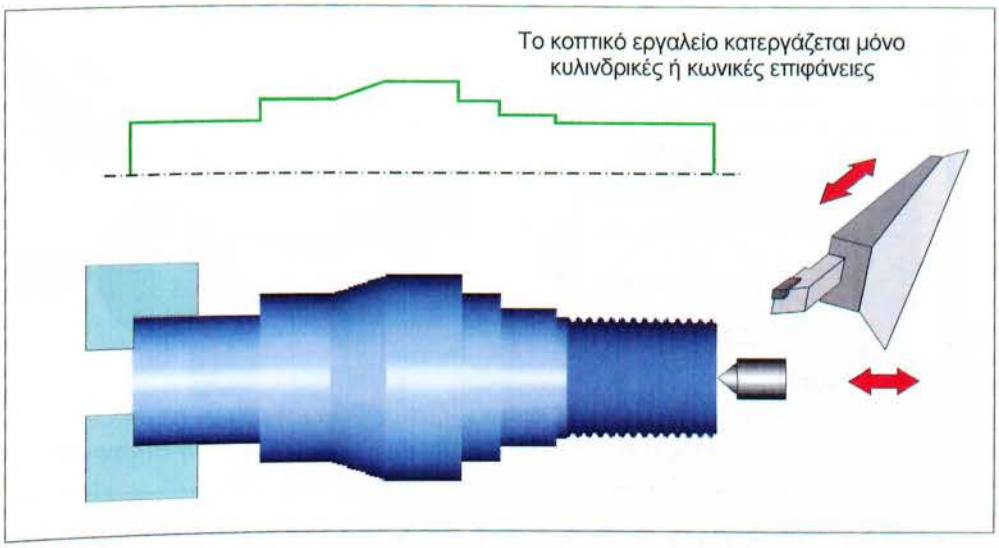
Αυτή η τεχνική ελέγχου είναι απλή και έχει μικρό κόστος κατασκευής, τόσο σε σχέση με τα μηχανικά όσο και τα ηλεκτρονικά μέρη της εργαλειομηχανής. Όμως, μπορεί να βρει περιορισμένο αριθμό εφαρμογών, όπως για παράδειγμα σε μηχανές διάτρησης, βηματικής απότμησης κ.λπ.. Στο σύστημα αυτό ελέγχου θέσης ενσωματώνονται επίσης και άλλες διαδικασίες ελέγχου, όπως είναι η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων, η ενεργοποίηση της ατράκτου και η έναρξη τροφοδοσίας σε λιπαντικό.

3. Έλεγχος ευθύγραμμης κοπής (Καθοδήγηση σε κύριους άξονες)

Στον έλεγχο ευθύγραμμης κοπής οι άξονες καθοδηγούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην περίπτωση ελέγχου από σημείο σε σημείο, με τη διαφορά ότι κατά τη διάρκεια της μετατόπισης το εργαλείο εκτελεί κοπή. Στην περίπτωση αυτή ο κάθε άξονας μπορεί να κινείται με διαφορετική ταχύτητα, ώστε να είναι δυνατή η καθοδήγηση σε οποιαδήποτε διαγώνια τροχιά. Η αρχή αυτή καθοδήγησης φαίνεται στο σχήμα Ζ.3. Στην περίπτωση κατεργασίας τορναρίσματος, η μέθοδος αυτή μπορεί να παράγει κυλινδρικές και κωνικές επιφάνειες εκ περιστροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα Ζ.4. Υπάρχει και η απλουστευμένη εκδοχή του συστήματος αυτού, κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο μπορεί να εκτελέσει διαγώνια κατεργασία σε κλίση μόνο 45°. Η μέθοδος ελέγχου ευθύγραμμης κοπής έχει δυσανάλογο κόστος σε σχέση με τις δυνατότητες κατεργασίας που προσφέρει και δεν εφαρμόζεται σε σύγχρονες εργαλειομηχανές.



Σχήμα Ζ.3 : Πορεία κοπτικού εργαλείου σε σύστημα ελέγχου ευθύγραμμης κοπής

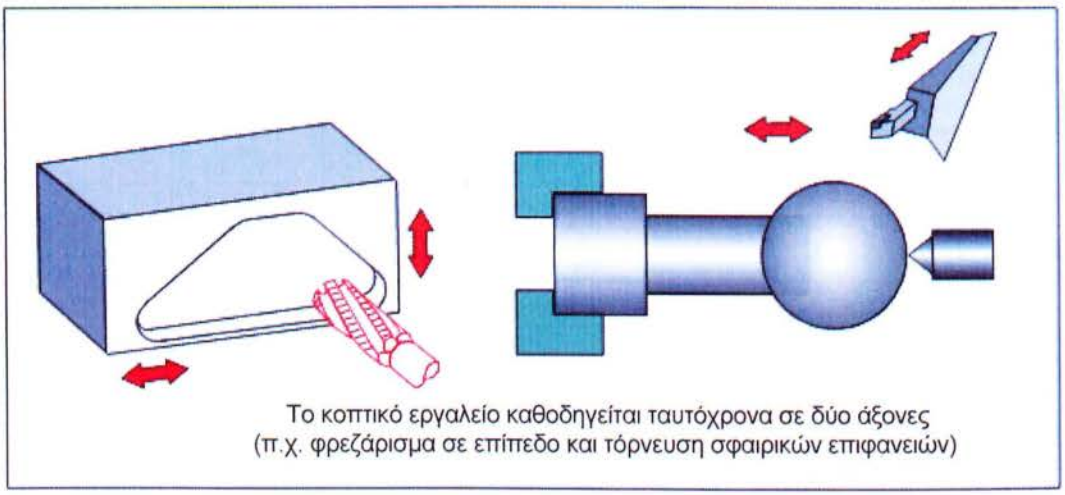


Σχήμα Ζ.4 : Δυνατότητες κατεργασίας σε τόρνο με σύστημα ελέγχου ευθύγραμμης κοπής

4. Έλεγχος συνεχούς κοπής σε δύο ή περισσότερους άξονες (Τροχιακή καθοδήγηση)

Τα συστήματα ελέγχου συνεχούς κοπής (continuous path control systems) είναι τα πιο σύγχρονα και ευέλικτα, αλλά και τα πιο πολύπλοκα. Ονομάζονται επίσης συστήματα τροχιακής καθοδήγησης (contouring systems) και προσφέρουν την ακριβή μεταφορά του κοπτικού εργαλείου σε οποιοδήποτε σημείο στο επίπεδο ή στο χώρο. Αυτό γίνεται, επειδή όλοι οι άξονες κατεργασίας καθοδηγούνται συνεχώς με ακρίβεια, ανεξάρτητα, αλλά σε πλήρη συντονισμό μεταξύ τους. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με τη χρήση των παρεμβολέων, που θα περιγραφούν στην επόμενη παράγραφο. Ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων που συμμετέχουν στην κατεργασία, τα συστήματα συνεχούς κοπής χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Τα συστήματα συνεχούς κοπής σε δύο άξονες κατεργασίας, που παρουσιάζονται στο σχήμα Ζ.5 για τις κατεργασίες τορναρίσματος και φρεζαρίσματος. Στην περίπτωση αυτή το κοπτικό εργαλείο μπορεί να μετακινηθεί, ακολουθώντας μία οποιαδήποτε τροχιά στο επίπεδο. Η τροχιά αυτή μπορεί να περιέχει ευθύγραμμα, κυκλικά και συνθετότερα καμπύλα τμήματα. Στην περίπτωση κατεργασιών τόρνευσης, μπορούν να παραχθούν επιφάνειες εκ περιστροφής, που περιλαμβάνουν σφαιρικούς ή συνθετότερους ακόμα τομείς.



Το κοπτικό εργαλείο καθοδηγείται ταυτόχρονα σε δύο άξονες
(π.χ. φρεζάρισμα σε επίπεδο και τόρνευση σφαιρικών επιφανειών)

Σχήμα Ζ.5 : Δυνατότητες κατεργασίας σε φρέζα και τόρνο με σύστημα ελέγχου συνεχούς κοπής σε δύο άξονες κατεργασίας

- Τα συστήματα συνεχούς κοπής σε τρεις ή περισσότερους άξονες. Τυπική περίπτωση ελέγχου συνεχούς κοπής σε τρεις άξονες κατεργασίας φαίνεται στο σχήμα Ζ.6 για κατεργασία φρεζαρίσματος σύνθετης επιφάνειας. Στην περίπτωση αυτή, ανάλογα και με τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται, μπορούν να κατεργαστούν πολύ σύνθετες επιφάνειες και να παραχθούν πολύπλοκα τεμάχια. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν τα πτερύγια των αεροστροβίλων, οι ανάγλυφες επιφάνειες κ.λπ..

Σχήμα Ζ.6 : Δυνατότητες κατεργασίας σε φρέζα με σύστημα ελέγχου συνεχούς κοπής σε τρεις άξονες κατεργασίας

5. Τύποι παρεμβολών

Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς ή τοποθέτησης του κοπτικού εργαλείου στην επιθυμητή θέση, οι κατάλληλοι άξονες κατεργασίας κινούνται ταυτόχρονα, μέχρι καθένας από αυτούς να φτάσει στον

προορισμό του. Όλοι οι άξονες ξεκινούν ταυτόχρονα την κίνησή τους αμέσως μόλις ενεργοποιηθούν από την εκτέλεση ενός προγράμματος καθοδήγησης. Στο σχήμα Ζ.7 φαίνεται τι μπορεί να γίνει, προκειμένου να επιτευχθεί μία ευθύγραμμη τροχιά στο επίπεδο, χρησιμοποιώντας δύο ανεξάρτητους άξονες κατεργασίας (X,Y). Ανά πάσα στιγμή κάθε άξονας κινείται αυτόνομα και το αποτέλεσμα είναι η πραγματική τροχιά του κοπτικού εργαλείου να αποκλίνει από λίγο έως πολύ από την επιθυμητή τροχιά.

Σχήμα Ζ.7 : Αδυναμία επίτευξης της επιθυμητής τροχιάς χωρίς συντονισμό της κίνησης των αξόνων κατεργασίας

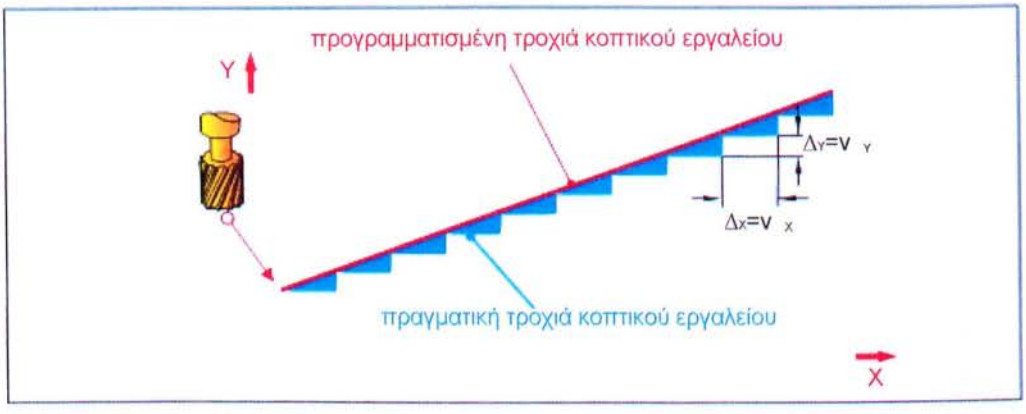
Για τους παραπάνω λόγους, απαιτείται ο συντονισμός της κίνησης όλων των αξόνων κατεργασίας, ώστε η προγραμματισμένη τροχιά να εκτελείται χωρίς αποκλίσεις. Ο συντονισμός αυτός επιτυγχάνεται από μία ηλεκτρονική συσκευή (ολοκληρωμένο κύκλωμα), που ενσωματώνεται στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής (MCU) και ονομάζεται παρεμβολέας (interpolator). Με τη χρήση του παρεμβολέα είναι βέβαιο ότι η προγραμματισμένη τροχιά διατηρείται σταθερά από την αρχή έως το τέλος της μετατόπισης.

Υπάρχουν πολλά είδη παρεμβολέων, που ενσωματώνονται πάνω στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές. Οι διαφορές τους προέρχονται κυρίως από το είδος των κινήσεων, που μπορούν να συντονίσουν και με την ακρίβεια τους. Είναι προφανές ότι ένας τόρνος ψηφιακής καθοδήγησης έχει μικρότερες απαιτήσεις παρεμβολής από ότι ένα κέντρο κατεργασίας πέντε αξόνων. Οι κατηγορίες όμως των παρεμβολέων βασίζονται στη μαθηματική προσέγγιση, που ακολουθούν, προκειμένου να επιτύχουν τις μετατοπίσεις, όπως θα περιγραφεί στις αμέσως επόμενες παραγράφους. Για να είναι ευκολότερη η περιγραφή, θεωρείται και εδώ ότι όλες τις κινήσεις τις εκτελεί το κοπτικό εργαλείο και όχι το τεμάχιο.

5.1 Γραμμική παρεμβολή

Με τη γραμμική παρεμβολή ο άξονας της ατράκτου κινείται με στοιχειώδεις ορθογώνιες κινήσεις από την αρχή έως το τέλος της διαδρομής (βλ. σχήμα Ζ.8). Στην πραγματικότητα, η προγραμματιζόμενη ευθύγραμμη τροχιά διαιρείται σε ένα μεγάλο αριθμό ευθειών μικρού μήκους. Όσο περισσότερες είναι οι ευθείες αυτές, τόσο πιο πολύ προσεγγίζει η πραγματική τροχιά του εργαλείου την αντίστοιχη επιθυμητή. Θεωρητικά, όλοι οι άξονες κατεργασίας είναι δυνατό να καθοδηγηθούν με γραμμική παρεμβολή. Έτσι, με τη χρήση γραμμικού παρεμβολέα, η μετακίνηση από μία θέση σε μία άλλη στο χώρο μπορεί να γίνει με ευκολία και με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η κατεργασία οποιασδήποτε επιφάνειας στο χώρο ή προφίλ στο επίπεδο.

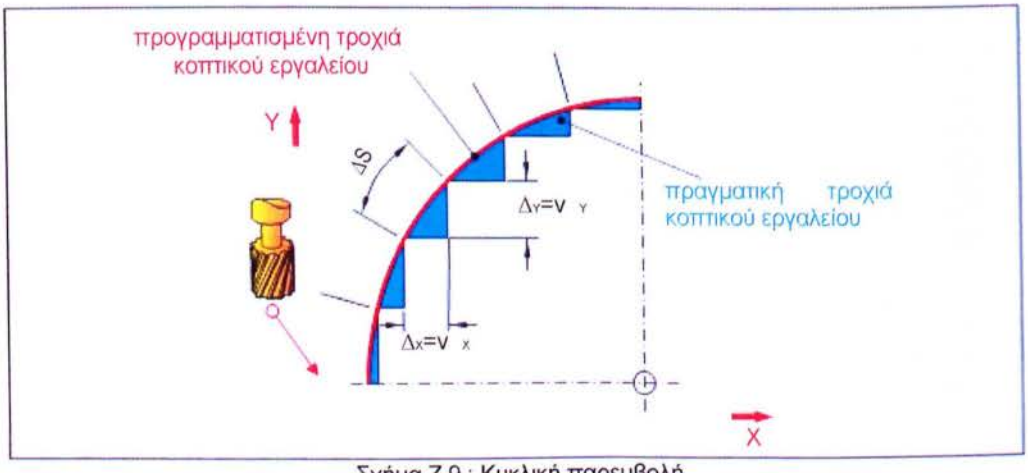
Όταν όμως απαιτείται πολύ καλή προσέγγιση για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης τροχιάς, ο αριθμός των ενδιάμεσων σημείων που πρέπει να καθορισθούν, οδηγεί σε ένα πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων υπολογισμού στον παρεμβολέα. Για το λόγο αυτό, παρά την αρχική μεγάλη διάδοση του γραμμικού παρεμβολέα στην ψηφιακή καθοδήγηση, σήμερα έχει αντικατασταθεί από πιο αποδοτικούς.



Σχήμα Z.8 : Γραμμική παρεμβολή

5.2 Κυκλική παρεμβολή

Αυτός ο τύπος της παρεμβολής περιορίζεται στο κύριο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση παρεμβολής είναι αδύνατη η συμμετοχή περιστροφικού άξονα κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης, για παρεμβολή στο χώρο, που απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση τριών ή περισσότερων αξόνων κατεργασίας, αυτός ο τρόπος παρεμβολής δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Όταν όμως σε κάποια τροχιά του κοπτικού εργαλείου, που ανήκει εντελώς σε κάποιο από τα επίπεδα XY, XZ ή YZ, περιέχονται κύκλοι, ημικύκλια ή τόξα, η παρεμβολή είναι κατά πολύ ευκολότερη. Μάλιστα, για την περιγραφή της κίνησης απαιτούνται μόνον οι συντεταγμένες των άκρων του τόξου, η ακτίνα του και το κέντρο. Όλα τα ενδιάμεσα σημεία μετακίνησης του κοπτικού εργαλείου περιγράφονται από τις εξισώσεις της κυκλικής παρεμβολής, που βασίζεται σε γεωμετρικές σχέσεις (βλ. σχήμα Z.9).



Σχήμα Z.9 : Κυκλική παρεμβολή

5.3 Παρεμβολές ανώτερου βαθμού

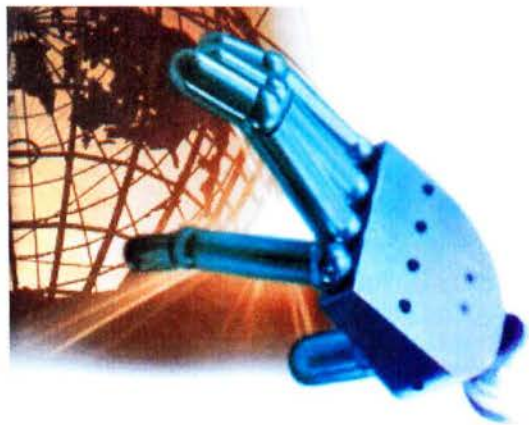
Εκτός από τις απλές γραμμικές και κυκλικές παρεμβολές, υπάρχουν και άλλοι τύποι ακόμα πιο σύνθετων παρεμβολών. Οι μέθοδοι αυτοί εξελίχθηκαν, για να μπορέσουν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες των σύγχρονων εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση. Έτσι, οι πολυαξονικές κατεργασίες μπορούν πλέον να καθοδηγηθούν με πιο προηγμένες υπολογιστικές διαδικασίες, που βασίζονται σε πιο σύνθετες εξισώσεις από αυτές του κύκλου και της ευθείας. Οι παρεμβολές αυτές είναι η παραβολική, η ελικοειδής, η κυλινδρική, η τύπου spline και η τύπου nurbs. Τα σύγχρονα κέντρα κατεργασίας ενσωματώνουν κάποιες από αυτές ή και όλες. Δεν θα περιγραφούν όμως περισσότερο, διότι απαιτούν τη χρήση σύνθετων μαθηματικών εξισώσεων, που δεν είναι στους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

Ανακεφαλαίωση

Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές έχουν εντυπωσιακές παραγωγικές ικανότητες και μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν στην κατεργασία σύνθετων γεωμετρικών μορφών. Οι δυνατότητες αυτές δεν είναι δυνατό να παρακολουθηθούν και να ελεγχθούν από το χειριστή των εργαλειομηχανών, αφού τόσο ο όγκος των υπολογισμών, όσο και η ταχύτητα με την οποία εκτελείται η κατεργασία, υπερβαίνουν τα όρια των ανθρώπινων αισθήσεων. Παρ' όλα αυτά, οι κινήσεις των αξόνων κατεργασίας δεν είναι ανεξέλεγκτες αλλά συνεχώς παρακολουθούνται από τα συστήματα ελέγχου θέσης των εργαλειομηχανών. Υπάρχουν διάφορα τέτοια συστήματα και ανάλογα με την πολυπλοκότητα τους μπορούν να παρακολουθήσουν αντίστοιχα την εξέλιξη σύνθετων κινήσεων των αξόνων κατεργασίας. Φυσικά, οι απαιτήσεις των συστημάτων ελέγχου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της κατεργασίας, αφού για παράδειγμα άλλες απαιτήσεις έχει το πολυαξονικό φρεζάρισμα και άλλες ένας απλός κύκλος διάτρησης.

Τέλος, η ακρίβεια των κινήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις στοιχειώδεις μετατοπίσεις του κάθε άξονα κατεργασίας, που τελικά συνθέτουν τη συνολική κίνηση του κοπτικού εργαλείου ως προς το τεμάχιο. Μεγάλη επίδραση σε αυτήν την παράμετρο έχει το είδος του παρεμβολέα, που ενσωματώνει η κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Υπάρχουν διάφοροι τέτοιοι τύποι απλών ή σύνθετων παρεμβολών, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις προδιαγραφές των εργαλειομηχανών.

Η. Αυτοματισμοί στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης



Στο τέλος της μελέτης του όγδοου κεφαλαίου ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

- Τι προσπαθούν να πετύχουν οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών αυξάνοντας το βαθμό αυτοματοποίησής τους.
- Σε ποιες κατηγορίες ταξινομούνται τα συστήματα αυτόματης αλλαγής εργαλείων σε τόρνους, φρέζες και κέντρα κατεργασίας.
- Τι είναι τα συστήματα αυτόματης τροφοδοσίας πρώτων υλών και ποια είναι τα οφέλη από τη χρήση τους.
- Τι ονομάζονται παλέτες συγκράτησης κατεργαζόμενων τεμαχίων και με ποιες αρχές σχεδιάζονται.

1. Σημασία των αυτοματισμών σε μία εργαλειομηχανή

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση είναι, όπως αναφέρθηκε, συστήματα, στα οποία εφαρμόζονται όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες των μηχανικών διατάξεων. Έτσι, ακολουθούν και αυτές τη διαρκή τάση περισσότερης αυτοματοποίησης στη λειτουργία τους, απαιτώντας με αυτόν τον τρόπο συνεχώς μικρότερο ποσοστό συμμετοχής του χειριστή τους. Τα οφέλη από αυτή την συνεχόμενη εξέλιξη είναι, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, πολύ σημαντικά και σχετίζονται κυρίως με την αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των τεμαχίων που παράγονται. Ενώ το κόστος των εργαλειομηχανών με μεγάλο βαθμό αυτοματοποίησης των λειτουργιών τους είναι πολύ μεγάλο, τα σύγχρονα μηχανουργεία είναι διατεθειμένα να το πληρώσουν. Και αυτό συμβαίνει, διότι το κόστος της αρχικής επένδυσης σύντομα καλύπτεται και υπερκαλύπτεται από τη λειτουργία της μηχανής, εφόσον φυσικά χρησιμοποιούνται οι αυτοματισμοί της.

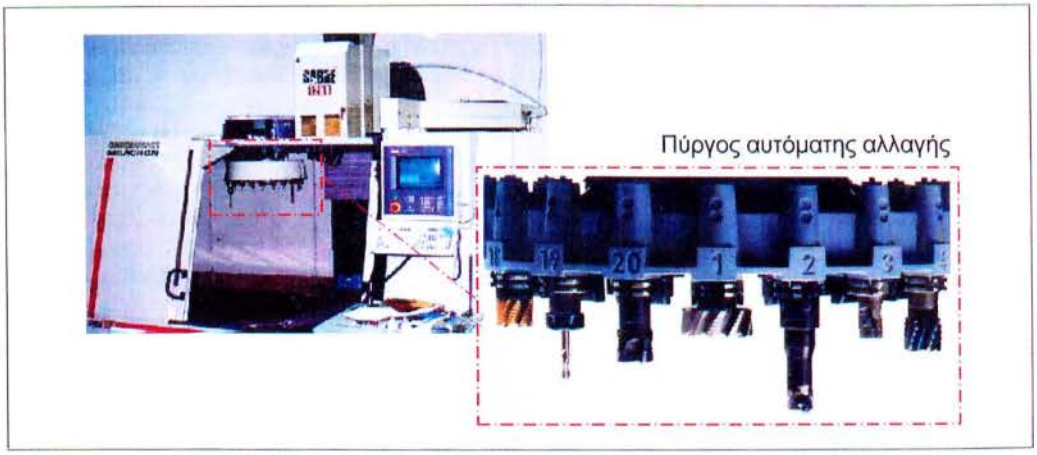
Όπως θα φανεί στις επόμενες παραγράφους, οι αυτοματισμοί αντικαθιστούν παραδοσιακές εργασίες τεχνιτών, που απαιτούσαν οι πρώτες γενιές των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση. Τέτοιες εργασίες είναι η αυτόματη αλλαγή κοπτικών εργαλείων, η αυτόματη τροφοδοσία πρώτης ύλης και τα συστήματα συγκράτησης και εναλλαγής τεμαχίων. Οι εργασίες αυτές, που αποτελούν νεκρούς χρόνους των εργαλειομηχανών, γίνονται πλέον με εντυπωσιακή ταχύτητα σε σχέση με το πρόσφατο παρελθόν. Όμως το σπουδαιότερο είναι ότι οι λειτουργίες αυτές γίνονται με μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ επιτρέπουν στις εργαλειομηχανές να ενταχθούν σε σύγχρονες παραγωγικές δομές, όπως τα συστήματα FMS.

2. Συστήματα αυτόματης αλλαγής εργαλείων

Όπως περιγράφηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης που ενσωματώνουν συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων, ονομάζονται γενικά κέντρα κατεργασίας. Τα συστήματα αυτά λύνουν πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την αλλαγή και τη διαχείριση των κοπτικών εργαλείων. Μάλιστα, πρέπει να αναφερθεί ότι συστήματα μηχανικής εναλλαγής κοπτικών εργαλείων υπήρχαν ήδη, από την εποχή που δεν είχαν ακόμα εισαχθεί οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση. Έτσι, ήταν αρκετά συνηθισμένο να βλέπει κανείς τόρνους και εργαλειομηχανές διάτρησης με μηχανικά συστήματα εναλλαγής, έως και οκτώ εργαλείων.

2.1 Τύποι εργαλειοφορείων αυτόματης αλλαγής εργαλείων

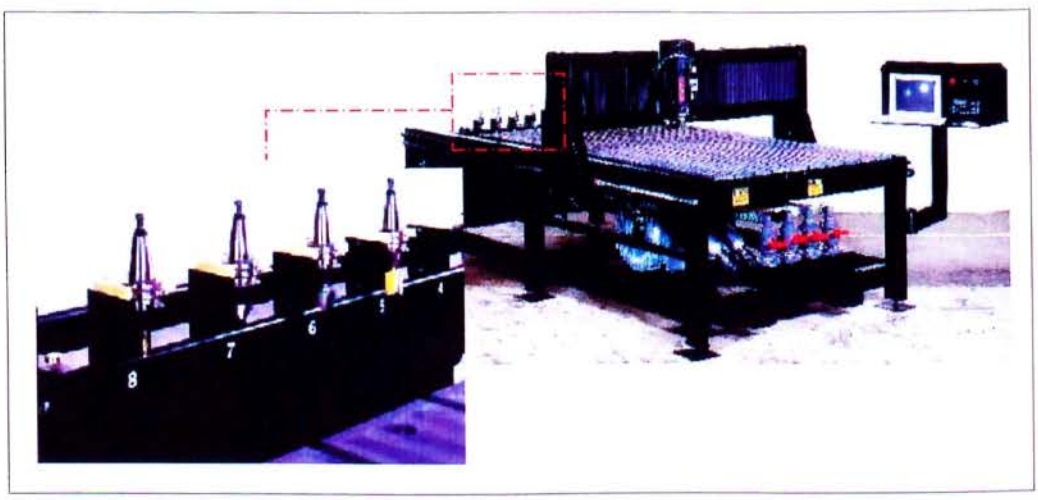
Τα συστήματα αυτόματης αλλαγής εργαλείων στις σημερινές εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου MCU, σύμφωνα με τις οδηγίες του προγράμματος ελέγχου. Τα εργαλεία αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμα από τους πύργους εργαλείων (tool turrets), που στην απλούστερη μορφή τους περιέχουν έως 20 κοπτικά εργαλεία (βλ. σχήμα Η.1).



Σχήμα Η.1 : Πύργος αυτόματης αλλαγής είκοσι κοπτικών εργαλείων κέντρου κατεργασίας φρεζαρίσματος (turret)

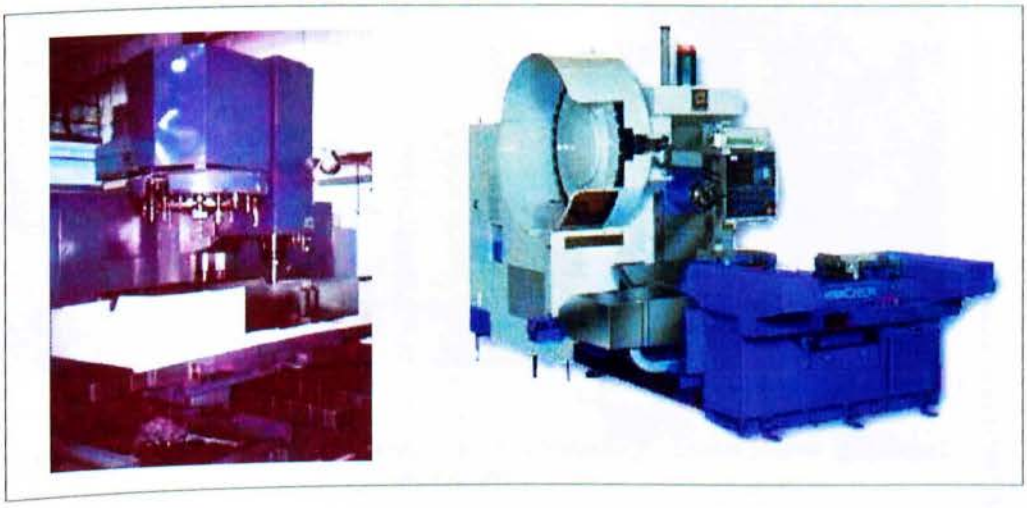
Όμως, σε αρκετές περιπτώσεις, οι σημερινές απαιτήσεις ενός κέντρου κατεργασίας εμπλέκουν πολύ περισσότερα κοπτικά εργαλεία, πολλές φορές και πάνω από 200. Στην περίπτωση αυτή, για να είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία κοπτικών εργαλείων, διάφοροι φορείς έχουν αναπτυχθεί με κυριότερους :

- Τους επιμήκεις φορείς, στους οποίους τα εργαλεία είναι τοποθετημένα σε μία γραμμική τοποθέτηση μέσα στο σύστημα εναλλαγής (βλ. σχήμα Η.2). Πρόκειται για την πιο απλή διάταξη αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων αλλά, σε περίπτωση μεγάλου αριθμού εργαλείων, υπάρχουν περιορισμοί στο μήκος του συστήματος. Επίσης, η εύρεση του κάθε κοπτικού εργαλείου είναι υπόθεση μόνο μίας διάστασης, δηλαδή του μήκους του συστήματος.



Σχήμα Η.2 : Επιμήκης φορέας αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων κέντρου κατεργασίας φρεζαρίσματος

- Τους δισκοειδείς φορείς, οι οποίοι, ανάλογα με το είδος και το σχεδιασμό της εργαλειομηχανής, μπορεί να τοποθετούνται μπροστά, πίσω ή και πλευρικά της κύριας ατράκτου κατεργασίας (βλ. σχήμα Η.3). Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίσης τύπου ρεβόλβερ. Πρόκειται για σχετικά απλή διάταξη αλλά, όσο μεγαλώνει ο αριθμός των κοπτικών εργαλείων, τόσο αυξάνει και η διάμετρος του δίσκου. Η εύρεση κάθε κοπτικού εργαλείου είναι συνάρτηση της γωνίας περιστροφής του δίσκου.

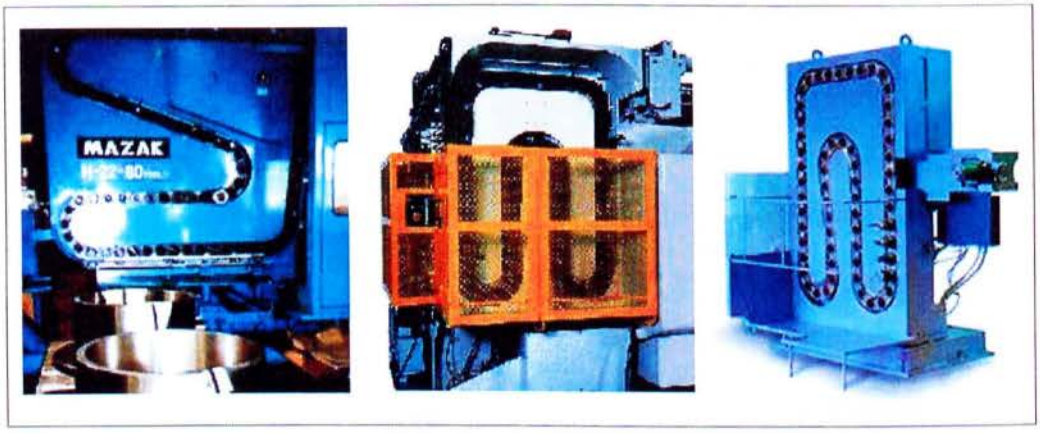


Σχήμα Η.3 : Δισκοειδείς φορείς αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων (σύστημα ρεβόλβερ)

- Τους φορείς τύπου καρουσέλ, στους οποίους τα εργαλεία είναι σε κάποια απόσταση από τον ορθοστάτη της ατράκτου (βλ. σχήμα Η.4). Με τον τρόπο αυτόν, οι κραδασμοί από την κίνηση του εργαλειοφορείου δεν επηρεάζουν την ποιότητα κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Επειδή τα κοπτικά εργαλεία εκτείνονται έξω από το φορέα, η εργαλειομηχανή πρέπει να έχει τον απαιτούμενο χώρο, για να χωράει το εργαλειοφορείο.

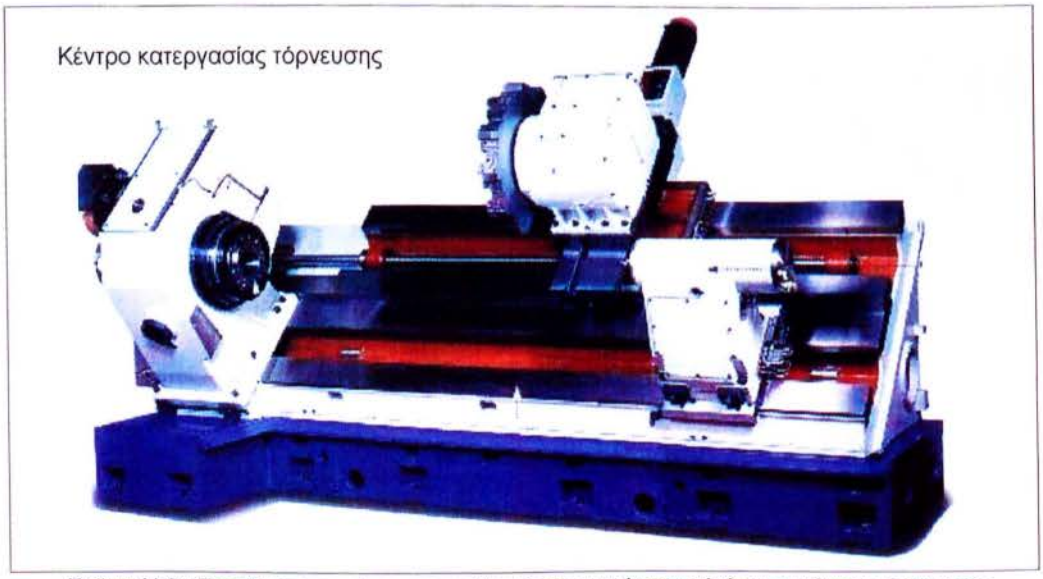
Σχήμα Η.4 : Φορέας αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων τύπου καρουσέλ

- Τους φορείς τύπου ιμάντα, οι οποίοι μάλιστα έχουν και τη μεγαλύτερη χωρητικότητα (βλ. σχήμα Η.5). Τοποθετούνται σε μία πλευρά ή πάνω στην εργαλειομηχανή και μπορούν να επιμηκυνθούν ανάλογα με τις συνθήκες και τον αριθμό των κοπτικών εργαλείων. Λόγω της κατασκευής τους μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα και με τον τρόπο αυτό διευκολύνουν τους σχεδιαστές των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση.



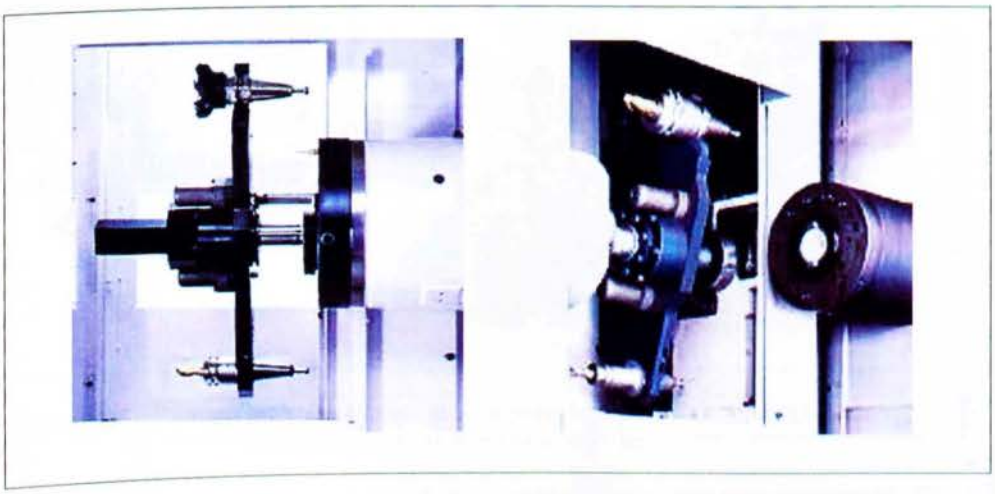
Σχήμα Η.5 : Φορείς αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων τύπου ιμάντα σε κέντρα κατεργασίας φρεζαρίσματος

Τα παραπάνω συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων τοποθετούνται επίσης σε κέντρα κατεργασίας τόρνευσης (βλ. σχήμα Η.6). Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται κατακόρυφα η παραγωγικότητα αυτών των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, αφού κατεργασίες, όπως η εκχόνδριση, η σπειρωτόμηση, η απότμηση, η διάνοιξη οπών κ.λπ., γίνονται χωρίς την παύση του προγράμματος κατεργασίας.



Σχήμα Η.6 : Συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων σε κέντρο τόρνευσης

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι με χρήση του βραχίονα με δύο άκρα (βλ. σχήμα Η.8). Αρχικά ο βραχίονας συλλέγει το επιθυμητό κοπτικό εργαλείο από το φορέα αποθήκευσης των εργαλείων και το τοποθετεί στο ένα άκρο του. Το άλλο άκρο παραλαμβάνει το κοπτικό εργαλείο από την άτρακτο ή το εργαλειοφορείο στην περίπτωση της τόρνευσης. Κατόπιν εκτελεί μία περιστροφική κίνηση 180° και φέρνει το νέο εργαλείο στη θέση πρόσδεσής του, ενώ το χρησιμοποιημένο εργαλείο τοποθετείται στο φορέα αποθήκευσης.

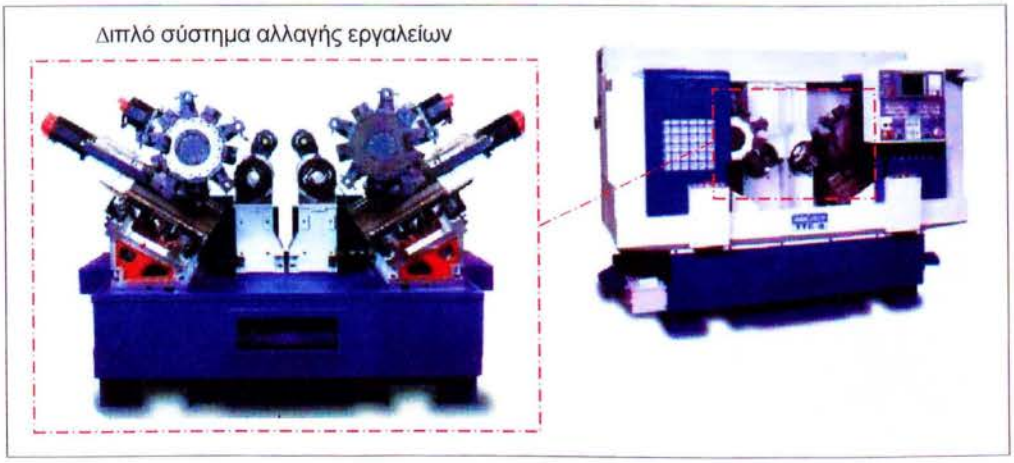


Σχήμα Η.8 : Απλοί μηχανισμοί αλλαγής κοπτικού εργαλείου με βραχίονα

Υπάρχουν επίσης και ανάλογοι μηχανισμοί, που όμως εκτελούν πιο σύνθετες κινήσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργαλειομηχανές περισσότερων αξόνων κατεργασίας (βλ. σχήμα Η.9). Επειδή η κίνηση αυτή δεν προγραμματίζεται κάθε φορά, ο βραχίονας αυτός δεν μπορεί να θεωρηθεί ως βιομηχανικό ρομπότ. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που ο μηχανισμός αλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι ένας πραγματικός ρομποτικός βραχίονας. Τέτοια παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στα ευέλικτα συστήματα παραγωγής FMS.

Σχήμα Η.9 : Σύνθετοι μηχανισμοί αλλαγής κοπτικού εργαλείου με βραχίονα

Σε περίπτωση κατεργασίας μεγάλων παρτίδων παραγωγής, είναι συνηθισμένη η χρήση τόρνων με δύο ατράκτους κατεργασίας. Στην περίπτωση αυτή, η κάθε άτρακτος εξυπηρετείται από το δικό της σύστημα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων (βλ. σχήμα Η.7).



Σχήμα Η.7: Κέντρα κατεργασίας τόρνευσης με δύο ατράκτους κατεργασίας και δύο συστήματα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων

2.2 Μηχανισμοί αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων

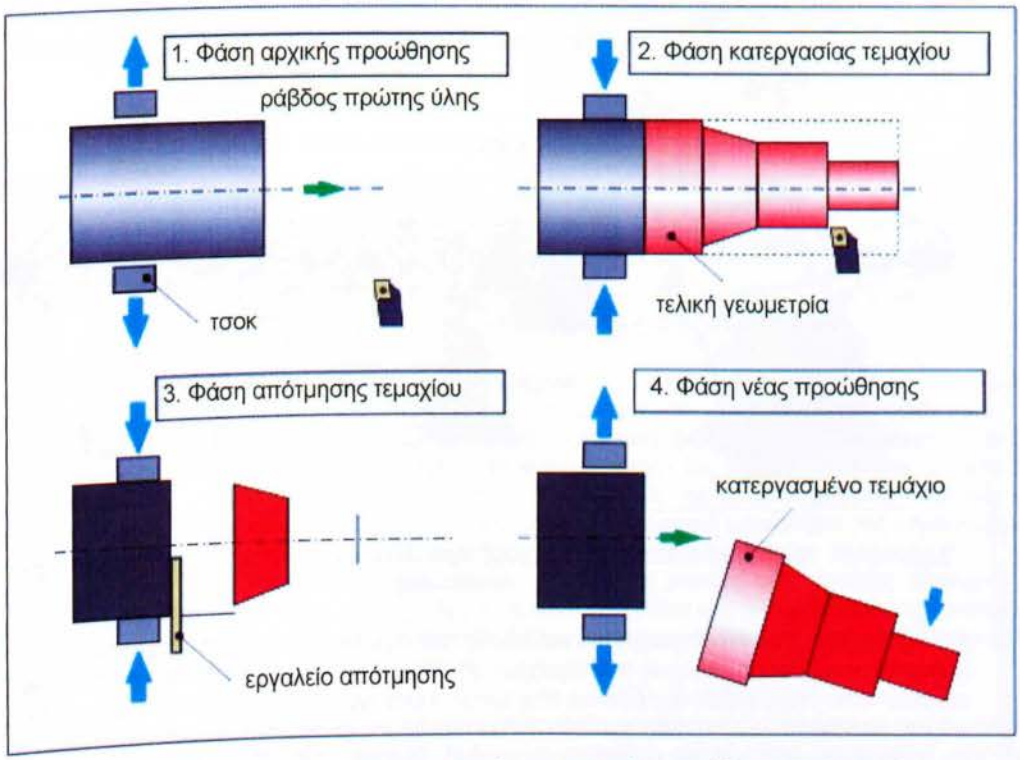
Τα εργαλεία εναλλάσσονται στην άτρακτο της εργαλειομηχανής με τη βοήθεια ειδικών μηχανισμών, οι οποίοι επίσης καθοδηγούνται από την κεντρική μονάδα ελέγχου MCU. Τόσο οι μηχανισμοί, όσο και οι φορείς των εργαλείων, μπορεί να αποτελούν τμήμα της εργαλειομηχανής ή να είναι ανεξάρτητα συστήματα, που συνεργάζονται με αυτήν. Στη δεύτερη περίπτωση ανήκουν φορείς και μηχανισμοί που ενσωματώνονται κυρίως σε ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS). Σε κάθε περίπτωση, τα συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι γρήγορα, ακριβή και αξιόπιστα. Η αυτόματη αυτή εναλλαγή των κοπτικών εργαλείων περιέχει γενικά τα ακόλουθα βήματα :

- Καθορισμός του επόμενου εργαλείου, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, και μετακίνηση του φορέα στη θέση εναλλαγής.
- Απασφάλιση και απομάκρυνση του χρησιμοποιημένου κοπτικού εργαλείου από την άτρακτο κοπής ή από το εργαλειοφορείο.
- Τοποθέτηση και ασφάλιση του νέου κοπτικού εργαλείου στην άτρακτο κοπής ή στο εργαλειοφορείο.
- Επαναφορά του χρησιμοποιημένου εργαλείου στην κατάλληλη θέση στο φορέα των κοπτικών εργαλείων.

Οι χρόνοι αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι κατά πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχους με χειροκίνητη αλλαγή. Παρόλα αυτά, δεν παύουν να αποτελούν νεκρούς χρόνους για τις εργαλειομηχανές και γι' αυτό να γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησής τους. Έτσι, από τα παραπάνω βήματα, το πρώτο και το τελευταίο πρέπει να εκτελούνται, όταν η εργαλειομηχανή είναι σε φάση κατεργασίας, όταν δηλαδή το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί υλικό από το κατεργαζόμενο τεμάχιο.

3. Συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης

Στην περίπτωση κατασκευής μεγάλου αριθμού τεμαχίων με κατεργασία τόρνευσης, το συνεχές δέσιμο των ακατέργαστων και το λύσιμο των κατεργασμένων τεμαχίων αποτελεί σημαντικό τμήμα των νεκρών χρόνων κατεργασίας. Η λύση στο πρόβλημα αυτό έχει δοθεί με την ανάπτυξη των συστημάτων συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης (bar feeders). Πρόκειται για διατάξεις που συνδέονται στο άκρο του τόρνου από την πλευρά της ατράκτου κατεργασίας και λειτουργούν ως εξής (βλ. σχήμα Η.10) :



Σχήμα Η.10 : Αρχή λειτουργίας συστημάτων συνεχούς προώθησης πρώτης ύλης

- Η πρώτη ύλη κατεργασίας έρχεται σε μορφή κυλινδρικών ράβδων μεγάλου μήκους και σε διάφορες διαμέτρους, ανάλογα με τη διάμετρο του τεμαχίου, που πρόκειται να κατασκευαστεί. Η μπάρα αυτή εισέρχεται στο σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας και στηρίζεται σε αυτό μέσω κατάλληλων εδράνων και ολισθητήρων.
- Η ράβδος προωθείται διαμέσου του τόρνου ψηφιακής καθοδήγησης, διαπερνά την κύρια άτρακτο και εκτείνεται από το άκρο του τσοκ λίγο περισσότερο από το μήκος του τελικού κατεργασμένου τεμαχίου. Στη συνέχεια, το τσοκ συσφίγγει τη ράβδο, εάν χρειαστεί, τοποθετείται πινόλη για αντιστήριξη και εκτελείται το πρόγραμμα κατεργασίας.
- Αφού ολοκληρωθούν όλες οι κατεργασίες και το τελικό προϊόν είναι πλέον έτοιμο αλλά παραμένει ως συνέχεια της ακατέργαστης ράβδου, επιλέγεται και τοποθετείται κοπτικό εργαλείο απότμησης και το τεμάχιο αποκόπτεται από την υπόλοιπη ακατέργαστη ράβδο.

Αφού αποσυσφιγχθεί το τσοκ, το σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας επαναπροωθεί την ακατέργαστη ράβδο και επαναλαμβάνεται ο κύκλος κατεργασιών. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, μέχρι να εξαντληθεί σε όλο της το μήκος η πρώτη ύλη, οπότε τοποθετείται νέα ράβδος.

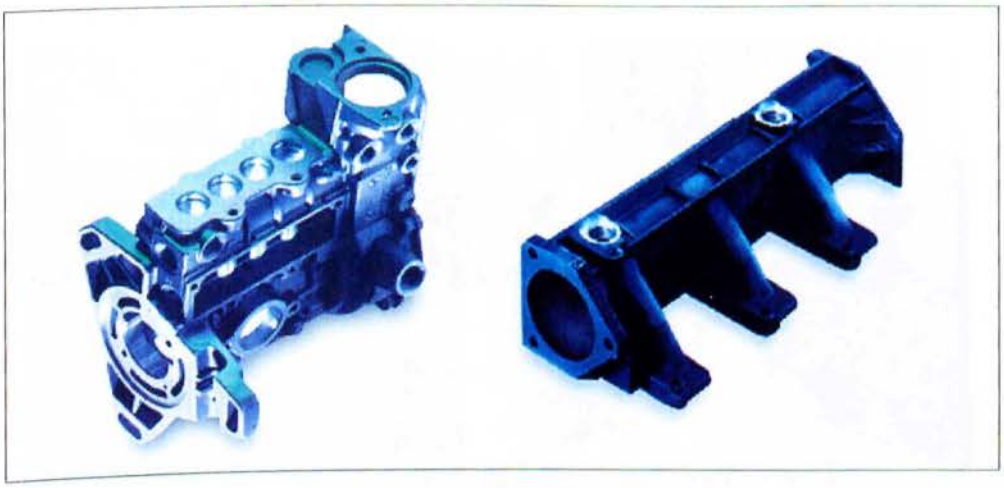
Είναι προφανές ότι τέτοια συστήματα δεν μπορούν να τοποθετηθούν εκ των υστέρων σε ένα τόρνο ψηφιακής καθοδήγησης, αφού η υποδομή σε μηχανικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι σημαντική. Έτσι, οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, συνήθως παράγουν εργαλειομηχανές με τέτοια υποδομή, ώστε οι πελάτες τους να μπορέσουν να τις αναβαθμίσουν μελλοντικά. Όλες οι παραπάνω λειτουργίες προγραμματίζονται στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης και εκτελούνται εντελώς αυτόματα. Τα σύγχρονα συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης έχουν ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες και μπορούν να διαχειριστούν περισσότερες από μία ράβδους με διάφορες διαμέτρους. Τέλος, επισημαίνεται ότι τα συστήματα αυτά απαιτούν για τη λειτουργία τους εργαλειομηχανές με συστήματα αυτόματης αλλαγής κοπτικού εργαλείου. Στο σχήμα Η.11 παρουσιάζονται σύγχρονα συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης.

Σχήμα Η.11 : Εμπορικά συστήματα συνεχούς προώθησης πρώτης ύλης για κέντρα κατεργασίας τόρνευσης

4. Συστήματα συγκράτησης και εναλλαγής των τεμαχίων στις εργαλειομηχανές.

Η σωστή συγκράτηση (δέσιμο) των τεμαχίων στις τράπεζες κατεργασίας είναι πολύ σημαντική εργασία τόσο στις συμβατικές, όσο και στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση. Μάλιστα, στην περίπτωση των εργαλειομηχανών CNC οι απαιτήσεις ακρίβειας επιβάλλουν μία πολύ ισχυρή και στιβαρή συγκράτηση του τεμαχίου στη μηχανή. Σε αντίθετη περίπτωση, εξαιτίας των μεγάλων ταχυτήτων κοπής και, κατά συνέπεια, των δυνάμεων κοπής που αναπτύσσονται, ελλοχεύουν κίνδυνοι ασφάλειας των χειριστών και της εγκατάστασης, καταστροφής του τεμαχίου και πρόωρης φθοράς του κοπτικού εργαλείου.

Στην περίπτωση της τόρνευσης η συγκράτηση είναι σχετικά απλή, αφού εξασφαλίζεται με σωστή σύσφιγξη στο τσοκ, ενώ, ανάλογα με το μήκος του τεμαχίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντιστήριξη ή ενδιάμεση στήριξη. Στην περίπτωση όμως κατεργασίας σε φρέζα η συγκράτηση του τεμαχίου είναι αρκετά πιο δύσκολη υπόθεση. Αυτό οφείλεται κυρίως στη γεωμετρική ποικιλία των σωμάτων, που κατασκευάζονται με κατεργασίες φρεζαρίσματος (βλ. σχήμα Η.12). Το πιο δύσκολο πρόβλημα που πρέπει να λυθεί στις εφαρμογές φρεζαρίσματος, είναι η συγκράτηση των τεμαχίων με όσο το δυνατό απλούστερο, γρηγορότερο και φθηνότερο τρόπο. Ο λόγος είναι ότι, σε πολλές περιπτώσεις κατεργασίας σύνθετων τεμαχίων, από τη μια απαιτούνται ιδιοσυσκευές συγκράτησης και από την άλλη συχνά χρειάζεται η σύσφιγξη πολλών βιδών. Εάν αυτό, για να γίνει πρέπει να σταματήσει η μηχανή, είναι εύκολο να καταλάβει κανείς το επιπλέον κόστος, που συνεπάγεται.

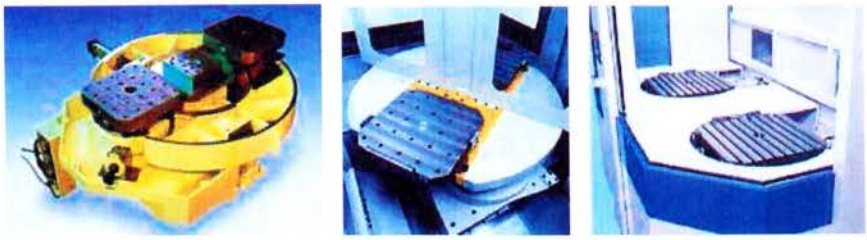


Σχήμα Η.12 : Σύνθετα τεμάχια που κατασκευάζονται σε σύγχρονα κέντρα κατεργασίας φραιζαρίσματος και που απαιτούν ειδική συγκράτηση

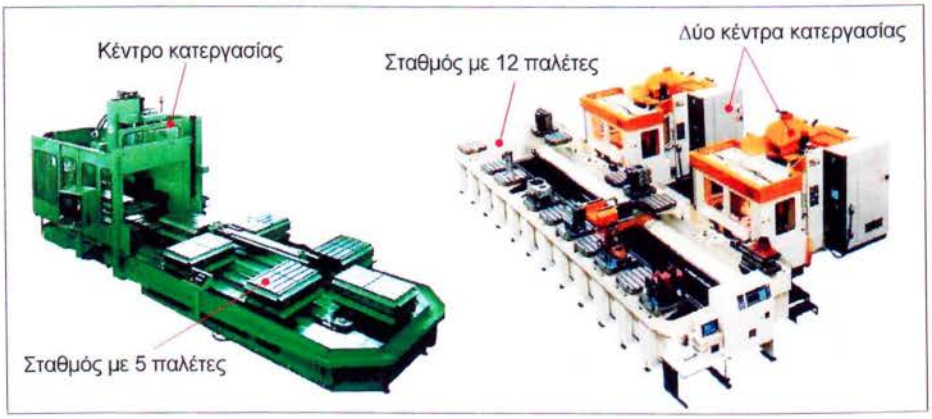
Ενώ παλαιότερα στις συμβατικές εργαλειομηχανές οι νεκροί χρόνοι, λόγω φόρτωσης, ευθυγράμμισης, συγκράτησης και αποφόρτωσης του τεμαχίου, ήταν μικρό ποσοστό των αντιστοίχων χρόνων κατεργασίας, σήμερα τα πράγματα είναι διαφορετικά. Οι μεγάλες ταχύτητες και προώσεις κοπής ελαχιστοποιούν τους χρόνους κατεργασίας και δίνουν στους παραπάνω νεκρούς χρόνους μεγάλο ποσοστό συμμετοχής στη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Φυσικά αυτό το πρόβλημα δεν θα μπορούσε να μην εξεταστεί από τα ερευνητικά εργαστήρια της μηχανουργικής τεχνολογίας. Η λύση δόθηκε με την εξέλιξη μιας σειράς αυτοματισμών αλλαγής του κατεργαζόμενου τεμαχίου, που βρίσκει σήμερα εφαρμογές κυρίως στις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Σιγά-σιγά όμως, όπως όλες οι καινοτομίες, έτσι και η τεχνολογία της αυτόματης συγκράτησης και εναλλαγής των κατεργαζομένων τεμαχίων εισέρχεται στις εργαλειομηχανές εγκαταστάσεων μικρότερου όγκου και κόστους.

Η αυτόματη αλλαγή τεμαχίου στην περίπτωση των κέντρων κατεργασίας, γίνεται με χρήση ειδικών παλετών, όπως φαίνεται στο σχήμα Η-13. Οι παλέτες αυτές είναι ουσιαστικά τράπεζες πρόσδεσης, οι οποίες έχουν ειδικές επιφάνειες, που εξασφαλίζουν την ακριβή και ασφαλή συγκράτηση των τεμαχίων κατεργασίας. Οι παλέτες είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να μπορούν να μετακινηθούν μέσω κάποιας μεταφορικής ή περιστροφικής διάταξης από τη θέση πρόσδεσης πρώτων υλών προς τη μηχανή και την επιστροφή τους σε αυτή, αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατεργασίας. Η αλλαγή του τεμαχίου κρατάει με τον τρόπο αυτό μόλις μερικά δευτερόλεπτα. Η διαδικασία αυτή, εκτός του ότι εξοικονομεί χρόνο και κόστος, είναι αναγκαία προϋπόθεση για τη λειτουργία γραμμών παραγωγής και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής (FMS).

Αριστερά στο σχήμα Η-14 φαίνεται ένα τυπικό τμήμα υπομονάδας FMS, που ονομάζεται νησίδα ή κυψέλη (island ή cell αντίστοιχα) ευέλικτου συστήματος παραγωγής. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν πέντε παλέτες συγκράτησης, οι οποίες εξασφαλίζουν την εναλλαγή των τεμαχίων στη θέση κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Μία ακόμα πιο σύνθετη κυψέλη ευέλικτου συστήματος παραγωγής με δύο κέντρα κατεργασίας φαίνεται δεξιά στο σχήμα Η-14. Προφανώς όλες οι λειτουργίες των συστημάτων αυτών ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου MCU των εργαλειομηχανών, σύμφωνα με τις εντολές των προγραμμάτων καθοδήγησης.



Σχήμα Η.13 : Συστήματα δύο παλετών για τη φόρτωση και εκφόρτωση τεμαχίων



Σχήμα Η.14 : Ευέλικτες νησίδες παραγωγής με σταθμούς πέντε και δώδεκα παλετών φόρτωσης τεμαχίων σε κέντρα κατεργασίας

Η πρόοδος της ρομποτικής στις βιομηχανικές εφαρμογές δε θα μπορούσε παρά να έχει επιδράσει σημαντικά και στην εφαρμογή αυτή. Στο σχήμα Η-15 παρουσιάζονται παραδείγματα εξυπηρέτησης εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με χρήση βιομηχανικών βραχιόνων. Οι βραχίονες αυτοί μπορούν να εργάζονται αυτόνομα ή ανά ζεύγη και προσφέρουν εξαιρετική ευελιξία στην εξυπηρέτηση των εργαλειομηχανών. Οι βιομηχανικοί βραχίονες έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα της δυνατότητας χρησιμοποίησης τους με μικρές μόνο μετατροπές, σε μία μεγάλη ποικιλία κατεργαζομένων τεμαχίων και εργαλειομηχανών, ενώ ο προγραμματισμός τους εντάσσεται στο συνολικό πρόγραμμα καθοδήγησης της ευέλικτης νησίδας παραγωγής, που τα περιέχει.

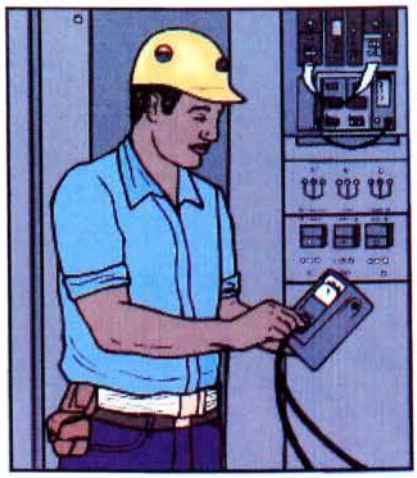
Σχήμα Η.15 : Αυτόματη εναλλαγή τεμαχίων κατεργασίας με χρήση βιομηχανικών βραχιόνων

Ανακεφαλαίωση

Η συνεχής αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση αποτελεί μεγάλη προτεραιότητα για τους κατασκευαστές τους και διαρκή επιθυμία των χρηστών των εργαλειομηχανών. Η μείωση της συνεισφοράς του ανθρώπινου παράγοντα, που προσφέρουν οι διάφοροι αυτοματισμοί, βελτιώνει κατά πολύ την ακρίβεια και την παραγωγικότητα των μηχανουργικών κατεργασιών. Τα σπουδαιότερα συστήματα αυτοματισμού που περιέχουν οι σύγχρονες εργαλειομηχανές, είναι τα συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων, τα συστήματα τροφοδοσίας σε πρώτη ύλη και τα συστήματα συγκράτησης και εναλλαγής πρώτης ύλης. Όλα αυτά τα τεχνολογικά επιτεύγματα βοηθούν στην ενσωμάτωση των εργαλειομηχανών σε σύγχρονες παραγωγικές δομές, όπως είναι τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS).

Σήμερα αυτά τα συστήματα αυξάνουν κατά πολύ το κόστος αγοράς των εργαλειομηχανών αλλά, όσο αυξάνεται η διάδοση τους, τόσο ελαχιστοποιείται και το κόστος τους. Σε περίπτωση που τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται σύμφωνα με τις δυνατότητές τους, το κόστος εγκατάστασής τους υπερκαλύπτεται σύντομα από τα κέρδη, που αυτά επιφέρουν.

Θ. Συντήρηση εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης



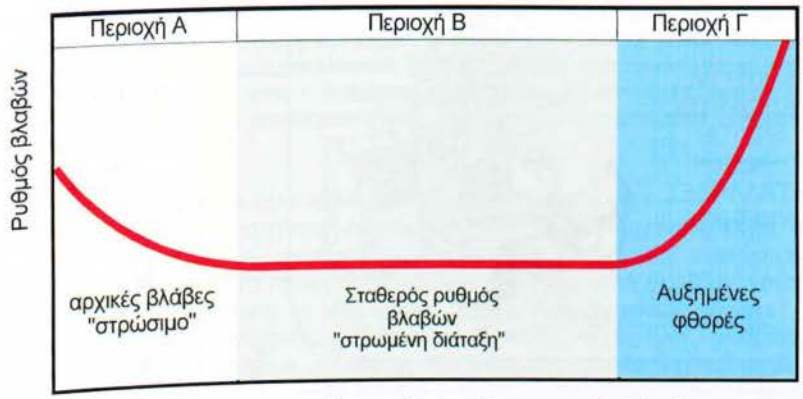
Στο τέλος της μελέτης του ένατου κεφαλαίου ο Σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει :

- Για ποιους λόγους οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση χρειάζονται συντήρηση.
- Ποιες είναι οι συνθήκες περιβάλλοντος του μηχανουργείου, που δεν επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης.
- Σε τι υπερέχει η προληπτική συντήρηση των εργαλειομηχανών, σε σχέση με τη μέθοδο αποκατάστασης των βλαβών, όταν αυτές συμβαίνουν.
- Κάθε πότε πρέπει να γίνεται συντήρηση των εργαλειομηχανών και που γίνονται έλεγχοι και επεμβάσεις, ανάλογα με τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των περιοδικών συντηρήσεων.
- Με ποια κριτήρια επιλέγεται το προσωπικό συντήρησης σε ένα μηχανουργείο.
- Τι σημαίνουν οι έννοιες τηλεφωνική και αυτόματη διάγνωση βλαβών σε εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση.

1. Η ανάγκη για συντήρηση

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση είναι, όπως ήδη περιγράφηκε, πολύπλοκα συστήματα που αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων. Για το λόγο αυτό είναι πιθανό να γίνουν ευπαθείς και αναξιόπιστες διατάξεις, σε περίπτωση που δε συντηρηθούν με τον κατάλληλο τρόπο. Παρά το γεγονός ότι οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση βασίζονται σε ώριμη τεχνολογία και έχουν μεγάλο δείκτη διαθεσιμότητας (δηλαδή δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας χωρίς προβλήματα), είναι πολύ πιθανή η διακοπή λειτουργίας τους λόγω βλάβης. Οι βλάβες των εργαλειομηχανών μπορεί να οφείλονται σε τυχαία γεγονότα ή να είναι αποτέλεσμα της κακής συντήρησής τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός βλαβών σε όλες τις μηχανικές διατάξεις είναι συνάρτηση του συνολικού χρόνου λειτουργίας τους (βλέπε σχήμα Θ.1). Στην περιοχή Α, όταν δηλαδή οι μηχανικές διατάξεις είναι σχεδόν καινούριες, υπάρχει ένας μεγάλος ρυθμός βλαβών. Η περιοχή αυτή ονομάζεται περίοδος αρχικών βλαβών και οφείλεται στην εμφάνιση κατασκευαστικών ατελειών, λαθών στη συναρμολόγηση, απορρυθμίσεις λόγω μεταφοράς τους κ.λπ.. Η περιοχή Β έχει σταθερό αριθμό τυχαίων βλαβών και αποτελεί τη συνηθισμένη κατάσταση "στρωμένων" μηχανικών διατάξεων. Όσο μεγαλώνει η ηλικία των μηχανημάτων, τόσο οι φθορές τους έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού βλαβών τους και τελικά την αχρήστευση της μηχανής (περιοχή C). Οι ίδιες αρχές ισχύουν και στην περίπτωση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης. Σε κάθε περίπτωση, επειδή το κόστος των μηχανών αυτών είναι μεγάλο, η διακοπή λειτουργίας τους λόγω βλάβης εισάγει στο συνολικό κόστος επένδυσης και χρήσης, το κόστος επιδιόρθωσης και, το κυριότερο, το κόστος λόγω διακοπής της παραγωγής.



Σχήμα Θ.1 : Μεταβολή του ρυθμού βλαβών σε σχέση με την ηλικία των μηχανικών διατάξεων

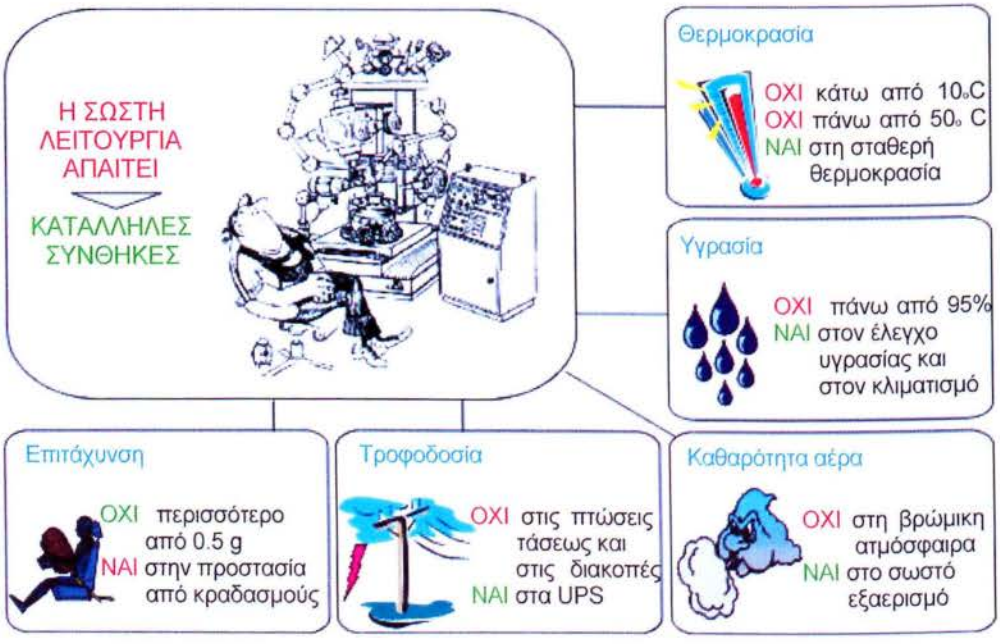
Η σωστή συντήρηση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης είναι ο μόνος τρόπος που επιβάλλεται ώστε οι νεκροί χρόνοι, λόγω βλάβης, να ελαχιστοποιούνται. Στην περίπτωση αυτή, το οικονομικό όφελος, λόγω της συνεχούς και αξιόπιστης λειτουργίας των εργαλειομηχανών, είναι πολλαπλάσιο από το κόστος συντήρησης. Το κόστος αυτό αποτελείται από τα έξοδα των ανταλλακτικών και των αναλωσίμων και την αξία των εργατικών. Η συντήρηση των εργαλειομηχανών γίνεται μέσα στο χώρο του μηχανουργείου από το ειδικό προσωπικό συντήρησης. Δυστυχώς σε πολλά μηχανουργεία η συντήρηση των εργαλειομηχανών είναι ελλιπής και περιορίζεται στην επισκευή των βλαβών, που στην περίπτωση αυτή είναι συχνές. Αργά ή γρήγορα όμως οι υπεύθυνοι καταλαβαίνουν ότι η τακτική αυτή είναι λανθασμένη, όπως το

καταλαβαίνει και κάποιος οδηγός που, αντί να κάνει στο αυτοκίνητο του το προγραμματισμένο σέρβις, πληρώνει λόγω βλαβών πολλαπλάσια χρήματα.

2. Προληπτικά μέτρα και συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας

Οι πρώτες γενιές των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση υπέφεραν από διάφορα προβλήματα, που τις έκαναν σχετικά αναξιόπιστες. Μάλιστα τα προβλήματα αυτά γίνονταν ακόμα πιο δύσκολα εξαιτίας της απειρίας των τεχνιτών όσον αφορά τη νέα τότε τεχνολογία. Σήμερα, παρόλο που οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης έχουν γίνει πολύ πιο πολύπλοκες, τα προβλήματα είναι σαφώς λιγότερα και το προσωπικό πιο έμπειρο στην τεχνολογία αυτή. Όμως αυτή η πολυπλοκότητα που φέρνει ο μεγάλος βαθμός αυτοματοποίησης, επιβάλλει την ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού, που συντηρεί και επισκευάζει τις μηχανές αυτές. Φυσικά, οι απαιτήσεις διαθεσιμότητας των εργαλειομηχανών οδηγούν στην εφαρμογή των αρχών προληπτικής συντήρησης, δηλαδή συντήρησης πριν από την εμφάνιση βλαβών και μάλιστα μετά από συγκεκριμένα διαστήματα λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

Ο βασικός κανόνας που πρέπει να ακολουθείται για την προληπτική συντήρηση, είναι η ακριβής εφαρμογή των οδηγιών του κατασκευαστή της εργαλειομηχανής. Οι οδηγίες αυτές περιγράφονται στο βιβλίο συντήρησης, που συνοδεύει κάθε εργαλειομηχανή στη συσκευασία της. Οι περισσότεροι μηχανισμοί καθοδήγησης και ελέγχου είναι ευαίσθητοι στις κακές συνθήκες του περιβάλλοντος και της τροφοδοσίας τους. Τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας που συστήνουν οι περισσότεροι κατασκευαστές, φαίνονται στο σχήμα Θ.2 και είναι :



Σχήμα Θ.2 : Παράγοντες που επηρεάζουν τις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης και όρια συνθηκών περιβάλλοντος

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος από 10 έως 50° C. Λειτουργία σε ακραίες θερμοκρασίες, εκτός από βλάβες και κακή λειτουργία κυρίως των ηλεκτρονικών συστημάτων, μπορεί να μειώσει την

ακρίβεια κατεργασίας λόγω μεγάλων συστολών ή διαστολών. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με θέρμανση και κλιματισμό του μηχανουργείου το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

- Σχετική υγρασία κάτω του 95%. Η αυξημένη υγρασία μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα ηλεκτρονικά των εργαλειομηχανών αλλά και οξειδώσεις σε μη ανοξείδωτα τεμάχιά τους, ιδίως σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η εγκατάσταση συστήματος αφύγρανσης του μηχανουργείου.

- Καθαρός αέρας. Στην περίπτωση αέρα με μεγάλη συγκέντρωση ακαθαρσιών, όπως σκόνη, λάδια κοπής και οργανικές ουσίες, υπάρχει περίπτωση πρόωρης φθοράς των κινούμενων τμημάτων της εργαλειομηχανής, όπως των κοχλιών οδήγησης, των ολισθητήρων κ.λπ.. Επίσης, εάν οι τσιμούχες και τα άλλα στεγανοποιητικά των μηχανικών και ηλεκτρονικών μερών είναι σε κακή κατάσταση, είναι πιθανή η εμφάνιση βλαβών, όπως η φθορά των εδράνων και βραχυκυκλώματα. Σε περίπτωση μολυσμένης ατμόσφαιρας απαιτείται καλά σχεδιασμένο σύστημα εξαερισμού.

- Ταλαντώσεις με επιταχύνσεις που να μην ξεπερνούν το μισό της επιτάχυνσης της βαρύτητας ($\gamma<0.5g$). Οι ταλαντώσεις αυτές είναι δυνατό να δημιουργηθούν από τη λειτουργία γειτονικών εργαλειομηχανών με μεγάλα κρουστικά φορτία, όπως πρέσες, στραντζόπρεσες κ.λπ.. Στην περίπτωση αυτή πρέπει είτε να απομακρυνθούν οι μηχανές, που δημιουργούν το πρόβλημα σε άλλο χώρο της επιχείρησης, ή να χρησιμοποιηθούν ειδικές αντικραδασμικές βάσεις, που αποσβήνουν τα κρουστικά φορτία.

- Μεταβολές στην τάση τροφοδοσίας από το δίκτυο τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος μικρότερες του 10 %. Απότομες μεταβολές στο ηλεκτρικό ρεύμα, λόγω διακοπών ή πτώσης τάσεως δικτύου, μπορεί να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες ή απορρυθμίσεις στα ηλεκτρονικά κυκλώματα των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η εγκατάσταση συστημάτων σταθεροποίησης της τάσεως ή συστήματα αδιάκοπης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (UPS).

3. Καταγραφή και διαθεσιμότητα ανταλλακτικών και αναλωσίμων.

Η επισκευή βλαβών και η προληπτική συντήρηση των εργαλειομηχανών, εκτός από εργασία, απαιτεί και τη χρησιμοποίηση αναλωσίμων και ανταλλακτικών. Τα αναλώσιμα μιας εργαλειομηχανής είναι υλικά, τα οποία δεν παθαίνουν βλάβες, αλλά γεμίζουν, καταστρέφονται ή χάνουν τις ιδιότητες τους κατά τη λειτουργία των εργαλειομηχανών. Τυπικές περιπτώσεις αναλωσίμων είναι τα μέσα μαγνητικής αποθήκευσης (δισκέτες, ταινίες κ.λπ.) αλλά και τα λιπαντικά των ατράκτων και των ολισθητήρων. Το κόστος των αναλωσίμων είναι σχετικά μικρό, αλλά, χωρίς την ύπαρξη επαρκούς αποθέματος, είναι δυνατή η διακοπή της λειτουργίας της εργαλειομηχανής. Τα ανταλλακτικά των εργαλειομηχανών είναι τεμάχια ηλεκτρονικών ή μηχανικών υποομάδων, τα οποία μπορεί να χρειαστεί να αντικατασταθούν λόγω πρόωρης ή φυσιολογικής φθοράς, αλλά και λόγω βλάβης. Συνήθως φθείρονται τα κινούμενα εξαρτήματα των εργαλειομηχανών ενώ βλάβη παθαίνουν τα ηλεκτρονικά μέρη.

Επειδή κάθε εργαλειομηχανή ψηφιακής καθοδήγησης αποτελείται από χιλιάδες εξαρτήματα, ανάλογα με την πιθανότητα βλάβης ή το ρυθμό φθοράς, οι κατασκευαστές των εργαλειομηχανών προτείνουν με ειδικές λίστες τα εξαρτήματα που πρέπει να έχει αποθηκευμένα η επιχείρηση. Σήμερα, πάντως, η παράδοση οποιουδήποτε εξαρτήματος μίας εργαλειομηχανής που δεν είναι αποθηκευμένο, δεν ξεπερνά σε χρόνο τις 48 ώρες. Η αλλαγή κάθε εξαρτήματος πρέπει να καταγράφεται, αφού υπερβολικός αριθμός αντικαταστάσεων μπορεί να υποδείξει την αιτία που επηρεάζει έμμεσα ή άμεσα τη λειτουργία του και οδηγεί στην αντικατάσταση.

Σε μηχανουργεία με μεγάλο αριθμό εργαλειομηχανών, κυρίως στην Ιαπωνία, στη Γερμανία και στην Αμερική, υπάρχει και μία άλλη στρατηγική αποθεμάτων σε ανταλλακτικά. Για παράδειγμα, για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες σε ανταλλακτικά της μονάδας κεντρικού ελέγχου MCU, υπάρχει σαν απόθεμα μια ολόκληρη μονάδα ελέγχου MCU. Σε περίπτωση βλάβης κάποιου εξαρτήματος αυτό αφαιρείται από την αποθηκευμένη μονάδα και τοποθετείται στην εργαλειομηχανή. Η μέθοδος αυτή έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- οποιοδήποτε εξάρτημα είναι πάντα άμεσα διαθέσιμο,
- το κόστος αγοράς μίας ολόκληρης κεντρικής μονάδας είναι χαμηλότερο από ότι, εάν αγοραστούν ξεχωριστά τα ανταλλακτικά της,
- οι νεκροί χρόνοι της μηχανής ελαχιστοποιούνται, αφού σε περίπτωση εκτεταμένης βλάβης αντικαθίσταται ολόκληρη η MCU.
- η ανταλλακτική μονάδα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαίδευση των χειριστών και του προσωπικού συντήρησης.

4. Είδη συντήρησης εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης

Οι απαιτήσεις σε συντήρηση εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : Στην προληπτική συντήρηση, που είναι μία προγραμματισμένη διαδικασία, και στην επισκευή βλαβών, που είναι σχεδόν πάντα απρογραμμάτιστη. Η προληπτική συντήρηση συνήθως γίνεται σε χρόνο που η εργαλειομηχανή δεν έχει να εκτελέσει μεγάλο αριθμό παραγγελιών, και έχει μηδενικό χρόνο αναμονής ανταλλακτικών, αφού αυτά έχουν ήδη προμηθευτεί. Αντίθετα, οι βλάβες προκύπτουν σχεδόν πάντα σε συνθήκες παραγωγής και έχουν συχνά μικρό ή μεγάλο χρόνο αναμονής ανταλλακτικών, που προστίθεται στον καθαρό χρόνο επισκευής της βλάβης. Παρά το γεγονός ότι οι τυχαίες βλάβες δεν μπορούν να αποφευχθούν εντελώς με την προληπτική συντήρηση, αυτή εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων λόγω βλάβης και ελαχιστοποιεί το κόστος ανταλλακτικών και λειτουργίας των εργαλειομηχανών.

Η εμπειρία και η πράξη έχει θεσπίσει κάποιους κανόνες στην προληπτική συντήρηση των εργαλειομηχανών. Αυτοί είναι :

- Δεν πρέπει να γίνεται επέμβαση σε περιοχές της μηχανής που λειτουργούν σωστά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Δεν υπάρχει λόγος να αλλάζουν ρυθμίσεις και να αποσυναρμολογούνται συσκευές, που έχουν μεγάλη αξιοπιστία, εκτός εάν το συστήνει ο κατασκευαστής.
- Κάθε φορά που οι μηχανές συντηρούνται, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή σε ενδείξεις, που υποδεικνύουν πιθανές μελλοντικές βλάβες. Αυτό πρέπει να γίνεται, ακόμα και αν το πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης του κατασκευαστή δεν προβλέπει επεμβάσεις. Έτσι, οξειδώσεις, χαλαρές συνδέσεις ξεβαμμένες επαφές, πρέπει να βάζουν σε σκέψεις για το μέλλον.
- Οι τρεις πιο βασικές λειτουργίες συντήρησης που πρέπει να γίνονται, είναι ο καθαρισμός, η λίπανση και η επιθεώρηση στις θέσεις που συνιστά ο κατασκευαστής.
- Η χρήση λιπαντικών πρέπει να είναι προσεκτική και τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται να είναι υψηλών προδιαγραφών. Υπερβολικές ποσότητες λαδιών ή γράσου πρέπει να αποφεύγονται. Η υπερβολική λίπανση μπορεί συχνά να προκαλέσει περισσότερα προβλήματα από την περιορισμένη ή μηδαμινή λίπανση.
- Η διάγνωση ηλεκτρονικών βλαβών πρέπει να γίνεται με χρήση ειδικών οργάνων, που συνιστά ο κατασκευαστής. Δεν είναι λίγες οι φορές που καίγονται ή βραχυκυκλώνουν ολόκληρες μονάδες κεντρικού ελέγχου MCU από φτηνά πολύμετρα.

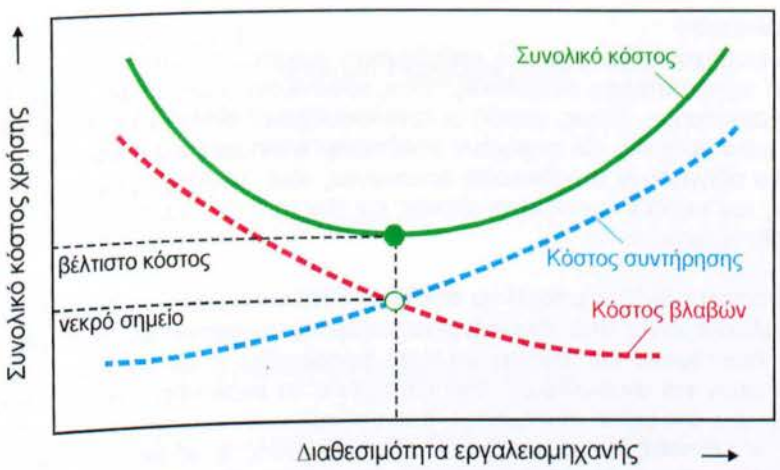
Η προληπτική συντήρηση, ανάλογα με τη συχνότητα που εκτελείται, μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες. Η πιο συχνή είναι η εβδομαδιαία συντήρηση, που συνήθως προβλέπει εκτέλεση κάποιου κύκλου κατεργασίας σε δύσκολες συνθήκες και την επίλυση κάποιων

μικροπροβλημάτων, που αναφέρει ο χειριστής. Ακόμα, γίνεται έλεγχος όλων των ανεμιστήρων και προσεκτικός καθαρισμός και λίπανση όλων των προσβάσιμων θέσεων. Ακολουθεί η μηνιαία συντήρηση που, εκτός από τα παραπάνω, προβλέπει έλεγχο των συνδέσεων και λίπανση όλων των ανεμιστήρων. Επίσης, προβλέπει λύσιμο των μετρητικών διατάξεων των αξόνων και καθαρισμό από τυχόν σκόνες, ακαθαρσίες κ.λπ.. Τέλος, η ετήσια συντήρηση προβλέπει πλήρη έλεγχο σχεδόν όλων των υποσυστημάτων των εργαλειομηχανών με αλλαγή τσιμουχών, καθαρισμό και σύσφιγξη των ηλεκτρονικών μερών και έλεγχο της τροφοδοσίας. Επίσης, προβλέπει καθαρισμό της κονσόλας με ειδικές ηλεκτρικές σκούπες και σφίξιμο όλων των κοχλιών.

Μετά από κάθε έλεγχο πρέπει να καταγράφονται τα ανταλλακτικά που χρησιμοποιήθηκαν, και να παραγγέλνονται νέα, ώστε να υπάρχει πάντα απόθεμα στην αποθήκη. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συντήρηση. Για παράδειγμα, εάν αντικατασταθεί μία τσιμούχα που προβλέπεται κατά την ετήσια συντήρηση, δεν πρέπει αυτή να παραγγελθεί πριν την επόμενη συντήρηση, δηλαδή μετά από έναν χρόνο σχεδόν, αφού, σε περίπτωση τυχαίας βλάβης, θα υπάρχει δυσανάλογος χρόνος αναμονής για ένα τόσο φτηνό εξάρτημα.

5. Επιλογή του προσωπικού συντήρησης

Το θέμα της επιλογής του προσωπικού που θα στελεχώσει την ομάδα συντήρησης σε ένα μηχανουργείο, είναι πολύ σύνθετο. Οι τελικές αποφάσεις που θα ληφθούν, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το ποσοστό συντήρησης και επισκευών που θα γίνεται μέσα στην επιχείρηση σε σχέση με το κόστος (βλέπε σχήμα Θ.3). Το κόστος αυτό αποτελείται από το κόστος των εργασιών συντήρησης και το κόστος που δημιουργούν οι βλάβες λόγω ελλιπούς συντήρησης. Υπάρχει μία μόνο τιμή της διαθεσιμότητας της μηχανής, η οποία δίνει το βέλτιστο συνολικό κόστος, δηλαδή αυτό που αντιστοιχεί στο νεκρό σημείο του σχήματος Θ.3. Για παράδειγμα, ένα μηχανουργείο που έχει τρεις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, είναι δύσκολο να απασχολεί μία ομάδα συντήρησης από δύο τεχνικούς ή ακόμα και μόνον έναν. Εκτός από το κόστος πληρωμών των τεχνικών, πρέπει να εξεταστεί και το κόστος εκπαίδευσης στους συγκεκριμένους τύπους εργαλειομηχανών της επιχείρησης. Τα έξοδα αυτά δεν είναι καθόλου μικρά, αφού συνήθως για την Ελλάδα οι τεχνικοί πρέπει να ταξιδέψουν στη χώρα κατασκευής των εργαλειομηχανών για διάστημα τουλάχιστον δέκα ημερών.



Σχήμα Θ.3 : Συνολικό κόστος σε σχέση με τη διαθεσιμότητα της εργαλειομηχανής

Αναφορικά με το επίπεδο μόρφωσης του προσωπικού συντήρησης, η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν απαιτείται μεγάλη θεωρητική κατάρτιση ή πανεπιστημιακές σπουδές. Μάλιστα, η καλύτερη κατηγορία υποψηφίων συντηρητών είναι οι έμπειροι τεχνίτες, που θέλουν να επεκτείνουν τις

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

γνώσεις και εμπειρίες τους σε πιο σύνθετες εργασίες. Επειδή αρκετές μηχανικές βλάβες μπορούν να επιδιορθωθούν από τους τεχνίτες των εργαλειομηχανών, σε μικρά μηχανουργεία τη συντήρηση αναλαμβάνει τεχνικός ηλεκτρολόγος ή ηλεκτρονικός. Σε κάθε περίπτωση, ο τεχνικός συντήρησης πρέπει να μπορεί, με βάση την εμπειρία και την κρίση του, να κάνει διαγνώσεις των βλαβών από τα συμπτώματα, που περιγράφει ο χειριστής της μηχανής.

6. Τηλεφωνική και αυτόματη διάγνωση βλαβών εργαλειομηχανών

Στο εξωτερικό κυρίως, πολλοί κατασκευαστές εργαλειομηχανών παρέχουν στους πελάτες τους συστήματα εξυπηρέτησης μέσω τηλεφώνου. Μία από τις βασικές ευκολίες που παρέχουν, είναι η τεχνική υπηρεσία διάγνωσης και επιδιόρθωσης βλαβών τηλεφωνικά. Έχει αποδειχθεί ότι πάνω από 70 % των δυνατών βλαβών μπορεί να εντοπιστεί από τις περιγραφές του χειριστή της μηχανής. Από αυτές, το 80% μπορεί να λυθεί από τον τεχνίτη, με βάση τις τηλεφωνικές οδηγίες του τμήματος τεχνικής υποστήριξης του κατασκευαστή. Μάλιστα, ο μέσος όρος των τηλεφωνικών επαφών δεν ξεπερνάει τα δέκα λεπτά. Βέβαια, το δεύτερο ποσοστό ισχύει στην περίπτωση που το μηχανουργείο διαθέτει τα εξαρτήματα, που πρέπει να αντικατασταθούν, για να διορθωθεί η βλάβη. Η τηλεφωνική αυτή υπηρεσία μπορεί να είναι δωρεάν ή όχι. Για το λόγο αυτό, κατά την αγορά της εργαλειομηχανής, μαζί με την εγγύηση της μηχανής, ο πελάτης θα πρέπει να διαπραγματεύεται το λεγόμενο συμβόλαιο συντήρησης, που καθορίζει το επίπεδο της τεχνικής υποστήριξης.

Οι εργαλειομηχανές τελευταίας γενιάς προσφέρουν ακόμα πιο εξελιγμένες δυνατότητες συντήρησης. Η διάγνωση των περισσότερων βλαβών γίνεται με τα λεγόμενα συστήματα αυτόματης διάγνωσης βλαβών. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην προσθήκη ενός ακόμα συστήματος ηλεκτρονικού ελέγχου, το οποίο επεξεργάζεται δεδομένα που προέρχονται από μετρητές και αισθητήρες. Τέτοιου είδους αισθητήρες βρίσκονται τοποθετημένοι σε διάφορα ζωτικά μέρη της εργαλειομηχανής και, όταν προκληθεί κάποια βλάβη, ενεργοποιούνται και ειδοποιούν μέσω μηνύματος ή συναγερμού το χειριστή της μηχανής. Μάλιστα, σε εργαλειομηχανές με ενσωματωμένο σύστημα τεχνικής βοήθειας, είναι δυνατή η παροχή συμβουλών στον τεχνίτη για τον τρόπο επιδιόρθωσης της βλάβης. Με τις παραπάνω ευκολίες, η συντήρηση, προληπτική ή μη, απλοποιείται, ενώ η πιθανότητα ανθρώπινων λαθών ελαχιστοποιείται.

Ανακεφαλαίωση

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση κατασκευάζονται με ανώτερες προδιαγραφές, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές. Έτσι, εμφανίζουν χαμηλότερο ρυθμό βλαβών και απαιτούν λιγότερη συντήρηση. Όμως, επειδή οι εργαλειομηχανές αυτές έχουν κινούμενα μέρη που δέχονται μεγάλες καταπονήσεις, και περιέχουν πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα, εμφανίζουν βλάβες, που μπορεί να οδηγήσουν στη διακοπή λειτουργίας τους. Οι βλάβες αυτές είναι πιο συχνές, όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ακραίες και έξω από τα όρια, που έχουν θέσει οι κατασκευαστές των εργαλειομηχανών.

Οι περισσότερες βλάβες μπορεί να αποφευχθούν, όταν γίνεται κατάλληλη προληπτική συντήρηση στις εργαλειομηχανές από εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό. Η συντήρηση γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και πρέπει να έχει προβλεφθεί η αγορά των απαραίτητων εργαλείων, ανταλλακτικών και αναλωσίμων. Φυσικά, πρέπει να ακολουθούνται κατά γράμμα οι οδηγίες που περιγράφονται στο βιβλίο συντήρησης, που προσφέρουν οι κατασκευαστές. Μάλιστα, για να είναι πιο εύκολες οι εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών, όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης προσφέρουν τηλεφωνική υπηρεσία καθοδήγησης και συστήματα αυτόματης διάγνωσης βλαβών.

ΕΝΣΦΑΙΡΟΙ ΚΟΧΛΙΕΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΝΣΦΑΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ

- Εργαλεομηχανες
- Μηχανες κατεργασια ξυλου
- Μηχανες κοπης με Laser
- Ηλεκτροδιαβρωσεις
- Μηχανες τυπωσης χυτοπρεσσαριστων εξαρτηματων(injection)
- Συστηματα εκτυπωσεων
- Εφαρμογες Πυρηνικης τεχνολογιας
- Αεροπορικη βιομηχανια
- Εφαρμογες αιολικης ενεργειας

Στις εργαλειομηχανες CNC είναι πολύ αυστηρες οι απαιτησεις που αφορουν την ακριβεια της μετακινησης, την απαναλημψιμοτητα μιας κανησης τη δυνατοτητα μεταφορας μεγαλης ισχυος χωρις να περιοριζεται η ακριβεια, η μεγαλη διαρκεια ζωης, κ.λ.π. Με τη συνεχη εξελιξη των εργαλειομηχανων σε κατεργασιας που απαιτουν ολο και μεγαλυτερες ταχυτητες κινησης στους νεκρους χρονους (μη κατεργασιας), αλλα και με τη βελτιωση των ιδιοτητων των κοπτικων εργαλειων που δινουν δυνατοτητες μεγαλυτερων ταχυτητων κοπης, οι ενσφαιροι κοχλιες πρεπει να μπορουν να ανταποκρινονται σε πολύ δυσμενεστερες απαιτησεις. Το αποτελεσμα είναι ο τεχνικος κοσμος που ασχολειται με τις εργαλειομηχανες να γινεται μαρτυρας ενός ανταγωνισμου των εταιριων κατασκευης ενσφαιρων κοχλιων μεταδοσης κινησης από τον οποιο βγαινουν τελικα ωφελημενοι ολοι οσοι κατεχουν και χειριζονται εργαλειομηχανες.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα βασικα χαρακτηριστικα των ενσφαιρων κοχλιων είναι:

- Η ονομαστικη τους διαμετρος
- Το βημα της ελικωσης του κοχλια
- Το ωφελιμο μηκος του
- Η ακριβεια του βηματος της ελικωσης

Γενικα οι ενσφαιροι κοχλιες ταξινομουνται σε:

- Κοχλιες βιομηχανικων χρησεων και,
- Κοχλιες ακριβειας(ενδιαφερουν τις εργαλειομηχανες)

Το κριτηριο για το διαχωρισμο τους είναι η ακριβεια του βηματος της ελικωσης, που μετραται συμφωνα με τα κατά τοπους ισχυοντα προτυπα, αλλα απεικονιζεται σχεδον σε όλα τα προτυπα ψς αποκλιση σε 300mm διαδρομης.

Η ταξινομηση των ενφαιρων κοχλιων γινεται ανα κλασεις. Η ταξινιμηση αυτή φαινεται στον πινακα 1 για τα διαφορα προτυπα.

Σύγκριση προτύπων για ένσφαιρους κοχλίες

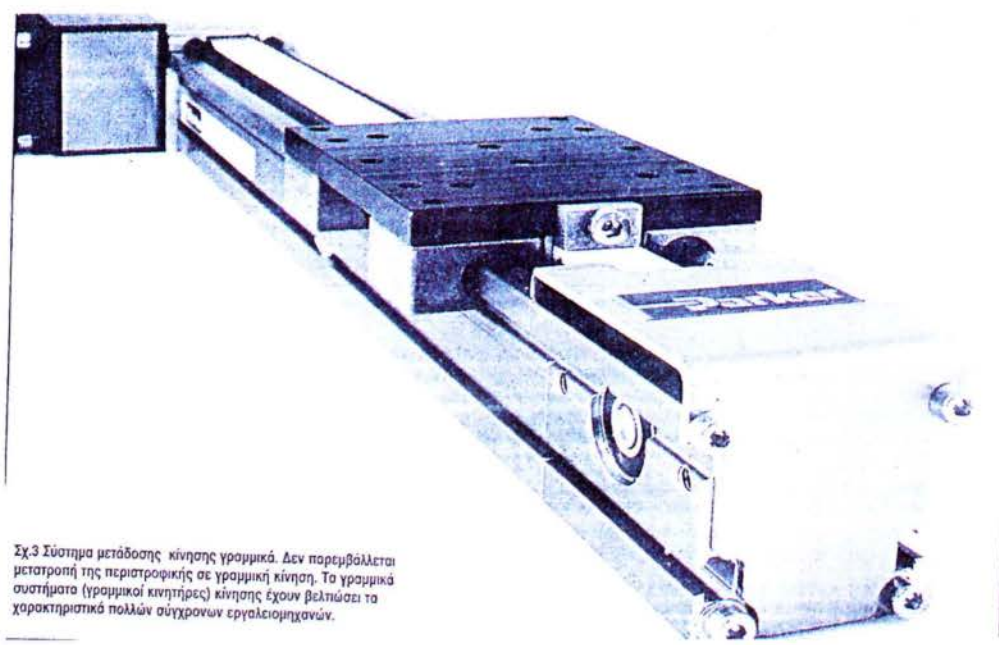
ANSI	DIN	JIS	BSI
		Class C0 0,0035	
Class 2 0,005	Class 1 0,006	Class C1 0,005	Class IT1 0,006
Class 3 0,005			
		Class C3 0,008	
Class 5 0,013	Class 3 0,012		Class IT3 0,012
Class 6 0,013		Class C5 0,018	
Class 7 0,025	Class 5 0,023		Class IT5 0,023
Class 8 0,150	Class 7 0,052		Class IT7 0,052

Αν θελαμε να δωσουμε μια γενικη εικονα της σχεσης της κλασης ταξινομησης με τις διαφορες εφαρμογες θα λεγαμε ότι οι κλασεις 1,3,5 κατά DIN αντιστοιχουν σε ενσφαιρους κοχλιες ακριβειας ενώ οι κλασεις 5,7 κατά DIN σε ενσφαιρους κοχλιες βιομηχανικων εφαρμογων.

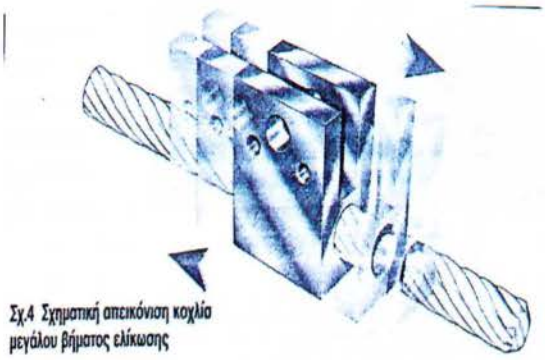
Σημερα η μεταδοση κινησης με ενσφαιρους κοχλιες στις εργαλειομηχανες αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμο των γραμμικων κινητηρων (Σχ 3) με συνεπεια να δοκιμαζονται παραλλαγες ενδφαιρων κοχλιων με βελτιωμενα χαρακτηριστικα.

Παραδειγμα τετοιων κοχκιων είναι:

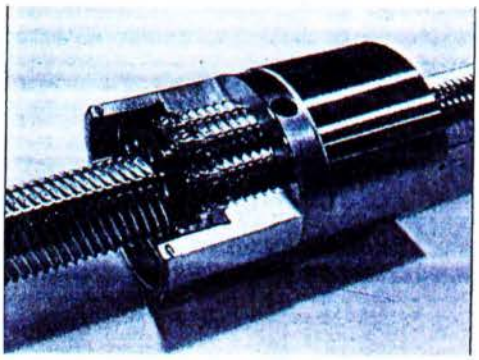
- Οι κοχλιες μεγαλου βηματος ελικωσης (Σχ 4)
- Οι κοχλιες με μικρους κοχλιες δορυφορους αντι σφαιρων (Σχ 5)



Σχ.3 Σύστημα μετάδοσης κίνησης γραμμικά. Δεν παρεμβάλλεται μετατροπή της περιστροφικής σε γραμμική κίνηση. Τα γραμμικά συστήματα (γραμμικοί κινητήρες) κίνησης έχουν βελτιώσει τα χαρακτηριστικά πολλών σύγχρονων εργαλειομηχανών.



Σχ.4 Σχηματική απεικόνιση κοχλία μεγάλου βήματος ελίκωσης



Οι κοχλιες μεγαλου βηματος μπορει να εχουν βημα μεχρι 6 φορες τη διαμετρο του κοχλια, με αποτελεσμα μια περιστροφη κτα μικρη γωνια να δινει μεγαλη μετακινηση και να μπορει να κινησει το φορειο του με μεγακη ταχυτητα. Αρνητικο στοιχειο του σχεδιασμου των κοχλιων αυτου του τυπου είναι ότι δεν μπορει να εχουν μεγαλη ακριβεια μετακινησης.

Αντιθετα οι κοχλιες με μικρους δορυφορικους κοχλιες αντι σφαιρων, μπορουν να εχουν μεγαλη ακριβεια, μεγαλες ταχυτητες και επιταχυνσεις και επιπροσθετως να μετακινουν μεγαλυτερα φορτια από τους ενσφαιρους κοχλιες. Αυτό οφειλεται στο γεγονος ότι σε επαφη με τον κοχλια βρισκονται πολύ περισσοτερα σημεια. Οι κοχλιες-δορυφοροι δεν μετακινουνται αξονικα και απαιτουν μεγαλη ακριβεια κατασκευης.

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι ενσφαιροι κοχλιες λειτουργουν βασιζομενοι σε πολύ απλες αρχες της Μηχανικης. Απλα η περιστροφη κοχλια-που είναι στερεωμενος ώστε να μη κινειται κατά μηκος του αξονα του- αναγκαζει το περικοχλιο να κινειται ευθυγραμμα παρασυροντας μαζι του κοχλια μεταφερεται στο περικοχλιο μεσω μικρων σφαιριδιων που κυκλοφορουν σε ειδικα διαμορφωμενες αυλακες του περικοχλιου. Σε αλλους τυπους ενσφαιρων κοχλιων είναι το περικοχλιο που «παραλαμβανει» την περιστροφικη κινηση από τον κινητηρα και τη μεταφερει στον κοχλια οπου μετατρεπεται σε γραμμικη κινηση.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Όπως και να είναι σχεδιασμενος όμως, τα βασικα μερη ενός συστηματος ενσφαιρου κοχλια είναι:

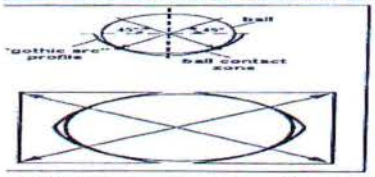
- Ο κοχλιας
- Το περικοχλιο
- Τα σφαιριδια

Η ελικωση του κοχλια με την αντιστοιχη του περικοχλιου διαμορφωνουν την ελικοειδη αυλακα οπου κυκλοφορουν τα σφαιριδια.

a. Η μορφη της αυλακωσης του ελικα του κοχλια

Συναντηται σε δυο τυπους:

- Την κυκλικη μορφη
- Την ωοειδη μορφη ή όπως συνηθως λεγεται «γοτθικου τοξου» (Σχ 6)



Σχ.6
Η αγαπημένη μορφή του αύλακα των ένσφαιρων κοχλιών είναι του γοτθικού τόξου που επιτρέπει την επαφή της σφαίρας σε 4 σημεία.

Η δευτερη είναι αυτή που συχνοτερα χρησιμοποιειται στους ενσφαιρους κοχλιες που προοριζονται για εργαλειομηχανες CNC, και εμφανιζει το πλεονεκτημα η επαφη να γινεται σε τεσσερα ή δυο σημεια και να διευκολυνει την προενταση του συστηματος.

Γενικα η επαφη σε δυο σημεια πλεονεκτει της επαφης σε τεσσερα σημεια γιατι:

- Μειωνει τις φθορες
- Αυξανει την ακριβεια μετακινησης και
- Αυξανει τη διαρκεια ζωης του κοχλια

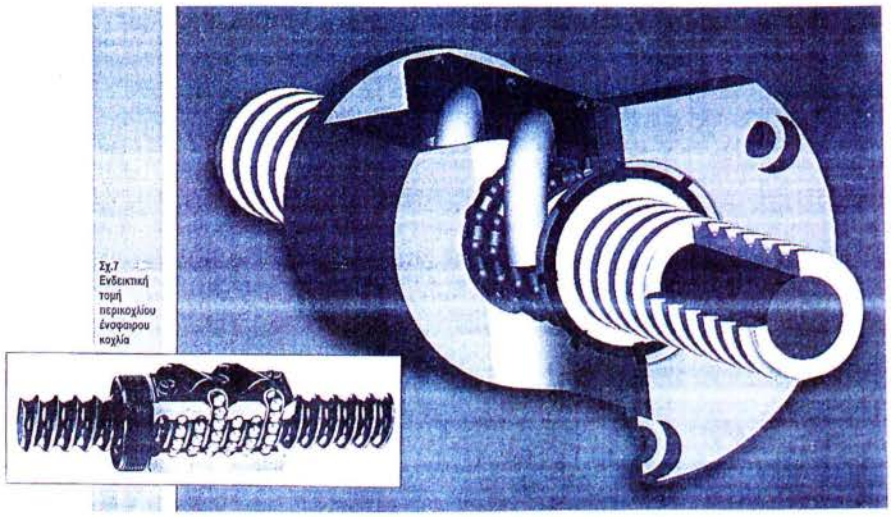
b. Το περικοχλιο

Είναι το πιο πολυπλοκο κομματι του συστηματος και συνεπως το δυσκολοτερο στην κατασκευη του.

Πρεπει να εχει την ιδια μορφη αυλακωσης με τον συνεργαζομενο κοχλια και να εχει εσωτερικες αυλακωσεις για την κυκλοφορια των σφαιριδιων. Σε αυτό πεφτει επισης το βαρος της προεντασης του συστηματος. Τα περικοχλια των ενσφαιρων κοχλιων συναντωνται σε διαφορους τυπους:

Ως προς την κυκλοφορια των σφαιριδιων σε

- Εξωτερικης κυκλοφοριας και
- Εσωτερικης κυκλοφοριας (Σχ 7)



Σχ.7
Ενδεικτική τομή περικοχλίου ένσφαιρου κοχλία

Η διαφορα των δυο τυπων εντοπιζεται στη διαδρομη των σφαιριδιων που δημιουργει ένα συστημα κλειστου βρογχου.
Όταν η επιστροφη των σφαιριδιων γινεται μεσα από το σωμα του περικοχλιου τοτε το περικοχλιο χαρακτηριζεται εσωτερικο. Το βασικο πλεονεκτημα των περικοχλιων εσωτερικης κυκλοφοριας είναι ότι εχουν μικροτερο μεγεθος και πιο στιβαρη κατασκευη.

Ως προς τη μορφη τους κατατασσονται σε:

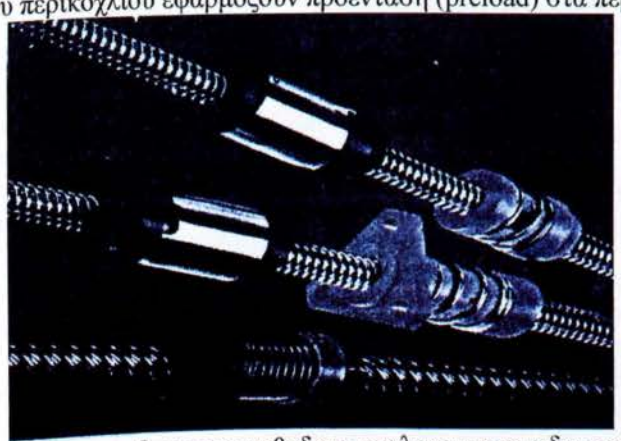
- Μονα κυλινδρικα
- Μονα κυλινδρικα με φλαντζα
- Μονα διατομης παραλληλογράμμου
- Διπλα κυλινδρικα
- Διπλα κυλινδρικα με φλαμτζα στο ακρο
- Σιπλά κυλινδρικα με φλαντζα στο μεσον
- Διπλα κυλινδρικα με εδρανο κυλισης
- Διπλα παραλληλογραμμης διατομης με εδρανο

Το στοιχειο που επηρεαζεται κυριως από τον τυπο του περικοχλιου ειναι η μεθοδος προεντασης του.

c. Προενταση ενσφαιρων κοχλιων

Είναι πολύ σημαντικο για έναν ενσφαιρο κοχλια (που μεταδιδει κινηση και ροπη σε μια εργαλειομηχανη) να εχει την ελαχιστη δυνατη αξονικη χαρη, γιατι η χαρη (τζογος, μποσικα) αυτή καταστρεφει την ακριβεια της εργαλειομηχανης. Όταν μαλιστα τα συστηματα ελεγχου της μηχανης εχουν τη δυνατοτητα να ελεγχουν διαδρομες με ακριβεια μικρων (μm) είναι κριμα να μη μπορουν να τα πιασουν λογω ενός μηχανικου «ελαττωματος».

Για να εξαλειψουν οι κατασκευαστες ενσφαιρων κοχλιων αυτή την ανεπιθυμητη «ελευθερια» του περικοχλιου εφαρμοζουν προενταση (preload) στα περικοχλια (Σχ 8)

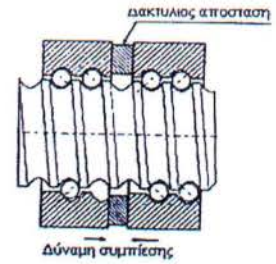


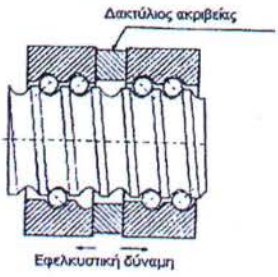
Αυτό το πετυχαινουν με διαφορες μεθοδους αναλογα με το ειδος του περικοχλιου. Οι συνηθεστερες είναι οι εξης:

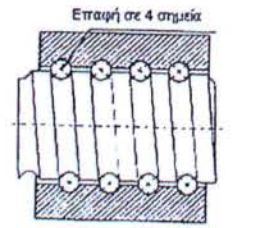
<u>Μεθοδοι προεντασης</u>

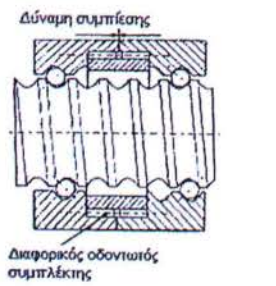
Μονο περικοχλιο→ ενδιαμεσο σφαιριδιο, αποκλιση βηματος
Διπλο περικοχλιο→με βερνιερο, με ενδιαμεσο αποστατη

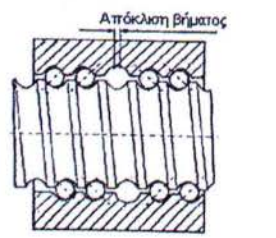
Σχηματικη απεικονιση των παραπανω μεθοδων παρουσιαζεται στο (Σχ 9)











όταν το περικοχλιο είναι μονό είναι πιο δυσκολο να εοιτευχθει η απαιτουμενη προενταση, γι'αυτό και οι μεθοδοι που χρησιμοποιουνται φανταζουν μαλλον ανορθοδοξες:

Στην περιπτωση του ενδιαμεσου σφαιριδιου χρησιμοποιουνται σφαιριδια με ελαφρα μεγαλυτερη διαμετρο από την προβλεπομενη με αποτελεσμα να εφαπτονται σε τεσσερα σημεια στο αυλακι που δημιουργει ο κοχλιας με το περικοχλιο και να επιτυγχανουν την απαιτουμενη προενταση.

Προφανως δεν υπαρχει άλλη δυνατοτητα ρυθμισης της προεντασης από τη σρηση αλλης διαμετρου σφαιριδιων.

Με τη μεθοδο της αποκλισης του βηματος καποιο από τα βηματα της ελικωσης κατασκευαζεται συνειδητα ελαφρα διορθωμενο με αποτελεσμα να δημιουργειται μια προενταση στο συστημα του ενσφαιρου κοχλια. Το μεγεθος της απαιτουμενης προεντασης καθοριζει και την αποκλιση του βηματος που βεβαια μετα την κατασκευη δεν επιδεχεται διορθωση. Στην περιπτωση των διπλων περικοχλιων τα πραγματα είναι πιο ευκολα αφου μπορουν να χρησιμοποιηθουν διαταξεις που θα «σπρωξουν» ή θα «απομακρυνουν» το ένα περικοχλιο από το άλλο με αποτελεσμα την απιτουμενη προενταση. Αυτό συνηθως επιτυγχανεται με χρηση ρυθμιστικης διαταξης (βερνιερου) ή με την τοποθετηση ενός δακτυλιου αποστατη αναμεσα στα δυο περικοχλια. Εξυπακουεται ότι το παχος του δακτυλιου είναι αυστηρα καθορισμενο και επιτυγχανεται με τη κατεργασια λειανσης ακριβειας.

d. Λειανση

Αφου ολες αυτές οι επινοησεις ξεκινησαν για να πετυχουν μεγαλυτερη ακριβεια και μεγαλυτερες ταχυτητες κινησης και κοπης είναι προφανες ότι πρεπει να αντιμετωπισουν τον βασικοτερο ανασταλτικο παραγοντα για την επιτευξη τους: και αυτος δεν είναι άλλος αο την τριβη. Ετσι ολοι οι ενσφαιροι κοχλιες πρεπει να εχουν πολύ καλη λιπανση. Αυτό επιτυγχανεται γενικα με τη χρηση γρασου ή λαδιου. Το λαδι χρησιμοποιειται κυριως στις περιπτωσεις που υπαρχει λιπαντικο κυκλωμα στην εργαλειομηχανη.

Η ποιοτητα των χρησιμοποιουμενων λιπαντικων είναι επισης σημαντικος παραγοντας για τη μακροζωια του συστηματος.

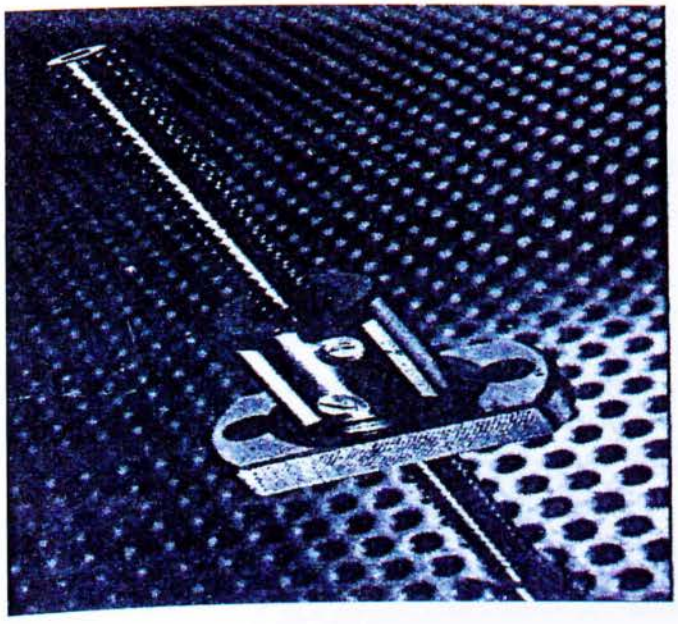
Είναι φανερο από τα παραπανω ότι οι ενσφαιροι κοχλιες χρειαζονται συστηματα στεγανωσης για να παραμενουν παντα καλα λιπαινομενοι αλλα και να εξασφαλιζουν την απαραιτητη καθαριοτητα αφου κάθε επικαθιση ξενων σωματων μπορει να φθειρει τα κυλιομενα μερη και να επηρεασει την ακριβεια της μηχανης.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Γενικως τα υλικα κατασκευης των ενσφαιρων κοχλιων είναι χαλυβες καλης ποιοτητας, με καλη μηχανικη αντοχη και μεση περιεκτικοτητα σε ανθρακα ώστε να επιδεχονται επιφανειακη βαφη. Είναι λογικο οι επιφανειες που υφιστανται συνεχεις τριβες κατά την λειτουργια δηλαδη:

- Η εξωτερικη στοιβαδα του κοχλια
- Η εσωτερικη επιφανεια του περικοχλιου και
- Τα σφαιριδια να εχουν μεγαλη σκληροτητα. Από την άλλη η ολοσωμη βαφη του κοχλια και του περικοχλιου θα τα εκανε λιγοτερο ελαστικα (ιδιαιτερα τον κοχλια που εχει μεγαλο μηκος) και θα δυσκολευε την κατεργασια τους. Κτα κανονα λοιπον τοσο ο κοχλιας οσο και το περικοχλιο υφισταντα επιφανειακη σκληρυνση (μετα από ενανθρακωση αν απαιτειται) ώστε να επιτυγχανονται οι επιθυμητες σκληροτητες. Τυπικες τιμες των σκληροτητων αυτων είναι:
- 58-62HRC για την εξωτερικη επιφανεια του κοχλια
- 58-62HRC για την εσωτερικη επιφανεια του περικοχλιου
- 62-66HRC για τα σφαιριδια .

Οσο αφορα τις μεθοδους κατασκευης, αυτές καθοριζονται από την απιτουμενη ακριβεια. Για τους ενσφαιρους κοχλιες διαφορων βιομηχανικων εφαρμογων μπορει να είναι αρκετος ενας καλος τορνος για την κτασκευη του κοχλια. Αμεσως καλυτερη ποιοτητα κατασκευης σπειρωματος, αρα και ακριβειας, δινει η κατασκευη του σπειρωματος με συμπιεση αναμεσα σε ραουλα. (Σχ 10)



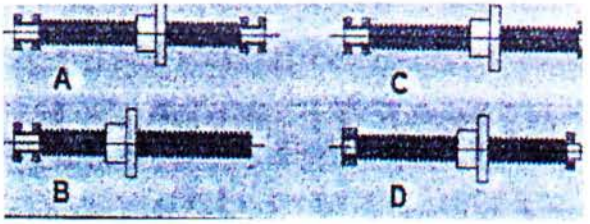
Αυτή η πρακτικη προυποθετει σχετικα μαλακο υλικο κοχλια με συνεπεια να απαιτειται βαφη (σκληρυνση) εκ των υστερων.

Για τους κοχλιες όμως που προοριζονται για εργαλειομηχανες το παιχνιδι του ανταγωνισμου παιζεται στην ακριβεια του κοχλια. Ετσι γινεται απαραιτητη η τελικη κατεργασια του σπειρωματος του κοχλια σε ειδικη μηχανη λειανσεως σπειρωματων, (Σχ 11) απαραιτητα πλεον CNC και μαλιστα με δυνατοτητα ελεγχου της μορφης του λειαντικου τροχου και επι τοπου αναγεννησης (παλι με αριθμητικο ελεγχο)

Αναλογες απαιτησεις ισχυουν και για το περικοχλιο με τη διαφορά ότι αφορουν εσωτερικο σπειρωμα.

Η επιτευξη αυτων των αυστηρων απαιτησεων εχει όμως σαν συνεπεια την απαιτηση για ιδιαιτερα ακριβεις διαστασιακους ελεγχους.

Διαστασιακοι ελεγχοι



Η ακριβεια κατεργασιας των ενσφαιρων κοχλιων δεν περιοριζεται μονο στην επιτευξη διαστασεων με αυστηρες ανοχες αλλα και στην επιτευξη απαιτησεων ομοκεντριας, καθετοτητας, παραλληλιας κλπ των επιφανειων του κοχλια και του περικοχλιου. Ενας κοχλιας με σχεδον τελειο σπειρωμα δεν θα δωσει καλο αποτελεσμα αν τοποθετηθει «στραβα» στη μηχανη, για τουτο ολες οι επιφανειες που αφορουν την εδραση του στη μηχανη και γενικα στη συνεργασια με αλλα κομματια πρεπει να κατασκευαζονται σε περιορισμενα ορια ανοχων θεσης.

Για την εκτελεση τοσων απαιτητικων ελεγχων χρησιμοποιουνται μετρητικες μηχανες ακριβειας.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΣΦΑΙΡΟΥ ΚΟΧΛΙΑ

Για την επιλογη ενός ενσφαιρου κοχλια πρεπει να καθοριστουν εκτος από τα βασικα γεωμετρικα χαρακτηριστικα του, δηλαδη το μηκος και η διαμετρος, και αλλα στοιχεια με σειρα σπουδαιοτητας αναλογη με την εφαρμογη για την οποια προοριζονται. Ειδικα όμως για τους ενσφαιρους κοχλιες που προκειται να χρησιμοποιηθουν σε εργαλειομηχανες πρεπει να καθορισθουν στοιχεια όπως:

- Η επιθυμητη και η μεγιστη επιτρεπτη ταχυτητα κινησης
- Το φορτιο που καλειται να παραλαβει ο κοχλιας
- Η ακριβεια μετακινησης
- Η επιθυμητη διαρκεια ζωης

Α. Ταχυτητα γραμμικης κινησης

Υπολογιζεται από τον τυπο

$$\mathbf{n = \upsilon * 10^3 / p}$$

οπου:

υ=γραμμικη ταχυτητα(m/min)

ρ=βημα ελικωσης(mm)

n=ταχυτητα περιστροφης κοχλια(min-1)

Κρισιμη ταχυτητα περιστροφης

Υπολογιζεται από τον τυπο:

$$\mathbf{n_{cr} = 0.8 * f * d_o / l^2}$$

οπου:

$\mathbf{n_{cr}}$=κρισιμη(=μεγιστη επιτρεπτη)ταχυτητα περιστροφης(min-1)

0.8=συντελεστης ασφαλειας

l=ελευθερο μηκος κοχλια(m)

$\mathbf{d_o}$=ονομαστικη διαμετρος κοχλια(mm)

f= συντελεστης εδρασης

οι τιμες του **f** καθοριζονται από τον τροπο εδρασης του κοχλια και οι δυνατες τιμες του ειναι:

A: f=242

B: f=35

C: f=168

D: f=108

Οπου A,B,C,D οι μεθοδοι εδρασης του κοχλια, όπως φαινονται στο (Σχημα)

Β. Φορτιο

Το μεγιστο επιτρεπτο φορτιο υπολογιζεται από τον τυπο:

$$F_{cr}=0.8*f*d_o^4*10^{-6}/l^2$$

Οπου:
F_{cr}=κρισιμη (μεγιστη επιτρεπτη)ταχυτητα περιστροφης(min^{-1})
0.8=συντελεστης ασφαλειας
l =ελευθερο μηκος κοχλια (m)
do=ονομαστικη διαμετρος κοχλια (mm)
f=συντελεστης εδρασης
οι τιμες του **f** καθοριζονται από τον τροπο εδρασης του κοχλια και οι δυνατες τιμες του είναι:
A: f=400
B: f=25
C: f=200
D: f=100
Οπου **A,B,C,D** οι μεθοδοι εδρασης του κοχλια όπως φαινονται στο (σχ 12).

Για τους τυποποιημενους ενσφαιρους κοχλιες τοσο η ταχυτητα γραμμικης κινησης οσο και το μεγιστο επιτρεπτο φορτιο καθοριζονται ευκολα και γρηγορα από τα σχετικα διαγραμματα των κατασκευαστων.

Γ. ***Διαρκεια ζωης***
Η θεωρητικη διαρκεια ζωης των ενσφαιρων κοχλιων μετραται σε εκατομμυρια περιστροφες ή σε χιλαιδες ωρες λειτουργιας. Υπολογιζεται με τροπο παρομοιοο με αυτόν που υπολογιζουμε τη διαρκεια ζωης των εδρανων κθλισης (ρουλεμαν) και εκφραζεται με ον τυπο:

$$L_{10}=(C_a/Fm)^3*10^6$$

Οπου:
L_{10}=διαρκεια ζωης(περιστροφες)
C_a=συντελεστης δυναμικου φορτιου κοχλια (κN)
F_m=μεσο φορτιο κοχλια (κN)

Ή τον τυπο:

$$L_h=L_{10}/(60\ n_m)$$

Οπου:
L_{10}=διαρκεια ζωης (περιστροφες)
L_h=διαρκεια ζωης(ωρες)
n_m=μεση ταχυτητα(min^{-1})

Τα μεγεθη Fm και nm που αναφερονται παραπανω υπολογιζονται με μαθηματικους τυπους και διαδικασιες που η περιγραφη τους ξεφευγει από τα πλαισια του παροντος αρθρου.

Δ.Ακριβεια τοποθετησης

Η ακριβης τοποθετηση του κοπτικου εργαλειου μεσω του ενσφαιρου κοχλια σε στγκεκριμενο σημειο είναι βασικο χαρακτηριστικο ενός κοχλια. Το χαρακτηριστικο αυτό εξαρταται από το φυσικο μεγεθος που καλειται ακαμψια (stiffness) και οριζεται από τον τυπο:

$$C=F/\delta$$

Οπου:

C= η ακαμψια του συστηματος του κοχλια
F= το αξονικο φορτιο του κοχλια(κN)
δ= η αξονικη παραμορφωση του συστηματος (μm)

Η ακαμψια ενός συστηματος ενσφαιρου κοχλια προσδιοριζεται από την ακαμψια των επι μερους στοιχειων με τυπο της μορφης:

$$1/C=1/Ca+1/Cn+1/Cb$$

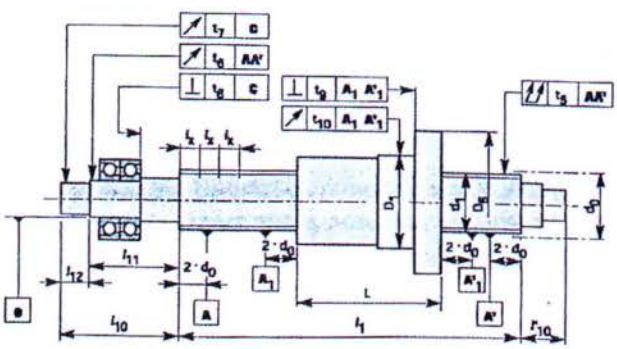
Οπου:
Ca= η ακαμψια του κοχλια
Cn= η ακαμψια του περικοχλιου
Cb=η ακαμψια των εδρανων

Ο υπολογισμος των επιμερουςς τιμων της ακαμψιας δεν είναι θεμα του παροντος αρθρου, αλλα γινεται αναφορα σε αυτές και στη συνολικη ακαμψια γιατι συναντωνται συνηθως στους πινακες με τα χαρακτηριστικα στοιχεια των ενσφαιρων κοχλιων που εκδιδοιυν οι κατασκευαστες και δινουν ένα μετρο της ακριβειας τοποθετησης του συστηματος σε επιθυμητη θεση.

Δ. Ακριβεια διαδρομης

Όταν ζηταμε από έναν ενσφαιρο κοχλια μα μετακινησει το περικοχλιο (δηλαδη τελικατο εργαλειο) κατά 300mm από το ποσο ακριβης είναι η εκτελουμενη διαδρομη καταδεικνυεται η αξιοπιστη του συστηματος κοχλια-περικοχλιου.

Για τις εφαρμογες εργαλειομηχανων είναι το βασικοτερο χαρακτηριστικο ενός ενσφαιρου κοχλια. Γι'αυτό οι διαδικασιες υπολογισμου του εχουν καταγραφει σε αρκετα εθνικα και διεθνη προτυπα. Μια συγκριση των πιο γνωστων προτυπων γινεται στον πινακα 1 ενώ η απαιτουμενη ακριβεια κατασκευης καταδεικνυεται από τους διαστασιακους ελεγχους αποδοχης των κοχλλιων. Στο (Σχ 13) απεικονιζεται ένα πλανο ελεγχων. Οι απαιτουμενες ανοχες μορφης(χαρακτηριζονται με t στο σχημα 12 κυμαινονται από 3 εως 50 μm αναλογα με την ονομαστικη διαμετρο και το μηκος του κοχλια).

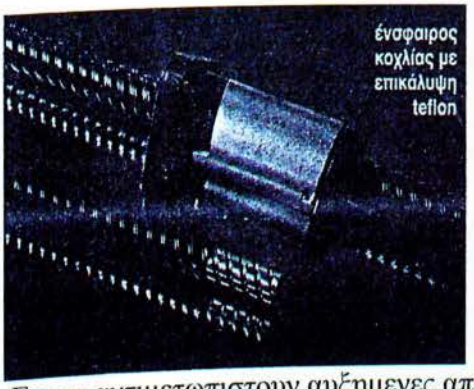


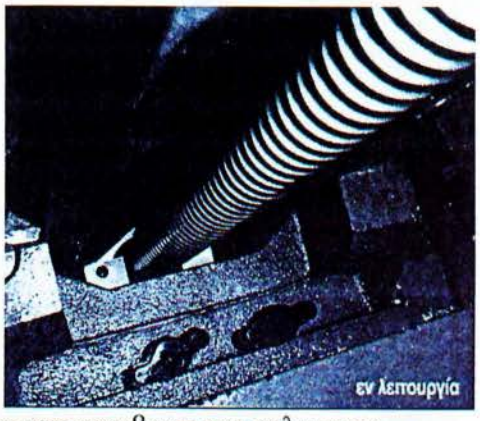
ΑΝΑΣΚΕΥΗ ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ

Επειδη οι ενσφαιροι κοχλιες είναι κρισιμα στοιχεια μιας εργαλειομηχανης και η αντικατασταση τους εχει σημαντικο οικονομικο κοστος, υπαρχουν εταιριες (μεταξυ αυτων και οι κατασκευαστες τους) που αναλαμβανουν την ανασκευη των φθαρμενων κοχλιων.

ΣΥΝΟΨΗ

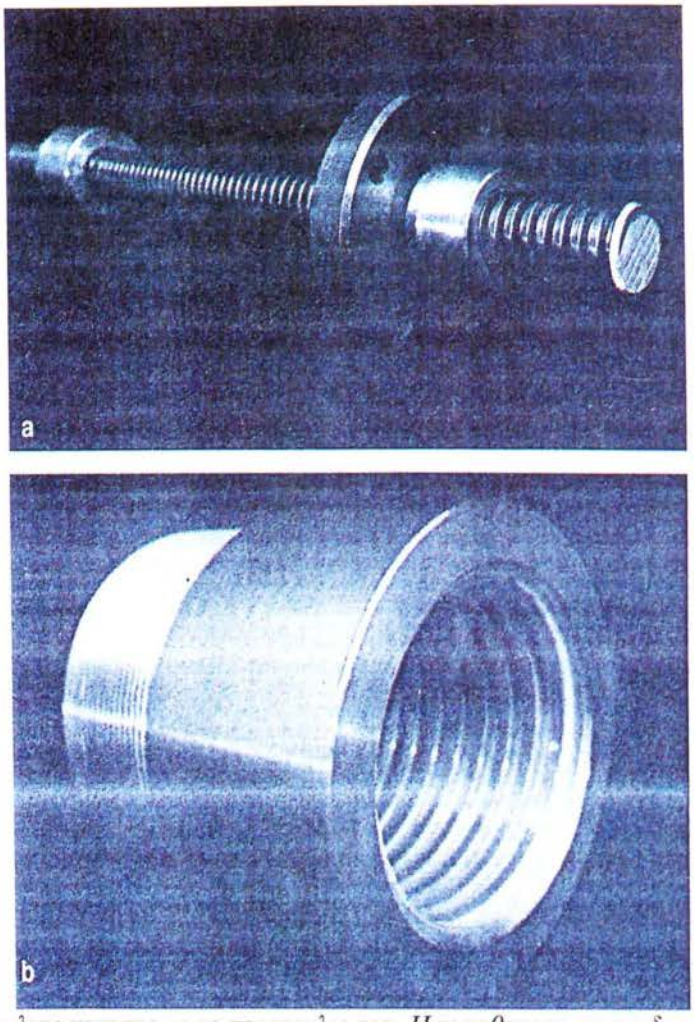
Οι κοχλιες κινησης (σχ 14) είναι βασικα στοιχεια μετατροπης της περιστροφικης σε γραμμικη κινηση και χρησιμοποιουνται στις εργαλειομηχανες από πολύ παλια. Στην πιο συνηθισμενη τους μορφη αποτελουνται από τον κοχλια και το περικοχλιο που κινειται σε απ'ευθειας επαφη με τον κοχλια.





Για να αντιμετωπιστουν αυξημενες απαιτησεις ακριβειας και καλυτερης λειτουργιας, αφαρμοστηκε η ιδεα που συναντάται και στα ρουλεμαν: η παρεμβολη σφαιριδιων αναμεσα στον κοχλια και το περικοχλιο με αποτελεσμα τον ενσφαιρο κοχλια(ή μπιλιοφορο αξονα όπως συχνα αναφερεται στην Ελλαδα). Ετσι οι κοχλιες κινησης καταφερνουν να ανταποκρινονται σε απαιτησεις μεταφορας μεγαλων ροπων που δημιουργουν μεγαλα φορτια στον κοχλια με κινδυνο ζημιας-Σχ 15-και σε απαιτησεις ταχυτητας κινησης όπως επιβαλλουν οι συγχρονοι τυποι εργαλειομηχανων υψηλων ταχυτητων κοπης (high speed).

Αυτές ακριβως οι απαιτησεις εχουν δημιουργησει και αλλα συστηματα κινησης των φορειων των κοπτικων εργαλειων που σημερα στην αγορα ανταγωνιζονται τους ενσφαιρους κοχλιες . Ο ανταγωνισμος φαινεται ότι είναι σκληρος και θα διαρκεσει αρκετα αλλα σημερα φαινεται απιθανο να εκτοπιστουν οι ενσφαιροι κοχλιες από την αγορα εργαλειομηχανων. Οσο για τις άλλες βιομηχανικες εφαρμογες τους που γενικα εχουν λιγοτερες απαιτησεις από τους ενσφαιρους κοχλιες θα απολαμβανουν τις υπηρεσιες τους για πολύ καιρο.



Κοχλιας κινησης με το περικοχλιο του. Η τοποθετηση σφαιριδιων αναμεσα στο περικοχλιο και τον κοχλια δημιουργησε τον ενσφαιρο κοχλια.

Εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου στον τομέα της βιομηχανίας μετάλλου - μεταλλικών προϊόντων
(Περίληψη)

ΑΘΗΝΑ 2004

267

ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΣΚΟΠΟΣ

Η κλαδική μελέτη εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου στον κλάδο του μετάλλου υλοποιήθηκε από το Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας το 2004 στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα» του Υπουργείου Ανάπτυξης.

Για τη υλοποίηση της μελέτης διενεργήθηκε βιβλιογραφική έρευνα για τις διάφορες τεχνικές επεξεργασίας των μετάλλων, για τους βλαπτικούς επαγγελματικούς παράγοντες και για τις επιπτώσεις τους στην υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, καθώς και για τα εργατικά ατυχήματα και επαγγελματικές νόσους στον κλάδο. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε έρευνα σε αντιπροσωπευτικές επιχειρήσεις του κλάδου.

Στη μελέτη καλύφθηκε ένα μεγάλο μέρος των παραγωγικών διαδικασιών του μετάλλου. Από την παραγωγή του πρωτογενούς υλικού των μετάλλων, μέχρι την τελική επεξεργασία και παραγωγή των τελικών προϊόντων.

Αντικείμενο της μελέτης πεδίου ήταν η έρευνα, ο εντοπισμός, ο ποσοτικός ή ποιοτικός προσδιορισμός και η χαρτογράφηση των βλαπτικών εργασιακών παραγόντων ανάλογα με την παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον δε, η διερεύνηση των επιπτώσεών τους στην υγεία των εργαζομένων, με την λήψη ιατρικού-επαγγελματικού ιστορικού και τη διενέργεια κατευθυνόμενων ιατρικών εξετάσεων ανάλογα με την έκθεση στους βλαπτικούς εργασιακούς παράγοντες που εντοπίσθηκαν και προσδιορίστηκαν.

Σκοπός της μελέτης είναι η έρευνα, στον κλάδο του μετάλλου, των βλαπτικών επαγγελματικών παραγόντων και των επιπτώσεών τους στην υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων για την βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος και την προαγωγή της εργασιακής υγείας.

Κλάδος Μετάλλου-Απασχόληση

Ο κλάδος της μεταλλουργίας, που εντάσσεται στο δευτερογενή τομέα παραγωγής, περιλαμβάνει πολλά προϊόντα στην πρωτογενή τους μορφή έως επεξεργασμένα βιομηχανικά προϊόντα, τα οποία διατίθενται στην αγορά με τη μορφή τελικών προϊόντων.
Οι επιχειρήσεις του κλάδου της μεταλλουργίας ανήλθαν στην Ελλάδα στο έτος 2000 τις 853 σημειώνοντας μέση ετήσια μείωση 1,75%. Η συνολική απασχόληση παρουσίασε οριακή πτώση της τάξης του 0,44% με πλήθος απασχολούμενων 42.565 στο έτος 2000 (μέχρι την εκπόνηση της μελέτης τα τελευταία διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία ήταν για το έτος 2000).

Εργατικά Ατυχήματα

Στα πλαίσια της μελέτης για την βιομηχανία μετάλλου έγινε έρευνα για τα εργατικά ατυχήματα που καταγράφηκαν από το ΙΚΑ κατά το χρονικό διάστημα 1998-2001 στον κλάδο της μεταλλουργίας.

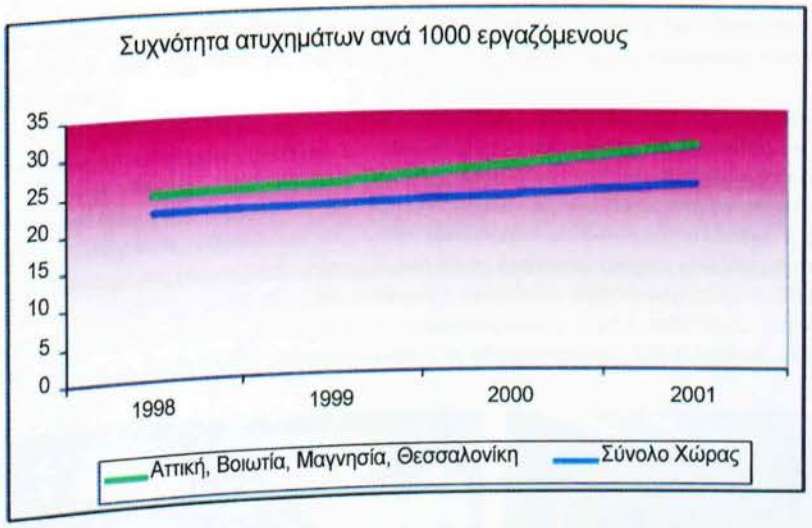
Κατά την τετραετία 1998 ως 2001 καταγράφηκαν σε όλη τη χώρα από το ΙΚΑ 7.351 εργατικά ατυχήματα στον τομέα της βιομηχανίας μετάλλου, καταλαμβάνοντας μερίδιο 10% των συνολικών εργατικών ατυχημάτων που έλαβαν χώρα σ' αυτή την τετραετία (69.578 ατυχήματα). Στο νομό Αττική μόνο συνέβησαν σχεδόν τα μισά από τα εργατικά ατυχήματα του κλάδου (47,7%), στην Κεντρική Μακεδονία τα εργατικά ατυχήματα κατέλαβαν μερίδιο της τάξης του 15,6% του συνόλου, στη Στερεά Ελλάδα 9,5% και στη Θεσσαλία 3,6%.

Στη διάρκεια της τετραετίας 1998-2001 παρατηρήθηκε στον αριθμό των ατυχημάτων μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 3,6% στο σύνολο της χώρα και 6,9% στους επιλεγμένους νομούς, αντίθετα με το σύνολο των εργατικών ατυχημάτων όπου και παρατηρήθηκε πτώση της τάξης του 4%. Θύματα εργατικών ατυχημάτων αποτέλεσαν στο έτος 2000 (τελευταίο έτος με διαθέσιμα στοιχεία) σχεδόν το 2,5% των απασχολούμενων στον τομέα της μεταλλουργίας.

Στις περιοχές της Αττικής, της Κεντρικής Μακεδονίας, της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας σχεδόν στο σύνολό τους τα ατυχήματα συνέβησαν στους άνδρες εργαζόμενους στη μεταλλουργία, με ισοκατανεμημένο πλήθος ατυχημάτων μεταξύ των διαφορετικών ηλικιακών ομάδων. Αύξηση παρουσιάζουν τα ατυχήματα στους έλληνες εργαζόμενους στη μεταλλουργία ενώ ραγδαία αύξηση παρουσιάζουν τα εργατικά ατυχήματα στους αλλοδαπούς εργαζόμενους. Παρόλα αυτά τα περισσότερα ατυχήματα καταγράφηκαν στους ημεδαπούς εργαζόμενους. Φυσικά δεν είναι γνωστό κατά πόσο όλοι οι αλλοδαποί εργαζόμενοι είναι ασφαλισμένοι και αν καταγράφονται στο σύνολό τους τα εργατικά ατυχήματα που τους συμβαίνουν.

Η φύση των εργατικών ατυχημάτων εντοπίζεται κυρίως σε προσκρούσεις σε σταθερά αντικείμενα, χτυπήματα σε ή από κινούμενα αντικείμενα, συμπίεση μέσα ή ανάμεσα σε αντικείμενα, οι ολισθήσεις οι καταρρεύσεις και τα κτυπήματα από πίπτοντα αντικείμενα. Σχεδόν όλα τα ατυχήματα συνέβησαν στον εργασιακό χώρο. Τα ατυχήματα αυτά προκάλεσαν κυρίως θλαστικά τραύματα και κατάγματα και εντοπίζονται ως επί το πλείστον στους καρπούς, στα δάκτυλα και στα άκρα πόδια.
Τα ατυχήματα που έχουν καταγραφεί στον κλάδο συνήθως δεν είναι τροχαία. Οι πρώτες βοήθειες παρέχονται κυρίως σε νοσοκομείο και ο 1 στους 8 χρήζει ανάγκη νοσηλείας.

Επιπλέον διαπιστώθηκε αυξητική πορεία των εργατικών ατυχημάτων στον κλάδο της μεταλλουργίας τόσο στα τέσσερα μεγάλα αστικά κέντρα, όσο και στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας.
Η εικόνα αυτή αποτυπώνεται και στο επόμενο γράφημα, όπου και διαπιστώνεται ότι τα 25 ατυχήματα σε πλήθος 1000 απασχολούμενων το 1998 έφτασαν στα 30 το 2001 για τις επιλεγμένες περιοχές.
Ηπιότερες αλλά υπαρκτές ήταν και οι αυξήσεις που παρατηρήθηκαν στα εργατικά ατυχήματα της χώρας αφού τα 23 εργατικά ατυχήματα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του 1998 ανά 1000 εργαζόμενους ξεπέρασαν τα 25 το έτος 2001.



Επαγγελματικά Νοσήματα στον Κλάδο του Μετάλλου

Στο κλάδο της μεταλλουργίας, οι κυριότερες επαγγελματικές νόσοι είναι η επαγγελματική βαρηκοΐα, οι επαγγελματικές δερματοπάθειες, τα νοσήματα από έκθεση σε αμίαντο, οι αποφρακτικές πνευμονοπάθειες, οι μυοσκελετικές παθήσεις , η πυριτίαση, ο καρκίνος του πνεύμονα, του λάρυγγα και το μεσοθηλίωμα από έκθεση σε αμίαντο, καθώς και καρκίνοι από έκθεση σε χρώμιο, αρσενικό, αρωματικές αμίνες, αλογονομένους υδρογονάνθρακες, βενζόλιο, ιοντίζουσα ακτινοβολία κλπ.
Είναι τόσο φτωχά τα ελληνικά στοιχεία για τις Επαγγελματικές Νόσους, που ουσιαστικά δεν προσφέρονται για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικού συμπεράσματος.

Ο μοναδικός φορές από τον οποίο αναγνωρίζονται και καταγράφονται τα επαγγελματικά νοσήματα στην Ελλάδα είναι το ΙΚΑ. Κατά το έτος 2001 (με 1.941.265 ασφαλισμένους) έγιναν 82 αιτήσεις αναγνώρισης επαγγελματικής νόσου και αναγνωρίσθηκαν οι 67 από αυτές.

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Τα μέταλλα εξάγονται από τα μεταλλεύματα με την παραγωγή σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων με ποικίλες παραγωγικές διαδικασίες. Εν συνεχεία υφίστανται διεργασίες αρχικού σχηματισμού (χύτευση, κονιομεταλλουργία), διεργασίες διαμόρφωσης (σφυρηλάτηση, διέλαση, έλαση, βαθιά κοίλανση, κάμψη), διεργασίες αφαίρεσης υλικού (κοπή, διάτρηση, λείανση, μηχανουργικές κατεργασίες), διεργασίες συνένωσης (συγκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, ηλώσεις/κοχλιώσεις), θερμικές και θερμοχημικές κατεργασίες και επιφανειακές επικαλύψεις μετάλλων (επιμεταλλώσεις, βαφές).

Βλαπτικοί παράγοντες στο περιβάλλον εργασίας της βιομηχανίας μετάλλου

Οι βλαπτικοί παράγοντες στο περιβάλλον εργασίας αποτελούν δυνητικούς κινδύνους για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων. Οι παράγοντες αυτοί βρίσκονται στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας στη βιομηχανία μετάλλου.
Ακολουθεί μια γενική αναφορά και περιγραφή των διαφόρων τύπων κινδύνων.

Οι μηχανικοί κίνδυνοι συνήθως προέρχονται από την κίνηση των διαφόρων εξαρτημάτων ή τμημάτων των μηχανών με περιστροφικές, παλινδρομικές ή γραμμικές κινήσεις και κινήσεις ταλάντωσης.
Τα επικίνδυνα σημεία μηχανών είναι οι περιστρεφόμενοι άξονες ή εξαρτήματα, οι περιστρεφόμενοι τροχοί/τύμπανα/τροχαλίες/γρανάζια με τους αντίστοιχους ιμάντες ή αλυσίδες, οι ακμές μεταξύ κινούμενων πλακών, οι παλινδρομικές κινήσεις εργαλείων, και οι περιστρεφόμενοι κοχλίες ή έλικες.
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν μηχανικούς κινδύνους στη βιομηχανία μετάλλου είναι οι πρέσες (μηχανικές, υδραυλικές, αέρος) σε συνδυασμό με διάφορα καλούπια, η χρήση διαφόρων εργαλείων χειρός (ηλεκτρικά, αέρος, απλά) όπως δράπανα, τροχοί, ψαλίδια, αυτόματες κοπτικές μηχανές, στράντζες -μηχανές ορθογωνίσεως, κύλινδροι, ραουλομηχανές, οι μηχανουργικές κατεργασίες, με ψαλίδι, δισκοπρίονο, πριονοκορδέλα, τροχό λείανσης, χειρονακτική λείανση και σφυρηλάτηση, η αμμοβολή, οι πριτσιναδόροι, οι τσερκομηχανές, και οι μηχανές περιτύλιξης.

Οι θερμικοί κίνδυνοι αφορούν την επαφή μελών του εργαζομένου με πολύ θερμές ή πολύ ψυχρές επιφάνειες ή υλικά. Το σημείο κινδύνου μπορεί να είναι είτε μέρος ή το σύνολο της μηχανής, είτε μέρος του αντικειμένου προς επεξεργασία.
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν θερμικούς κινδύνους στη βιομηχανία μετάλλου είναι οι φούρνοι (χαλυβουργεία, χυτήρια, θερμικές κατεργασίες, βαφεία) οι ηλεκτροσυγκολλήσεις διαφόρων τύπων, οι οξυγονοκολλήσεις (χρήση αερίων υπό πίεση και εύφλεκτων), οι ηλεκτροπόντες, οι μηχανουργικές κατεργασίες, το δισκοπρίονο, η πριονοκορδέλα, το δράπανο, οι τροχοί λείανσης, και η χειρονακτική λείανση.

Οι φυσικοί κίνδυνοι αφορούν κινδύνους που προέρχονται από την χρήση μηχανημάτων και από τις γενικές συνθήκες που επικρατούν στο εργασιακό περιβάλλον.

Ο θόρυβος, οι δονήσεις και οι ακτινοβολίες είναι πολύ σημαντικές πηγές κινδύνου και είναι άμεσα συνδεδεμένα με την λειτουργία των μηχανημάτων. Η ένταση και η συχνότητά τους εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως η σχεδίαση του μηχανήματος, η συντήρηση του, ο τρόπος λειτουργίας του, ο περιβάλλοντας χώρος, τα μέτρα προστασίας που λαμβάνονται στην πηγή κλπ.

Οι συνθήκες φωτισμού, αερισμού, και θερμοκρασίας του χώρου εργασίας αφορούν και γενικές αλλά και ειδικές συνθήκες, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένες με το είδος της εργασίας που εκτελείται.
Οι φυσικοί κίνδυνοι εμφανίζονται σε όλες τις φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας αλλά με διαφορετικό βαθμό και σημαντικότητα.

Κίνδυνοι που προέρχονται από διάφορους χημικούς παράγοντες που εκλύονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και από τη χρήση χημικών και άλλων επικίνδυνων ουσιών στην παραγωγική διαδικασία.

Οι εκλυόμενοι χημικοί παράγοντες μπορεί να εμφανίζονται υπό μορφή σκόνης, αερίων ή ατμών. Η συγκέντρωση των επικίνδυνων ουσιών εξαρτάται από την ένταση της εργασίας αλλά και τα μέτρα που χρησιμοποιούνται για την απαγωγή τους στην πηγή της εκπομπής.
Οι επικίνδυνες ουσίες μπορεί να χρησιμοποιούνται σε στερεή, υγρή, ή και αέρια μορφή.
Η προσβολή του εργαζόμενου μπορεί να γίνει μέσω της αναπνευστικής οδού, μέσω του δέρματος με επαφή ή σπανιότερα μέσω κατάποσης.

Οι βιολογικοί κίνδυνοι αφορούν κυρίως τους κοινόχρηστους χώρους (αποδυτήρια, αποχωρητήρια, εστιατόρια), βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας αποβλήτων, το σύστημα ύδρευσης (και ιδιαίτερα του πόσιμου νερού) αλλά και χρήσης κάποιων χημικών ουσιών στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. υγρά κοπής)
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν χημικούς κινδύνους στη βιομηχανία μετάλλου είναι η χαλυβουργία, οι ηλεκτροσυγκολλήσεις διαφόρων τύπων, οι οξυγονοκολλήσεις, οι ηλεκτροπόντες, οι θερμικές κατεργασίες (βαφή σε λάδι), τα μπάνια χημικών (φωσφάτωση, γαλβάνισμα, επινικέλωση, κλπ), οι καμπίνες βαφής, τα πιστόλια βαφής, οι κυκλώνες ανακύκλωσης βαφής σε διάφορους τύπους (υγρή βαφή, ηλεκτροστατική βαφή πούδρας κλπ), οι φούρνοι στεγνώματος και πολυμερισμού βαφής,

η θέρμανση και κόλλημα πλαστικών ή εφαρμογή κόλλας, και η χρήση διαφόρων χημικών χειρονακτικά (διαλύτες, καθαριστικά κλπ).

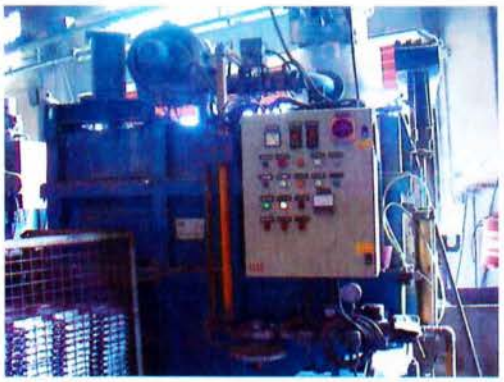
Οι εργονομικοί κίνδυνοι αφορούν κινδύνους που προέρχονται από λανθασμένες στάσεις η κινήσεις που πολλές φορές είναι αναγκασμένος να εκτελεί ο εργαζόμενος κατά τη διάρκεια της εργασίας του. Οι λανθασμένες αυτές ενέργειες συνήθως προέρχονται από κακό σχεδιασμό των θέσεων εργασίας ή των οργάνων χειρισμού και τμημάτων των μηχανών.
Άλλες αιτίες εμφάνισης του κινδύνου αυτού είναι μη σωστή εκπαίδευση των εργαζομένων και οι επαναλαμβανόμενες κινήσεις ή η μακρόχρονη στατική καταπόνηση σε κάποιες θέσεις εργασίας.
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν εργονομικούς κινδύνους στη βιομηχανία μετάλλου είναι οι πρέσες, οι στράντζες, οι ηλεκτροσυγκολλήσεις διαφόρων τύπων, οι οξυγονοκολλήσεις, οι ηλεκτροπόντες, η χειρονακτική διακίνηση φορτίων, τα βαφεία, οι υπολογιστές και τα γραφεία.

Οι κίνδυνοι πτώσης αφορούν τους κινδύνους που διατρέχουν οι εργαζόμενοι από πτώση υλικών ή τμημάτων μηχανών και πτώσεις των ίδιων των εργαζομένων από ύψος ή και στο ίδιο επίπεδο.
Οι κίνδυνοι που αναφέρονται σε πτώσεις υλικών έχουν να κάνουν κυρίως με μεταφορές υλικών χειρονακτικά ή με χρήση κάποιου μηχανήματος (γερανογέφυρα, περονοφόρο, παλετοφόρο κλπ).
Οι κίνδυνοι που αφορούν πτώσεις εργαζομένων έχουν να κάνουν με τη θέση εργασίας (εργασία σε ύψος ή όχι) και την κατάσταση του χώρου γύρω από αυτή (ύπαρξη ή όχι προστατευτικών, ανωμαλίες, νερά, λάδια κλπ).
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν κινδύνους από πτώση στη βιομηχανία μετάλλου είναι οι γερανοί-γερανογέφυρες, τα περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα (Clark), οι ανελκυστήρες, τα παλετοφόρα, οι μεταφορικές ταινίες, η χειρονακτική διακίνηση φορτίων, τα διάφορα εξαρτήματα των παραπάνω μηχανημάτων (σχοινιά, αλυσίδες, συρματόσχοινα, ιμάντες, μαγνήτες, ηλεκτρομαγνήτες κλπ), τα διάφορα άλλα οχήματα μεταφοράς, οι διάδρομοι κυκλοφορίας, και τα ράφια αποθήκευσης

Ο κίνδυνος έκρηξης είναι συνήθως άμεσα συνδεδεμένος με αυτόν τις πυρκαγιάς αλλά υπάρχουν περιπτώσεις που θα μπορούσε να σημειωθεί έκρηξη χωρίς απαραίτητα να έχουμε εκδήλωση πυρκαγιάς, όπως σε εγκαταστάσεις αερίων υπό πίεση, αεροσυμπιεστές, και φιάλες αερίων.
Στη βιομηχανία μετάλλου συνήθως δεν υπάρχουν πολλά εύφλεκτα υλικά, τουλάχιστον ως πρώτη βασική ύλη. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση εύφλεκτων ως βοηθητικά στοιχεία όπως οι εγκαταστάσεις φυσικού αερίου για τους καυστήρες φούρνων, και οι φιάλες ασετιλίνης και οξυγόνου για την οξυγονοκόλληση.
Τα μηχανήματα και διαδικασίες που ενέχουν κινδύνους πυρκαγιάς ή έκρηξης στη βιομηχανία μετάλλου είναι οι φούρνοι (καυστήρες), οι αεροσυμπιεστές, οι εγκαταστάσεις παροχής καυσίμου (φυσικού αερίου, πετρελαίου), οι ηλεκτροσυγκολλήσεις διαφόρων τύπων και οι οξυγονοκολλήσεις.

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς υπάρχει σε όλες τις περιπτώσεις αλλά αυξάνεται η σημαντικότητά του σε περιπτώσεις που υπάρχουν εύφλεκτα υλικά στο χώρο εργασίας.

Ο κίνδυνος από το **ηλεκτρικό ρεύμα** αφορά κάθε μηχάνημα στο οποίο χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του αλλά και τη γενικότερη ηλεκτρολογική εγκατάσταση του συνόλου του χώρου εργασίας. Απαιτείται προσωπικό με εξειδικευμένες γνώσεις για θέματα που αφορούν τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις στους χώρους εργασίας αλλά και ενημέρωση των εργαζομένων για τους κινδύνους που διατρέχουν από το ηλεκτρικό ρεύμα.



Οι κίνδυνοι από τις **κτιριακές δομές** προέρχονται από βλάβες στην κτιριακή δομή του χώρου εργασίας. Σημαντικό ρόλο δεν παίζει μόνο η στατική δομή του κτιρίου (αντοχή του κτιρίου) αλλά και η διάταξη των θέσεων εργασίας στο χώρο. Θα πρέπει να παρέχεται ικανός χώρος για την εκτέλεση των εργασιών, εύκολη πρόσβαση στις θέσεις εργασίας, ελεύθεροι διάδρομοι κυκλοφορίας και έξοδοι διαφυγής.

Οι κίνδυνοι από **ψυχολογικούς παράγοντες** αφορούν τις περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη ψυχολογική πίεση κατά τη διάρκεια της εργασίας, λόγω αυξημένου φόρτου εργασίας, αυξημένης ευθύνης κάποιων εργασιών, ή από κακές εργασιακές σχέσεις, κυκλικά ωράρια εργασίας και νυχτερινή εργασία.

Οι **οργανωτικοί** κίνδυνοι προέρχονται από κακή οργάνωση των επί μέρους παραγωγικών διαδικασιών. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση του άγχους λόγω της μη εύρυθμης λειτουργίας του συστήματος.

Μέτρα πρόληψης και οδηγίες ασφαλούς εργασίας

Ο βασικός σκοπός της εκτίμησης της επικινδυνότητας είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου και αυτός μπορεί να επιτευχθεί με μια σειρά από μέτρα όπως:

- Μετρήσεις στο περιβάλλον εργασίας των αιωρούμενων σωματιδίων (αδρανούς σκόνης και μετάλλων), του θορύβου, του μικροκλίματος (θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας αέρα), των χημικών ουσιών και της ολισθηρότητας.
- Ιατρικές εξετάσεις των εργαζομένων (περιγράφονται παρακάτω).
- Ενημέρωση εργαζομένων για την επικινδυνότητα της εισπνεόμενης σκόνης και της στάθμης θορύβου που υπάρχει στο χώρο εργασίας.
- Αντικατάσταση των βλαπτικών χημικών παραγόντων με άλλους αβλαβείς ή λιγότερο βλαπτικούς για την υγεία των εργαζομένων.
- Περιορισμό της εκπομπής των βλαπτικών επαγγελματικών παραγόντων (θορύβου, σκόνης, χημικών) στην πηγή εκπομπής.
- Τοποθέτηση κατάλληλων απαγωγών σκόνης στα σημεία εκπομπής .
- Τοποθέτηση κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών γύρω από τις μηχανές.
- Τοποθέτηση κατάλληλων προστατευτικών πλαισίων στα μηχανήματα.
- Χρήση ΜΑΠ (ειδικές μάσκες, γάντια, ποδιά, παπούτσια, ωτοασπίδες).
- Χρήση κατάλληλου εξοπλισμού μεταφοράς συσκευασμένων κόνεων.
- Τοποθέτηση συσκευασμένης σκόνης μετάλλου σε συγκεκριμένο χώρο αποθήκευσης.
- Εναλλαγές εργασίας.
- Διορθωτικές εργονομικές ενέργειες.
- Καθαρισμός του δαπέδου εργασίας.
- Τοποθέτηση αντιολισθητικών δαπέδων, όπου είναι απαραίτητο.
- Πρόγραμμα περιοδικών και προληπτικών συντηρήσεων μηχανών και εξοπλισμού.
- Εκπαίδευση χειριστών για τη λειτουργία και συντήρηση του εξοπλισμού (και του εξοπλισμού πυρόσβεσης).
- Περιοδική επιθεώρηση και καθημερινοί έλεγχοι όλων των μηχανημάτων μεταφοράς υλικών καθώς και συντήρησή τους από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Οι επιθεωρήσεις θα αφορούν τα μέρη υποκείμενα σε φθορά, τα συστήματα ασφαλείας, τις αλυσίδες κίνησης, τους μηχανικούς πέδες, την λίπανση των κινούμενων τμημάτων των γερανών-γερανογεφυρών, τα προειδοποιητικά σήματα, τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, τα άγκιστρα, τα μέσα ανύψωσης και τα προστατευτικά καλύμματα.
- Κατάλληλο επίπεδο φωτισμού στο χώρο.
- Ηχοφωτεινή σήμανση προειδοποίησης στα ανυψωτικά μηχανήματα.
- Συνεχής εκπαίδευση των εργαζομένων.
- Καταγραφή οδηγιών εργασίας.
- Τήρηση ορίων ταχύτητας.
- Τήρηση μέγιστων επιτρεπόμενων φορτίων ανύψωσης.
- Τοποθέτηση των χημικών σε ασφαλή χώρο.
- Τοποθέτηση των αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος σε κατάλληλα κανάλια προστασίας.
- Συντήρηση και τακτικός έλεγχος του συστήματος πυρόσβεσης.
- Κατάλληλα εκπαιδευμένη ομάδα πυροπροστασίας
- Τακτικές ασκήσεις ετοιμότητας.
- Απομάκρυνση των κάθε μορφής υγρών, από το χώρο τήξεως μετάλλων.
- Προσεκτική μεταφορά των τηγμένων μετάλλων στο χώρο χύτευσης.
- Να μην γίνεται υπερφόρτωση των δοχείων μεταφοράς τηγμένου μετάλλου.
- Σωστός καθαρισμός και συντήρηση των δοχείων μεταφοράς τηγμένων μετάλλων.
- Ενημέρωση των εργαζομένων για τους κινδύνους έκρηξης.

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΔΙΟΥ

Οι επιχειρήσεις στις οποίες πραγματοποιήθηκε η μελέτη πεδίου επιλέχθηκαν με βάση την στοιχειώδη αντιπροσωπευτικότητά τους στο κλάδο του μετάλλου και εξελίχθηκε κυρίως με βάση την δυνατότητα πρόσβασης.
Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε επιχειρήσεις της ευρύτερης περιοχής της Αττικής, της Θεσσαλονίκης και της Βοιωτίας.
Η μελέτη πεδίου σε καμία περίπτωση δεν είναι αντιπροσωπευτική του κλάδου του μετάλλου στην Ελλάδα. Αντικειμενικά προβλήματα στην κατεύθυνση αυτή ήταν ο περιορισμένος χρόνος εξέλιξης της μελέτης (1 έτος) και η πρόσβαση στις επιχειρήσεις.

Για την εκτίμηση των βλαπτικών επαγγελματικών παραγόντων και των επιπτώσεών τους στην υγεία και ασφάλεια των εργαζόμενων ακολουθήθηκαν οι εξής διαδικασίες :

- Περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας
- Εργατική Υποκειμενικότητα με το «Ερωτηματολόγιο της Ομοιογενούς Ομάδας Εργαζόμενων»
- Εντοπισμός και περιγραφή των βλαπτικών παραγόντων για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων
- Ποσοτικός προσδιορισμός των βλαπτικών παραγόντων στο εργασιακό περιβάλλον
- Ιατρικές Εξετάσεις

Ερωτηματολόγια υποκειμενικής εκτίμησης ομογενούς ομάδας εργαζομένων

Οι εργαζόμενοι ρωτήθηκαν για τους κινδύνους που θεωρούν ότι υπάρχουν στο εργασιακό περιβάλλον και για τα συμπτώματα της υγείας τους που είναι πιθανό να έχουν κάποια σχέση με την εργασία τους.

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι για την υγεία με τους οποίους έρχονται αντιμέτωποι θεωρούν ότι είναι ο θόρυβος, οι υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλές το χειμώνα, η σκόνη, οι καπνοί, και τα αέρια.
Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι για την ασφάλεια, θεωρούν οι εργαζόμενοι ότι προέρχονται από πτώσεις υλικών, ολίσθηση, εύφλεκτα υλικά, εκρήξεις, επικίνδυνα εργαλεία, και ηλεκτροπληξία.
Οι σημαντικότεροι εργονομικοί κίνδυνοι με τους οποίους έρχονται αντιμέτωποι οι εργαζόμενοι είναι ο έντονος ρυθμός εργασίας, η μονοτονία, ο υψηλός βαθμός ευθύνης, η πνευματική κόπωση και η διακίνηση χειρονακτικών φορτίων.
Αξίζει να σημειωθεί ότι ποσοστό εργαζομένων που κυμαίνεται από 30% ως 60% δηλώνει ότι έχει πέσει θύμα εργατικού ατυχήματος.

Τα κύρια συμπτώματα που αναφέρουν οι εργαζόμενοι είναι η οπτική κόπωση, το βούισμα στα αυτιά, η δυσκολία στην ακοή, δυσκολία στην αναπνοή, ο βήχας, ενοχλήματα του μυοσκελετικού συστήματος (πόνο στον αυχένα, στη μέση, στα πόδια και στα χέρια), το άγχος και η κούραση.

Θέματα ασφαλείας

Για τη διερεύνηση των θεμάτων ασφάλειας χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί πίνακες ελέγχου μηχανών και εξοπλισμού οι οποίοι εκπονήθηκαν από τα μέλη της ομάδας της μελέτης. Οι παραπάνω πίνακες βοήθησαν στην αποτύπωση της κατάστασης των μηχανημάτων και του εξοπλισμού όλων των παραγωγικών διαδικασιών που μελετήθηκαν.
Παρατηρήθηκε ότι ένα μεγάλο ποσοστό των μηχανών που εξετάστηκαν δεν φέρουν σήμανση CE και η γενική τους κατάσταση χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Επίσης ένα σημαντικό ποσοστό μηχανημάτων (κυρίως τροχιστικές μηχανές, τόρνοι και μηχανικές πρέσες) είναι παλαιάς τεχνολογίας και δεν φέρουν προστατευτικές διατάξεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μέρη ορισμένων μηχανών ήταν ιδιοκατασκευές χωρίς τις κατάλληλες προδιαγραφές ασφαλείας.
Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα επικίνδυνες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας είναι αφενός η αλλαγή των καλουπιών από τους εργαζόμενους και αφετέρου οι «δοκιμές» της μηχανής μετά την αλλαγή.

Όσον αφορά τους φούρνους τήξης μετάλλων και τις χυτόπρεσες που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, εντοπίστηκαν σημαντικοί κίνδυνοι εγκαύματος για τους χειριστές που δεν φορούσαν τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας.
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ανυψωτικός εξοπλισμός στις επιχειρήσεις που μελετήθηκαν συχνά δεν είχε ηχητική σήμανση προειδοποίησης.
Τέλος η σήμανση στους χώρους εργασίας εκτιμάται ανεπαρκής για τις μισές από τις επιχειρήσεις που εξετάστηκαν.

Μετρήσεις των βλαπτικών παραγόντων στο εργασιακό περιβάλλον

Έγιναν μετρήσεις θορύβου σε όλα τα τμήματα παραγωγής των επιχειρήσεων με σταθερά ηχόμετρα και φορητά ηχοδοσίμετρα. Ο θόρυβος σε διάφορα τμήματα παραγωγής των επιχειρήσεων υπερβαίνει τις οριακές τιμές που ορίζονται από τη νομοθεσία.

Έγιναν δειγματοληψίες αιωρούμενων σωματιδίων (σκόνης) και μετάλλων σε όλα τα τμήματα παραγωγής των επιχειρήσεων με σταθερές και φορητές αντλίες. Τα αιωρούμενα σωματίδια σε μερικά τμήματα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές που καθορίζονται από τη νομοθεσία. Ορισμένα μέταλλα ευρέθησαν σε αυξημένες τιμές σε μερικά τμήματα, χωρίς όμως να υπερβαίνουν τις οριακές τιμές. Σε δύο τμήματα που είχαμε υπέρβαση των οριακών τιμών, αντίστοιχα είχαμε και υπέρβαση των οριακών τιμών των μετάλλων στα βιολογικά υγρά των εργαζομένων.

Έγιναν δειγματοληψίες χημικών ουσιών (Εξάνιο, Βενζόλιο, Τολουόλιο, Αιθυλο-βενζόλιο, p-Ξυλόλιο, m-Ξυλόλιο, o-Ξυλόλιο και Τριχλωροαιθυλένιο) στα τμήματα παραγωγής που υπήρχε έκθεση των εργαζομένων. Στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν δεν υπήρχαν υπερβάσεις των οριακών τιμών.

Έγιναν μετρήσεις μικροκλίματος σε όλα τα τμήματα παραγωγής. Σε ορισμένα τμήματα οι τιμές ήταν υψηλές. Επιπλέον το Χειμώνα στις μετρήσεις μικροκλίματος σε όλα τα τμήματα παραγωγής μιας επιχείρησης οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές.

Έγιναν μετρήσεις στατικής τριβής (ολισθηρότητας) σε διάφορα τμήματα παραγωγής. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις προτεινόμενες «τιμές ασφάλειας» μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δάπεδα σε μερικά τμήματα αποτελούν ένα σοβαρό κίνδυνο ολίσθησης για τους εργαζόμενους.

Ιατρικές εξετάσεις

Ελήφθη συνοπτικό ιατρικό ιστορικό και έγιναν ακοομετρήσεις και σπιρομετρήσεις.

Από το ιστορικό προκύπτει ότι τα συμπτώματα που εμφανίζουν συχνότερα οι εργαζόμενοι είναι οι οσφυ-ισχυαλγίες, οι κεφαλαλγίες, ο βήχας, η βαρηκοΐα , και οι εμβοές.

Λόγω του υψηλού ποσοστού εργαζομένων που εντόπισε το θόρυβο ως ένα βασικό κίνδυνο για την υγεία τους και των υψηλών επιπέδων θορύβου που διαπιστώθηκαν από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, διενεργήθηκαν ακοομετρήσεις.
Από τις ακοομετρήσεις αυτές διαπιστώθηκε ότι ένα μεγάλο ποσοστό εργαζομένων, που κυμαίνεται από 20% έως 60% παρουσιάζει πτώση της ακουστικής ικανότητας επαγγελματικού τύπου.
Από τη διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν την πτώση της ακουστικής ικανότητας διαπιστώθηκε ότι η ηλικία, η εργασιακή ηλικία, και η ειδικότητα ή το τμήμα εργασίας είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν.

Για τον έλεγχο πιθανών αναπνευστικών προβλημάτων των εργαζομένων λόγω της έκθεσής τους στη σκόνη, διενεργήθηκαν σπιρομετρήσεις σε μερικές επιχειρήσεις.
Παρουσιάζονται υψηλά ποσοστά μειωμένων τιμών των δεικτών των σπιρομετρήσεων, δηλαδή ελάττωση των αναπνευστικών όγκων, χωρητικοτήτων και ροών.
Από τη διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν την πτώση των τιμών, διαπιστώθηκε ότι εκτός από το κάπνισμα και η ειδικότητα των εργαζομένων ή το τμήμα εργασίας είναι παράγοντες που φαίνεται να επηρεάζουν.

Αξιολόγηση στοιχείων - προτάσεις βελτίωσης

Οι **σημαντικότεροι κίνδυνοι** είναι οι μηχανικοί (μηχανές, εξαρτήματα κλπ), οι φυσικοί κίνδυνοι (θόρυβος, το μικροκλίμα), οι χημικοί κίνδυνοι (διάφορες χημικές ουσίες), ο κίνδυνος ολισθηρότητας και τα εργονομικά προβλήματα.

Οι **προτάσεις βελτίωσης** αφορούν κυρίως στον μηχανολογικό εξοπλισμό, τις κτιριακές δομές και εγκαταστάσεις, τον φωτισμό, τον εξαερισμό με κεντρικό σχεδιασμό για τον περιορισμό της εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων αδρανούς σκόνης, μετάλλων, αερίων και καπνών, την ανανέωση του αέρα και τη βελτίωση του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα) με κατάλληλο κλιματισμό καθώς και τον περιορισμό του εργασιακού θορύβου στην ηχητική πηγή.

Προτάσεις ιατρικής παρακολούθησης των εργαζομένων

Πρέπει να υπάρχει ιατρική παρακολούθηση από ειδικό γιατρό εργασίας και να γίνεται τακτικός (σύμφωνα με τη νομοθεσία και της αρχές της Ιατρικής επιστήμης) ιατρικός έλεγχος των εργαζομένων. Αυτός περιλαμβάνει κυρίως έλεγχο της ακοής με ακοογραφήματα, του αναπνευστικού με ακτινογραφίες θώρακα και πλήρη λειτουργικό έλεγχο αναπνοής, έλεγχο στα βιολογικά υγρά των επιπέδων των μετάλλων που εισπνέονται και έλεγχο του μυοσκελετικού συστήματος. Επιπλέον πρέπει να γίνεται ειδικός έλεγχος των συστημάτων ή οργάνων στόχων (των χημικών ουσιών και φυσικών παραγόντων του εργασιακού περιβάλλοντος) με τον ενδεδειγμένο κλινικο-εργαστηρικό έλεγχο.

ΛΙΣΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Τι μηχανήματα χρησιμοποιούνται;	ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
• Τόρνοι		
• Φρέζες		
• Ρεκτιφιέ		
• Σταθεροί τροχοί		
• Σταθερά δράπανα		
• Χειρωνακτική εργασία σε πάγκο		
•		

Πηγές κινδύνου (ενδεικτικά)

Μηχανικοί κίνδυνοι
- Εγκλωβισμός άνω άκρων μεταξύ κινούμενων και ακίνητων μερών των μηχανών
- Κόψιμο ή και σύνθλιψη άνω άκρων από τα κινούμενα μέρη των μηχανών
- Εκσφενδονισμός εργαλείων
- Εκσφενδονισμός κομματιών προς κατεργασία
- Εκσφενδονισμός ρινισμάτων από την κατεργασία

Εργονομικοί κίνδυνοι
- Φόρτωμα - ξεφόρτωμα εργαλείων, κομματιών προς κατεργασία
- Στάσεις κατά την εργασία

Θόρυβος
- Κατά την κατεργασία
- Από αντλίες, τροχαλίες και άλλα μέσα μετάδοσης της κίνησης

Χημικοί κίνδυνοι από υγρά κοπής
- Από εκσφενδονισμό κατά την κατεργασία
- Κατά τη διάρκεια καθαρισμού - συντήρησης
- Κατά το γέμισμα, απόρριψη

Μηχανή	Τύπος	Ημερομηνία

Α/Α	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	Υπάρχουν προστατευτικά καλύμματα / προφυλακτήρες γύρω από την περιοχή κατεργασίας;			
	• για γρέζια			
	• για υγρά κοπής			
	• για το κομμάτι προς κατεργασία			

279

Α/Α	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
2	Οι προφυλακτήρες αυτοί κλειδώνουν με χειροκίνητη λειτουργία ή υπάρχει μηχανισμός υποβοήθησης (υδραυλικός, αέρος, ηλεκτρικός);			
3	Τα πλαστικά προστατευτικά καλύμματα (polycarbonate) είναι κατάλληλης αντοχής και όχι πολυκαιρισμένα;			
4	Όταν δεν χρησιμοποιούνται τα προστατευτικά καλύμματα η μηχανή λειτουργεί με μειωμένες στροφές και σε χειροκίνητη θέση λειτουργίας με δύο χέρια και συνεχή πίεση των εντολέων (κουμπιών / μοχλών) (two hand control - hold to run control);			
5	Τηρούνται τα μέγιστα όρια στροφών κατά την κατεργασία καθώς και τα μέγιστα όρια βάρους - μήκους των αντικειμένων προς κατεργασία;			
6	Πριν την εκκίνηση γίνεται έλεγχος ότι απομακρύνθηκαν όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για το δέσιμο του κομματιού προς κατεργασία; Υπάρχει αυτόματος μηχανισμός ελέγχου για το ανωτέρω;			
7	Το δέσιμο του κομματιού γίνεται με χειροκίνητη λειτουργία ή υπάρχει μηχανισμός υποβοήθησης (υδραυλικός, αέρος, ηλεκτρικός);			
8	Γίνεται έλεγχος για το σωστό δέσιμο του κομματιού χρησιμοποιώντας χαμηλές στροφές κατά την εκκίνηση;			
9	Η τοποθέτηση των εργαλείων γίνεται μόνο όταν η μηχανή βρίσκεται εκτός λειτουργίας;			
10	Υπάρχει μηχανισμός ελέγχου της συγκράτησης των εργαλείων και σύστημα προειδοποίησης / διακοπής λειτουργίας σε περίπτωση μη σωστής τοποθέτησης;			
11	Τα εργαλεία είναι σωστά ακονισμένα και κατάλληλα για την εργασία ανάλογα με το προς κατεργασία υλικό;			
12	Γίνεται χρήση κάποιου προστατευτικού (βαμβακερό ύφασμα) κατά την τοποθέτηση ή μεταφορά εργαλείων;			

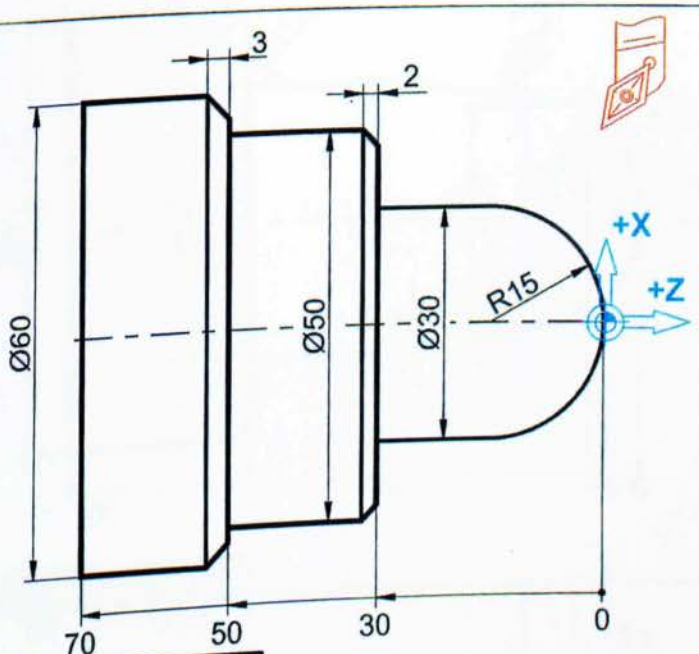
Α/Α	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
13	Γίνεται χρήση λίμας ή και γυαλόχαρτου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας;			
14	Γίνεται τακτικό καθάρισμα της μηχανής από γρέζια, μόνο αφού η μηχανή έχει σταματήσει εντελώς;			
15	Οι μετρήσεις στα προς κατεργασία κομμάτια γίνονται μόνο αφού η μηχανή έχει σταματήσει εντελώς;			
16	Υπάρχει κουμπί άμεσης παύσης λειτουργίας (μανιτάρι);			
17	Τα όργανα χειρισμού είναι μακριά από τις επικίνδυνες περιοχές;			
18	Τα κουμπιά εκκίνησης και παύσης λειτουργίας βρίσκονται σε εργονομική / εύκολη σε πρόσβαση θέση ως προς τη θέση του χειριστή;			
19	Υπάρχουν άλλα αντικείμενα γύρω / επάνω στην περιοχή κατεργασίας ή τη μηχανή γενικότερα;			
20	Το δάπεδο είναι καθαρό από λάδια, υγρά κοπής;			
21	Με ποια μέσα γίνεται το φόρτωμα των προς κατεργασία αντικειμένων;			
22	Υπάρχει δυνατότητα να χαλαρώσει ο μηχανισμός συγκράτησης με χειροκίνητη ή αυτόματη εντολή κατά τη διάρκεια της κατεργασίας;			
23	Σε περίπτωση διακοπής παροχής ενέργειας ο μηχανισμός συγκράτησης του κομματιού προς κατεργασία χαλαρώνει τη δύναμη συγκράτησης;			
24	Σε περίπτωση επαναφοράς της ενέργειας η μηχανή ξεκινά αυτόματα;			
25	Σε μηχανές με προφυλακτήρες ενδομανδάλωσης ή φωτοκύτταρα διακόπτεται αμέσως η λειτουργία όλης της μηχανής (συμπεριλαμβανομένης και της παροχής υγρών κοπής) μόλις ενεργοποιηθεί το ασφαλιστικό;			
26	Στην παραπάνω κατάσταση ο μηχανισμός συγκράτησης του κομματιού προς κατεργασία χαλαρώνει τη δύναμη συγκράτησης;			

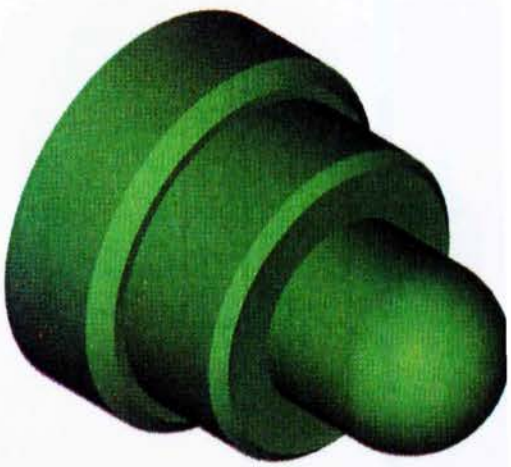
Α/Α	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
27	Με το κλείσιμο του προφυλακτήρα ή την επιβεβαίωση του φωτοκύτταρου η μηχανή ξεκινά αυτόματα;			
28	Υπάρχει κίνδυνος εγκλωβισμού του εργαζόμενου μέσα στη μηχανή;			
	Υπάρχουν οδηγίες απεγκλωβισμού;			
29	Υπάρχει δυνατότητα ανάστροφης λειτουργίας της μηχανής;			
30	Υπάρχουν βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης υδραυλικών, αέρος και χαλάρωσης των φρένων μετά από διακοπή εκτάκτου ανάγκης;			
31	Υπάρχει δημιουργία νεφών σκόνης ή ατμών κατά τη κατεργασία;			
	Υπάρχει απαγωγέας αερίων σε περιπτώσεις που δημιουργούνται νέφη σκόνης ή ατμών κατά την κατεργασία;			
32	Έχουν γίνει μετρήσεις για τα επίπεδα θορύβου;			
	Ποιες οι κύριες πηγές θορύβου;			
33	Είναι κατάλληλες οι συνθήκες φωτισμού;			
34	Υπάρχουν δονήσεις / κραδασμοί;			
35	Οι μηχανές είναι ελεγμένες για κινδύνους από το ηλεκτρικό ρεύμα;			
36	Οι μηχανές είναι εργονομικά σχεδιασμένες;			
37	Υπάρχουν κίνδυνοι από πτώση;			
	Λαμβάνονται μέτρα;			
38	Εκτελούνται εργασίες συντήρησης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή;			
39	Γίνεται χρήση οργάνων laser για τη ρύθμιση των μηχανών;			
39	Σε μηχανές τροχίσματος οι προφυλακτήρες καλύπτουν το λιγότερο το μισό τροχό;			
40	Χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα Μ.Α.Π.;			

Πηγή: «Εργαλεία διερεύνησης θεμάτων ασφάλειας και εργονομικών παραγόντων». Συλλογικό, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., 2008, σελ. 196, ISBN: 978-960-6818-06-6

ΑΣΚΗΣΗ

ΕΚΧΟΝΔΡΙΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΡΝΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ G11 ΚΑΙ G13





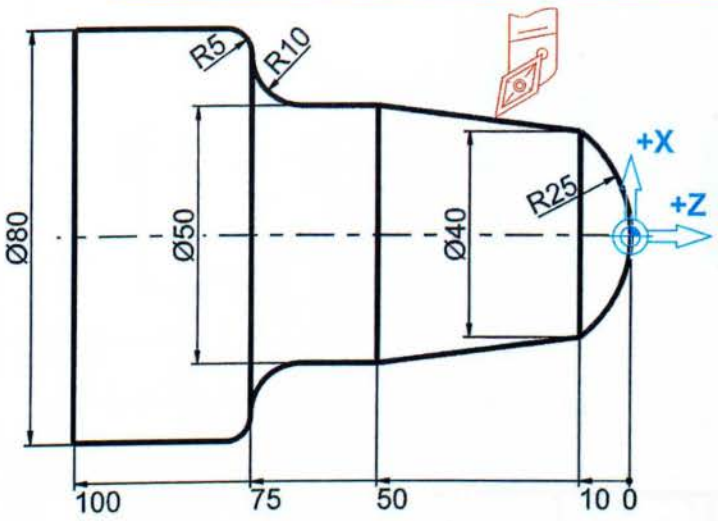
N7016							ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
N1	G54				T1	M06	Ανάκτηση μηδενισμού Εισαγωγή εργαλείου
N2							Απόλυτες συντεταγμένες
N3	G90						
						M04	Εκκίνηση στροφών ατράκτου
N4					D5000	S150	Σταθερή ταχύτητα κοπής
N5	G96						
N6	G11	X65		Z0	C2 I0.5 K0.3	F0.3	Κύκλος τόρνευσης περιγρ/τος
N7	G01	X0					1η εντολή περιγράμματος
		X60		Z-53			2η εντολή περιγράμματος
N8		X54		Z-50			3η εντολή περιγράμματος
N9		X50					4η εντολή περιγράμματος
N10				Z-32			5η εντολή περιγράμματος
N11		X46		Z-30			6η εντολή περιγράμματος
N12		X30					7η εντολή περιγράμματος
N13				Z-15			8η εντολή περιγράμματος
N14		X0		Z0	R15		Τελευταία εντολή περιγρ/τος
N15	G03				N1=7 N2=15		Εκτέλεση κύκλου G11
N16	G13	X100		Z100			Απομάκρυνση εργαλείου
N16	G00						Ακύρωση μηδενισμού
N17	G53					M02	Τέλος προγράμματος
N18							

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Ο κύκλος κατεργασίας G11 ορίζει τον τρόπο κατεργασίας του περιγράμματος που ακολουθεί στις προτάσεις N7 έως N15. Η εκτέλεση του κύκλου πραγματοποιείται με την εντολή G13 στην πρόταση N16, που καθορίζει σε ποιες προτάσεις περιγράφεται το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Οι λέξεις I0.5 και K0.3 στην πρόταση N6 καθορίζουν το εναπομένον υλικό μετά την εκχόνδριση στην κατεύθυνση X (0.5mm) και Z (0.3mm) αντίστοιχα, το οποίο μπορεί να απομακρυνθεί με φινίρισμα.

ΑΣΚΗΣΗ

ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΡΝΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ G00, G01, G02 ΚΑΙ G03



N7004							ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
N1	G54						Ανάκτηση μηδενισμού
N2					T1	M06	Εισαγωγή εργαλείου
N3	G90						Απόλυτες συντεταγμένες
N4						M04	Εκκίνηση στροφών ατράκτου
N5	G96				D5000	S250	Σταθερή ταχύτητα κοπής
N6	G00	X0		Z2			Αρχική τοποθέτηση εργαλείου
N7	G01			Z0	F0.2		Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N8	G03	X40		Z-10	R25		Αριστερόστροφη κυκλ. κίνηση
N9	G01	X50		Z-50			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N10				Z-65			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N11	G02	X70		Z-75	R10		Δεξιόστροφη κυκλική κίνηση
N12	G03	X80		Z-80	R5		Αριστερόστροφη κυκλ. κίνηση
N13	G01			Z-90			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N14	G00	X100		Z30			Απομάκρυνση εργαλείου
N15	G53						Ακύρωση μηδενισμού
N16						M02	Τέλος προγράμματος

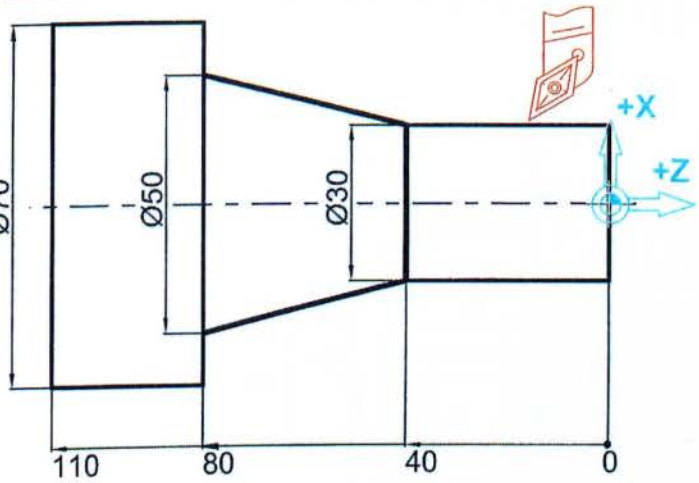
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Το φινίρισμα του τεμαχίου ακολουθεί το περίγραμμά του. Το κομμάτι του σχήματος υποτίθεται ότι έχει προδιαμορφωθεί με εκχόνδριση και η αποπεράτωση έχει σκοπό μόνο τη δημιουργία της τελικής ποιότητας επιφάνειας.

2. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι κάθε τόρνος και κάθε καθοδήγηση έχουν τις δικές τους ιδιαιτερότητες. Σε κάθε περίπτωση πρέπει ο προγραμματιστής μίας CNC εργαλειομηχανής να συμβουλεύεται το αντίστοιχο εγχειρίδιο χρήσης.

ΣΚΗΣΗ

ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΡΝΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ G00 ΚΑΙ G01



N7001

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

N1	G54						Ανάκτηση μηδενισμού
N2					T1	M06	Εισαγωγή εργαλείου
N3	G90						Απόλυτες συντεταγμένες
N4						M04	Εκκίνηση στροφών ατράκτου
N5	G96				D5000	S250	Σταθερή ταχύτητα κοπής
N6	G00	X30		Z2			Αρχική τοποθέτηση εργαλείου
N7	G01			Z-40	F0.1		Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N8		X50		Z-80			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N9		X72					Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N10	G00	X100		Z30			Απομάκρυνση εργαλείου
N11	G53						Ακύρωση μηδενισμού
N12						M02	Τέλος προγράμματος

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Το φινίρισμα του τεμαχίου ακολουθεί το περίγραμμά του. Το τεμάχιο του σχήματος υποτίθεται ότι έχει προδιαμορφωθεί με εκχόνδριση και η αποπεράτωση έχει σκοπό μόνο τη δημιουργία της τελικής ποιότητας επιφάνειας.

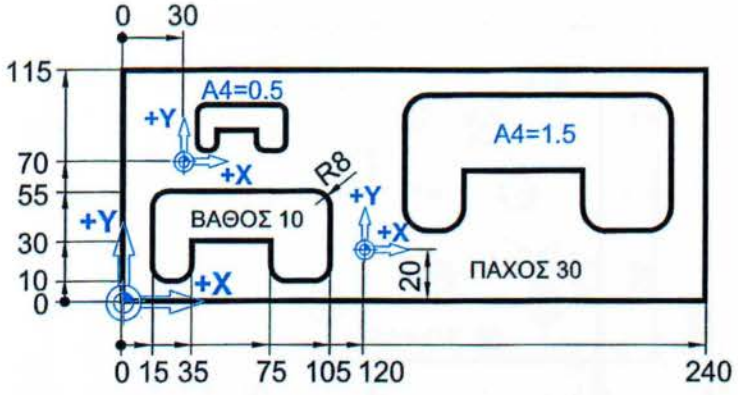
2. Οι εντολές G δεν επαναλαμβάνονται, όταν έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Έτσι οι προτάσεις N8 και N9 δεν έχουν τη λέξη G01, γιατί αυτή υπονοείται από την εντολή N7. Αντίστοιχα, δεν επαναλαμβάνονται συντεταγμένες που δεν αλλάζουν, όπως και η πρόωση.

3. Η εντολή G96 στην πρόταση N5 έχει σκοπό να διατηρεί σταθερή ταχύτητα κοπής για ομοιόμορφη ποιότητα επιφάνειας, επειδή η κατεργασία είναι αποπεράτωση. Για τον ίδιο λόγο, στην πρόταση N7, η πρόωση δίνεται μικρή (0.1mm/rev).

4. Η γρήγορη κίνηση G00 στην πρόταση N6 σταματά λίγο πριν από το κομμάτι, για να αποφευχθεί πιθανή σύγκρουση ή αλλαγή της ποιότητας στο τεμάχιο, λόγω της μεγάλης πρόωσης. Η είσοδος και η έξοδος από το κατεργαζόμενο τεμάχιο πρέπει να γίνεται με G01, έστω και για πολύ μικρό διάστημα. Για το λόγο αυτόν η πρόταση N9 έχει X72 και όχι X70.

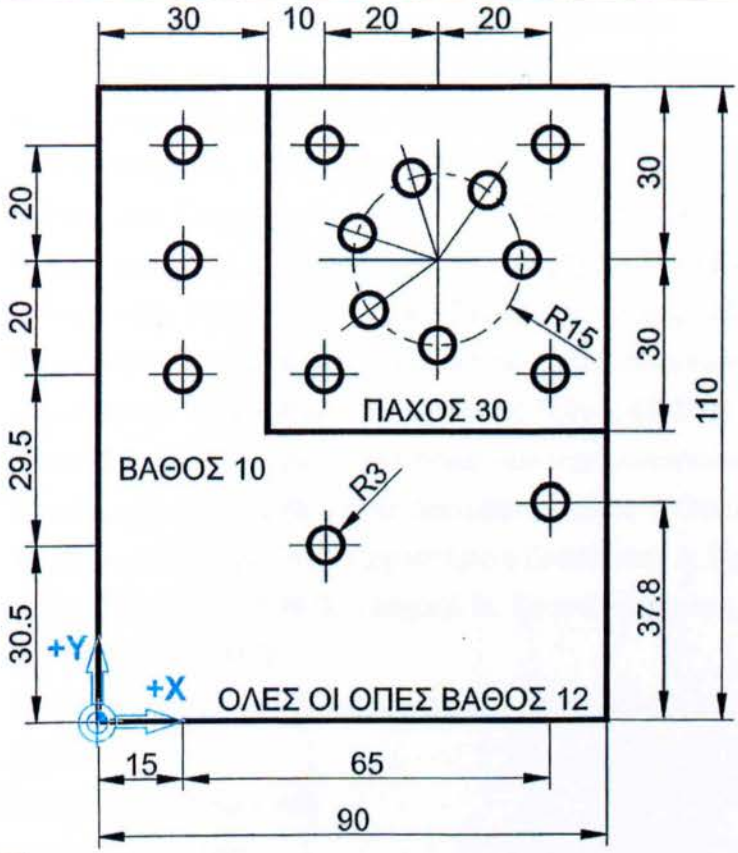
ΑΣΚΗΣΗ

ΚΟΠΗ ΜΕΓΕΘΥΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΜΙΚΡΥΣΜΕΝΩΝ ΕΣΟΧΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ



N8008						ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
N1	G17			S400 T23 M06 (D16)		Εισαγωγή εργαλείου T23
N2	G54					Ανάκτηση μηδενισμού
N3	G00	X55	Y45	Z2	M03	Εκκίνηση στροφών ατράκτου
N4	G01			Z-10	F50	Ρύθμιση βάθους
N5	G43		Y55		F100	Εμπρός αντιστάθμιση
N6	G42	X105				Δεξιά αντιστάθμιση
N7	G01		Y10			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N8	G01	X75				Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N9	G01		Y30			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N10	G01	X35				Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N11	G01		Y10			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N12	G01	X15				Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N13	G01		Y55			Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N14	G01	X55				Ευθύγραμμη κίνηση με κοπή
N15	G40					Αναίρεση αντιστάθμισης
N16	G00			Z50		Απομάκρυνση εργαλείου
N17				S250 T15 M06 (D24)		Εισαγωγή εργαλείου T15
N18	G93	X120	Y20			Μεταφορά συστ/τος συντεταγ.
N19	G73				A4=1.5	Εντολή μεγέθυνσης
N20	G14				J1 N1=3 N2=16	Εντολή επανάληψης
N21	G72					Ακύρωση μεγέθυνσης
N22				S800 T24 M06 (D8)		Εισαγωγή εργαλείου T24
N23	G93	X30	Y70			Μεταφορά συστ/τος συντεταγ.
N24	G73				A4=0.5	Εντολή σμίκρυνσης
N25	G14				J1 N1=5 N2=18	Εντολή επανάληψης
N26	G72					Ακύρωση σμίκρυνσης
N27	G93	X0	Y0			Μεταφορά συστ/τος συντεταγ.
N28	G00			Z50		Απομάκρυνση εργαλείου
N29					M30	Τέλος προγράμματος

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΟΠΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ G81 ΚΑΙ G77



N8010							ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
N1	G17						Οριζόντιο φρεζάρισμα
N2	G54						Ανάκτηση μηδενισμού
N3	G90						Απόλυτες συντεταγμένες
N4					S950 T25	M06	Εισαγωγή εργαλείου T25
N5	G81		Y2	Z-12	B10 F50	M03	Κύκλος διάτρησης
N6	G78	X15	Y100	Z0	P1		Καθορισμός σημείου
N7	G78	X40	Y100	Z10	P2		Καθορισμός σημείου
N8	G78	X80	Y100	Z10	P3		Καθορισμός σημείου
N9	G78	X15	Y80	Z0	P4		Καθορισμός σημείου
N10	G78	X15	Y60	Z0	P5		Καθορισμός σημείου
N11	G78	X40	Y60	Z10	P6		Καθορισμός σημείου
N12	G78	X80	Y60	Z10	P7		Καθορισμός σημείου
N13	G78	X40	Y30.5	Z0	P8		Καθορισμός σημείου
N14	G78	X80	Y37.8	Z0	P9		Καθορισμός σημείου
N15	G79		P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9				Εκτέλεση κύκλων διάτρησης
N16	G77	X60	Y80	Z10	R15 I0 J6 K270		Κύκλος οπών σε κύκλο
N17	G00			Z50			Απομάκρυνση εργαλείου
N18						M30	Τέλος προγράμματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Εισαγωγή στη Μηχανουργική Τεχνολογία Συγκόλλησης μέταλλων», Ε.Μ.Π Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
2. Εργαλειομηχανες, Διμινιαιο περιοδικό των μηχανολογικών κατασκευών, Τεύχος Μαρτιος-Απριλιος,Τευχος 47/2004
3. Εργαλειομηχανες, Διμινιαιο περιοδικό των μηχανολογικών κατασκευών Τεύχος Ιουλιος-Αυγουστος Τεύχος 43/2003
4. Εργαλειομηχανες, Διμινιαιο περιοδικό των μηχανολογικών κατασκευών, Τεύχος Σεπτεμβριος-Οκτωβριος Τεύχος 72/2007
5. Εργαλειομηχανες, Διμινιαιο περιοδικό των μηχανολογικών κατασκευών, Τεύχος Ιούλιος -Αύγουστος Τεύχος 49/2004
6. Εργαλειομηχανες, Διμινιαιο περιοδικό των μηχανολογικών κατασκευών, Τεύχος Νοεμβριο-Δεκεμβριο Τεύχος 73/2007
7. Μηχανουργική τεχνολογία Εργαστήριο ιι Ελευθερίου Δ. Παπαδανιήλ ΟΜΟΤΙΜΟΥ ΚΑΘ. Ε.Μ.Π. – Μιχαήλ Μ. Σφαντζικόπουλου ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.
8. ΕΛΙΝΥΑΕ Περίληψη εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου ΑΘΗΝΑ 2004
9. ΕΛΙΝΥΑΕ (Πυξίδα τ. 46)
10. Παγκόσμιος Ιστός:

www. Wikipedia.org www.
Istc.com www.feainfo.com
www. dyna-portal.com
www, lsdvna-support.com
www. cadfem.com www.
philonnet.gr
www.dvnamore.com