

2011

Α.ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΧΑΣΑΠΗΣ



[Σχεδίαση και Κατασκευή εργαλειοφόρου άξονα Φ22 φρέζας
του Εργαστηρίου Μηχανικής Τεχνολογίας ΙΙ.]

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΑΡΚΟΥ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας τέθηκε πολύτιμη συμβολή ατόμων που διαθέτουν κατάλληλες γνώσεις, πείρα κ εμπειρία. Έτσι θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εισηγητή της πτυχιακής εργασίας Καθηγητή Μηχανολογικού Εργαστηρίου 1 τον κύριο Μάρκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κατεργασία, στην ευρύτερη της έννοια, είναι η διαδικασία με την οποία τα ακατέργαστα υλικά μετατρέπονται τελικά σε προϊόντα. Η έννοια της κατεργασίας καλύπτει τόσο την καθεαυτού κατασκευή όσο και τα σχέδια των προς κατασκευή προϊόντων χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους κατεργασιών και τεχνικών παραγωγής. Η ιδέα της κατεργασίας πρωτοεμφανίστηκε περίπου το 5000 με 4000 π.Χ. με την παραγωγή προϊόντων από διάφορα είδη ξύλου, κεραμικών, πέτρας, και μετάλλου. Σύμφωνα με την σύγχρονη δε μορφή της είναι η διαδικασία παραγωγής προϊόντων από ακατέργαστα υλικά, με βάση διάφορες διαδικασίες και μηχανήματα οι οποίες ακολουθούν ένα οργανωμένο σχέδιο και κάθε βήμα που απαιτείται. Τα κατεργασμένα προϊόντα χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή άλλων προϊόντων. Επειδή ένα κατασκευασμένο αντικείμενο έχει υποβληθεί σε διάφορες αλλαγές μετά τις οποίες το ακατέργαστο υλικό έχει γίνει πλέον ένα χρήσιμο προϊόν, λαμβάνεται υπόψη η προστιθέμενη αξία, ως νομισματική αξία όσον αφορά την τιμή του προϊόντος. Με την βοήθεια της κατεργασίας μπορούμε να παράγουμε και ιδιαίτερα προϊόντα, δηλαδή είτε μεμονωμένα μέρη των κομματιών, είτε συνεχή προϊόντα. Η κατεργασία είναι γενικά μια σύνθετη δραστηριότητα στην οποία συμμετέχουν άνθρωποι που έχουν μια ευρεία σειρά πειθαρχιών και ικανοτήτων αλλά ταυτόχρονα χρησιμοποιείται και μια ευρεία ποικιλία μηχανημάτων, εξοπλισμού, και εργαλείων διαφόρων επιπέδων αυτοματισμού, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστών, των ρομποτικών μηχανισμών και του υλικού εξοπλισμού χειρισμού. Οι μέθοδοι κατεργασίας θα πρέπει να ανταποκρίνονται σε διάφορες ζητήσεις και τάσεις:

- Το προϊόν πρέπει να ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις του σχεδίου αλλά και τις απαραίτητες προδιαγραφές.
- Το προϊόν πρέπει να κατασκευαστεί με βάση τις πιο οικονομικές μεθόδους προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος παραγωγής.
- Η ποιότητα θα πρέπει να εξετάζεται σε κάθε στάδιο παραγωγής του προϊόντος, από το σχέδιο έως και το τελικό προϊόν, και όχι απλά να ελέγχεται αφότου κατασκευαστεί αυτό.
- Σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι μέθοδοι παραγωγής πρέπει να είναι αρκετά εύκαμπτες για να αποκριθούν στις μεταβαλλόμενες ζητήσεις της αγοράς, στους τύπους των προϊόντων, τα ποσοστά παραγωγής, τις ποσότητες παραγωγής, και στην εντός χρόνου παράδοση στον πελάτη.

- Οι νέες εξελίξεις της τεχνολογίας στα υλικά, τις μεθόδους παραγωγής, τους υπολογιστές, τόσο στις τεχνολογικές όσο και στις διευθυντικές δραστηριότητες σε ένα κατασκευαστικό οργανισμό πρέπει να αξιολογηθούν άμεσα για να επιτευχθεί η έγκαιρη και οικονομική εφαρμογή τους.
- Ο κατασκευαστής πρέπει να εργαστεί με τον πελάτη για να πάρει την έγκαιρη ανατροφοδότηση που απαιτείται για τη συνεχή βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων.
- Ο κατασκευαστικός οργανισμός πρέπει συνεχώς να προσπαθεί για την υψηλότερη παραγωγικότητα, που καθορίζεται ως η βέλτιστη χρήση όλων των πόρων της: υλικά, μηχανές, ενέργεια, κεφάλαιο, εργασία, και τεχνολογία. Η απόδοση ανά υπάλληλο και ανά ώρα σε όλες τις φάσεις πρέπει να μεγιστοποιηθεί.

1.2 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οι κατεργασίες διακρίνονται κατά DIN σε:

- **Αρχέγονες κατεργασίες:** το υλικό αρχικά δεν έχει συγκεκριμένο σχήμα, αλλά αποκτά καθορισμένη γεωμετρία μετά τη μορφοποίηση (χύτευση, κονιομεταλλουργία κλπ).
- **Διαμορφώσεις:** Χαρακτηριστικό τους είναι η πλαστική παραμόρφωση και η διατήρηση της μάζας του υλικού. Διακρίνονται σε κατεργασίες διαμόρφωσης του συμπαγούς υλικού (σφυρηλάτηση, έλαση, διέλαση, ολκή κλπ.) Και σε κατεργασίες διαμόρφωσης του επιπέδου ελάσματος (κάμψη, απότμηση, βαθειά κοίλανση κλπ).
- **Κοπές ή κατεργασίες αποβολής υλικού:** Η μορφοποίηση επιτυγχάνεται με συνδυασμό πλαστικής παραμόρφωσης σε διάτμηση και αποβολή υλικού (τόρνευση, διάτρηση, φρεζάρισμα, λείανση κλπ.). Στις κατεργασίες αποβολής υλικού, μόνο μία στρώση υλικού της κατεργασμένης επιφάνειας σε μικρό ή σε μεγαλύτερο βάθος, ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας, υφίσταται πλαστική παραμόρφωση και αλλαγές ή και μετασχηματισμούς στην κρυσταλλική του δομή, άρα και σε ορισμένες ιδιότητες του σε πλήρη αντίθεση με τις κατεργασίες διαμορφώσεως, όπου τέτοιες μεταβολές πραγματοποιούνται στην όλη μάζα του κομματιού ή σε σημαντικό μέρος του.
- **Επιφανειακές κατεργασίες:** Δεν επιφέρουν αλλαγή σχήματος στο τεμάχιο αλλά μεταβολή στις ιδιότητες της κατεργασμένης επιφάνειας (ενίσχυση και προστασία). Διακρίνονται σε θερμικές, θερμοχημικές και επικαλύψεις.

- **Κατεργασίες σύνδεσης:** Διακρίνονται σε μεταλλουργικές συνδέσεις (συγκολλήσεις) και μηχανικές συνδέσεις (ηλώσεις, κοχλιώσεις κλπ).

Με κριτήριο την χρησιμοποιούμενη ενέργεια και εξοπλισμό, οι κατεργασίες διακρίνονται σε:

- **Συμβατικές:** χρησιμοποιείται μηχανική ενέργεια και συμβατικός εξοπλισμός (μηχανουργικές κατεργασίες).
- **Μη συμβατικές:** ως βασική ενέργεια κατεργασίας χρησιμοποιείται κάποια άλλη μορφή ενεργείας πέραν της μηχανικής, ενώ ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός είναι μη συμβατικός, προσαρμοζόμενος στις ιδιαιτερότητες της κατεργασίας (μαγνητική διαμόρφωση, εκρηκτική συμπίεση, ηλεκτροδιάβρωση, κοπή με laser, εκρηκτική συγκόλληση)

1.2.1 Συμβατικές κατεργασίες κοπής

Με τις κατεργασίες κοπής, ως μεθόδου παραγωγής μεταλλικών προϊόντων, αφαιρείται προοδευτικά προκαθορισμένος κατά στρώσεις όγκος μετάλλου με τη βοήθεια εργαλείου σε σχήμα σφήνας, με πλαστική παραμόρφωση του κατεργαζόμενου τεμαχίου υπό μορφή αποβλήτων (γρεζιών) σε μέγεθος και σχήμα που ποικίλλουν κατά περίπτωση κατεργασίας. Έτσι, με τις κατεργασίες κοπής προσδίδεται στο κατεργαζόμενο τεμάχιο την επιθυμητή (προδιαγεγραμμένη) μορφή και διαστάσεις μέσα σε επιτρεπόμενα όρια ανοχών και ακόμη την απαραίτητη ποιότητα των τεχνολογικών επιφανειών του τεμαχίου, ώστε αυτό να μπορέσει να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στις λειτουργικές απαιτήσεις κατά τη χρήση του, για την οποία και προορίζεται. Η κοπή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κατάλληλου εκάστοτε κοπτικού εργαλείου (απλούστερα εργαλείου ή κοπτικού), οπωσδήποτε αρκετά σκληρότερου από το υλικό που κατεργαζόμαστε και της συναφούς εργαλείου μηχανής, που προσδίδει την απαιτούμενη για την κοπή ισχύ και εκτελεί τις αναγκαίες για την μορφοποίηση του κομματιού κινήσεις τόσο του κομματιού, όσο και του εργαλείου.

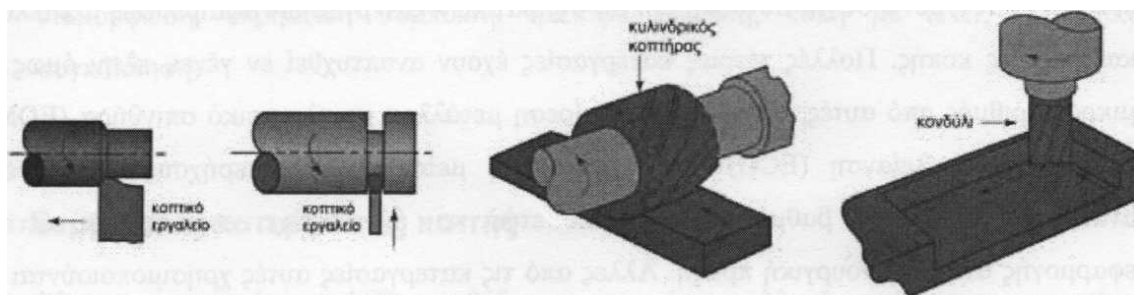
1.2.2 Μη - Συμβατικές κατεργασίες κοπής

Οι μη συμβατικές (μη καθιερωμένες) κατεργασίες αφαιρέσεως μετάλλου έχουν ως κοινό γνώρισμα με τις κατεργασίες κοπής το ότι και με τις πρώτες, για να μορφοποιηθεί το τεμάχιο, αφαιρείται από αυτό το μέταλλο που πλεονάζει. Όμως, το αποβαλλόμενο μέταλλο δεν έχει τη μορφή αποβλήτου ούτε και σχηματίζεται με τον ίδιο μηχανισμό (υψηλού βαθμού πλαστική παραμόρφωση), αλλά παρουσιάζεται υπό μορφή ποικίλων τελικά σχημάτων, όπως σφαιριδίων, ακανόνιστων τεμαχιδίων κ.ά. Ακόμη, η προσδιδόμενη, για να λάβει χώρα μία μη συμβατική κατεργασία αφαιρέσεως μετάλλου ενέργεια, δεν είναι εν γένει μηχανική, όπως συμβαίνει στις κατεργασίες κοπής, αλλά θερμική, χημική, ηλεκτροχημική ή κάποιας άλλης

μορφής. Υπάρχει επιπλέον και η δυνατότητα συνδυασμού μη συμβατικών κατεργασιών αφαίρεσας μετάλλου με κατεργασίες κοπής. Πολλές τέτοιες κατεργασίες έχουν αναπτυχθεί εν γένει, πλην όμως ένας μικρός αριθμός από αυτές, όπως λ.χ. Η αφαίρεση μετάλλου με ηλεκτρικό σπινθήρα (EDM), η ηλεκτροχημική λείανση (ECG) και η αφαίρεση μετάλλου με επιτυχούς εφαρμογής στη μηχανουργική πράξη. Άλλες από τις κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται ήδη, αλλά σε περιορισμένη έκταση και για πολύ ειδικές κατεργασίες, ενώ οι υπόλοιπες ευρίσκονται ακόμη σε στάδια θεωρητικής και πειραματικής μελέτης και εξελίξεως.

1.3 ΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΒΟΛΗΣ ΥΛΙΚΟΥ (ΚΟΠΕΣ)

Οι κατεργασίες αυτές ταξινομούνται στις συμβατικές κατεργασίες κοπής και προκαλούν αφαίρεση υλικού από την επιφάνεια υπό την μορφή αποβλήτου. Επιθυμητός στόχος μπορεί να είναι ακόμη και η βελτίωση των ανοχών και της ποιότητας της επιφάνειας ενός προηγουμένως ήδη κατεργασμένου τεμαχίου, γεγονός που επιτυγχάνεται με την αφαίρεση του υπερβολικού υλικού υπό μορφή αποβλήτου μέσω ενός μεταλλικού κοπτικού εργαλείου εργαλειομηχανής. Η κατεργασία της κοπής είναι ικανή να επιτύχει γεωμετρικές διαμορφώσεις, ανοχές και ποιότητα επιφάνειας που είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν από οποιαδήποτε άλλη τεχνική. Εντούτοις, η κοπή αφαιρεί υλικό, για το οποίο έχουν ήδη ξοδευτεί χρήματα, υπό μορφή αποβλήτου που είναι δύσκολο να ανακυκλωθεί. Ως εκ τούτου οι εξελίξεις στοχεύουν συχνά στη μείωση του κόστους της παραγωγής αλλά και των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων κατά την χρησιμοποίηση της τεχνικής της κοπής. Μερικές από τις πιο συχνές κατεργασίες κοπής φαίνονται στο παρακάτω *σχήμα 1.1*. υπερήχους (USM) έχουν αναπτυχθεί σε υψηλό βαθμό από αρκετών ετών και έχουν τύχει ευρείας και



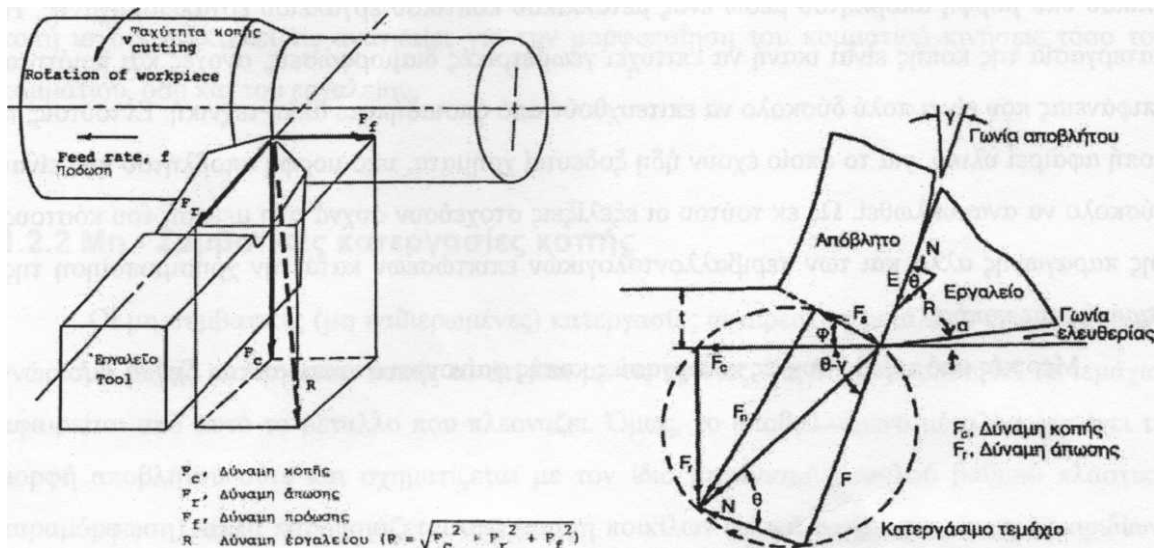
(α) Διαμήκης τόνρευση (β) Τόνρευση αποκοπής (γ) Περιφερειακό φρεζάρισμα (δ) Μετωπικό φρεζάρισμα

Σχήμα 1.1 Παραδείγματα εφαρμογών κοπής

1.3.1 Λοξή κοπή

Πρόκειται για την γενική μορφή της κοπής. Όπως και στην περίπτωση της ορθογωνικής κοπής, που αναφέρεται αμέσως μετά, χρησιμοποιείται ένα κοπτικό εργαλείο με σχήμα

σφήνας για την αφαίρεση του μετάλλου. Στο παρακάτω σχήμα 1.2 φαίνεται το κοπτικό εργαλείο καθώς και η δύναμη του εργαλείου μαζί με τις δυνάμεις κοπής, άπωσης και πρόωσης για την περίπτωση της λοξής κοπής.



Σχήμα 1.2 ΛΟΞΗ ΚΟΠΗ

Σχήμα 1.3 ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ

1.3.2 Ορθογωνική κοπή

Στην ορθογωνική κοπή η τέμνουσα άκρη του εργαλείου είναι ευθεία και κάθετη στην κατεύθυνση κίνησης. Εδώ το επίπεδο της κοπής είναι παράλληλο προς την επιφάνεια του προς κατεργασία τεμαχίου, δηλαδή θεωρείται ότι η ροή του υλικού είναι δισδιάστατη και η κατεργασία είναι επίπεδη παραμορφωσιακή με την προϋπόθεση ότι το πλάτος του κοπτικού εργαλείου είναι μεγάλο σε σχέση με το πλάτος του αποβλήτου. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις στην περίπτωση της ορθογωνικής κοπής. Στο προηγούμενο σχήμα 1.3 η f είναι η δύναμη τριβής ενώ η v είναι η κάθετη δύναμη στην επιφάνεια επαφής αποβλήτου και εργαλείου. Οι F_f και F_s είναι η κάθετη και η εφαπτομενική συνιστώσα αντίστοιχα στο επίπεδο διάτμησης SS .

1.3.3 Βασικές παράμετροι της κοπής των μετάλλων

Οι βασικές ανεξάρτητες μεταβλητές (αυτές δηλαδή που μπορούν να αλλάξουν άμεσα) στην διαδικασία κοπής είναι οι παρακάτω:

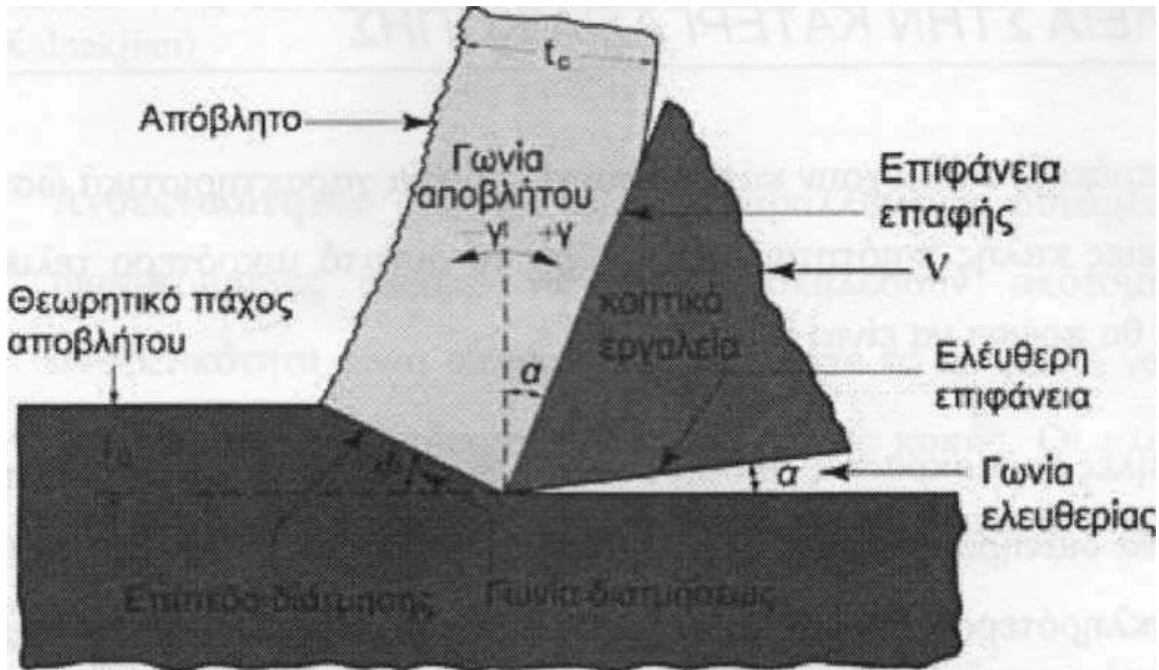
- Το υλικό του κοπτικού εργαλείου.
- Το σχήμα του κοπτικού εργαλείου, η ποιότητα της επιφάνειάς του, καθώς και η οξύτητα του.
- Το υλικό του προς κατεργασία τεμαχίου καθώς και η θερμοκρασία.
- Οι συνθήκες κοπής, όπως η ταχύτητα, το βάθος κοπής και η πρόωση.
- Η χρήση υγρών κοπής.
- Τα χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής, όπως η στιβαρότητα κλπ.
- Οι μηχανισμοί συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου.
- Οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι αυτές που επηρεάζονται από πιθανές αλλαγές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Τέτοιες είναι:
 - Ο τύπος του αποβλήτου που παράγεται.
 - Οι δυνάμεις και η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την διαδικασία της κοπής.
 - Η αύξηση της θερμοκρασίας στο ως προς κατεργασία τεμάχιο, στο απόβλητο, και το κοπτικό εργαλείο.
 - Η φθορά και η καταστροφή του κοπτικού εργαλείου.
 - Η ποιότητα της επιφάνειας που προκύπτει μετά την κατεργασία.

Από τις βασικές ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι σημαντικότερες στην κατεργασία της κοπής είναι: Η ταχύτητα κοπής: είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και του προς κατεργασία τεμαχίου αναφερόμενη στην κύρια κίνηση κοπής. Το βάθος κοπής: είναι το βάθος διείσδυσης του κοπτικού εργαλείου στο προς κατεργασία τεμάχιο.

Η πρόωση: είναι η σχετική κίνηση μεταξύ εργαλείου και τεμαχίου που προσφέρει με σταθερό ρυθμό στο εργαλείο νέο υλικό προς κοπή. Η κίνηση της πρόωσης στον τόρνο

γίνεται από το κοπτικό εργαλείο, αλλά σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατό να γίνει και από το προς κατεργασία τεμάχιο. Στον τόρνο, ειδικότερα, μπορούμε να πούμε πως η πρόωση είναι η κατά την έννοια του άξονα περιστροφής μετακίνηση του κοπτικού εργαλείου ανά στροφή του αντικείμενου. Δύο βασικοί παράγοντες της κατεργασίας κοπής είναι η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται αλλά και το κοπτικό εργαλείο. Όσον αφορά την εργαλειομηχανή αυτή που χρησιμοποιείται συνήθως, ειδικά στην περίπτωση της κοπής με απλή σημειακή επαφή, είναι ο τόρνος στον οποίο και θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην επόμενη παράγραφο. Ιδιαίτερη σημασία αποτελεί επίσης και η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Όσον αφορά το κοπτικό εργαλείο, οι κυριότερες γωνίες του είναι (σχήμα 1.4): Η γωνία ελευθερίας α : επιτρέπει την μείωση της τριβής μεταξύ του προς κατεργασία τεμαχίου και του εργαλείου στις περιοχές του εργαλείου που πρόσκεινται στις δύο κόψεις του επηρεάζοντας την φθορά του κοπτικού εργαλείου. Η γωνία αποβλήτου γ : είναι η γωνία μεταξύ του μετώπου του κοπτικού εργαλείου και της καθέτου που διέρχεται από το σημείο κοπής. Παίρνει μέρος στον σχηματισμό του αποβλήτου και ελέγχει αποτελεσματικά την κοπή, ενώ πιθανή αύξηση της γωνίας αποβλήτου οδηγεί στην μείωση των δυνάμεων κοπής. Σε μεγάλες όμως γωνίες αποβλήτου το κοπτικό εργαλείο γίνεται πιο αιχμηρό και είναι πιθανή η υπερθέρμανση του καθώς και ελάττωση της αντοχής του. Γενικά μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδέν. Τέλος σε μεγάλες ταχύτητες κοπής και μικρή διατομή αποβλήτου η γωνία αποβλήτου λαμβάνει αρνητικές τιμές. Η γωνία διατμήσεως ϕ : το υλικό παραμορφώνεται συνεχώς με πλαστική διάτμηση κατά μήκος του λεγόμενου επιπέδου διατμήσεως με αποτέλεσμα το σχηματισμό του αποβλήτου (με πάχος t). Το επίπεδο διατμήσεως κλίνει προς την διεύθυνση κοπής κατά μια γωνία ϕ .

Το θεωρητικό (t_0) και πραγματικό (t_c) πάχος αποβλήτου: το t_0 είναι το πάχος του στρώματος του μετάλλου που αφαιρείται με τη βοήθεια του εργαλείου ενώ το πάχος t_c είναι αυτό που αποκτά το απόβλητο μετά την κοπή και ονομάζεται πραγματικό πάχος αποβλήτου



Σχήμα 1.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη κατά την ορθογωνική κοπή

Μεταβλητές (εξαρτημένες και ανεξάρτητες)

Επιρροή και συσχετισμός

Ταχύτητα κοπής, βάθος κοπής, πρόωση, υγρά κοπής

Δυνάμεις, ισχύς, αύξηση θερμοκρασίας, ζωή κοπτικού εργαλείου, είδος αποβλήτου, ποιότητα κατεργασμένης επιφάνειας

Γωνία κοπτικού εργαλείου

Όπως παραπάνω, επιρροή στην κατεύθυνση ροής του αποβλήτου, αντίσταση στην φθορά του κοπτικού εργαλείου (φθορά λόγω μηχανικών τριβών που οδηγεί σε απόξεση ή απόσπασση υλικού (tool chipping))

Συνεχές απόβλητο

Καλή ποιότητα κατεργασμένης επιφάνειας, σταθερές δυνάμεις κοπής. (Ανεπιθύμητο στις αυτοματοποιημένες κατεργασίες.)

Σχηματισμός αποβλήτου με ψευδοκοπή	Μικρής ποιότητας κατεργασμένη επιφάνειας. Λεπτή σταθερή κόψη που προστατεύει τις επιφάνειες του κοπτικού εργαλείου.
Ασυνεχές απόβλητο	Επιθυμητό για την εύκολη απομάκρυνση του μικρού μεγέθους αποβλήτων. Η αυξομείωση των δυνάμεων κοπής μπορεί να επιδράσει στην ποιότητα επιφανείας και να προκαλέσει δονήσεις και αυτοδιεγερόμενες
Αύξηση θερμοκρασίας	Επηρεάζει την διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου, συμβάλει στην ανάπτυξη φθοράς κρατήρα, την διαστατική ακρίβεια του τεμαχίου, προκαλεί θερμικές βλάβες στην επιφάνεια του τεμαχίου.
Φθορά κοπτικού εργαλείου	Επιδρά στην ποιότητα επιφανείας, στην διαστατική ακρίβεια της κατεργασίας, στην άνοδος θερμοκρασίας, στις δυνάμεις και την ισχύ.
Κατεργασιμότητα	Σχετίζεται με την ζωή κοπτικού εργαλείου, την ποιότητα κατεργασμένης επιφάνειας, τις δυνάμεις και την ισχύ.

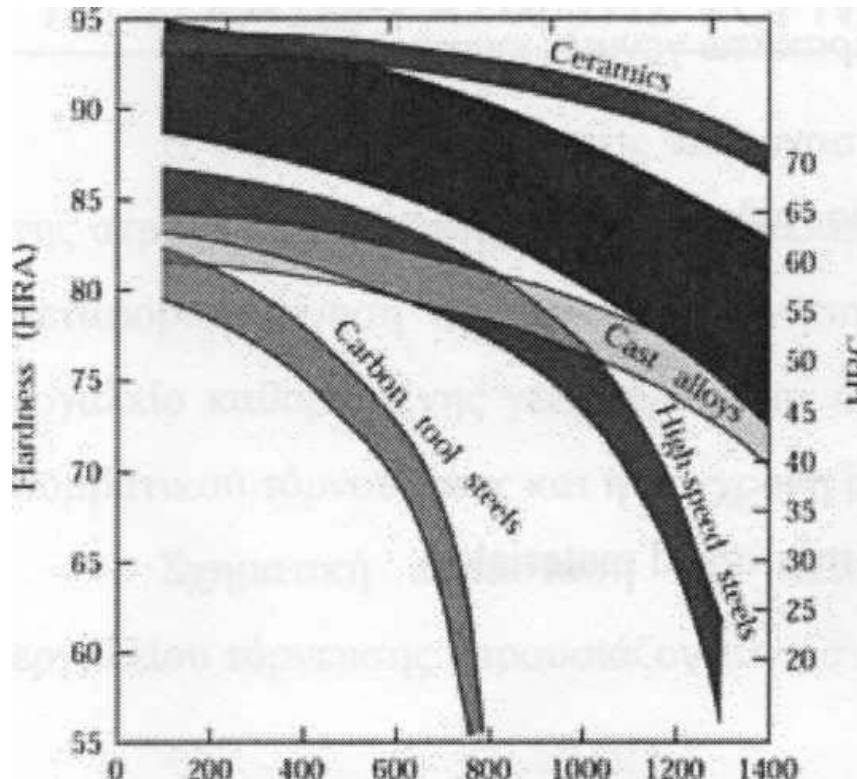
Πίνακας 1.1 Παράγοντες που επιδρούν στην διαδικασία κοπής

Πίνακας 1.1 Παράγοντες που επιδρούν στην διαδικασία κοπής

1.4 ΤΑ ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ

Τα κοπτικά εργαλεία θα πρέπει να κατέχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ώστε να παράγουν τεμάχια με επιφάνειες καλής ποιότητας και με όσο το δυνατό μικρότερο τελικό κόστος. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να είναι :

- **Σκληρότητα:** ειδικά στις υψηλές θερμοκρασίες (σκληύρυνση εν θερμώ), ώστε η σκληρότητα και η αντοχή του εργαλείου να διατηρούνται στις υψηλές θερμοκρασίες κατά την κοπή. Το εργαλείο πρέπει να είναι σκληρότερο από το σκληρότερο συστατικό του υλικού που κατεργάζεται, όχι μόνο σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά και στις πραγματικές συνθήκες κοπής. Η υψηλή σκληύρυνση εν θερμώ (σχήμα 1.5) αποτρέπει την πλαστική παραμόρφωση, εξασφαλίζει την διατήρηση της γεωμετρίας του εργαλείου κοπής κάτω από τις ακραίες συνθήκες κατά τον σχηματισμού αποβλήτου, και βοηθά επίσης στην αντίσταση σε φθορά.

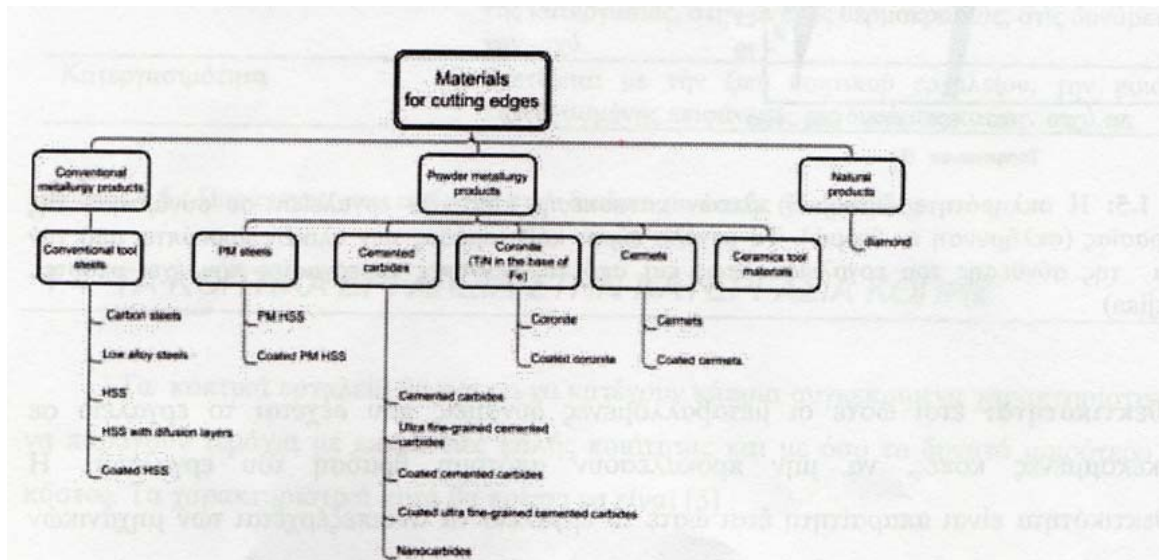


Σχήμα 1.5 η σκληρότητα διαφόρων υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (σκληρυνση εν θερμώ). Το μεγάλο εύρος κάθε ομάδας των υλικών προκύπτει από την ποικιλία της σύνθεσης του εργαλείου όπως και από τις διάφορες κατεργασίες που έχει υποστεί.

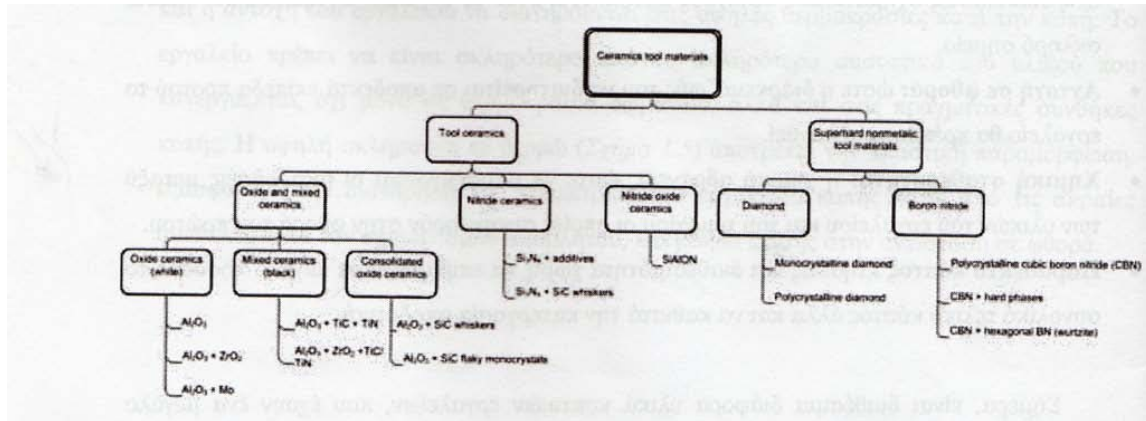
- **Ανθεκτικότητα:** έτσι ώστε οι μεταβαλλόμενες δυνάμεις που δέχεται το εργαλείο σε διακεκομμένες κοπές, να μην προκαλέσουν απότομη θραύση του εργαλείου. Η ανθεκτικότητα είναι απαραίτητη έτσι ώστε το εργαλείο να αντεπεξέρχεται των μηχανικών κλονισμών στις διαδικασίες διακοπτόμενης κοπής. Οι κλονισμοί εμφανίζονται ακόμα και στις διαδικασίες σχηματισμού συνεχούς αποβλήτου, όταν το εργαλείο αντιμετωπίσει κάποιο σκληρό σημείο.
- **Αντοχή σε φθορά:** ώστε η διάρκεια ζωής του να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα προτού το εργαλείο θα πρέπει να αλλαχθεί.
- **Χημική σταθερότητα:** ή χημική αδράνεια, ώστε να αποφεύγονται οι αντιδράσεις μεταξύ των υλικών του εργαλείου και του τεμαχίου οι οποίες συνηγορούν στην φθορά του πρώτου.
- **Παραδεκτό κόστος:** κτήσεως και διαθεσιμότητα χωρίς να επιβαρύνει σε μεγάλο ποσοστό το συνολικό τελικό κόστος άλλα και να καθιστά την κατεργασία αποδοτική.

Σήμερα, είναι διαθέσιμα διάφορα υλικά κοπτικών εργαλείων, που έχουν ένα μεγάλο εύρος ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών. Στα παρακάτω σχήματα 1.6 και 1.7, φαίνονται όλες οι κατηγορίες υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων σε πλήρη ταξινόμηση. Τα κυριότερα υλικά κατασκευής εργαλείων διακρίνονται συνήθως στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- Ανθρακούχοι χάλυβες - χάλυβες με μικρές προσμίξεις (cr, μη κ.λ.π.)
- Χυτοκράματα (στελλίτες)
- Ταχυχάλυβες
- Σκληρομέταλλα (συνήθη και επενδεδυμένα)
- Κεραμικά υλικά
- Υπέρσκληρα υλικά (cbn, διαμάντι, whisker reinforced materials)



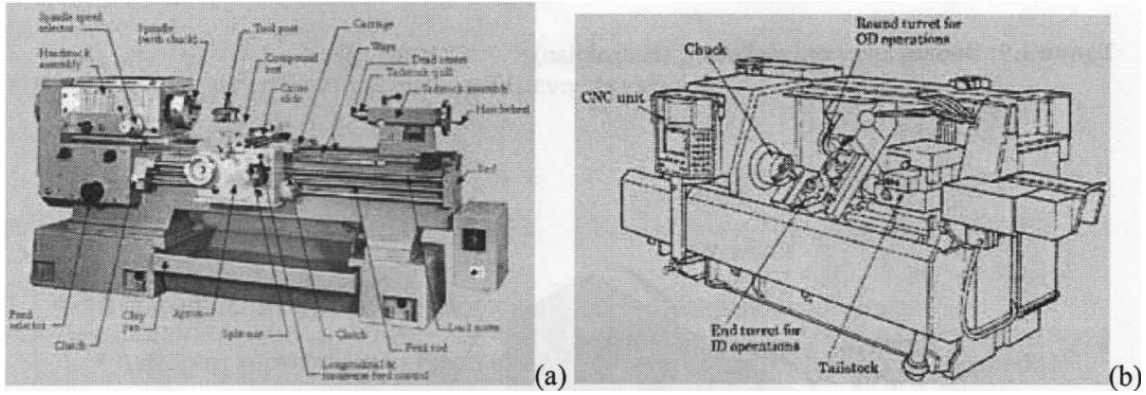
Σχήμα 1.5 Ταξινόμηση υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων



Σχήμα 1.7 Ταξινόμηση κεραμικών υλικών κατασκευής κοπτικών εργαλείων

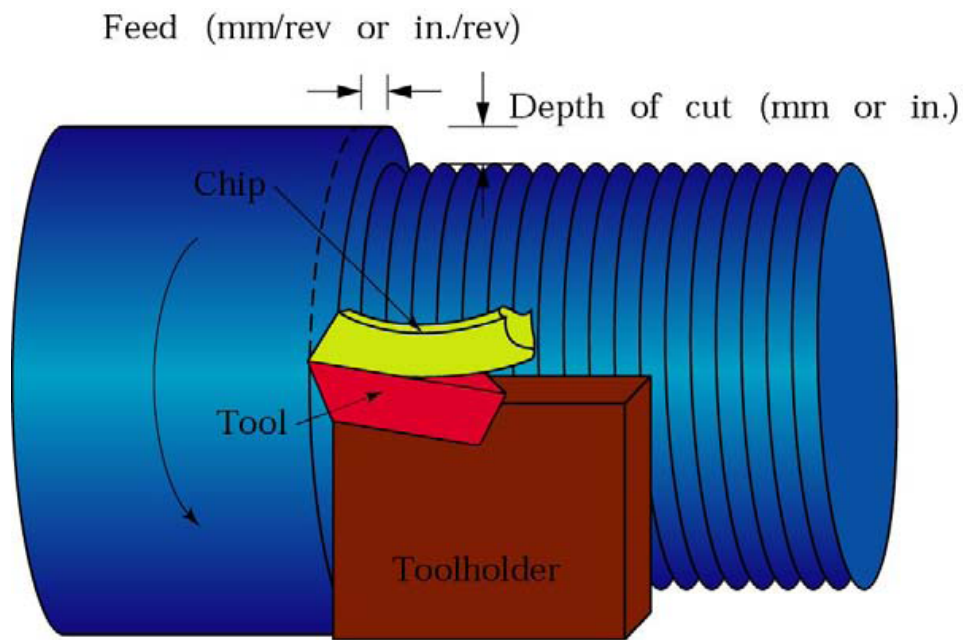
1.5 Η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΟΡΝΕΥΣΗΣ

Η τórνευση ανήκει στις κατεργασίες κοπής με κύρια κίνηση την περιστροφική κίνηση της ατράκτου, όπου προσδένεται κατάλληλα το προς κατεργασία τεμάχιο, και δευτερεύουσα τη μεταφορική κίνηση της πρόωσης (κίνηση του κοπτικού εργαλείου), εκτελείται δε με κοπτικό εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας και απλής σημειακής επαφής. Χαρακτηριστικός τύπος συμβατικού τórνου όπως και η σύγχρονη μετεξέλιξη του φαίνονται στο σχήμα 1.8. Σχηματική παράσταση της κατεργασίας και τυποποιημένη μορφή του κοπτικού εργαλείου τórνευσης παρουσιάζονται στα σχήματα 1.9 και 1.10 αντίστοιχα.

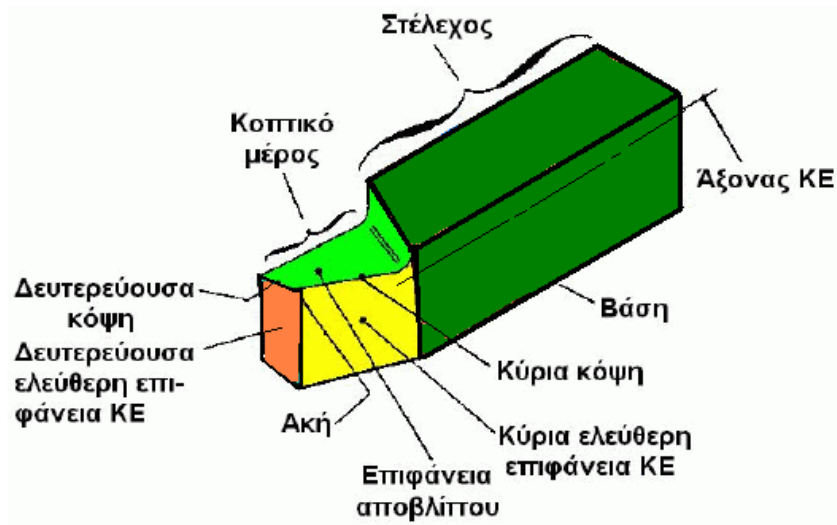


Σχήμα 1.8 (α) Συμβατικός τόννος και

(β) Μηχανή τόννευσης CNC



Σχήμα 1.9 Βασική αρχή τόννευσης.



Σχήμα 1.10 Τυποποιημένη μορφή του κοπτικού εργαλείου τόνρευσης.

1.5.1 Είδη τόνρευσης

Βάσει του άξονα περιστροφής του τεμαχίου ή άξονα τορνεύσεως διακρίνουμε την τόνρευση ως οριζόντια ή ως κατακόρυφη. Γενικά, μπορούν να τορνευτούν επιφάνειες εκ περιστροφής εξωτερικές όσο και εξωτερικές. Έτσι τα είδη τόνρευσης ταξινομούνται (σχήμα 1.11 και 1.12) όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Ανάλογα με τη διάταξη του άξονα τόνρευσης:

- Οριζόντια (οριζόντιος άξονας)
- Κατακόρυφη (κατακόρυφος άξονας).

2. Ανάλογα με τη θέση της κατεργαζόμενης επιφάνειας:

- Εξωτερική
- Εσωτερική.

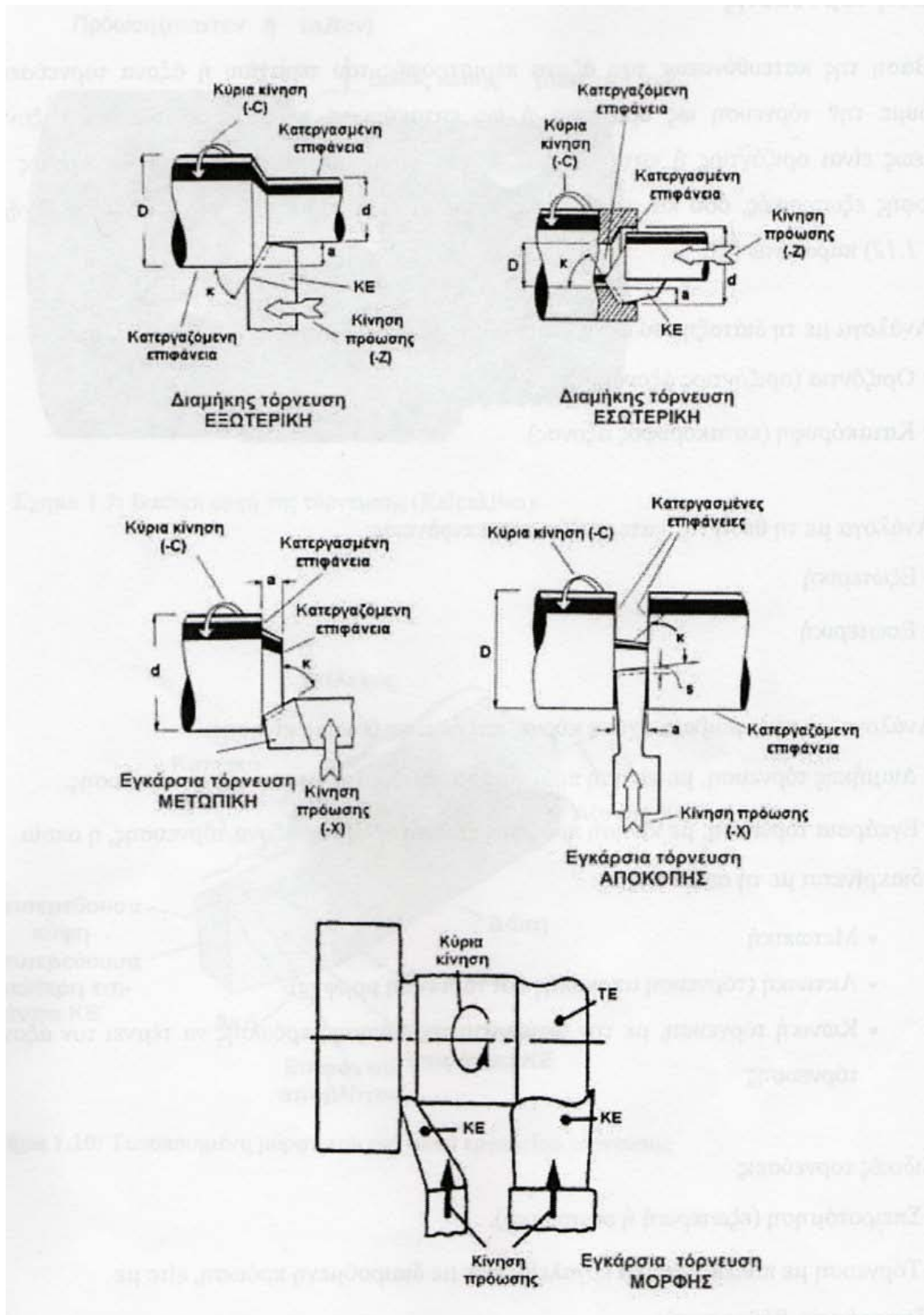
3. Ανάλογα με την αμοιβαία σχέση κύριας και δευτερεύουσας κίνησης:

- Διαμήκης τόνρευση, με κίνηση πρόωσης παράλληλη προς τον άξονα τόνρευσης

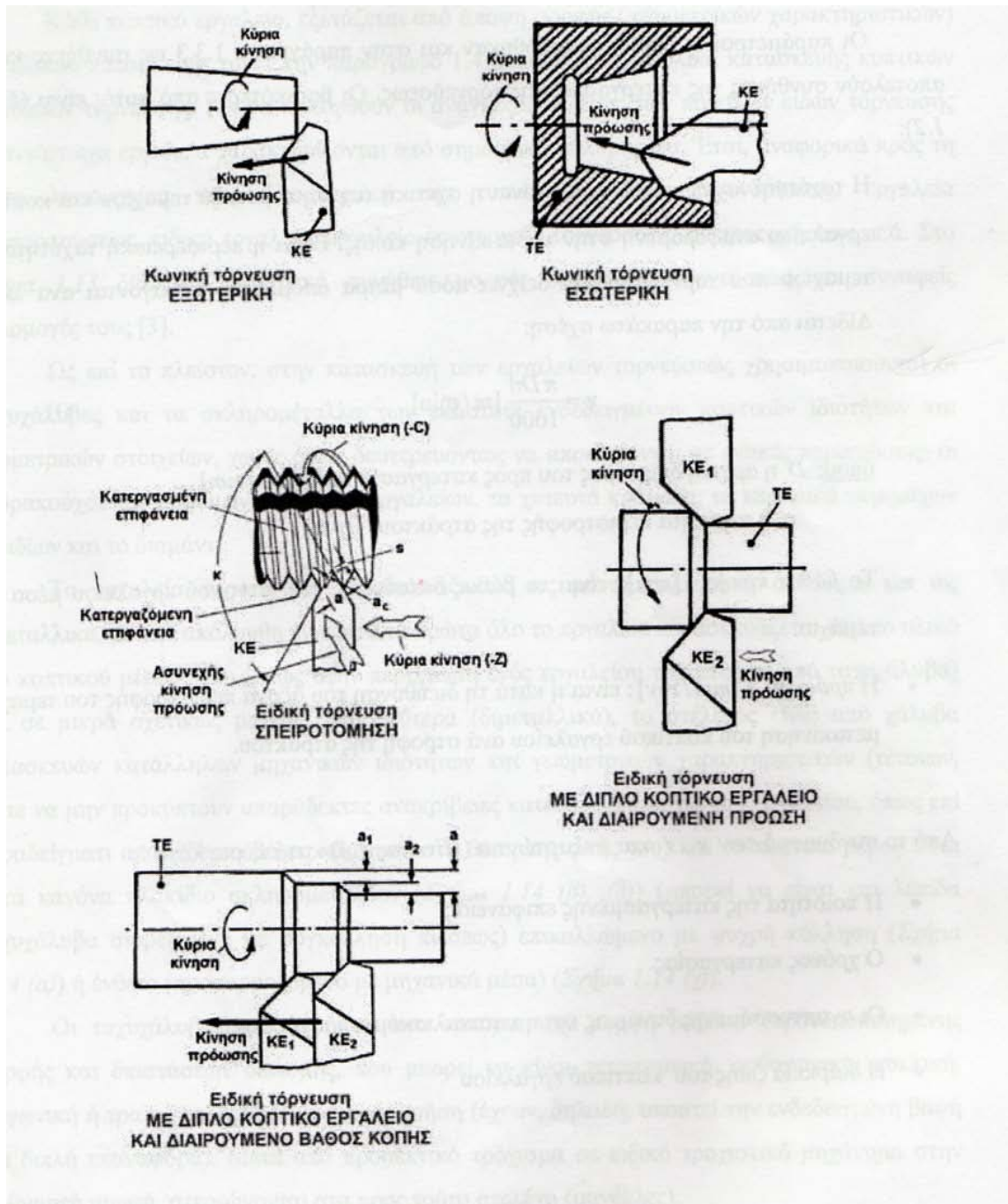
- Εγκάρσια τórνευση, με κίνηση πρόωσης κάθετη προς τον άξονα τórνευσης, η οποία διακρίνεται με τη σειρά της σε:
 - Μετωπική
 - Ακτινική (τόρνευση αποκοπής και τórνευση μορφής.
 - Κωνική τórνευση, με την διεύθυνση της κίνησης πρόωσης να τέμνει τον άξονα τórνευσης.

4. Ειδικές τoρνεύσεις:

- Σπειροτόμηση (εξωτερική ή εσωτερική),
- Τórνευση με πολλά ΚΕ, είτε με διαιρούμενη πρόωση, είτε με διαιρούμενο βάθος κοπής.



Σχήμα 1.11 Διάφορα είδη τόνρευσης – Διαμήκης και εγκάρσια τόνρευση.



Σχήμα 1.12 Διάφορα είδη τόνρευσης – Κωνική και ειδικές τοντεύσεις.

1.5.2 Συνθήκες κοπής στην κατεργασία της τórνευσης

Οι παράμετροι οι οποίοι αναφέρθηκαν και στην παράγραφο 1.3.3 ως συνθήκες κοπής αποτελούν τις συνθήκες της κατεργασίας της τórνευσης. Οι βασικότερες από αυτές είναι (Σχήμα 1.2) :

1. Η ταχύτητα κοπής v [m/ min]: είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ τεμαχίου και κοπτικού εργαλείου αναφερόμενη στην κύρια κίνηση κοπής. Είναι η περιφερειακή ταχύτητα του τεμαχίου που τórνεύεται και δείχνει πόσα μέτρα αποβλήτου παράγονται ανά λεπτό. Δίδεται από την παρακάτω σχέση:

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

όπου: D η αρχική διάμετρος του προς κατεργασία τεμαχίου [mm]

n η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου [rpm]

2. Το βάθος κοπής a [mm]: είναι το βάθος διεύθυνσης του κοπτικού εργαλείου μέσα στο τεμάχιο.
3. Η πρόωση f [mm/rev]: Είναι η μετακίνηση του κοπτικού εργαλείου ανά στροφή της ατράκτου κατά τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής του τεμαχίου.

Από το συνδυασμό των v, f και a εξαρτώνται (Πίνακας 1.1) κατά κύριο λόγο :

- Η ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας.
- Ο χρόνος κατεργασίας.
- Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και η καταναλισκόμενη ισχύς κοπής.
- Η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου

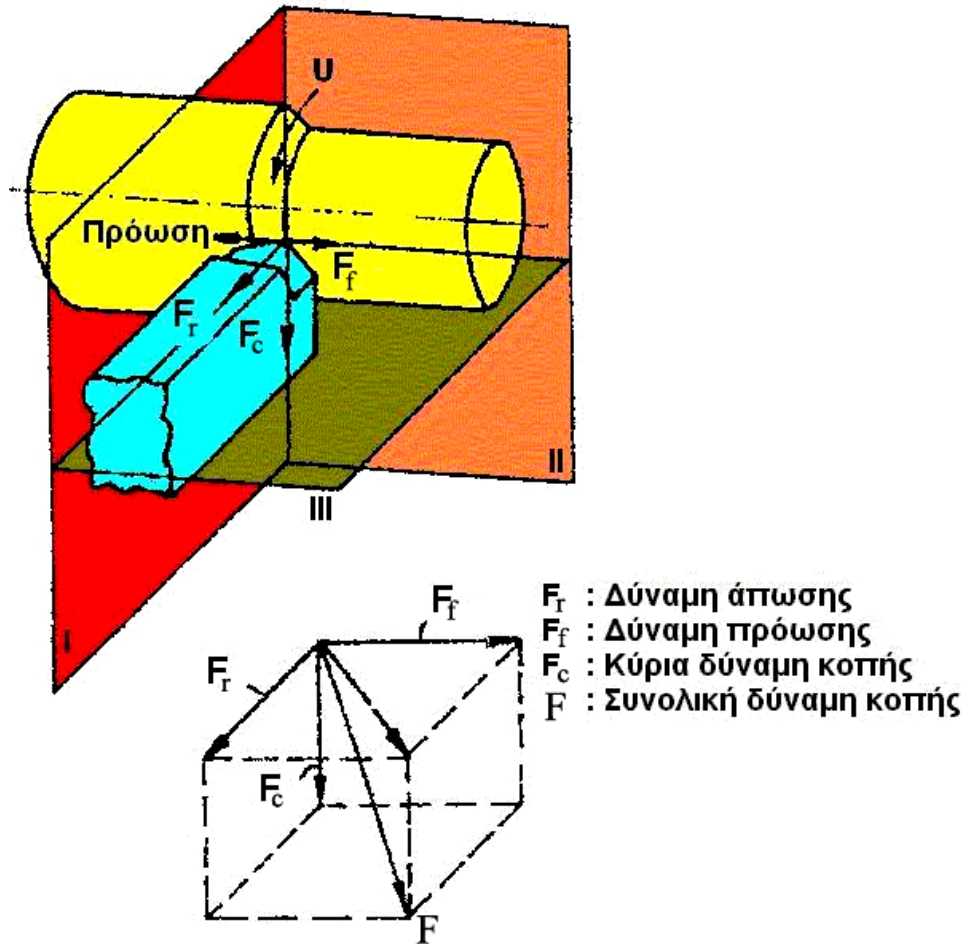
1.5.3 Δυνάμεις στην κοπή

Η συνολική δύναμη κοπής F αναλύεται στις ακόλουθες συνιστώσες ανά δύο κάθετες μεταξύ τους:

- F_f : Δύναμη πρόωσης (διεύθυνση X)
- F_r : Δύναμη άπωσης του κοπτικού εργαλείου (διεύθυνση Y)
- F_c : Κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής (διεύθυνση Z)

Η δύναμη κοπής F_c επενεργεί στην άκρη του κοπτικού εργαλείου τείνοντας να το εκτρέψει προς τα κάτω. Αυτή η δύναμη παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια κοπής. Η δύναμη πρόωσης F_f επενεργεί στην διαμήκη κατεύθυνση. Η δύναμη άπωσης F_r ασκείται στην ακτινική κατεύθυνση και τείνει να απομακρύνει το εργαλείο από το τεμάχιο.

$$\text{Προφανώς ισχύει: } F = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_f^2}$$

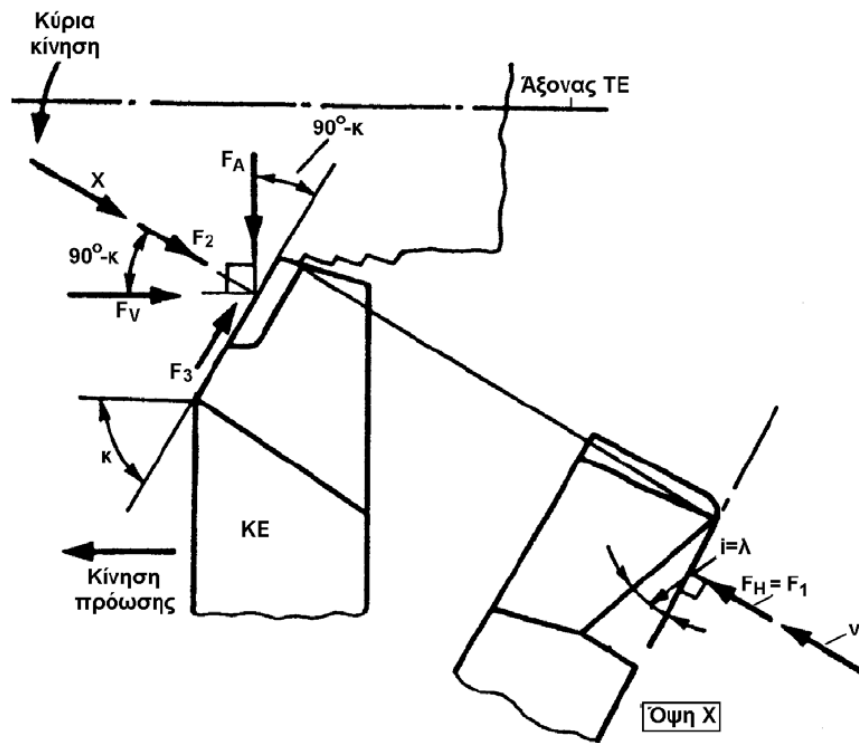


Σχήμα 1.13 Αναπτυσσόμενες δυνάμεις κατά την τόννευση .

Υπολογισμός της κύριας συνιστώσας της δύναμης κοπής

1. Βάσει του προτύπου της λοξής κοπής Κατά την ανάλυση της λοξής κοπής η συνολική δύναμη κοπής F αναλύθηκε στις συνιστώσες F_1 , F_2 και F_3 , οι οποίες συνδέονται με τις F_r , F_f και F_c μέσω των σχέσεων:

- $F_c = F_1$
- $F_f = F_2 \cdot \sin k + F_3 \cdot \cos k$
- $F_r = F_2 \cdot \cos k - F_3 \cdot \sin k$



Σχήμα 1.14 Υπολογισμός της κύριας συνιστώσας της δύναμης κοπής βάσει του προτύπου της λοξής κοπής.

2. Η ημιεμπειρική μέθοδος Kienzle Εισάγεται η έννοια της ειδικής αντίστασης κοπής, k_s που ορίζεται από τη σχέση:

$$k_s = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{h \cdot b}$$

Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι, για σταθερή διατομή αποβλήτου, η ειδική αντίσταση κοπής εξαρτάται από το πάχος αποβλήτου σύμφωνα με τη σχέση:

$$k_s = k_1 \cdot h^{-\zeta}$$

όπου: k_1 η ειδική αντίσταση κοπής του υλικού τεμαχίου για διατομή αποβλήτου $A=1\text{mm}^2$ ($b=h=1\text{mm}$) και ζ σταθερά.

Άρα, η κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F_c = k_s \cdot A = k_s \cdot b \cdot h = b \cdot k_1 \cdot h^{(1-\zeta)} \quad (\text{σε daN})$$

Τιμές των k_1 και ζ δίνονται στον Πίν. 1.

Η πειραματική εργασία του Kienzle έλαβε χώρα υπό τις εξής συνθήκες κοπής:

$$v = 90-125 \text{ m/min}$$

$$h = 0.06-2.5 \text{ mm}$$

$$\gamma = 6^\circ \text{ για χάλυβα και } \gamma = \pm 2^\circ \text{ για χυτοσίδηρο}$$

$$\alpha = 5^\circ$$

Υλικό κοπτικού εργαλείου: Σκληρομέταλλο.

Για διαφορετικές συνθήκες κοπής πρέπει να γίνει διόρθωση της τιμής F_c σύμφωνα με τη σχέση:

$$F_{c\delta} = K_\gamma \cdot K_v \cdot K_\varepsilon \cdot K_\varphi \cdot F_H$$

όπου:

K_γ : συντελεστής διόρθωσης λόγω διαφορετικής γωνίας αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου, η οποία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών -20° και $+30^\circ$, σύμφωνα με τη σχέση

$$K_{\gamma} = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{66.7}$$

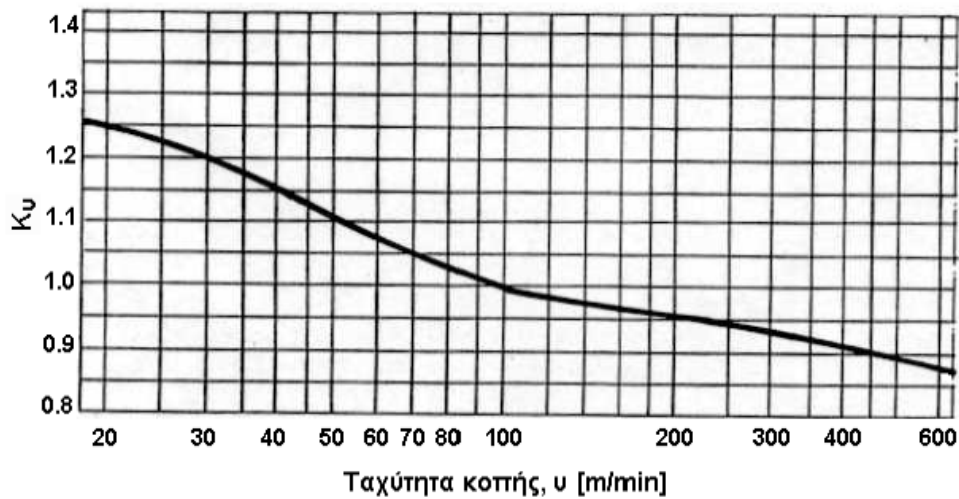
όπου:

γ : η τρέχουσα τιμή της γωνίας του χρησιμοποιούμενου κοπτικού εργαλείου.

$\gamma_0 = +6^\circ$ για διαμήκη τόννευση χάλυβα και

$\gamma_0 = +2^\circ$ για διαμήκη τόννευση χυτοσιδήρου.

K_v : συντελεστής διόρθωσης λόγω ταχύτητας κοπής στην περιοχή τιμών 20-600m/min, τιμές του συντελεστή λαμβάνονται από το Σχ. 9 συναρτήσει της πραγματικής ταχύτητας κοπής v .



Σχήμα 1.15 Υπολογισμός του συντελεστή διόρθωσης K_v

K_ε : συντελεστής διόρθωσης λόγω υλικού κοπτικού εργαλείου, με τιμές 0.90-0.95 για κοπτικό εργαλείο από κεραμεικό υλικό και 1 για κοπτικό εργαλείο από ταχυγάλυβα και σκληρομέταλλο.

K_ϕ : συντελεστής διόρθωσης λόγω φθοράς του κοπτικού εργαλείου, με τιμές 1.30-1.50, ανάλογα με την έκταση του πεδίου φθοράς.

Εμπειρικός υπολογισμός των υπολοίπων συνιστωσών δυνάμεων

- Για τόννευση χαλύβων:

$$F_c : F_f : F_r = 10 : (4 \div 6) : (2 \div 3)$$

- Για τόννευση χυτοσιδήρων:

4. Μοντέλο υπολογισμού δυνάμεων για κοπές υψηλών ταχυτήτων Πρόσφατα έχει δημοσιευθεί και μια τρίτη μέθοδος υπολογισμού της κύριας συνιστώσας της δύναμης κοπής. Σύμφωνα με αυτή την δημοσίευση η δύναμη κοπής F_c ισούται με την ειδική αντίσταση κοπής k_s πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή

$$F_c = k_s \cdot S$$

$$\text{όπου } S = a \cdot f$$

Συνεπώς,
$$F_c = k_s \cdot a \cdot f$$

Η ειδική αντίσταση κοπής k_s εξαρτάται από το υλικό του κοπτικού εργαλείου, την πρόωση και την ταχύτητα κοπής. Μπορεί να υπολογιστεί, λοιπόν, μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$k_s = k_1 \cdot f^{k_2} \cdot V_c^{k_3}$$

Κατά συνέπεια, η τελική σχέση μέσω της οποίας υπολογίζεται η δύναμη κοπής είναι η

$$F_c = k_1 \cdot f^{k_2+1} \cdot V_c^{k_3} \cdot a$$

1.5.4 Ρυθμός αφαίρεσης υλικού

Ο ρυθμός αφαίρεσης υλικού (MRR - Material Removal Rate) είναι ο όγκος του αφαιρούμενου υλικού στην μονάδα του χρόνου (mm^3/min). Παρατηρείται ότι για κάθε περιστροφή του τεμαχίου, αφαιρείται μια στρώση υλικού σχήματος δακτυλίου του οποίου το εμβαδό της επιφάνειας τομής αποτελείται από το γινόμενο της απόστασης που μετακινήθηκε το εργαλείο σε μια περιστροφή (πρόωση f) και του βάθους κοπής a . Ο όγκος του δακτυλίου προκύπτει από το εμβαδόν της επιφάνειας τομής δηλαδή $f \cdot a$ της μέσης περιφέρειας του δακτυλίου δηλαδή

$$\pi D_{avg}, \text{ όπου } D_{avg} = (D_a + D_f)/2.$$

Για μικρά βάθη κοπής σε μεγάλες διαμέτρους τεμαχίων η μέση διάμετρος μπορεί να αντικατασταθεί από D_q . Η ταχύτητα περιστροφής του τεμαχίου είναι N . Συνεπώς, ο ρυθμός αφαίρεσης υλικού σε κάθε περιστροφή θα είναι:

$$\text{MRR} = (\pi)(D_{avg})(d)(f)(N)[\text{mm}^3/\text{min}]$$

Ο χρόνος κοπής t για ένα τεμάχιο μήκους l μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ότι το εργαλείο κινείται με ταχύτητα ίση με τον ρυθμό πρόωσης, fN . Εφόσον η απόσταση που διανύεται είναι l mm, ο χρόνος κοπής είναι:

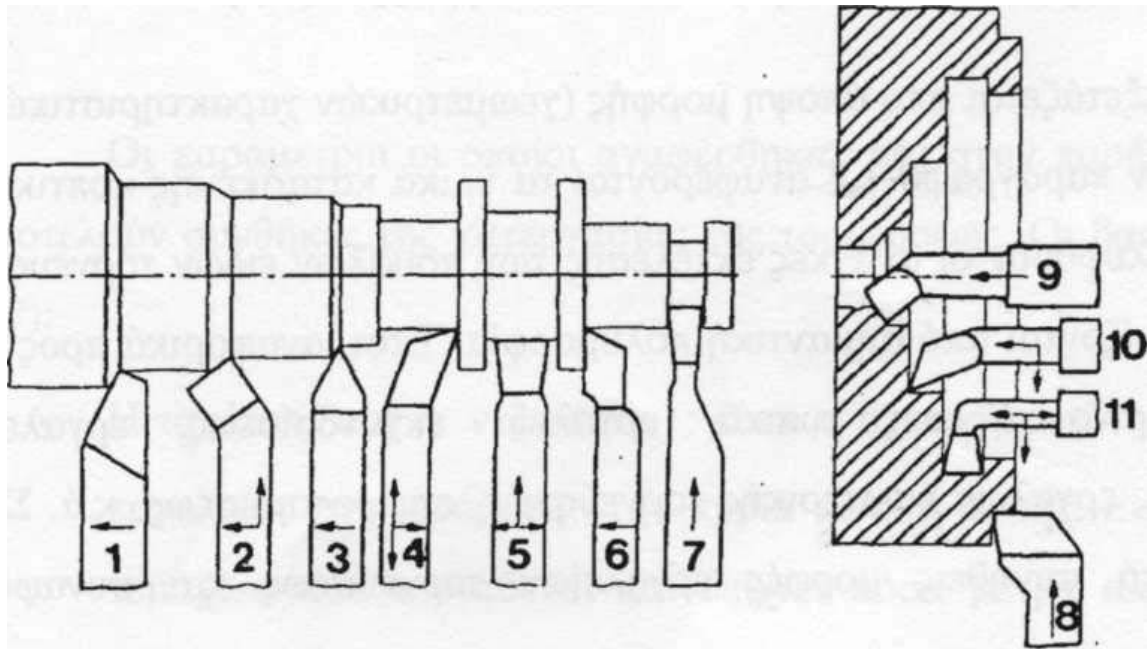
$$t = \frac{l}{fN}$$

Ο χρόνος αυτός δεν περιλαμβάνει τον χρόνο που απαιτείται για την προσέγγιση και την απομάκρυνση του εργαλείου από και προς το τεμάχιο. Λόγω του ότι ο νεκρός χρόνος είναι μη παραγωγικός και επιδρά έντονα στα συνολικά κόστος της κατεργασίας θεωρείται πολύ σημαντικός. Οι σημερινές εργαλειομηχανές είναι σχεδιασμένες ώστε να ελαχιστοποιούνται οι νεκροί χρόνοι.

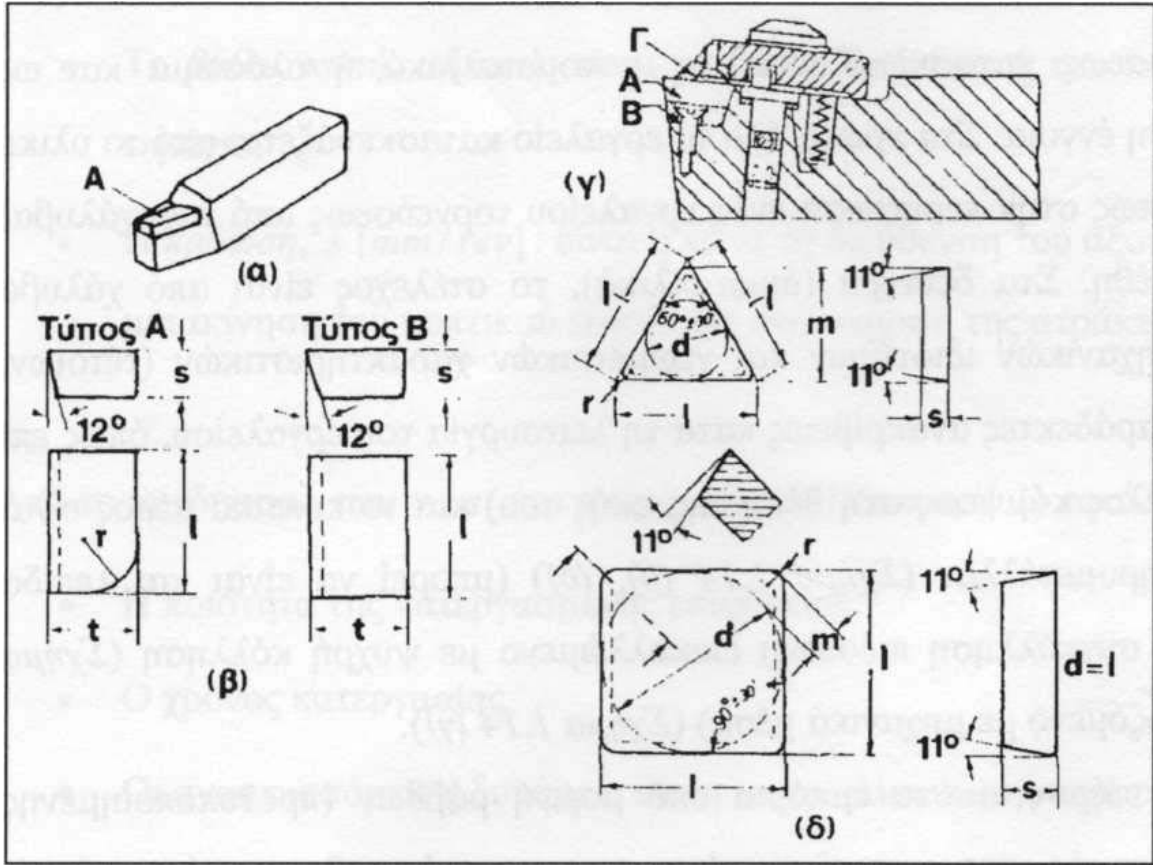
1.5.5 Τα κοπτικά εργαλεία στην κατεργασία της τόννευσης.

Κάθε κοπτικό εργαλείο, εξετάζεται από άποψη μορφής (γεωμετρικών χαρακτηριστικών) και υλικού κατασκευής του. Στην παράγραφο 1.4 αναφέρονται τα υλικά κατασκευής κοπτικών εργαλείων τόννευσης. Για να καλυφθούν οι ανάγκες εκτέλεσης των ποικίλων ειδών τόννευσης τα αντίστοιχα εργαλεία χαρακτηρίζονται από σημαντική πολυμορφία. Έτσι, αναφορικά προς τη φύση λειτουργίας τους διακρίνονται σε: τυπικά, εργαλεία εκχονδρίσεως, εργαλεία αποπερατώσεως, ειδικά εργαλεία, εργαλεία εσωτερικής τόννευσεως, σπειροτομήσεως, κ.ά. Στο σχήμα 1.16 δίδονται σχηματικά συνήθεις μορφές εργαλείων τόννευσεως και συναφείς εφαρμογές τους. Ως επί το πλείστον, στην κατασκευή των εργαλείων τόννευσεως χρησιμοποιούνται οι ταχυχάλυβες και τα σκληρομέταλλα των εκάστοτε ενδεδειγμένων κοπτικών ιδιοτήτων και γεωμετρικών στοιχείων, χωρίς όμως δευτερευόντως να αποκλείονται σε ειδικές περιπτώσεις: οι ανθρακούχοι και κεκραμένοι χάλυβες εργαλείων, τα χυτευτά κράματα, τα κεραμικά πυριμάχων οξειδίων και το διαμάντι. Τα εργαλεία τόννευσεως κατασκευάζονται ως μονομεταλλικά ή ολόσωμα και ως διμεταλλικά, με την ακόλουθη έννοια: στα πρώτα όλο το εργαλείο κατασκευάζεται από το υλικό του κοπτικού μέρους του (όπως στην περίπτωση ενός εργαλείου τόννευσεως από ταχυχάλυβα) και σε μικρά σχετικώς μεγέθη. Στα δεύτερα (διμεταλλικά), το στέλεχος είναι από χάλυβα κατασκευών κατάλληλων μηχανικών ιδιοτήτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών (τέτοιων, ώστε να μην προκύπτουν απαράδεκτες ανακρίβειες κατά τη λειτουργία του εργαλείου, όπως επί παραδείγματι απαράδεκτο βέλος κάμψεως στη θέση της ακής του) και το κοπτικό μέρος είναι κατά κανόνα πλακίδιο σκληρομετάλλον (σχήμα 1.17 (β), (δ)) (μπορεί να είναι και λεπίδα ταχυχάλυβα στερεωμένη με συγκόλληση πίεσεως) επικολλώμενο με ψυχρή κόλληση (σχήμα 1.17 (α)) ή ένθετο (προσαρμοζόμενο με μηχανικά μέσα) (σχήμα 1.17 (γ)). Οι ταχυχάλυβες προσφέρονται στο εμπόριο υπό μορφή ράβδων (προτυποποιημένης μορφής και διαστάσεων διατομής, που μπορεί να είναι τετραγωνική, ορθογωνική, κυκλική, τριγωνική ή τραπεζοειδής) έτοιμων προς χρήση (έχουν, δηλαδή, υποστεί την ενδεδειγμένη βαφή και διπλή επαναφορά). Μετά από προσεκτικό τρόχισμα σε ειδικό τροχιστικά μηχάνημα στην επιθυμητή μορφή, στερεώνονται στα προς τούτο στελέχη (μανέλλες). Τα σκληρομέταλλα προσφέρονται

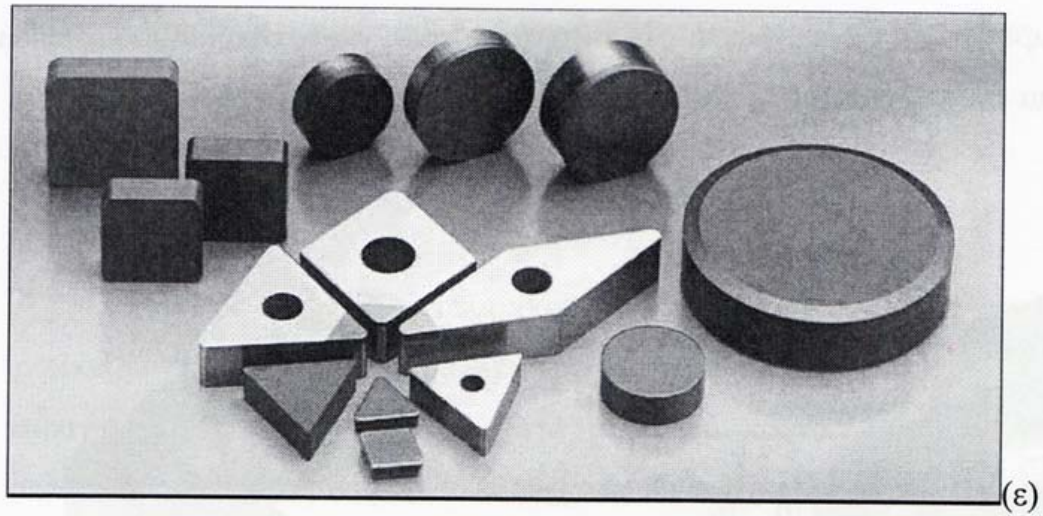
στο εμπόριο με τη μορφή πλακιδίων σε προτυποποιημένα σχήματα και μεγέθη (σχήμα 1.18).



Σχήμα 1.16 σχηματική παράσταση τυποποιημένων μορφών εργαλείων τρνεύσεως και παράδειγμα εφαρμογής τους: 1. ευθύ εργαλείο εκχονδρίσεως, 2. κεκαμμένο εκχονδρίσεως, 3. οξύ αποπερατώσεως 4. κεκαμμένο ειδικής μορφής, 5. πλατύ (ορθογωνικό) αποπερατώσεως, 6. ξεθυμάσματος (γωνιάσματος), 7. αποκοπής, 8. μετωπικής τρνεύσεως (προσώπου), 9. εσωτερικής τρνεύσεως (διαμπερή κοίλα), 10. τρνεύσεως τυφλών κοίλων, 11. ορθογωνικό εσωτερικής αυλακώσεως.



Σχήμα 1.17 Μορφές προτυποποιημένων πλακιδίων από σκληρομέταλλο και τρόποι συγκρατήσεως του στο στέλεχος του κοπτικού εργαλείου. α) Εργαλείο με επικολλώμενο πλακίδιο Α. β) Μορφές επικολλώμενων πλακιδίων, γ) Συγκράτηση ένθετου πλακιδίου: Α. πλακίδιο, Β. Προσθήκη, Γ. γρεζοθραύστης, δ) μορφές ένθετων πλακιδίων.



(ε)

Σχήμα 1.18 ε)διάφορες μορφές πλακιδίων σκληρομετάλλων (στην συγκεκριμένη περίπτωση πλακίδια από cbn)

Ύστερα από πολλές οικονομοτεχνικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα, αλλά και από τη συσσωρευμένη εμπειρία, έχει πλέον καθιερωθεί το γεγονός ότι τα εργαλεία με ένθετα πλακίδια πλεονεκτούν σημαντικά έναντι των εργαλείων με επικολλώμενα πλακίδια. Και τούτο, γιατί η χαλάρωση του πλακιδίου και απλή περιστροφή του αρκούν για την αλλαγή της κόψης του που τυχόν έχει φθαρεί (έτσι μπορούν διαδοχικά να χρησιμοποιηθούν και οι έξι ή και οι οκτώ κόψεις του πλακιδίου, αν το πλακίδιο είναι αντίστοιχα τριγωνικό ή τετραγωνικό και έχει μηδενική γωνία ελευθερίας, αλλιώς οι τρεις ή οι τέσσερις κόψεις του), χωρίς να απαιτείται αφαίρεση του εργαλείου από την εργαλειομηχανή και αποκόλληση, τρόχιση και επικόλληση του πλακιδίου, όπως συμβαίνει στα εργαλεία με επικολλώμενα πλακίδια. Επιπλέον, τα ένθετα πλακίδια δεν διατρέχουν τον κίνδυνο καταστροφής, ο οποίος εσθαιεί τα επικολλώμενα κατά την κόλληση τους στο στέλεχος.

1.5.6 Τα υγρά κοπής στην κατεργασία της κοπής.

Τα υγρά κοπής χρησιμοποιούνται συχνά στις διάφορες κατεργασίες, κατάλληλα προσαγόμενα στην περιοχή κοπής την οποία διαβρέχουν, σε αντίθεση με τη λεγόμενη ξηρή κοπή που εκτελείται χωρίς υγρό κοπής. Η δράση του υγρού κοπής οφείλεται, όπως αναφέρεται παρακάτω, σε ορισμένες χαρακτηριστικές του ιδιότητες και εκδηλώνεται διαφορετικά και ανάλογα με το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου, το υλικό και τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και με τις συνθήκες κοπής. Έτσι, ένα υγρό κοπής μπορεί να επενεργήσει είτε ως λιπαντικό είτε ως ψυκτικό και συχνά ως λιπαντικό και ως ψυκτικό μαζί. Η γνώση των δράσεων αυτών του υγρού κοπής μας είναι πολύ χρήσιμη, γιατί μας διευκολύνει στην επιτυχή εκλογή του στις διάφορες εφαρμογές. Πιο αναλυτικά, με τη χρησιμοποίηση των υγρών κοπής μπορούμε να επιτύχουμε:

A. Μείωση στο μέσο φαινόμενο συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια αποβλήτου-εργαλείου, αλλά και στο μέσο συντελεστή τριβής στην επιφάνεια επαφής εργαλείου και τεμαχίου (σε περιπτώσεις, που εμφανίζεται σημαντική σχετικά ζώνη φθοράς) ως απόρροια της λιπαντικής δράσεως του υγρού κοπής.

B. Ελάττωση της θερμοκρασίας του εργαλείου, του τεμαχίου και του αποβλήτου μέσω απαγωγής μέρους της θερμότητας (που παράγεται κατά την κοπή) ως αποτέλεσμα της ψυκτικής δράσεως του υγρού κοπής.

C. Μείωση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου (και αύξηση της ζωής του) έμμεσα, ως αποτέλεσμα της ελαττώσεως του συντελεστή τριβής και της ψύξεως, ως (α) και (β) παραπάνω.

D. Βελτίωση της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου.

E. Μείωση στις δυνάμεις και στην ισχύ κοπής.

F. Περιορισμό στις στρεβλώσεις του τεμαχίου, οι οποίες προκαλούνται λόγω υψηλών τοπικών διαφορών της θερμοκρασίας, που αναπτύσσεται.

G. Ευκολία στο χειρισμό των έτοιμων τεμαχίων. Με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου ψυκτικού κοπής είναι δυνατή η διατήρηση ομοιόμορφης, σε κάποιο βαθμό, θερμοκρασίας του τεμαχίου σε χαμηλότερη στάθμη.

H. Προστασία του τεμαχίου και των μερών της εργαλειομηχανής, που έρχονται σε επαφή υγρό κοπής, από οξείδωση ή διάβρωση.

- I. Απομάκρυνση μικρών τεμαχίων αποβλήτου και άλλων σωμάτων (μικροτμηματιδίων, που προκύπτουν από τη φθορά του εργαλείου, όπως για παράδειγμα από φθορά λόγω αποξέσεως). Αυτό προφυλάσσει από τραυματισμούς την κατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου και συνεπώς συμβάλλει στη διατήρηση της επιθυμητής τραχύτητας της.

Το υγρό κοπής πρέπει να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες διαβρεκτικότητας επιφανειών, με τις οποίες αυτό έρχεται σε επαφή. Επιπλέον οφείλει να είναι (και να παραμένει), φυσικώς και χημικώς ευσταθές και να διατηρεί την αποτελεσματικότητα του κατά όλη την ωφέλιμη ζωή του, που μπορεί να φθάσει και τους 12 μήνες. Τέλος, πρέπει να είναι οικονομικό. Δηλαδή, το κόστος κτήσεως του υγρού κοπής, μαζί με εκείνο της εγκαταστάσεως και λειτουργίας του συστήματος παροχής του, οφείλει να αντισταθμίζει τουλάχιστον στις ωφέλειες, που προκύπτουν από τη χρήση του στις διάφορες κατεργασίες. Όπως έχει προαναφερθεί, οι βασικές δράσεις του υγρού κοπής είναι οι (Α) και (Β), όμως, άλλες από τις επενέργειες του μπορούν να θεωρηθούν ως επακόλουθο των πρώτων. Τα υγρά κοπής χρησιμοποιούμενα στο μηχανουργείο εμφανίζουν εν γένει και ορισμένες ανεπιθύμητες παρενέργειες, που είναι δυνατό ή να καταστήσουν αδύνατη τη χρησιμοποίησή τους ή να περιορίσουν το πεδίο εφαρμογών τους. Ως τέτοιες βασικές παρενέργειες παραθέτονται οι ακόλουθες:

A. Παρενέργειες στην υγεία του τεχνίτη (για παράδειγμα αναπνευστικά προβλήματα, δερματίτιδες, καρκίνοι) οφειλόμενες σε τοξικούς ατμούς, δυσάρεστες οσμές, αναθυμιάσεις και άμεση επαφή των υγρών κοπής με τον εργάτη.

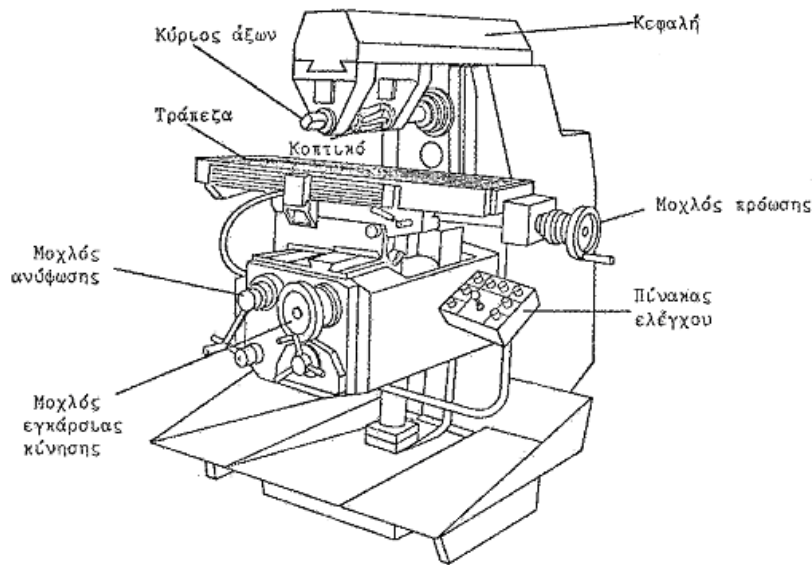
B. Επιδράσεις στο υλικό του τεμαχίου ή σε υλικά της εργαλειομηχανής, που εκδηλώνονται συνήθως με οξείδωση ή διάβρωση. Υγρά κοπής για παράδειγμα με πρόσθετα υψηλής πίεσεως, τα οποία περιέχουν θείο, προσβάλλουν τα κράματα του χαλκού, που τυχόν κατεργάζονται, όπως και τα έδρανα της εργαλειομηχανής, τα οποία έχουν ως βάση το χαλκό και είναι προσιτά στο υγρό κοπής.

Οι ανεπιθύμητες παρενέργειες του υγρού κοπής μπορούν να περιοριστούν ή και να εξαφανιστούν πλήρως με την εκλογή κάθε φορά υγρού κοπής με τις ενδεδειγμένες

ιδιότητες (όσον το δυνατόν φιλικότερο προς το περιβάλλον και τον χρήστη) ή με την υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών και κατάλληλων συνθηκών κατεργασιών κοπής (υπέρσκληρα υλικά κοπτικών εργαλείων, εργαλειομηχανές) όπου εφαρμόζεται η ξηρή κοπή.

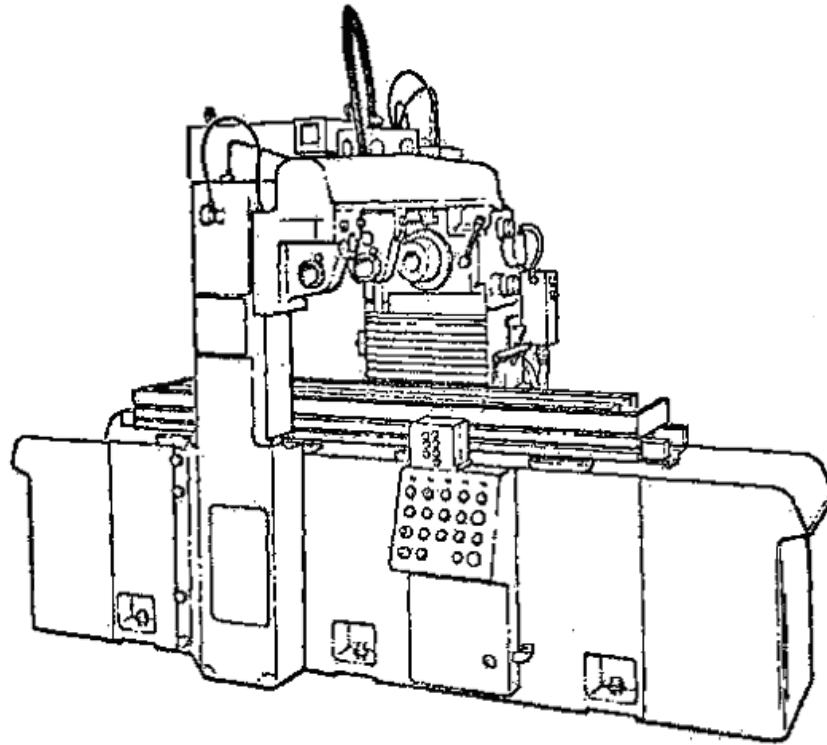
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΡΕΖΕΣ

Η φρέζα όπως και ο τόρνος αποτελεί μία από τις βασικότερες εργαλειομηχανές ενός μηχανουργείου. Κατά την κοπή στη φρέζα, το κοπτικό εργαλείο αποκόπτει από το αντικείμενο κατεργασίας κομμάτια μετάλλου καθορισμένων διαστάσεων. Το κοπτικό εργαλείο της φρέζας είναι πάντοτε περιστρεφόμενο, ενώ το αντικείμενο είναι δυνατό να κινείται ή να μένει ακίνητο. Οι μεγάλες δυνατότητες που μας προσφέρει η σχετική αυτή κίνηση μεταξύ κοπτικού εργαλείου και αντικειμένου στη διαμόρφωση πολύπλοκων επιφανειών, καθιστά τη φρέζα μία από τις πολυπλοκότερες εργαλειομηχανές. Η πολυπλοκότητα αυτή μας επιτρέπει όμως να διαμορφώσουμε σχετικά εύκολα επιφάνειες και σχήματα τα οποία δεν είναι δυνατό να παραχθούν με τις εργαλειομηχανές που εξετάσαμε μέχρι τώρα. Λόγω της πολύπλοκης κατασκευής της φρέζας και της σχετικά μεγάλης ακρίβειας ανοχών που απαιτείται για την ικανοποιητική λειτουργία της, η φρέζα είναι σχετικά σύγχρονη μηχανή η οποία κατασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1818 και χρησιμοποιήθηκε στην αρχή για την κατασκευή όπλων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Λόγω της μεγάλης διάδοσης της φρέζας στη μηχανουργική παραγωγή και της μεγάλης ποικιλίας των κατεργασιών για τις οποίες χρησιμοποιούνται φρέζες, όπως και στην περίπτωση του τόρνου, έτσι και στην περίπτωση αυτή έχουν προκύψει πολλοί τύποι φρεζών. Από τους τύπους αυτούς ένα σημαντικό τμήμα κατασκευάζεται ως φρέζες γενικής χρήσης, και το υπόλοιπο ως φρέζες μαζικής παραγωγής, φρέζες βαρέως τύπου, ειδικές φρέζες κ.α. Οι βασικοί τύποι φρεζών που χρησιμοποιούνται στη μηχανουργική παραγωγή παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα. Στις εργαλειομηχανές αυτές, κύριο χαρακτηριστικό είναι η διεύθυνση του κύριου άξονα η οποία είναι κατακόρυφη ή οριζόντια. Σε πολλές φρέζες υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής της κεφαλής της φρέζας κατά 90ο ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση κοπτικών εργαλείων και των δύο τύπων εργαλειομηχανών. Εκτός από τη διεύθυνση του κύριου άξονα της φρέζας, μεγάλη σημασία για τις παραγωγικές δυνατότητες της εργαλειομηχανής έχουν οι δυνατότητες κίνησης της τράπεζας πρόσδεσης των αντικειμένων κατεργασίας, που επιτρέπουν την διαμόρφωση πολύπλοκότερων επιφανειών. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται ο βασικός τύπος φρέζας με οριζόντιο άξονα.

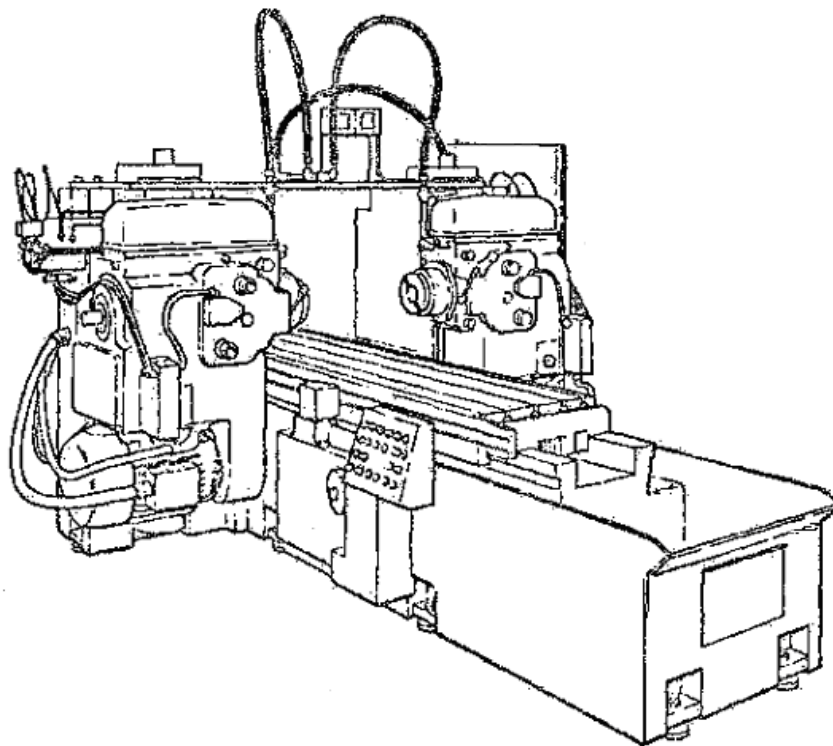


Σχήμα 1

Στις μηχανές του τύπου αυτού το αντικείμενο κατεργασίας προσδένεται στην τράπεζα η οποία έχει τη δυνατότητα να κινείται οριζόντια, κάθετα προς το κοπτικό εργαλείο με τη βοήθεια του μοχλού πρόωσης. Επίσης, η τράπεζα εργασίας είναι δυνατό να ανυψωθεί ή να κινηθεί εγκάρσια με τη βοήθεια των αντίστοιχων μοχλών. Ανάλογα με τον τύπο της εργαλειομηχανής, πολλές από τις κινήσεις αυτές είναι δυνατό να εκτελεστούν μηχανικά μέσω κιβωτίου ταχυτήτων από τον κινητήρα της μηχανής. Υπάρχουν επίσης και διάφοροι συναφείς αυτοματισμοί, όπως για παράδειγμα η αυτόματη επαναφορά της τράπεζας, μέσω των οποίων είναι δυνατή η λειτουργία της μηχανής χωρίς την ανάγκη της άμεσης επίβλεψης του χειριστή. Ο τύπος αυτός φρέζας με οριζόντιο κοπτικό εργαλείο κατασκευάζεται επίσης και σε μεγαλύτερες διαστάσεις για την κατεργασία μεγαλύτερων αντικειμένων. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ένας τύπος φρέζας με οριζόντιο κοπτικό εργαλείο. Στη μηχανή αυτή, η τράπεζα εργασίας έχει τη δυνατότητα μόνο οριζόντιας κίνησης για τη δημιουργία της πρόωσης. Το βάθος κοπής ρυθμίζεται με την κάθοδο της κεφαλής της φρέζας κατά μήκος των δύο πλευρικών πυλώνων. Για τη βελτίωση της παραγωγικότητας των εργαλειομηχανών του τύπου αυτού, κατασκευάζονται επίσης και φρέζες με δύο ανεξάρτητα κοπτικά εργαλεία τα οποία έχουν τη δυνατότητα να κατεργάζονται τις πλευρικές επιφάνειες του αντικειμένου συγχρόνως, χωρίς να απαιτείται νέα πρόσδεση του αντικειμένου στην τράπεζα εργασίας. (σχήμα 2)

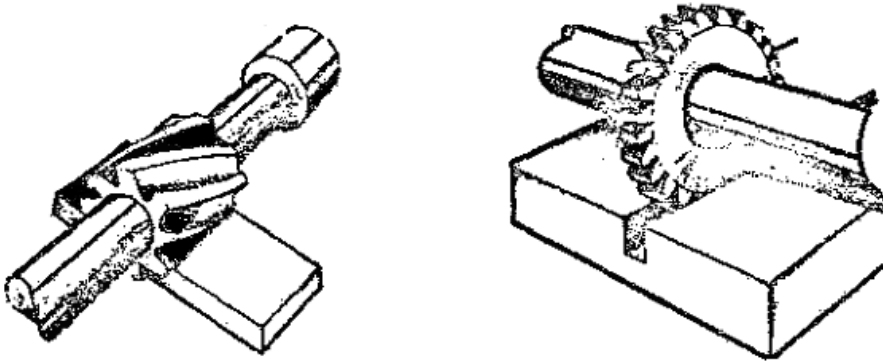


Σχήμα 2



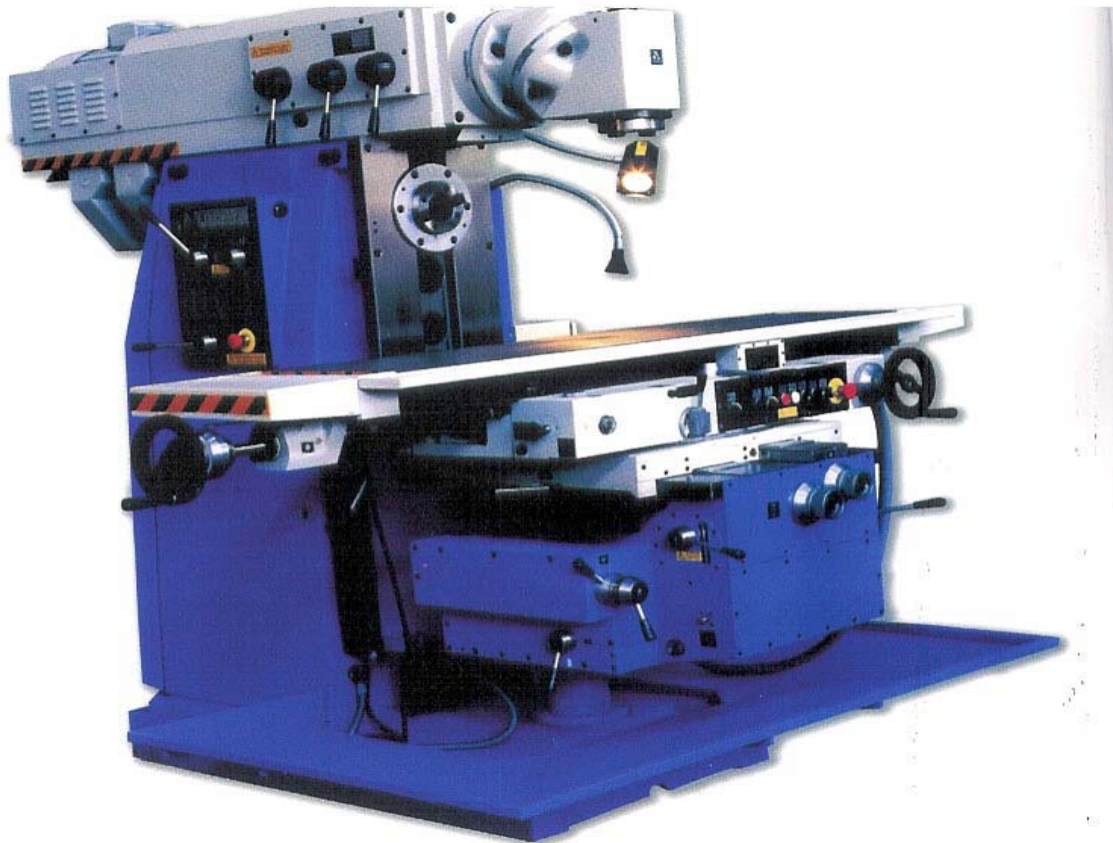
Σχήμα 3

Οι συνηθέστερες εργασίες που είναι πραγματοποιήσιμες σε φρέζες με οριζόντια κοπτικά εργαλεία είναι κυρίως η κατεργασία επίπεδων επιφανειών και η διάνοιξη αυλάκων. Οι αυλάκες αυτοί παίρνουν το σχήμα του κοπτικού εργαλείου. Στην περίπτωση του παρακάτω σχήματος το εργαλείο έχει ορθογωνική μορφή, σε πολλές όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και κοπτικά άλλων μορφών με τα οποία είναι δυνατή η κατασκευή σφηναυλάκων, πολύσφηνων και οδοντωτών τροχών (σχήμα4)



Σχήμα 4

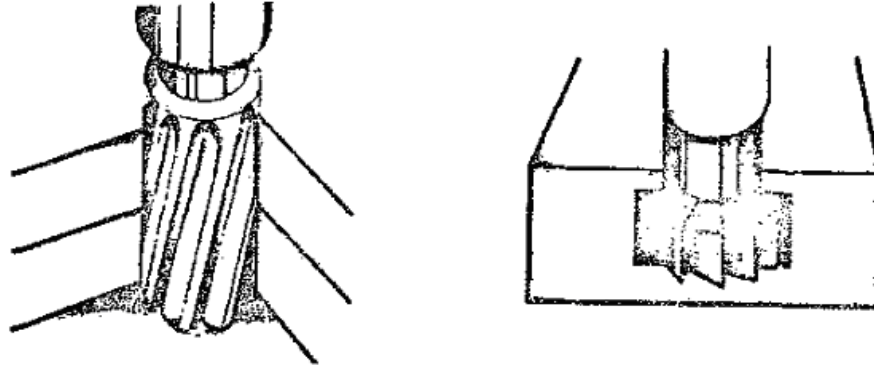
Εκτός από την φρέζα με οριζόντιο κοπτικό εργαλείο, για κατεργασίες με πολυπλοκότερες επιφάνειες χρησιμοποιούνται φρέζες με κατακόρυφο κοπτικό εργαλείο. Ο πιο διαδεδομένος τύπος φρέζας με κατακόρυφο άξονα δίδεται στο σχήμα 5.



ΦΡΕΖΑ UNIVERSAL

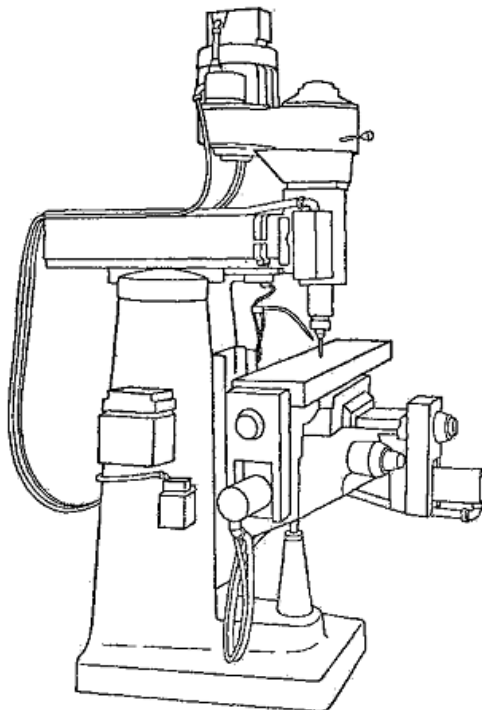
Σχήμα 5

Στον τύπο αυτό φρέζας η τράπεζα έχει τη δυνατότητα να κινείται συγχρόνως κατά τη διεύθυνση τριών αξόνων κάθετων μεταξύ τους, εκ των οποίων οι δύο είναι σε οριζόντιο επίπεδο και ο τρίτος κατακόρυφος. Ορισμένοι κατασκευαστές φρεζών προσφέρουν επίσης και τράπεζες με δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό αυτό εργαλείο βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα της κεφαλής της φρέζας και παίρνει κίνηση μέσω κιβωτίου ταχυτήτων για τη ρύθμιση της κοπτικής ταχύτητας. Η κεφαλή έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από οριζόντιο άξονα, ώστε να είναι δυνατή η κατεργασία και πλάγιων επιφανειών. Τα κυριότερα εργαλεία που χρησιμοποιεί η φρέζα με κατακόρυφο κοπτικό παρουσιάζονται στο σχήμα 6. Με τα εργαλεία αυτά είναι δυνατή η κατεργασία επίπεδων επιφανειών, η διάνοιξη αυλάκων, η διάνοιξη και η κατεργασία οπών, η κατασκευή οδοντωτών τροχών κ.α.



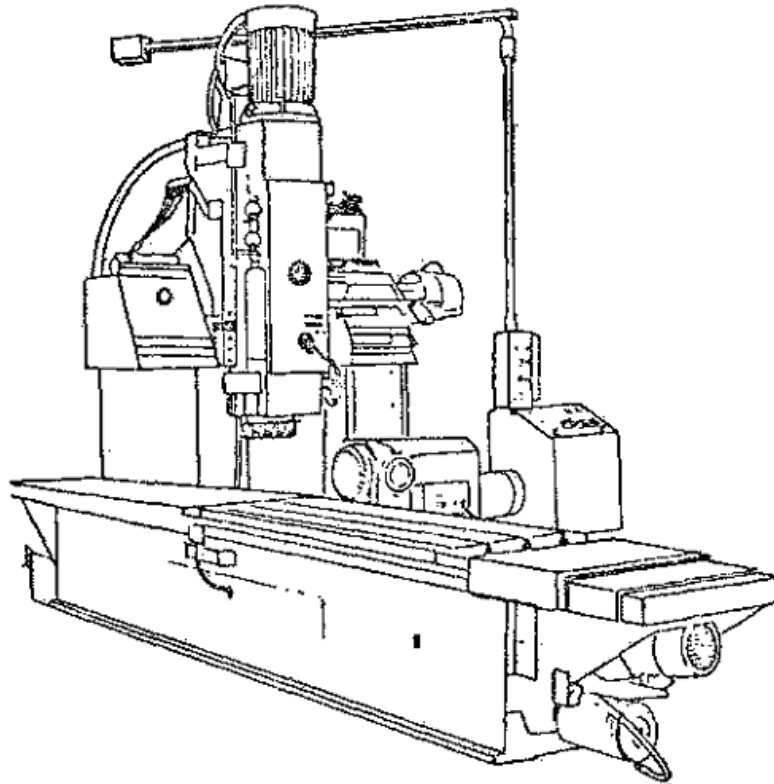
Σχήμα 6

Για κατεργασίες μεγάλης ακριβείας με μικρές απαιτήσεις κοπτικής ισχύος, χρησιμοποιούνται επίσης και φρέζας του ακόλουθου τύπου (σχήμα 7). Στις φρέζες αυτές οι δυνατότητες κίνησης των τραπεζών δε διαφέρουν από τις αντίστοιχες των φρεζών γενικής χρήσης με κατακόρυφο άξονα. Η έμφαση στις εργαλειομηχανές αυτές δίδεται στην ακρίβεια θέσης του κοπτικού εργαλείου, για το λόγο δε αυτό οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν μικρή παραγωγικότητα και απαιτούν μικρή ισχύ κοπής και πρόωσης.



Σχήμα 7

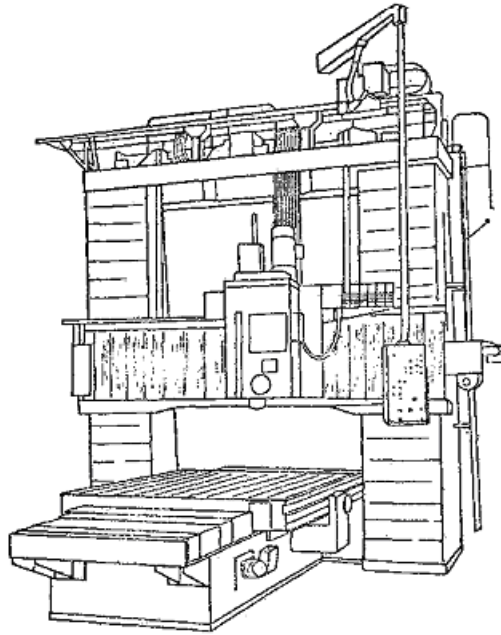
Στους σύγχρονους τύπους φρεζών ακριβείας είναι σχεδόν κανόνας η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικού υπολογιστή για τον έλεγχο της λειτουργίας των συνθηκών κοπής, της θέσης και των μετακινήσεων των κοπτικών εργαλείων. Γενικά η φρέζα με τη μεγάλη πολυπλοκότητα και προσαρμοστικότητα που παρουσιάζει στην κατεργασία είναι η πιο κατάλληλη μηχανή για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρουσιάζει ο έλεγχος με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για την κατεργασία αντικειμένων μεγάλων διαστάσεων, οι φρέζες κατασκευάζονται με μεγαλύτερες διαστάσεις κλίνης, ισχυρότερη κατασκευή και μεγαλύτερη ισχύ κινητήρων, όπως δείχνει το σχήμα 8



Σχήμα 8

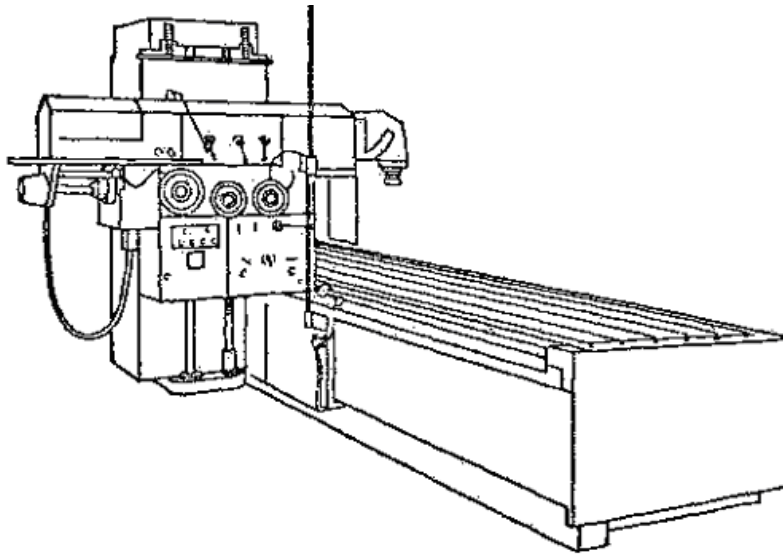
Στις μηχανές του τύπου αυτού η τράπεζα δεν έχει τις δυνατότητες κίνησης των φρεζών γενικής χρήσης. Η τράπεζα κατεργασίας έχει δυνατότητα μόνο παλινδρομικής κίνησης και η όλη λειτουργία της μηχανής παρουσιάζει πολλά κοινά σημεία με την τραπεζοπλάνη. Η δυνατότητα των μηχανών αυτών να κινούν το κοπτικό εργαλείο ανεξάρτητα από την κίνηση της τράπεζας, προσφέρει μία μεγαλύτερη ευχέρεια στην κατεργασία πολύπλοκων επιφανειών.

Αντίστοιχες ικανότητες κίνησης έχει και η ακόλουθη φρέζα με διάταξη γέφυρας για την κατεργασία αντικειμένων εξαιρετικά μεγάλων διαστάσεων, όπως για παράδειγμα μηχανών πλοίων, ελίκων πλοίων, υδροστρόβιλων κ.α. (σχήμα 9)



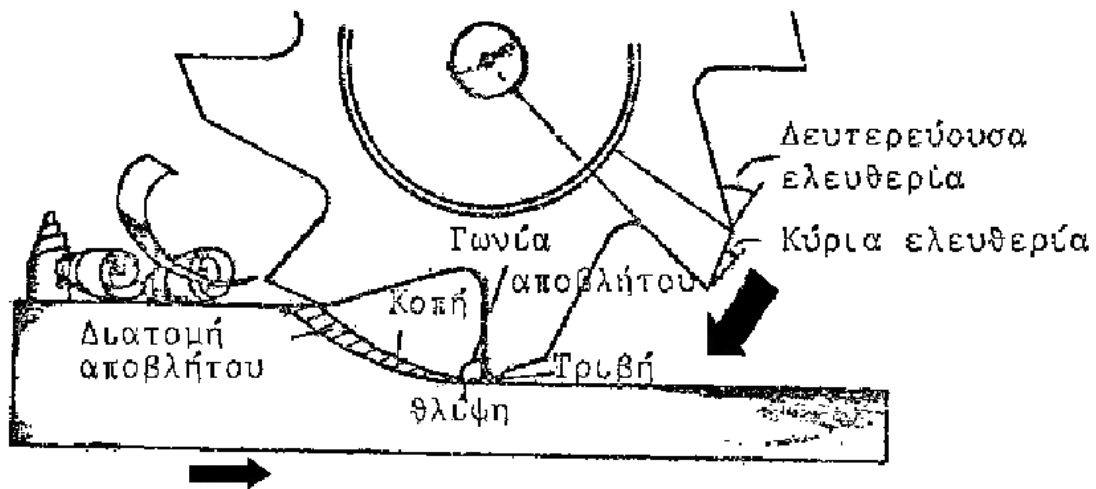
Σχήμα 9

Οι φρέζες με παλινδρομική τράπεζα, λόγω της περιστροφικής κίνησης του κοπτικού εργαλείου, δεν παρουσιάζουν τους περιορισμούς στην κοπτική ταχύτητα των πλανών. Στην περίπτωση των φρεζών η κοπτική ταχύτητα του εργαλείου καθορίζεται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα περιστροφής του και όχι από την ταχύτητα παλινδρόμησης της τράπεζας όπως γίνεται στην περίπτωση της πλάνης. Για την κατεργασία αντικειμένων μεγάλου μήκους χρησιμοποιούνται επίσης φρέζες με σταθερή τράπεζα. Στις μηχανές αυτές, η πρόωση του κοπτικού εργαλείου γίνεται με την μετακίνηση του όλου συστήματος του κινητήρα, κιβωτίου ταχυτήτων, κεφαλής κ.λ.π. κατά μήκος της τράπεζας. (σχήμα 10)



Σχήμα 10

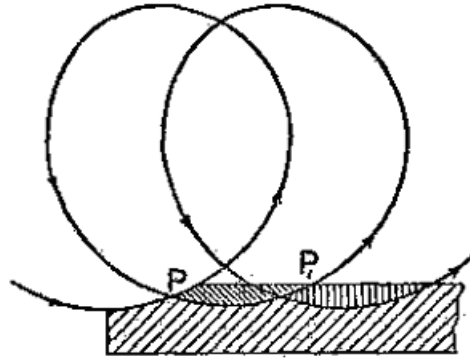
Τα κοπτικά εργαλεία της φρέζας παρουσιάζουν εξωτερικά σημαντικές ομοιότητες με τα κοπτικά εργαλεία των δραπετών, των γλυφάνων και των δισκοπρίονων. Η δράση του κοπτικού εργαλείου της φρέζας κατά την κοπή παρουσιάζεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11

Το κοπτικό εργαλείο της φρέζας έχει την μορφή τροχού στην περιφέρεια του οποίου υπάρχουν οι κοπτικοί οδόντες. Κατά την περιστροφή του κοπτικού, κάθε οδόντας έρχεται σε επαφή με το αντικείμενο εκεί όπου η επιφάνεια εφάπτεται του τροχού. Στο σημείο επαφής κατ' αρχάς εξασκείται ισχυρή τριβή και συμπίεση του υλικού. Λόγω της πρόωσης του αντικειμένου από την κίνηση της τράπεζας, ο οδόντας κατά την κίνησή του εισχωρεί βαθύτερα στη μάζα του μετάλλου με αποτέλεσμα την αύξηση της διατομής του

αποβλήτου. Με τον τρόπο αυτό, κάθε οδόντας αποκόπτει μία καθορισμένη ποσότητα μετάλλου η οποία εξαρτάται από το βάθος κοπής και την πρόωση της τράπεζας. Για τον περιορισμό της τριβής και την αποφυγή της στόμωσης του εργαλείου, ο οδόντας διαμορφώνεται συνήθως με τραπεζοειδή μορφή με κατάλληλες γωνίες κύριας και δευτερεύουσας ελευθερίας. Η τροχιά της κοπτικής ακμής του οδόντα έχει τη μορφή τροχοειδούς καμπύλης, όπως δείχνει το σχήμα 12.



Σχήμα 12

Από το σχήμα αυτό είναι σαφής η μορφή των ανωμαλιών που δημιουργούνται στην επιφάνεια αντικειμένων κατεργασμένων στην φρέζα. Εκτός από το είδος αυτό της κοπής στη φρέζα, κατά το οποίο το κοπτικό εργαλείο έχει στο σημείο κοπής ταχύτητα αντίθετη της πρόωσης, υπάρχει επίσης η δυνατότητα κοπής με φορά περιστροφής του κοπτικού *ομόρροπη* προς την κίνηση της τράπεζας. Οι δύο αυτοί τρόποι κοπής και οι μεταξύ τους διαφορές παρουσιάζονται στο σχήμα 13. Στην περίπτωση της *ομόρροπης* κοπής, το απόβλητο έχει μεγάλο πάχος στην αρχή κατά την είσοδο του στη μάζα του μετάλλου, και μηδενίζεται κατά την έξοδο του οδόντα από το υλικό. Κάθε μία από τις μεθόδους αυτές παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τα υλικά των κοπτικών εργαλείων, την εργαλειομηχανή, κ.α. Γενικά η ομόρροπη κοπή πλεονεκτεί στην περίπτωση κοπτικών εργαλείων κατασκευασμένων από καρβίδια. Τα εργαλεία αυτά παρουσιάζουν μικρές ή και αρνητικές γωνίες αποβλήτου και εισχωρούν ευκολότερα στο μέταλλο κατά την ομόρροπη κοπή. Αντίθετα, τα εργαλεία αυτά δυσκολεύονται να εισχωρήσουν στην μάζα του μετάλλου κατά την αντίρροπη κοπή, γιατί κατά την αρχική επαφή μεταξύ αντικειμένου και κοπτικού εργαλείου, η επιφάνεια του αντικειμένου είναι εφαπτόμενη της τροχιάς του οδόντα. Επίσης, η ομόρροπη κοπή παρουσιάζει απότομη ανάπτυξη των κοπτικών δυνάμεων και συνεπώς είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί μόνον σε μηχανές σε καλή κατάσταση και μεγάλης στιβαρότητας. Η ομόρροπη κοπή, λόγω της διεύθυνσης των κοπτικών δυνάμεων δημιουργεί μία συμπίεση του αντικειμένου πάνω στην τράπεζα εργασίας η οποία υποβοηθάει την πρόσδεση του αντικειμένου στην εργαλειομηχανή. Τέλος, οι δυνάμεις κοπής που αναπτύσσονται κατά την ομόρροπη κοπή είναι ελαφρώς μικρότερες για τον ίδιο όγκο αποβλήτου.

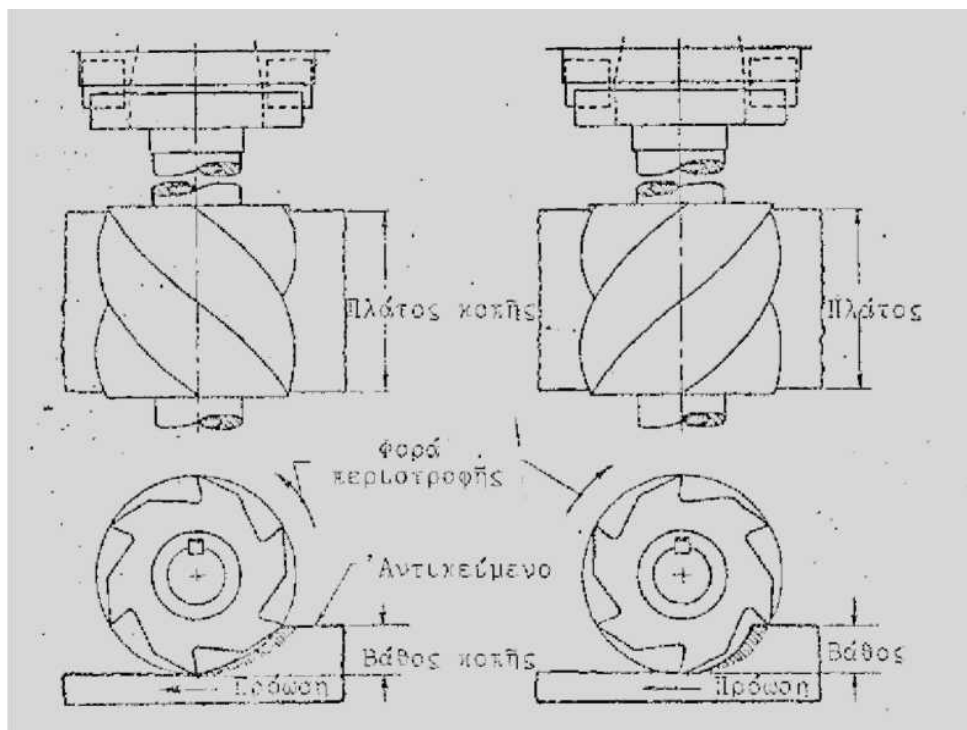
Στην περίπτωση της αντίρροπης κοπής, τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι η ομαλότερη ανάπτυξη των κοπτικών δυνάμεων, η μειωμένη φόρτιση των εδράνων του άξονα του

κοπτικού εργαλείου λόγω της διεύθυνσης των κοπτικών δυνάμεων, η μικρή εξάρτηση των κοπτικών γωνιών από το βάθος κοπής κ.α.

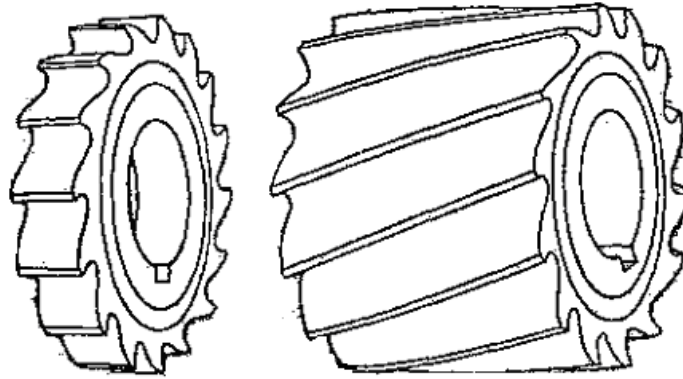
Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να τονισθεί ότι τα κοπτικά εργαλεία, οι προώσεις και τα βάθη κοπής που χρησιμοποιούνται για κάθε είδος κοπής ομόρροπης ή αντίρροπης είναι διαφορετικά. Στις συνήθεις περιπτώσεις κοπής με εργαλεία από ταχυχάλυβες και μικρές απαιτήσεις παραγωγικότητας χρησιμοποιείται κατά κανόνα η αντίρροπη κοπή.

Οι κοπτικοί οδόντες έχουν ευθύγραμμη ή ελικοειδή μορφή η οποία παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι κατά την διάρκεια της κοπής βρίσκεται πάντοτε σε επαφή με το μέταλλο ένας ή περισσότεροι οδόντες.

Οι συνηθέστερες μορφές κοπτικών εργαλείων φρεζών με οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται στο σχήμα 14. Με τα εργαλεία της μορφής αυτής είναι δυνατή η κατεργασία των οριζοντίων επιφανειών αντικειμένων, η διάνοιξη αυλάκων κ.α.

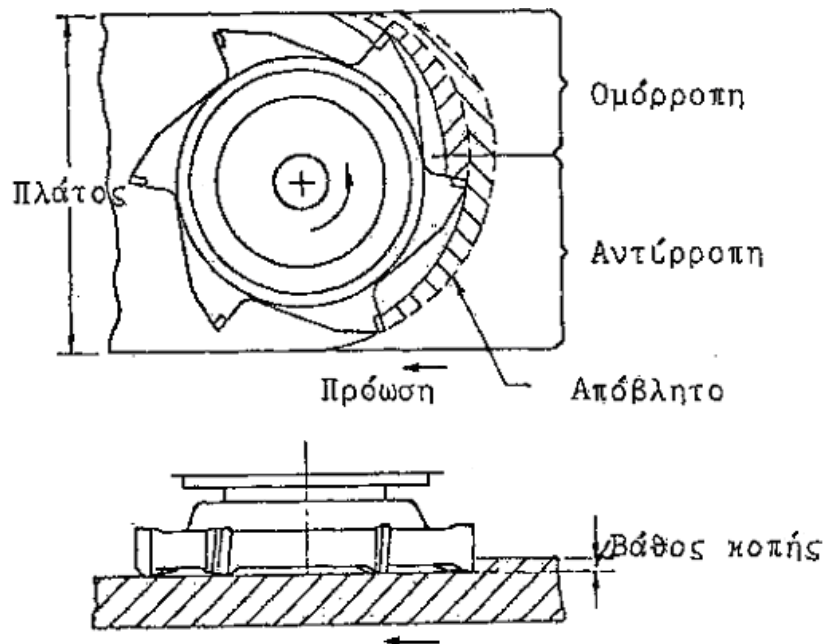


Σχήμα 13



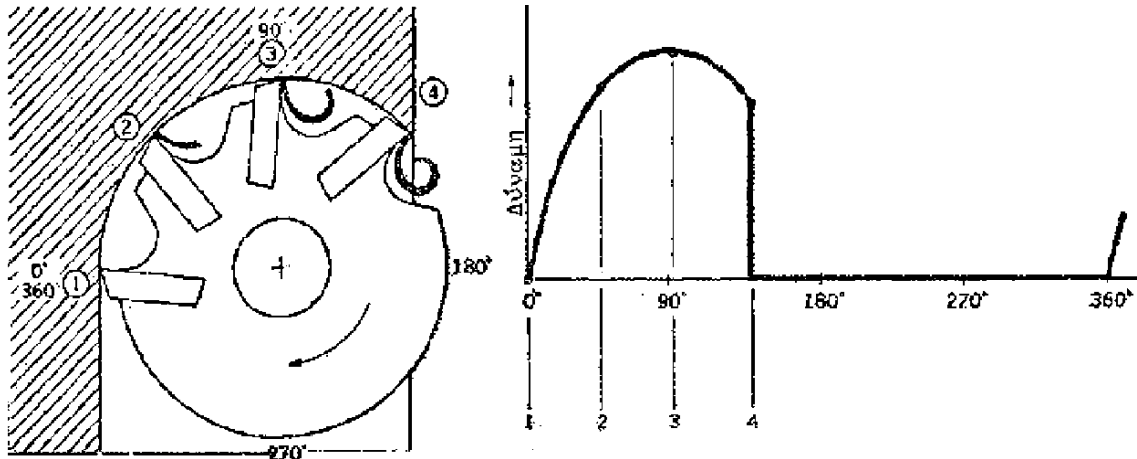
Σχήμα 14

Για την κατεργασία οριζοντίων επιφανειών σε φρέζες με κατακόρυφο άξονα χρησιμοποιούνται εργαλεία ειδικής μορφής. Η βασική μορφή των εργαλείων αυτών παρουσιάζεται στο σχήμα 15. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται επίσης η μορφή του αποκομμένου αποβλήτου, το βάθος κοπής και η διεύθυνση της πρόωσης.



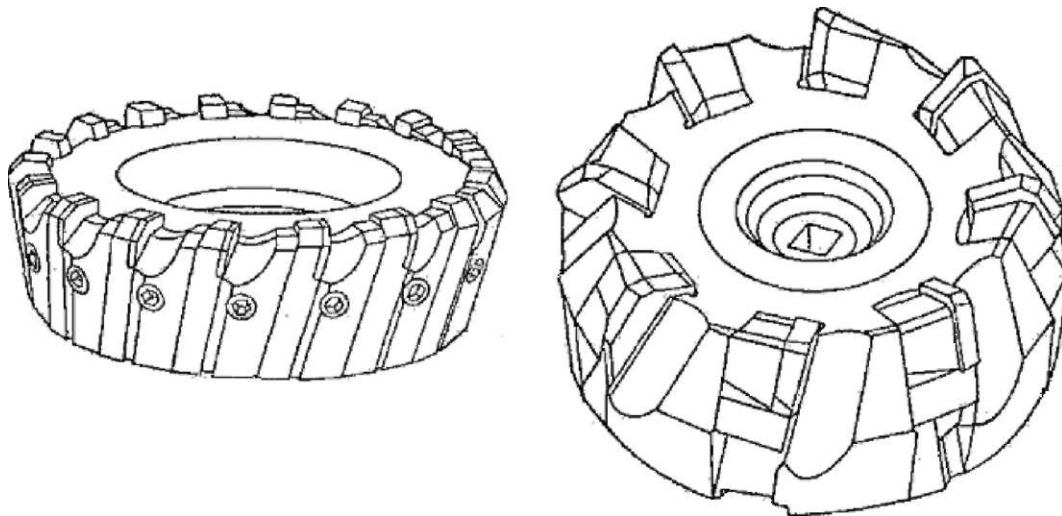
Σχήμα 15

Είναι σαφές ότι κατά την επιφανειακή κατεργασία αντικειμένων σε φρέζες κάθετου άξονα, το κοπτικό εργαλείο κατά την πρώτη φάση της κοπής αποκόπτει το υλικό εργαζόμενο αντίρροπα προς την πρόωση, κατά δε την τελική φάση ο οδόντας κινείται ομόρροπα. Αποτέλεσμα της κίνησης αυτής του κοπτικού εργαλείου είναι η αυξομείωση του πάχους του αποβλήτου. Η μεταβολή των κοπτικών δυνάμεων κατά τη διάρκεια της κοπής παρουσιάζεται στο σχήμα 16. Η μορφή των κοπτικών εργαλείων των φρεζών με κατακόρυφο άξονα προσφέρεται για τη χρησιμοποίηση ένθετων πλακιδίων.



Σχήμα 16

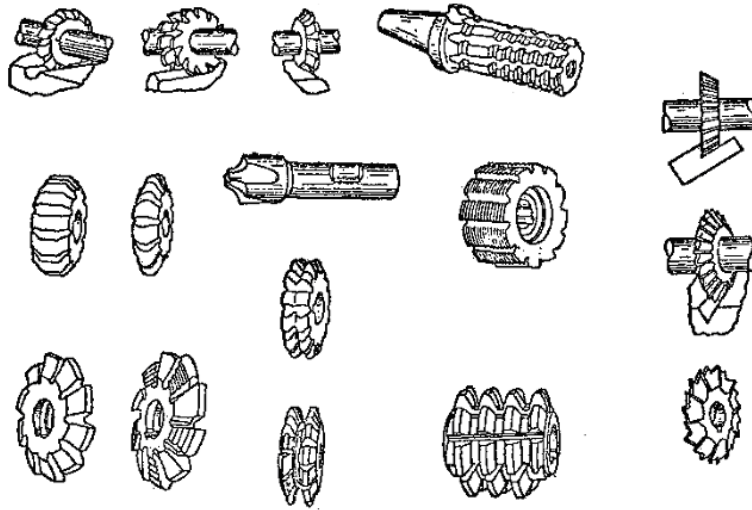
Στο σχήμα 17 παρουσιάζονται δύο συνηθισμένοι τύποι εργαλείων φρέζας κάθετου άξονα για την κατεργασία επιπέδων επιφανειών με ένθετες κοπτικές ακμές.



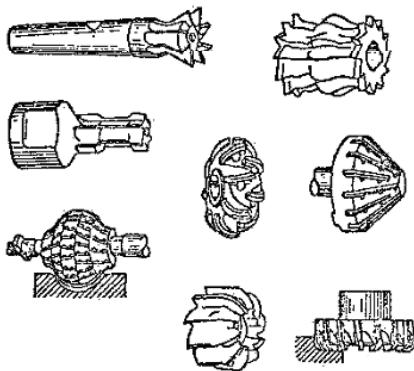
Σχήμα 17

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των κατεργασιών που είναι πραγματοποιήσιμες με τη φρέζα, τα κοπτικά εργαλεία της φρέζας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία μορφών και διαμορφώσεων κοπτικών επιφανειών. Στο σχήμα 18 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι εργαλείων φρέζας με οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Σε πολλούς τύπους φρεζών είναι δυνατή η μετατροπή της εργαλειομηχανής από τον ένα τύπο στον άλλο με την προσθήκη κατάλληλων εξαρτημάτων. Για τη βελτίωση της αποδοτικότητας της εργαλειομηχανής και τη μείωση του χρόνου κατεργασίας, είναι επίσης δυνατή η προσαρμογή πολλών κοπτικών εργαλείων στον άξονα της φρέζας, εάν φυσικά η ισχύς και η στιβαρότητα της μηχανής το επιτρέπει. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η κατεργασία πολλών συγχρόνως αντικειμένων. (σχήμα 19)

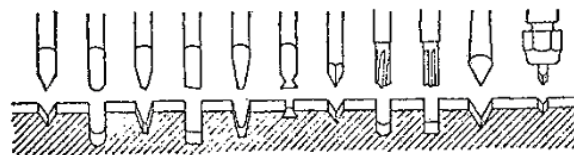
Για τη μείωση των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται κατά την κοπή με ελικοειδή εργαλεία, στις περιπτώσεις αυτές είναι δυνατή η προσαρμογή στον ίδιο άξονα κοπτικών εργαλείων με δεξιόστροφη και αριστερόστροφη έλικα. (σχήμα 20) Κατά την κοπή στη φρέζα είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση κοπτικών υγρών για τη λίπανση και ψύξη των κοπτικών επιφανειών και την απομάκρυνση των αποβλήτων τα οποία είναι δυνατόν να προξενήσουν ανωμαλίες στην επιφάνεια κατεργασίας. (σχήμα 21)



Κοπτικά εργαλεία μορφής για τη διάνοιξη αυλάκων διαφόρων σχημάτων, για την κοπή σπειρωμάτων και οδοντωτών τροχών κ.λ.π.

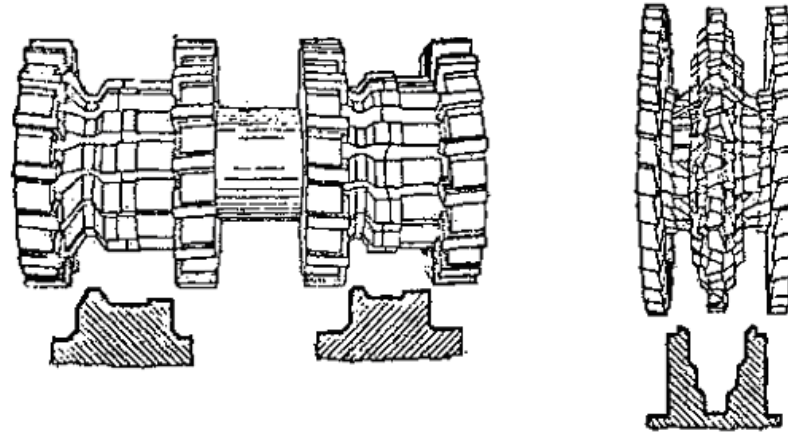


Ειδικά εργαλεία μορφής για τη διαμόρφωση πολύπλοκων επιφανειών.

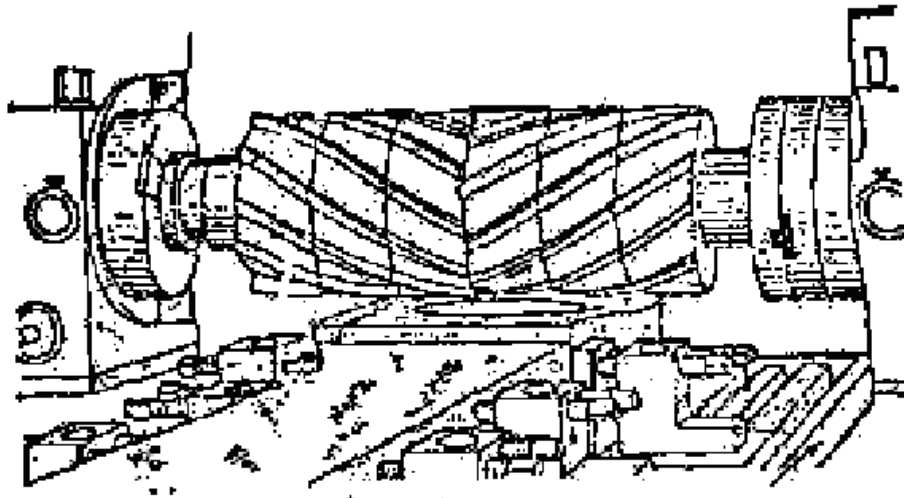


Κοπτικά εργαλεία φρεζών για την κατασκευή προτύπων.

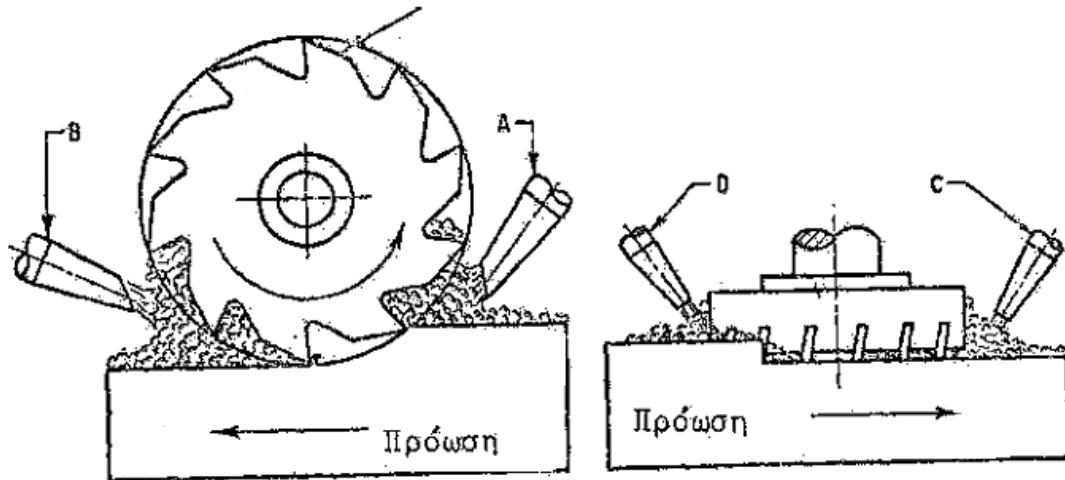
Σχήμα 18



Σχήμα 19

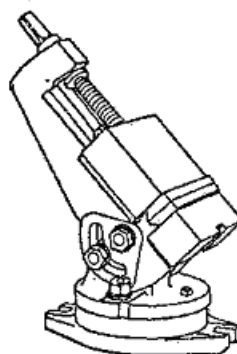
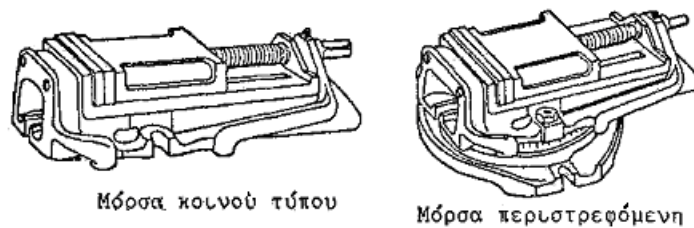


Σχήμα 20



Σχήμα 21

Η πρόσδεση των αντικειμένων κατεργασίας στην τράπεζα της εργαλειομηχανής γίνεται είτε απευθείας με κατάλληλους προσδέτες είτε με τη βοήθεια σφιγκτήρων διαφόρων τύπων (μόρσες). Ο τύπος του σφιγκτήρα που θα χρησιμοποιηθεί στη φρέζα έχει μεγάλη σημασία γιατί έκτος από τη στιβαρότητα την οποία πρέπει να παρουσιάζει, δίδει επίσης τη δυνατότητα κινήσεων στο αντικείμενο για την πραγματοποίηση διαφόρων κατεργασιών, οι οποίες δε θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν με τις δυνατότητες κίνησης μόνο της τράπεζας. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζονται επίσης και ειδικοί τύποι σφιγκτήρων με ξεχωριστό κινητήρα και κιβώτιο ταχυτήτων που προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες κατεργασίας στη φρέζα. (σχήμα 22)



Σχήμα 22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: AutoCAD

3.1. AutoCAD Εισαγωγή

- 1.1. Εγκατάσταση και Εκκίνηση του προγράμματος (επιλογή εγκατάστασης και των Express Tools).
- 1.2. Πλαίσιο διαλόγου εκκίνησης (Startup, επιλογή Options καρτέλα System στο AutoCAD 2008, μεταβλητή STARTUP στο AutoCAD 2008).
 - 1.2.1. Άνοιγμα σχεδίου (Open a Drawing).
 - 1.2.2. Ξεκινώντας από την αρχή (Start from Scratch).
 - 1.2.3. Χρησιμοποίηση και ανάλυση των templates (Επιλογή Use a Template).
- 1.3. Ανάλυση των περιοχών της κεντρικής οθόνης.
 - 1.3.1. Περιοχή Σχεδίασης (Drawing Area).
 - 1.3.2. Γραμμή Εντολών (Command Line).
 - 1.3.3. Εργαλειοθήκες (Toolbars).
 - 1.3.4. Πτυσσόμενα μενού (Pull-Down Menus).
 - 1.3.5. Γραμμή Κατάστασης (Status Bar).
 - 1.3.6. Λωρίδες κύλισης (Scroll Bars).
 - 1.3.7. Χρήση των πλήκτρων του ποντικιού και Επιλογές του μενού του ποντικιού (επιλογή OPTIONS User Preferences).
- 1.4. Επιλογή εντολών.
 - 1.4.1. Επιλογή εντολών από τη γραμμή εντολών (Command line).
 - 1.4.2. Επιλογή εντολών από τα πτυσσόμενα μενού (Pull down menus).
 - 1.4.3. διαχείριση των εργαλειοθηκών (toolbars) (εμφάνιση, διαγραφή, μετακίνηση).
 - 1.4.4. Σύντομη αναφορά στις παλέτες (Tool palettes).
 - 1.4.5. Ανάλυση των εντολών και των υποεπιλογών τους που εμφανίζουν μηνύματα στη γραμμή εντολών (Command line).
 - 1.4.6. Ανάλυση των εντολών που εμφανίζουν πλαίσια διαλόγου.
 - 1.4.7. Επιλογή εντολών από τα εικονίδια.
- 1.5. Εντολή UNITS.
- 1.6. Χρήση εντολών, διαφανών εντολών (Transparency) και μεταβλητών.

3.2. Σχεδίαση με Συντεταγμένες

- 2.1. Συντεταγμένες.
 - 2.1.1. Απόλυτες καρτεσιανές συντεταγμένες.
 - 2.1.2. Σχετικές καρτεσιανές συντεταγμένες.
 - 2.1.3. Απόλυτες πολικές συντεταγμένες.
 - 2.1.4. Σχετικές πολικές συντεταγμένες.
- 2.2. Drafting Settings (εντολή DSETTINGS).
 - 2.2.1. Snap & Grid.
 - 2.2.2. Polar Tracking.
 - 2.2.3. Object Snaps.
 - 2.2.4. Dynamic Input.

- 2.2.5. Επιλογή προσωρινών Osnap (με Shift+δεξί πλήκτρο του ποντικιού).
- 2.2.6. Object Snap Tracking.
- 2.2.7. Temporary Track Point.
- 2.3. Ανάλυση της OPTIONS Καρτέλα Drafting

3. 3. Βασικές εντολές σχεδίασης

- 3.1. δημιουργία γραμμών (εντολή LINE).
- 3.2. δημιουργία ορθογωνίων (εντολή RECTANGLE).
- 3.3. δημιουργία κύκλων (εντολή CIRCLE).
 - 3.3.1. διαφορετικοί τρόποι δημιουργίας κύκλων.
 - Κέντρο και ακτίνα.
 - Κέντρο και διάμετρος.
 - δύο σημεία.
 - Τρία σημεία.
 - Κύκλος εφαιπτόμενος σε δύο σημεία της περιφέρειάς του με συγκεκριμένη ακτίνα.
 - Κύκλος εφαιπτόμενος σε τρία σημεία της περιφέρειάς του.
- 3.4. δημιουργία πολυγώνων (εντολή POLYGON).
- 3.5. δημιουργία τόξων (εντολή ARC).
 - 3.5.1. διαφορετικοί τρόποι δημιουργίας τόξων.
 - Τρία σημεία.
 - Αρχή, Κέντρο, Τέλος.
 - Αρχή, Κέντρο, Περιεχόμενη Γωνία.
 - Αρχή, Κέντρο, Μήκος Χορδής.
 - Αρχή, Τέλος, Περιεχόμενη Γωνία.
 - Αρχή, Τέλος, διεύθυνση Εφαιπτομένης.
 - Αρχή, Τέλος, Ακτίνα.
 - Κέντρο, Αρχή, Τέλος.
 - Κέντρο, Αρχή, Περιεχόμενη Γωνία.
 - Κέντρο, Αρχή, Μήκος Χορδής.
- 3.6. δημιουργία ελλείψεων και ελλειπτικών τόξων (εντολές ELLIPSE και επιλογή ELLIPSEäArc).
- 3.7. δημιουργία polylines (εντολή POLYLINE).
 - 3.7.1. Ανάλυση των διαφορετικών επιλογών της polyline (Arc, Halfwidth, Length, Width).
- 3.8. δημιουργία σημείων (εντολή POINT).
 - 3.8.1. διαφορετικοί τρόποι εμφάνισης των σημείων (εντολή DDPTYPE).

3.4. Εντολές Οθόνης

- 4.1. Χρήση των πλήκτρων του ποντικιού στη διαχείριση της οθόνης.
 - 4.1.1. Ροδέλα κύλισης του ποντικιού (επιλογές Zoom In/Out, Zoom Extends, Pan).
- 4.2. Εντολή ZOOM (ανάλυση των επιλογών Center, Extends, Previous, Window).
 - 4.2.1. Εικονίδια Flyout Zoom από την εργαλειοθήκη Standard.
- 4.3. Aerial View (εντολή AV).
- 4.4. Ανάλυση των Redraw και Regeneration.

3.5. Επιλογή Αντικειμένων

- 5.1. Τρόποι επιλογής αντικειμένων πριν ορισθεί εντολή επεξεργασίας.
 - 5.1.1. Επιλογή αντικειμένων με αυτόματη χρήση των Window & Crossing.
 - 5.1.2. Σημειακή επιλογή (Pick).
- 5.2. Ακύρωση επιλεγμένων αντικειμένων (με Shift+επιλογή pick, Window, Crossing).
- 5.3. Επιλογή αντικειμένων μετά από εντολή επεξεργασίας.
 - 5.3.1. Αυτόματη επιλογή (Autoselect) Window, Crossing & Pick.
 - 5.3.2. Επιλογή Window Polygon (WP).
 - 5.3.3. Επιλογή Crossing Polygon (CP).
 - 5.3.4. Επιλογή Fence (F).
 - 5.3.5. Επιλογές All & Previous (P).
 - 5.3.6. Επιλογές Add, Remove.
- 5.4. Επιλογή αντικειμένων χωρίς να δοθεί εντολή (Grips). Ανάλυση των διαφορετικών μορφών των grips (hover & hot).
 - 5.4.1. Εκτέλεση των εντολών Stretch, Move, Copy, Mirror, Rotate & Scale με τη χρήση των grips. Επιλογή περισσότερων από ένα Grips (με Shift + επιλογή).
- 5.5. Επιλογή ενός αντικειμένου από αλληλοκαλυπτόμενα (Cycle On/Off, επιλογή με Shift+Spacebar+Pick στα AutoCAD 2007 & 2008, Ctrl+Pick στις προηγούμενες εκδόσεις).
- 5.6. Selection Preview.
- 5.7. Ανάλυση της OPTIONSäκαρτέλα Selection.
 - 5.7.1. Επιλογή Noun/Verb selection.
 - 5.7.2. Επιλογή Use Shift to add to Selection.
 - 5.7.3. Ρυθμίσεις του Selection preview.

3.6. Εντολές επεξεργασίας

- 6.1. MOVE.
- 6.2. COPY.
- 6.3. ROTATE.
- 6.4. SCALE.
- 6.5. STRETCH.
- 6.6. MIRROR.
- 6.7. OFFSET.
- 6.8. ARRAY.
- 6.9. ALIGN.
- 6.10. BREAK & BREAK AT POINT.
- 6.11. TRIM.
- 6.12. EXTEND.
- 6.13. FILLET.
- 6.14. CHAMFER.
- 6.15. LENGTHEN.
- 6.16. DIVIDE.
- 6.17. MEASURE.
- 6.18. PEDIT.
- 6.19. JOIN.
- 6.20. ERASE.
- 6.21. EXPLODE.

3.7. Layers

- 7.1. Πλαίσιο διαλόγου Layers Properties Manager.
 - 7.1.1. Ανάλυση των στηλών On/Off, Freeze/Thaw, Lock/Unlock, Color, Linetype, Lineweight, Plot Style, Plot.
- 7.2. Τροποποίηση της κλίμακας των διακεκομμένων γραμμών (μεταβλητές LTSCALE & CELTSCALE).
- 7.3. Τροποποίηση του πάχους εκτύπωσης των γραμμών (εντολή LWEIGHT).
- 7.4. \ημιουργία και διαγραφή Layer (από το πλαίσιο διαλόγου) και την εντολή LAYDEL (από τα Express Tools).
- 7.5. Επιλογή ενεργού (Current) Layer.
- 7.6. Επιλογές του μενού του ποντικιού (με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου του).
- 7.7. Αλλαγές ενεργών ιδιοτήτων των αντικειμένων. Ιδιότητες By Layer & By Block.

3.8. Αρχεία

- 8.1. Επιλογές Open, New, Save & Save As.
- 8.2. Αποθήκευση σε διαφορετικά AutoCAD Formats.

- 8.3. \ημιουργία αρχείων DXF.
- 8.4. Δημιουργία Template.
- 8.5. Ανάλυση των Workspaces & Profiles (ομοιότητες και διαφορές).
- 8.6. Αρχεία Backup (.bak).
- 8.7. Αρχεία αυτόματης αποθήκευσης (.sv\$).
- 8.8. Εντολή DRAWINGRECOVERY.
- 8.9. Εντολή ETRANSMIT.
- 8.10. Επιλογή OPTIONS\καρτέλα Open and Save.

3.9. Διαγραμμίσεις

- 9.1. Εντολή HATCH.
 - 9.1.1. Προκαθορισμένες διαγραμμίσεις (Predefined).
 - 9.1.2. \διαγραμμίσεις καθορισμένες από το χρήστη (User Defined).
 - 9.1.3. Custom διαγραμμίσεις.
 - 9.1.4. Ανάλυση του Hatch origin.
 - 9.1.5. δημιουργία ξεχωριστών διαγραμμίσεων (Create separate hatches).
 - 9.1.6. Associative Hatch.
 - 9.1.7. διαχείριση των εσωτερικών ορίων (Islands).
 - 9.1.8. Gap tolerance.
 - 9.1.9. διαγραμμίσεις Gradient (επιλογή HATCH καρτέλα Gradient).
- 9.2. διόρθωση διαγραμμίσεων (εντολή HATCHEDIT).
- 9.3. Double click Editing (επιλογή OPTIONS καρτέλα User Preferences).
- 9.4. Εντολή SUPERHATCH (των Express Tools).
- 9.5. Εντολή IMAGEFRAME.

3.10. Κείμενο

- 10.1. δημιουργία στυλ κειμένου (εντολή STYLE).
 - 10.1.1. Ανάλυση των διαφορετικών μορφών γραμματοσειρών .shx (Shape) και .ttf (True Type Fonts).
- 10.2. δημιουργία Single Line text (εντολές TEXT, DTEXT).
 - 10.2.1. Στοιχίση κειμένου (Justify text).
- 10.3. Επιλογή κατάλληλου ύψους κειμένου ανάλογα με την κλίμακα εκτύπωσης.
- 10.4. δημιουργία Multiline Text (εντολή MTEXT).
 - 10.4.1. Σύντομη επεξήγηση των επιλογών της Mtext. Βοηθητικό μενού με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού.
- 10.5. διόρθωση κειμένου (εντολή DDEDIT).
- 10.6. Εντολή JUSTIFYTEXT.
- 10.7. Εντολή SCALETEXT.
- 10.8. Επιλογή Rotate Text (των Express Tools, εντολή TORIENT).

3.11. Διαστάσεις

11.1. Τοποθέτηση διαστάσεων.

11.1.1. Linear Dimension (εντολή DIMLINEAR).

11.1.2. Aligned Dimension (εντολή DIMALIGNED).

11.1.3. Radius Dimension (εντολή DIMRADIUS).

11.1.4. Diameter Dimension (εντολή DIMDIAMETER).

11.1.5. Angular Dimension (εντολή DIMANGULAR).

11.1.6. Ordinate Dimension (εντολή DIMORDINATE).

11.1.7. Continued Dimension (εντολή DIMCONTINUE).

11.1.8. Baseline Dimension (εντολή DIMBASELINE).

11.1.9. Dim Arc (εντολή DIMARC).

11.2. Ανάλυση του Dimension Style Manager (εντολή DIMSTYLE).

11.3. Τροποποίηση διαστάσεων μέσα από το βοηθητικό menu (με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου

του ποντικιού).

11.3.1. Dimension Update.

11.3.2. Dimension Text Edit (εντολή DIMTEDIT).

3.12. Blocks

12.1. δημιουργία blocks.

12.1.1. Make Block (εντολή BLOCK).

12.1.2. Επιλογή ByBlock.

12.2. Αποθήκευση Block και τμήματος σχεδίου (εντολή WBLOCK).

12.3. Εισαγωγή Block (εντολή INSERT).

12.4. Τροποποίηση μπλοκ (εντολή REFEDIT).

12.5. Ανάλυση του Block Editor (εντολή BEDIT).

3.13. Διαχείριση και πληροφορίες αντικειμένων

13.1. Παλέτα properties (Ctrl + 1). Επιλογή αντικειμένων και τροποποίησή τους.

13.2. AutoCAD Design Center (Ctrl + 2).

13.3. Tool Palettes (Ctrl + 3).

13.4. Εντολές Πληροφορίας αντικειμένων.

13.4.1. Θέση σημείου (εντολή ID).

13.4.2. Απόσταση σημείων (εντολή DIST).

13.4.3. Εμβαδόν (εντολή AREA).

3.14. Εκτύπωση

14.1. Plotter Manager (εντολή PLOTTERMANAGER).

14.1.1. Εκτύπωση σε αρχείο. δημιουργία αρχείων .plt, dwf & .pdf.

14.2. Plot Style Tables (κατηγορίες .ctb & .stb).

14.3. Page setup manager (εντολή PAGESETUP).

14.3.1. Plot Area.

14.3.2. Plot Scale.

14.3.3. Εντολή SCALELISTEDIT.

14.3.4. Plot Options (επιλογές Plot with plot styles & Plot object lineweights).

14.4. Plot Preview.

14.5. Εντολή PLOT.

14.6. Γενική αναφορά στα Layouts.

14.6.1. δημιουργία κινητών παραθύρων και εμφάνιση διαφορετικών κλιμάκων σ' αυτά (με την εντολή MVIEW και την εργαλειοθήκη Viewports).__

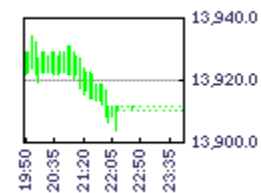
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλικό Κατασκευής Άξονα

4.1.α Προσμίξεις του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του άξονα

Χημικές Ιδιότητες

W.Nr	DIN	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%
1,5919	15CrNi6	0.14- 0.19	≤0.40	0.40- 0.60	0.035	0.035	1.40- 1.70	-	1.40- 1.70

ΝΙΚΕΛΙΟ - ΗΜΕΡΗΣΙΟ

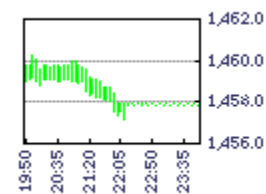


[fastmarketsltd](http://fastmarketsltd.com)

Εφαρμογές

Λόγω της περιεκτικότητας του σε Νικέλιο είναι χάλυβας υψηλότερης αντοχής στις κρούσεις, κάμψεις και στρέψεις

ALLOY - ΗΜΕΡΗΣΙΟ



[fastmarketsltd](http://fastmarketsltd.com)

Τύπος Υλικού:

Σίδηρος ενανθρακώσεως sk 1,5918 (15CrNi6)

4.1.β Βαφή Γενικά

Από αρχαιότατων χρόνων ήταν γνωστή η σκλήρυνση εργαλείων, αλλά και σπαθιών, με τη μέθοδο της θερμικής κατεργασίας της *βαφής*, η οποία εφαρμοζόταν σε σιδηρουργεία της Αθήνας (*Χρυσούς Αιών του Περικλέους*, 5ος π.Χ. αι.). Οι λεπίδες των περιίτρων *Δαμασκητών Σπαθιών* αποκτούσαν τρομερή σκληρότητα και συνάμα δυσθραυστότητα λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών θερμικών κατεργασιών βαφής και επαναφοράς (αναθέρμανσης), που εφάρμοζαν οι τεχνίτες της εποχής εκείνης. Οι συνθήκες αυτές σκλήρυνσης παραμένουν ακόμα και σήμερα ανεξακρίβωτες. Οι θερμικές κατεργασίες αποτελούσαν βασικό τομέα τεχνολογικής προόδου της εποχής εκείνης, παρόλο που οι μηχανισμοί σκλήρυνσης ή εξασθένησης (μείωσης της σκληρότητας) ήσαν άγνωστοι. Οι θερμικές κατεργασίες των μετάλλων σήμερα αποτελούν ένα από τα βασικότερα στάδια παραγωγής στη βαριά βιομηχανία και ειδικότερα στην κατασκευαστική βιομηχανία χάλυβα. Με τον όρο **θερμική κατεργασία** ορίζεται μία διεργασία, κατά την οποία το επεξεργαζόμενο τεμάχιο υφίσταται ένα συγκεκριμένο **θερμικό κύκλο** με τα ακόλουθα στάδια :

- (i) θέρμανση από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στην επιθυμητή θερμοκρασία,
- (ii) παραμονή στην εν λόγω θερμοκρασία για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα,
- (iii) ψύξη μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα παραπάνω στάδια (i)-(iii) αποτελούν το γενικευμένο σχήμα μίας οποιασδήποτε θερμικής κατεργασίας.

Οι βασικές παράμετροι, οι οποίες διαφοροποιούν μεταξύ τους τις θερμικές κατεργασίες, είναι οι ακόλουθες :

- **Η θερμοκρασία**
- **Ο χρόνος παραμονής στην παραπάνω θερμοκρασία**
- **Ο ρυθμός απόψυξης**

Το μέσο ή περιβάλλον θέρμανσης (αέρας, τηγμένα άλατα), το μέσο απόψυξης (νερό, λάδι, αλατόνερο), αλλά και η μάζα του κατεργαζόμενου υλικού, είναι βασικά στοιχεία των θερμικών κατεργασιών, γιατί επηρεάζουν σημαντικά τις βασικές τους παραμέτρους. Οι σημαντικότερες οικογένειες θερμικών κατεργασιών χαλύβων είναι οι ακόλουθες :

- **Ανόπτηση**
- **Βαφή**
- **Επαναφορά**

Γενικά, η **ανόπτηση**, που εφαρμόζεται στους χάλυβες, έχει στόχο τη μείωση της σκληρότητας των εσωτερικών τάσεων, την αύξηση της πλαστικότητας και της κατεργασιμότητας, αλλά και την ομογενοποίηση της χημικής σύστασης χυτών, κυρίως,

τεμαχίων. Η **βαφή** των χαλύβων έχει στόχο τη σκλήρυνσή τους και η **επαναφορά** η οποία εφαρμόζεται μετά από βαφή, έχει στόχο την ανάκτηση της δυσθραυστότητας μέσω μικρής μείωσης της σκληρότητας.

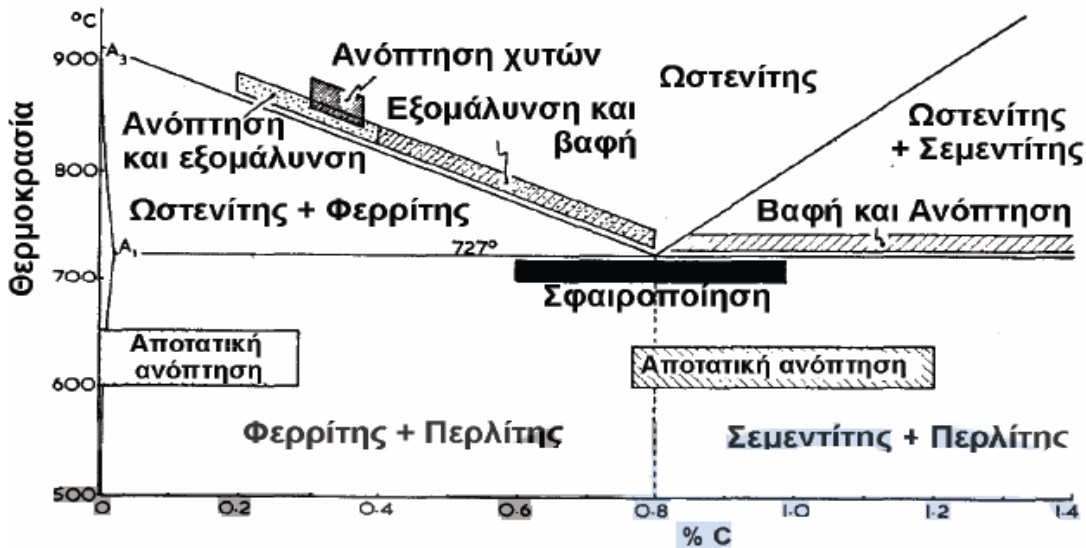
4.2. Ανόπτηση

Η ανόπτηση θεωρείται θερμική κατεργασία με μικρή ταχύτητα απόψυξης, σε αντιδιαστολή με τη βαφή που θεωρείται θερμική κατεργασία με μεγάλη ταχύτητα απόψυξης. Τα πιο σημαντικά είδη ανόπτησης χάλυβα είναι τα ακόλουθα :

- (1) Ανόπτηση κατεργασίας,
- (2) Πλήρης ανόπτηση,
- (3) Ανόπτηση σφαιροποίησης,
- (4) Ανόπτηση εξομάλυνσης,
- (5) Ανόπτηση χυτοχάλυβα

4.2.1 Ανόπτηση κατεργασίας

Η ανόπτηση κατεργασίας είναι η θέρμανση του χάλυβα για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα, που πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης (περίπου 500°C για το μαλακό χάλυβα) μεταξύ 550°-650°C και πολύ συχνά απαντάται και ως **αποτατική ανόπτηση**. Στόχος της είναι η εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, που έχουν προέλθει από την ψυχρή μορφοποίηση του υλικού . Ακολουθεί βραδεία απόψυξη του υλικού έως τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ανόπτηση σε λίγο υψηλότερη θερμοκρασία (600-700°C) καλείται **ανόπτηση ανακρυστάλλωσης**.



Θερμοκρασιακά διαστήματα των πραγματοποιούμενων σε χάλυβες θερμικών κατεργασιών σε σχέση με το διάγραμμα ισορροπίας φάσεων Fe-C.

4.2.2 Ανόπτηση

Η ανόπτηση είναι η θέρμανση του χάλυβα για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα, που πραγματοποιείται συνήθως κατά 40-50°C πάνω από την A3 για τους υποευθηκτοειδείς χάλυβες ή κατά 40- 50°C πάνω από την A1 (727°C) για τους υπereυθηκτοειδείς χάλυβες, ακολουθούμενη από ήρεμη ψύξη μέσα στο φούρνο. Η ψύξη που ακολουθεί είναι πολύ αργή και πραγματοποιείται συνήθως μέσα στο φούρνο. Στόχος της πλήρους ανοπτήσεως είναι η αποκατάσταση της δομής του χάλυβα, κάτω από συνθήκες ισορροπίας φάσεων, και η βελτίωση της κατεργασιμότητάς του. Πολλές φορές, **από σφάλμα**, η ανόπτηση πραγματοποιείται σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες (> 1100°C) και παρατηρείται τήξη των ακαθαρσιών στα όρια των κόκκων. Ο χάλυβας, μετά από αυτή την κατεργασία, λέγεται **καμένος** και θεωρείται ακατάλληλος για χρήση. Θεραπεία για τον καμένο χάλυβα δεν υπάρχει. Μία άλλη αστοχία, η οποία, όμως, επιδέχεται θεραπεία, είναι η **υπερθέρμανση** του χάλυβα. Σε αυτή την περίπτωση ο χάλυβας θερμαίνεται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία (όχι τόσο υψηλή, ώστε να καεί) και για πολλή ώρα. Παρατηρείται δραματική αύξηση του μεγέθους των κόκκων, με αποτέλεσμα το υλικό να θεωρείται υπερβολικά **χονδρόκοκκο** και άρα και εύθραυστο. Για την άρση του παραπάνω ελαττώματος,

απαιτείται θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από την A3 για μικρό χρονικό διάστημα, και στη συνέχεια ψύξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

4.2.3 Ανόπτηση σφαιροποίησης

Πραγματοποιείται συνήθως σε ευτηκτοειδείς και υπερευτηκτοειδείς χάλυβες. Περιλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα, κατά περίπου 50°C κάτω από την A1 (650-700°C), για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως 25 ώρες. Κύριος στόχος της ανόπτησης αυτής είναι η σφαιροποίηση του σεμεντίτη. Ο σεμεντίτης σε ένα υπερευτηκτοειδή χάλυβα βρίσκεται τόσο με τη μορφή φυλλιδίων μέσα στον περλίτη (ευτηκτοειδής σεμεντίτης), όσο και γύρω από τα όρια των κόκκων του περλίτη (προευτηκτοειδής σεμεντίτης). Η δομή του σφαιροποιημένου χάλυβα αποτελείται από σφαιρικό σεμεντίτη μέσα σε μήτρα φερρίτη. Η σφαιροποίηση του σεμεντίτη επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία, με ανόπτηση σε αυξομειούμενη θερμοκρασία μεταξύ A1-50 και A1+50 (συνήθως μεταξύ 650-750°C), η οποία καλείται **ταλαντωτική ανόπτηση**. Η ανόπτηση σφαιροποίησης έχει ως στόχο τη βελτίωση της κατεργασιμότητας του υλικού στην κοπή (π.χ. τórνευση, λείανση, φρεζάρισμα κ.λπ.).

4.2.4 Εξομάλυνση

Η εξομάλυνση είναι παρόμοια με την πλήρη ανόπτηση και περιλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα, σε θερμοκρασία περίπου 50°C πάνω από την A3, για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα, ακολουθούμενη από γρήγορη σχετικά ψύξη στον αέρα, βλ. σχήμα (η ταχύτητα ψύξης είναι πολύ πιο γρήγορη από ότι η αντίστοιχη ταχύτητα της πλήρους ανόπτησης). Ο κυριότερος στόχος της εξομάλυνσης είναι η μείωση του μεγέθους των κόκκων και των φυλλιδίων φερρίτη/σεμεντίτη μέσα στον περλίτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της μηχανικής αντοχής και δυσθραυστότητας του χάλυβα. Άλλοι στόχοι που επιτυγχάνονται με την εξομάλυνση είναι οι ακόλουθοι :

- η εξάλειψη του διαφορισμού (διαφορισμός = συγκέντρωση των προσμείξεων στα όρια των κόκκων κατά τη χύτευση) σε χυτά τεμάχια.
- η εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων
- η βελτίωση της κατεργασιμότητας

4.2.5 Ανόπτηση χυτοχάλυβα

Κατά τη χύτευση σε τύπο από άμμο, λόγω της αργής απόψυξης που ακολουθεί, παρατηρείται ότι η δομή του χάλυβα (συνήθως με αρχική περιεκτικότητα 0,35% C), μετά από τη στερεοποίηση, αποτελείται από **χονδρούς κόκκους περλίτη και βελονοειδή φερρίτη** (τόσο στα όρια των κόκκων του περλίτη, όσο και κατά μήκος συγκεκριμένων κρυσταλλογραφικών επιπέδων) δομή γνωστή ως **Widmanstatten**. Αντίστοιχη δομή έχει παρατηρηθεί και στους μετεωρίτες και από εκεί έχει πάρει και το όνομά της. Η δομή αυτή είναι προβληματική, λόγω της ψαθυρότητας που εμφανίζει, η οποία οφείλεται στους προσανατολισμένους βελονοειδείς φερριτικούς κρυστάλλους. Η άρση της παραπάνω μικροδομής γίνεται με κατάλληλη ανόπτηση. Η ανόπτηση αυτή περιλαμβάνει τη θέρμανση του τεμαχίου σε θερμοκρασία 40-50°C πιο πάνω από την A3 και παραμονή για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, ακολουθούμενη από ψύξη μέσα στο φούρνο. Με

την ανόπτηση πάνω από την άνω κρίσιμη θερμοκρασία επιτυγχάνεται διαλυτοποίηση του φερρίτη στον ωστενίτη και η ανάπτυξη λεπτών κυττάρων ωστενίτη, που μετά την ψύξη μετατρέπεται σε ανεξάρτητους κόκκους περλίτη και κόκκους φερρίτη.

4.3. Θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης

4.3.1 Βαφή

Απλή βαφή ή βαφή είναι η θερμική κατεργασία σκλήρυνσης, που περιλαμβάνει ένα στάδιο θέρμανσης και παραμονής του χάλυβα (**ωστενιτοποίηση**) σε θερμοκρασία ίδια με αυτή της πλήρους ανοπτήσεως (A3 +50 για υποευτηκτοειδείς και A1+50 για υπερευτηκτοειδείς χάλυβες) και ένα ακόλουθο στάδιο **απότομης ψύξεως**, με εμβάπτιση του χάλυβα σε κάποιο μέσο ψύξεως (αλατόνερο, νερό, λάδι, αέρας). Στόχος της βαφής είναι η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα (σκληρότητα, αντοχή), που απαιτούνται για τη λειτουργία του (π.χ. εργαλεία κοπής, καλούπια διαμόρφωσης, κ.λπ.). Έτσι, ένας χάλυβας με αρχική σκληρότητα 150-250 HV μπορεί να αποκτήσει σκληρότητα πάνω από 750-800 HV, έπειτα από βαφή. Η θερμοκρασία ωστενιτοποίησης κυμαίνεται μεταξύ **830** και **900°C** για τους υποευτηκτοειδείς χάλυβες και σε αυτές τις θερμοκρασίες το υλικό παίρνει ένα «ανοιχτό πορτοκαλί» χρώμα λόγω πύρωσης. Οι υπερευτηκτοειδείς χάλυβες υφίστανται θέρμανση στους **750-780°C**, ενώ σε χάλυβες, που περιέχουν μεγάλα ποσοστά άλλων στοιχείων κραματοποίησης (π.χ. Cr, Mo, Ni, κ.λπ), η θέρμανσή ενδέχεται να υπερβεί τους **1000-1050°C**. Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής του υλικού στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως και μερικές ώρες, πράγμα που εξαρτάται από τη χημική σύσταση του χάλυβα, αλλά και από το μέγεθος του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Η ταχύτητα απόψυξης είναι καθοριστική τόσο για βαθμό σκλήρυνσης, όσο και για τις αστοχίες (ρωγματώσεις), που μπορούν να εμφανισθούν λόγω ανάπτυξης εσωτερικών τάσεων. Όσο πιο απότομη είναι η ταχύτητα απόψυξης, τόσο αυξάνεται και η σκληρότητα του υλικού, με άμεσο όμως επακόλουθο τη δραματική μείωση της δυσθραυστότητας και με κίνδυνο την εμφάνιση ρωγμών. Η ταχύτητα απόψυξης εξαρτάται από τη δραστηριότητα του μέσου απόψυξης και αυξάνεται σύμφωνα με την ακόλουθη σειρά:

αέρας < λάδι < νερό < αλατόνερο

Η παραπάνω σειρά δραστηριότητας του μέσου απόψυξης είναι σύμφωνη με την αύξηση του ρυθμού απαγωγής της θερμότητας. Έτσι, π.χ. η εμβάπτιση του διάπυρου μετάλλου στο νερό οδηγεί σε πιο βίαιη απαγωγή θερμότητας (και άρα σε πιο έντονη ψύξη) από ότι η εμβάπτισή του στο λάδι. Η ανάδευση του μέσου απόψυξης αυξάνει επιπλέον την ταχύτητα απόψυξης. Σε ορισμένες περιπτώσεις ισχυρά κραματομένων χαλύβων (π.χ. χαλύβων με μεγάλα ποσοστά Cr, Mo, W κ.λπ., όπως είναι οι εργαλειοχάλυβες ή οι ταχυχάλυβες) για να συντελεσθεί σκλήρυνση (βαφή) πρέπει το υλικό να αποψυχθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του μηδενός με τη βοήθεια μέσου απόψυξης υγρού αζώτου (**κρυογενική βαφή**). Σύγχρονα ψυκτικά μέσα, όπως διαλύματα συνθετικών πολυμερών, τείνουν να αντικαταστήσουν το λάδι και προσδίδουν ελεγχόμενη ταχύτητα απόψυξης και προστασία από την οξείδωση.

4.3.2 Μετασχηματισμοί φάσεων κατά τη βαφή

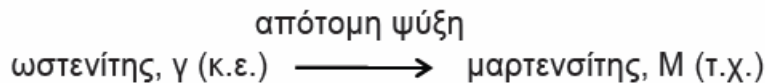
(α) Ωστενιτοποίηση

(1) *Υποευτηκτοειδείς ή ευτηκτοειδείς χάλυβες.* Στο στάδιο αυτό παρατηρείται η αλλαγή της αρχικής δομής (φερρίτης-περλίτης ή περλίτης αντίστοιχα) σε ωστενίτη, λόγω θέρμανσης σε θερμοκρασία $T > A_3$.

(2) *Υπερευτηκτοειδείς χάλυβες.* Παρατηρείται μόνο ο ευτηκτοειδής μετασχηματισμός του περλίτη προς ωστενίτη, ενώ ο σεμεντίτης στα όρια των κόκκων παραμένει, λόγω θέρμανσης, σε θερμοκρασία $A_1 < T < A_3$.

(β) Απόψυξη

Σε αυτό το στάδιο η μετατροπή που επιτυγχάνεται είναι αυτή του ωστενίτη. Σε περίπτωση γρήγορης απόψυξης (βαφής) ο ωστενίτης μετατρέπεται σε μία σκληρή και εύθραυστη φάση που είναι γνωστή ως **μαρτενσίτης**, η οποία κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα. Ο εν λόγω μετασχηματισμός ονομάζεται **μαρτενσιτικός** και περιγράφεται ακολούθως :



Ο μαρτενσίτης αναπτύσσεται σχεδόν ακαριαία (10^{-6} - 10^{-7} s) μέσα στους κόκκους του ωστενίτη με τη μορφή **πλακών** ή **βελονών**. Η σκληρότητα του μαρτενσίτη είναι πολύ μεγάλη (**500-1000 HV**) λόγω αφενός της ανάπτυξης εντόνων εσωτερικών τάσεων και αταξιών κατά την απότομη ψύξη και αφετέρου του κορεσμού της κρυσταλλικής δομής του σε άνθρακα. Γι' αυτό πρακτικά δεν επιτυγχάνεται σκλήρυνση μέσω βαφής σε χάλυβες με ποσοστό σε άνθρακα μικρότερο από 0,2%. Ο σχηματισμός του μαρτενσίτη ξεκινά με την ψύξη του υλικού κάτω από μία χαρακτηριστική θερμοκρασία που ονομάζεται **θερμοκρασία έναρξης Ms**. Για να μετατραπεί όμως κατά 100% ο ωστενίτης σε μαρτενσίτη, πρέπει η ψύξη να συνεχισθεί μέχρι τη **θερμοκρασία τέλους Mf** ($M_s < M_f$). Τα σημεία Ms, Mf εξαρτώνται αποκλειστικά από τη χημική σύσταση του χάλυβα: χάλυβες με μεγάλο ποσοστό σε άνθρακα (>0.7%) ή/και ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες μπορεί να παρουσιάσουν $M_f < 0$. Εάν η ψύξη σταματήσει σε θερμοκρασία ενδιάμεσα των σημείων Ms, Mf, τότε η δομή του υλικού θα αποτελείται από **μαρτενσίτη και υπολειπόμενο ωστενίτη**. Η μέτρια ταχύτητα απόψυξης οδηγεί σε δομή, η οποία αποτελείται από φερρίτη και σεμεντίτη και μοιάζει μορφολογικά και με τον περλίτη και με τον μαρτενσίτη. Αυτή η ενδιάμεση δομή ονομάζεται **μπαινίτης**. Ο μπαινίτης είναι λιγότερο σκληρός από το μαρτενσίτη (η σκληρότητα του μπαινίτη κυμαίνεται μεταξύ 350-550 HV) και παρουσιάζει μεγαλύτερη πλαστικότητα. Ο μπαινίτης, όπως και ο μαρτενσίτης, είναι δομές **εκτός ισορροπίας** και δεν επισημαίνονται από τα διαγράμματα φάσεων. Αργές αποψύξεις οδηγούν σε μετατροπή του ωστενίτη σε περλίτη, πράγμα το οποίο προβλέπεται από το διάγραμμα φάσεων Fe-C (ευτηκτοειδής μετασχηματισμός).

4.3.3 Αστοχίες κατά τη βαφή

Αυτές είναι κυρίως ρωγμές και στρεβλώσεις οι οποίες οφείλονται στην ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων κατά τη βαφή. Οι εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται μπορεί να οφείλονται στους παρακάτω λόγους :

(i) Στην απότομη ψύξη (θερμικές τάσεις)

(ii) Στην αύξηση όγκου (εξόγκωση) που συνοδεύει το μαρτενσιτικό μετασχηματισμό

(iii) Στην ανομοιογενή θέρμανση - ψύξη που παρατηρείται σε τεμάχια μεγάλων ιδίως διαστάσεων.

(iv) Σε ελλιπή σχεδιασμό του προς βαφήν αντικειμένου (π.χ. οι απότομες γωνίες μπορούν να οδηγήσουν σε συγκέντρωση τάσεων).

(v) Σε σφάλματα θερμικών κατεργασιών. Μεγαλύτερη θερμοκρασία ή/και χρόνος παραμονής κατά την ωστενιτοποίηση μπορούν να οδηγήσουν σε ψαθυροποίηση. Η κακή επιλογή του μέσου απόψυξης (π.χ. νερό αντί για αέρα ή για λάδι) μπορεί, επίσης, να οδηγήσει σε ρωγματώσεις.

Όλες οι παραπάνω αστοχίες, οι οποίες εκδηλώνονται με ρωγματώσεις, δεν επιδέχονται θεραπεία

4.4. Επιφανειακές θερμικές κατεργασίες χαλύβων

Οι επιφανειακές θερμικές κατεργασίες έχουν ως στόχο τη βελτίωση (σκλήρυνση) της επιφάνειας των χαλύβων, διατηρώντας την ολκιμότητα του εσωτερικού. Βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στις κατεργασίες εργαλείων και καλουπιών διαμόρφωσης, σε εξαρτήματα εδράνων και ολισθητήρων, σε οδοντωτούς τροχούς και σε εξαρτήματα αυτοκινήτων (π.χ. εκκεντροφόρος άξονας), όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή σε φθορά και τριβή, ενώ ταυτόχρονα απαιτείται και υψηλή δυσθραυστότητα. Οι πιο καθιερωμένες βιομηχανικές επιφανειακές κατεργασίες είναι οι ακόλουθες :

4.4.1 Ενανθράκωση

Καλείται ο εμπλουτισμός σε άνθρακα της επιφάνειας μαλακού χάλυβα (0.10-0.25%C) με θέρμανσή του πάνω από τη θερμοκρασία πλήρους ωστενιτοποίησης (A3), σε περιβάλλον κάποιου ενανθρακωτικού μέσου, είτε αερίου (π.χ. CH₄, CO, CO₂) είτε υγρού (π.χ. τηγμένα άλατα NaCN, Na₂CO₃) είτε στερεού (π.χ. ξυλάνθρακας, BaCO₃, κ.λπ.). Το ενανθρακωτικό μέσο, διασπώμενο, απελευθερώνει άνθρακα, ο οποίος διαχέεται στην επιφάνεια του χάλυβα και διεισδύει έως κάποιας λεπτής στιβάδας. Μετά από τη θέρμανση ακολουθεί απότομη ψύξη (βαφή), η οποία οδηγεί σε σκλήρυνση μιας λεπτής επιφανειακής στιβάδας. Η ενανθράκωση βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην επιφανειακή σκλήρυνση γραναζιών. Το βάθος της ενανθρακωμένης στιβάδας είναι της τάξης του 1 mm.

4.4.2 Εναζώτωση

Καλείται ο εμπλουτισμός της επιφάνειας του χάλυβα με άζωτο, που επιτυγχάνεται με θέρμανση περί τους 500°C, είτε σε αέριο περιβάλλον αμμωνίας (NH₃) είτε σε υγρό περιβάλλον (τηγμένα άλατα KCl, KCN), και έχει ως στόχο την επιφανειακή σκλήρυνση του υλικού. Ο μηχανισμός σκλήρυνσης οφείλεται στη δημιουργία επιφανειακού στρώματος νιτριδίων του σιδήρου (ενώσεων αζώτου με σίδηρο) κυρίως τύπου Fe₂-3N, Fe₄N και στερεού διαλύματος Fe-N σε μεγαλύτερο βάθος λόγω της διάχυσης του αζώτου. Οι εναζωτωμένοι χάλυβες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αντίσταση σε φθορά-τριβή. Εργαλεία και μήτρες διαμόρφωσης υφίστανται εναζώτωση.

Συγκριτικά με την ενανθράκωση, η εναζώτωση γίνεται σε πολύ μικρότερο βάθος (50-150 μm) και η αποκτώμενη σκληρότητα είναι πολύ μεγαλύτερη. Επιπλέον, αποφεύγονται στρεβλώσεις και ρωγματώσεις λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας εναζώτωσης.

4.4.3 Φλογοβαφή

Κατά τη φλογοβαφή ο χάλυβας θερμαίνεται επιφανειακά με τη βοήθεια φλόγας, που δημιουργείται από καύση μείγματος καυσίμου - οξυγόνου (π.χ. ασετυλίνη-οξυγόνο). Η θέρμανση πραγματοποιείται επιφανειακά και ακολουθείται από ψύξη, κατά την οποία συντελείται επιφανειακή βαφή. Φλογοβαφή συνιστάται σε αντικείμενα πολύπλοκης γεωμετρίας, σε χυτοσιδηρά εξαρτήματα και σε ορισμένες περιπτώσεις σε οδοντωτούς τροχούς.

4.4.4 Επαγωγική σκλήρυνση

Κατά την επαγωγική σκλήρυνση ή επιφανειακή σκλήρυνση με υψίσυχνα ρεύματα, το υλικό τοποθετείται κατάλληλα μέσα σε ένα πηνίο εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής προκαλεί υψίσυχνα επαγωγικά ρεύματα, τα οποία διεισδύουν σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του υλικού, θερμαίνοντάς το ταυτόχρονα τοπικά. Η θέρμανση αυτή πάνω από την A₃ προκαλεί ωστενιτοποίηση της επιφανειακής στιβάδας του υλικού και κατόπιν ακολουθεί απότομη ψύξη (βαφή) για τη σκλήρυνση της επιφάνειας. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στη σκλήρυνση εξαρτημάτων απλής γεωμετρίας, ολισθητήρων εργαλειομηχανών, κ.λπ

4.4.5 Επιφανειακή βαφή με δέσμη LASER

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, το κατεργαζόμενο υλικό ακτινοβολείται με δέσμη laser υψηλής πυκνότητας ισχύος (περίπου 10⁶ W/cm²) και στη συνέχεια ψύχεται στον αέρα (αυτοβαφή). Πριν την κατεργασία απαιτείται μια προεργασία βελτίωσης της απορροφητικής ικανότητας της επιφάνειας (π.χ. αμμοβολή, επικάλυψη με γραφίτη). Πρόκειται για μη συμβατική μέθοδο επιφανειακής σκλήρυνσης χαλύβων, η οποία

παρουσιάζει όμως μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον εξαιτίας των παρακάτω πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις συμβατικές επιφανειακές κατεργασίες :

- μεγάλη συγκέντρωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας
- επίτευξη μεγάλης ταχύτητας απόψυξης στον αέρα (αυτοβαφή)
- ταχύτητα και αυτοματοποίηση της κατεργασίας
- δυνατότητα συνεχούς επεξεργασίας τεμαχίων
- δυνατότητα κατεργασίας επιφανειών πολύπλοκης γεωμετρίας

4.5 Φούρνοι θερμικών κατεργασιών

Οι διάφορες κατηγορίες φούρνων θερμικών κατεργασιών προκύπτουν σύμφωνα με τα κριτήρια διάκρισης που χρησιμοποιούνται και που είναι τα παρακάτω :

- χρήση
- τρόπος λειτουργίας
- τρόπος παρεχόμενης ενέργειας
- ατμόσφαιρα

4.5.1 Διάκριση σύμφωνα με τη χρήση

Σε αυτή την περίπτωση, ανάλογα με την εκάστοτε θερμική κατεργασία για την οποία προορίζεται ο κάθε φούρνος, έχουμε τα παρακάτω βασικά είδη :

- (i) φούρνοι ανόπτησης
- (ii) φούρνοι βαφής
- (iii) φούρνοι επαναφοράς
- (iii) φούρνοι επιφανειακών κατεργασιών (π.χ. ενανθράκωσης, εναζώτωσης)

4.5.2 Διάκριση σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας

Σε αυτή την περίπτωση, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του φούρνου, υπάρχουν οι παρακάτω βασικές κατηγορίες :

(i) Φούρνοι συνεχούς έργου. Σε αυτή την κατηγορία πραγματοποιείται συνεχής ροή τεμαχίων μέσα στο φούρνο (π.χ. μέσω μεταφορικής ταινίας), πράγμα το οποίο είναι σύνηθες στην παραγωγή ομοίων εξαρτημάτων σε βιομηχανική κλίμακα (π.χ. ενανθράκωση οδοντωτών τροχών).

(ii) Φούρνοι διαλείποντος έργου. Σε αντίθεση με την παραπάνω κατηγορία, εδώ η παραγωγή γίνεται με διακοπτόμενο τρόπο και κάθε φορά εισέρχεται στο φούρνο διαφορετικός αριθμός αντικειμένων προς κατεργασία, τα οποία είναι στις περισσότερες φορές ανάμοια μεταξύ τους.

4.5.3 Τρόπος παρεχόμενης ενέργειας

(i) **Φούρνοι καυσίμου.** Η ενέργεια προσδίδεται υπό τη μορφή θερμότητας, η οποία εκλύεται από την καύση καυσίμου (αέριο, υγρό, στερεό). Η μετάδοση θερμότητας γίνεται μέσω της επαφής των θερμών καυσαερίων με τα κατεργαζόμενα τεμάχια.

(ii) **Ηλεκτρικοί φούρνοι.** Λειτουργούν με ηλεκτρικές αντιστάσεις από κατάλληλο πυρίμαχο υλικό, οι οποίες θερμαινόμενες ακτινοβολούν θερμότητα προς τα κατεργαζόμενα τεμάχια. Είναι η πιο συνήθης κατηγορία βιομηχανικών φούρνων.

Κεφάλαιο 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΞΟΝΑ

Υπολογισμοί στέψης και κάμψης

Δεδομένα: ισχύς $N = 7.3 \text{ ps} = 5475 \text{ w}$

Στροφές ατράκτου $n = 1440 \text{ στρ/min}$

Διάμετρος επιφάνειας που καταπονείται $d_0 = 45\text{mm}$

Στρεπτική ροπή

$$M_t = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{5475 \text{ w}}{2 \cdot 3.14 \cdot 24 \frac{\text{στρ}}{\text{min}}} = 36 \text{ N}\cdot\text{m} = 3.6 \text{ kp}\cdot\text{m}$$

Περιφερειακή δύναμη

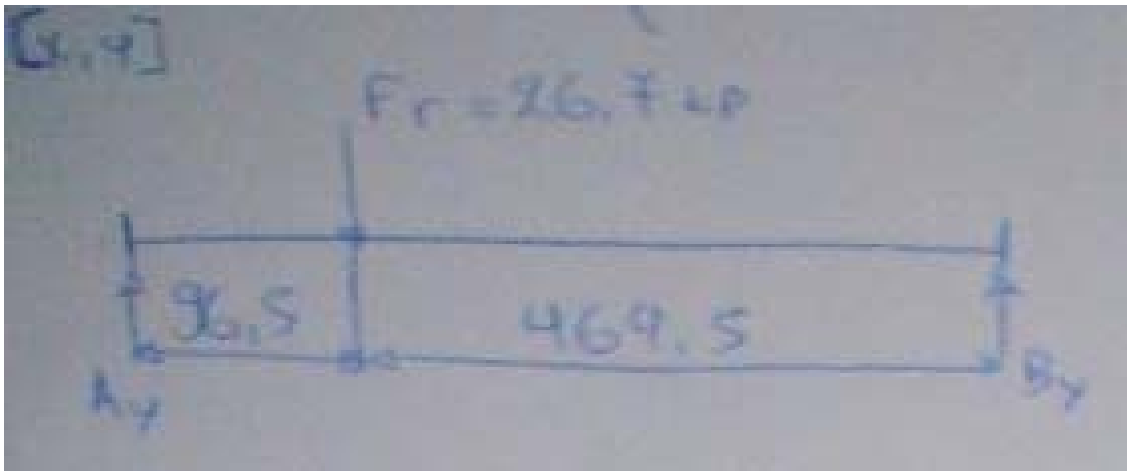
$$F_t = P_u = \frac{2 \cdot M_t}{d_0} = \frac{2 \cdot 3.6 \text{ kp}\cdot\text{m}}{0.045\text{m}} = 160 \text{ kp}$$

Ακτινική δύναμη

$$F_r = \frac{F_t}{6} = \frac{160}{6} = 27.6 \text{ kp}$$

Καμπτική ροπή

Επίπεδο [χ,ψ]



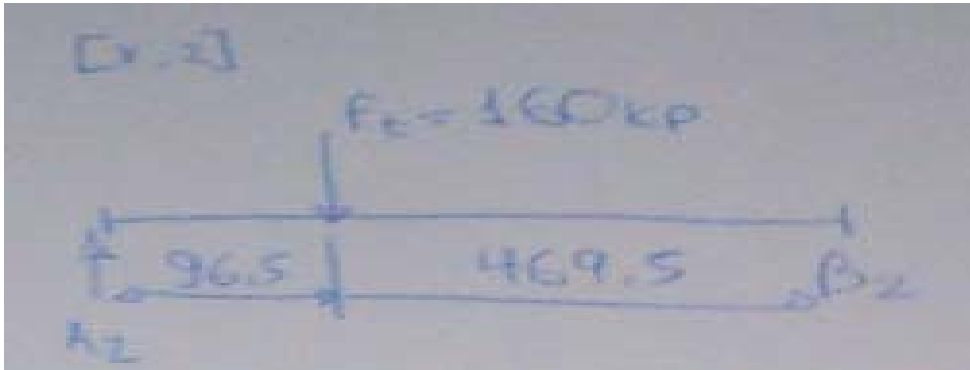
Επίπεδο [χ,ψ]

$$A_{\psi} = \frac{F_r \cdot 469.5}{566} = \frac{26.7 \cdot 469.5}{566} = 22.14 \text{ kp}$$

$$B_{\psi} = \frac{F_r \cdot 96.5}{566} = \frac{26.7 \cdot 96.5}{566} = 4.5 \text{ kp}$$

$$M1_{\chi,\psi} = A_{\psi} \cdot 96.5 = 22.14 \cdot 96.5 = 2136.5 \text{ kp} \cdot \text{mm} = 2.14 \text{ kpm}$$

Επίπεδο [χ,z]



Επίπεδο [χ,z]

$$A_z = \frac{F_t \cdot 469.5}{566} = \frac{160 \cdot 469.5}{566} = 132.72 \text{ kp}$$

$$B_z = \frac{F_t \cdot 96.5}{566} = \frac{160 \cdot 96.5}{566} = 27.28 \text{ kp}$$

$$M1_{\chi,z} = A_z \cdot 96.5 = 132.72 \cdot 96.5 = 12807.5 \text{ kp} \cdot \text{mm} = 12.8 \text{ kpm}$$

$$M1 = \sqrt{M1_{\chi,\psi}^2 + M1_{\chi,z}^2} = \sqrt{2.14^2 + 12.8^2} = 13 \text{ kpm}$$

Κεφάλαιο 6: ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΞΟΝΑ

6.1. Προγραμματισμός cnc γενικά

Ο συμβατικός προγραμματισμός CNC γίνεται γράφοντας (με το χέρι) μια σειρά εντολών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κινήσεις ή γενικότερα λειτουργίες της εργαλειομηχανής. Οι εντολές αυτές είναι κατά ένα μέρος μόνο τυποποιημένες κατά ISO και θα καλυφθούν στη συνέχεια σε κάποια έκταση. Υπάρχουν όμως και πολλές ακόμη εντολές που δεν έχουν την ίδια μορφή για όλους τους κατασκευαστές συστημάτων ελέγχου εργαλειομηχανών. Αυτές είναι προφανές ότι ο προγραμματιστής πρέπει να τις αναζητήσει στο εγχειρίδιο προγραμματισμού που συνοδεύει κάθε εργαλειομηχανή CNC. Ένα πρόγραμμα CNC που έχει εκπονηθεί με αυτό το συμβατικό τρόπο αποτελείται από μία σειρά “μπλόκ” δηλαδή γραμμών. Κάθε μπλόκ περιλαμβάνει μια σειρά από εντολές. Κάθε εντολή υλοποιείται ως συνδυασμός ενός χαρακτήρα και ενός αριθμού που ορίζουν έτσι μια διεύθυνση ή λέξη .

Τέτοιες εντολές είναι :

- Εντολές καθορισμού θέσης αξόνων, πχ X50, Y20, Z2000, A40, B30, C300, W100.
 - Εντολές ρύθμισης συνθηκών κοπής : πρόωσης πχ F200 και στροφών ατράκτου S2000.
 - Εντολές επιλογής εργαλείου : πχ T08
 - Εντολές προπαρασκευαστικής λειτουργίας (εντολές G) πχ G01 (προετοιμασία για γραμμική κίνηση).
 - Εντολές βοηθητικής λειτουργίας (εντολές M) πχ M03 (εκκίνηση ατράκτου ωρολογιακά).
 - Διευθύνσεις πρόσβασης στις διαστάσεις εργαλείου πχ H01 (τιμή μήκους στη διεύθυνση 08), D (τιμή διαμέτρου στη διεύθυνση 08).
 - Εντολές αρίθμησης των μπλόκ, πχ N100 (προηγούνται όλων των άλλων σε ένα μπλοκ).
- Οι εντολές προπαρασκευαστικής λειτουργίας είναι οι πιο κοινές σε ένα συμβατικό πρόγραμμα CNC και για αυτό το λόγο ένα τέτοιο πρόγραμμα ονομάζεται συχνά και «κώδικας G». Ο αριθμός που έπεται του αρχικού χαρακτήρα σε μια διεύθυνση μπορεί να είναι ακέραιος, πχ για διεύθυνση εργαλείου, για διευθύνσεις G και M κλπ, ή μπορεί να είναι πραγματικός. Το ακριβές φορμάτ δηλαδή αριθμός σημαντικών ψηφίων, χρήση ή όχι υποδιαστολής, αριθμός δεκαδικών ψηφίων, χρήση ή μη μηδενικών για συμπλήρωση του ακέραιου ή του δεκαδικού μέρους κλπ διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

6.1.1 Συστήματα συντεταγμένων

Πρόκειται για ένα σύστημα που δεν μπορεί να αλλάξει μέσω προγράμματος και σε αυτό μετατρέπεται τελικά κάθε συντεταγμένη που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα CNC. Συνήθως η αρχή Συμβατικός προγραμματισμός CNC των συντεταγμένων αυτού του συστήματος βρίσκεται σε σημείο προσπελάσιμο. Μάλιστα στις παλαιότερες εργαλειομηχανές με βηματικό σύστημα αναφοράς της μονάδας ελέγχου με την θέση σε λειτουργία της μηχανής οι άξονες προωθούντο στο σημείο αυτό για να «μηδενισθούν». Εάν το σημείο αυτό δεν ήταν φυσικά ή πρακτικά προσπελάσιμο, τότε στη θέση του χρησιμοποιείτο άλλο σημείο, το η αρχή του συστήματος συντεταγμένων αναφοράς της μηχανής όπου και προωθούντο οι άξονες για να «μηδενισθούν» λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση του σημείου αναφοράς από το πραγματικό σημείο μηδέν της μηχανής. Τέτοια περίπτωση υπάρχει όταν η μηχανή έχει άξονα X ή Y μήκους πολλών μέτρων, όταν υπάρχουν μόνιμα τοποθετημένες ογκώδεις ιδιοσυσκευές συγκράτησης κλπ

6.1.2 Σύστημα συντεταγμένων προγράμματος

Πρόκειται για σύστημα συντεταγμένων στο οποίο αναφέρονται άμεσα όλες οι συντεταγμένες του προγράμματος CNC. Επιλέγεται ελεύθερα από τον προγραμματιστή με γνώμονα την διευκόλυνση των υπολογισμών. επίσης μπορεί να μετασχηματισθεί επίσης έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρόγραμμα για διαφορετικό προσανατολισμό του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή.

6.2 Φάσεις Κατεργασίας Άξονα

ΦΑΣΗ 1:

Σε τόρνο τορνήρουμε και κάνουμε πόντες στα δύο άκρα του ακατέργαστου υλικού το οποίο έχει διαστάσεις $\Phi 65\text{mm}$ και $L = 570$.

ΦΑΣΗ 2:

Αφού συγκρατήσουμε το υλικό στον τόρνο τορνήρουμε και αφήνουμε υλικό 1 mm σε όλες τις διαμέτρους. Στην μία πλευρά κάνουμε διάτρυση και τελειώνουμε το εσωτερικό σπείρωμα M16.

ΦΑΣΗ 3:

Συγκρατούμε το κομμάτι μας στον τόρνο πόντα-πόντα και τορνήρουμε το εξάρτημά μας αφήνοντας τώρα 0,3 mm στις κρίσιμες (όπου θα χρειαστεί τεκτιφιέ) διαμέτρους και τελειώνουμε το εξωτερικό σπείρωμα της άλλης πλευράς M20 X 1,5 mm.

ΦΑΣΗ 4:

Στην φρέζα κατεργαζόμαστε και δημιουργούμε τον σφηνόδρομο.

ΦΑΣΗ 5

Στην φρέζα πάλι αφού συγκρατήσουμε το εξάρτημά μας σε διαιρέτη δημιουργούμε τα δύο ανοίγματα στην μεγαλύτερη διάμετρο του εξαρτήματος.

ΦΑΣΗ 6

Κάνουμε στο εξάρτημά μας επιφανειακή βαφή και επιτυγχάνουμε σκληρότητα η οποία είναι RC 50-52 ή HB 500-510.

ΦΑΣΗ 7

Σε λειαντική μηχανή κάνουμε λείανση (ρεκτιφιέ) στις κρίσιμες διαμέτρους και επιτυγχάνουμε την απαιτούμενη ανοχή.

Βιβλιογραφία

1) Μηχανική και τεχνολογία μηχανουργικών μορφοποιήσεων με αφαίρεση υλικού

- Συγγραφέας: Κωνσταντίνος - Διονύσιος Ε. Μπουζάκης
- Εκδότης: Ζήτη

2) Μηχανουργική τεχνολογία

- Συγγραφέας: **Αντωνιάδης, Αριστομένης Θ.**
- Εκδότης: **ΤΖΙΟΛΑ**

3) Σημειώσεις μηχανολογικό εργαστήριο 2 ΘΕΩΡΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Αγριανιδης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

- 1.1. Εισαγωγή στην έννοια της κατεργασίας
- 1.2. Η ταξινόμηση των κατεργασιών
- 1.3. Οι κατεργασίες αποβολής υλικού (Κοπές)
- 1.4. Τα κοπτικά εργαλεία στην κατεργασία κοπής
- 1.5. Η κατεργασία της τόννευσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΡΕΖΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: AutoCAD

- 3.1. AutoCAD Εισαγωγή
- 3.2. Σχεδίαση με Συντεταγμένες
- 3.3. Βασικές εντολές σχεδίασης
- 3.4. Εντολές Οθόνης
- 3.5. Επιλογή Αντικειμένων
- 3.6. Εντολές επεξεργασίας
- 3.7. Layers
- 3.8. Αρχεία
- 3.9. Διαγραμμίσεις
- 3.10. Κείμενο

3.11. Διαστάσεις

3.12. Blocks

3.13. Διαχείριση και πληροφορίες αντικειμένων

3.14. Εκτύπωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλικό Κατασκευής Άξονα

4.1.α. Προσμίξεις του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του άξονα

4.1.β. Βαφή Γενικά

4.2. Ανόπτηση

4.2.1 Ανόπτηση κατεργασίας

4.2.2 Ανόπτηση

4.2.3 Ανόπτηση σφαιροποίησης

4.2.4 Εξομάλυνση

4.2.5 Ανόπτηση χυτοχάλυβα

4.3. Θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης

4.3.1 Βαφή

4.3.2 Μετασχηματισμοί φάσεων κατά τη βαφή

4.3.3 Αστοχίες κατά τη βαφή

4.4. Επιφανειακές θερμικές κατεργασίες χαλύβων

4.4.1 Ενανθράκωση

4.4.2 Εναζώτωση

4.4.3 Φλογοβαφή

4.4.4 Επαγωγική σκλήρυνση

4.4.5 Επιφανειακή βαφή με δέσμη LASER

4.5 Φούρνοι θερμικών κατεργασιών

4.5.1 Διάκριση σύμφωνα με τη χρήση

4.5.2 Διάκριση σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας

4.5.3 Τρόπος παρεχόμενης ενέργειας

Κεφάλαιο 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΞΟΝΑ

Κεφάλαιο 6: ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΞΟΝΑ

6.1. Προγραμματισμός CNC γενικά

6.1.1 Συστήματα συντεταγμένων

6.1.2 Σύστημα συντεταγμένων προγράμματος

6.2 Φάσεις Κατεργασίας Άξονα