

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ, ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (HIGH SPEED MACHINING -HSM)



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΝΤΙΣΑΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΛΩΝΙΤΗΣ ΚΩΣΤΑΣ
ΩΡΟΜΙΣΘΙΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΣΤΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΕΠΙΚΟΥΡΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ

ΠΑΤΡΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην προσέγγιση του High Speed Machining (Κατεργασίες Υψηλής Ταχύτητας), που ανήκει στην κατηγορία της αυτόματης κατεργασίας με CNC. Η τεχνολογία αυτή έχει περάσει πλέον σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία, και ιδιαίτερα η τεχνολογία του High Speed Machining βοηθάει στην πιο γρήγορη παραγωγή σε συνδυασμό με την μεγάλη ακρίβεια και ποιότητα κατασκευής και κατεργασίας που δίνουν τα CNC.

Στην αρχή παρουσιάζεται τι είναι η κατεργασία μετάλλων με CNC και πως κατέληξε σε αυτό το σημείο, καθώς επίσης και στην πιο πρόσφατη τεχνολογία του High Speed Machining. Επίσης παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων κατεργασιών. Εν συνεχεία, αποτυπώνεται η ανάπτυξη της λειτουργικότητάς του.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Κώστα Σαλωνίτη, ωρομίσθιο επιστημονικό συνεργάτη στη βαθμίδα του επίκουρου καθηγητή, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ντισάκας Ιωάννης
Αυλωνίτης Χρήστος
Σεπτέμβριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη μελέτη μη συμβατικών μεθόδων κατεργασίας αφαίρεσης υλικού με έμφαση στην κατεργασία υψηλής ταχύτητας. Ξεκινώντας θα δούμε μία ιστορική αναδρομή για την πορεία των εργαλειομηχανών στο πέρασμα των αιώνων από τις πρώτες εργαλειομηχανές μέχρι τα σύγχρονα μηχανήματα που χρησιμοποιούμε σήμερα. Στη συνέχεια κάνουμε ένα διαχωρισμό στα είδη των εργαλειομηχανών και βλέπουμε τις λειτουργίες και τις απαιτήσεις μιας τέτοιας μηχανής. Με ποιό τρόπο σχεδιάζονται, τι άξονες χρησιμοποιούν και τι κινητήρες χρειάζονται. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τον τρόπο κατεργασίας με σύγχρονα μηχανήματα και ποιά είναι τα βήματα που ακολουθούμε για να φτιάξουμε ένα πρόγραμμα κατεργασίας. Ποιά τα πλεονεκτήματα και ποιά τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας κατεργασίας καθώς και μια πρώτη επαφή με τις βασικές εντολές κίνησης ενός προγράμματος κοπής. Στη συνέχεια αναλύουμε τα κοπτικά εργαλεία. Βλέπουμε τη γεωμετρία τους και πως τα ξεχωρίζουμε βάση αυτής, τα υλικά κατασκευής τους, καθώς και τα είδη τους. Έπειτα περιγράφουμε τις συνθήκες που συναντάμε σε μία κατεργασία. Τα υγρά κοπής, τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, τα απόβλητα που παράγονται και με ποιόν τρόπο μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα από αυτά και βλέπουμε και κάποιες μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου. Στη συνέχεια παραθέτουμε κάποια λογικά συμπεράσματα από την όλη μελέτη πάνω στις κατεργασίες μετάλλου καθώς και κάποια πρακτικά συμπεράσματα από την εμπειρία που έχουμε στην αγορά εργασίας για τη χρήση των μηχανημάτων κατεργασίας μετάλλου υψηλών ταχυτήτων που αφορούν στο πόσο επικερδής είναι μία τέτοια επένδυση και σε ποιους τομείς υπερτερεί ένα τέτοιο μηχάνημα σε σχέση με τα παλιάς τεχνολογίας αναλογικά μηχανήματα κατεργασίας μετάλλου. Τέλος έχουμε δύο παραρτήματα στα οποία αναλύουμε με πιο τα αντικείμενα εργασίας μας και εξηγούμε με ποιον τρόπο κατασκευάζονται τα κοπτικά εργαλεία και τα καλούπια που χρησιμοποιούνται από μηχανουργεία και όχι μόνο στην αγορά εργασίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 1 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 2 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ | 3 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ | 5 |
| 1.1. ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΟΨΗ | 5 |
| 1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ..... | 6 |
| 1.3 ΕΙΔΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ | 13 |
| 1.3.1 Φρέζες CNC | 13 |
| 1.3.1.1 Πολυαξονική κατεργασία..... | 14 |
| 1.3.2 Κέντρα κατεργασίας..... | 14 |
| 1.4. ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ | 17 |
| 1.4.1. Σχεδιασμός..... | 17 |
| 1.4.2 Άξονες των εργαλειομηχανών..... | 20 |
| 1.4.3 Κινητήρες εργαλειομηχανών | 29 |
| 2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ | 32 |
| 2.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ | 32 |
| 2.2 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ CNC ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ | 33 |
| 2.3 ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ | 35 |
| 2.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ CAD/CAM/CAE..... | 35 |
| 2.4.1 CAD-Computer Aided Design | 35 |
| 2.4.2 CAM-Computer Aided Manufacturing | 36 |
| 2.4.3 CAE-Computer Aided Engineering | 36 |
| 2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ. 37 | |
| 2.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ..... | 39 |
| 2.6.1 Βασικές εντολές κίνησης..... | 40 |
| 3. ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ | 42 |
| 3.1 ΓΕΝΙΚΑ | 42 |
| 3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ | 43 |
| 3.2.1 Σημασία της γεωμετρίας των κοπτικών εργαλείων..... | 43 |
| 3.2.2 Βασικοί όροι και ορισμοί | 46 |
| 3.2.3 Επίδραση των γωνιών των εργαλείων | 47 |
| 3.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ | 50 |
| 3.3.1 Ιστορική αναδρομή υλικών..... | 51 |
| 3.3.2 HSS..... | 54 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.3 Καρβίδια | 57 |
| 3.3.4 Κεραμικά..... | 63 |
| 3.3.5 Κυβικό νιτρίδιο του Βορίου (CBN) | 66 |
| 3.3.6 PCD και SFD | 68 |
| 3.4 ΕΙΔΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ..... | 70 |
| 3.4.1 Κατηγορίες κοπτικών εργαλείων βάση κατεργασίας και μορφής | 71 |
| 3.4.2 Τρόποι κατασκευής κοπτικών εργαλείων | 75 |
| 4. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ | 78 |
| 4.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ | 78 |
| 4.2 ΥΓΡΑ ΚΟΠΗΣ..... | 81 |
| 4.2.1 Διαχείριση υγρών κοπής..... | 82 |
| 4.2.2 Χρήση εναλλακτικών υγρών κοπής..... | 86 |
| 4.2.3 Ξηρή κοπή..... | 87 |
| 4.3 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ | 89 |
| 4.4 ΑΠΟΒΛΗΤΑ & ΓΡΕΖΙΑ | 91 |
| 4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ | 94 |
| 5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 99 |
| 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 102 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 103 |
| Α.1. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ..... | 104 |
| Α.1.1. Φάσεις κατασκευής μανελών..... | 104 |
| Α.1.2. Φάσεις κατασκευής φρέζας μορφής “Τ” | 107 |
| Α.1.3. Φάσεις κατασκευής τρίκοπτης φρέζας. | 109 |
| Α.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΧΟΥ | 111 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β | 113 |
| Β.1. ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ - ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΡΕΣΣΑ ΙΝΙΕΚΤΙΟΝ | 113 |
| Β.1.1. Επιλογή Εξαρτήματος | 113 |
| Β.1.2. Επιλογή υλικού..... | 114 |
| Β.1.3. Επιλογή τρόπου σχεδίασης καλουπιού | 115 |
| Β.1.4. Κοστολόγηση εξαρτήματος καλουπιού | 115 |
| Β.1.5. Σχεδίαση του καλουπιού | 116 |
| Β.1.6. Παραγγελία Α υλών | 118 |
| Β.1.7. Πρόγραμμα κοπής..... | 118 |
| Β.1.8. Συναρμολόγηση και τελικός έλεγχος..... | 121 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

1.1. ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι εργαλειομηχανές στην ιστορία της τεχνολογίας και στην τρέχουσα τεχνολογική πρόοδό τους. Η ιστορία αναφέρεται στους δύο τελευταίους αιώνες και στις δραματικές αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια.

Στην εγκυκλοπαίδεια Britannica η περιγραφή για τις εργαλειομηχανές δίνεται ως εξής: οποιαδήποτε στάσιμη μηχανή ισχύος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή μορφής σε κομμάτια μεταλλικού ή άλλου υλικού. Η διαμόρφωση του κομματιού ολοκληρώνεται με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

- ∅ Με αποκοπή του παραπανίσιου υλικού και την αποβολή του σε μορφή αποβλήτου (γρεζιού)
- ∅ Με την κούρα του υλικού
- ∅ Με τη συμπίεση των μεταλλικών μερών στην επιθυμητή μορφή
- ∅ Με εφαρμογή ηλεκτρικής ενέργειας, υπερήχου ή διαβρωτικών χημικών ουσιών στο υλικό.

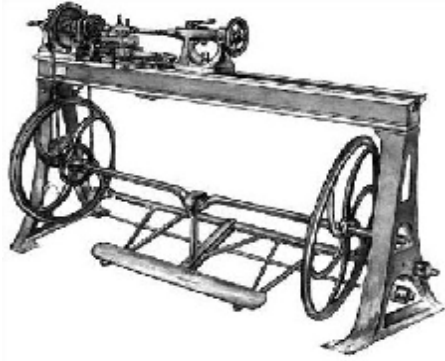
Αν και τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια οι νέες πρόοδοι μπορούν να καταστήσουν πιο κατάλληλο τον ακόλουθο καθορισμό: ένας σέρβο-μηχανισμός που καθοδηγεί και οδηγεί ένα κοπτικό εργαλείο κατά μήκος μιας σύνθετης τροχιάς, το οποίο δημιουργεί μια νέα μορφή στην πρώτη ύλη. Ένας άλλος παραδοσιακός και κατά κάποιο τρόπο φιλοσοφικός ορισμός λέει ότι: η εργαλειομηχανή είναι ικανή να κατασκευάσει άλλες μηχανές ίδιες με τον εαυτό της.

Οι διαδικασίες παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κύριες ομάδες όσον αφορά τη φυσική τους δράση στις πρώτες ύλες:

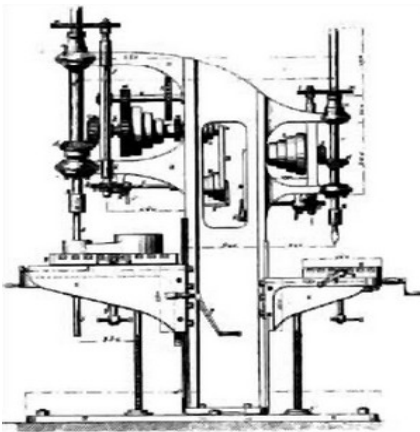
1. Οι διεργασίες αρχικής μορφοποίησης υλικού, όπως το χύσιμο μετάλλου σε καλούπι και η συμπύκνωση του μετάλλου χωρίς λιώσιμο.
2. Οι διεργασίες συγκόλλησης και συναρμολόγησης.
3. Οι διεργασίες διαμόρφωσης, όπου έχουμε θερμικές και ψυχρές διεργασίες, όπως το να δώσουμε ελικοειδή μορφή σε ένα τρυπάνι.
4. Αφαίρεση υλικού, όπως η διάτρηση, η κοπή, η κοπή με laser ή με δέσμη νερού, κ.τ.λ. Οι διαδικασίες αφαίρεσης υλικού γνωστές και ως μέθοδοι κατεργασίας, οι οποίες είναι και οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί μια εργαλειομηχανή, είτε είναι συμβατική, είτε CNC ή ακόμα και τεχνολογίας High Speed Machining. Αυτή δηλαδή είναι η διαδικασία παραγωγής που θα μελετήσουμε στη συνέχεια. Εδώ η χρήση κοπτικών εργαλείων με καθορισμένη ή με απροσδιόριστη κοπτική πλευρά οδηγεί σε δύο κύριες ομάδες. Η πρώτη είναι η κοπτική διαδικασία και η δεύτερη η λειαντική διαδικασία.
5. Διεργασίες μετατροπής κρυσταλλικής δομής, π.χ. θερμικές κατεργασίες.

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η κατεργασία των σκληρών υλικών είναι μια σταθερά στην ιστορία της ανθρωπότητας. Αν μελετήσουμε στο βάθος της ιστορίας, θα δούμε τα πρώτα βήματα στο μεσαίωνα, όπου θα δούμε ένα μηχανισμό για μια περιστροφική κίνηση, φτιαγμένο από ξύλινο άξονα και οδηγούμενο με τα πόδια για να έχει ο χρήστης ελεύθερα τα χέρια του για να εκτελεί άλλες διεργασίες. Τέτοια μηχανήματα φαίνονται στις εικόνες 1.1 και 1.2.



Εικόνα 1.1 Τόρνος χειροκίνητος



Εικόνα 1.2 Φρεζοδράπανο χειροκίνητο

Ακόμα και ο Leonardo Da Vinci σχεδίασε διάφορες εργαλειομηχανές, αλλά ελάχιστες κατάφεραν να κατασκευαστούν. Τότε άρχισαν επίσης να κατασκευάζονται εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούσαν την υδραυλική δύναμη για την κίνηση τους.

Στην πορεία των χρόνων και φτάνοντας στη βιομηχανική επανάσταση, έχουμε τη γέννηση των μηχανών ατμού. Αυτή η πηγή ισχύος ήταν ουσιαστική στην κίνηση των εργαλειομηχανών καθ' όλη τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα. Στα τέλη του 18^{ου} αιώνα εμφανίστηκε και η εργαλειομηχανή με μεταλλικό πλαίσιο και δομή και με επίπεδους γραμμικούς οδηγούς για τα εργαλεία, τα οποία ήταν ικανά να αλλαχτούν. Κάπου εκεί κοντά χρονικά (1803) ανακαλύφθηκε και το μικρόμετρο, το οποίο σίγουρα έδωσε έναυσμα για προσπάθειες κατασκευής εργαλειομηχανών με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Καθώς περνάμε στο 19^ο αιώνα η ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια στην παραγωγή επέφερε προόδους όπως την κοπτική μηχανή με ελικοειδείς κοπτήρες, την πλάνη, το δράπανο και τις λειαντικές μηχανές με λειαντικό δίσκο. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού εκείνη την περίοδο εφευρέθηκε η

φρέζα από τον E. Whitney το 1818 και τελειοποιήθηκε 12 χρόνια αργότερα. Μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα ο J. R. Brown εισήγαγε την πρώτη γενικής χρήσης φρέζα, με τραπέζι με κάθετη και εγκάρσια μετατόπιση. Παράλληλα στην Ευρώπη αναπτυσσόταν και ο τόνος. Οι νέες μηχανές οριζόντιας διάτρησης (boring) το 1860 καθόρισαν την κλασική δομή τους που βλέπουμε μέχρι σήμερα.

Όσο πλησιάζουμε στο παρόν, βλέπουμε τη μεγάλη ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας με έναυσμα την κατασκευή του πρώτου αυτοκινήτου από τον Ford τον 20^ο αιώνα (1908). Η μαζική παραγωγή μαζί με τις μικρές ανοχές των διαστάσεων και τις απαιτήσεις των μορφών, οδήγησε σε περαιτέρω βελτίωση των μέχρι τότε ανακαλυφθέντων μηχανών. Ο ηλεκτρισμός κέρδιζε έδαφος και ο ατμός άρχισε να εκλείπει. Επίσης η χρήση των μηχανών μεταφοράς έκανε την εμφάνιση της. Στα μέσα του αιώνα ο δυαδικός κώδικας προγραμματισμού υποστηρίχθηκε. Η πραγματική διάδοση του αριθμητικού ελέγχου (NC) έγινε τη δεκαετία του '70 και του '80, όταν ο μικροεπεξεργαστής έγινε ο εγκέφαλος του μηχανισμού ελέγχου και η τεχνολογία CNC αναπτύχθηκε πλήρως.

Η πρώτη προσπάθεια να παραχθεί μια μηχανική συσκευή με κάποια μορφή ελέγχου έγινε το 1801, ένας Γάλλος κλωστοϋφαντουργός και εφευρέτης, ο Joseph Jacquard, χρησιμοποίησε διάτρητες μεταλλικές κάρτες σε υφαντικές μηχανές και κατόρθωσε να αναπαράγει με ταχύτητα πολύπλοκα σχέδια σε υφάσματα. Περίπου 55 χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκε το μηχανικό πιάνο. Η λειτουργία του βασιζόταν στην διέλευση αέρα μέσα από ένα κατάλληλα τρυπημένο και κινούμενο ρολό χαρτιού, που ενεργοποιούσε την κίνηση των πλήκτρων. Το 1834 ολοκληρώθηκε από τον Charles Babbage ένας μηχανικός υπολογιστής που μπορούσε να κάνει αριθμητικές πράξεις με ακρίβεια έξι δεκαδικών ψηφίων.

Πάνω από εκατό χρόνια πέρασαν έως το 1940, χρονιά κατά την οποία ο Aiken στις Ηνωμένες Πολιτείες και ο Zuse στην Γερμανία έφτιαξαν την πρώτη ηλεκτρονική διάταξη με χρήση ρελέ. Τρία χρόνια αργότερα το 1943 κατασκευάστηκε από τους John Mauchly και Presper Eckert ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής. Πρόκειται για το θρυλικό ENIAC, ένα δημιούργημα μεγάλων διαστάσεων και βάρους τριάντα τόνων που περιείχε 18 χιλιόμετρα καλώδια, 500.000 συνδέσεις και απορροφούσε ισχύ 174 kwatt. Ο

προγραμματισμός του ήταν μια πολύπλοκη εργασία σχεδόν ιεροτελεστία, και απαιτούσε την συνδυασμένη ρύθμιση 6.000 διακοπών. Η εξωπραγματική για την εποχή εκείνη υπολογιστική ισχύς είναι σήμερα σχεδόν αστεία αφού σε μια κοινή αριθμομηχανή είναι πολλαπλάσιες φορές μεγαλύτερη.

Χρειάστηκε να περάσουν ακόμα 15 χρόνια και να μεσολαβήσει η ανακάλυψη των ημιαγωγών το 1948, για να αναπτυχθούν εμπορικοί επαναπρογραμματιζόμενοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές στο 1960. Από τότε η αλματώδης ανάπτυξη στην ηλεκτρονική οδήγησε στη σημερινή εικόνα των υπολογιστών και επέβαλε την σύγχρονη τεχνολογική επανάσταση.

Ο σύγχρονος αριθμητικός έλεγχος των εργαλειομηχανών ξεκίνησε όταν κατά την διάρκεια του πολέμου με τους Ιάπωνες στον Ειρηνικό ωκεανό, η Αμερικάνικη αεροπορία είχε εξαιρετικά μεγάλες απώλειες. Η ταχεία παραγωγή και επισκευή αεροσκαφών και ανταλλακτικών στάθηκε πραγματικός πονοκέφαλος για τους μηχανικούς της αεροπορικής βιομηχανίας. Έτσι πέρα από την μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών, η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνιτών οδηγούσε συχνά σε ελαττωματικά και επικίνδυνα τεμάχια. Ακόμα οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για ακόμα πιο σύνθετα τεμάχια δεν μπορούσαν να καλυφθούν από τα συμβατικά μηχανουργεία. Έως το 1949 η εξέλιξη ήταν αργή αφού η τεχνολογία ήταν σε πρώιμο στάδιο. Αυτήν ακριβώς τη χρονιά ανατέθηκε στον John Pearson και στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης(MIT) η αποστολή της ανάπτυξης αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών.

Ο μηχανικός αυτός και οι συνεργάτες του πρώτοι προσδιόρισαν τις αρχές λειτουργίας των μηχανών αυτών. Σκέφτηκαν λοιπόν ότι χρειάζεται ηλεκτρονικός υπολογιστής για να προσδιορίσει τις διαδρομές του κοπτικού εργαλείου. Αυτές οι κινήσεις έπρεπε να αποθηκεύονται στο μόνο μέσο εκείνης της εποχής, δηλαδή τις διάτρητες κάρτες. Επίσης η μηχανή θα έπρεπε να διαθέτει ένα μέσο ανάγνωσης ώστε να διαβάζει αυτόματα τις κάρτες αυτές. Τέλος κρίθηκε απαραίτητη η ύπαρξη μιας κεντρικής μονάδας ελέγχου ώστε να καθοδηγεί τους σερβοκινητήρες που θα κινούσαν τους κοχλίες κίνησης των μηχανών. Το 1952 η πρώτη ψηφιακή εργαλειομηχανή, μια κατακόρυφη φρεζομηχανή επιδείχτηκε με επιτυχία από το MIT. Η ογκώδης αυτή φρεζομηχανή είχε όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και εκτελούσε ταυτόχρονες και ανεξάρτητες μεταξύ τους κινήσεις σε τρεις άξονες

κατεργασίας. Αυτή η μέρα ήταν η αυγή μιας πενήντάχρονης εκρηκτικής εξέλιξης. Το 1954 άρχισε να χτίζεται η πρώτη συμβολική γλώσσα προγραμματισμού. Ονομάστηκε Αυτόματος Προγραμματισμός Εργαλείων και περιέγραφε με σχετική ευκολία τη μορφή του κατεργαζόμενου τεμαχίου και τις οδηγίες προς την μηχανή, για να το κατασκευάσει.

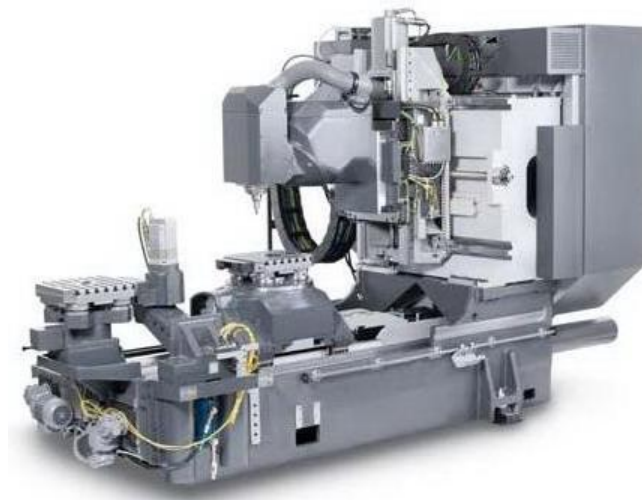
Το 1958 η εταιρία Bendix αγόρασε την πατέντα από τον Pearson και κατασκεύασε την πρώτη εμπορική ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή. Από εκείνα τα χρόνια η βιομηχανία κατάλαβε τη σημασία της χρήσης των μηχανών αυτών. Έτσι άρχισε η προσπάθεια αυτοματοποίησης όλων των μηχανουργικών κατεργασιών και η ανάπτυξη αντίστοιχων NC στις CNC εργαλειομηχανές και η ανάπτυξη των αισθητήρων και των συστημάτων αυτόματου ελέγχου στις αντίστοιχες DNC. Έτσι σήμερα από την απλή διάτρηση έως την πολύπλοκη επεξεργασία ανάγλυφων επιφανειών, χρησιμοποιούνται απλές και φθηνές ή σύνθετες και ακριβές εργαλειομηχανές. Με την εξέλιξη αυτή οι παραδοσιακές δομές των μηχανουργείων δεν συμβαδίζουν με τις δυνατότητες και τις απαιτήσεις των νέων μηχανών αλλά και τις παραγωγικές ανάγκες του σημερινού κόσμου.

Η συνεργασία των μηχανουργικών κατεργασιών με NC, CNC, και DNC μηχανές με άλλες λειτουργίες που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή οδήγησαν στην δημιουργία των ολοκληρωμένων με υπολογιστή συστημάτων παραγωγής. Έτσι από την σύλληψη ενός νέου προϊόντος, αυτό σχεδιάζεται, εξελίσσεται και βελτιστοποιείται μέσω των συστημάτων ανάπτυξης (CAE) που περιλαμβάνουν συστήματα σχεδίασης (CAD) και προγράμματα υπολογισμών αντοχής με της χρήσης της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Κατόπιν ο προγραμματισμός των κατεργασιών γίνεται σε συστήματα CAM λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογικές παραμέτρους των κατεργασιών αυτών.

Τα σύγχρονα μηχανουργεία εντάσσουν τις NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές σε ακόμα πιο σύνθετες δομές, που ονομάζονται ευέλικτα συστήματα παραγωγής(FMS). Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν ηλεκτρονικό σχεδιασμό της παραγωγής αυτόματες μεταφορικές διατάξεις και αποθήκες, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ποιοτικού ελέγχου. Όλα αυτά καθοδηγούνται και εποπτεύονται από έμπειρους μηχανικούς και τεχνικούς με την βοήθεια δικτύου υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτό η σύγχρονη παραγωγή

μετατρέπεται σε ελεγχόμενη και απλοποιημένη διαδικασία. Η χρήση της τεχνολογίας λογισμικού και υπολογιστών με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης οδηγεί στην πρώιμη έννοια του αυτόματου εργοστασίου στο οποίο η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στην λήψη αποφάσεων και στην καθοδήγηση μειώνεται όλο και περισσότερο.

Με την εισαγωγή των CNC, οι εργαλειομηχανές θα μπορούσαν να αυτοματοποιηθούν πλήρως, συμπεριλαμβανομένης της «αυτοματοποιημένης αλλαγής εργαλείων» (ATC), της προαιρετικής «αυτοματοποιημένης αλλαγής κομματιών» (APC) και άλλων βοηθητικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, όπως οι έλεγχοι μέτρησης, οι ικανότητες δικτύων και άλλες προηγμένες λειτουργίες. Οι υψηλές χρονικές απαιτήσεις και η ακρίβεια σε σύνθετα μέρη καθώς επίσης και η δυνατότητα των ελέγχων, έχουν δημιουργήσει την ιδέα, την παρούσα δεκαετία, «πολλαπλών καθηκόντων μηχανών» με τις ικανότητες φρεζαρίσματος, τριβίσματος και διάτρησης, ακόμα και των λειαντικών τροχών. Στην αρχή ξεκίνησαν με αυτόματους τόνους, στους οποίους προστέθηκε μια φρεζοκεφαλή. Αναπτύχθηκε όμως πρόσφατα σε σύνθετες μηχανές πολλαπλών αξόνων, οι οποίες διαφέρουν από τους τόνους και τις φρέζες, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3 Εργαλειομηχανή CNC

Πρόσφατα οι διαδικασίες κοπής και λείανσης συμπεριλαμβάνονται στην ίδια μηχανή, όπως βλέπουμε στην εικόνα 1.4. Τα στοιχεία για το πώς το μυαλό του σχεδιαστή είναι ανοιχτό να ερευνήσει τις νέες ιδέες, είναι στη χρήση

των παράλληλων κινηματικών δομών. Η πρώτη εφαρμογή ήταν το πρωτότυπο Vaniax που κατασκευάστηκε από τους Gidding & Lewis το 1994 στο Σικάγο. Οι παράλληλες κινηματικές δομές δεν είναι μία γενική λύση για όλες τις εργαλειομηχανές, παρ' όλ' αυτά μπορεί να προστεθεί στις μεγάλες λύσεις.

Στις μέρες μας κάποιοι τύποι μηχανών εξαφανίζονται, όπως η πλάνη, αλλά άλλες είναι λιγότερο ή περισσότερο σε λειτουργία. Στην Αμερικάνικη βιομηχανία ταξινομούνται 55 διαφορετικοί τύποι μηχανών, για τους οποίους όμως είναι δύσκολος ο αυστηρά ακαδημαϊκός καθορισμός τους σαν εργαλειομηχανή, γιατί σε κάθε βιομηχανική έκθεση παρουσιάζονται και νέες υβριδικές και σύνθετες μηχανές



Εικόνα 1.4 Εργαλειομηχανή CNC

1.3 ΕΙΔΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

1.3.1 Φρέζες CNC

Η ανάπτυξη των συστημάτων CNC πριν από αρκετές δεκαετίες έφερε επανάσταση σε όλους τους τύπους των εργαλειομηχανών, αλλά επηρέασε ιδιαίτερα τις κατεργασίες φρεζαρίσματος καθώς το φρεζάρισμα έγινε δυνατότητα πολλών εργαλειομηχανών που δεν θεωρούνται αποκλειστικά μηχανές φρεζαρίσματος. Το αποτέλεσμα της εξέλιξης των συστημάτων CNC είναι να είναι πιο συμφέρουσα η ένταξη στην παραγωγική διαδικασία του φρεζαρίσματος σε σχέση με παλιότερα, καθώς είναι δυνατή η κατασκευή με ακρίβεια και χαμηλό κόστος πολύ δύσκολων γεωμετρικά μορφών, πράγμα αδύνατο για τις κλασικές φρέζες.

Είναι αξιοσημείωτο ότι σήμερα υπάρχουν στην αγορά φρέζες CNC με παρόμοια μορφή με τις κλασικές φρέζες αλλά και μηχανές που κάνουν φρεζάρισμα αλλά δεν μοιάζουν καθόλου με φρέζες. Η εφαρμογή της φιλοσοφίας των συστημάτων CNC στις φρέζες επηρέασε σημαντικά τις παραγωγικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα:

- Ø Έφερε στο προσκήνιο καινούργιες μηχανές που δουλεύουν με μεγάλες ταχύτητες
- Ø Έδωσε τη δυνατότητα αυτόματης τροφοδότησης αλλά και ποιοτικού ελέγχου επί της μηχανής, η φρέζα από εργαλείο υποστήριξης γίνεται εργαλείο γραμμής παραγωγής.
- Ø Περιορίσε την τεράστια ποικιλία των εργαλείων φρέζας (και το αντίστοιχο κόστος προμήθειας ή κατασκευής τους)
- Ø Τα κοπτικά εργαλεία των φρεζών προτιμάται να είναι εναλλάξιμα πλακίδια από σκληρομέταλλο προκειμένου να εκμεταλλευτεί η

σύγχρονη παραγωγική διαδικασία τις αυξημένες δυνατότητες των καινούργιων φρεζών

1.3.1.1 Πολυαξονική κατεργασία

Οι πολυαξονικές κατεργασίες των υλικών επιτυγχάνουν την κατασκευή σύνθετων μεταλλικών μορφών χωρίς νεκρούς χρόνους κοπής βελτιώνοντας την παραγωγικότητα των κατασκευαστικών συστημάτων. Κατά την πολυαξονική κατεργασία διάφορες φάσεις φρεζαρίσματος και τορνιρίσματος και διάφοροι τύποι κοπής, όπως σφηνοκοπή και ελικοειδής κοπή μπορούν να γίνουν με τη χρήση ενός μόνο μηχανήματος που θα κατεργάζεται ένα τεμάχιο τοποθετημένο σε μια αρχική θέση κατεργασίας.

Στις πολυαξονικές κατεργασίες είναι πιο εύκολο να προγραμματίσουμε κάθε μια συγκεκριμένη φάση χωριστά χρησιμοποιώντας τους X, Y, Z χωρίς να λάβουμε υπ' όψη την γωνία κοπής. Αυτό επιτυγχάνεται με την λειτουργία «Μετατόπιση Αρχής Προγράμματος» η οποία σε κάθε φάση μετατρέπει το σύστημα συντεταγμένων ανάλογα με την επιθυμητή γωνία κοπής.

1.3.2 Κέντρα κατεργασίας

Σε σύγχρονα συστήματα εργαλειομηχανών έχουν αναπτυχθεί κέντρα κατεργασίας με δυνατότητα ταυτόχρονης επεξεργασίας πολλών αξόνων και πλευρών (π.χ. 5 αξόνων και 5 πλευρών). Τα συστήματα αυτά διατίθενται με πολλαπλές εκδόσεις ατράκτων οι οποίες έχουν διάφορες "αποδόσεις", ξεκινώντας π.χ. από μια άτρακτο με ενδεικτικές τιμές λειτουργικών παραμέτρων 10 000 σ.α.λ. και ροπή 200 Nm, προχωρώντας σε μια "άτρακτο γενικής χρήσης" με ενδεικτική λειτουργία 18 000 σ.α.λ. και ροπή 130 Nm, και συνεχίζοντας σε "ατράκτους υψηλής απόδοσης" με 28 000 σ.α.λ. και ροπή 79

Nm και "ατράκτους πολύ υψηλής ταχύτητας" με ενδεικτικές τιμές λειτουργικών παραμέτρων 40 000 σ.α.λ. και ροπή 17 Nm. Στις ατράκτους των 10 000 και 18 000 σ.α.λ. δεν λείπει και το στόπερ. Οι ταχύτητες επεξεργασίας για τους γραμμικούς άξονες X-Y-Z μπορούν να φτάσουν 60 m/min με επιταχύνσεις 10 6 m/s² αντίστοιχα. Ωστόσο σε τελευταίας τεχνολογίας κέντρα κατεργασίας στα οποία επίσης η κίνηση των αξόνων γίνεται με γραμμικά μοτέρ, επιτυγχάνονται ταχύτητες της τάξεως των 300 μέτρων/λεπτό και επιταχύνσεις άνω των 2G.

Ένα κέντρο κατεργασίας πολλαπλών αξόνων και πλευρών μπορεί να φέρει δύο περιστρεφόμενα φορεία NC τα οποία να έχουν ενσωματωθεί στα πλευρικά τοιχώματα του τραπέζιου. Ένα τέτοιο σύγχρονο κέντρο κατεργασίας προσφέρει μεγάλη δυναμικότητα με γραμμική μετάδοση κίνησης και άξονα NC στρογγυλού φορείου.

Μπορεί να διαθέτει περιστρεφόμενο στρογγυλό φορείο NC το οποίο να ξεχωρίζει με τη δυναμικότητα των αξόνων C και A. Οι υψηλές στροφές στον άξονα C μπορούν να εξασφαλίζονται από έναν γραμμικό κινητήρα (κινητήρας Torque). Οι υψηλές στροφές στον άξονα A μπορούν να εξασφαλίζονται από ένα δίδυμο σύστημα μετάδοσης. Μια περιοχή περιστροφής από +25° έως – 100° εξασφαλίζει τη μέγιστη ελευθερία επεξεργασίας στο χώρο εργασίας. Η μεγάλη ικανότητα φορτίου του τραπέζιου (της τάξεως ενός τόνου) ενός τέτοιου κέντρου κατεργασίας επιτρέπει τη στερέωση ακόμη και τεμαχίων κατεργασίας με μεγάλες διαστάσεις ή βάρους.

Ενδεικτικός σχεδιασμός ενός τέτοιου σταθερού τραπέζιου είναι ένα τραπέζι με διαστάσεις στερέωσης 900 x 650 mm με 10 εγκοπές τύπου T και μέγιστο φορτίου 1500 kg. Το σταθερό κρεβάτι μπορεί να συνδυασθεί με ένα περιστρεφόμενο φορείο NC. Με το κατάλληλο τσοκ μπορεί να γίνει επεξεργασία κυματοειδών τεμαχίων σε πολλαπλούς άξονες και με αρκετά μεγάλη συχνότητα περιστροφής τους.

Πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση αποτελούν και τα κάθετα κέντρα κατεργασίας. Αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια στις μηχανολογικές κατασκευές διότι παρέχουν τη δυνατότητα αυξημένης παραγωγικότητας σε ευνοϊκές εργονομικά συνθήκες. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή τους είναι στα δράπανα, ωστόσο συναντώνται εφαρμογές τους και σε άλλες εργαλειομηχανές, όπως οι φρέζες. Η τεχνολογία των δραπάνων εξελίσσεται συνεχώς. Σήμερα τα τρυπάνια καρβιδίου, αξιοποιώντας πολύ

ισχυρούς κινητήρες και μια συμπαγή κατασκευή επιτυγχάνουν ταχύτατους χρόνους διάτρησης, συγκρίσιμους με τους χρόνους διάτρησης με ζουμπά. Η χρησιμοποίηση σύγχρονων συστημάτων όπως το σύστημα Scribing επιτρέπει στα κάθετα κέντρα κατεργασίας με δράπανα να επιτυγχάνουν το σημάδεμα των οπών σε ελάχιστο χρόνο.

Υπάρχουν βέβαια και κέντρα κατεργασίας που συνδυάζουν διάτρηση και κοπή λαμαρίνας Ένα τέτοιο μηχάνημα μπορεί να παρέχει αποκλειστικά σταθερό μήκος γέφυρας για ομογενοποιημένη και υψηλής ακρίβειας κοπή οπουδήποτε στο τραπέζι. Μπορεί επίσης να διαθέτει κεφαλές διάτρησης, δαυλούς οξυγονοκοπής και κεφαλές κοπής plasma και μπορεί να κατεργαστεί λαμαρίνα πλάτους μέχρι 2500 mm, μήκους 6000 mm και πάχους μέχρι 60 ή 100 mm.

Οι σύγχρονες κεφαλές διάτρησης μπορούν να έχουν μεγάλη ισχύ μέχρι 26 kW, με σύστημα αυτόματης αλλαγής πολλών εργαλείων και με δυνατότητες κοχλιοτόμησης και φρεζαρίσματος οπών. Η τεχνολογία CNC με τη χρήση κατάλληλων software προσφέρει δυνατότητα ομαδοποίησης και φωλιάσματος τεμαχίων όπως και διαχείρισης λαμαρίνας και ρεταλιών. Μια πολύ εξελιγμένη τεχνολογία ενός CNC πολλαπλού κέντρου κατεργασίας μπορεί να εγγυάται non –stop κοπή διαφορετικών τύπων υλικών και κυρίως διαφορετικών παχών χωρίς αλλαγή ρυθμίσεων.

Ένα κέντρο κατεργασίας πολλαπλής χρήσης όπως το περιγραφόμενο εκτός από την πολλαπλή κατεργασία λαμαρίνας μπορεί να είναι κατάλληλο για την κοπή και διάτρηση δοκαριών πλάτους από 600 ως 2000 mm και απεριόριστου μήκους. Η εξέλιξη των κέντρων κατεργασίας έχει φέρει στο προσκήνιο πολλές καινοτόμες εφαρμογές. Μια από αυτές είναι το CNC κέντρο κατεργασίας πολλαπλών σεπτοριών. Πρόκειται για ένα μηχάνημα κατασκευής εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας.

Διαθέτει compact design με ευρεία επιφάνεια εργασίας- πολλαπλούς CNC άξονες κατεργασίας, ταυτόχρονη κατεργασία πολλαπλών εργαλείων- Δοο κάθετα σεπτόρτια (V1 ,V2), φόρμας – κοπής- CNC διατετημημένο σεπτόρτι (X1 /Z1) , πλήρως παρεμβολικό. Το παρεμβολικό μπορεί να συμπεριλαμβάνει μύλο κινούμενο με σερβομοτέρ, οκτώ θέσεις εργαλείων, εργαλείο για τρύπα – φρέζα, άξονα pick-off ,κινούμενο από μοτέρ και άξονα pick-off. ηλεκτρονικά συγχρονισμένο με τον κυρίως άξονα. Όλα τα παραπάνω για να

λειτουργήσουν επιτυχώς χρειάζονται ένα σύγχρονο CNC σύστημα με εξελιγμένο λογισμικό.

1.4. ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Η βασική λειτουργία μιας εργαλειομηχανής για τις διαδικασίες αφαίρεσης υλικού είναι να κινήσει ένα κοπτικό εργαλείο κατά μήκος μιας λίγο ή πολύ σύνθετης τροχιάς με ικανοποιητική ακρίβεια, αντιστεκόμενο στις δυνάμεις που προβάλλει το υλικό λόγω της κατεργασίας του. Αυτό πρέπει να γίνει φθάνοντας την απαραίτητη μορφή και το ποσοστό αφαίρεσης υλικού.

1.4.1. Σχεδιασμός

Όπως και στην περίπτωση άλλων μηχανημάτων, η είσοδος των σχεδιαστών στις εργαλειομηχανές, είναι απαίτηση των χρηστών, το οποίο οδηγεί στον καθορισμό των κύριων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των μηχανών. Για τη σχεδίαση θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη τυχαίοι χρήστες, κοινές απαιτήσεις και καθορισμένες προδιαγραφές. Οι μικρές και μεσαίες μηχανές κατασκευάζονται εξετάζοντας υποθετικούς πελάτες, ενώ οι μεγάλες κατόπιν παραγγελίας. Σε κάθε περίπτωση οι απαιτήσεις σχετίζονται με τις ακόλουθες πτυχές:

- 1. Το μέγιστο μέγεθος αντικειμένων που επεξεργάζεται η μηχανή.** Η κατεργασία θα απαιτείται σε κάθε σημείο του αντικειμένου, έτσι ο χώρος εργασίας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο μέγεθος των κομματιών προς κατεργασία.
- 2. Η κύρια γεωμετρία των κομματιών προς κατεργασία.** Η γενική μορφή του κομματιού είναι το σημείο κλειδί για να επιλεγθεί ένας τύπος μηχανής.

Για κυλινδρικό κομμάτι ο τόννος είναι το κατάλληλο μηχάνημα, για πρισματικό κομμάτι ένα κέντρο κατεργασίας είναι το επαρκέστερο.

3. Η δεύτερη πτυχή της γεωμετρίας του κομματιού που λαμβάνεται υπ' όψη είναι ο **αριθμός και η πολυπλοκότητα των λεπτομερειών**. Όσο πιο πολλά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κατεργασίας, τόσο πιο σύνθετη πρέπει να είναι η εργαλειομηχανή δομικά.
4. **Το ποσοστό αφαίρεσης υλικού** είναι μία ακόμα πτυχή για την επιλογή της εργαλειομηχανής. Αν θα δουλεύεται η μηχανή για μεγάλη ακρίβεια ή για γρήγορη και παραγωγική κατεργασία τύπου ξεχονδρίσματος. Συνήθως επιλέγεται μια εργαλειομηχανή που να συνδυάζει όλα τα παραπάνω σε σύγκριση με την τιμή της, εκτός κι αν είναι για πολύ συγκεκριμένη εργασία. Τα χαρακτηριστικά που ποικίλουν εδώ είναι η ισχύς και η ροπή, καθώς και ο κύριος άξονας. Το δύσκολο για το συνδυασμό όλων είναι ότι η παραγωγικότητα απαιτεί μεγάλη ταχύτητα, άρα και τραντάγματα της μηχανής, κάτι που αποκλείει την ακρίβεια. Έτσι προσπαθούμε οι μηχανές να έχουν υψηλή ακαμψία και απόσβεση.
5. **Η ακρίβεια**. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η ακρίβεια συγκρούεται με την παραγωγικότητα. Υπάρχει όμως και μια άλλη διάσταση της ακρίβειας, αυτή της επανάληψης. Δηλαδή να μπορούμε να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα πολλές φορές. Επομένως σε μία ακραία περίπτωση μπορεί να έχουμε μια μηχανή επανειλημμένα ανακριβή ή πολύ ακριβή. Η ευστοχία και η ακρίβεια είναι οι κύριοι στόχοι των κατασκευαστών. Αυτά επιτυγχάνονται με τη μελέτη πολλών παραμέτρων όπως:
 - ∅ Τα λάθη συναρμολόγησης των κινητών τμημάτων της μηχανής στη θέση του εργαλείου.
 - ∅ Οι παραμορφώσεις των δομών στο πλαίσιο της δράσης της κοπής και των αδρανών δυνάμεων.
 - ∅ Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος υπό τη διέγερση των δυνάμεων κοπής επειδή οι περισσότερες από τις διαδικασίες κατεργασίας παράγουν τις μεταβλητές δυνάμεις.
 - ∅ Την τριβή και τις σπασμωδικές κινήσεις στους οδηγούς.
 - ∅ Τη θερμότητα που παράγεται στα πέντε σημεία θερμότητας. Το βασικό άξονα του κινητήρα, τους κινητήρες κίνησης, την κατεργασία, το υλικό που αφαιρείται ως απόβλητο και τη θερμοκρασία του χώρου εργασίας.

- ∅ Ο έλεγχος τροχιάς των εργαλείων, δηλαδή τα λάθη που γίνονται από απότομες και γρήγορες αλλαγές κατεύθυνσης των κοπτικών εργαλείων.
6. **Η κινηματική συμπεριφορά** είναι κάτι σημαντικό για τον τρόπο που θα σχεδιαστεί η εργαλειομηχανή. Η ταχύτητα κίνησης και η ταχύτητα αλλαγής εργαλείων απαρτίζουν την κινηματική συμπεριφορά. Ακόμα και η επιτάχυνση πρέπει να εξετάζεται κι ας μην είναι άμεση απαίτηση των χρηστών. Αυτό γίνεται λόγω των αδρανών δυνάμεων που εξαρτώνται από την επιτάχυνση.
7. **Το μέγεθος της παρτίδας** είναι κάτι ακόμα που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη για το σχεδιασμό μηχανών και των βοηθητικών συσκευών. Στο σημείο αυτό η διαφοροποίηση γίνεται στον τρόπο αυτοματοποίησης, «σκληρή» ή «μαλακή», ανάλογα με το αν υπάρχει μόνο μία μηχανή CNC ή αν υπάρχει μία ολόκληρη εγκατάσταση με ιμάντες μεταφοράς από το ένα στο άλλο.
8. **Η τιμή** είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, που πρέπει να εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής, την ακρίβεια, τον αριθμό των αξόνων στους οποίους κινείται και δουλεύει. Σε αυτό τον τομέα πρέπει να λάβουμε υπ' όψη εκτός από την αρχική επένδυση, το κόστος συντήρησης, τις σταθερές δαπάνες και τις δαπάνες ανάκτησης της μηχανής.

Στις περισσότερες προαναφερθείσες περιπτώσεις οι απαιτήσεις οδηγούν σε παραδοσιακές λύσεις κοινής λογικής με την προϋπόθεση ότι οι εφαρμογές είναι παρόμοιες. Στην πορεία του χρόνου όμως φαίνεται ότι ο σχεδιασμός του σε αυτό το στάδιο ήταν κάτι δύσκολο. Στην αρχή ήταν ένας συμβατικός τόνος, τροποποιημένος με ένα πρόσθετο κεφάλι αξόνων για μία παραπάνω κίνηση στον άξονα y. Σήμερα η δομή αυτών των μηχανών είναι εντελώς διαφορετική. Αυτό συμβαίνει λόγω της συλλογής των παραπάνω απαιτήσεων από τις εταιρίες κατασκευής τους.

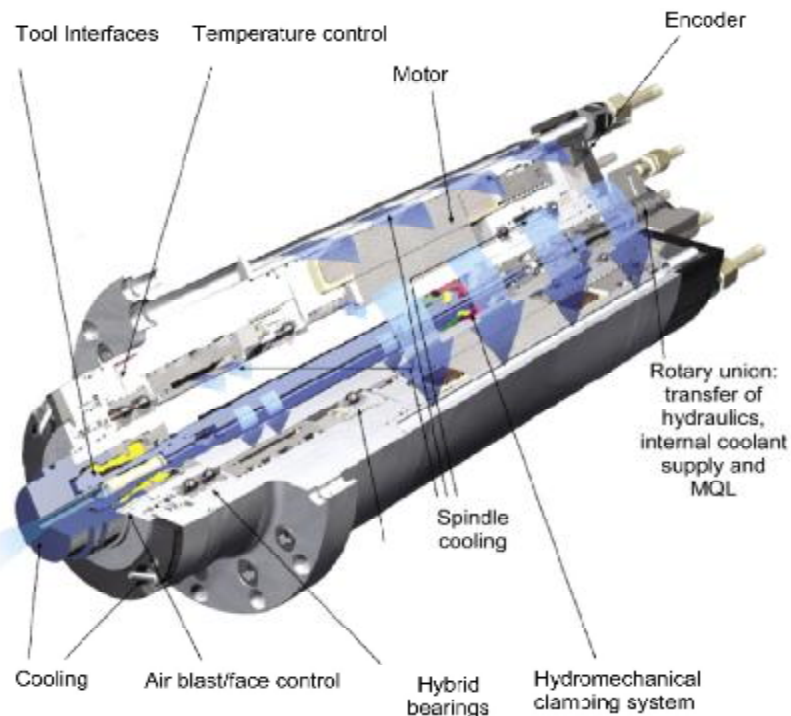
1.4.2 Άξονες των εργαλειομηχανών

Ο άξονας των εργαλειομηχανών παρέχει τη σχετική κίνηση μεταξύ του τέμνοντος εργαλείου και του προς κατεργασία κομματιού η οποία είναι απαραίτητη για να εκτελέσει μια κατεργασία αφαίρεσης υλικού. Είναι ο φυσικός δεσμός μεταξύ της δομής της εργαλειομηχανής και του κομματιού προς κατεργασία, ενώ σε διαδικασίες όπως φρεζάρισμα, τρύπημα, τρόχισμα συνδέεται με την δομή και το κοπτικό εργαλείο. Επομένως τα χαρακτηριστικά του άξονα όπως η ταχύτητα, η ακαμψία, τα ρουλεμάν, οι μέθοδοι κίνησης ή οι θερμικές ιδιότητες ασκούν τεράστια επίδραση στην απόδοση των εργαλειομηχανών και στην ποιότητα του προϊόντος. Οι απαιτήσεις της κατεργασίας διαφέρουν σημαντικά από τον ένα τομέα στον άλλον όσον αφορά τα υλικά, τα κοπτικά εργαλεία, την διαδικασία και τις παραμέτρους. Σήμερα, η βιομηχανία αξόνων παρέχει μια μεγάλη ποικιλία των διαμορφώσεων και των επιλογών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των διαφορετικών βιομηχανιών. Επομένως οι επιχειρήσεις προσδιορίζουν σωστά τις απαιτήσεις κατεργασίας τους και λαμβάνουν σωστές αποφάσεις για την απόκτηση αξόνων.

Η μηχανική εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα υλικών για να δημιουργήσει μια μεγάλη ποικιλία από γεωμετρικά σχήματα χωρίς περιορισμούς όσον αφορά την πολυπλοκότητα. Τυπικά υλικά τεμαχίου είναι τα εξής: από κράματα αλουμινίου, από χυτοσίδηρο, από τιτάνιο, από ωστενιτικό ή ανοξείδωτο χάλυβα, από χαλκό, από γραφίτη και επίσης από πλαστικά σύνθετα υλικά. Ο άξονας εργαλειομηχανών διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο σε διαδικασίες κατεργασίας επειδή παρέχει την τέμνουσα ταχύτητα του εργαλείου και είναι μέρος της δύναμης, της αλυσίδας μεταξύ της δομής εργαλειομηχανών και του εργαλείου ή του κομματιού προς κατεργασία. Το τελικό προϊόν δημιουργείται με την αφαίρεση υλικού από ένα κενό κομμάτι προς κατεργασία με το κοπτικό εργαλείο μέσω της σχετικής κίνησης μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και του κομματιού. Η σχετική κίνηση μπορεί να

διαιρεθεί σε κίνηση πρόωσης, που παρέχεται από τις μονάδες δίσκου της εργαλειομηχανής και σε μιας περιστροφικής κίνησης που παρέχεται από την άτρακτο η οποία είναι υπεύθυνη για την ταχύτητα κοπής που επιτρέπει την αφαίρεση υλικού.

Κάθε τύπος της διαδικασίας της κατεργασίας (π.χ. διάτρηση, τόννευση, φρεζάρισμα, λείανση, διάτρηση κλπ.) έχει ειδικά χαρακτηριστικά που αφορούν το ποσοστό της πρόωσης και της ταχύτητας κοπής. Σε βασικές διεργασίες περιστροφής ο άξονας περιστρέφει το κομμάτι προς κατεργασία για να παρέχει την ταχύτητα κοπής και το κοπτικό εργαλείο τροφοδοτείται από αυτές τις κινήσεις για την αφαίρεση το υλικού. Στις κατεργασίες διάτρησης και φρεζαρίσματος ο άξονας περιστρέφει το κοπτικό εργαλείο με αρκετές κοπτικές ακμές ώστε να παρέχεται η ταχύτητα κοπής. Στην διάτρηση τροφοδοτεί την κίνηση ο άξονας της ατράκτου ενώ στο φρεζάρισμα κινείται σε κάθετη κατεύθυνση. Στις διαδικασίες λείανσης η άτρακτος είναι αυτή που παρέχει την ταχύτητα κοπής του τροχού σε ορθή γωνία.



Εικόνα 1.5

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός άξονα είναι η διεπαφή του εργαλείου, ο κεντρικός άξονας, τα ρουλεμάν, το σύστημα κίνησης, το σύστημα ψύξης και

η στέγαση. Ο κινητήρας βρίσκεται άμεσα η έμμεσα συνδεδεμένος με τον άξονα ή ενσωματωμένος με αυτόν.

Τα κύρια μέρη ενός σύγχρονου άξονα είναι:

- Ø Ο κινητήρας, ο οποίος ωθεί τον άξονα.
- Ø Τα έδρανα, τα οποία επιτρέπουν την σχετική κίνηση μεταξύ του άξονα και της μηχανής.
- Ø Τον άξονα ή το στέλεχος.
- Ø Την ράβδο.
- Ø Το σύστημα εργαλείων.
- Ø Τους αισθητήρες, όπου στις μέρες μας είναι απαραίτητοι για την παρακολούθηση και την διάγνωση προβλημάτων στην άτρακτο.
- Ø Η στέγαση, η οποία όχι μόνο μπορεί να περιβάλλει όλα τα στοιχεία αλλά και να συμβάλλει στην ψύξη της ατράκτου.

1.4.2.1 Τύποι Αξόνων

Η μονάδα του άξονα είναι ο μηχανισμός που παρέχει και μεταδίδει κίνηση στον άξονα. Η μονάδα αποτελείται από τον κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα περιστροφής, η ροπή και η δύναμη μεταφέρονται τελικά στο κοπτικό εργαλείο δια μέσου της υποδοχής του εργαλείου(φωλιά). Γενικά υπάρχουν τέσσερις τύποι άξονα ανάλογα με το είδος των κινήσεων που χρησιμοποιούνται, μετάδοση κίνησης με ιμάντα, κιβώτιο ταχυτήτων, άμεσης κίνησης και ενσωματωμένης κίνησης. Τα διάφορα χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αξιολόγηση της απόδοσης των αξόνων για παράδειγμα:

- Ø Απόδοση όσον αφορά την κίνηση, την ισχύ, τη ροπή, την δύναμη και την ταχύτητα.
- Ø Απώλεια θερμότητας.
- Ø Κραδασμούς σε διάφορες ταχύτητες.
- Ø Θόρυβος.
- Ø Συντήρηση και το κόστος.

1. Αξονες Ιμαντοκίνησης(Belt-driven Spindles)

Αυτή η ρύθμιση άξονα μεταφέρει την κίνηση ενός εξωτερικού κινητήρα στον κύριο άξονα με τη βοήθεια ενός οδοντωτού η V ιμάντα. Χρησιμοποιείται ευρέως σε συμβατικά μηχανήματα κατεργασίας λόγω του χαμηλού κόστους και καλής απόδοσης όταν πρόκειται για την μεταφορά της ονομαστικής ισχύς του κινητήρα σε ωφέλιμη δύναμη της ατράκτου. Η απόδοση των αξόνων με ιμαντοκίνηση, από την άποψη της εκπομπής ισχύος του κινητήρα με την άτρακτο είναι περίπου 95%. Είναι λίγο λιγότερο αποτελεσματική από την άμεση κίνηση των αξόνων(100%).

Ένας άξονας ιμαντοκίνησης μπορεί να φτάσει μέτριες ταχύτητες(15.000 περιστροφές/λεπτό) και να αποδώσει καλά ή με υψηλή ροπή στις χαμηλότερες στροφές(1.000 περιστροφές/λεπτό) ανάλογα με τους ιμάντες και την σχέση μετάδοσης. Αντίθετα, σε χαμηλές ταχύτητες το κιβώτιο ταχυτήτων οδηγεί την μετάδοση της ροπής, ενώ στις υψηλές ταχύτητες η άμεση κίνηση είναι καλύτερη (κυρίως σε περιπτώσεις όπου η ακρίβεια και η ποιότητα επιφάνειας είναι υψηλή) επειδή παράγει λιγότερους κραδασμούς και θόρυβο. Ωστόσο η ιμαντοκίνηση είναι πολύ ευέλικτη και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα θέσεων των οποίων οι απαιτήσεις κυμαίνονται από υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής και σε χαμηλή ροπή σε υψηλές ταχύτητες.

Τα κύρια μειονεκτήματα της ιμάντων είναι:

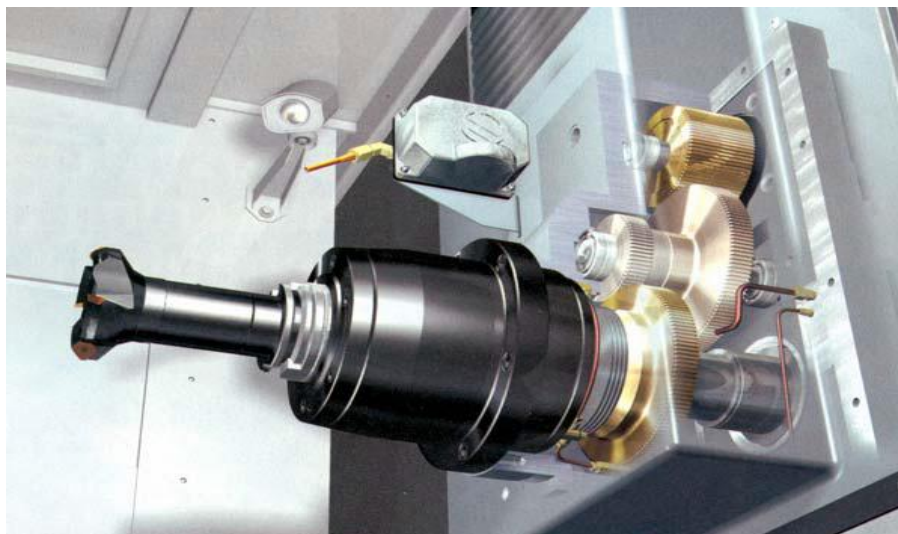
- Θα υπόκεινται σε θερμική διαστολή σε σύγκριση με άλλα συστήματα κίνησης λόγω της συνεχούς επαφής του ιμάντα.
- Είναι πιο θορυβώδεις λόγω της μεταφορικής κίνησης
- Το τέντωμα του ιμάντα δημιουργεί μια ακτινική δύναμη στον άξονα που παίρνει ένα μέρος της διαθέσιμης χωρητικότητας φόρτωσης των ρουλεμάν.

Δεδομένου ότι το μοτέρ και ο άξονας είναι ξεχωριστά η στέγαση και η συντήρηση του είδους της κίνησης αυτής είναι απλή, αν και απαιτείται περισσότερος χώρος.

2. Άξονες με μετάδοση κίνησης με γρανάζι (Gear driven spindles)

Οι άξονες με μετάδοση κίνησης με γρανάζι μπορεί να φτάσει υψηλή ροπή στις χαμηλές στροφές και έχουν πολλές ταχύτητες. Οι ταχύτητες μπορούν να προκαλέσουν δονήσεις που έχουν αρνητική επίδραση στην τελειωμένη επιφάνεια του αντικειμένου.

Επιπλέον, όπως αναφέραμε παραπάνω, είναι λιγότερο αποτελεσματική όταν πρόκειται για την μετατροπή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα στην δύναμη κοπής του εργαλείου, που οφείλεται στην εποικοδομητική φύση της. Η δύναμη αυτή χάνεται ως θερμότητα, με όλες τις αρνητικές συνέπειες που αυτή δημιουργεί, επομένως έχουμε μειωμένη ακρίβεια λόγω της θερμικής διαστολής. Για όλους αυτούς τους λόγους κρίνεται ακατάλληλη για πολύ υψηλές ταχύτητες κατεργασίας, ενώ είναι κατάλληλη για βαρέου τύπου εργασίες.



Εικόνα 1.6 Κεφαλή CNC

Haas EK-630 ταχυτήτων με δύο ταχυτήτων κιβώτιο ταχυτήτων: 610 lb-ft της ροπής για τα βαρέα φορτηγά κατεργασία ή 6.000 rpm για φινίρισμα.

3. Άμεση κίνηση αξόνων(Direct Drive Spindles)

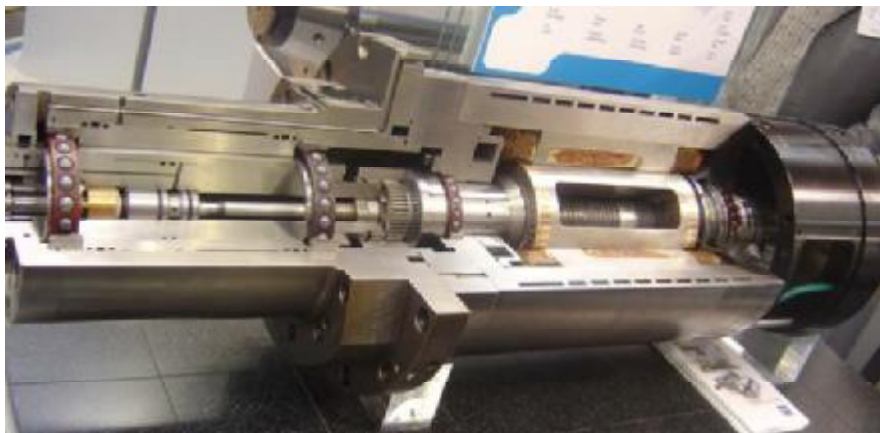
Οι άμεσης κίνησης άξονες έχουν σχεδόν το 100% απόδοση από την άποψη εκπομπής ισχύος από τον κινητήρα για το κοπτικό εργαλείο. Μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής αλλά σε χαμηλότερες ροπές.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει αλυσίδα μετάδοσης δεν είναι δυνατόν να αυξηθεί η μηχανική ροπή μετά από μειώσεις στην ταχύτητα του κινητήρα. Αυτό το σύστημα μετάδοσης της κίνησης συμπεριφέρεται καλά από την άποψη των κραδασμών πράγμα που σημαίνει ότι σε υψηλές ταχύτητες μπορεί να επιτευχθεί καλή τελική επιφάνεια.

4. Ενσωματωμένοι Άξονες(Integrated Drive Spindles)

Σε αυτούς τους άξονες που ονομάζονται και ηλεκτρικοί άξονες, ο κινητήρας μπορεί να είναι ένας σύγχρονος ή ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που είναι ενσωματωμένος στην δομή του άξονα μεταξύ των εμπρός και πίσω εδράνων. Με τον τρόπο αυτό οι δονήσεις και ο θόρυβος μειώνονται και η εργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής από 15.000 rpm. Αυτός είναι ο λόγος για έναν ολοκληρωμένο άξονα σε υψηλές ταχύτητες κατεργασίες.

Ο έλεγχος για μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό της ατράκτου και η επακόλουθη θερμική διαστολή, αποτελεί βασικό παράγοντα για να έχει καλή απόδοση αυτό το είδος της κίνησης. Με τον κινητήρα μέσα στο περίβλημα, το βοηθητικό σύστημα αφαίρεσης της θερμότητας είναι πρώτη προτεραιότητα. Η μεγάλη ακρίβεια που απαιτείται για τη συναρμολόγηση αυτών των ατράκτων και την αναγκαιότητα των βοηθητικών συστημάτων για την ψύξη και την παρακολούθηση, τον καθιστά πολύ ακριβό, παρά την εξαιρετική μηχανική απόδοση του.



Εικόνα 1.7 Άξονας CNC

Ολοκληρωμένη άτρακτος με τον κινητήρα να βρίσκεται μεταξύ των μπροστινών και πίσω εδράνων.

1.4.2.2 Συνθέσεις άξονα

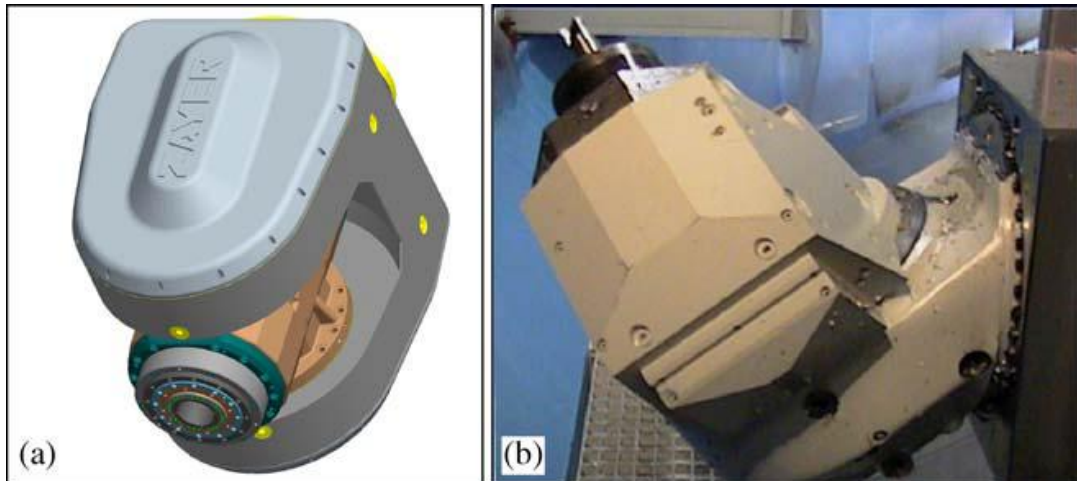
Η ρύθμιση του άξονα στην εργαλειομηχανή είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα, σχετικό με την μεταβλητότητα και τις τελικές εφαρμογές της εργαλειομηχανής. Θα περιγράψουμε παρακάτω τις συνηθισμένες διαμορφώσεις του άξονα.

1. Κοινή διαμόρφωση: Κάθετοι και οριζόντιοι άξονες

Η διάταξη του άξονα εξαρτάται από το σκοπό των εργαλειομηχανών, αλλά, κατά κανόνα, οι οριζόντιες διαμορφώσεις της ατράκτου χρησιμοποιούνται σε μηχανήματα με μεγάλη δύναμη και παλέτες επεξεργασίας τεμαχίων για μεγαλύτερη ευελιξία. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της ρύθμισης είναι ότι η αφαίρεση τσιπ πέφτει μακριά από την ζώνη κοπής. Οι κάθετοι άξονες χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε μηχανήματα με λιγότερη ενέργεια που χρειάζονται περισσότερο την προσβασιμότητα.

2. Μηχανήματα με περιστροφικές κεφαλές(Machines with Rotary Headstocks)

Πολλές φρέζες ενσωματώνουν άξονες περιστροφής στην κεφαλή για να έχουν περισσότερες δυνατότητες λειτουργίας, έτσι ώστε ο προσανατολισμός του εργαλείου να αλλάζει συνεχώς όπως απαιτείται από την κατεργαζόμενη επιφάνεια. Αυτές οι μηχανές, με 5 ή περισσότερους άξονες μπορούν να παράγουν πιο πολύπλοκα σχήματα, και απαιτούν πιο εξειδικευμένο υπολογιστή ψηφιακής καθοδήγησης(CNC), ώστε τα συστήματα να ελέγχουν την κίνηση του εργαλείου σύμφωνα με τις τροχιές που απαιτούνται. Η κεφαλή συστροφής επιτρέπει υψηλότερες δυνατότητες πρόσβασης και προσδιορισμού της θέσης από τις παραδοσιακές μηχανές με 3 άξονες. Ωστόσο οι κεφαλές αυτές δεν έχουν υψηλή ακαμψία και κρίνονται ακατάλληλες για εφαρμογές υψηλής ισχύς λόγω των περιορισμών τους όσον αφορά την ακρίβεια και την δυναμική.



Εικόνα 1.8 Κεφαλές CNC

Τα τελευταία δύο χρόνια η παραδοσιακή χρήση του κιβώτιου ταχυτήτων για τους δύο περιστροφικούς άξονες έχουν αντικαταστήσει τη ροπή του κινητήρα που εισαγόταν άμεσα στις περιστροφικές αρθρώσεις. Έτσι επιτρέπεται ο γρήγορος προσανατολισμός του εργαλείου σε κάθε θέση με ελάχιστη κίνηση της κεφαλής.

3. Ένας κύριος άξονας με ένα βοηθητικό άξονα (A Main Spindle with an Auxiliary Spindle)

Εκτός από τους άξονες που περιγράφηκαν στις παραπάνω παραγράφους υπάρχουν και άλλες συνθέσεις, που συνδυάζουν τον κεντρικό άξονα με έναν βοηθητικό άξονα τοποθετημένο παράλληλα κατά μήκος του κεντρικού άξονα. Έχουν διαφορετικά συστήματα μετάδοσης για να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες του κάθε άξονα σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εργασίας. Για παράδειγμα υπάρχουν μηχανές που συνδυάζουν τις διάφορες ιδιότητες της ιμαντοκίνησης και της άμεσης κίνησης με ένα ζευγάρι αξόνων τοποθετημένους μαζί. Ο ένας είναι ο κύριος άξονας και ο άλλος ο βοηθητικός, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υψηλές ταχύτητες και με υψηλή ισχύ. Ο κύριος άξονας είναι με ιμάντα όπως είχαμε εξηγήσει αυτή η μονάδα παρέχει υψηλή ισχύ σε χαμηλές ταχύτητες. Ο βοηθητικός άξονας θα είναι άμεσης κίνησης πλήρως ενσωματωμένος στο εργαλείο της μηχανής όπου μπορεί να συνδεθεί με τον κεντρικό άξονα. Ο βοηθητικός άξονας θα έχει χαμηλή ισχύ σε υψηλές ταχύτητες, με τον τρόπο αυτό ο βοηθητικός άξονας θα είναι ιδανικός για κατεργασίες υψηλής ταχύτητας παρέχοντας υψηλή ποιότητα

επιφάνειας και ακρίβεια διαστάσεων με την χρήση μικρότερης διαμέτρου εργαλεία.

4. Δίδυμοι άξονες και πολυ-άξονες(Twin Spindles and Multi-spindles)

Μερικά εργαλεία της μηχανής μπορεί να είναι εξοπλισμένα με δύο ή περισσότερους άξονες γνωστοί ως δίδυμοι ή πολυ-άξονες. Το βασικό πλεονέκτημα εδώ είναι ότι δύο ή περισσότερα ίδια εξαρτήματα μπορεί να είναι την ίδια στιγμή στην μηχανή με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας. Από την άλλη πλευρά αυτές οι μηχανές χάνουν συνήθως στην ακρίβεια διαστάσεων σε σύγκριση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι όπως:

- ∅ Οι αποστάσεις μεταξύ των αξόνων των ατράκτων να μην ακριβώς οι ίδιες λόγω του σχεδίου και της κατασκευής της μηχανής.
- ∅ Η διάμετρος, το μήκος και η φθορά των εργαλείων στους πολυ-άξονες είναι μεταβλητές.
- ∅ Η θερμοκρασία και τα αποτελέσματα της θερμικής διαστολής σε συγκεκριμένα σημεία σε όλο το μηχάνημα δεν είναι τα ίδια.



Εικόνα 1.9 Παντογράφος CNC



Εικόνα 1.10 Παντογράφος CNC

1.4.3 Κινητήρες εργαλειομηχανών

Λόγω της μεγάλης προόδου στα υλικά και στη σχεδίαση ηλεκτροκινητήρων αυτοί πλέον χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή κίνησης στις εργαλειομηχανές και στις κύριες ατράκτους (όπου είναι προσαρμοσμένα τα εργαλεία), αλλά και στους άξονες πρόωσης που απαιτούν ακριβή έλεγχο θέσης και ταχύτητας. Φθορά, θόρυβος, ταλαντώσεις, υπερθέρμανση, όγκος και συχνότητα συντήρησης απαιτείται να ελαχιστοποιούνται από τους κατασκευαστές των εργαλειομηχανών. Γενικά το σύστημα ενός σερβοκινητήρα αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

- ∅ Τον κινητήρα αυτό καθαυτό με ενσωματωμένο αναλογικό στροφόμετρο και συνήθως με πέδη (φρένο).
- ∅ Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα
- ∅ Μετασχηματιστή τροφοδοσίας του κινητήρα και του ελέγχου του συμπεριλαμβανομένης και της διάταξης ανόρθωσης του ρεύματος.
- ∅ Μηχανικό συμπλέκτη με τον φυσικό άξονα κίνησης, ενδεχομένως με δυνατότητα αποσύμπλεξης αν το φορτίο υπερβεί συγκεκριμένη τιμή.
- ∅ Πιθανά μετρητικό σύστημα μετατόπισης συνδεδεμένο με τον άξονα κίνησης άμεσα ή έμμεσα.
- ∅ Σε περιστροφικούς άξονες κίνησης, αλλά καμιά φορά και σε γραμμικούς, υπάρχει προσθήκη κιβωτίου σταθερής ή μεταβλητής σχέσης μετάδοσης για την καλύτερη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών ισχύος-ροπής του κινητήρα.

1. Κινητήρες πρόωσης

Στους κινητήρες για άξονες πρόωσης το κύριο ζητούμενο είναι η δυναμική συμπεριφορά των κινούμενων μαζών, δηλαδή κάθε αλλαγή των στροφών του κινητήρα πρέπει να γίνεται κατά το δυνατό ταχύτερα και χωρίς ταλαντώσεις. Επίσης η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα της κίνησης πρέπει να είναι υψηλές ανεξάρτητα από τις υπερνικούμενες δυνάμεις και οι ταχύτητες κίνησης να είναι υψηλότερες. Χρησιμοποιούνται κινητήρες συνεχούς

ρεύματος, σύγχρονοι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και βηματικοί κινητήρες.

2. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη

Λόγω της προόδου στα μαγνητικά υλικά χρησιμοποιούνται 4,6, ή 8 μόνιμοι μαγνητικοί πόλοι στον στάτη. Οι στροφές καθορίζονται με ρύθμιση της τάσης τροφοδοσίας του οπλισμού. Με την αύξηση του φορτίου η φυσική τάση πτώσης των στροφών εξισορροπείται με αύξηση της τάσης οπλισμού. Τέτοιοι κινητήρες θεωρητικά δίνουν όλη τη μέγιστη ροπή μέχρι και σε περίπου μηδενικές στροφές. Στην πράξη όμως υπάρχει όριο μεταγωγής στην ροπή η μέγιστη

τιμή της οποίας μειώνεται με την αύξηση των στροφών. Αυτό συμβαίνει ώστε να περιορίζεται το ρεύμα οπλισμού έτσι ώστε να μη δημιουργούνται υπερβολικοί σπινθήρες στις ψήκτρες που οδηγούν και στην καταστροφή του συλλέκτη. Παραλλαγή αυτών των κινητήρων αποτελούν κινητήρες με δρομέα μορφής δίσκου που έχουν μικρή ροπή αδράνειας, αλλά λόγω μικρής θερμοχωρητικότητας δεν μπορούν να δεχθούν υπερφόρτιση μακροχρόνια. Αυτοί τυπικά δίνουν μέγιστη ροπή 14 Nm και ισχύ 4.5 KW. Για μεγαλύτερη ισχύ χρησιμοποιούνται πολλαπλοί δίσκοι στο δρομέα.

3. Σύγχρονοι κινητήρες (σερβοκινητήρες) εναλλασσόμενου ρεύματος

Ο στάτης εδώ τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα σε κατάλληλα διαμορφωμένα τυλίγματα και ο δρομέας είναι μαγνητικός τροχός με αριθμό πόλων ίσο με αυτό του στάτη. Ο δρομέας περιστρέφεται με ίδια συχνότητα με αυτή του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη και συνεπώς η ταχύτητα περιστροφής ελέγχεται με ρύθμιση της συχνότητας πεδίου πράγμα που αναλαμβάνει ο 'αντιστροφέας συχνότητας'. Η ροπή είναι σταθερή και άρα η ισχύς αυξάνει ανάλογα με τις στροφές. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου κινητήρα σε σύγκριση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι : η έλλειψη συλλέκτη και ψηκτρών (άρα ελαχιστοποιείται η συντήρηση, δεν υπάρχουν όρια μεταγωγής και οι απώλειες είναι μειωμένες). οι μειωμένες απώλειες σε θερμότητα και άρα υψηλότερη διαθέσιμη ισχύς, οι μεγαλύτερες δυνατότητες επιτάχυνσης λόγω συγκριτικά χαμηλότερης ροπής αδράνειας.

4. Κινητήρες κύριας ατράκτου

Στους κινητήρες για κύριες ατράκτους το κύριο ζητούμενο είναι η εξασφάλιση αρκετής ισχύος και ικανού εύρους στροφών για την εκτέλεση της

κατεργασίας αλλά και η κατά το δυνατόν μικρότερη μεταβολή των στροφών του κινητήρα με τη μεταβολή του φορτίου. Η μεταβολή των στροφών πρέπει να είναι συνεχής.

5. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με εξωτερική διέγερση

Ο έλεγχος τους είναι δύο ειδών : οπλισμού και πεδίου. Έλεγχος των στροφών μέσω του οπλισμού αντιστοιχεί σε σταθερή ροπή, ενώ έλεγχος πεδίου αντιστοιχεί σε σταθερή ισχύ. Για συνδυασμένο έλεγχο οπλισμού - πεδίου απαιτείται ειδικό σύστημα ελέγχου το οποίο κατά την επιτάχυνση εξασφαλίζει πρώτα μέγιστη ένταση πεδίου (άρα και ροπή) την οποία μειώνει στη συνέχεια και κατά την επιβράδυνση ενεργεί αντίστροφα. Φροντίζοντας πάντοτε να μην γίνει υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης του ρεύματος οπλισμού. Σε κάθε περίπτωση το όριο μεταγωγής υπάρχει. Ας σημειωθεί ότι η μεταγωγή μπορεί να γίνει με ηλεκτρονικό τρόπο από θυρίστορ ή τρανζίστορ ισχύος και όσο πιο ομαλή είναι η κυματομορφή του ρεύματος τροφοδοσίας που λαμβάνεται από αυτές τις συσκευές τόσο καλύτερη απόδοση και ομαλότερη ροπή δίνει ο κινητήρας.

6. Ασύγχρονοι κινητήρες (επαγωγικοί) βραχυκυκλωμένου κλωβού

Εδώ ο δρομέας λειτουργεί σαν δευτερεύον σε στρεφόμενο μετασχηματιστή του οποίου το πρωτεύον είναι ο στάτης. Αυτός τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Λόγω επαγωγικής μεταφοράς της ισχύος στο στρόφείο δεν απαιτείται συλλέκτης πράγμα που δίνει απλότητα και ευκολία κατασκευής και συντήρησης στον τύπο αυτό του κινητήρα. Το μόνο μειονέκτημα του ήταν ότι δεν ήταν εύκολο να ρυθμιστούν οι στρόφες του. Αυτό όμως έχει ξεπερασθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος με χρήση αντιστροφών συχνότητας.

Ο έλεγχος στροφών επιτυγχάνεται πρακτικά μόνο μέσω της συχνότητας τροφοδοσίας f και με παράλληλο έλεγχο της τάσης ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες.

2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

2.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών είναι ο τύπος ελέγχου που χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές για την αναφορά στη θέση και την κίνηση των αξόνων της μηχανής, για τον ορισμό εργαλείων, στροφών ατράκτου κλπ. Η έννοια 'άξονα μηχανής' αναφέρεται σε ένα κινηματικό άξονα που αντιστοιχεί συνήθως σε γραμμική κίνηση, όπως η πρόωση του τραπεζιού μιας φρέζας, ή σε περιστροφική κίνηση, όπως η περιστροφή του διαιρέτη της φρέζας. Μία σειρά τέτοιων αριθμητικών τιμών αποτελεί ουσιαστικά το πρόγραμμα αριθμητικού ελέγχου. Τα σημερινά συστήματα ελέγχου CNC (Computer Numerical Control) χρησιμοποιούν επιπρόσθετα αριθμητικές τιμές και για λειτουργίες όπως ο μετασχηματισμός συστημάτων συντεταγμένων, η διαχείριση πινάκων δεδομένων, η αντιστάθμιση διαμέτρου και μήκους εργαλείου κλπ. Αυτές καθώς και επιπρόσθετες λειτουργίες γραφικών, επικοινωνίας με άλλους Η/Υ και περιφερειακά αντιδιαστέλλουν τον απλό αριθμητικό έλεγχο (NC) με αυτόν που βασίζεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Σήμερα πλέον δεν υφίσταται NC με την αρχική του έννοια, αλλά απλά CNC και αυτό εννοούμε πλέον με τον όρο 'αριθμητικός έλεγχος'.

Σε αντίθεση με τον παλαιότερο μηχανικό, πνευματικό ή υδραυλικό έλεγχο μηχανών και συσκευών, όπου ο ανα-προγραμματισμός ήταν εξαιρετικά χρονοβόρος διότι γινόταν με μετατόπιση οριακών διακοπών, βυσμάτων καλωδίων κλπ, αλλά και με τις πρώτες μονάδες αριθμητικού ελέγχου όπου η κύρια λειτουργία ήταν η μετατροπή αριθμητικών τιμών σε ηλεκτρικά σήματα, οι σημερινές μονάδες CNC εκτελούν σχετικά μεγάλης

έκτασης επεξεργασία των δεδομένων, κάτι που τους προσθέτει λειτουργικότητα αλλά και πολυπλοκότητα.

2.2 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ CNC ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

Από την στιγμή που θα πάρουμε το σχέδιο του κομματιού στα χέρια μας, αρχίζουμε με το μυαλό μας να φανταζόμαστε την κατεργασία, ώστε να καταλήξουμε σαν πρώτο βήμα σε τι μηχάνημα θα κατασκευαστεί το κομμάτι, τórνο ή κάθετο κέντρο κατεργασίας.

Εφόσον καταλήξουμε σε τι μηχάνημα θα κατεργαστεί, μελετάμε στο σχέδιο αν όλες οι διαστάσεις, μήκη-διάμετροι-τρύπες-σπειρώματα κλπ., αναφέρονται με ακρίβεια πάνω στο σχέδιο ώστε να αποφευχθούν τυχόν λάθη.

Δεύτερο βήμα είναι να μετρήσουμε με βάση το σχέδιο του κομματιού πόσα εργαλεία θα χρειαστούν για την κατεργασία (μανέλες, φρέζες, τρυπάνια, κολαούζα κλπ.).

Τρίτον, μελετάμε αν χρειαστεί δεύτερη ή και τρίτη φάση, δηλαδή δεύτερο ή και τρίτο πιάσιμο του κομματιού για να το ολοκληρώσουμε. Αυτό συμβαίνει σε πολύπλοκα εξαρτήματα.

Φυσικά, προσπαθούμε να τα κατεργαστούμε, αν είναι δυνατόν, με ένα πιάσιμο(εξαρτάται από το μηχάνημα κατεργασίας, πόσων αξόνων είναι) διότι έτσι θα έχουμε την μεγαλύτερη ακρίβεια στο κομμάτι. Προπάντων όταν πρόκειται για παραγωγικό κομμάτι, μειώνουμε σημαντικά το κόστος της παραγωγής, από το οποίο εξαρτάται η ανταγωνιστικότητα της επιχείρησης.

Το επόμενο βήμα είναι να καθορίσουμε το πάχος το μήκος κ.τ.λ. του ακατέργαστου υλικού το οποίο μας βολεύει για την κατεργασία. Και σ' αυτό το σημείο κοιτάζουμε να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερη φύρα λόγω του κόστους. Εδώ, θα πρέπει να σημειώσουμε και πάλι ότι η δουλειά του χειριστή προγραμματιστή δεν είναι μόνο η κατεργασία του κομματιού αλλά και να γίνει με το λιγότερο δυνατό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται με έξυπνους τρόπους πιασίματος, σωστή σειρά καλέσματος εργαλείων, μίγμα πλακιδίων, γρήγορος τρόπος αλλαγής κομματιών κλπ.

Κατά την τοποθέτηση του κομματιού στο μηχάνημα, προσέχουμε να είναι το κομμάτι καλά και καθαρά πιασμένο, διότι και από εδώ θα εξαρτηθεί το καλό αποτέλεσμα.

Συνεχίζουμε με το να δώσουμε το μηδενικό σημείο στο κομμάτι. Καλό και έξυπνο είναι να έχουμε το ίδιο μηδενικό σημείο στο σχέδιο όπως και στο μηχάνημα. Αυτό μας διευκολύνει ιδιαίτερα στο προγραμματισμό. Εφόσον έχουμε τοποθετήσει το κομμάτι σωστά στο μηχάνημα ξεκινάμε το προγραμματισμό με βάση το σχέδιο που κρατάμε στα χέρια μας. Φανταζόμαστε την κατεργασία του πρώτου εργαλείου και στην συνέχεια μετατρέπουμε την σκέψη μας σε “G” και “M” στο CNC μηχάνημα. Για την ευκολία του προγραμματισμού, όταν έχουμε σε ένα εξάρτημα πολλές επαναλαμβανόμενες κινήσεις, τρυπημάτων, σπειρωμάτων κλπ., χρησιμοποιούμε διάφορους κύκλους (G 81-G 83-G71 κλπ. αναφέρονται στα εγχειρίδια του μηχανήματος). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγουμε χρονοβόρο προγραμματισμό.

Όταν τελειώσουμε με τον προγραμματισμό ενός εργαλείου, εκτελούμε την κατεργασία στην πράξη βήμα-βήμα (single block) με προσοχή και αργές κινήσεις G0 κινήσεις μέχρι να τελειώσει η κατεργασία αυτού του εργαλείου. Σταματάμε το μηχάνημα, ελέγχουμε την κατεργασία και συνεχίζουμε με αυτόν τον τρόπο. Εφόσον έχουμε τελειώσει πλήρως το εξάρτημα και όλα πήγαν καλά ξεκινάμε το μέτρημα του με τα κατάλληλα όργανα μετρήσεως, αν έχουμε πραγματικά τις διαστάσεις του σχεδίου. Συνήθως χρειάζονται κάποιες μικροδιορθώσεις μετά το πρώτο κομμάτι. Επίσης, σε μια παραγωγική κατεργασία πρέπει τα κομμάτια να μετρούνται περιοδικά διότι με την φθορά των πλακιδίων- κονδυλίων αλλάζουν οι επιφάνειες όσο και οι διαστάσεις των κομματιών. Άρα πρέπει να ελέγχουμε τα κομμάτια ώστε να αλλάζουμε εγκαίρως διαστάσεις, πλακίδια, κολαούζα κ.λπ.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε πως ο CNC χειριστής προγραμματιστής φέρει μεγάλη ευθύνη για την ποιότητα του προϊόντος.

2.3 ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ø ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ :

Σκέψη, ορισμός προδιαγραφών και σχεδιασμός τεμαχίου.

Ø CAD:

Μετάφραση της σκέψης στον υπολογιστή. Σχεδιασμός του τεμαχίου σε πρόγραμμα 3D (τρισεδιάστατης απεικόνισης).

Ø CAM:

Μετατροπή του 3D σχεδίου με την χρήση του υπολογιστή στην γλώσσα της μηχανής.

Ø ΈΛΕΓΧΟΣ:

Κατεύθυνση των κινήσεων της μηχανής.

Ø ΚΑΤΕΡΓΑΣΪΑ:

Κατασκευή του τεμαχίου σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

2.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ CAD/CAM/CAE

2.4.1 CAD-Computer Aided Design

Το CAD είναι η ψηφιακή δημιουργία ενός προϊόντος, εξαρτήματος ή συναρμολογήματος.

Ως έννοια περιλαμβάνει τον αρχικό σχεδιασμό των ιδεών που σχετίζονται με την δημιουργία ενός αντικειμένου, το βιομηχανικό σχεδιασμό που περιλαμβάνει το σχεδιασμό ελεύθερων επιφανειών και μετέπειτα τον λεπτομερή σχεδιασμό που θα καθορίσει την τελική μορφή του προϊόντος

όπως την έχει συλλάβει ο σχεδιαστής. Η ψηφιακή αυτή δημιουργία μπορεί να γίνει αντικείμενο περαιτέρω ανάλυσης προτού πάρει έγκριση για να προωθηθεί στην παραγωγή. Η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την διάρκεια του σχεδιασμού επιτρέπει γρήγορες και ακριβείς τροποποιήσεις και ελαχιστοποιεί τα λάθη που προέρχονται από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό CAD μπορούν να παραχθούν πιο καινοτόμα σχέδια σε μικρό χρονικό διάστημα και με μικρότερο κόστος. Με ένα CAD λογισμικό για τρισδιάστατη στερεά μοντελοποίηση υπάρχει καλύτερη αντίληψη του μοντέλου και μπορούμε να δημιουργήσουμε σχέδια παραγωγής, τρισδιάστατα σχέδια, σχέδια διαδικασιών συναρμολόγησης, φωτορεαλιστικές εικόνες και κινηματική προσομοίωση.

2.4.2 CAM-Computer Aided Manufacturing

Το CAM είναι η διαδικασία όπου τα CAD δεδομένα επεξεργάζονται με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή για την καθοδήγηση CNC εργαλειομηχανών.

Η ψηφιακή πληροφορία ενός κομματιού εισάγεται στο σύστημα CAM από το λογισμικό CAD. Η πληροφορία μπορεί να είναι σε δισδιάστατη ή τρισδιάστατη μορφή, ανάλογα με την κατεργασία για την οποία προορίζεται.

2.4.3 CAE-Computer Aided Engineering

Το CAE είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την προσομοίωση, την επαλήθευση και την ανάλυση που πραγματοποιείται σε ένα ψηφιακό μοντέλο, προϊόν ή συναρμολόγημα με την βοήθεια του Η/Υ. Με τα προγράμματα CAE εξετάζεται και αξιολογείται η απόδοση ενός προϊόντος, πριν το στάδιο της παραγωγής χωρίς να χρειαστεί να δημιουργηθεί ένα

φυσικό πρωτότυπο. Με εξελιγμένα εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης οι μηχανικοί μπορούν να δοκιμάσουν τη δομική και θερμική απόδοση, τις δονήσεις, την ανθεκτικότητα και την κινησιακή απόδοση του προϊόντος από το τρισδιάστατο CAD σχέδιο. Ορισμένα CAD/CAM συστήματα περιλαμβάνουν κάποια απλά εργαλεία ανάλυσης, αλλά για πιο απαιτητικές αναλύσεις υπάρχουν πιο εξειδικευμένα προγράμματα. Επιπρόσθετα υπάρχει μία γκάμα εργαλείων βιομηχανικής ανάλυσης και προσομοίωσης, όπως η ανάλυση ροής πλαστικού και η επαλήθευση της βελτιστοποίησης της διαδικασίας injection moulding. Η διαδικασία χύτευσης μετάλλου μπορεί να προσομοιωθεί και να βελτιστοποιηθεί ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη ακριβών πρώτων υλών και εξασφαλίζοντας ένα χυτό υψηλής ποιότητας.

2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Ήδη έχει διαφανεί η υπεροχή των ψηφιακών καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συμβατικές. Αξίζει όμως να παρουσιαστούν συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της σύγχρονης αυτής τεχνολογίας του αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανών:

- Ø **Η παραγωγή τεμαχίων σύνθετης γεωμετρίας με υψηλή διαστατική ακρίβεια και ποιότητα μορφής.** Η σύγχρονη κίνηση σε πολλούς άξονες επιτρέπει την κατεργασία σύνθετων επιφανειών στο χώρο. Σε πολλές περιπτώσεις δεν απαιτούνται κατασκευαστικά σχέδια για τεμάχια με μορφή που μπορεί να περιγραφεί από μαθηματικές σχέσεις.
- Ø **Η αυτοματοποιημένη παραγωγή αυξάνει τη χωρίς λάθη παραγωγή και αναπαραγωγή των τεμαχίων.** Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το ποσοστό των ελαττωματικών κομματιών και περιορίζεται η διάρκεια του ελέγχου ποιότητας. Βελτιώνεται η επανάληψη της κατεργασίας αφού ο τεχνίτης δεν καθοδηγεί αλλά επιβλέπει και ελέγχει την μηχανή. Αντίθετα στις συμβατικές εργαλειομηχανές εισέρχονται

πολλά λάθη χειριστή λόγω απειρίας, έλλειψης προσοχής ή και κόπωσης.

- Ø **Η ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων.** Πρόκειται για τους χρόνους σχεδίασης και κατασκευής συσκευών πρόσδεσης, ρύθμισης της μηχανής, δεσίματος και λυσίματος των τεμαχίων, αλλαγή κοπτικών εργαλείων κλπ. Επίσης ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά λόγω των μεγάλων ταχυτήτων και προώσεων κοπής. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει σαφής έλεγχος και προγραμματισμός της παραγωγής, αφού ο συνολικός χρόνος κατεργασίας είναι καθορισμένος με ακρίβεια.
- Ø **Η ευκολία προγραμματισμού** της μηχανής που οφείλεται στην χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, επιφέρει μεγάλη ευελιξία στις κατεργασίες που εκτελούνται. Επειδή το πρόγραμμα καθοδήγησης για κάθε κομμάτι αποθηκεύεται σε ηλεκτρονική μορφή είναι πολύ εύκολη η παραγωγή παραλλαγών ενός προϊόντος, που έχει ήδη κατασκευαστεί. Μάλιστα απαιτούνται λιγότερες ιδιοσυσκευές συγκράτησης αφού λόγω της ευελιξίας των μη συμβατικών εργαλειομηχανών, χρειάζονται λιγότερα δεσίματα για να γίνουν οι ίδιες κατεργασίες. Επίσης μειώνεται το κόστος κατασκευής και αποθήκευσης των ιδιοσυσκευών συγκράτησης που για μεγάλα μηχανουργεία είναι ιδιαίτερα υψηλό.
- Ø **Η σημαντική βελτίωση της ασφάλειας εργασίας,** αφού χειριστής κατά την διάρκεια της κοπής είναι σε αρκετή απόσταση από το κοπτικό εργαλείο. Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, το σώμα, αλλά κυρίως τα χέρια και τα μάτια του χειριστή είναι πολύ κοντά στην θέση κοπής. Ο χειριστής πρέπει να είναι συνεχώς σε εγρήγορση κάτι που τον κουράζει και πνευματικά εκτός από σωματικά.
- Ø **Η αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και κατά συνέπεια της ανταγωνιστικότητας** μιας επιχείρησης. Σε αυτό συμβάλλουν η μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής και η δυνατότητα βελτιστοποίησης της κατεργασίας. Έτσι η μείωση των νεκρών χρόνων και οι μικρότερες ανάγκες σε προσωπικό μειώνουν το λειτουργικό κόστος του μηχανουργείου. Η χρήση και των δύο εργαλειομηχανών στην αρχή είναι ζημιογόνα μια και δεν αποσβένεται το κόστος αγοράς τους. Στην

πορεία όμως η ψηφιακή εργαλειομηχανή αποσβένεται περίπου στο 1/3 του χρόνου μιας συμβατικής, ενώ φτάνει σε μεγαλύτερη απόδοση πολύ γρηγορότερα. Αυτό συμβαίνει, επειδή ένας τεχνίτης μπορεί να επιβλέπει και να εξυπηρετεί ακόμα και δύο ή τρεις ψηφιακές εργαλειομηχανές. Επίσης ανά τεμάχιο είναι πια μικρότερο, ενώ η διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων είναι η καλύτερη δυνατή, αφού οι χρόνοι κοπής και οι βέλτιστες συνθήκες εργασίας είναι γνωστά.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών εμφανίζονται κυρίως σε μικρά μηχανουργεία λόγω της δυσκολίας να υιοθετήσουν νέες παραγωγικές δομές. Αυτά είναι τα εξής:

- Ø **Το μεγάλο κόστος αγοράς τους**, που στην καλύτερη περίπτωση είναι πέντε φορές μεγαλύτερο από την αντίστοιχη συμβατική εργαλειομηχανή. Βέβαια σε περίπτωση μεγάλων παρτίδων παραγωγής ή όγκου εργασίας η απόσβεση τού κόστους αυτού γίνεται πολύ γρήγορα. Τα μικρά όμως μηχανουργεία, που ασχολούνται με απλές κατασκευές και εργασίες επισκευής έχουν αντικειμενική δυσκολία να επενδύσουν μεγάλα ποσά σε σύγχρονες εργαλειομηχανές.
- Ø **Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές απαιτούν εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό**, για να τις προγραμματίζει να τις ρυθμίζει και να τις συντηρεί. Μάλιστα η εκπαίδευση είναι μακροχρόνια και διαρκής. Οι χειριστές τέτοιων εργαλειομηχανών έχουν μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα αλλά είναι και υψηλότερα αμειβόμενοι από τους τεχνίτες συμβατικών εργαλειομηχανών.

2.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Κώδικας G : Προπαρασκευαστικές εργασίες – αναφορά σε κίνηση του εργαλείου.

Κώδικας M : Διάφορες εργασίες – αναφορά σε εργασίες απαραίτητες για την κατεργασία (κίνηση ατράκτου on/off, ψυκτικό on/off)

Κώδικας N : Αριθμός αναγνώρισης για κάθε μπλοκ

Κώδικας X, Y, Z : προσδιορισμός του άξονα του συστήματος συντεταγμένων (ο αριθμός μετά τον κώδικα δηλώνει την συντεταγμένη στο τέλος της κίνησης συναρτήσει είτε ενός απόλυτου ή ενός σχετικού σημείου αναφοράς. Ο αριθμός μπορεί να απαιτείται να ακολουθεί συγκεκριμένη διαμόρφωση).

Κώδικας I, J, K : Προσδιορισμός του συστήματος συντεταγμένων για την περίπτωση του κέντρου κύκλου.(ο αριθμός μετά τον κώδικα δηλώνει την συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου)

Κώδικας S : Προσδιορισμός της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου.

Κώδικας F : Προσδιορισμός της ταχύτητας πρόωσης.

Κώδικας R : Διαδρομή προσεγγίσεως όταν χρησιμοποιείται με τις εντολές G 81, 82, 83.

Ακτίνα όταν χρησιμοποιείται με τις εντολές G 02,G 03

Κώδικας P : Προσδιορισμός του χρόνου αναμονής σε σχέση με την εντολή G 04.

Κώδικας L : Επαναλήψεις

% : Ένδειξη εκκίνησης του προγράμματος.

1025 : Αναγνώριση του προγράμματος (ακολουθεί πάντα το σύμβολο %).

Οι δύο τελευταίες εντολές είναι οι μόνες που δεν ξεκινούν με γράμμα.

2.6.1 Βασικές εντολές κίνησης

Κώδικας G00 : Πρόκειται για μια εντολή μόνιμης εργασίας. Χρησιμοποιεί σύστημα ελέγχου σημείου. Η προσέγγιση του σημείου γίνεται χωρίς τον καθορισμό της τροχιάς κίνησης με την μέγιστη ταχύτητα. Κατά την διάρκεια της κίνησης δεν επιτελείται κοπή.

Κώδικας G01 : Με αυτήν την εντολή έχουμε ταχεία κίνηση του εργαλείου σε ευθύγραμμο τμήμα.

Κώδικας G02 :Κυκλική παρεμβολή, για κυκλικές τροχιές κατά την φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού(δεξιόστροφα).

Κώδικας G03 : Κυκλική παρεμβολή, για κυκλικές τροχιές αντίστροφα της φοράς περιστροφής των δεικτών(αριστερόστροφα).

Κώδικας G04 : Χρονική καθυστέρηση προγραμματισμένης ή καθορισμένης διάρκειας χωρίς να είναι επαναλαμβανόμενη ή διαδοχική.

Κώδικας G28 : Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του κοπτικού εργαλείου από την περιοχή της κατεργασίας για την αλλαγή κοπτικού εργαλείου με ασφάλεια.

Κώδικες G41 & G42 : Η τροχιά του κέντρου του κοπτικού εργαλείου δεν ταυτίζεται με αυτήν της γεωμετρίας του κομματιού. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η αντιστάθμιση η οποία είναι ο αυτόματος υπολογισμός της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου με βάση την διάμετρο κ την ακτίνα του κοπτικού. Οπότε έχουμε για G41 όταν το κομμάτι βρίσκεται στα δεξιά του εργαλείου αντιστάθμιση αριστερά κ για G42 όταν το κομμάτι βρίσκεται στα αριστερά του εργαλείου αντιστάθμιση δεξιά. Ο κώδικας αυτός προηγείται της κίνησης.

Κώδικας G40 : Με αυτήν την εντολή επιτυγχάνεται η ακύρωση της αντιστάθμισης και ενεργοποιείται αυτόματα από την E/M στην αρχή κάθε προγράμματος. Πρόκειται για εντολή μόνιμης εργασίας.

Κώδικες G43 & G44 : Με αυτές τις εντολές επιτυγχάνουμε την αντιστάθμιση ύψους προς την θετική (G43) ή προς την αρνητική (G44) κατεύθυνση.

Κώδικας G49 : Ακύρωση αντιστάθμισης του μήκους του κοπτικού εργαλείου.

Κώδικας G90 : Προγραμματισμός σε απόλυτο σύστημα συντεταγμένων.

Κώδικας M00 : Προγραμματισμένη παύση της εργαλειομηχανής.

Κώδικας M02 : Τέλος προγράμματος.

Κώδικας M03 : Δεξιόστροφη περιστροφή της ατράκτου.

Κώδικας M04 : Αριστερόστροφη περιστροφή της ατράκτου.

Κώδικας M05 : Διακοπή περιστροφής της ατράκτου.

Κώδικας M06 : Αλλαγή του κοπτικού εργαλείου.

Κώδικας M07 : Ενεργοποίηση της ροής του ψυκτικού υγρού.

Κώδικας M09 : Σταμάτημα της ροής του ψυκτικού υγρού.

Κώδικας M30 : Τέλος του προγράμματος κ επιστροφή στην αρχή.

Μια τυπική μορφή μιας εντολής (μπλοκ) προγραμματισμού CNC είναι ως εξής:

N135 G01 X1.0 Y1.0 Z0.125 F5

Στη σύνταξη και εγγραφή του προγράμματος κοπής υπάρχουν και κάποιοι κανόνες - περιορισμοί. Αυτοί αναγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια:

1. Κάθε μπλοκ περιέχει μόνο μια κίνηση ενός εργαλείου.
2. Μπορούν να περιέχουν περισσότερες της μιας εντολής G που δεν αντιστοιχούν σε κίνηση του εργαλείου.
3. Κάθε μπλοκ περιέχει μόνο μία εντολή ταχύτητας πρόωσης.
4. Κάθε μπλοκ περιέχει μόνο μια εντολή ταχύτητας περιστροφής του εργαλείου.
5. Η αρίθμηση των μπλοκ πρέπει να είναι συνεχείς.
6. Τόσο η εντολή εκκίνησης όσο και η εντολή τέλους πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τις άλλες εντολές.
7. Τα δεδομένα σε ένα μπλοκ πρέπει να ακολουθούν την διάταξη που φαίνεται παραπάνω.

3. ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο κοπτικά εργαλεία χαρακτηρίζουμε τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε για την κατεργασία μεταλλικών ή μη μεταλλικών υλικών με τις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού. Τα κοπτικά εργαλεία έχουν εφαρμογές σε πολλές κατεργασίες όπως το τρνίρισμα, το φρεζάρισμα κ.α. Η χρήση τους είναι να αφαιρούν υλικό από το κομμάτι που κατεργαζόμαστε με τη μέθοδο της κοπής και γι' αυτό ονομάζονται κοπτικά εργαλεία. Τα κοπτικά εργαλεία χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές από **τη γεωμετρία τους, τα υλικά από τα οποία αποτελούνται, την κατεργασία που πραγματοποιούν, τον τρόπο κατασκευής τους**. Φυσικά δε μπορούμε να παραλείψουμε και τα

βοηθητικά μέσα κατεργασίας των κοπτικών εργαλείων, τα οποία είναι τα υγρά κοπής.

3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

3.2.1 Σημασία της γεωμετρίας των κοπτικών εργαλείων

Η έλλειψη πληροφοριών για τη γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων και την επίδρασή της στο αποτέλεσμα της κατεργασίας μπορεί να εξηγηθεί όπως ακολουθεί. Πολλά σημαντικά συμπεράσματα για τη γεωμετρία των εργαλείων δημοσιεύτηκαν πολύ καιρό πριν τα λειαντικά μηχανήματα τεχνολογίας CNC να είναι ικανά να αναπαράγουν οποιασδήποτε γεωμετρίας εργαλεία, και οι υπολογιστές να υπολογίσουν τις παραμέτρους τέτοιας γεωμετρίας που δεν ήταν κοινή. Ήταν λοιπόν εξαιρετικά δύσκολο να αναπαραχθεί η κατάλληλη γεωμετρία με τη χρήση χειροκίνητων μηχανημάτων. Με αποτέλεσμα τα μοναδικά κεφάλαια σε βιβλία, για τη γεωμετρία εργαλείων για την κοπή μετάλλων και τη σχεδίαση τους, να μειώνονται σε λίγες σελίδες, στις οποίες δεν εξετάστηκε σωστά κανένας συσχετισμός ανάμεσα στη γεωμετρία και την απόδοση των εργαλείων. Αυτό που έμεινε ήταν μια γενική αντίληψη ότι η αποκαλούμενη θετική γεωμετρία είναι με κάποιον τρόπο καλύτερη από την αρνητική. Καθώς δεν υπάρχει ποσοτική ερμηνεία της λέξης «καλύτερη» σε μια γλώσσα με τεχνικά δεδομένα, ένας μεγάλος αριθμός από άρθρα γραφόταν σε πολλά επαγγελματικά περιοδικά συζητώντας τα ποιοτικά προτερήματα της θετικής γεωμετρίας.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η μεταλλουργική βιομηχανία υποβλήθηκε σε αρκετές σημαντικές αλλαγές, που πρέπει να κάνουν τη γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων πρώτο μέλημα του σχεδιασμού και της εφαρμογής των εργαλείων. Αυτές οι αλλαγές είναι:

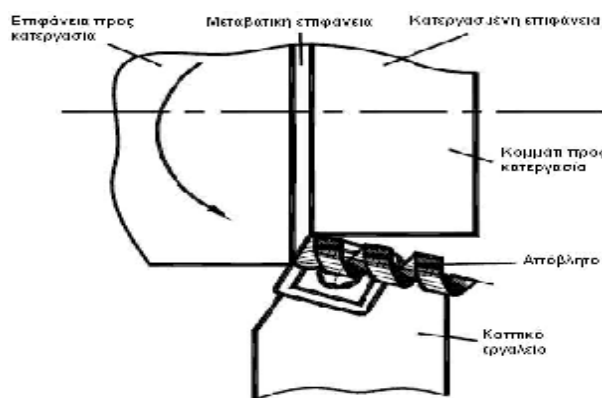
- Ø Για δεκαετίες η μέτρηση της ακριβής γεωμετρίας των πραγματικών κοπτικών εργαλείων ήταν μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία καθώς δεν ήταν διαθέσιμος κανένας ειδικός εξοπλισμός εκτός από τα μικροσκόπια των βιομηχανιών κατασκευής εργαλείων. Σήμερα, αυτοματοποιημένα συστήματα επιθεώρησης της γεωμετρίας των εργαλείων είναι διαθέσιμα στην αγορά όπως το ZOLLER Genius3, το Helicheck®, το Heli-Toolcheck® κ.ά.
 - Ø Μια σύγχρονη λειαντική μηχανή είναι τυπικά μια CNC εργαλειομηχανή, συνήθως με 4, 5 ή 6 άξονες. Εξαιρετικά σκληρά και ιδιαίτερα υλικά δεν αποτελούν πρόβλημα για τα σημερινά λειαντικά συστήματα και οι μηχανές πολλαπλών αξόνων είναι ικανές για την παραγωγή πολύ σύνθετων γεωμετριών.
 - Ø Οι προηγμένες βιομηχανίες κατασκευής πλακιδίων (ένθετων) κοπτικών εργαλείων, έχουν τελειοποιήσει την τεχνολογία κατασκευής με αποτέλεσμα να μπορούν να παράγουν οποιαδήποτε επιθυμητή μορφή πλακιδίου με πολύ μικρή ανοχή και μεγάλη ακρίβεια.
 - Ø Πολλές κατασκευαστικές εταιρίες έχουν ανανεώσει τα μηχανήματα, τα εξαρτήματα και τους εργαλειοφορείς. Τα σύγχρονα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν ισχυρούς και άκαμπτους άξονες που μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες. Έχουν οδηγούς πρόωσης μεγάλης ακρίβειας και εργαλειοφορείς δυνατής και αξιόπιστης συγκράτησης.
 - Ø Πολλές εταιρίες έχουν καθιερώσει αυστηρούς ελέγχους και συντήρηση των ψυκτικών μονάδων τους. Γίνονται διαδεδομένοι οι έλεγχοι της συγκέντρωσης ψυκτικού μέσου, θερμοκρασίας, χημικής σύνθεσης, pH, αρίθμηση μορίων και έλεγχος νόθευσης από έλαια αργυτών, βακτηρίδια κ.ά.
- Όλα αυτά ώθησαν το σχεδιασμό εργαλείων, περιλαμβανομένων πρωτίστως τα υλικά των εργαλείων και τη γεωμετρία τους, σε πρώτο μέλημα, έτσι ώστε καμία δικαιολογία για τη φτωχή επίδοση των κοπτικών εργαλείων να μη γίνεται αποδεκτή.

Η γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων είναι πρωταρχικής σημασίας επειδή έχει άμεσα επιπτώσεις σε:

1. **Έλεγχος θραύσματος.** Η γεωμετρία των εργαλείων καθορίζει την κατεύθυνση της πορείας των θραυσμάτων. Η κατεύθυνση αυτή είναι σημαντική για να ελέγξει τη θραύση και την εκκένωση.
2. **Παραγωγικότητα της κατεργασίας.** Η πρόωση της κοπής είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στην αύξηση της παραγωγικότητας. Αυτή η πρόωση μπορεί να αυξάνεται σημαντικά με τη ρύθμιση της γωνίας της θέσης του κοπτικού εργαλείου. Για παράδειγμα η πιο διαδεδομένη χρήση αυτού του χαρακτηριστικού βρίσκεται στο φρεζάρισμα, όπου η αύξηση της κύριας γωνίας στις 45^0 , επιτρέπει να αυξηθεί η πρόωση κατά 1,4 έως να διπλασιαστεί. Σε αυτή την περίπτωση ενεργοποιείται η παροχή ψυκτικού, για να μειώσει τα σημάδια που αφήνονται στην επεξεργασμένη επιφάνεια λόγω της αυξημένης πρόωσης.
3. **Διάρκεια ζωής κοπτικών εργαλείων.** Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου έχει άμεση επίπτωση στη διάρκεια ζωής του, καθώς αυτή καθορίζει το μέγεθος και την κατεύθυνση της δύναμης κοπής και των συνιστωσών της, την ταχύτητα ολίσθησης στην αλληλεπίδραση εργαλείου-θραύσματος, στον καταμερισμό της θερμότητας, που απελευθερώνεται από την κατεργασία και στη διανομή θερμοκρασίας στη γωνία κοπής.
4. **Η κατεύθυνση και το μέγεθος της δύναμης κοπής και των συνιστωσών της.** Η γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων έχει τέσσερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τα μεγέθη των ορθογώνιων χαρακτηριστικών της δύναμης κοπής. Τη γωνία αποβλήτου, τη γωνία κοπτικής πλευράς, τη γωνία της δευτερεύουσας κοπτικής πλευράς και τη γωνία ελευθερίας.
5. **Ποιότητα κατεργασίας.** Ο συσχετισμός μεταξύ της γεωμετρίας των εργαλείων και της θεωρητικής τοπογραφίας της κατεργασμένης επιφάνειας είναι κοινή λογική. Η επιρροή της γεωμετρίας κοπής στην υπόλοιπη πίεση κατεργασίας, συνειδητοποιείται εύκολα αν κάποιος αναλογιστεί ότι αυτή η γεωμετρία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση της πίεσης στη ζώνη παραμόρφωσης, δηλαδή γύρω από το εργαλείο.

3.2.2 Βασικοί όροι και ορισμοί

Η γεωμετρία και η ονοματολογία των κοπτικών εργαλείων είναι εκπληκτικά περίπλοκα θέματα. Είναι δύσκολο, για παράδειγμα, να καθορίσουμε τα κατάλληλα επίπεδα στα οποία οι διάφορες γωνίες των κοπτικών εργαλείων πρέπει να μετρηθούν. Η απλούστερη κοπτική λειτουργία είναι αυτή, στην οποία ένα ίσια τροχισμένο εργαλείο κινείται με σταθερή ταχύτητα σε μία κάθετη στην κοπτική πλευρά κατεύθυνση. Αυτή είναι γνωστή ως ορθογωνική κοπή.



Σχήμα 3.1

Το κομμάτι προς κατεργασία θεωρούμε ότι έχει δύο επιφάνειες. Την επιφάνεια προς κατεργασία και την κατεργασμένη επιφάνεια. Στην πράξη υπάρχει και μία επιπλέον επιφάνεια, η μεταβατική επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Η επιφάνεια αυτή βρίσκεται πάντα ανάμεσα στις δύο προηγούμενες. Η παρουσία της ξεχωρίζει την ορθογωνική κοπή και άλλες διαδικασίες κατεργασίας από την απλή διαμόρφωση και το πλανάρισμα. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην πραγματικότητα την κατεργασμένη επιφάνεια δεν τη διαμορφώνει η γωνία κοπτικής πλευράς, αλλά η αιχμή του κοπτικού εργαλείου και η γωνία της δευτερεύουσας κοπτικής πλευράς. Δυστυχώς δε δίνεται πολύ σημασία σε αυτά τα δύο χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του εργαλείου.

3.2.3 Επίδραση των γωνιών των εργαλείων

Υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα για τη γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων:

Το αμερικάνικο πρότυπο B94.50-1975 και το ISO 3002/1. Αν και τα δύο πρότυπα είναι ξεπερασμένα και δεν αποτελούν σημαντικές αλλαγές στις βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλου και στις προόδους της θεωρίας και της πρακτικής της κοπής μετάλλου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιπροσωπεύσουν τη βασική γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων.

Η γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων περιλαμβάνει διάφορες γωνίες που μετριοούνται σε διάφορα επίπεδα. Αυτές οι γωνίες είναι οι εξής:

∅ **Γωνία κοπής:** Η γωνία κοπτικής πλευράς έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διαδικασία κοπής, γιατί για ένα δεδομένο πάσο και βάθος κοπής, καθορίζει το πάχος του άκοπου απόβλητου, το πλάτος της κοπής και κατά συνέπεια τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Το φυσικό υπόβαθρο αυτού του φαινομένου εξηγείται παρακάτω: Όταν η γωνία κοπής μειώνεται το πάχος του αποβλήτου αυξάνεται αντίστοιχα επειδή το ενεργό μέρος της κοπτικής πλευράς αυξάνεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση αφαίρεσης θερμότητας από το εργαλείο και φυσικά την αύξηση της διάρκειας ζωής του. Για παράδειγμα αν ένα κοπτικό εργαλείο HSS φρεζαρίσματος προσώπου με $Kr=60^\circ$ έχει 100% διάρκεια ζωής, όταν το $Kr=30^\circ$ η διάρκεια ζωής είναι 190% και όταν το $Kr=10^\circ$ η διάρκεια ζωής εκτοξεύεται στο 650%. Φυσικά η μείωση της γωνίας κοπής έχει και μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η αύξηση της ακτινωτής συνιστώσας δύναμης κοπής, η οποία μειώνει την ακρίβεια και τη σταθερότητα της κατεργασίας, ιδιαίτερα όταν η μηχανή, ο εργαλειοφορέας και το κομμάτι προς κατεργασία δεν είναι ιδιαίτερα άκαμπτο.

∅ **Η γωνία αποβλήτου:** Η γωνία αποβλήτου χωρίζεται σε τρία είδη: θετική, μηδενική (κάποιες φορές αναφέρεται και ως ουδέτερη) και αρνητική. Γενικά είναι αποδεκτό ότι μία αύξηση στη γωνία αποβλήτου μειώνει την

κατανάλωση ιπποδύναμης ανά όγκο μονάδων του στρώματος που αφαιρείται σε ποσοστό 1% ανά μοίρα που αρχίζει από $\gamma=-20^{\circ}$. Σαν αποτέλεσμα, η δύναμη κοπής και η θερμοκρασία επαφών εργαλείου-αποβλήτου αλλάζουν με παρόμοιο τρόπο. Έτσι είναι λογικό να επιλεχθεί μία υψηλή θετική γωνία αποβλήτου για τις πρακτικές διαδικασίες κοπής. Εντούτοις η καθημερινή πρακτική κατεργασίας, μας δείχνει ότι υπάρχουν μειονεκτήματα με την αύξηση αυτής της γωνίας. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι η δύναμης της σφήνας κοπής μειώνεται όταν αυξήσουμε τη γωνία αποβλήτου. Όταν κόβουμε με θετική γωνία αποβλήτου, η κανονική δύναμη στις διεπαφές εργαλείου-αποβλήτου προκαλεί κάμψη της άκρης της σφήνας κοπής. Η κάμψη αυτή μειώνει σημαντικά τη δύναμη της σφήνας κοπής, με αποτέλεσμα να σπάει. Επιπλέον, η περιοχή επαφής εργαλείου-αποβλήτου μειώνεται και έτσι το σημείο εφαρμογής της κανονικής δύναμης μετατοπίζεται πιο κοντά στην κοπτική πλευρά. Αντίθετα, κατά την κοπή με ένα εργαλείο που έχει αρνητική γωνία αποβλήτου, η κανονική δύναμη προκαλεί συμπίεση του στελέχους του εργαλείου. Επειδή τα υλικά των εργαλείων έχουν πολύ μεγάλη δύναμη συμπίεσης, η δύναμη της κοπτικής πλευράς σε αυτή τη περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερη, αν και η κανονική δύναμη είναι μεγαλύτερη από αυτή για τα εργαλεία με θετική γωνία αποβλήτου. Ένα άλλο ουσιαστικό μειονέκτημα είναι ότι η περιοχή της μέγιστης θερμοκρασίας επαφής εργαλείου-αποβλήτου μετατοπίζεται προς την κύρια κοπτική πλευρά, όταν η γωνία αποβλήτου αυξάνεται, πράγμα το οποίο μειώνει τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Στην πραγματικότητα η γωνία αποβλήτου δεν είναι μια ανεξάρτητη μεταβλητή στο στάδιο της επιλογής της γεωμετρίας του εργαλείου, επειδή η επίδραση της γωνίας αποβλήτου εξαρτάται από άλλες παραμέτρους της γεωμετρίας των κοπτικών εργαλείων και της διαδικασίας κοπής. Επιπλέον, η γωνία αποβλήτου υπαγορεύεται συχνά από την ανάγκη εφαρμογής γρεζοσπαστών, παρά από άλλες παραμέτρους της διαδικασίας κοπής όπως η διάρκεια ζωής των εργαλείων, η κατανάλωση ισχύος και η δύναμη κοπής.

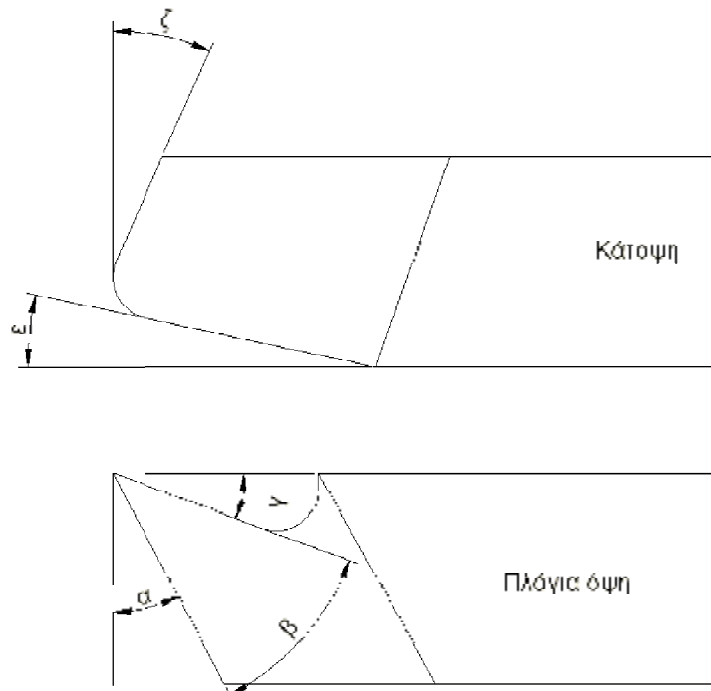
Ø **Η γωνία ελευθερίας:** Αν η γωνία ελευθερίας $\alpha=0^{\circ}$ τότε η επιφάνεια των πλευρών των κοπτικών εργαλείων έρχεται σε πλήρη επαφή με το κομμάτι προς κατεργασία. Τότε λόγω της συμπίεσης του υλικού του κομματιού,

αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής που οδηγεί συνήθως στη θραύση των κοπτικών εργαλείων. Η γωνία ελευθερίας έχει συνήθως επιπτώσεις στην απόδοση του κοπτικού εργαλείου κυρίως με τη μείωση της τριβής στις επιφάνειες των πλευρών του εργαλείου. Όταν το άκοπο πάχος του απόβλητου είναι μικρό (λιγότερο από 0,02mm) αυτή η γωνία πρέπει να κυμαίνεται από 30° έως 35° για να επιτυγχάνεται η μέγιστη ζωή των εργαλείων. Η γωνία ελευθερίας έχει άμεσα επιπτώσεις στη ζωή των εργαλείων. Όταν η γωνία ελευθερίας αυξάνεται, η γωνία σφήνας β μειώνεται. Υπό αυτή τη μορφή η δύναμη της περιοχής δίπλα στην κύρια κοπτική πλευρά μειώνεται, η θερμότητα διασκορπίζεται στο εργαλείο. Αυτό μικραίνει τη διάρκεια ζωής των εργαλείων. Από την άλλη με την αύξηση της γωνίας ελευθερίας έχουμε τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- a. Μείωση της ακτίνας της κύρια κοπτικής πλευράς, η οποία οδηγεί στις αντίστοιχες μειώσεις της τριβής και στην παραμόρφωση τμημάτων των πλευρών. Αυτή η επίδραση γίνεται αξιοπρόσεκτη σε κοπή με μικρό πάσο. Κατά συνέπεια παράγεται λιγότερη θερμότητα, η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των εργαλείων.
- b. Όσο η γωνία ελευθερίας γίνεται μεγαλύτερη, τόσο περισσότερο υλικό από το εργαλείο θα πρέπει να αφαιρείται για να φτάσει την ίδια φθορά.

Σαν αποτέλεσμα αντίθετων συνεπειών, η επιρροή της γωνίας ελευθερίας στη διάρκεια ζωής των εργαλείων έχει ένα καθορισμένο μέγιστο. Με άλλα λόγια υπάρχει πάντα μια καταλληλότερη γωνία ελευθερίας που θα πρέπει να βρεθεί για μία δεδομένη λειτουργία κατεργασίας.

Επίσης υπάρχουν και η δευτερεύουσα γωνία κοπτικής πλευράς, η οποία είναι πολύ σημαντική για τη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου, καθώς και η γωνία σφήνας, που σχηματίζεται από τις γωνίες αποβλήτου και ελευθερίας. Όλες οι παραπάνω γωνίες φαίνονται στο σχήμα 3.2.



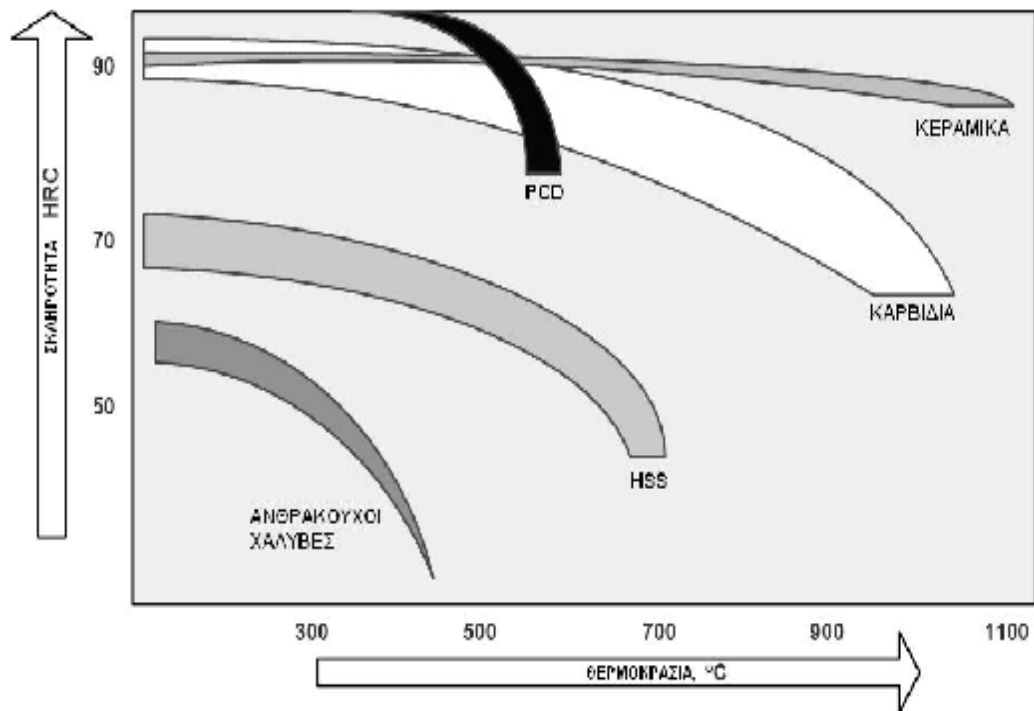
Σχήμα 3.2. Γωνίες κοπής κοπτικών εργαλείων

Σχήμα 3.2: α = γωνία ελευθερίας, β = γωνία σφήνας, γ = γωνία αποβλήτου, ε = γωνία κύριας κοπτικής πλευράς και ζ = γωνία δευτερεύουσας κοπτικής πλευράς.

3.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Υπάρχουν πολλοί τύποι υλικών για εργαλεία, που κυμαίνονται από χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι κεραμικά και διαμάντια, που χρησιμοποιούνται σήμερα στη μεταλλουργική βιομηχανία. Είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ τους και ποιες είναι αυτές, καθώς και ποια είναι η σωστή εφαρμογή για κάθε τύπο υλικού. Επειδή, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.1, ο ανθρακούχος χάλυβας έχει πολύ μικρή αντοχή στη θερμοκρασία, στην παραγωγή πλέον έχει σταματήσει η χρήση του και χρησιμοποιείται μόνο στον τομέα της εργαστηριακής εκμάθησης της κατεργασίας μετάλλων.

Αν και στις μέρες μας είναι διαθέσιμος ένας μεγάλος αριθμός από διαφορετικά υλικά, 5 είναι οι πιο σημαντικές ομάδες: καρβίδια, κεραμικά, PCBN, PCD, SFD ή TFd.



Διάγραμμα 3.1

3.3.1 Ιστορική αναδρομή υλικών

Η χρήση των διαφόρων υλικών συνδέεται στενά με το ξεκίνημα του ανθρώπινου πολιτισμού. Ο άνθρωπος, από την αρχή, άρχισε να χρησιμοποιεί διάφορα υλικά με τα οποία κατασκεύαζε εργαλεία και όπλα που ήταν απαραίτητα για την επιβίωσή του στη γη. Τα πρώτα εργαλεία και όπλα, που είχε κατασκευάσει, ήταν είτε από ξύλα, είτε από πέτρες (λίθους), είτε από κόκαλα. Για να προστατεύεται από το κρύο ντυνόταν από δέρματα ζώων. Αυτά ήταν και τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και επειδή το σημαντικότερο εξ αυτών υπήρξε η πέτρα, η εποχή αυτή ονομάστηκε λίθινη και διήρκεσε μέχρι περίπου τις αρχές της 5^{ης} χιλιετηρίδας π.Χ.

Τα μέταλλα τα ανακάλυψε αργότερα (περίπου 5000 π.Χ.). Μία επικράτησα θεωρία γύρω από την ανακάλυψη των μετάλλων, είναι αυτή που υποστηρίζει ότι μετά από μεγάλες πυρκαγιές έλιωναν τα μέταλλα, που υπήρχαν μέσα στα διάφορα πετρώματα, κι έτσι με αυτό τον τρόπο επιτυγχανόταν η εξαγωγή τους. Με αυτό τον τρόπο ενδέχεται ο άνθρωπος να ανακάλυψε το χαλκό (Cu). Η εποχή, που ακολουθεί την τελευταία περίοδο της λίθινης εποχής, χαρακτηρίζεται από την ευρεία χρήση του χαλκού και ονομάζεται εποχή του χαλκού (5000-3000 π.Χ.). Εκεί όπου δεν υπήρχε αυτοφυής χαλκός εξήγαγε χαλκό με αναγωγή σε υψηλή θερμοκρασία οξειδίων του χαλκού (απόσπαση του οξυγόνου από το οξείδιο), που βρίσκονταν σε διάφορα μεταλλεύματα και παρατήρησε ότι αυτό το νέο υλικό είχε μερικές χαρακτηριστικές και ταυτόχρονα πολύ χρήσιμες ιδιότητες. Ήταν εύπλαστο, δηλαδή μπορούσε να διαμορφωθεί εύκολα με στόχο τη μορφοποίησή του σε εργαλείο ή σε όπλο (π.χ. με σφυρηλάτηση), χωρίς να παρουσιάσει ρωγμές ή να σπάσει.

Πάλι τυχαία, ίσως μετά από πυρκαγιά, έρευσε από κάποια πετρώματα (μεταλλεύματα) ένα μεταλλικό υλικό, το οποίο έμοιαζε πολύ με το χαλκό, αλλά είχε πολύ ανώτερες μηχανικές ιδιότητες. Το υλικό αυτό ήταν κράμα χαλκού-κασσιτέρου (Cu-Sn) και ονομάστηκε κρατέρωμα (μπρούντζος). Το κράμα αυτό ήταν πιο σκληρό και λιγότερο εύπλαστο από το χαλκό. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο και όπλο, αντικαθιστώντας το χαλκό. Η εποχή αυτή ονομάστηκε εποχή του κρατερώματος (3000-1000 π.Χ.). Ο άνθρωπος έφτιαχνε τον μπρούντζο με ανάμειξη χαλκού και κασσιτέρου και κατόπιν με τήξη. Ο κασσίτερος λαμβανόταν με αναγωγή κασσιτερούχων πετρωμάτων.

Το σίδηρο (Fe) ανακαλύπτει ο άνθρωπος αργότερα από τους διάφορους μετεωρίτες, που έπεφταν στη γη. Λόγω του μεγάλου σημείου τήξεως του σιδήρου (1538°C) σε σχέση με αυτό του χαλκού (1083°C), η διαμόρφωση του σιδήρου με σφυρηλάτηση παρουσίαζε μεγάλες δυσκολίες. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος για τον οποίο η χρησιμοποίηση του σιδήρου αναπτύχθηκε βραδύτατα. Όμως, ο σίδηρος εκτιμήθηκε ιδιαίτερα, όταν κατά την τήξη κάποιων σιδηρούχων μεταλλευμάτων (που περιείχαν άνθρακα 0,2-0,5%) παρήχθηκε χάλυβας. Παρατηρήθηκε ότι εργαλεία ή όπλα (ξίφη), που ήταν κατασκευασμένα από χάλυβα, αποκτούσαν εξαιρετική σκληρότητα, όταν στη διάπυρη (850°-900°C) κατάσταση εμβαπτιζόνταν σε νερό (βαφή). Η

εποχή που ακολουθεί χαρακτηρίζεται από ολοένα αυξανόμενη χρησιμοποίηση του σιδήρου και του χάλυβα και ονομάστηκε εποχή του σιδήρου (1000 π.Χ. - σήμερα). Έτσι, αναπτύχθηκε σιγά-σιγά η μεταλλουργία του σιδήρου, καθώς και άλλων μετάλλων, όπως του χρυσού (Au), του αργύρου (Ag) και του μολύβδου (Pb).

Το 13ο μ.Χ. αι. εμφανίζεται και προοδεύει σημαντικά η Αλχημεία μέχρι τον 17^ο αι., οπότε και εμφανίζονται και οι πρώτες αρχές της Χημείας και η θεμελίωσή της από τον Lavoisier. Οι Αλχημιστές προσπαθούσαν να μετατρέψουν, με πολύπλοκες διεργασίες, ευτελέστερα μέταλλα σε χρυσό. Το αντιδραστήριο εκείνο, μέσω του οποίου θα επιτυγχανόταν τούτη η μετατροπή, το ονόμαζαν φιλοσοφική λίθο. Μέσω αυτής της πορείας έγιναν σημαντικές ανακαλύψεις από Αλχημιστές στην περιοχή της Χημείας και της Μεταλλουργίας. Μεγάλοι Αλχημιστές υπήρξαν, μεταξύ άλλων, ο Albertus Magnus, που ανακάλυψε το αρσενικό (As) περί το 1250 μ.Χ., ο Basile Valentine που έδωσε τον 17ο αιώνα οδηγίες για την παρασκευή αλάτων του αντιμονίου (Sb) και ο Hennig Brand που απομόνωσε το φωσφόρο (P) το 1669.

Η μεταλλουργία, και ειδικότερα η σιδηρομεταλλουργία, αποτέλεσε τη βάση της στρατιωτικής ισχύος. Το 1346 κατασκευάζονται στη Φλωρεντία πυροβόλα από ορείχαλκο που χρησιμοποιούσαν σφαίρες από σφυρήλατο σίδηρο. Το 15 αι. κατασκευάζονται βόμβες από σίδηρο και σφαίρες από χυτοσίδηρο. Αλλά και η χρήση των μετάλλων για ειρηνικούς σκοπούς είναι μεγάλη (κατασκευές νομισμάτων, εργαλείων, αμαξών, δομικών κατασκευών, κ.λπ.). Έτσι, παράλληλα με τις

Ανακαλύψεις της Χημείας, η Μεταλλουργία από τέχνη άρχισε σιγά-σιγά να θεμελιώνεται και να αποκτά διαστάσεις επιστήμης. Τα πρώτα επιστημονικά συγγράμματα πάνω στη μεταλλουργία ήταν το βιβλίο του Γερμανού Agricola με τίτλο "De re Metallica" και του Ιταλού Beringuccio "Pyrotechnia", στα οποία παρουσιάζονται και καταγράφονται αναλυτικά πολλές βασικές χημικές και μεταλλουργικές διεργασίες της εποχής εκείνης.

Ο 19ος αι. χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη πρόοδο της μεταλλουργίας. Σημαντικότερες ανακαλύψεις αυτής της περιόδου υπήρξαν η παραγωγή χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer και κατά τα τέλη του 19ου αι. η ανακάλυψη του ελαφρού μετάλλου αλουμινίου (Al), του οποίου τα κράματα αποτέλεσαν τη

βάση της Αεροναυπηγικής και της Αυτοκινητοβιομηχανίας. Τα κράματα του αλουμινίου, του τιτανίου, κάποιοι ειδικοί χάλυβες, αλλά και τα προϊόντα της κριομεταλλουργίας οδήγησαν στα εκπληκτικά αποτελέσματα της επιστήμης και της τεχνολογίας

του διαστήματος. Τέλος, υπάρχουν ακόμα πολλές τεχνικές ανάγκες τις οποίες δεν μπορούν να καλύψουν τα μέχρι τώρα μεταλλικά υλικά. Γι' αυτό και η έρευνα πάνω στον έλεγχο της δομής των υλικών για την απόκτηση των επιθυμητών ιδιοτήτων και στη σύνθεση νέων υλικών συνεχίζεται.

3.3.2 HSS



Εικόνα 3.1 Κοπτικά εργαλεία HSS

Ο χάλυβας υψηλής ταχύτητας (HSS ή HS) είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων. Τα κοπτικά εργαλεία από HSS, εικόνα 3.1, είναι ανώτερα από αυτά που είναι κατασκευασμένα από χάλυβα με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, που χρησιμοποιούνται από τα μέσα της δεκαετίας του '40, γιατί μπορούν να αντέξουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες χωρίς να χάσουν τη σκληρότητα τους. Αυτή η ιδιότητα τους επιτρέπει να δουλεύουν σε μεγαλύτερες ταχύτητες απ' όπου πήραν και το όνομά τους (High Speed Steel). Παρουσιάζουν, εκτός από την αντοχή στη

θερμότητα, μεγαλύτερη σκληρότητα και μεγαλύτερη αντοχή στο γδάρισμα, απ' ότι ο ανθρακούχος χάλυβας. Υπάρχουν ταχυχάλυβες με προσθήκη χρωμίου, βολφραμίου, μολυβδαινίου, βαναδίου και κοβαλτίου σε περιεκτικότητα πάνω από 7% και με πάνω από 0,6% άνθρακα. Οι προσμείξεις αυτές φαίνονται στον πίνακα 3.1, ανάλογα με το βαθμό του ταχυχάλυβα.

Πίνακας 3.1

| Βαθμός | C | Cr | Mo | W | V | Co | Mn | Si |
|--------|-----------|--------|-----|-------------|---------|----|---------|---------|
| T1 | 0,65-0,80 | 3,75-4 | - | 17,25-18,75 | 0,9-1,3 | - | 0,1-0,4 | 0,2-0,4 |
| M2 | 0,95 | 4,2 | 5 | 6 | 2 | - | - | - |
| M7 | 1 | 3,8 | 8,7 | 1,6 | 2 | - | - | - |
| M35 | 0,94 | 4,1 | 5 | 6 | 2 | 5 | - | - |
| M42 | 1,1 | 3,8 | 9,5 | 1,5 | 1,2 | 8 | - | - |

Οι ιδιότητες των ταχυχάλυβων λόγω των κραματικών τους στοιχείων φαίνονται παρακάτω:

∅ W

- < 2% αυξάνει τη σκληρότητα λόγω καρβιδίων
- < 20% οδηγεί σε διατήρηση της θερμής σκληρότητας σε συνδυασμό με το Cr σε συγκεκριμένες αναλογίες.

∅ Cr

- σχηματίζει το σταθερότερο καρβίδιο
- εκλεπτύνει τη δομή των κόκκων
- αυξάνει τη θερμοκρασία βαφής.

∅ Co

- αυξάνει την θερμή σκληρότητα του υλικού
- αυξάνει τη θερμοκρασία βαφής.

∅ Mo

- αυξάνει την εμβαπτότητα του χάλυβα (τη μεγιστοποιεί μαζί με Cr).

∅ V

- επιτείνει τις επιμέρους ιδιότητες λόγω των άλλων στοιχείων
- εκλεπτύνει τους κόκκους.

Οι ταχυχάλυβες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- ∅ Κανονικής χρήσης.
 - μέτρια θερμή σκληρότητα
 - μέση δυσθραυστότητα και σκληρότητα.
 - χρησιμοποιούνται σε σχετικά ήπιες συνθήκες κοπής.
- ∅ Ταχείας κοπής.
 - υψηλή θερμή σκληρότητα (υψηλό ποσοστό Co)
 - υψηλή σκληρότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
 - χαμηλή δυσθραυστότητα
 - χρησιμοποιείται σε υψηλές ταχύτητες μη διακοπτόμενης κοπής.
- ∅ Σκληρής κοπής.
 - πολύ υψηλή σκληρότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
 - χρησιμοποιούνται για υψηλής αντοχής κατεργάσιμα υλικά, πχ στην αεροπορική βιομηχανία.

Για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου, πολλές φορές ο ταχυχάλυβας δέχεται επικάλυψη. Συνήθως το υλικό της επικάλυψης είναι νιτρίδιο του τιτανίου (κασσίτερος). Οι περισσότερες επικαλύψεις αυξάνουν τη σκληρότητα του κοπτικού εργαλείου και την ολισθηρότητά του. Επίσης βοηθά στη μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται από την κοπτική διαδικασία. Οι επικαλυμμένοι ταχυχάλυβες με στρώμα TiC ή TiN με τεχνικές φυσικής απόθεσης ατμού έχουν βελτιωμένες ιδιότητες έναντι των απλών. Η επικάλυψη TiN τους προσδίδει ένα χαρακτηριστικό κίτρινο-χρυσό χρώμα.

Λόγω της καλής τους δυσθραυστότητας και αντοχής ενδείκνυνται για χρήση σε διακοπτόμενες κοπές και για εργαλειομηχανές χαμηλής στιβαρότητας. Πολλές φορές κατασκευάζονται με σύντηξη και (για υψηλότερη ομοιογένεια) με κονιομεταλλουργία.

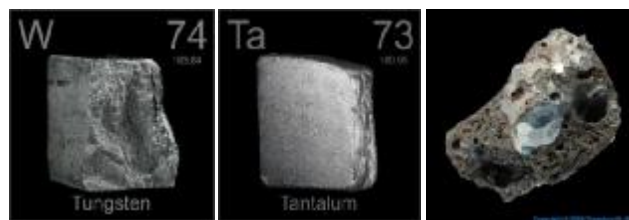
3.3.3 Καρβίδια

Το καρβίδιο ως υλικό κατασκευής εργαλείων ανακαλύφθηκε στην αναζήτηση αντικατάστασης του ακριβού διαμαντιού που χρησιμοποιούνταν στο σχεδιασμό καλωδίων ινών βολφραμίου. Στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο ξεκίνησε μια έλλειψη στα βιομηχανικά διαμάντια και ερευνητές στη Γερμανία έπρεπε να βρουν εναλλακτικές λύσεις. Στις 10 Ιουνίου 1926 το όνομα WIDIA (Wie Diamant, δηλαδή όπως διαμάντι) έκανε την εμφάνισή του στον κατάλογο των σημάτων κατατεθέν και μια σκληρή περίοδο εργασίας άρχισε να μετατρέπει τα εργαστηριακά πειράματα σε βιομηχανική παραγωγή. Το πρώτο προϊόν (WIDIA N-W6-6Co) παρουσιάστηκε στο Leipzig Spring Fair το 1927.

3.3.3.1 Σύνθεση

Σήμερα στα υλικά των εργαλείων καρβιδίου συμπεριλαμβάνονται το πυρίτιο και τα τιτανιούχα καρβίδια (ισχυρά κεραμικά μείγματα), τα καρβίδια βολφραμίου, τα καρβίδια τιτανίου τόσο όσο και άλλα συνθετικά μετάλλων (τιτάνιο, βολφράμιο, χρώμιο, ζirkόνιο) ή μεταλλοειδή (βόριο, πυρίτιο) και άνθρακας. Τα καρβίδια έχουν εξαιρετική αντοχή στη φθορά και υψηλή αντοχή στη θερμότητα. Οι όροι καρβίδιο βολφραμίου και συμπυκνωμένο καρβίδιο για ένα υλικό περιγράφει ένα μεγάλο εύρος συνθετικών σκληρού καρβιδίου που χρησιμοποιείται για κοπτικά εργαλεία μετάλλων, καλούπια διαφόρων τύπων και φθαρμένα μέρη. Το υλικό καρβιδίου αποτελείται από τα συστατικά του καρβιδίου (καρβίδιο βολφραμίου, τιτανίου, τανταλίου ή συνδυασμού κάποιων από αυτά) εικόνα 3.2, που δεσμεύονται μαζί σε μία μήτρα κοβαλτίου με συμπύκνωση. Κανονικά το μέγεθος του μορίου του καρβιδίου είναι μικρότερο από 0,8μm για μικρόκοκκα, 0,8-1,0μm για λεπτόκοκκα, 1-4μm για μέτριων κόκκων και πάνω από 4μm για χοντρόκοκκα

κοπτικά ένθετα. Το ποσό κοβαλτίου έχει σημαντικές επιπτώσεις στις ιδιότητες των ένθετων καρβιδίου. Κανονικά η περιεκτικότητα κοβαλτίου είναι 3-20% ανάλογα με τον επιθυμητό συνδυασμό σκληρότητας και ολκιμότητας. Όσο η περιεκτικότητα σε κοβάλτιο αυξάνεται, αυξάνεται και η ολκιμότητα του ένθετου, ενώ η σκληρότητα μειώνεται. Εντούτοις ο σωστός συνδυασμός της σύνθεσης ένθετων καρβιδίου, επικαλύπτοντας τα υλικά, με ακολουθία στρωμάτων και η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας επικάλυψης, τον καθιστά πιθανό να αυξήσει την παραγωγικότητα στην κοπή μετάλλων ουσιαστικά χωρίς να θυσιάσει την αντοχή στη φθορά.



Εικόνα 3.2: Βολφράμιο, Ταντάλιο, Τιτάνιο

3.3.3.2 Επιλογή

Η επιλογή του βαθμού καρβιδίου που συμφέρει περισσότερο έχει γίνει τόσο πολύπλοκη όσο και ο σχεδιασμός του. Η μεγάλη γκάμα βαθμών καρβιδίων και επικαλύψεων που είναι διαθέσιμη πλέον περιπλέκει ακόμα περισσότερο το στόχο του μηχανικού κατασκευής, να διαλέξει τον κατάλληλο βαθμό για το υλικό, τη σκληρότητα, την παραγωγικότητα, την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα. Συνδέοντας και τα νεότερα ισχυρά μηχανήματα μεγάλης ταχύτητας, τα ψυκτικά υγρά και τις τεχνικές ανεφοδιασμού, η επιλογή του κατάλληλου βαθμού καρβιδίου έχει προκαλέσει πραγματικό δίλημμα σε πολλούς ειδικούς στον τομέα. Επειδή πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις δεν έχουν την πολυτέλεια ενός εργαστηρίου κατεργασίας ή ακόμα και το χρόνο να γίνει η κατεργασία αξιολογήσεων για διαφορετικές παραμέτρους κοπής, η κατασκευαστές των κοπτικών εργαλείων προσφέρουν έναν οδηγό για την αρχική επιλογή όπως φαίνεται στον πίνακα

3.2. Το χρώμα που αναφέρεται στον πίνακα είναι για τον χαρακτηρισμό του εργαλείου ως προς τον βαθμό καρβιδίου, όπως στην εικόνα 3.3.

| ΌΡΟΙ κοπής | Κωδικός | Χρώμα |
|--|---------|---------|
| Φινίρισμα χάλυβα, μεγάλη ταχύτητα κοπής, μικρό βάθος κοπής ευνοϊκές συνθήκες κατεργασίας | P01 | Μπλε |
| Φινίρισμα και λεπτό ξεχόνδρισμα χάλυβα, χυτού χωρίς ψυκτικό υγρό | P10 | |
| Μέτριο ξεχόνδρισμα χάλυβα, λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες. Μέτρια ταχύτητα και βάθος κοπής | P20 | |
| Γενικό τρνίρισμα χάλυβα και χυτού, μέτριο ξεχόνδρισμα | P30 | |
| Χοντρό ξεχόνδρισμα χάλυβα και χυτού ενδιάμεση κοπή, χαμηλή ταχύτητα και βάθος κοπής | P40 | |
| Δύσκολες συνθήκες, χοντρό ξεχόνδρισμα και ενδιάμεση κοπή, χαμηλή ταχύτητα και βάθος κοπής | P50 | |
| Φινίρισμα ανοξειδωτου χάλυβα σε ψηλές ταχύτητες κοπής | M10 | Κίτρινο |
| Φινίρισμα και μέτριο ξεχόνδρισμα για κράματα χάλυβα | M20 | |
| Λεπτό με χοντρό ξεχόνδρισμα ανοξειδωτου χάλυβα και υλικά δύσκολης κοπής | M30 | |
| Ξεχόνδρισμα λεπτών και όλκιμων υλικών σε χαμηλές ταχύτητες κοπής | M40 | |
| Φινίρισμα πλαστικών και χυτοσιδήρων | K01 | Κόκκινο |
| Φινίρισμα χαλκού και ορείχαλκου σε ψηλή ταχύτητα και βάθος κοπής | K10 | |
| Ξεχόνδρισμα χυτοσιδήρου, ενδιάμεση κοπή, χαμηλή ταχύτητα και βάθος κοπής | K20 | |
| Ξεχόνδρισμα και φινίρισμα χυτοσιδήρου | | |

Πίνακας 3.2

Ευνοϊκές συνθήκες κοπής είναι όταν δεν ισχύουν τα παρακάτω:

- ∅ η πρώτη ύλη ή ημικατεργασμένα τεμάχια έχουν σχήμα δύσκολο να κατεργασθεί
- ∅ στο τεμάχιο υπάρχει επιφανειακό στρώμα προερχόμενο από χύτευση ή σφυρηλάτηση
- ∅ η σκληρότητα μεταβάλλεται
- ∅ το βάθος κοπής μεταβάλλεται
- ∅ η κοπή είναι διακοπτόμενη
- ∅ υφίστανται κραδασμοί ή κίνδυνος ταλαντώσεων.

Μερικές τυπικές συνθέσεις καρβιδίων ανάλογα με το βαθμό είναι:

- P10 : 55% WC, 36% TiC+TaC, 9% Co
- M20 : 82% WC, 10% TiC+TaC, 8% Co
- K20 : 91.5% WC, 2.5% TiC+TaC, 6% Co

Πίνακας 3.3

| Τεμάχιο | Εργαλείο | Πρόωση (m/min) |
|----------------------|----------|----------------|
| Χάλυβας ενανθράκωσης | P10 | 110-140 |
| | P20 | 100-130 |
| | P30 | 70-100 |
| | HSS | 30-45 |
| Χυτοσίδηρος GG18 | K10 | 60-90 |
| | HSS | 20-25 |
| Χυτοσίδηρος GG26 | K10 | 40-50 |
| | HSS | 15-20 |
| Χαλκός | K20 | 350-450 |
| | HSS | 30-50 |
| Μπρούτζος | K20 | 300-400 |
| | HSS | 35-50 |
| Κράμα αλουμινίου | K20 | 200-500 |
| | HSS | 30-60 |
| Κράμα Al-Si | K20 | 100-160 |
| | HSS | 20-50 |

Στον παραπάνω πίνακα 3.3 φαίνονται ενδεικτικά οι διαφορές στην πρόωση ανάμεσα στα καρβίδια και στον ταχυχάλυβα.

3.3.3.3 Επικάλυψη

Μία από τις πιο επαναστατικές αλλαγές στη βιομηχανία κοπής μετάλλων τα τελευταία 30 χρόνια είναι τα λεπτά και σκληρά επιστρώματα και οι διαδικασίες θερμικής διάχυσης. Αυτές οι μέθοδοι βρίσκουν συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές και φέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στους χρήστες τους. Σήμερα 50% HSS, 85% καρβιδίου και 40% πολύ σκληρών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι επικαλυμμένα. Ένας μεγάλος αριθμός υλικών, μεθόδων και συστημάτων επίστρωσης χρησιμοποιούνται σε υποστρώματα, ολόκληρα εργαλεία και σε πολυστρωματικούς συνδυασμούς.

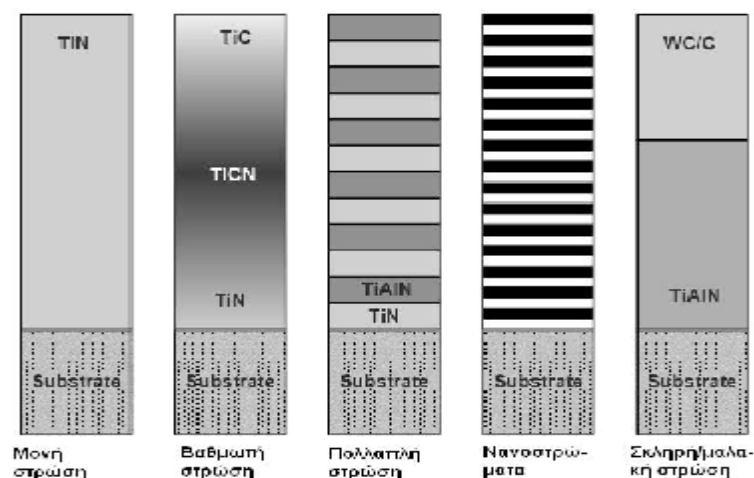
Τα καρβίδια είναι άριστα υποστρώματα για όλα τα επιστρώματα όπως: TiN, TiAlN, TiCN, στερεά λιπαντικά επιστρώματα και πολυστρωματικά επιστρώματα. Τα επιστρώματα βελτιώνουν αξιοσημείωτα τη διάρκεια ζωής των εργαλείων και την απόδοση των εργαλείων με καρβίδια σε υψηλή παραγωγικότητα, υψηλά ταχύτητα και μεγάλο βάθος κοπής ή σε ξηρή κατεργασία ακόμα και όταν κατεργάζονται υλικά δύσκολης κατεργασίας.

Τα επιστρώματα:

- a. Εξασφαλίζουν αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας, για βελτίωση στη φθορά
- b. Αυξάνουν την αντοχή
- c. Μειώνουν το συντελεστή τριβής για να διευκολύνουν την ολίσθηση των αποβλήτων, μειώνουν τις δυνάμεις κοπής, εμποδίζουν την προσκόλληση στις επιφάνειες επαφής, μειώνουν τη δημιουργούμενη θερμότητα καθώς το απόβλητο ολισθαίνει κ.ά.
- d. Μειώνουν τη μετάδοση της θερμικής ενέργειας που ρέει στο εργαλείο
- e. Αυξάνουν την αντοχή στην οξείδωση και τη διάβρωση
- f. Βελτιώνουν την αντοχή στη φθορά κρατήρα
- g. Βελτιώνουν την ποιότητα της επιφάνειας των φινιρισμένων κομματιών.

Τα είδη των με επιστρωμάτων φαίνονται παρακάτω με τα χαρακτηριστικά τους:

- Ø TiN: Βελτιώνει την αντοχή στο γδάρισμα. Χρώμα - Χρυσό, σκληρότητα HV (0,05) – 2300, συντελεστής τριβής – 0,3, θερμική σταθερότητα – 600°C
- Ø TiCN: Επίστρωμα προτεινόμενο για κατεργασία χάλυβα. Μεγαλύτερη αντοχή στη φθορά από TiN. Διαθέσιμο σε μονή και πολλαπλή επίστρωση. Χρώμα – Γκρι-Βιολετί, σκληρότητα HV (0,05) – 3000, συντελεστής τριβής – 0,4, θερμική σταθερότητα -750°C.
- Ø TiAlN και TiAlCN: Επίστρωμα υψηλών επιδόσεων στην αύξηση των παραμέτρων κοπής και τη διάρκεια ζωής των εργαλείων, επίσης κατάλληλο για ξηρή κατεργασία. Μειώνει τη θερμότητα του εργαλείου. Οι περιπτώσεις της πολλαπλής επικάλυψης, της νανοδομής ή οι περιπτώσεις κραματοποιημένης επικάλυψης προσφέρουν ακόμα καλύτερη επίδοση. Χρώμα – Μαύρο-Βιολετί, σκληρότητα HV (0,05) – 3000-3500, συντελεστής τριβής – 0,45, θερμική σταθερότητα – 800-900°C
- Ø WC-C και MoS₂: Εξασφαλίζουν στερεή λίπανση στην κοινή επιφάνεια εργαλείου-αποβλήτου η οποία μειώνει σημαντικά τη θερμότητα από την τριβή. Έχει περιορισμένη αντοχή στη θερμοκρασία. Συνιστάται για πολύ κολλώδη υλικά όπως αλουμίνιο και κράματα χαλκού, καθώς επίσης και για μη μεταλλικά υλικά. Χρώμα – Γκρι-Μαύρο, σκληρότητα HV (0,05) – 1000-3000, συντελεστής τριβής – 0,1, θερμική σταθερότητα – 300°C
- Ø CrN: Προτεινόμενο για κράματα χαλκού όπως χαλκός, ορείχαλκος κ.ά. Χρώμα – Μεταλλικό.



Σχήμα 3.3: Σχεδιαστική εξήγηση διαφόρων τύπων επικάλυψης

Η ολκιμότητα θραύσης του επιστρώματος είναι τόσο σημαντική όσο και σκληρότητα του επιστρώματος όσον αφορά την καθυστέρηση του σπασίματος. Η ισορροπία μεταξύ της υψηλής συμπιεστικής πίεσης και της χαμηλής υπολειμματικής πίεσης είναι απαραίτητη. Έχει σημειωθεί ότι υπάρχουν τέσσερις κύριες ομάδες επιστρωμάτων στην αγορά. Η πιο διαδεδομένη είναι η ομάδα που βασίζεται στο τιτάνιο όπως TiN, TiC, Ti(C,N). Η μεταλλική φάση συμπληρώνεται από άλλα μέταλλα όπως το αλουμίνιο και το χρώμιο, τα οποία προστίθενται για να βελτιώσουν ιδιότητες όπως η σκληρότητα και η αντοχή στην οξειδωση. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τα επιστρώματα κεραμικού τύπου όπως το Al_2O_3 (οξείδιο του αλουμινίου). Η Τρίτη ομάδα αποτελείται από τα πολύ σκληρά επιστρώματα όπως τα CVD διαμάντια. Η τέταρτη περιλαμβάνει τα επιστρώματα στερεάς λίπανσης όπως τα άμορφα ανθρακούχα μέταλλα. Επιπλέον για να αποφευχθεί η εκτεταμένη φθορά των εργαλείων κατά τη διάρκεια μια περιόδου κοπής, μερικά μαλακά επιστρώματα όπως το MoS_2 ή ο καθαρός γραφίτης τοποθετούνται στην κορυφή αυτών των σκληρών επιστρωμάτων.



Εικόνα 3.4: Διάφορα επικαλυμμένα ένθετα

3.3.4 Κεραμικά

Κάνοντας την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του '50, τα κεραμικά υλικά εργαλείων αποτελούνται πρωτίστως από λεπτόκοκκο οξείδιο αλουμινίου, πιεσμένο κρυογονικά σε μορφές ένθετων και συμπιεσμένο κάτω από υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Τα κεραμικά καθαρών οξειδίων

αλουμινίου ονομάζονται άσπρα κεραμικά, ενώ με προσθήκη καρβιδίου τιτανίου και οξειδίου ζirkονίου ονομάζονται μαύρα κεραμικά.

Το πρωταρχικό όφελος των κεραμικών είναι η μεγάλη σκληρότητα (με επακόλουθο τη λειαντική αντοχή) σε υψηλές θερμοκρασίες. Όλα τα υλικά των εργαλείων μαλακώνουν καθώς ζεσταίνονται, αλλά τα κεραμικά το κάνουν με πολύ αργό ρυθμό, γιατί δεν είναι περιορισμένα μέταλλα. Μεταξύ των σημαντικότερων πλεονεκτημάτων είναι και η χημική σταθερότητα. Αυτό σημαίνει ότι τα κεραμικά δεν αντιδρούν με τα υλικά που κόβουν. Δηλαδή δεν υπόκεινται σε φθορές διάχυσης, η οποία είναι το πιο αδύναμο σημείο των καρβιδίων σε εφαρμογές High Speed Machining.

Τα κεραμικά είναι κατάλληλα για την κατεργασία της πλειοψηφίας των σιδηρούχων υλικών, συμπεριλαμβανομένου των υπερκραμάτων. Δεν πρέπει εντούτοις να χρησιμοποιηθούν για χαλκό, ορείχαλκο και αλουμίνιο καθώς είναι δομικά υλικά τους. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα κεραμικά που βασίζονται στο οξείδιο του αλουμινίου αντικαθίστανται από το PCBN. Το PCBN αναλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της εργασίας των κεραμικών επειδή λειτουργεί καλύτερα για τα μαλακότερα υλικά.

Το μειονέκτημα σε αυτά τα κεραμικά υλικά είναι το ελαφρώς υψηλότερο κόστος και η ευθραυστότητα. Για να προστατευθούν οι κοπτικές πλευρές τους, τα κεραμικά φτιάχνονται με καλό τρόχισμα των πλευρών όπως σε 90⁰ ή με ακονισμένη άκρη ή με σύγχρονα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τροχίσματος πλευρών.

Υπάρχουν δύο είδη κεραμικών. Το πρώτο είναι οξείδιο αλουμινίου. Έχει αντοχή στη φθορά, αλλά είναι εύθραυστο και χρησιμοποιείται κυρίως στο βαμμένο χάλυβα. Ο άλλος σημαντικός τύπος είναι νιτρίδιο του πυριτίου, το οποίο είναι σχετικά μαλακό και όλκιμο και χρησιμοποιείται στο χυτοσίδηρο. Μεταξύ των οξειδίων αλουμινίου και των νιτρίδιων πυριτίου υπάρχει ένα πλήθος κεραμικών υλικών αποκαλούμενο Si-AlONs που συνδυάζει και τα δύο. Όσο μεγαλύτερο το Al₂O₃ τόσο πιο σκληρό το υλικό. Όσο πιο πολύ νιτρίδιο πυριτίου περιέχει τόσο πιο όλκιμο γίνεται.

Πλέον φαίνεται μια καινούρια περιοχή που θα προσφέρει πολλά στα κεραμικά, η νανοτεχνολογία. Τα πιο προηγμένα κεραμικά σήμερα είναι νανόκοκκα υλικά, ενώ οι πιο πρόσφατες εξελίξεις έχουν στόχο τα νανόκοκκα ή τα μεγέθη μορίων μικρότερα του ενός μικρού (0,001mm). Το κύριο

πλεονέκτημα που προσφέρει είναι ότι το μικρότερο μέγεθος μορίων αυξάνει τη δύναμη επειδή περισσότερη περιοχή κόκκων εκτίθεται στη σύνδεση. Αυτή η αύξηση δύναμης μεταφράζεται σε μεγαλύτερη αντοχή στην κρούση και βελτιωμένες ιδιότητες στη φθορά.

Η επίστρωση χρησιμοποιείται σπάνια στα κεραμικά ένθετα. Στα κεραμικά, τα επιστρώματα κάνουν κάποιο καλό, αλλά επειδή το κόστος είναι μεγάλο και το τελικό αποτέλεσμα δεν ικανοποιεί, λόγω της ασθενούς προσκόλλησης μεταξύ των υλικών επιστρώματος και του κεραμικού υποστρώματος.

Για τα κεραμικά το μέλλον είναι λαμπρό λόγω της ώθησης για High Speed Machining. Η σύγχρονες μηχανές πλέον λειτουργούν σε ένα εύρος μεταξύ

600-900 m/min ενώ ταχύτητες της τάξης 1500m/min δοκιμάζονται. Μόνο τα προηγμένα υλικά κοπτικών εργαλείων μπορούν να χειριστούν αυτήν την ταχύτητα. Έχει υπάρξει μεγάλη βελτίωση στη φθορά, κυρίως λόγω της αποδοχής του μικρού μεγέθους του κόκκου. Για παράδειγμα στις σκληρές εφαρμογές τριβής με κεραμικά, η διάρκεια ζωής των εργαλείων είναι βελτιωμένη κατά 20 φορές με τους σύγχρονους βαθμούς. Το κεραμομέταλλο είναι ένα προϊόν με αργούς ρυθμούς αύξησης σε πολλές χώρες εκτός από την Ιαπωνία.



Εικόνα 3.5: Κεραμικά κοπτικά εργαλεία

3.3.5 Κυβικό νιτρίδιο του Βορίου (CBN)

Τα πολυκρυσταλλικά CBN, εικόνα 3.6, κατασκευάζονται από τα κυβικά κρύσταλλα νιτριδίων βορίου εκμεταλλεύοντας μια προηγμένη διαδικασία υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης. Τα κυβικά κρύσταλλα νιτριδίου βορίου είναι συμπυκνωμένα με μια φάση συνδέσμων και ολοκληρωτικά συνδεδεμένα με ένα υπόστρωμα καρβιδίου βολφραμίου. Η φάση συνδέσμων, είτε μεταλλική είτε κεραμική μήτρα, παρέχει χημική σταθερότητα, επιτρέποντας τις ιδιότητες PCBN, για να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον High Speed Machining. Το υπόστρωμα καρβιδίου βολφραμίου παρέχει στο PCBN τη μεγάλη αντοχή σε κρούση απαραίτητη για τα βάθη κοπής και τις υψηλές ταχύτητες που συνδέονται με την κατεργασία των βαμμένων σιδηρούχων υλικών. Τα κοπτικά εργαλεία PCBN προσφέρουν άριστη διάχυση της θερμότητας και αντοχή στη φθορά. Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου μπορεί να τροχιστεί για να αντέχει σε διακεκομμένη κοπή με τρόχισμα στις 90° ώστε να σταθεροποιηθεί η κοπτική πλευρά και να παραταθεί η ζωή του εργαλείου.

Τα PCBN εργαλεία προσφέρουν τα ακόλουθα οφέλη:

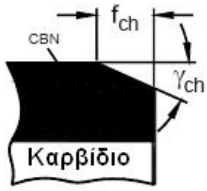
- a) Μία άριστα φινιρισμένη επιφάνεια που πολλές φορές δεν χρειάζεται καν λείανση
- b) Κατεργάζονται σκληρυμένους και βαμμένους χάλυβες
- c) Υψηλός ρυθμός παραγωγικότητας, ο οποίος μπορεί να είναι τέσσερις φορές υψηλότερος από ότι στην λείανση
- d) Μεγάλη αντοχή στο γδάρισμα διπλάσια από των κεραμικών και δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή των καρβιδίων.

Τα κοπτικά PCBN προτείνονται για κατεργασία χυτοσιδήρου περιλαμβανομένου του συμπιεσμένου σιδηρούχου γραφίτη (CGI), εξελασμένο σίδηρο, και κράματα σκληρυμένου χάλυβα.

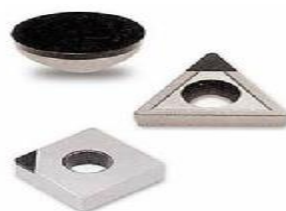
Για να πετύχουμε καλύτερη διάρκεια ζωής, την κοπτική πλευρά των PCBN ένθετων πρέπει να ενισχύσουν με το κατάλληλο τρόχισμα. Αυτό έχει

εύρος από μικρό καλέμι για τα εργαλεία φινιρίσματος χυτοσιδήρου, μέχρι κάθετο τρόχισμα 0,2 mm και μετά 15⁰ για χοντρό ξεχόνδρισμα άσπρου σιδήρου. Μπορούν επίσης να συνδυαστούν ίσιες περιοχές με καλέμι. Ο πίνακας 3.4 δείχνει τις γωνίες που θα πρέπει να τροχιστεί ένα κοπτικό εργαλείο CBN, ανάλογα με το υλικό κατεργασίας.

Πίνακας 3.4

|  | Υλικά κατεργασίας | Ξεχόνδρισμα | Φινίρισμα |
|---|---------------------|--|---|
| | Σκληρημένος Χάλυβας | $f_{ch} = 0.2-0.5,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ | $f_{ch} = 0.2,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ |
| | Γκρίζος Χυτοσίδηρος | $f_{ch} = 0.2,$ $\gamma_{ch} = 15-20^\circ$ | Hone $r = 0.2$ |
| | Σκληρός Χυτοσίδηρος | $f_{ch} = 0.2-0.5,$ $\gamma_{ch} = 15-20^\circ$ | $f_{ch} = 0.2,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ |
| | Κονιομεταλλουργία | $f_{ch} = 0.2,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ | $f_{ch} = 0.2,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ |
| | Ειδικά Κράματα | $f_{ch} = 0.2-0.5,$ $\gamma_{ch} = 20^\circ$ | |

Οι χρήστες πολύ σκληρών υλικών όπως το PCBN και το PCP στα κοπτικά εργαλεία πιστεύουν ότι το ξάκρισμα είναι απαραίτητο για να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής των εργαλείων. Αυτή η άποψη είναι τόσο αποδεκτή, που πολλές βιομηχανίες δεν έχουν δει καν ένα κοπτικό CBN χωρίς ξάκρισμα και επιμένουν ότι είναι ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό. Στην πραγματικότητα στις περισσότερες εφαρμογές των κοπτικών εργαλείων, έχει αποδειχθεί ότι είναι μία ήμικατάλληλη λύση που περιορίζει τη διάρκεια ζωής των εργαλείων και μειώνει την κοπτική τους απόδοση. Με την έλευση της προηγμένης τεχνολογίας τρόχισματος, ισχύει πλέον ότι το ξάκρισμα δεν είναι απαραίτητο για τα CBN και τα PCD κοπτικά εργαλεία.



Εικόνα 3.6 Ένθετα πλακίδια με επικάλυψη

3.3.6 PCD και SFD

Τα διαμάντια μπορούν να γίνουν το μηχανολογικό υλικό με τις περισσότερες εφαρμογές στον κόσμο. Είναι το δυνατότερο και το σκληρότερο γνωστό υπόστρωμα, έχει την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από κάθε άλλο υλικό, επιφάνεια χαμηλής τριβής και οπτική διαφάνεια. Αυτός ο μοναδικός συνδυασμός ιδιοτήτων δεν μπορεί να βρεθεί σε κανένα άλλο υλικό.

Για να παραχθεί PCD, εικόνα 3.7, για κοπτικά εργαλεία, μία στρώση κρυστάλλων διαμαντιού προστίθεται σε ένα μείγμα από γραφίτη και έναν καταλύτη (συνήθως νικέλιο) κάτω από πίεση περίπου 7000 MPa και θερμοκρασία 1800°C και τοποθετούνται σε ένα υπόστρωμα καρβιδίου, όπου υπόκεινται διαδικασία υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (6000 MPa, 1400°C). Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, κοβάλτιο από τα υποστρώματα βολφραμίου γίνεται το συγκολλητικό των κρυστάλλων διαμαντιού δίνοντας την απαιτούμενη ολκιμότητα στα πολυκρυσταλλικά διαμάντια.

Τα υλικά των PCD εργαλείων συνήθως προβάλλουν αντοχή στο γδάρισμα πάνω από 500 φορές μεγαλύτερη από το καρβίδιο βολφραμίου και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Τα PCD έχουν αντικαταστήσει τα καρβίδια βολφραμίου, τα κεραμικά και τα φυσικά διαμάντια σε ένα εύρος εφαρμογών υψηλής απόδοσης που περιλαμβάνει το τρνίρισμα, το φρεζάρισμα, τη διάτρηση, την εκτομή και το ξάκρισμα υλικών όπως το αλουμίνιο με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, σύνθετες μεταλλικές μήτρες (MMC), κεραμικά, ενισχυμένες συγκολλήσεις, ενισχυμένα πλαστικά ανθρακονιμάτων (CFRP) και μηχανολογικά προϊόντα ξύλου. Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και η αυξημένη παραγωγικότητα που εξασφαλίζουν τα PCD εργαλεία συχνά αντισταθμίζουν το αρχικό υψηλό κόστος με το μειωμένο συνολικό κόστος των εξαρτημάτων που παράγονται. Χρήσιμο είναι το γεγονός ότι η διάρκεια ζωής των εργαλείων μπορεί να επεκταθεί με πολλαπλά τροχίσματα.

Η επιλογή του κατάλληλου βαθμού του PCD είναι γενικώς μία συνάρτηση της απαιτούμενης ποιότητας της φινιρισμένης επιφάνειας και των

προσδοκιών της διάρκειας ζωής του εργαλείου. Ο ρυθμός με τον οποίο αφαιρείται υλικό, η γεωμετρία των εργαλείων και τα χαρακτηριστικά του υλικού, επηρεάζουν και αυτά τη σχέση μεταξύ της παραγωγικότητας της κατεργασίας, της διάρκειας ζωής του εργαλείου και της τελικής επιφάνειας. Υπάρχουν και εδώ χοντρόκοκκα και λεπτόκοκκα PCD, ανάλογα με το μέγεθος του μορίου διαμαντιού. Τα χοντρόκοκκα PCD έχουν μεγαλύτερη αντοχή στο γδάρισμα, αλλά αφήνουν πιο τραχεία επιφάνεια στην κατεργασία, λόγω της κοπτικής επιφάνειας που γίνεται ξεχονδρίσματος. Τα λεπτόκοκκα PCD τροχίζονται πιο αιχμηρά στην κοπτική τους πλευρά και παράγουν καλύτερη τελική επιφάνεια στο κομμάτι, αλλά μειώνεται η διάρκεια ζωής τους.

Έχοντας υψηλή αντοχή στο γδάρισμα και μεγάλη σκληρότητα, τα PCD υποφέρουν από σχετικά χαμηλό βαθμό ολκιμότητας. Για να υπερκαλύψουν αυτό το ελάττωμα, η εξέλιξη των νέων αρχικών βαθμών PCD υπόκεινται σε δομικές αλλαγές που ενισχύουν την ολκιμότητα. Μία από τις πιο πολλά υποσχόμενη, εξέλιξη είναι ο συνδυασμός μορίων διαμαντιού διαφορετικού μεγέθους στο μείγμα για να αυξήσουν την πυκνότητα στη στοίβαξη. Η βελτιωμένη πυκνότητα στοίβαξης έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγαλύτερο βαθμό επαφής των κόκκων διαμαντιού, το οποίο ενισχύει την αντοχή στο σπάσιμο της κοπτικής πλευράς. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα από την παραπάνω εξέλιξη είναι η ποιότητα της περιοχής της κοπτικής πλευράς. Τα χοντρόκοκκα διαμάντια με την προσθήκη των λεπτών κόκκων διαμαντιού αντισταθμίζουν τη μικροδοοντική ακανόνιστη κοπτική πλευρά με συνηθισμένους βαθμούς PCD.



Εικόνα 3.7 Κοπτικό εργαλείο με πλακίδια σκληρομέταλλου

Η λεπτή στρώση διαμαντιού (TFd) στα εργαλεία αποτελεί μια επαναστατική πρόοδο στην επιστήμη των κοπτικών εργαλείων. Η εταιρία SP3 έχει αναπτύξει εδώ και αρκετά χρόνια μια τεχνολογία TFd εργαλείων και τώρα προσφέρει μία καινούρια σειρά TFd κοπτικών εργαλείων. Ένα μεμονωμένο φύλλο λεπτής στρώσης διαμαντιού αναπτύσσεται με χημική αντίδραση. Στρώση 500 μm λεπτές μετατρέπονται σε επίπεδα φύλλα. Αυτά τα φύλλα κόβονται με laser σε ακμές, που ασφαρίζονται μέσα στο στέλεχος του εργαλείου χρησιμοποιώντας μία ειδικά εξελιγμένη διαδικασία συγκόλλησης. Τελικά παράγονται αξονικά εργαλεία όπως τρυπάνια, αλεξούαρ και εργαλεία φρέζας. Ο σχεδιασμός ειδικών εφαρμογών με TFd είναι σε εκτεταμένη εξέλιξη στις περισσότερες εγκαταστάσεις αυτόματης κατασκευής.

Τα TFd προβάλλουν τρία πλεονεκτήματα σε σχέση με τα PCD εργαλεία:

- a) Είναι φυσικά σκληρότερα και με αντοχή στη φθορά από τα PCD γιατί είναι στερεά διαμάντια χωρίς υλικό συγκόλλησης
- b) Στη λειαντική κατεργασία μετάλλων με TFd, το εργαλείο φθείρεται αρχικά στα πλάγια. Αυτό επιτρέπει στην κοπτική πλευρά να παραμένει πιο αιχμηρή απ' ό τι στη φθορά των PCD. Αυτό είναι σημαντικό σε εφαρμογές που ο έλεγχος του κοπτικού είναι κρίσιμος για τη παραγωγή καλών κομματιών. Η διάρκεια ζωής των TFd εργαλείων εξαρτάται από την υποχώρηση της πλευράς και δεν είναι περιορισμένη από πρόωρη αστοχία της αιχμηρότητας της πλευράς
- c) Δεν υπάρχει καμία πιθανότητα χημικής αντίδρασης με το ψυκτικό υγρό ή με υποπροϊόν του υλικό του κομματιού αφού δεν υπάρχει υλικό συγκόλλησης στα TFd. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την ουσιαστικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στα TFd εργαλεία σε σχέση με τα PCD.

3.4 ΕΙΔΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Υπάρχουν πολλά είδη κοπτικών εργαλείων, τα οποία χωρίζονται σε κατηγορίες αρχικά ανάλογα με την κατεργασία που πραγματοποιούν. Αυτές οι κατηγορίες χωρίζονται με τη σειρά τους σε υποκατηγορίες ανάλογα με τη

γεωμετρική μορφή τους, που στη συνέχεια χωρίζονται βάση υλικού και τρόπου κατασκευής τους. Για να επιλέξουμε λοιπόν ένα κοπτικό εργαλείο, πρέπει να ξέρουμε την κατεργασία που θα πραγματοποιήσει, τι μορφή θα έχει, από τι υλικό θα πρέπει να είναι και με ποιον τρόπο θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο. Επειδή τα υλικά τα έχουμε αναλύσει σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, εδώ να αναφερθούμε στα υπόλοιπα τρία χαρακτηριστικά των κοπτικών εργαλείων.

3.4.1 Κατηγορίες κοπτικών εργαλείων βάση κατεργασίας και μορφής

Τα κοπτικά εργαλεία με βάση τις κατεργασίες που πραγματοποιούν χωρίζονται σε: τριβή, φρεζαρισμός και διάτρηση. Αυτές τις τρεις μεγάλες κατηγορίες τις χωρίζουμε ανάλογα με τη μορφή του κοπτικού εργαλείου όπως ακολουθεί.

3.4.1.1 Κοπτικά εργαλεία τριβής

Τα κοπτικά εργαλεία τριβής κατατάσσονται σε:



Εικόνα 3.8 Κοπτικά εργαλεία τριβής

1. **Κοπτικά εργαλεία μορφής.** Αυτά τα εργαλεία μπορεί να είναι είτε κοίλα, είτε κυρτά είτε να έχουν κάποια ειδική, περίπλοκη μορφή.
2. **Κοπτικά εργαλεία ξεχονδρίσματος.** Εδώ έχουμε δύο τύπους εργαλείων ξεχονδρίσματος, τα λοξά και τα ίσια, ανάλογα με τη γεωμετρία τους. Τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται για γρήγορη αφαίρεση μεγάλου όγκου άχρηστου υλικού και δουλεύουν σε μεγάλη ταχύτητα πρόωσης με μεγάλο βάθος κοπής. Δεν αφήνουν όμως καλή τελική επιφάνεια.
3. **Κοπτικά εργαλεία φινιρίσματος.** Τα εργαλεία φινιρίσματος χρησιμοποιούνται για την τελική επιθυμητή ποιότητα της επιφάνειας του κομματιού. Δουλεύουν σε μικρές ταχύτητες και σε μικρό βάθος κοπής, συνήθως και με τη βοήθεια υγρού ψύξης.
4. **Κοπτικά εργαλεία προσώπου.** Τα εργαλεία αυτά δουλεύουν σε ένα κάθετο, ως προς τον άξονα του τόννου, επίπεδο και χαρακτηρίζονται δεξιά ή αριστερά ανάλογα με το ποια πλευρά αυτού του επιπέδου κατεργάζονται.
5. **Κοπτικά εργαλεία αυλακώσεως.** Όπως καταλαβαίνουμε και από το όνομά τους, αυτά τα εργαλεία δημιουργούν αυλακώσεις στο κομμάτι που κατεργάζονται.
6. **Πλευρικό μαχαίρι.** Αυτό το κοπτικό εργαλείο κάνει ορθογώνια κοπή και δημιουργεί ορθές γωνίες στο κομμάτι.
7. **Κοπτικά εργαλεία σπειρώματος.** Τα εργαλεία αυτά τα χρησιμοποιούμε για να φτιάχνουμε σπειρώματα στο κομμάτι που κατεργαζόμαστε. Σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή στροφών και πρόωσης, καθώς και βάθος κοπής μπορούμε να πετύχουμε όποιο σπείρωμα επιθυμούμε.
8. **Κόφτρα.** Με αυτό το κοπτικό εργαλείο κάνουμε εγκάρσια τομή στο κομμάτι μέχρι το κέντρο του κομματιού με αποτέλεσμα να αποκόψουμε το κατεργασμένο κομμάτι από το υπόλοιπο ακατέργαστο κομμάτι.
9. **Κοπτικά εργαλεία εσωτερικών επιφανειών.** Τα εργαλεία αυτά έχουν ιδιαίτερη μορφή, ώστε να μπορούν να κατεργάζονται εσωτερικές επιφάνειες του κομματιού, αφού πρώτα κάνουμε τη διάτρηση. Χωρίζονται κι αυτά σε ξεχονδρίσματος, φινιρίσματος, προσώπου και σπειρώματος.

3.4.1.2 Κοππικά εργαλεία φρεζαρίσματος

Όλα τα εργαλεία φρεζαρίσματος είναι οδοντωτά ή φτερωτά με ποικιλία στον αριθμό των δοντιών και των φτερών τους και διακρίνονται σε κυλινδρικούς κοππήρες ή μετωπικούς κοππήρες ανάλογα με το που βρίσκονται οι κοππικές πλευρές τους.

Αναλυτικά τα κοππικά εργαλεία φρεζαρίσματος κατατάσσονται όπως στη συνέχεια. Κάποια από αυτά φαίνονται στην εικόνα 3.9.

1. **Κονδύλια.** Τα κονδύλια είναι κυλινδρικοί κοππήρες και οι κοππικές πλευρές τους είναι ελικοειδείς. Δουλεύουν πάντα κάθετα στο κομμάτι. Βρίσκονται σε διάφορα μεγέθη (διάμετρος και μήκος).
2. **Κυλινδρικές φρέζες.** Πολλές φορές ονομάζονται και βαρελάκια επειδή η μορφή τους θυμίζει βαρέλι. Όπως μας λέει και το όνομα τους είναι κυλινδρικοί κοππήρες και δουλεύουν πάντα παράλληλα στο κομμάτι.
3. **Μετωπικές φρέζες.** Σε αυτά τα εργαλεία έχουμε πολύ μεγάλη ποικιλία στη μορφή τους. Τις βρίσκουμε ως τριγωνικές, ίσιες, χελιδονοουρά ή σε σχήμα T. και αυτά τα εργαλεία δουλεύουν κάθετα στο κομμάτι.
4. **Δισκοειδείς φρέζες μορφής.** Τις φρέζες αυτές δεν μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε ανάλογα με τη μορφή τους, γιατί η μορφή τους είναι ανάλογη της μορφής που θέλουμε να δώσουμε στο κομμάτι. Έχουν συνδυασμό σχημάτων, που στην πραγματικότητα απλά αντιγράφουν το σχήμα τους στο κομμάτι. Δουλεύουν είτε παράλληλα είτε κάθετα.
5. **Δισκοειδείς δίκοπες ή τρίκοπες φρέζες.** Τα κοππικά εργαλεία αυτά έχουν δύο ή τρεις κοππικές πλευρές και μορφή δίσκων. Μπορεί να είναι τσαπρεζωτά ή ίσια. Τα τσαπρεζωτά έχουν την ιδιομορφία να κόβουν όλα τα δόντια στην περιφέρεια, αλλά μετωπικά να κόβουν τα μισά στη μία πλευρά και τα άλλα μισά στην άλλη με ρυθμό ένα δόντι παρά ένα. Αυτά είναι πάντα τρίκοπα. Τα ίσια κόβουν όλα τα δόντια με τον ίδιο τρόπο, είτε δίκοπα είτε τρίκοπα.

6. **Φρέζες χομπ.** Οι φρέζες αυτές χρησιμοποιούνται για την κοπή γραναζιών και τη δημιουργία έλικα. Μπορεί να έχουν σπειροειδή ή ίσια οδόντωση, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται για γρανάζια ή έλικα.



Εικόνα 3.9 Κοπτικά εργαλεία φρέζας

Υπάρχουν και τα κοπτικά εργαλεία διάτρησης, τα οποία όμως χρησιμοποιούνται και στις δύο προηγούμενες κατεργασίες και είναι:

1. **Τρυπάνια.** Ευρέως διαδεδομένα τα κοπτικά εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται για την απλή διάτρηση.
2. **Αλεξουάρ.** Τα εργαλεία αυτά έχουν ίσια και όχι ελικοειδή φτερά και είναι κατασκευασμένα με μεγάλη ακρίβεια. Τα χρησιμοποιούμε αφού γίνει η διάτρηση για να έρθει η τρύπα στην επιθυμητή διάμετρο με μεγαλύτερη ακρίβεια και να είναι σε όλο το μήκος της ομόκεντρη.
3. **Κεντροτρύπανα.** Τα κεντροτρύπανα χρησιμοποιούνται για να κάνουμε κυλινδροκωνική υποδοχή σε άξονες όταν το κομμάτι πρόκειται να торνευτεί με συγκράτηση πόντας.
4. **Φρέζες 90° .** Τα κοπτικά εργαλεία αυτά τα χρησιμοποιούμε για να κάνουμε φάλτσο στην αρχή ενός σπειρώματος όταν εκεί πρόκειται να βιδωθεί φρεζάτη βίδα.

3.4.2 Τρόποι κατασκευής κοπτικών εργαλείων

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι κοπτικών εργαλείων με βάση τον τρόπο κατασκευής. Αυτοί οι τρεις τύποι είναι τα κοπτικά εργαλεία εναλλασσομένων πλακιδίων (ένθετων), κολλημένων πλακιδίων και τα ομοιογενή κοπτικά εργαλεία. Το καθένα από αυτά έχει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

Τα κοπτικά εργαλεία εναλλασσομένων πλακιδίων, εικόνα 3.10, είναι ιδιαίτερα εύχρηστα αλλά με σαφώς μεγαλύτερο κόστος. Αποτελούνται από το κύριο στέλεχος του εργαλείου, το οποίο είναι συνήθως βαμμένος ανθρακούχος χάλυβας με την κατάλληλη μορφή και το ένθετο το οποίο διαφέρει όσον αφορά το υλικό του, ανάλογα με το υλικό του κομματιού προς κατεργασία. Το ένθετο επίσης διαφέρει και ως προς τη γεωμετρία του, ανάλογα με τις παραμέτρους κοπής (ταχύτητα κοπής, πάσο και βάθος κοπής). και βάση αυτού προσαρμόζεται και το στέλεχος, που θα πρέπει να έχει διαμορφωμένη θήκη για το ένθετο και τον κατάλληλο τρόπο συγκράτησής του. Τα βασικά πλεονεκτήματα στα κοπτικά εργαλεία εναλλασσομένων πλακιδίων είναι ότι το στέλεχος του εργαλείου, με σωστή χρήση, δε θα χρειαστεί ποτέ αντικατάσταση και επίσης ότι τα εργαλεία αυτά τροποποιούνται εύκολα ανάλογα με το υλικό κατεργασίας, αλλάζοντας μόνο το ένθετο και τοποθετώντας το κατάλληλο. Όταν το ένθετο υποστεί φθορά, τότε αυτό είναι το μόνο που θα πρέπει να αντικατασταθεί, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους σε σημαντικό βαθμό και φυσικά τη μείωση του χρόνου αντικατάστασης, αφού τα ένθετα βρίσκονται άμεσα στην αγορά και δε χρειάζεται παραγγελία και αναμονή κατασκευής.



Εικόνα 3.10 Κοπτικά εργαλεία εναλ/μενων πλακιδίων

Τα κοπτικά εργαλεία κολλημένων πλακιδίων, εικόνα 3.11, αποτελούνται και αυτά από το στέλεχος και το πλακίδιο, με τη διαφορά όμως ότι το πλακίδιο εδώ είναι κολλημένο πάνω στο στέλεχος, χωρίς να μπορεί να αντικατασταθεί άμεσα σε περίπτωση φθοράς. Συνήθως τα πλακίδια είναι κολλημένα σε ασημοκόλληση, η οποία είναι θερμική συγκόλληση με τη βοήθεια ενός κράματος χαλκού και ασημιού. Το κόστος αυτών των εργαλείων είναι μικρότερο από των εναλλασσομένων πλακιδίων, αλλά το βασικό τους μειονέκτημα είναι η δυσκολία αλλαγής του ένθετου. Τα κοπτικά εργαλεία κολλημένων πλακιδίων υπερτερούν στην ποικιλία κατασκευής τους. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν χρειάζονται τους κατάλληλους τρόπους συγκράτησης του ένθετου και έτσι μπορούμε να τους δώσουμε όποια πολύπλοκη μορφή θέλουμε. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δίνουμε στο κομμάτι προς κατεργασία τη μορφή που επιθυμούμε με όσο το δυνατόν λιγότερα κοπτικά εργαλεία, άρα και με λιγότερα περάσματα και να ολοκληρώνεται η κατεργασία σε πολύ λιγότερο χρόνο.



Εικόνα 3.11 Κοπτικό εργαλείο με κολλητά πλακίδια

Τέλος τα ομοιογενή κοπτικά εργαλεία, εικόνα 3.12, είναι τα φτηνότερα από όλα. Μπορούν να κατασκευάζονται από ταχυχάλυβα (HSS), από καρβίδιο ή από κεραμικό υλικό. Επειδή ανάλογα με το υλικό βγαίνει και το κόστος, τα ομοιογενή εργαλεία έχουν περιορισμένο εύρος εφαρμογών στα μικρού μεγέθους εργαλεία, επειδή τα μεγάλα είναι ιδιαίτερα ασύμφορα. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα που έχουν τα ομοιογενή εργαλεία είναι ότι μόλις οι κοπτικές πλευρές του εργαλείου υποστούν φθορά, τότε θα πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρο το εργαλείο, εφόσον δεν υπάρχει ένθετο. Υπάρχει βέβαια το ενδεχόμενο τροχίσματος, αλλά κι αυτό για περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων και στα εργαλεία που δε μας ενδιαφέρει να αλλάξουν οι διαστάσεις τους.



Εικόνα 3.12 Κοπτικά εργαλεία (Κονδύλια)

4. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ

Οι συνθήκες κοπής στις κατεργασίες υψηλής ταχύτητας παρουσιάζουν αρκετές ιδιαιτερότητες, λόγω της υπερβολικά αυξημένης θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά την κοπή. Αν και έχουν ήδη αναφερθεί οι βασικές συνθήκες κοπής, όπως τα χαρακτηριστικά στοιχεία, οι γωνίες και τα εργαλεία, αξίζει να δούμε συγκεντρωτικά τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή τους σε μια τέτοια κατεργασία.

4.1.1 Παράγοντες

Οι παράγοντες που καθορίζουν τις συνθήκες κοπής σε μια κατεργασία είναι τρεις.

A. Θερμοκρασία κοπής

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την κοπή παίζει σημαντικό ρόλο την όλη κατεργασία, όχι μόνο βέβαια η μέγιστη τιμή της αλλά και πώς αυτή κατανέμεται στο εργαλείο, στο απόβλητο και στην κατεργασμένη επιφάνεια. Υψηλή θερμοκρασία αναπτύσσεται από:

1. Μεγάλα χαρακτηριστικά στοιχεία κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωσης και βάθος κοπής), αφού το εργαλείο κόβει μεγαλύτερο μέρος του τεμαχίου σε μικρό χρόνο και η θερμότητα δεν διαχέεται επαρκώς.

2. Υψηλή σκληρότητα του τεμαχίου, καθώς η τριβή που αναπτύσσεται και παραμορφώνει το υλικό του τεμαχίου είναι μεγαλύτερη.
3. Υλικά με κακή θερμική αγωγιμότητα ή με μικρή μάζα, γι' αυτό κατά τις κατεργασίες υψηλής ταχύτητας επεξεργαζόμαστε συνήθως μεγάλα τεμάχια και με καλή θερμική αγωγιμότητα. Παράλληλα η αγωγιμότητα επηρεάζεται και από τις επικαλύψεις των τοπικών εργαλείων, με αυτές να είναι πλέον απαραίτητες για καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας.
4. Μη χρήση ψυκτικού υγρού.
5. Μεγάλη γωνία κοπής ενώ αντίθετα όταν οι γωνίες ελευθερίας και αποβλήτου είναι μικρότερες τότε η θερμοκρασία αυξάνεται.
6. Μικρή ακτίνα καμπυλότητας, ίσως γιατί συγκεντρώνεται η θερμότητα σε μικρότερη επιφάνεια εφόσον η ακμή του κοπτικού εργαλείου είναι μικρότερη.

B. Δύναμη κοπής

Παρόλο που αναπτύσσονται 3 κύριες δυνάμεις κατά την κατεργασία η βασική δύναμη που μας ενδιαφέρει είναι η δύναμη κοπής που είναι παράλληλη στην πρωτεύουσα κίνηση. Αυτή μεγαλώνει όσο:

1. Μειώνεται η ταχύτητα κοπής, όταν όμως αναφερόμαστε σε υψηλές ταχύτητες κατεργασίας, λόγω της αύξησης θερμοκρασίας και της πλαστικής παραμόρφωσης του τεμαχίου.
2. Αυξάνεται η πρόωση και το βάθος κοπής, εφόσον κόβεται μεγαλύτερο μέρος υλικού στον ίδιο χρόνο. Η δύναμη κοπής αυξάνεται σχεδόν ανάλογα με το βάθος κοπής, ενώ κατά την πρόωση δεν σημειώνεται τόσο σημαντική μεταβολή, ίσως γιατί η κοπή εξαρτάται περισσότερο από την περιοχή ακμής του εργαλείου.
3. Μεγαλύτερη είναι η σκληρότητα του κατεργαζόμενου υλικού.
4. Μικρότερες οι γωνίες κοπής και αποβλήτου, ενώ η γωνία ελευθερίας δεν παίζει σημαντικό ρόλο ως προς την δύναμη κοπής.
5. Αυξάνεται η ακτίνα καμπυλότητας της ακμής του εργαλείου, ίσως γιατί δυσχεραίνεται η παραμόρφωση του τεμαχίου και η θερμοκρασία είναι μικρότερη.

Η θερμοκρασία και η δύναμη κοπής καθορίζουν και τον χρόνο ζωής του εργαλείου γιατί η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να κάνει την κατεργασία ευκολότερη, η θερμική καταπόνηση που ασκείται στο εργαλείο όμως είναι

μεγαλύτερη, ενώ η δύναμη κοπής θέλουμε να είναι όσο το δυνατό μικρότερη. Λογικό είναι λοιπόν σε κάθε κατεργασία να θέλουμε όσο το δυνατό μικρότερη θερμοκρασία και δύναμη, αλλά αν κοιτάξουμε παραπάνω οι περισσότερες συνθήκες κοπής που αποφέρουν μείωση της δύναμης αποφέρουν και αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ συγχρόνως γνωρίζουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αποφέρει μείωση της δύναμης κοπής. Παράλληλα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και η ακρίβεια της επιφάνειας.

C. Ακρίβεια της κατεργασίας

Η ποιότητα της επιφανείας του κατεργασμένου τεμαχίου και η ακρίβεια της κατεργασίας θα λέγαμε γενικά ότι επηρεάζεται δυσχερώς από την αύξηση της θερμοκρασίας. Όμως αυτό συμβαίνει συνήθως σε υλικά με κακή θερμική αγωγιμότητα όπου η θερμότητα παραμένει στην κατεργασμένη επιφάνεια και δημιουργεί ανωμαλίες. Σε υλικά με καλή θερμική αγωγιμότητα, όπως ο χάλυβας, η θερμοκρασία δεν επηρεάζει δυσχερώς, αλλά επειδή με την υψηλή θερμοκρασία μειώνεται η δύναμη κοπής, η επιφάνεια παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια. Όμως η αύξηση αυτής της θερμοκρασίας για κάθε υλικό έχει και τα όρια της.

Και ενώ θα μπορούσαμε να πούμε ότι για τους καλούς αγωγούς της θερμότητας η υψηλή ταχύτητα βελτιώνει την ποιότητα επιφανείας, αυτό συμβαίνει μέχρι κάποιο όριο όχι μόνο λόγω της θερμοκρασίας αλλά και για μηχανικούς λόγους. Ειδικά για το φρεζάρισμα κατά το οποίο περιστρέφεται το εργαλείο, ενώ θα περιμέναμε με μείωση της δύναμης κοπής που προκαλείται από αύξηση της ταχύτητας να μειώνονται και οι ταλαντώσεις στο κοπτικό εργαλείο και στην μανέλα του, στην πραγματικότητα όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής των εργαλείων μας τόσο περισσότεροι κραδασμοί δημιουργούνται. Μάλιστα οι δυνάμεις που προκαλούν αυτές τις ταλαντώσεις αυξάνονται συναρτήσει του τετραγώνου της ταχύτητας περιστροφής και μαζί με αυτές μειώνεται η ποιότητα επιφανείας και η ακρίβεια της κατεργασίας. Για την τόννευση προφανώς δεν παρουσιάζεται αυτό το πρόβλημα με το εργαλείο αλλά με τις ταλαντώσεις του τεμαχίου. Το πρόβλημα ακρίβειας αυτό λόγω υψηλής ταχύτητας περιστροφής λύνεται βέβαια με σωστή και ακριβή πρόσδεση των περιστρεφόμενων μερών ή με καλύτερης ποιότητα εργαλειομηχανή,

αλλά στις πολύ υψηλές ταχύτητες (άνω των 20.000 rpm) ακόμη παρουσιάζονται μηχανικά προβλήματα.

Η αύξηση του βάθους κοπής και περισσότερο της ταχύτητας προώσεως από την άλλη έχουν σαφή συνέπεια την μείωση της ακρίβειας της κατεργασίας, καθώς αυξάνονται τις δυνάμεις κοπής και αποσταθεροποίησης του εργαλείου. Εμφανές είναι επίσης ότι όσο μεγαλύτερη σκληρότητα παρουσιάζει το υλικό του τεμαχίου τόσο μεγαλύτερες δυνάμεις αναπτύσσονται και άρα τόσο χειρότερη ακρίβεια. Τέλος οι μεγαλύτερες γωνίες κοπής αποβλήτου και ελευθερίας δίνουν καλύτερη ποιότητα επιφανείας, ενώ με την ακτίνα καμπυλότητας στις υψηλές ταχύτητες κοπής είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται μικρές ή μεσαίες ακτίνες, αντίθετα με ότι συμβαίνει με τις συμβατικές ταχύτητες κοπής.

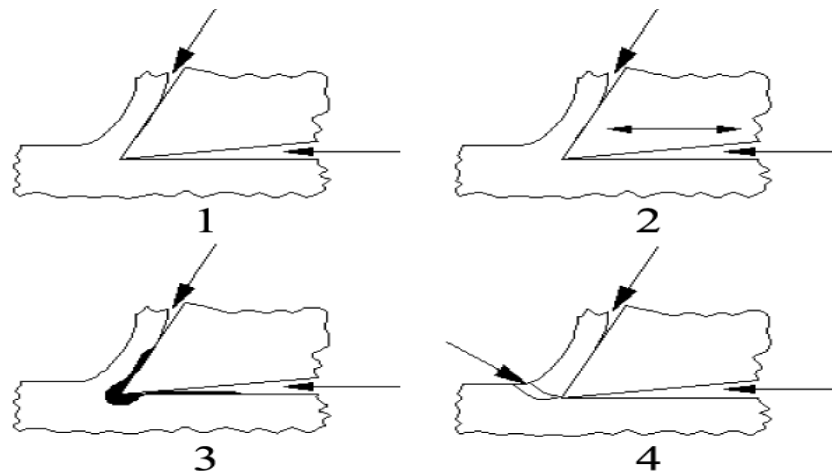
Αν κατά την επιλογή των συνθηκών κοπής εκτός της θερμοκρασίας, της δύναμης κοπής και της ακρίβειας προστεθεί και ο χρόνος ζωής του εργαλείου ως παράγοντας, γίνεται κατανοητό πόσο δύσκολο είναι πολλές φορές να επιλεγούν οι καλύτερες συνθήκες κοπής για μια κατεργασία υψηλής ακρίβειας.

4.2 ΥΓΡΑ ΚΟΠΗΣ

Οι κατεργασίες κοπής των μετάλλων που εφαρμόζονται στη μεταποιητική βιομηχανία είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες με την χρήση υγρών κοπής. Ως λιπαντικά ή και ψυκτικά μέσα τα υγρά αυτά είναι αναγκαία για την επίτευξη του επιθυμητού παραγωγικού αποτελέσματος (διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας, διάρκεια ζωής κοπτικών κ.λπ.). Το κόστος τους καλύπτει 16% -20 % του συνολικού κόστους κατεργασίας, στοιχείο ενδεικτικό της οικονομικής σημασίας τους στο πλαίσιο του κύκλου παραγωγής. Ωστόσο, η χρήση τους συνδέεται με την εμφάνιση προβλημάτων τόσο στο άμεσο περιβάλλον εργασίας όσο και στην διαχείριση και απόρριψη τους ως παραπροϊόντων της παραγωγής. Στην παρούσα ενότητα

παρουσιάζονται και σχολιάζονται κριτικά οι εναλλακτικές λύσεις που εφαρμόζονται σχετικά με την μείωση της χρήσης και την περιβαλλοντικά ασφαλή διαχείριση των υγρών κοπής. Εδώ παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα αλλά και οι εγγενείς αδυναμίες της ξηράς κοπής και οι συναφείς τεχνολογικές λύσεις που προτείνονται (νέα υλικά εργαλείων, κρουογονικά συστήματα ψύξης κ.λ.π.).

Φυσικά είναι πολύ σημαντικό να ρίχνουμε το υγρό κοπής στο κατάλληλο σημείο, ώστε να πετυχαίνουμε το αποτέλεσμα με την όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση. Στο σχήμα 3.3 φαίνονται τα κατάλληλα σημεία.

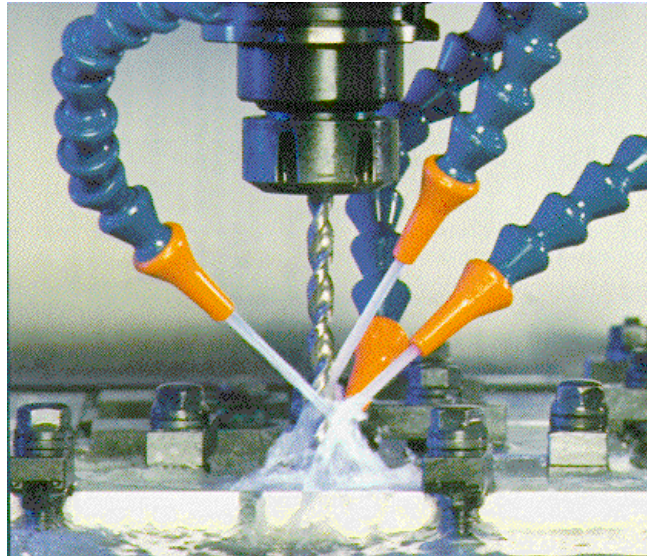


Σχήμα 4.1 Κατάλληλα σημεία εφαρμογής υγρού

4.2.1 Διαχείριση υγρών κοπής

Τα υγρά κοπής, εικόνα 3.13, αποτελούν μια ουσιώδη συνιστώσα του συστήματος κοπής (εργαλειομηχανή-κοπτικό εργαλείο-κατεργάσιμο τεμάχιο). Η δράση τους κατά τα γνωστά αφορά κυρίως τη λίπανση και την ψύξη και δευτερευόντως τον καθαρισμό (απομάκρυνση μικρών σωματιδίων αποβλήτων) της ζώνης κοπής. Τα υγρά κοπής θεωρούνται απαραίτητα για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος (διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας, διάρκεια ζωής κοπτικών κ.λ.π. Οι κύριες κατηγορίες των

υγρών κοπής με κριτήριο το έλαιο βάσης (base fluid) και τα πρόσθετα είναι: τα ορυκτέλαια, τα γαλακτώματα, τα ημισυνθετικά έλαια και τα συνθετικά έλαια. Και τα τέσσερα αυτά υγρά έχουν σαν αποτέλεσμα την λιπαντική και την ψυκτική δράση. Η κατάταξη βέβαια διαφέρει αφού τα ορυκτέλαια προσφέρουν την καλύτερη ψυκτική και χειρότερη λιπαντική, ενώ τα συνθετικά έλαια προσφέρουν την καλύτερη λιπαντική και τη χειρότερη ψυκτική δράση.



Εικόνα 4.1 Υγρό κοπής σε φρέζα

Η οικονομική σημασία τους είναι επίσης σαφής δεδομένου ότι το κόστος τους καλύπτει 16% -20 % του συνολικού κόστους κατεργασίας. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί, στο πλαίσιο μιας ολιστικής προσέγγισης του κύκλου παραγωγής είναι η απαίτηση για ένα σύστημα διαχείρισης όλων των υγρών κοπής μιας παραγωγικής μονάδας, απαίτηση που γίνεται ιδιαίτερα επιτακτική με βάση τις ισχύουσες νομικές ρυθμίσεις για την υγεία και την ασφάλεια της εργασίας και τις απαιτήσεις των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η μη ορθή διαχείριση, με την γενικότερη έννοια, των υγρών κοπής ασκεί αρνητική επίδραση τόσο στη υγεία των εργαζομένων όσο και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η απαίτηση για «καθαρές» κατεργασίες κοπής έχει τεθεί ως στρατηγικός στόχος, ήδη, προ δεκαετίας. Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός προγράμματος διαχείρισης υγρών κοπής έχει τρεις συνιστώσες:

Ø επιλογή κατάλληλου υγρού κοπής

- Ø επιμήκυνση του χρόνου ζωής του υγρού κοπής (συντήρηση)
- Ø «φιλική προς το περιβάλλον» ολική εφαρμογή των υγρών κοπής, όπως αυτή υλοποιείται με την λεγόμενη αρχή των 3 R's: reduce-reuse-recycle.

4.2.1.1. Επιλογή κατάλληλου υγρού κοπής

Τα κριτήρια επιλογής ενός υγρού κοπής δεν πρέπει να καλύπτουν μόνο την λειτουργικότητα και απόδοσή του ως προς την υποβοήθηση της συγκεκριμένης κατεργασίας κοπής αλλά να λαμβάνουν υπόψη θέματα υγείας και ασφάλειας, την επίδραση του στο περιβάλλον και τις δυνατότητες συντήρησης του λιπαντικού. Είναι γνωστό ότι, ιδιαίτερα σε μικρομεσαίες παραγωγικές μονάδες η επιλογή υγρών κοπής βασίζεται μόνο σε τεχνικά χαρακτηριστικά απόδοσης κατά την κατεργασία, διαδικασία που θα πρέπει να αποτελεί μόνον το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας επιλογής.

4.2.1.2 Συντήρηση υγρού κοπής

Η συντήρηση αφορά όλες τις ενέργειες που σκοπό έχουν την διατήρηση των λειτουργικών ιδιοτήτων του υγρού κοπής, άρα και την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτείται ένας αριθμός δοκιμών και μετρήσεων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των υγρών κοπής. Ενδεικτικά αναφέρονται: ο έλεγχος της ποιότητας του ύδατος που προστίθεται στα υδατοδιαλυτά, συνθετικά και ημισυνθετικά λιπαντικά, ο έλεγχος συγκέντρωσης συγκεκριμένων στοιχείων και σωματιδίων στο λιπαντικό η μέτρηση του pH και η αφαίρεση των σωματιδίων, παραπροϊόντων της κατεργασίας που μολύνουν το λιπαντικό.

4.2.1.3 «Φιλική προς το περιβάλλον» εφαρμογή των υγρών κοπής»

Η «φιλική προς το περιβάλλον» εφαρμογή των υγρών κοπής υλοποιείται με την λεγόμενη αρχή των 3 R's: reduce-reuse-recycle. Οι δύο πρώτοι όροι αφορούν ουσιαστικά στη μείωση των υγρών κοπής που εισέρχονται στο σύστημα κοπής ενώ ο τρίτος σχετίζεται με την μείωση των πρώτων υλών άρα και των αποβλήτων που επιβαρύνουν το περιβάλλον, στο πλαίσιο της προσέγγισης του ολικού κύκλου ζωής (life cycle assessment). Η μείωση της ποσότητας των υγρών κοπής μπορεί να επιτευχθεί με βελτιωμένο ανασχεδιασμό του συστήματος προσαγωγής του υγρού στη θέση κοπής, π.χ. η υπερπλήρωση της περιοχής κοπής (flooding) αντικαθίσταται με ακροφύσια ψεκασμού υπό τη μορφή νέφους (misting). Η επαναχρησιμοποίηση των ελαίων κοπής αφού υποστούν ειδικές διεργασίες καθαρισμού αφενός μειώνει το συνολικό κόστος κατεργασίας και αφετέρου συμβάλλει στη μειωμένη απόρριψη βλαπτικών ουσιών στο περιβάλλον. Τα συστήματα διύλισης και καθαρισμού των υγρών κοπής ενδέχεται να είναι διακριτά / αποκεντρωμένα ή κεντρικά. Στα συστήματα αυτά εφαρμόζεται ένας αριθμός διαθέσιμων τεχνικών όπως η καθίζηση, το φιλτράρισμα (με βαρύτητα, εν κενώ, υπό πίεση), ο μαγνητικός διαχωρισμός και η φυγοκέντριση με κυκλώνα ή διαχωριστή. Οι μέθοδοι ανακύκλωσης των ελαίων κοπής ποικίλουν από απλές δεξαμενές καθίζησης και διαχωρισμού μέχρι σύνθετα συστήματα με μαγνητικούς και φυγοκεντρικούς διαχωριστές, μονάδα αποστείρωσης και κονιορτοποιητές αποβλήτων. Με την ολοκλήρωση της ανακύκλωσης το έλαιο επιστρέφει προς χρήση στις θέσεις κοπής, τα δε διαχωρισμένα στερεά στεγνά απόβλητα πωλούνται ως scrap.

4.2.2 Χρήση εναλλακτικών υγρών κοπής

Η χρήση «εναλλακτικών» υγρών κοπής εισήχθη στο τέλος της δεκαετίας του '70 ως αποτέλεσμα ενός γενικότερου επανασχεδιασμού των μηχανουργικών κατεργασιών για την συμμόρφωση των παραγωγικών διαδικασιών προς την αυξανόμενη περιβαλλοντική εγρήγορση και την επακόλουθη νομοθεσία. Επισημαίνεται ότι ο όρος «εναλλακτικό» δεν είναι ιδιαίτερα σαφής ενώ στην δόκιμη τεχνική βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ένας αριθμός συναφών όρων για τον χαρακτηρισμό των «μη συμβατικών» υγρών κοπής: environmentally friendly, environmentally adapted, environmentally compatible, ecological κ.λπ. Με το υπάρχον επίπεδο τεχνολογίας πλέον ακριβής θεωρείται ο όρος «περιβαλλοντικά προσαρμοσμένο υγρό κοπής» (environmentally adapted cutting fluid/EACF), που χαρακτηρίζει το λιπαντικό που προκαλεί την ελάχιστη βλαπτική επίδραση στο περιβάλλον. Ως «περιβαλλοντικά προσαρμοσμένο υγρά κοπής» θεωρούνται αυτά που έχουν ως βάση:

- Ø Συγκεκριμένα συνθετικά υγρά: πολυγλυκόλες (με βάση το αιθυλένιο ή το προπυλένιο)
- Ø Πολυ-α-ολεφίνες (ΡαΟ) και συνθετικοί εστέρες (SE)
- Ø Φυτικά έλαια (VO): φυσικά τριγλυκερίδια ή φυσικοί εστέρες.

Η καταλληλότητα των EACF στις κατεργασίες κοπής συγκεκριμένων υλικών (χάλυβες εργαλείων, AlSi9Cu3, CuSn8P κλπ) έχει επιβεβαιωθεί από έναν αριθμό ερευνητικών προγραμμάτων. Ιδιαίτερα επιτυχής και ευρέως εφαρμοζόμενη είναι η χρήση των EACF σε κατεργασίες αποπεράτωσης (λείανση). Σημειώνεται ότι τα φυτικά υγρά κοπής (VO) παρουσιάζουν γενικά, εξαιρετικές ιδιότητες λίπανσης, σταθερό δείκτη ιξώδους, υψηλό σημείο ανάφλεξης και την επιθυμητή βιοδιάσπασιμότητα. Το κύριο μειονέκτημα τους εντοπίζεται στο γεγονός της αστάθειάς τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

Πρέπει να επισημανθεί τέλος ότι η τάση αντικατάστασης των συμβατικών υγρών κοπής από τα EACF δεν υπαγορεύεται μόνον από λόγους

περιβαλλοντικής εγρήγορσης αλλά και προκύπτει από την ολική προσέγγιση του κόστους (overall life-cycle cost) που αναδεικνύει, σε πολλές περιπτώσεις, τα EACF ως την πλέον συμφέρουσα λύση.

4.2.3 Ξηρή κοπή

Η κοπή χωρίς χρήση υγρού κοπής (dry machining) εφαρμόζεται όλο και περισσότερο εξαιτίας των απαιτήσεων σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. Η ξηρή κοπή αποτελεί το πλησιέστερο βήμα προς την λεγόμενη καθαρή κοπή (clean machining). Τα πλεονεκτήματα της ξηρής κοπής περιλαμβάνουν αποφυγή μόλυνσης του περιβάλλοντος, έλλειψη παραπροϊόντων κατεργασίας με συνέπεια μειωμένο κόστος απόρριψης και καθαρισμού, εξαφάνιση κινδύνων για την υγεία των εργαζομένων (δερματικές ασθένειες και αλλεργίες) και προφανώς μείωση του ολικού κόστους παραγωγής. Έχει υπολογισθεί ότι το κόστος χρήσης υγρών κοπής είναι πολλαπλάσιο του κόστους εργασίας και των γενικών εξόδων. Προφανώς η ξηρή κοπή είναι αποδεκτή όταν η ομοιομορφία επιφάνειας του κατεργασμένου τεμαχίου και ο αντίστοιχος χρόνος κοπής είναι τουλάχιστον όμοιοι με τα αντίστοιχα μεγέθη της συμβατικής κοπής. Για να εφαρμοσθεί επιτυχώς η ξηρή κοπή πρέπει να αντισταθμισθεί η συνεισφορά των υγρών κοπής στη μηχανική της αποβολής υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: την εφαρμογή έμμεσων συστημάτων ψύξης της ζώνης κοπής, χωρίς την άμεση επαφή υγρού κοπής και κατεργάσιμου υλικού και την χρήση νέων βελτιωμένων υλικών για τα κοπτικά εργαλεία. Η έρευνα στον χώρο της ξηρής κοπής με έμμεσο σύστημα ψύξης έχει οδηγήσει στις ακόλουθες εφαρμοζόμενες τεχνικές:

- Ø «Σύστημα υπόψυξης», όπου το ψυκτικό υγρό ρέει δια μέσου καναλιών που βρίσκονται στο στέλεχος του εργαλείου, κάτω από το κοπτικό πλακίδιο, και εν συνεχεία έξω στο περιβάλλον, χωρίς άμεση επαφή με τη ζώνη κοπής.

- ∅ Εσωτερική ψύξη από ένα σύστημα ατμοποίησης, στο οποίο ένα ατμοποιημένο υγρό εισάγεται μέσα στο στέλεχος του κοπτικού εργαλείου και εξατμίζεται στην κάτω επιφάνεια του κοπτικού πλακιδίου.
- ∅ «Κρυογονική» κοπή όπου μία ροή κρυογονικού ρευστού διοχετεύεται στο εσωτερικό του εργαλείου.
- ∅ Συστήματα θερμοηλεκτρικής ψύξης με την χρήση ζευγών από θερμοηλεκτρικών υλικά.

Η έρευνα σε σχέση με τα κοπτικά εργαλεία (ΚΕ) που χρησιμοποιούνται στην ξηρή κοπή έχει καταλήξει στα ακόλουθα:

- ∅ Χρήση πολύ μεγάλων θετικών γωνιών αποβλήτου ($> 30^{\circ}$) στα ΚΕ από σκληρομέταλλα, η οποία μειώνει σημαντικά την ολική ενέργεια κοπής.
- ∅ Χρήση ΚΕ από δύστηκτα υλικά (refractory-type) με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- ∅ Χρήση υπέρσκληρων υλικών ΚΕ όπως το διαμάντι και ο κυβικός βοριονιτρίτης (CBN).
- ∅ Ανάπτυξη ειδικών επικαλύψεων όπως επικάλυψη με χημική εναπόθεση ατμών(CVD) ή επικαλύψεις πολλαπλών στρώσεων(multiple-layer coatings) στα ΚΕ αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και ταυτόχρονα εμφανίζουν λιπαντική δράση για μείωση της τριβής.

Ξηρή κοπή έχει επιτευχθεί ικανοποιητικά στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ∅ Κοπή χυτοσιδήρου (τόρνευση, φρεζάρισμα) σε υψηλές ταχύτητες κοπής με χρήση κοπτικών από κεραμικό υλικό ή CBN. Αποτελεί την συνηθέστερη και παλαιότερη εφαρμογή της ξηράς κοπής.
- ∅ Διάτρηση χάλυβα με τροποποιημένης γεωμετρίας τρυπάνι με επικάλυψη TiN.
- ∅ Φρεζάρισμα υπερκραμάτων και κραμάτων τιτανίου σε υπερύψηλες ταχύτητες κοπής (high speed cutting) με κεραμικό εργαλείο σύνθετης επικάλυψης (TiAlN + SiC whiskers).

Δεν έχει επιτευχθεί η συνεχής ξηρή κοπή (τόρνευση, φρεζάρισμα) υπερκραμάτων και κραμάτων τιτανίου ενώ η ξηρή κοπή κραμάτων αλουμινίου βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο. Στις περιπτώσεις αυτές εναλλακτικά

χρησιμοποιείται η λεγόμενη «τεχνική της ελάχιστης λίπανσης» (minimal quantities of lubricant /MQL). Η βέλτιστη ρύθμιση των παραμέτρων της κατεργασίας οδηγεί σε κατανάλωση ψυκτικού υγρού μικρότερη από 50 ml ανά ώρα καθαρής κοπής, γεγονός που καθιστά την τεχνική αυτή πανομοιότυπη με την ξηρή κοπή.

4.3 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ

Στις κατεργασίες κοπής παρουσιάζονται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις του υλικού και ιδιαίτερα στις κοπές υψηλής ταχύτητας όπου τα θερμικά φαινόμενα παίζουν σημαντικό ρόλο σε σύγκριση με τα μηχανικά. Κατά την τόννευση το τεμάχιο παραμορφώνεται πλαστικά από την επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου και την ακμή του. Μπροστά από το εργαλείο έχουμε ανάπτυξη θλιπτικής τάσης στο τεμάχιο και εφελκυστικής πίσω από το εργαλείο.

Η επίδραση των θερμικών φαινομένων από την άλλη είναι διαφορετική. Στην γενική περίπτωση του κοπτικού εργαλείου με στρογγυλεμένη ακμή έχουμε τρεις πηγές που λειτουργούν ως πηγές θερμότητας κατά την κοπή:

- Ø Η πρωτεύουσα ζώνη με το έργο διάτμησης.
- Ø II. Η δευτερεύουσα ζώνη με το έργο τριβής.
- Ø III. Η περιοχή τριβής με το καμπύλο τμήμα του κοπτικού εργαλείου(ακμή).



Εικόνα 4.2

Η επιφάνεια που ακόμα δεν έχει κατεργαστεί και βρίσκεται στις τρεις αυτές ζώνες ή κοντά σε αυτές υπόκειται σε έντονη θερμική ροή και έτσι προκαλείται τοπική πλαστική παραμόρφωση λόγω της ανάπτυξης υψηλής θερμοκρασίας.

Για τον υπολογισμό μιας μέσης θερμοκρασίας στο επίπεδο διάτμησης και στο κοπτικό εργαλείο, είναι απαραίτητο να θεσπιστεί ένα κριτήριο επιμερισμού της συνολικής παραγόμενης θερμότητας στο εργαλείο, το τεμάχιο και το απόβλητο, έτσι κάνουμε τις παρακάτω παραδοχές:

1. Σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, η κοπή θεωρείται ισόθερμη αφού ο ρυθμός απαγωγής της παραγόμενης θερμότητας είναι περίπου ίσος με το ρυθμό έκλυσής της.
2. Η αύξηση της ταχύτητας κοπής συνεπάγεται σε αύξηση της θερμοκρασίας τεμαχίου και εργαλείου αφού ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας υπολείπεται του ρυθμού έκλυσης.
3. Σε πολύ υψηλές ταχύτητες κοπής, η κοπή μπορεί να θεωρηθεί ως αδιαβατική.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί επιγραμματικά ότι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο κοπτικό εργαλείο, κυρίως στην ακμή του αυξάνεται με:

- Αύξηση της ταχύτητας κοπής.
- Αύξηση της σκληρότητας του υλικού του τεμαχίου.
- Αύξηση του βάθους κοπής.
- Αύξηση του βάθους προώσεως.

4.4 ΑΠΟΒΛΗΤΑ & ΓΡΕΖΙΑ

Η μορφή του αποβλήτου είναι ένα αρκετά σημαντικό θέμα προς εξέταση, καθώς από αυτή και μόνο μπορούμε να αξιολογήσουμε την απόδοση της κατεργασίας, ειδικά στις κατεργασίες υψηλής απόδοσης και ταχύτητας. Το απόβλητο δημιουργείται λόγω της πλαστικής παραμόρφωσης που προκαλεί η διάτμηση στο υλικό του τεμαχίου. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες έρχεται σε επαφή το εργαλείο με το απόβλητο είναι ακραίες, με υψηλή θερμοκρασία, πίεση, τριβή και ταχύτητα ολίσθησης μεταξύ τους. Η μορφή του αποβλήτου λοιπόν μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες κοπής, τη θερμοκρασία κοπής, το εργαλείο και το υλικό.

Οι μορφές που ενδέχεται να πάρει το απόβλητο κατά την τόννευση είναι τρεις, συνεχόμενη δηλαδή αποβάλλεται το υλικό σε μεγάλο μήκος κομμάτια, διακοπτόμενη δηλαδή σε κομμάτια και πριονωτή δηλαδή μια ενδιάμεση μορφή των δύο προηγούμενων με μεταβαλλόμενο πάχος του αποβλήτου. Η ομοιομορφία η όχι του αποβλήτου σχετίζεται με το πάχος, την επαναληψιμότητα στο σχήμα και τη μορφή που αυτό σχηματίζει μετά την κοπή. Για το φρεζάρισμα το απόβλητο είναι διακοπτόμενο, όμως ενδέχεται να έχει ορθογωνική μορφή πετάλου.



Εικόνα 4.3

Βλέπουμε ότι με αύξηση του βάθους κοπής ή και της ταχύτητας προώσεως για τον χάλυβα και γενικά για τα περισσότερα μέταλλα έχουμε διακοπτόμενο απόβλητο. Αυτό εξηγείται από την ταυτόχρονη αύξηση θερμοκρασίας και δυνάμεων κοπής, το υλικό γίνεται πιο μαλακό και έτσι κόβεται ευκολότερα συναρτήσσει και των μεγαλύτερων δυνάμεων. Όσον αφορά την ταχύτητα κοπής τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα:

Έχει παρατηρηθεί ότι για τα όλκιμα μέταλλα όπως το αλουμίνιο, το διακοπτόμενο απόβλητο εμφανίζεται μετά από μια συγκεκριμένη ταχύτητα κοπής, συνήθως πολύ υψηλή, ενώ για πιο ψαθυρά μέταλλα οι υψηλές ταχύτητες ευνοούν το σχηματισμό συνεχόμενου αποβλήτου. Η ταχύτητα κοπής δεν επηρεάζει σε απόλυτο βαθμό το σχήμα του αποβλήτου, καθώς η θερμοκρασία αυξάνει αλλά οι δυνάμεις κοπής ελαττώνονται, γεγονός που ίσως εξηγεί την αβεβαιότητα μορφής του αποβλήτου.

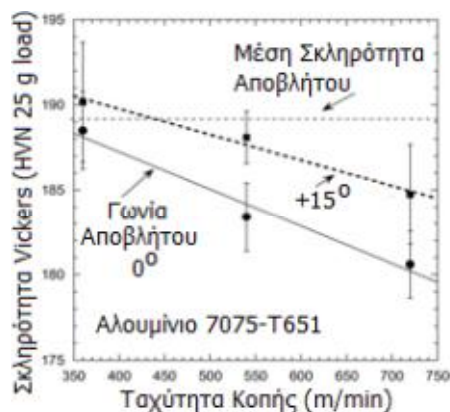
Στις κατεργασίες υψηλής ταχύτητας συνήθως επιδιώκουμε να έχουμε ασυνεχές απόβλητο για να είναι μικρότερη η επιφάνεια επαφής του αποβλήτου με το εργαλείο πριν αυτό απορριφθεί και άρα να έχουμε μικρότερες δυνάμεις κοπής, χωρίς βέβαια να παραλείπουμε τις ταλαντώσεις στην δύναμη κοπής από την ασυνέχεια της ροής που επηρεάζουν την ποιότητα επιφανείας του κατεργασμένου κομματιού. Έτσι ο έλεγχος του αποβλήτου ειδικά στις κατεργασίες όπως η τórνευση και το φρεζάρισμα γίνεται επιτακτική ανάγκη.

Ασυνέχεια στο απόβλητο, εκτός από υψηλό βαθμό κοπής και ταχύτητα προώσεως, μπορεί να επιτευχθεί επίσης με το ψυκτικό υγρό, με την κατάλληλη σύσταση του υλικού προς κατεργασία, με τις κατάλληλες διατάξεις στο εργαλείο(όπως οι γρεζοθράυστες οι οποίες κόβουν το απόβλητο) ή τέλος με την επιλογή των κατάλληλων γωνιών κοπής και αποβλήτου.



Εικόνα 4.4 Ένθετο πλακίδιο με επικάλυψη

Η σκληρότητα του αποβλήτου μας δίνει και μια εκτίμηση για την θερμοκρασία κοπής. Όσο μεγαλύτερη σκληρότητα έχει το απόβλητο τόσο μικρότερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται κατά την κοπή, εφόσον η πλαστική παραμόρφωση κατά τις υψηλές θερμοκρασίες μειώνει την σκληρότητα και με την γωνία αποβλήτου. Η γωνία αποβλήτου όσο μικρότερη είναι τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασία έχουμε, πράγμα που αποδεικνύεται και με την σκληρότητα στο ακόλουθο σχήμα.



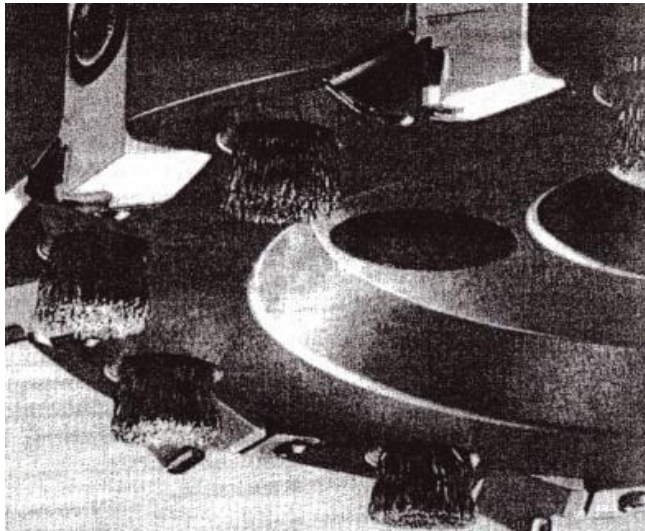
Εικόνα 4.5

Τα γρέζια, δηλαδή τα ανεπιθύμητα προεξέχοντα κομμάτια μετάλλου που μένουν στην κατεργασμένη επιφάνεια, προκαλούν πολλά προβλήματα στην ποιότητα επιφανείας του τεμαχίου και μπορεί να αποδειχτούν βλαβερά ακόμη και για τους εργάτες των κατεργασιών. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει επαρκής ακαδημαϊκή μελέτη για τον σχηματισμό των γρεζιών και έτσι δεν υπάρχουν αξιόπιστοι μηχανισμοί που θα αποτρέπουν τη δημιουργία τους. Άρα μένει μονάχα η λύση της απομάκρυνσής τους.

Το πρόβλημα για την απομάκρυνσή τους δεν είναι τεχνικό ή τεχνολογικό αλλά καθαρά το κόστος των επιπρόσθετων κατεργασιών που απαιτείται. Γι' αυτό οι απαίτηση των βιομηχανιών είναι η εύρεση τρόπων απομάκρυνσής τους με το λιγότερο κόστος πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση διατάξεων καθαρισμού γρεζιών στην ίδια τη κατεργασία του υλικού, χωρίς να χρειάζεται ειδική διάταξη για αυτόν τον σκοπό.

Μια αρκετά φθηνή και αξιόλογη λύση για παράδειγμα κατά το φρεζάρισμα παρουσιάζεται στο σχήμα και αποτελείται από μία φρεζοκεφαλή αλουμινίου με κυλινδρικά περιβλήματα που εκτός των κοπτικών εργαλείων

περιέχουν και βούρτσες για τον καθαρισμό των γρεζιών. Το περίβλημα με τις βούρτσες είναι ψηλότερα κατά την κατεργασία (και άρα δεν έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο) ενώ αφού αυτή ολοκληρωθεί, το περίβλημα με τα εργαλεία μαζεύεται και οι βούρτσες περιστρέφονται με αντίθετη φορά από αυτήν που έγινε η κατεργασία. Με αυτόν τον τρόπο τα γρέζια καθαρίζονται αποτελεσματικά, γρήγορα και χωρίς μεγάλο κόστος.



Εικόνα 4.6. Κεφαλή φρέζας με καθαριστή γρεζιών

4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο μη καταστροφικός έλεγχος ανήκει στις πιο σημαντικές ομάδες ασφαλείας. Ο βασικός στόχος του ΜΚΕ είναι η εύρεση σφαλμάτων και ανομοιογενειών που είτε βρίσκονται εσωτερικά σε υλικά είτε είναι αδύνατο να εντοπιστούν με γυμνό μάτι. Αυτό επιτυγχάνεται με διαδικασίες οι οποίες δεν επηρεάζουν το εξεταζόμενο υλικό, ενώ παράλληλα οι εκτίμηση των μετρήσεων που λαμβάνονται οδηγεί εύκολα στην απόφαση για την αξιοπιστία των υλικών και για το αν αυτά είναι κατάλληλα ή όχι για χρήση.

1. **Μέθοδοι Βασισμένοι Στην Ακουστική:** Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τον ήχο και πιο συγκεκριμένα τους υπερήχους ως το μέσο μέτρησης, διάγνωσης και εύρεσης ατελειών έχουν εφαρμογή σε όλα τα αποκαλούμενα ηχοαγώγιμα υλικά. Η αρχή λειτουργίας τους είναι πολύ

απλή και συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι χρησιμοποιούνται αισθητήρες με δυνατότητα εκπομπής και λήψης υπερήχων οι οποίοι εισάγουν παλμούς μέσα στο εξεταζόμενο υλικό. Οι κύριες εφαρμογές του είναι :

- a. Η εύρεση ατελειών σε συγκολλήσεις μικρών και μεγάλων κατασκευών.
- b. Η εύρεση εσωτερικών ατελειών σε χυτά
- c. Η μέτρηση πάχους τοιχωμάτων σε σημεία που δεν είναι δυνατή η χρήση των κλασικών οργάνων(παχύμετρα κλπ.)

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που έχουν παρόμοιο πεδίο εφαρμογής οι υπέρηχοι πλεονεκτούν στο ότι:

- Ø Δεν παρουσιάζουν κανένα κίνδυνο για το προσωπικό
- Ø Εφαρμόζονται ακόμα και αν το δοκίμιο έχει μεγάλο πάχος
- Ø Εντοπίζουν όλων των ειδών τις ατέλειες
- Ø Δεν αποτελούν δαπανηρή επένδυση

Τα μειονεκτήματα που συναντάμε είναι ότι απαιτείται πολύ καλή εκπαίδευση του προσωπικού για σωστή εφαρμογή της μεθόδου και ότι είναι δύσκολη η αποτύπωση και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων.

2. **Μέθοδοι Βασισμένοι Στην Ακτινοβολία:** Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι μέθοδοι που βασίζονται στην λήψη ακτινογραφιών όπως ακριβώς και στην ιατρική και διαχωρίζονται σε αυτές που αποτυπώνουν το αποτέλεσμα είτε σε φιλμ γνωστές ως ραδιοσκοπία είτε σε άλλο μέσο αποτύπωσης γνωστή ως ραδιοσκοπία. Ένας ακόμα διαχωρισμός έχει να κάνει με την πηγή που γεννά την ακτινοβολία που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση και είναι αυτή που ορίζει και την μέθοδο:

- Ø **Έλεγχος Με Ακτινοβολία Χ:** Με την μέθοδο αυτή μπορούμε να βρεθούν ατέλειες και ελαττώματα τόσο στο εσωτερικό όσο και στην επιφάνεια του αντικειμένου που εξετάζεται. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του εξοπλισμού έχει να κάνει το πάχος των αντικειμένων που πρόκειται να εξεταστούν μιας και όσο μεγαλύτερο πάχος εξετάζουμε τόσο αδυνατίζει η ακτινοβολία μέσα σε αυτό επομένως απαιτείται ισχυρότερη πηγή. Για την δημιουργία αυτής της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται ειδικές ακτίνες Χ-ray Λυχνίες. Οι λυχνίες αυτές είναι κενές και περιέχουν μια θερμαινόμενη κάθοδο από την οποία ξεκινάνε

επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια και προσκρούουν στην άνοδο η οποία είναι φτιαγμένη από βολφράμιο. Από την πρόσκρουση αυτή έχουμε την δημιουργία ακτινοβολίας X-ray την οποία και χρησιμοποιούμε στους ελέγχους μας. Η όλη συσκευή απαιτεί την ύπαρξη καλής ψύξης και ειδικών διαφραγμάτων τα οποία καθοδηγούν τις ακτίνες στο σημείο που θέλουμε να εξετάσουμε. Λόγω της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν οι ακτίνες X για τον ανθρώπινο οργανισμό απαιτείται πολύ καλή εκπαίδευση και ειδική προστασία για τους ελεγκτές που εφαρμόζουν αυτές τις μεθόδους.

Ø **Έλεγχος Με Ακτινοβολία γ:** Η βασική διαφορά από την άλλη είναι η πηγή της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται. Στην ακτινοβολία γ χρησιμοποιούνται ραδιοϊσότοπα τα οποία διαφέρουν στην ένταση τους και στον χρόνο ημισείας ζωής (το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να πέσει η ένταση τους στο μισό). Τρία από τα πιο κοινά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι :

- a. Το Σελήνιο που έχει χρόνο ημισείας ζωής 120 μέρες
- b. Το Ιρίδιο που έχει χρόνο ημισείας ζωής 75 μέρες
- c. Το Κοβάλτιο που έχει χρόνο ημισείας ζωής 5,2 χρόνια

Από αυτά το σελήνιο έχει την ασθενέστερη ακτινοβολία και η ποιότητα των ακτινογραφιών που λαμβάνονται δεν διαφέρουν ιδιαίτερα σε σχέση με τις X-ray, ενώ το κοβάλτιο έχει την ισχυρότερη και χρησιμοποιείται για τα μεγαλύτερα πάχη. Αυτό που διακρίνει την μία πηγή από την άλλη είναι ότι τα ισότοπα δεν μπορούν να σβήσουν όπως μια λυχνία και επομένως εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία. Τα βασικά πλεονεκτήματα των παραπάνω μεθόδων είναι ότι μας δίνουν μια ξεκάθαρη εικόνα της κατάστασης του εξεταζόμενου αντικειμένου ενώ παράλληλα η αποτύπωση σε φιλμ γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδεικνύεται η ποιότητα λήψης και οι συνθήκες που έγινε αυτή και να μην ενδέχεται καμία αμφισβήτηση. Από την άλλη το κυριότερο μειονέκτημά τους αποτελεί η επικινδυνότητα που παρουσιάζει η ακτινοβολία για τον ελεγκτή και τους εργαζόμενους.

3. **Μέθοδοι Βασισμένοι Στην Οπτική Εκτίμηση:** Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι εκείνες που βασίζονται στην εκτίμηση μετά από την εξωτερική εξέταση του δοκιμίου και στην απόφαση της καταλληλότητας ή μη αυτού. Η βασικότερη προϋπόθεση για αυτή την κατηγορία είναι η καλή

λειτουργία της όρασης του ελεγκτή. Οι τρεις πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι:

I. **Οπτικός έλεγχος:** Αυτή η μέθοδος είναι θεωρητικά η πιο απλή και είναι η πρώτη που πρέπει να εντάσσεται στην παραγωγική διαδικασία, διότι τόσο η διαδικασία όσο και ο εξοπλισμός για την εφαρμογή της δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες απαιτήσεις. Όσον αφορά τη διαδικασία ελέγχου υπάρχει τυποποιημένος έλεγχος των τυπικών χαρακτηριστικών για κάθε είδος όπως:

- ∅ Έλεγχος για το αν το είδος είναι όσο ολοκληρωμένο πρέπει για την παρούσα φάση
- ∅ Έλεγχος για τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά
 - ∅ Έλεγχος βασικών χαρακτηριστικών επιφανείας για παραμορφώσεις και αποχρωματισμούς.

Τα πλεονεκτήματα του οπτικού ελέγχου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλες τις επιφάνειες και μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις χωρίς τη χρήση ακριβού εξοπλισμού, ενώ τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν μπορούμε να βρούμε ελαττώματα κάτω από την επιφάνεια όπως επίσης και πολύ λεπτές ρωγμές.

II. **Εύρεση επιφανειακών ατελειών με Διεισδυτικά υγρά:** Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά απλή και βασίζεται στην χρήση ειδικών υγρών με τα οποία αναδεικνύονται εύκολα οι επιφανειακές ρωγμές. Τα βήματα είναι τα εξής:

- ∅ Πρώτα καθαρίζεται πολύ καλά η επιφάνεια ώστε να φύγουν οι ακαθαρσίες από τις ρωγμές και να είναι δυνατή η διείσδυση του υγρού
- ∅ Στην συνέχεια γίνεται εφαρμογή του διεισδυτικού υγρού το οποίο το αφήνουμε για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να εισχωρήσει στις ρωγμές
- ∅ Καθαρίζουμε πάλι ώστε να φύγει από την επιφάνεια το πλεονάζον υγρό
- ∅ Εφαρμόζουμε τον εμφανιστή ο οποίος αναδεικνύει τις ρωγμές τραβώντας προς τα έξω το διεισδυτικό υγρό.

Επομένως τα διεισδυτικά υγρά είναι φθορίζουσα και οι ατέλειες αναδεικνύονται σε UV λάμπα είτε κόκκινα και ο εμφανιστής λευκός για

να υπάρχει έντονη αντίθεση και να τα βλέπουμε και στο φως της μέρας.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα στερεά αντικείμενα ανεξαρτήτως σχήματος και υλικού ενώ τα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται που χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη των σφαλμάτων είναι χαμηλού κόστους. Αντιθέτως το μειονέκτημά της είναι ότι η μέθοδος βασίζεται πολύ στην σωστή εφαρμογή από τον ελεγκτή, οι ρωγμές πρέπει να είναι καθαρές και οι ποσότητες των υγρών πρέπει να είναι σε τέτοιο βαθμό ώστε το αποτέλεσμα να είναι ξεκάθαρο.

III. Εύρεση επιφανειακών ατελειών με Μαγνητικά σωματίδια: Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε μαγνητιζόμενα υλικά για να αναδείξει επιφανειακές ρωγμές που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής βασίζεται στη μαγνήτιση του υλικού και την ταυτόχρονη εφαρμογή κάποιου μέσου που περιέχει μαγνητικά σωματίδια. Στα σημεία που υπάρχει ρωγή δημιουργείται τοπικά ένα έντονο μαγνητικό πεδίο το οποίο έλκει τα σωματίδια αυτά και τα συγκεντρώνει κατά μήκος της ρωγμής. Τα σωματίδια αυτά φθορίζουν και αναδεικνύονται με την χρήση λάμπας UV.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία-καθαρισμό του αντικειμένου, οι ρωγμές αναδεικνύονται ευκρινώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου είναι ξεκάθαρα και αναπαραγόμενα. Το κύριο μειονέκτημά της είναι ότι η εφαρμογή της είναι δυνατή μόνο σε μαγνητιζόμενα υλικά.

5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ύστερα από την έρευνα που κάναμε πάνω στο θέμα της κατεργασίας υψηλής ταχύτητας, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως η τεχνολογία στον τομέα της κατεργασίας μετάλλων με αφαίρεση υλικού έχει πολύ μεγάλη εξέλιξη στην πορεία των αιώνων. Αυτό φυσικά είναι αποτέλεσμα πολλών παραμέτρων, όπως η τεχνολογία των επιμέρους εξαρτημάτων ενός μηχανήματος “High Speed Machining”, αλλά και των αναλώσιμων ανταλλακτικών που χρησιμοποιεί (κοπτικά εργαλεία και υγρά κοπής), με πολλές δυνατότητες επιλογής. Η ταχύτητα παραγωγής έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας των μηχανημάτων, αλλά και της δυνατότητας αυτόματου προγραμματισμού τους. Όλα τα παραπάνω έρχονται να καταστήσουν, βέβαια, ιδιαίτερα ακριβή μία επένδυση πάνω στον τομέα της μεταποίησης, με πολλές όμως υποσχέσεις για το αποτέλεσμά της. Ανάλογα με την επένδυση που μπορεί να κάνει κάποιος, βλέπει και τα ανάλογα αποτελέσματα. Η χρήση αυτών των μηχανημάτων στην αγορά έχει αρχίσει να επεκτείνεται αρκετά γρήγορα με αποτέλεσμα τα παραγόμενα προϊόντα να είναι πολύ ακριβέστερα, με πολύ μικρές ανοχές στην κατασκευή τους, αρκετά πιο φθηνά, λόγω του εξαιρετικά μικρού χρόνου που απαιτείται για την παραγωγή, με μοναδικό, ίσως, μειονέκτημα την ανάγκη για παραγγελίες μεγάλων ποσοτήτων, ώστε να είναι επικερδής μία τέτοια επένδυση. Από μια άλλη σκοπιά θα μπορούσε να πει κανείς ότι μία τέτοια επένδυση είναι απαραίτητη για να μπορέσει μία εταιρία του τομέα της μεταποίησης, να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της εποχής.

Τα μηχανήματα κατεργασίας υψηλών ταχυτήτων έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα απλά συμβατικά μηχανήματα κατεργασίας μετάλλου. Το βασικότερο όλων είναι ότι ρίχνουν δραματικά το κόστος παραγωγής και αυτό το πετυχαίνουν με πολλούς τρόπους. Καταρχάς ελαχιστοποιούν το χρόνο παραγωγής. Κατά δεύτερον δεν είναι απαραίτητο το

ανθρώπινο δυναμικό σε κάθε ένα από αυτά, αλλά μπορεί να υπάρχει ένας χειριστής που να "εποπτεύει" 3-4 μηχανήματα ταυτόχρονα χωρίς να υπάρχει καν το περιθώριο σφάλματος κατά την εργασία. Με αυτόν τον τρόπο για να δουλέψει ένα τέτοιο μηχάνημα 24 ώρες, θα χρειαστεί 3 χειριστές που θα αλλάζουν βάρδιες. Τον ίδιο αριθμό χειριστών όμως θα χρειαστούν και 4 τέτοια μηχανήματα. Ενώ για 4 συμβατικά μηχανήματα θα χρειαστούν 12 τεχνίτες για να μπορέσουν να δουλέψουν 24 ώρες. Αυτό μπορεί να εξοικονομήσει στην εταιρία 9 υπαλλήλους. Αν βάλουμε και τη διαφορά στην ταχύτητα με την οποία δουλεύουν θα βγάλουμε εύκολα το συμπέρασμα πως τα High Speed Machines μπορούν να εξοικονομήσουν ακόμα και 45 ημερομίσθια μέσα σε ένα 24ώρο υπολογίζοντας τη διαφορά των παραγόμενων αντικειμένων αν σκεφτούμε πως μπορεί να παράγουν 5 φορές ταχύτερα. Ένα σαφώς μεγάλο περιθώριο κέρδους και μείωσης του κόστους παραγωγής. Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα απέναντι στα συμβατικά μηχανήματα είναι η σύγχρονη τεχνολογία τους με αποτέλεσμα να μπορούν να κατασκευάσουν προϊόντα με πολύ μικρές ανοχές, ελαχιστοποιώντας, μηδενίζοντας, το ενδεχόμενο λάθους και "άχρηστων" κομματιών. Στην αγορά όσο πιο μικρή είναι η ζητούμενη ανοχή, τόσο μεγαλύτερη και η τιμή του προϊόντος. Με αυτό τον τρόπο αν κάποιος έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει πολύ μικρά κομμάτια με πολύ "σφιχτή" ανοχή, τόσο μεγαλύτερο το περιθώριο κέρδους του. Σε συνδυασμό με την προηγούμενη αύξηση κέρδους από τα εργατικά έξοδα, καταλαβαίνουμε πως μία εταιρία εξοπλισμένη με τα μηχανήματα αυτά, μπορεί να είναι πολύ κερδοφόρα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχει το "High Speed Machining" είναι η δυνατότητα που έχει να δουλέψει με σύστημα cad-cam. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί κάποιος να αναλάβει να κατασκευάσει ακόμα και μοναδικά κομμάτια και όχι κομμάτια παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο δε θα χρειάζεται κάποιος πολύ καιρό για να φτιάξει το πρόγραμμα κοπής, αλλά θα αρκεί να σχεδιάσει το παραγόμενο προϊόν και μετά να μπει στη γραμμή παραγωγής ακόμα και αν η παραγγελία είναι για ένα και μόνο κομμάτι. Σε αυτό το σημείο δεν υπερτερεί σε σχέση με τα απλά συμβατικά μηχανήματα κατεργασίας μετάλλου, αλλά σε σχέση με τα προηγμένα cnc μηχανήματα, με τα οποία ο προγραμματιστής χρειαζόταν πολλές ώρες για να φτιάξει το πρόγραμμα. Και φυσικά όσο πιο πολύπλοκο το προϊόν, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτούνταν για τον προγραμματισμό. Αυτό ήταν κάτι

που απαγόρευε σε όσους δούλευαν με απλά CNC να αναλαμβάνουν δουλειές για πολύ μικρή ποσότητα παραγγελίας. Με την τεχνολογία cad-cam δεν υπάρχει περιορισμός στην ποσότητα. Αυτά είναι τα τρία μεγάλα πλεονεκτήματα του High Speed Machining.

Εδώ όμως έρχεται το μεγάλο μειονέκτημα των μηχανημάτων κατεργασίας υψηλών ταχυτήτων. Το μεγάλο κόστος αγοράς τους. Αυτός είναι και ο μόνος ανασταλτικός παράγοντας για πολλούς επιχειρηματίες ώστε να κάνουν μία τέτοια επένδυση. Το κόστος αγοράς ενός τέτοιου μηχανήματος θα ήταν καταστροφικό για ένα επιχειρηματία αν δεν κατάφερνε να αναλάβει τις ανάλογες δουλειές για να καταφέρει να κάνει απόσβεση του μηχανήματος. Και είναι αρκετά δύσκολο να το καταφέρει.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Mark J. Jacson, Jonathan S. Morrell “Machining with Nanomaterials”, 2008
2. L. N. Lopez de Lacalle, A. Lamikiz, “Machine Tools for High Performance Machining”, 2009
3. J. Paulo Davim, “Machining Fundamentals and Recent Advances”, 2008
4. Thomas Childs, Katsuhiko Maekawa, Toshiyuki Obikawa, Yasuo Yamane, “Metal Machining Theory and Applications”, 2000
5. T. D. Marusich, M. Ortiz “Modeling and Simulation of High-Speed Machining”
6. Tony Schmitz, Matthew Davies, Michael Kennedy “High-speed machining frequency response prediction for process optimization”
7. Bert P. Erdel, “High-Speed Machining”, Society of Manufacturing Engineers, 2003
8. American Society for Metals: Machining Handbook 1997

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Σημειώσεις στο μάθημα Εργαστήριο Εργαλειομηχανών CNC του Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας του καθηγητή Μπαρούνη
2. Σημειώσεις στο μάθημα Εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης των καθηγητών Βιδάκη και Αντωνιάδη, 2004
3. Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, τεύχος Ιουνίου 2009
4. Moulding magazine, τεύχος Ιουνίου 2009
5. Moulding magazine, τεύχος Νοεμβρίου 2009

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Όπως αναφέραμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, τα κοπτικά εργαλεία είναι τα αναλλώσιμα εργαλεία που χρησιμοποιούμε στην κατεργασία μετάλλων. Τα κοπτικά εργαλεία έχουν εφαρμογές σε πολλές κατεργασίες όπως το τρνιρίσμα, το φρεζάρισμα κ.α. Η χρήση τους είναι να αφαιρούν υλικό από το κομμάτι που κατεργαζόμαστε με τη μέθοδο της κοπής και γι' αυτό ονομάζονται κοπτικά εργαλεία. Τα κοπτικά εργαλεία χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές από τη γεωμετρία τους, τα υλικά από τα οποία αποτελούνται, την κατεργασία που πραγματοποιούν, τον τρόπο κατασκευής τους. Υπάρχουν πολλά είδη κοπτικών εργαλείων, τα οποία χωρίζονται σε κατηγορίες αρχικά ανάλογα με την κατεργασία που πραγματοποιούν. Αυτές οι κατηγορίες χωρίζονται με τη σειρά τους σε υποκατηγορίες ανάλογα με τη γεωμετρική μορφή τους, που στη συνέχεια χωρίζονται βάση υλικού και τρόπου κατασκευής τους. Με βάση τις κατεργασίες που πραγματοποιούν χωρίζονται σε: τρνιρίσματος, φρεζαρίσματος και διάτρησης. Αυτές τις τρεις μεγάλες κατηγορίες τις χωρίζουμε ανάλογα με τη μορφή του κοπτικού εργαλείου. Έτσι για τα εργαλεία τρνιρίσματος έχουμε τις μανέλες, τα τρυπάνια, τους κεντραδόρους κ.α. Με κάθε ένα από αυτά να χωρίζονται ανάλογα με τη μορφή της κατεργασίας που πραγματοποιούν όπως η μανέλα πάσου, η μανέλα εσωτερικής τρνευσης, η μανέλα σπειρώματος κ.α. Έτσι και τα εργαλεία φρεζαρίσματος. Υπάρχουν τα κονδύλια, οι μονόκοπτες φρέζες, οι τρίκοπτες φρέζες, οι κοπτήρες HOBBS κ.α. Σαν παραδείγματα για αυτήν την εργασία έχουμε κατασκευάσει μερικά κοπτικά εργαλεία και πιο συγκεκριμένα έχω 3 μανέλες, μία μανέλα πάσου, μία εσωτερικής τρνευσης και μία σπειρώματος. Επίσης έχουμε κατασκευάσει και 3 κοπτικά εργαλεία φρεζαρίσματος. Ένα κοπτικό "T", μία τρίκοπη φρέζα και ένα κοπτικό ειδικής μορφής εσωτερικής καμπυλότητας.

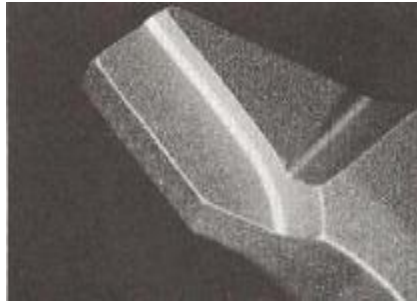
A.1. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το κάθε ένα από αυτά κατασκευάζεται και με διαφορετικό τρόπο. Σε όλα όμως ακολουθούμε μία βασική σειρά από φάσεις κατασκευής, που είναι παρόμοια σε κάθε ένα εργαλείο. Αρχικά διαλέγουμε τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε ανάλογα με το είδος που έχει ζητηθεί και το υλικό που θα κατεργαστούν στη συνέχεια. Στη δική μας περίπτωση είναι χάλυβας κατασκευών και πλακίδια σκληρομέταλλου (Hardmetal) κολλημένα στο στέλεχος των εργαλείων, μόνο για παραδειγματισμό. Στην πράξη το είδος του υλικού θα το διαλέξουμε με βάση τους πίνακες που υπάρχουν στο κεφάλαιο των κοπτικών εργαλείων. Στη συνέχεια διαμορφώνουμε τα στελέχη των εργαλείων από χάλυβα με χρήση τόννου και φρέζας. Έπειτα κόβουμε τα πλακίδια στις επιθυμητές διαστάσεις και κατόπιν τα κολλάμε. Τέλος έρχεται η φάση του τροχίσματος αφού πρώτα όμως γίνει αμμοβολή για να καθαρίσουν τα υπολείμματα της κόλλησης. Το τρόχισμα των εργαλείων έχει και αυτό διαφορές ανάλογα με το υλικό που θα κατεργαστεί το κάθε εργαλείο. Οι διαφορές στο τρόχισμα έχουν να κάνουν με τις μοίρες που δίνουμε στις γωνίες (κοπτική, αποβλήτου και γωνία ελευθερίας) του κάθε εργαλείου.

A.1.1. Φάσεις κατασκευής μανελών

Για την κατασκευή των μανελών χρησιμοποιούμε τη φρέζα για να δώσουμε στο στέλεχος τη μορφή που επιθυμούμε. Αρχικά διαμορφώνουμε το πλάτος και το πάχος της μανέλας, καθώς επίσης της δίνουμε ορθογώνια μορφή, διοτί από την εξέλαση δεν είναι απόλυτα ορθογώνιο το μέταλλο. Αν δε γινόταν το “γώνιασμα” θα είχε σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να κεντραρισθεί η μανέλα στο μηχάνημα που θα δούλευε. Επίσης είναι πολύ σημαντικό να δώσουμε σωστές διαστάσεις και ιδιαίτερα στο πάχος της για να μπορεί να τοποθετηθεί στον εργαλειοδέτη στη σωστή θέση. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει φρέζα υψηλής ακρίβειας, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε μηχάνημα λείανσης και συγκεκριμένα ρεκτιφιέ επιφανειών. Στη συνέχεια και αφού αλλάξουμε εργαλείο στη φρέζα, κάνουμε μετωπικό φρεζάρισμα με ένα

κονδύλι για να πετύχουμε το επιθυμητό μήκος στο στέλεχος της μανέλας. Τελική φάση στη φρέζα είναι να δημιουργήσουμε τη θήκη όπου θα κολληθεί το πλακίδιο. Αφού γίνει και αυτό το στέλεχος είναι έτοιμο για κόλλημα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

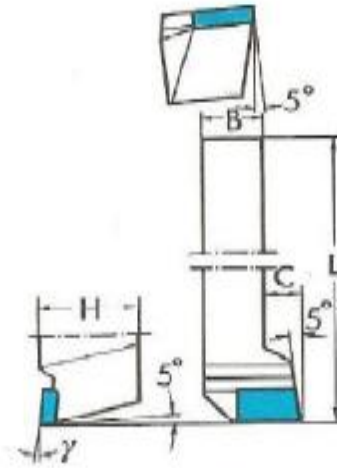


Τα πλακίδια σκληρομέταλλου βρίσκονται στην αγορά σε πληθώρα διαστάσεων. Στην περίπτωση που δε μπορούμε να βρούμε ακριβώς τις διαστάσεις που χρειαζόμαστε, τότε θα προμηθευτούμε ράβδο και θα κόψουμε το πλακίδιο στις επιθυμητές διαστάσεις. Στη συνέχεια και αφού κόψουμε τα πλακίδια είμαστε έτοιμοι να τα κολλήσουμε. Στην περίπτωση μας η κόλληση γίνεται με χρήση οξυγόνου και προπανίου για να έχουμε την κατάλληλη θερμοκρασία (640°-700° C) και η κόλληση είναι σύρμα ασημοκόλλησης με τις εξής προσμίξεις: Ag 40%, Cu 30%, Zn 28% και Sn 2%. Υπάρχει και η ασημοκόλληση με πρόσμιξη καδμίου, η οποία χρειάζεται μικρότερη θερμοκρασία, αλλά επειδή το κάδμιο και τα οξειδωτικά του είναι δηλητηριώδη, σηνύθως αποφεύγεται όποτε αυτό είναι δυνατό.



Εφόσον έχει κολληθεί το πλακίδιο και έχει κρυώσει αρκετά, αφήνεται μέσα σε νερό για να μαλακώσουν τα υπολλείματα του βόρακα που χρησιμοποιήθηκε. Στην περίπτωση που μπει στο νερό χωρίς να έχει κρυώσει, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να παρουσιάσει ρωγμές το πλακίδιο από την απότομη αλλαγή θερμοκρασίας. Έπειτα το εργαλείο υπόκειται σε αμμοβολή. Αυτό γίνεται για να καθαρίσει το εργαλείο από τα υπολλείματα, τα οποία εμποδίζουν το εργαλείο να “πατήσει” σωστά στη συσκευή συγκράτησης για το τρόχισμα και φυσικά να έχει ένα ομοιογενές χρώμα. Η αμμοβολή θα πρέπει να γίνεται πάντα πριν τροχιστεί το εργαλείο, γιατί μετά το τρόχισμα θα καταστρέψει την κοπτική ακμή του.

Τέλος το εργαλείο είναι έτοιμο για τρόχισμα. Το κομμάτι που τροχίζουμε είναι το κολλημένο πλακίδιο, το οποίο είναι και αυτό που θα πραγματοποιεί όλη την κατεργασία. Συγκρατείται σε μέγγενη πάνω στην εργαλειομηχανή τροχίσματος. Αυτή η συσκευή συγκράτησης έχει βαθμονομημένα δύο σημεία με ακρίβεια 0,5 μοίρας για να μπορέσουμε να στρίψουμε τη μέγγενη όπως επιθυμούμε και να δώσουμε τις κατάλληλες μοίρες στο κοπτικό εργαλείο μας. Ο τροχός που χρησιμοποιούμε είναι διαμαντοτροχός σε μορφή πιάτου με ανάλογη κόκκωση για το είδος πλακιδίου που έχουμε χρησιμοποιήσει. Αρχικά τροχίζουμε τα πλαϊνά μέρη του πλακιδίου που εξέχουν από το στέλεχος για να δώσουμε το επιθυμητό πλάτος στο κοπτικό μέρος της μανέλας. Έπειτα τροχίζεται η πάνω επιφάνειά του όπου και δίνουμε τις μοίρες για τη γωνία αποβλήτου, ανάλογα με το υλικό που θα κατεργάζεται. Για χάλυβες συνήθως δίνουμε 6°-8°, για αλουμίνιο 12° ενώ αν η μανέλα θα κατεργάζεται μαντέμι ή μπρούτζο η γωνία αποβλήτου θα πρέπει να είναι 0°. Στην περίπτωση που το υλικό κατεργασίας θα είναι κάποιο πολύ σκληρό υλικό τότε η γωνία αποβλήτου θα πρέπει να είναι αρνητική, αλλά τότε θα πρέπει να δώσουμε 1° παραπάνω στις υπόλοιπες γωνίες του εργαλείου. Οι γωνίες αποβλήτου, κοπής και ελευθερίας φαίνονται στο παρακάτω σχέδιο ενδεικτικά για χάλυβα.



Στη συνέχεια δίνουμε στη μανέλα τη γωνία ελευθερίας και το εργαλείο μας είναι έτοιμο για χρήση.

A.1.2. Φάσεις κατασκευής φρέζας μορφής “T”

Για την κατασκευή μιας τέτοιας φρέζας ξεκινάμε με τórνευση, όπου και δίνουμε στο κομμάτι μας τη μορφή “T” με την επιθυμητή διάμετρο στο “κοτσάνι” του εργαλείου, το οποίο είναι το κομμάτι από όπου θα συγκρατείται το τελικό κοπτικό εργαλείο κατά τη χρήση του και στη συνέχεια την επιθυμητή διάμετρο στο κοπτικό κομμάτι, όπου και θα κολληθούν αργότερα τα πλακίδια. Πριν όμως από αυτό, φροντίζουμε να κάνουμε δυο μικρές τυφλές τρύπες στα δύο μέτωπα του κομματιού, τα λεγόμενα “κέντρα”. Αυτό γίνεται διότι σε αυτής της μορφής κοπτικά εργαλεία χρειάζεται να γίνει λείανση στο “κοτσάνι” του στελέχους για να έχουμε σωστή διάμετρο με μεγάλη ακρίβεια εφόσον θα συγκρατείται σε συσκευή welton. Στη συνέχεια το κομμάτι τοποθετείται στη φρέζα για να κοπούν τα δόντια του εργαλείου. Ανάλογα με τη διάμετρο που θα έχει, θα κοπεί και ο αριθμός των δοντιών. Όσο πιο μεγάλη η διάμετρος, τόσο πιο πολλά δόντια θα έχει. Στη δική μας περίπτωση έχουμε 12mm διάμετρο για το κοτσάνι και 16mm διάμετρο για το κοπτικό μας με 4mm πάχος κοπτικού. Το εργαλείο μας θα έχει 6 δόντια, ιδανικός αριθμός για να υπάρχει το κατάλληλο κενό ανάμεσα στα δόντια ώστε να μπορεί να τροχιστεί, αλλά και τόσο μικρό κενό ώστε να μην κάνει πολύ θόρυβο κατά τη χρήση του.. Αφού κοπούν τα δόντια τότε θα πρέπει να διαμορφώσουμε τη θήκη των πλακιδίων

στα δόντια καθώς επίσης και ένα μικρό “άδισμα” στο πίσω μέρος του εργαλείου για τη συγκράτησή του στο welton.

Έπειτα από τη διαμόρφωση του στελέχους σε αυτή την περίπτωση έρχεται η φάση της λείανσης με ρεκτιφιέ κυλίνδρων με το μηχάνημα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Στην εργαλειομηχανή αυτή, το κομμάτι μας συγκρατείται με πόντες με τα δύο κέντρα που φροντίσαμε να κάνουμε, ώστε να πετύχουμε τη μέγιστη ακρίβεια στη διάμετρο του “κοτσανιού”. Και στη συνέχεια η φάση του κολλήματος όπως και στην κατασκευή μανέλας που εξηγήσαμε παραπάνω, με τη διαφορά ότι εδώ έχουμε 6 πλακίδια να κολλήσουμε και θα πρέπει να μην υπάρχει μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ των κολλημάτων για να μη χάσουμε τη θερμοκρασία από το ένα στο άλλο. Μετά το κόλλημα έρχεται η αμμοβολή και έπειτα το τρόχισμα.

Σε οποιασδήποτε κυλινδρικής μορφής κοπτικά εργαλεία, το τρόχισμα γίνεται πάλι σε τροχιστική εργαλειομηχανή, αλλά με τη διαφορά ότι εδώ το εργαλείο συγκρατείται σε συσκευή που λεγεται διαιρέτης. Αυτή η συσκευή έχει στο πίσω μέρος της μία πλάκα με σωστά διαιρεμένα δόντια στον οποίων τα κενά μπαίνει ένα κοκοράκι, για να πετύχουμε να μοιράσουμε τις 360° σε ίσα διαστήματα. Επίσης και αυτή η συσκευή έχει μία βαθμονομημένη πλάκα για να μπορέσουμε να δώσουμε τις απαραίτητες μοίρες στο εργαλείο μας. Η

συγκράτηση γίνεται με τη χρήση τσοκ, welton ή ακόμα καλύτερα με τη χρήση collets, τα οποία φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Και σε αυτήν την περίπτωση ακολουθούμε τους κανόνες τροχίσματος για τις γωνίες του κοπτικού εργαλείου. Αφού δωθούν όλες οι ανάλογες γωνίες και στα 6 δόντια του κοπτικού, τότε το εργαλείο μας είναι έτοιμο προς χρήση.

A.1.3. Φάσεις κατασκευής τρίκοπτης φρέζας.

Για την κατασκευή μιας τρίκοπτης φρέζας ξεκινάμε και εδώ με τórνευση. Αρχικά κάνουμε την τρύπα από την οποία θα συγκρατηθεί η φρέζα όταν θα χρησιμοποιείται. Οι συνήθεις διάμετροι τέτοιας τρύπας είναι 22mm, 27mm, 32mm και 40mm. Εμείς φτιάχνουμε μία φρέζα με 40mm τρύπα. Στη συνέχεια κόβουμε μία φλάτζα στο πάχος που θέλουμε να είναι η φρέζα μας. Στη δική μας περίπτωση 8mm. Έπειτα κάνουμε μετωπική τórνευση για να δώσουμε ένα ξεθύμασμα και να αφήσουμε μόνο ένα μικρό κομμάτι στα 8mm το οποίο θα πατάει πάνω στη συσκευή συγκράτησης, το λεγόμενο “αφαλό”. Και τέλος δίνουμε την επιθυμητή εξωτερική διάμετρο του εργαλείου, όπου στη δική μας περίπτωση είναι 72mm που μαζί με τα κολλημένα πλακίδια θα φτάσει τα 78mm.

Ακολουθώντας τα βήματα των προηγούμενων εργαλείων, περνάμε στη φάση της κοπής των δοντιών, που και πάλι είναι ανάλογα της διαμέτρου. Εδώ θα φτιάξουμε 8 δόντια. Είναι αρκετά για να κόβει χωρίς μεγάλη αντίσταση το εργαλείο και χωρίς να κάνει πολύ θόρυβο. Αφού κοπούν τα δόντια, τότε διαμορφώνουμε τις θήκες για τα πλακίδια. Όταν τελιώσουμε και με τις θήκες, τότε περνάμε στη φάση της λείανσης. Σε αυτή την περίπτωση του εργαλείου, η λείανση δεν είναι κυλινδρική, αλλά επιφανειακή. Το μηχάνημα που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το ρεκτιφιέ επιφανειών όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και η κατεργασία θα γίνει στις δύο μετωπικές πλευρές του εργαλείου και στο σημείο που αφήσαμε λίγο μεγαλύτερο (αφαλός), ώστε να πετύχουμε μεγάλη ακρίβεια στο πάχος του.



Αυτό είναι απαραίτητο για να μπορεί ο χειριστής του μηχανήματος που θα χρησιμοποιείται η τρίκοπη φρέζα να πάρει σωστές αποστάσεις για την κατεργασία που θα θέλει να κάνει. Στη συνέχεια και αφού έχουμε τελειώσει με το ρεκτιφιέ και έχουμε κόψει τα πλακίδια στις κατάλληλες διαστάσεις περνάμε στη φάση του κολλήματος με τον ίδιο τρόπο όπως και στη φρέζα “T”.

Έπειτα από το κόλλημα και την αμμοβολή ξεκινάμε το τρόχισμα του εργαλείου. Και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε διαιρέτη πάνω στον οποίο έχουμε προσαρμόσει έναν άξονα με μετωπική βίδα για να σφίξουμε τη φρέζα. Και εδώ δίνουμε τις κατάλληλες διαστάσεις στο πάχος του εργαλείου και στη συνέχεια τις ανάλογες κοπτικές γωνίες με τον κατάλληλο

διαμαντοτροχό. Εδώ όμως όπως και στη φρέζα "T" χρησιμοποιούμε και τροχό σε μορφή πιάτου και περιφεριακό τροχό όπως στις παρακάτω εικόνες. Αφού τελειώσουμε το τρόχισμα η φρέζα μας είναι έτοιμη για χρήση.



A.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΧΟΥ

Οι διαμαντοτροχοί (παραπάνω εικόνα) χωρίζονται εκτός από τη μορφή που μπορεί να έχουν (πιάτο, ποτήρι, περιφεριακός ή ακόμα και ειδικής μορφής) και με βάση την πυκνότητα της κόκκωσης και το μέγεθος του κόκκου, καθώς επίσης διαφοροποιούνται και με βάση το συνθετικό υλικό (κόλλα). Ανάλογα με την εργασία που θέλει να κάνει κάποιος θα πρέπει να διαλέξει και τον κατάλληλο διαμαντοτροχό. Για ξεχόνδρισμα θέλει πυκνή κόκκωση με μεγάλο κόκκο και όχι ιδιαίτερα γερή κόλλα. Ενώ για φινίρισμα προτιμάται αραιή κόκκωση με μικρό κόκκο και αρκετά γερή κόλλα. Αυτό συμβαίνει διότι ένας διαμαντοτροχός με μεγάλους κόκκους αφήνει μεγάλη τραχύτητα στο κομμάτι που τροχίζεται. Επειδή όμως αφαιρεί μεγάλη ποσότητα υλικού θέλουμε να υπάρχουν κενά μεταξύ των κόκκων για να το αφαιρεί εύκολα. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα το υλικό να κολλάει μέσα στα κενά των κόκκων, οπότε με όχι ιδιαίτερα γερή κόλλα αποφεύγουμε αυτό το φαινόμενο, εφόσον οι κόκκοι ξεκολλάνε εύκολα και δημιουργούνται καινούρια κενά μεταξύ τους, τα οποία είναι άδεια. έτσι όμως έχουμε το μειονέκτημα να "πέφτει" ο τροχός γρήγορα. Δηλαδή να μικραίνει η διάμετρος του και να φεύγει το διαμάντι με αποτέλεσμα να είναι άχρηστος μετά. Αυτοί οι τροχοί όμως είναι

πιο φτηνοί και μπορούμε να πετύχουμε πιο γρήγορο ξεχόνδρισμα. Για το λόγο αυτό προτιμούνται σε σχέση με έναν τροχό φινιρίσματος.

Από την άλλη οι τροχοί φινιρίσματος έχουν πυκνή κόκκωση με μικρό κόκκο και ισχυρή κόλλα. Αυτό συμβαίνει επειδή στο φινίρισμα δεν αφαιρούμε πολύ υλικό και αφού είναι το τελικό στάδιο θέλουμε να πετύχουμε όσο το δυνατό μικρότερη τραχύτητα. Επίσης θέλουμε μικρό κόκκο για να μην μένουν μεγάλα κενά μεταξύ τους, κάτι το οποίο βοηθάει ακόμα περισσότερο στο να πετύχουμε μικρή τραχύτητα. Αυτοί οι τροχοί όμως είναι αρκετά πιο ακριβοί από τους τροχούς ξεχονδρίσματος, οπότε θέλουμε να έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αυτό επιτυγχάνεται με μία ισχυρή κόλλα, ώστε να μην πέφτει ο τροχός γρήγορα και εφόσον η ποσότητα υλικού που αφαιρείται είναι μικρή, δεν έχουμε πρόβλημα με το να κολλάει το υλικό στα κενά και να στομώνει ο τροχός με αποτέλεσμα να μην κόβει.

Μία ακόμα παράμετρος για την επιλογή του διαμαντοτροχού είναι και το είδος καρβιδίου που θα τροχίσει. Για σκληρά καρβίδια κατηγορίας K10 για παράδειγμα, θέλουμε έναν μαλακό τροχό (με αραιή κόκκωση και χωρίς ισχυρή κόλλα) για να μην στομώνει άμεσα και να αφαιρεί γρήγορα υλικό, ενώ για μαλακά καρβίδια π.χ. P30 θέλουμε σκληρό τροχό (με πυκνή κόκκωση και ισχυρή κόλλα) για να μην έχει μεγάλα κενά και δίνει τη δυνατότητα στο μαλακό υλικό να στριμωχτεί στα κενά και να στομώσει.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Β.1. ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ - ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΡΕΣΣΑ INJECTION

Β.1.1. Επιλογή Εξαρτήματος

Σε αυτή τη φάση μελετάμε και βρίσκουμε σε ποια κατηγορία ανήκει η παραγγελία που έχουμε αναλάβει. Τα είδη είναι δύο και είναι τα εξής:

- 1.** Μελέτη εξαρχής του αντικειμένου π.χ. ένα καινούριο προϊόν, μία νέα ιδέα κ.λ.π.
- 2.** Αντιγραφή από ήδη υπάρχων αντικείμενο πιστή ή με τροποποιήσεις, βελτιώσεις κ.λ.π. Η γεωμετρία των εξαρτημάτων μπορεί να περιοριστεί μόνο στην φαντασία του σχεδιαστή δεν υπάρχει μια συνταγή που να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις των αντικειμένων. Ωστόσο η σχεδίαση με βάση τους γενικούς κανόνες σωστής σχεδίασης πλαστικών εξαρτημάτων θα έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων. Ο συσχετισμός είναι απλός, υπάρχουν βασικοί νόμοι της φυσικής που περιγράφουν την τήξη, τη ροή, την πλήρωση της κοιλότητας και τη στερεοποίηση του πολυμερούς μέσα σ' αυτή. Η γεωμετρία του εξαρτήματος υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο οι παραπάνω φυσικοί νόμοι εφαρμόζονται πάνω τους.

B.1.2. Επιλογή υλικού

Ελέγχονται οι μηχανικές, οι θερμικές κ.λ.π. αντοχές και επιλέγεται το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί. Η επιλογή του πολυμερούς που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έχει πολύ μεγάλο αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά του εξαρτήματος. Το πιο προφανές από αυτά είναι το χρώμα και η διαφάνεια. Η επιλογή του πλαστικού περιλαμβάνει τη βασική πρώτη ύλη (η οποία σχετίζεται με την λειτουργία του αντικειμένου), τη χρωστική ουσία (η οποία περιορίζεται από το βασικό πολυμερές και την επιθυμητή εμφάνιση) και τα πρόσθετα τα οποία έχουν σχέση με το βασικό πολυμερές και την λειτουργία του εξαρτήματος.

Από τα διαθέσιμα πλαστικά, τα πιο «εύκολα» στην απόδοση αισθητικών χαρακτηριστικών είναι τα ABS, PC και μείγματα ABS/PC, ενώ στον αντίποδα βρίσκονται τα POM, PBT και TPE. Επίσης αρκετές δυσκολίες συναντά κανείς με πλαστικά που περιέχουν γυαλί. Ανάλογα με την εφαρμογή υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές λύσεις οι οποίες με πολύ μικρό κόστος θα λύσουν δύσκολα προβλήματα. Η τελική επιλογή θα γίνει από τον μελετητή του εξαρτήματος ο οποίος είναι σε θέση να γνωρίζει το πλήθος των απαιτήσεων που το χαρακτηρίζουν.

Εάν η επιλογή του υλικού είναι περιορισμένη, τότε ο συμβιβασμός ως προς κάποια παράμετρο είναι επιβεβλημένος. Για παράδειγμα αν πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο πολυμερές με γυαλί τότε το εξάρτημα δεν γίνεται να έχει στιλβωμένη επιφάνεια. Ομοίως αν το υλικό είναι TPE και ζητείται από το εξάρτημα να έχει συγκεκριμένη υφή το αποτέλεσμα θα είναι άκρως απογοητευτικό. Η υφή που θα παραχθεί από ένα καλούπι μπορεί να δώσει πολύ διαφορετικά αποτελέσματα αν χρησιμοποιηθούν διαφορετικά πλαστικά.

B.1.3. Επιλογή τρόπου σχεδίασης καλούπιού

Για να επιλέξουμε με ποιό τρόπο θα σχεδιαστεί το καλούπι, θα πρέπει να γνωρίζουμε εξ' αρχής το μέγεθος της παραγωγικότητάς του και τον επιθυμητό χρόνο αντοχής του. Δηλαδή θα πρέπει να ξέρουμε πόσες χυτεύσεις θα πρέπει να γίνουν με το συγκεκριμένο καλούπι και με τι συχνότητα ώστε να υπολογίσουμε την απαραίτητη χρονική αντοχή. Αυτό έχει ιδιαίτερα μεγάλη σημασία για τη σχεδίαση του καλούπιού διότι ανάλογα με τον όγκο παραγωγής θα υπολογιστούν οι κοιλότητες του καλούπιού καθώς και οι θερμικές κατεργασίες του.

B.1.4. Κοστολόγηση εξαρτήματος καλούπιού

Για την κοστολόγηση του καλούπιού λαμβάνουμε υπ' όψιν πολλές παραμέτρους. Αρχικά θα πρέπει να υπολογίσουμε την τιμή πώλησης του τελικού παραγόμενου προϊόντος ανάλογα με την πολυπλοκότητά του. Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε το κόστος των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε και στη συνέχεια το χρόνο που θα χρειαστούμε για να κατασκευάσουμε το καλούπι. Ανάλογα με το κόστος/ώρα που χρεώνει ο κάθε κατασκευαστής και το χρόνο που θα χρειαστεί υπολογίζει το αρχικό κόστος εργασίας και σε αυτό προσθέτει το κόστος των υλικών και πιθανά έξοδα που μπορεί να κάνει από εργασίες που θα δώσει σε εξωτερικούς συνεργάτες. Συγκεντρώνοντας όλα τα ποσά βγαίνει το συνολικό κόστος για την κατασκευή του καλούπιού. Τέλος προσθέτοντας το κέρδος του ανάλογα με την εκτίμηση για την τελική τιμή του προϊόντος, δίνει την τελική προσφορά στον πελάτη για την κατασκευή.

Αφού γίνει ανάθεση της παραγγελίας εφόσον είναι συμφέρουσα η προσφορά, προχωράμε στην τελική σχεδίαση του αντικειμένου για την

κατασκευή καλουπιού υπολογίζοντας όλες τις τεχνικές παραμέτρους (κωνικότητες για την εξόλκευση του αντικειμένου, συστολή κατά την χύτευση κ.τ.λ.).

B.1.5. Σχεδίαση του καλουπιού

Η σχεδίαση είναι η πιο σημαντική και χρονοβόρα φάση στην κατασκευή ενός καλουπιού. Θα πρέπει να προσέξουμε πολλά επιμέρους σημεία να είναι σωστά τεχνικά για να μην προκληθεί κάποια αστοχία στην παραγωγικότητα του καλουπιού κατά τη διαδικασία της χύτευσης. Οι σημεία που θα πρέπει να προσέξουμε και να λάβουμε υπ' όψιν κατά τη σχεδίαση του καλουπιού είναι τα εξής:

- 1.** Τρόπος τροφοδοσίας π.χ. με υποβρύχια ένεση, θερμαινόμενη, απλή κ.λ.π. Η τροφοδοσία είναι σημαντική γιατί είναι αυτή από την οποία περνά το πλαστικό και διοχετεύεται στο αντικείμενο που θέλουμε να παράγουμε. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο κατασκευαστής του καλουπιού προτείνει τη θέση της πύλης και των σημείων εξαέρωσης. Ο στόχος είναι η επιλογή των θέσεων αυτών να μορφοποιήσει το καλύτερο δυνατόν αντικείμενο. Προκειμένου να έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα η πείρα και οι γνώσεις του κατασκευαστή μπορούν να συνδυαστούν με την τεχνολογία και πραγματοποιώντας μια προσομοίωση, στον υπολογιστή, της ροής του πλαστικού ελαχιστοποιούμε την πιθανότητα σφάλματος.
- 2.** Τρόπος εξόλκευσης του αντικειμένου. Ο τρόπος εξόλκευσης του αντικειμένου αλλάζει ανάλογα με την επιφάνεια που θέλουμε να εξολκεύσουμε π.χ. εάν έχουμε μεγάλη επιφάνεια θα χρησιμοποιήσουμε εξωλκείς μεγάλης διαμέτρου ή πλάκες εξόλκευσης ώστε να ωθούν χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια το αντικείμενο μας. Επίσης κάτι πολύ σημαντικό που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν, είναι ότι οι εξωλκείς αφήνουν σημάδια στην επιφάνεια του εξαρτήματος. Ο κατασκευαστής του καλουπιού θα φροντίσει ώστε οι εξωλκείς να τοποθετηθούν σε κάποια μη ορατή περιοχή του αντικειμένου.

3. Ψύξη καλουπιού. Η ψύξη του καλουπιού είναι σημαντική για να ψύχει τα αντικείμενα μας, αυτό επιτυγχάνεται με τις κατάλληλες αυλακώσεις στην πλάκα του καλουπιού σε σωστές θέσεις, αλλά και σε θεμιτό αριθμό ώστε το νερό να ψύχει σωστά το καλούπι και τα παραγόμενα αντικείμενα.
4. Επιφάνεια μορφών. Η επιφάνεια των μορφών πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη για να έχει αντοχή στο χρόνο και να μην βγάζει το αντικείμενο ημιτελές, αλλά και να είναι καλαίσθητο. Θα πρέπει να είναι αρκετά λεία η επιφάνεια ώστε να μην κολλάει πάνω υλικό χύτευσης και να είναι όσο πιο ανεμπόδιστη γίνεται η εξόλκευση. Βέβαια αυτό πάντα αλλάζει σύμφωνα με την χρήση του αντικειμένου. Και αυτό γιατί για να γίνει πολύ λεία η επιφάνεια του καλουπιού θα δαπανηθεί αρκετός χρόνος και κατ' επέκταση θα αυξηθεί το κόστος. Αν είναι απαραίτητο αυτό, τότε δεν προκύπτει κάποιο πρόβλημα, αν όμως δεν απαιτείται η εξαιρετικά λεία επιφάνεια, τότε θα πρέπει να βρεθεί η «χρυσή τομή» στην τραχύτητά της. Θα γίνει τόσο λεία όσο χρειάζεται για την ανεμπόδιστη εξόλκευση του προϊόντος, αλλά και τόσο τραχιά ώστε να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα και να καταφέρουμε να ρίξουμε ακόμα περισσότερο το κόστος του καλουπιού.
5. Μελέτη και σχεδίαση μηχανισμών για την επίτευξη ειδικών μορφών στο αντικείμενο. Πολλές φορές σε κάποιο καλούπι χρειάζεται να πετύχουμε μορφές με αρνητική κλίση, κάτι το οποίο εμποδίζει την εξόλκευση. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να σκεφτούμε κάποιο «μηχανισμό» κατασκευής αυτών των ιδιαίτερων μορφών, που ανάλογα με την πείρα, την εφευρετικότητα και την τεχνολογία που κατέχει ο κάθε κατασκευαστής, άλλες φορές είναι αρκετά δύσκολο και άλλες λίγο πιο εύκολο. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως κάτι τέτοιο θα ανεβάσει αρκετά το κόστος κατασκευής του καλουπιού.
6. Ολοκλήρωση και τελική σχεδίαση του καλουπιού. Εφόσον έχουν υπολογισθεί όλες οι παράμετροι για τη σχεδίαση του καλουπιού, τότε ολοκληρώνεται το σχέδιο και ξεκινάει η κατασκευή.

B.1.6. Παραγγελία Ά υλών

Για την κατασκευή του καλουπιού χρειάζονται αρκετά υλικά. Κάποια από αυτά είναι απλά κομμάτια ατσαλιού, τα οποία θα υποστούν κατεργασία με αφαίρεση υλικού σε κάποιο μηχάνημα cnc, και κάποια άλλα θα είναι έτοιμα προϊόντα όπως βίδες, παξιμάδια, κολώνες, δαχτυλίδια - αποστάτες, πείροι εξόλκευσης και διάφορα άλλα τα οποία αλλάζουν ανάλογα με την περίπτωση. Πολλές φορές θα χρειαστεί να παραγγελθούν και κάποια κοπτικά εργαλεία τα οποία είναι απαραίτητα για την κατεργασία των απλών κομματιών που θα χρησιμοποιήσουμε.

B.1.7. Πρόγραμμα κοπής

Για να ξεκινήσει η διαδικασία κατεργασίας των ατσαλιών, θα πρέπει να φτιάξουμε το πρόγραμμα κοπής. Αυτό γίνεται ανάλογα με τον τεχνικό εξοπλισμό που έχει στην κατοχή του κάθε κατασκευαστής. Στην περίπτωση που υπάρχει μηχάνημα εξοπλισμένο με πρόγραμμα CAD - CAM, τότε ο προγραμματισμός είναι πολύ απλός σε σχέση με ένα απλό CNC μηχάνημα. Με το αρχικό σχέδιο που φτιάξαμε και ρυθμίζοντας κάποιες παραμέτρους για την ψύξη, την ταχύτητα και τα κοπτικά εργαλεία, το πρόγραμμα είναι έτοιμο. Στην άλλη περίπτωση θα πρέπει να γραφτεί ο κώδικας για το πρόγραμμα κοπής εξ αρχής. Αυτή η διαδικασία γίνεται για κάθε πλάκα του καλουπιού και κάθε μορφή αυτού στο ανάλογο μηχάνημα π.χ. φρέζα, ηλεκτροδιάβρωση σύρματος, ηλεκτροδιάβρωση βύθισης, ρεκτιφιέ κ.λ.π.

Σε πρώτο στάδιο γίνονται όλες οι τρύπες που αφορούν τις βίδες και ανοίγονται τα σπειρώματα τους στην φρέζα. Στην φρέζα γίνονται και τα λούκια απ' όπου θα περάσει το πλαστικό μας. Οι πλάκες πιάνονται προσεκτικά σε

μέγγενη πάνω στο τραπέζι συγκράτησης και αφού ευθυγραμμιστεί και κεντραριστεί τότε ξεκινάει η διαδικασία κατεργασίας.

Στην συνέχεια γίνονται οι μορφές στην ηλεκτροδιάβρωση με βύθιση. Αυτό επιτυγχάνεται βυθίζοντας ένα ηλεκτρόδιο με τη μορφή που επιθυμούμε στο κομμάτι που θέλουμε να διαμορφώσουμε. Τη μορφή που θέλουμε τη δίνουμε στο ηλεκτρόδιο με τη φρέζα. Το υλικό που χρησιμοποιούμε για να κατασκευάσουμε το ηλεκτρόδιο είναι χαλκός. Στην συνέχεια «δένεται» πάνω στο τραπέζι της μηχανής η κάθε πλάκα που θα κατεργαστούμε ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα π.χ. μαγνήτης σε μορφή βάσης, μέγγενες, φουρκέτες και άλλες ιδιοσυσκευές που θα βοηθήσουν στην σωστή τοποθέτηση της πλάκας πάνω στο τραπέζι συγκράτησης. Αφού έχει τοποθετηθεί στο τραπέζι χρησιμοποιούμε κατάλληλα μετρητικά όργανα ώστε να επιτύχουμε ακρίβεια 1/100 του χιλιοστού π.χ. μετρητικά ρολόγια. Στην συνέχεια γίνεται το κεντράρισμα της πλάκας και κατόπιν θα πρέπει να δηλώσουμε στη μηχανή το σημείο μηδέν του κομματιού για να ξεκινήσει η διαδικασία κατεργασίας. Χρειάζονται 2 με 3 μέρες για να δοθούν οι μορφές με τη διαδικασία της βύθισης με χαμηλή ταχύτητα και να έχουμε την επιθυμητή επιφάνεια όπου θα διαρκέσει στον χρόνο χωρίς να φθαρθούν.

Αφού γίνουν οι μορφές στην σταθερή πλάκα και στην κινητή τότε βγαίνει το κατάλληλο πρόγραμμα στην ηλεκτροδιάβρωση με σύρμα για να ανοιχτούν οι τρύπες των εξολκέων και των αντιεξολκέων. Στις θέσεις που θα ανοιχτούν οι τρύπες αυτές ανοίγονται αρχικές τρύπες πολύ μικρής διαμέτρου με ηλεκτρόδιο στο τρυπιτικό μηχάνημα. Από το πρόγραμμα CAD - CAM βγαίνουν οι συντεταγμένες x, y για την κάθε αρχική τρύπα ξεχωριστά. Η πλάκα πιάνεται στην μέγγενη ανάποδα με τις μορφές να κοιτάνε το τραπέζι για να αποφευχθεί η διάβρωση της, έτοιμης πλέον, μορφής από την επαφή του ηλεκτροδίου με την πλάκα. Σε αυτή τη φάση δεν προσπαθούμε να πετύχουμε τη μέγιστη ακρίβεια γιατί οι αρχικές τρύπες έχουν καθαρά βοηθητικό ρόλο, ώστε να μπορέσει περάσει το σύρμα της ηλεκτροδιάβρωσης, γι' αυτό και δε χρειάζεται να κεντράρουμε το κομμάτι μας χρησιμοποιώντας μετρητικό ρολόι. Στις συγκεκριμένες μορφές θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο 1 χιλιοστού για να ανοίξει αρχικές τρύπες όπου θα περάσουν οι αντιεξολκείς και θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο διαμέτρου 0,5 χιλιοστά για να γίνουν οι αρχικές τρύπες στις μορφές των εξολκέων.

Στη συνέχεια εφόσον ολοκληρωθεί η φάση και ανοίξουμε όλες τις αρχικές τρύπες που χρειαζόμαστε, τότε η πλάκα τοποθετείται στο τραπέζι της ηλεκτροδιάβρωσης με σύρμα με φουρκέτες αφού έχει υποστεί πρώτα απομαγνητισμό. Προσέχουμε το τραπέζι μας να είναι καθαρό και εάν χρειαστεί του κάνουμε λείανση με ειδική πέτρα για να φύγουν τυχόν σημάδια από χτυπήματα προηγούμενης κατεργασίας για να ακουμπάει σωστά η πλάκα και να μην έχει απόκλιση. Στην συνέχεια όπως είπαμε και προηγουμένως κεντράρουμε με το μετρητικό ρολόι για να πετύχουμε ακρίβεια 1/100 του χιλιοστού. Όπως στην φρέζα και στην ηλεκτροδιάβρωση με βύθιση έτσι εδώ και αφού γίνει κεντράρισμα της πλάκας, με προγράμματα CAD - CAM φτιάχνουμε το πρόγραμμα κοπής και ξεκινάμε την διαδικασία κατεργασίας. Σε κάθε τρύπα που ανοίγεται ελέγχουμε με δοκιμαστικούς πείρους για να δούμε εάν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα ακρίβειας ώστε να γίνουν διορθώσεις όπου χρειάζεται. Το σύρμα που χρησιμοποιείται είναι μπρούτζινο διαμέτρου 0,25 χιλιοστών. Πρώτα γίνονται τα αρχικά κοψίματα (ξεχόνδρισμα) και μετά γίνεται φινίρισμα περνώντας το σύρμα 6 φορές για να πετύχουμε την σωστή διάμετρο. Τα πολλά περάσματα στο φινίρισμα γίνονται μόνο σε περιπτώσεις που θέλουμε τη μέγιστη ακρίβεια. Στα τελευταία περάσματα μειώνεται η ένταση του ρεύματος για να καταφέρουμε πιο σωστό φινίρισμα.

Στην ηλεκτροδιάβρωση σύρματος κατασκευάζεται και το μπέκ τροφοδοσίας του καλουπιού καθώς και οι τρύπες για τους πείρους θέσης. Το μπέκ συγκρατείται σε μία ροδέλα, στην οποία έχουμε ανοίξει δύο τρύπες σε δρόπανο με τρυπάνι 5,1 mm, ώστε να ανοιχτεί σπείρωμα M6 στο χέρι με κολαούζο. Με δρόπανο ανοίγονται και οι τρύπες για τα ακροσωλήνια για την ψύξη του καλουπιού. Αρχικά γίνονται διαμπερείς στη φρέζα και έπειτα ανοίγονται τρύπες με 10 χιλιοστά τρυπάνι και 7 χιλιοστά βάθος για να ανοιχτεί σπείρωμα M1/4.

Στη συνέχεια αφού έχουν τελειώσει οι κατεργασίες στις εργαλειομηχανές CNC γίνεται μέτρηση με βαθύμετρο για να βρούμε το ακριβές μήκος των εξολκέων για κάθε διάμετρο ξεχωριστά. Έπειτα κόβονται στον τροχό στο πλησίον μήκος και στην συνέχεια με συγκράτηση σε μέγγενη υπόκεινται σε κατεργασία λείανσης σε ρεκτιφιέ όπου και τους δίνουμε το ακριβές μήκος που θέλουμε.

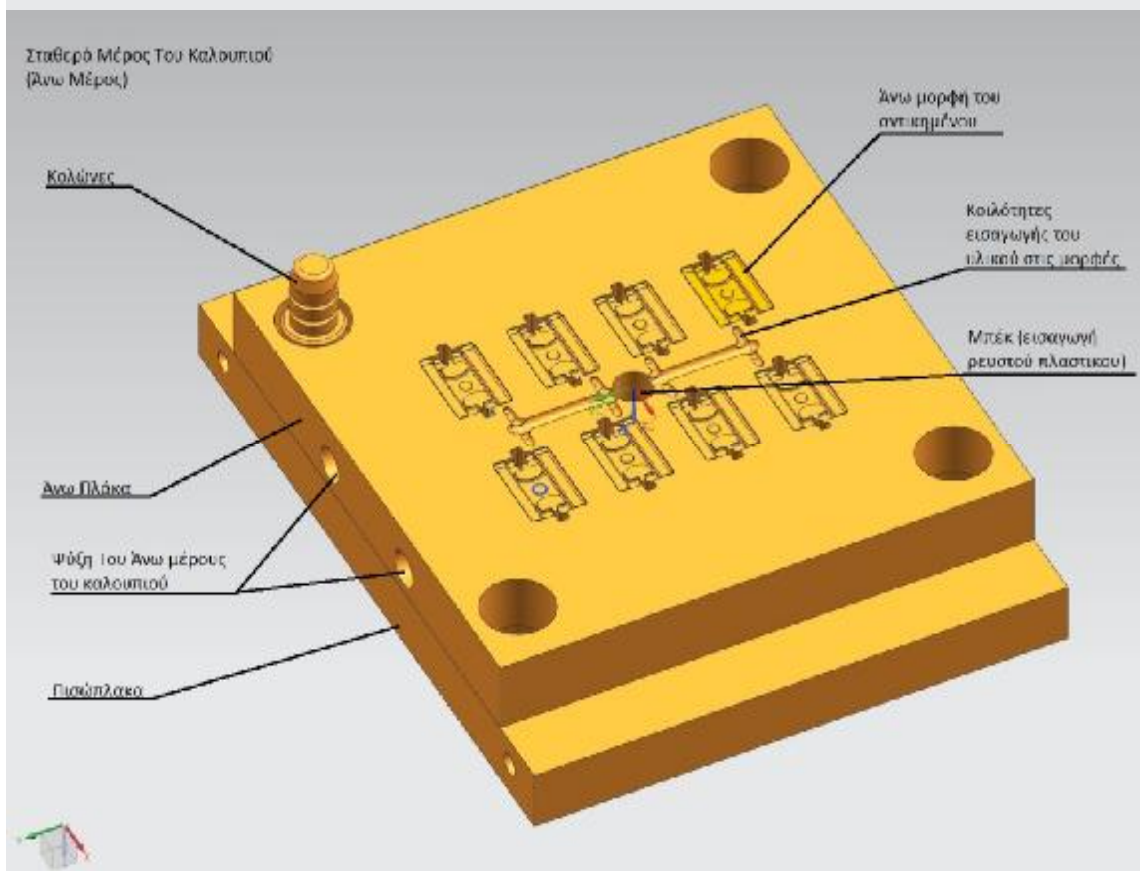
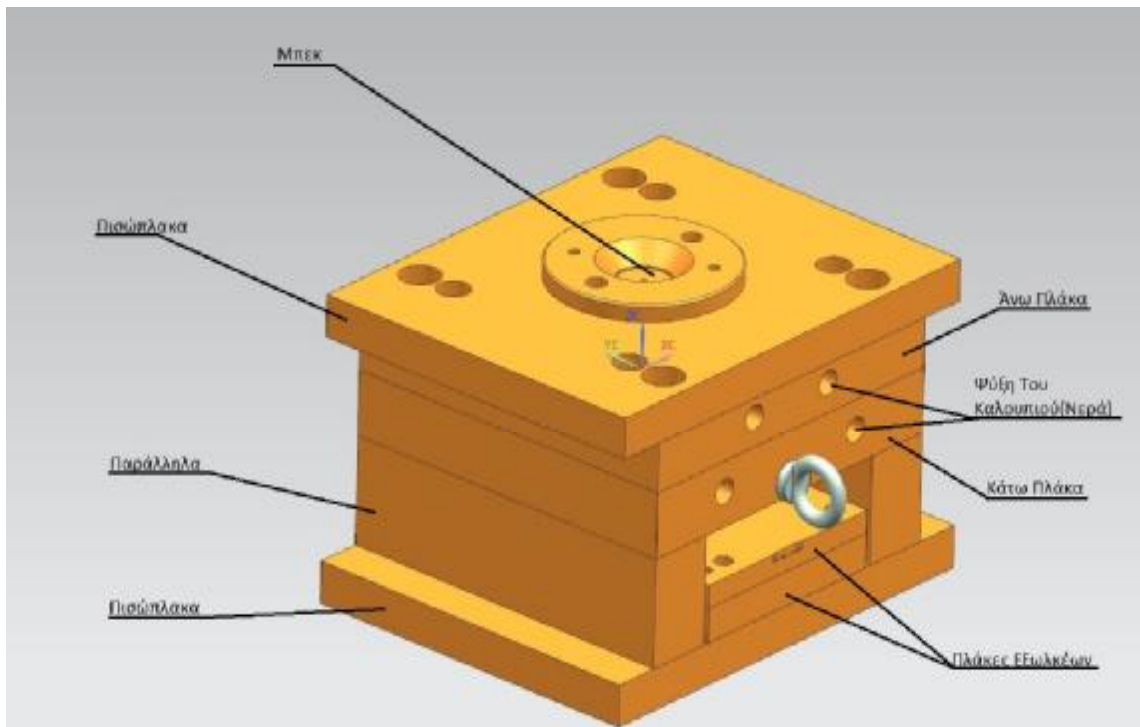
Το παρακάτω καλούπι (του παραδείγματος) περιέχει και ένα ένθετο το οποίο διαμορφώνεται στη φρέζα. Αρχικά κόβουμε πλακάκια σε σωστές διαστάσεις και έπειτα τοποθετούνται στην φρέζα όπου γίνεται η μορφή τους με τις καμπυλότητες (ράδια) που χρειάζονται. Προσοχή θέλει το γεγονός ότι τα ατσάλια έχουν υποστεί βαφή και δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί σαπουνέλαιο για την ψύξη κατεργασίας, αλλά μόνο κρύος αέρας. Όταν τελειώσουν τα ένθετα τοποθετούνται στην κινητή πλάκα του καλουπιού και υπόκεινται λείανσης με ρεκτιφιέ στην πίσω πλευρά όλης της πλάκας με τα ένθετα μέσα, για να μην υπάρχει διαφορά, ώστε να επηρεάσει το καλούπι.

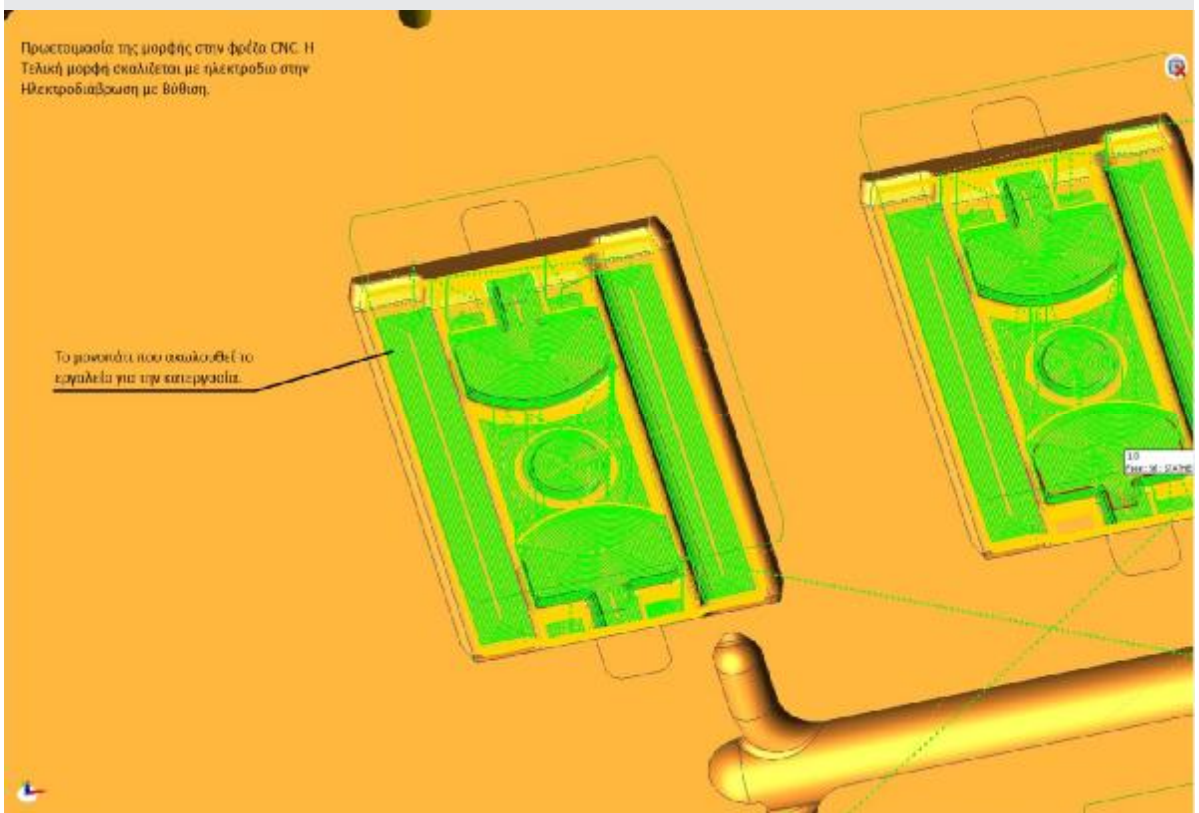
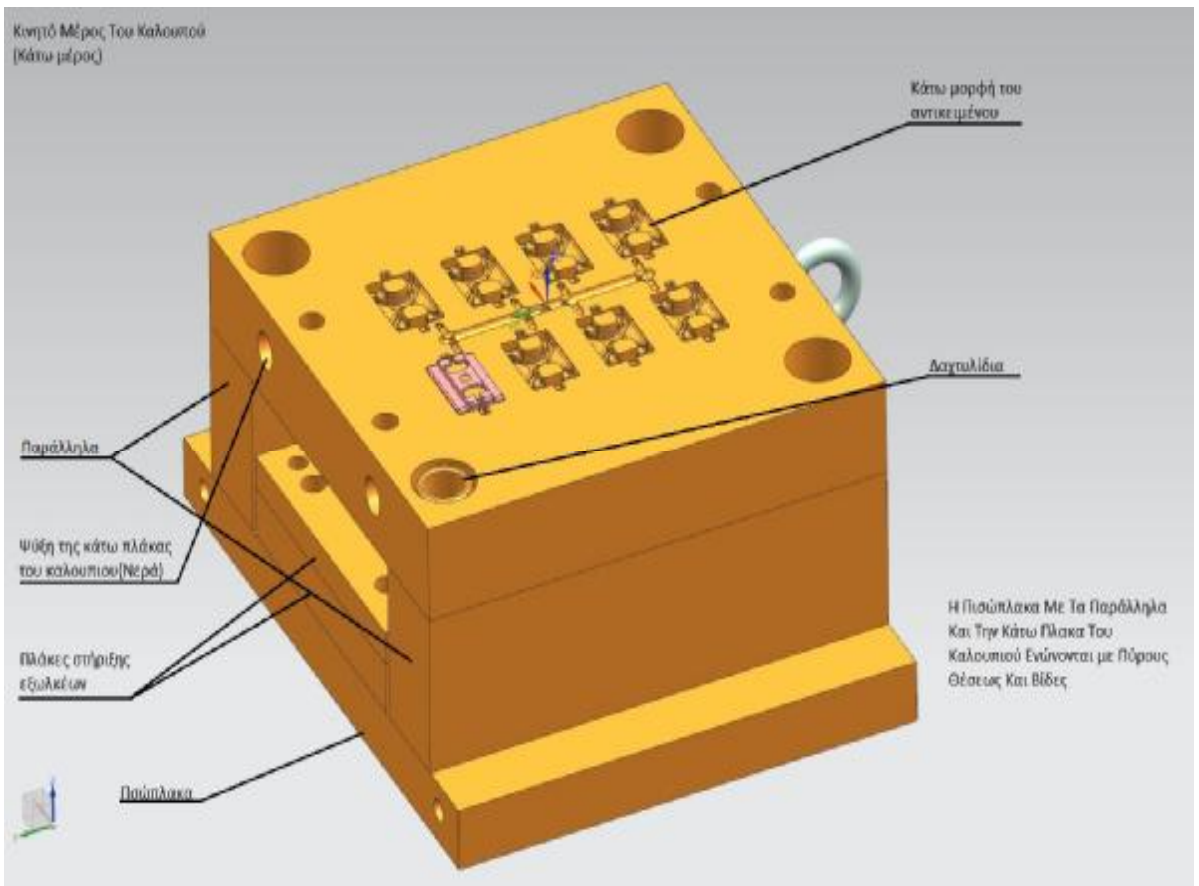
Έτσι λοιπόν έχουμε όλα τα μέρη του καλουπιού έτοιμα, καθαρά και σε όποια σημεία χρειάζεται να υπάρχει μία μικρή καμπυλότητα για την σωστή λειτουργία του, αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση λίμας.

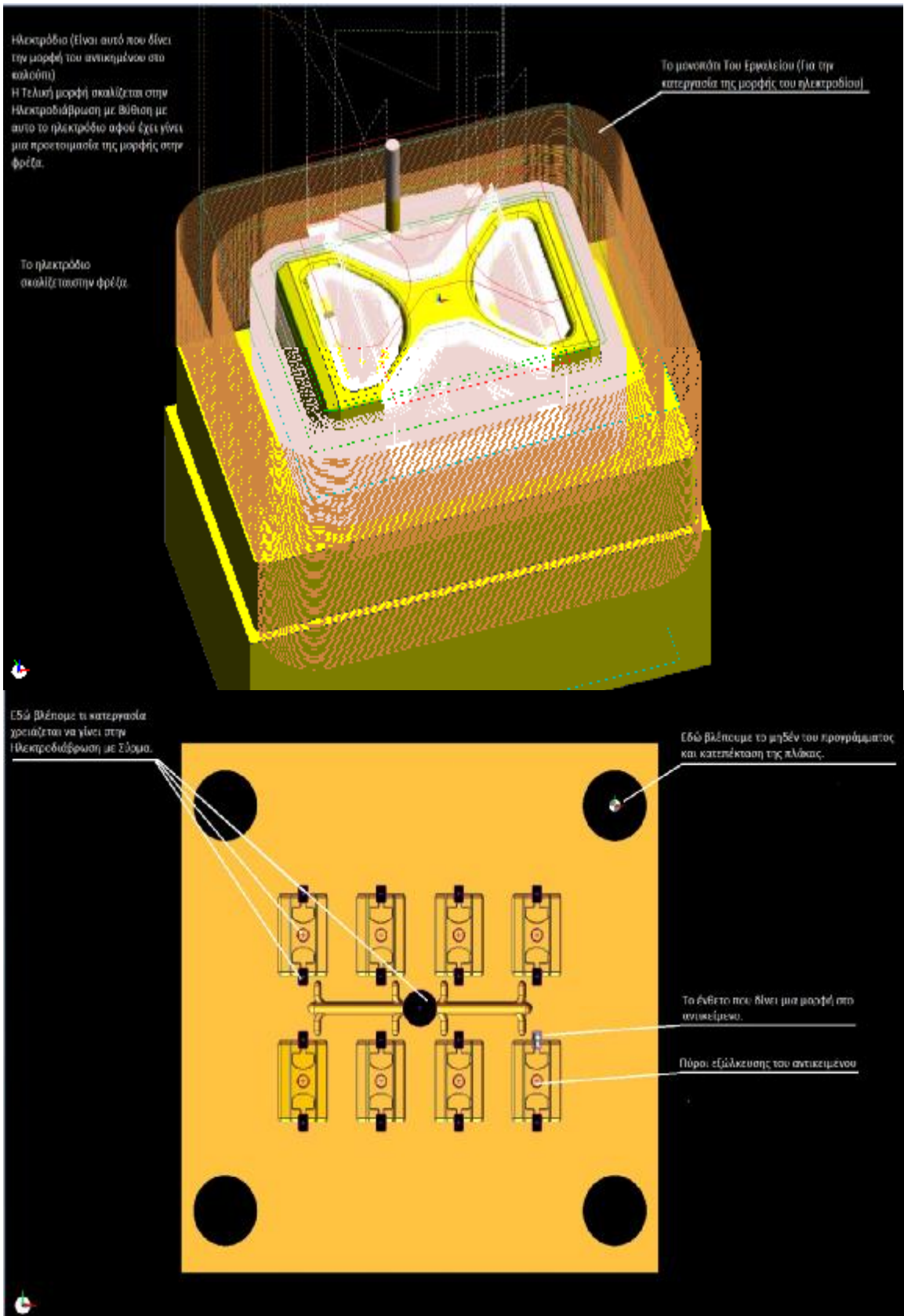
B.1.8. Συναρμολόγηση και τελικός έλεγχος

Μετά την κατασκευή όλων των επιμέρους κομματιών που χρειάζονται για το καλούπι γίνεται η συναρμολόγησή του, ώστε να είναι έτοιμο προς χρήση και στη συνέχεια γίνεται τελικός έλεγχος και δοκιμή σε πρέσα. Στη φάση αυτή ελέγχεται η απόδοση του καλουπιού και διαπιστώνουμε ότι όλα έχουν γίνει σωστά καθώς επίσης και αν το καλούπι που κατασκευάσαμε μας δίνει το επιθυμητό παραγόμενο προϊόν. Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, τότε βλέπουμε σε ποιο σημείο έχει γίνει το λάθος και προχωράμε σε διόρθωσή του πριν παραδοθεί. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου πετύχουμε το αποτέλεσμα που απαιτείται από τον πελάτη.

Η τελική κοστολόγηση του παρακάτω καλουπιού (παράδειγμα) ανέρχεται περίπου στα 6.000 ευρώ.







Ενδεχο το οποίο δίνει μια μορφή στο αντικείμενο. Κοβεται σε Ηλεκτροδύβρωση με Σόρμα και στην συνέχεια σκαλίζεται η τελική του μορφή στην Φρέζα.

Το μονοπάτι του εργαλείου

