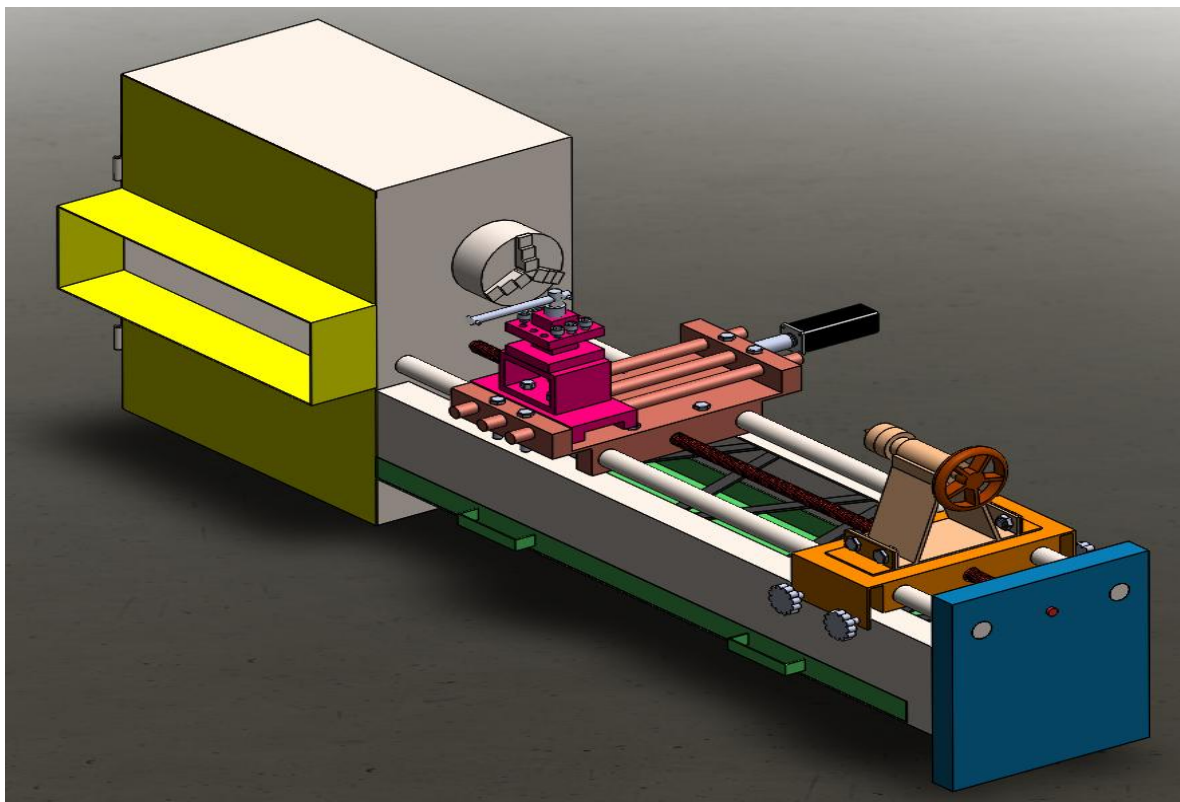


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΡΝΟΥ CNC ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΟΥΤΣΟΥΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ (Α.Μ. 6221)
ΜΑΣΤΟΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 6169)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΤΣΙΡΚΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ
Επιστημονικός Συνεργάτης

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στη μελέτη και στη σχεδίαση ενός τόννου CNC μικρών διαστάσεων. Επίσης, προβάλλονται τα τεράστια οφέλη των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης (CNC) και συγκεκριμένα ενός τόννου CNC καθώς όπως είναι γνωστό στις μέρες μας, η παραδοσιακή δομή ελέγχου και καθοδήγησης μηχανικών διατάξεων από το χειριστή τους, συνεχώς υποβοηθείται ή αντικαθίσταται από κάποιο βαθμό αυτοματοποίησης. Στην εξέλιξη αυτή δεν θα μπορούσε να μη συμμετέχει η μηχανουργική τεχνολογία και, μάλιστα, η περιοχή των εργαλειομηχανών. Ιδιαίτερα, στις περιόδους υψηλής οικονομικής, και εμπορικής ανάπτυξης, η αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών τέθηκε ως ο βασικότερος στόχος. Οι λόγοι αυτής της εξέλιξης προέκυψαν από την ανάγκη παραγωγής μεγάλων παρτίδων πανομοιότυπων τεμαχίων, με μικρό κόστος κατεργασίας και μεγάλη ακρίβεια κατασκευής

Στην αρχή της εργασίας γίνεται μια συνοπτική ιστορική αναδρομή σχετικά με την εξέλιξη των τόννων και μία επίσης συνοπτική αναφορά στους συμβατικούς τόννους σχετικά με τη δομή αλλά και τον τρόπο χρήσης τους. Στη συνέχεια μελετάται η έννοια του αριθμητικού ελέγχου, ο τρόπος λειτουργίας, οι συντεταγμένες καθώς και τα κατασκευαστικά αλλά και τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός τόννου CNC. Στο τέλος, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μελέτη και στον σχεδιασμό μιας ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής τόννου.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Σωτήριο Τσίρκα, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Μάστορας Γεώργιος, Κουτσούκος Αθανάσιος
Δεκέμβριος 2015

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη και τον σχεδιασμό ενός τόννου CNC μικρών διαστάσεων. Μέσα από τη μελέτη αυτή γίνεται η ανάδειξη της μετάβασης-εξέλιξης των εργαλειομηχανών συμβατικού ελέγχου και κυρίως του τόννου, σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Επίσης, προβάλλεται η ανάπτυξη των εξελιγμένων δομικών στοιχείων τους, δηλαδή των στοιχείων που αποτελούν τον κορμό ή τον σκελετό τους αλλά και η ιδιαίτερη τεχνολογία των ανθεκτικών κοπτικών εργαλείων. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε εννέα (9) κεφάλαια.

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική ιστορική αναδρομή σχετικά με την εξέλιξη των τόννων και μία επίσης συνοπτική αναφορά στους συμβατικούς τόννους σχετικά με τη δομή αλλά και τον τρόπο χρήσης τους. Στο 2^ο Κεφάλαιο εμβαθύνουμε στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης αναλύοντας αρχικά την έννοια του αριθμητικού ελέγχου καθώς και την εφαρμογή του στις εργαλειομηχανές. Επίσης, γίνεται μία αξιολογή κατηγοριοποίηση των CNC εργαλειομηχανών ενώ παράλληλα αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους έναντι των συμβατικών.

Στο 3^ο Κεφάλαιο μελετάται η ακρίβεια των CNC εργαλειομηχανών. Η ακρίβεια κατεργασίας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι καθώς αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους λόγους της ραγδαίας εξάπλωσης των εργαλειομηχανών αφού λόγω αυτής επιτυγχάνεται αμετάβλητη υψηλή ποιότητα σε χιλιάδες προϊόντα. Στο 4^ο περιγράφονται τα διάφορα είδη συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ) που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Η μελέτη αυτών των συστημάτων είναι πολύ σημαντική, όπως θα γίνει φανερό από την εκτενής ανάλυση τους στο αντίστοιχο κεφάλαιο, διότι είναι υπεύθυνα για την μετατροπή όλων των εντολών σε σήματα ελέγχου υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης ή παλμών.

Στο 5^ο Κεφάλαιο μελετώνται οι τύποι ελέγχου θέσης των εργαλειομηχανών CNC. Δηλαδή, θα γίνει μια σημαντική αναφορά στον τρόπο με τον οποίο οι εντολές του προγραμματιστή μετατρέπονται σε μετατοπίσεις των αξόνων κατεργασίας. Στο 6^ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός τόννου ψηφιακής καθοδήγησης, τα διάφορα υποσυστήματα του όπως π.χ. μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης, συστήματα τροφοδοσίας υγρού κοπής κ.τ.λ. αλλά και οι αυτοματισμοί που μπορεί να υπάρχουν σε έναν τέτοιο τόννο. Επίσης, σε αυτό το κεφάλαιο μελετώνται τα συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στην κατεργασία της τόννευσης. Στο 7^ο Κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα διάφορα είδη κοπτικών εργαλείων, η γεωμετρία τους και γενικότερα η τεχνολογία τους.

Στο 8^ο Κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου τόννου CNC μέσα από πληθώρα εικόνων και επεξηγήσεων, ενώ στο Κεφάλαιο 9^ο, πραγματοποιείται η μελέτη και οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την λειτουργία του τόννου. Στο Κεφάλαιο 10 εκπονείται συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη του τόννου υπό κατασκευή και ενός τόννου εμπορίου, δίνοντας έμφαση στα ωφέλη του κατασκευαστικού τόννου.

Τέλος, στο 11^ο Κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίησή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ		
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		
ΕΙΣΑΓΩΓΗ		1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:	ΤΟΡΝΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	
1.1	Ιστορική αναδρομή	4
1.2	Δομή του τórνου	5
1.3	Ταξινόμηση των τórνων	11
1.4	Συγκράτηση κοπτικών εργαλείων στο τórνο	13
1.5	Συγκράτηση τεμαχίων στο τórνο	14
1.6	Συστήματα λίπανσης	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΩΧΑΝΩΝ	
2.1	Ιστορική αναδρομή αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανών	18
2.2	Αριθμητικός έλεγχος και οι κατηγορίες εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης ανάλογα με τον βαθμό αυτοματοποίησης	21
2.3	Πεδίο χρησιμοποίησης εργαλειομηχανών NC , CNC, DNC	23
2.4	Διαφορές NC-CNC-DNC και συμβατικών εργαλειομηχανών	24
2.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης	25
2.6	Οργάνωση μηχανουργείου με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης	27
2.6.1	Χωροθέτηση και εξυπηρέτηση ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:	ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ	
3.1	Απαιτήσεις σε ακρίβεια εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης	30
3.2	Έλεγχος παραλαβής εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης	30
3.3	Έλεγχος ακρίβειας εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ	
4.1	Αρχές αυτομάτου ελέγχου	35
4.2	Συστήματα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου	37
4.3	Συστήματα καθοδήγησης κλειστού βρόγχου	38
4.4	Αρχές προσαρμοστικού ελέγχου	40
4.5	Απαιτήσεις ελέγχου εργαλειομηχανών	41

4.5.1	Διακριτική ικανότητα	41
4.5.2	Επαναληψιμότητα	41
4.5.3	Αστάθεια	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:	ΤΥΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ	
5.1	Γενικά για τον έλεγχο θέσης στη ψηφιακή καθοδήγηση	44
5.2	Έλεγχος από σημείο σε σημείο	44
5.3	Έλεγχος ευθύγραμμης κοπής	46
5.4	Έλεγχος συνεχούς κοπής	47
5.5	Γραμμική παρεμβολή	48
5.6	Κυκλική παρεμβολή	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΡΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ	
6.1	Γενικά για τους ηλεκτρικούς κινητήρες, που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές	50
6.2	Χαρακτηριστικά στοιχεία κινητήρων	50
6.3	Ηλεκτροκινητήρες κινητήριας ατράκτου κοπής	52
6.4	Ηλεκτροκινητήρες προώσεως	53
6.5	Διάφορα υποσυστήματα CNC τέρνου	54
6.5.1	Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης στους άξονες κατεργασίας και έλεγχος πρόωσης	54
6.5.2	Συστήματα τροφοδοσίας υγρού κοπής, πεπιεσμένου αέρα και απομάκρυνσης αποβλήτων	55
6.6	Σύστημα συντεταγμένων σε CNC εργαλειομηχανές	57
6.6.1	Καρτεσιανές συντεταγμένες	57
6.6.2	Πολικές συντεταγμένες	57
6.6.3	Απόλυτες και σχετικές συντεταγμένες	58
6.6.4	Συστήματα συντεταγμένων σε τέρνους ψηφιακής καθοδήγησης	58
6.6.5	Χαρακτηριστικά γεωμετρικά σημεία σε τέρνους ψηφιακής καθοδήγησης	59
6.7	Αυτοματισμός σε CNC τέρνο	61
6.7.1	Σύστημα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων και τύποι εργαλειοφορείων αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων	61
6.7.2	Μηχανισμοί αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων	64
6.8	Συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ ΤΟΡΝΟΥ	
7.1	Είδη και μορφές εργαλείων	68
7.2	Γεωμετρία κοπτικών εργαλείων τέρνου	70
7.3	Τρόχισμα εργαλείων κοπής	71
7.4	Απόβλητα κοπτικών εργαλείων	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΡΝΟΥ CNC ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	
8.1	Εισαγωγή	76

8.2	SolidWorks	76
8.3	Λογισμικό Mach 3	81
8.4	Σχεδιασμός Τόρνου	81
8.5	Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός Τόρνου	97
8.6	Ένωση τμημάτων Τόρνου	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΡΝΟΥ CNC ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ		
9.1	Εισαγωγή	102
9.2	Απαραίτητοι υπολογισμοί τόρνου cnc	102
9.2.1	Δύναμη κοπής	102
9.2.2	Ταχύτητα κοπής, πρόωση και βάθος κοπής	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ		
10.1	Συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη τόρνου υπό κατασκευή και τόρνου εμπορίου	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		
		112

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας, μετά το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστη τη μηχανουργική τεχνολογία. Πόσο μάλλον, όταν αυτή η επιστημονική περιοχή αποτελεί τη βάση και τον κορμό της παγκόσμιας παραγωγικής βιομηχανίας. Τα προβλήματα που οδήγησαν στη σύλληψη της ιδέας των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, ήταν η μειωμένη ακρίβεια, η μεγάλη συμμετοχή του συχνά απρόβλεπτου ανθρώπινου παράγοντα και οι μικρές παραγωγικές δυνατότητες των συμβατικών εργαλειομηχανών. Η εκρηκτική ανάπτυξη της ηλεκτρονικής, της ηλεκτρολογίας και, κυρίως, της επιστήμης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, στάθηκε πολύτιμος βοηθός στην αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών κοπής και γενικά των μηχανών διαμόρφωσης προϊόντων.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των σχεδόν έξυπνων αυτών μηχανών είναι η ακρίβεια κατεργασίας απλών και σύνθετων τεμαχίων, η βελτίωση της παραγωγικότητας, η ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων, η θεαματική βελτίωση της ασφάλειας εργασίας και πολλά άλλα. Όμως, πρόκειται για ακριβά συστήματα, που απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό.

Η πρόοδος των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών συνεχίζεται με μεγαλύτερη ορμή σήμερα και έχει αλλάξει εντελώς την εικόνα του παραδοσιακού μηχανουργείου. Ακόμα περισσότερο άλλαξε την εικόνα του παραδοσιακού μηχανουργού. Ο αυτοδίδακτος торναδόρος ή φρεζαδόρος δεν υπάρχει στις βιομηχανικές χώρες και αύριο δεν θα υπάρχει ούτε στην Ελλάδα. Τις θέσεις τους παίρνουν με γρήγορους ρυθμούς καλά εκπαιδευμένα άτομα με εξειδικευμένη γνώση.

Ο αριθμητικός έλεγχος είναι η επιστήμη που καθορίζει τον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων με όλες τις αυτόματες διατάξεις. Επειδή η αυτοματοποίηση αποτελεί πια ανάγκη και συνήθεια σε όλες τις δραστηριότητες του ανθρώπου, ο αριθμητικός έλεγχος είναι από τις πιο βασικές τεχνολογικές επιστήμες. Στην πράξη, η επικοινωνία ανθρώπων και μηχανών γίνεται σχεδόν αποκλειστικά μέσω των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν, στους υπολογισμούς τους, αριθμούς βασισμένους στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης, σε αντίθεση με τους ανθρώπους, που χρησιμοποιούν αποκλειστικά το δεκαδικό. Έτσι, για λόγους ευκολίας, οι άνθρωποι επικοινωνούν με τους υπολογιστές χρησιμοποιώντας το δεκαδικό σύστημα αλλά οι εντολές τους μετατρέπονται στο δυαδικό σύστημα, χωρίς αυτοί να το αντιλαμβάνονται.

Όπως όλες οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου, έτσι και οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης εκτελούν τις λειτουργίες τους μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ιδίως το δυσκολότερο μέρος της καθοδήγησης, δηλαδή οι κινήσεις του εργαλείου και του τεμαχίου, ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, μέσω εκατομμυρίων υπολογιστικών πράξεων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθούν ανεξάρτητες μεταξύ τους, αλλά ταυτόχρονες κινήσεις του εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Οι κατευθύνσεις των κινήσεων αυτών ονομάζονται άξονες κατεργασίας. Όσο περισσότερους τέτοιους άξονες έχει μια εργαλειομηχανή ψηφιακής καθοδήγησης, τόσο πιο πολύπλοκα τεμάχια μπορεί να κατεργαστεί σε λιγότερα δεσίματα, αλλά και τόσο ακριβότερη είναι.

Ο βασικός σκοπός της μηχανουργικής τεχνολογίας είναι η δημιουργία και η αναπαραγωγή των γεωμετρικών οντοτήτων, που αποτελούν ένα τεμάχιο. Για να γίνει αυτό δυνατό, πρέπει τα γεωμετρικά στοιχεία να περιγραφούν με σαφήνεια και ακρίβεια. Μάλιστα, ο σχεδιαστής του τεμαχίου, ο προγραμματιστής της κατεργασίας αλλά και η μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής MCU πρέπει να έχουν ένα κοινό κώδικα γεωμετρικής επικοινωνίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των συστημάτων συντεταγμένων. Υπάρχουν διάφορα τέτοια

συστήματα, όπως το καρτεσιανό, το πολικό, το κυλινδρικό και το σφαιρικό. Όλα αυτά τα συστήματα συντεταγμένων περιέχονται στη μονάδα κεντρικού ελέγχου της εργαλειομηχανής και ο προγραμματιστής μπορεί να τα επιλέξει και να τα χρησιμοποιήσει με ευκολία. Για να υπάρχει ακόμα μεγαλύτερη ευελιξία στον προγραμματισμό των κατεργασιών, ο χειριστής μπορεί να επιλέξει τις απόλυτες, τις σχετικές ή τις βηματικές συντεταγμένες, μόνες τους ή σε διάφορους συνδυασμούς μεταξύ τους.

Για να είναι δυνατή η μονοσήμαντη επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και μηχανής, έχουν ορισθεί κατάλληλα μηδενικά σημεία και σημεία αναφοράς στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Αυτά τα σημεία είναι αρκετά, αλλά σαφώς καθορισμένα από τους κατασκευαστές των εργαλειομηχανών και πρέπει να είναι απολύτως κατανοητά από τους χειριστές. Όλα τα συστήματα συντεταγμένων των μηχανών, αλλά και αυτά που ορίζει ο προγραμματιστής μπορούν να μετακινηθούν ή να περιστραφούν, σε σχέση πάντα με τα μηδενικά σημεία της μηχανής. Με τον τρόπο αυτό, οι συμμετρίες που έχουν αρκετά τεμάχια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να κάνουν τον προγραμματισμό των κατεργασιών πιο εύκολη υπόθεση.

Οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης λόγω της διαφοράς τους στη φιλοσοφία λειτουργίας, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με ειδικές προδιαγραφές και αυστηρούς κανόνες. Αυτό ισχύει τόσο για το μηχανικό, όσο και το ηλεκτρονικό τους μέρος. Ειδικά τα υποσυστήματα που ενεργοποιούν την κεντρική άτρακτο και τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου, πρέπει να είναι σε αρμονία με τις σημερινές απαιτήσεις σε ακρίβεια κατεργασίας. Οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών μπορούν σήμερα να επιλέξουν από μία μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών κινητήρων, που τους προσφέρουν μεγάλη σχεδιαστική άνεση και ευελιξία.

Επειδή λοιπόν, οι εργαλειομηχανές εκτελούν και άλλες λειτουργίες, που συμμετέχουν και υποστηρίζουν τις κατεργασίες κοπής, μεγάλη εξέλιξη έχουν δει και τα λιγότερο βασικά εξαρτήματα των μηχανών αυτών. Όλα τα συστήματα σχεδιάζονται σήμερα, ώστε να εξυπηρετούν και να επιταχύνουν τις παραγωγικές δυνατότητες των εργαλειομηχανών. Με τον τρόπο αυτό εκπληρώνονται ακόμα περισσότερο οι απαιτήσεις σε διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής των παραγόμενων προϊόντων. Η ακρίβεια των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι ένας από τους βασικότερους λόγους της καθιέρωσης τους στη μηχανουργική τεχνολογία.

Οι εργαλειομηχανές NC, CNC και DNC είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, η διαρκής λειτουργία τους έχει ως αποτέλεσμα τη φθορά και την απορρύθμισή τους. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα έλεγχος της ακριβείας τους. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους. Πιο διαδεδομένος από όλους αυτούς είναι η χρήση των συμβολόμετρων λείζερ. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει γρήγορο και εποπτικό τρόπο μέτρησης της ακριβείας της μηχανής σε όλους τους άξονες κατεργασίας. Τα συμβολόμετρα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στη μέτρηση ακριβείας συμβατικών εργαλειομηχανών. Σήμερα, αυτός ο έλεγχος παραλαβής των εργαλειομηχανών με χρήση συμβολόμετρων έχει αντικαταστήσει τον παραδοσιακό τρόπο ελέγχου με κατεργασία συγκεκριμένων τεμαχίων.

Ο βασικός σχεδιαστικός στόχος των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι η απαλλαγή του χειριστή από όσο το δυνατό περισσότερες εργασίες και λειτουργίες. Αυτό έγινε δυνατό με την εφαρμογή στη μηχανουργική τεχνολογία διαδικασιών αυτομάτου ελέγχου. Αυτές οι διαδικασίες, στις περιπτώσεις σύνθετων κατεργασιών, είναι πολλές σε αριθμό και μάλιστα πολύ δύσκολες για τον άνθρωπο. Σε αυτήν την προσπάθεια ο μεγαλύτερος σύμμαχος είναι η επιστήμη των υπολογιστών και η ηλεκτρονική. Έτσι, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μιας εργαλειομηχανής, ένας σημαντικός αριθμός παραμέτρων της κοπής καταγράφεται και ελέγχεται συνεχώς, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα κατασκευής. Τέτοιες παράμετροι είναι οι μετατοπίσεις, οι ταχύτητες της ατράκτου και των προώσεων των αξόνων κατεργασίας, οι δυνάμεις κοπής, κ.λπ..

Γενικά υπάρχουν δύο στρατηγικές αυτομάτου ελέγχου, που και οι δύο εφαρμόζονται στην ψηφιακή καθοδήγηση. Πρόκειται για τον απλούστερο έλεγχο ανοικτού βρόγχου και το δυσκολότερο έλεγχο κλειστού βρόγχου και παρά τις δυσκολίες και το αυξημένο κόστος των συστημάτων κλειστού βρόγχου, είναι αυτά τα οποία έχουν επικρατήσει στις εργαλειομηχανές CNC, λόγω της μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας και ακρίβειας.

Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές έχουν εντυπωσιακές παραγωγικές ικανότητες και μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν στην κατεργασία σύνθετων γεωμετρικών μορφών. Οι δυνατότητες αυτές δεν είναι δυνατό να παρακολουθηθούν και να ελεγχθούν από το χειριστή των εργαλειομηχανών, αφού τόσο ο όγκος των υπολογισμών, όσο και η ταχύτητα με την οποία εκτελείται η κατεργασία, υπερβαίνουν τα όρια των ανθρώπινων αισθήσεων. Παρ' όλα αυτά, οι κινήσεις των αξόνων κατεργασίας δεν είναι ανεξέλεγκτες αλλά συνεχώς παρακολουθούνται από τα συστήματα ελέγχου θέσης των εργαλειομηχανών. Υπάρχουν διάφορα τέτοια συστήματα και ανάλογα με την πολυπλοκότητα τους μπορούν να παρακολουθήσουν αντίστοιχα την εξέλιξη σύνθετων κινήσεων των αξόνων κατεργασίας. Φυσικά, οι απαιτήσεις των συστημάτων ελέγχου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της κατεργασίας, αφού για παράδειγμα άλλες απαιτήσεις έχει το πολυαξονικό φρεζάρισμα και άλλες ένας απλός κύκλος διάτρησης.

Τέλος, η ακρίβεια των κινήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις στοιχειώδεις μετατοπίσεις του κάθε άξονα κατεργασίας, που τελικά συνθέτουν τη συνολική κίνηση του κοπτικού εργαλείου ως προς το τεμάχιο. Μεγάλη επίδραση σε αυτήν την παράμετρο έχει το είδος του παρεμβολέα, που ενσωματώνει η κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Υπάρχουν διάφοροι τέτοιοι τύποι απλών ή σύνθετων παρεμβολών, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις προδιαγραφές των εργαλειομηχανών.

Η συνεχής αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση αποτελεί μεγάλη προτεραιότητα για τους κατασκευαστές τους και διαρκή επιθυμία των χρηστών των εργαλειομηχανών. Η μείωση της συνεισφοράς του ανθρώπινου παράγοντα, που προσφέρουν οι διάφοροι αυτοματισμοί, βελτιώνει κατά πολύ την ακρίβεια και την παραγωγικότητα των μηχανουργικών κατεργασιών. Τα σπουδαιότερα συστήματα αυτοματισμού που περιέχουν οι σύγχρονες εργαλειομηχανές, είναι τα συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων, τα συστήματα τροφοδοσίας σε πρώτη ύλη και τα συστήματα συγκράτησης και εναλλαγής πρώτης ύλης. Όλα αυτά τα τεχνολογικά επιτεύγματα βοηθούν στην ενσωμάτωση των εργαλειομηχανών σε σύγχρονες παραγωγικές δομές, όπως είναι τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS).

Σήμερα αυτά τα συστήματα αυξάνουν κατά πολύ το κόστος αγοράς των εργαλειομηχανών αλλά, όσο αυξάνεται η διάδοσή τους, τόσο ελαχιστοποιείται και το κόστος τους. Σε περίπτωση που τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται σύμφωνα με τις δυνατότητές τους, το κόστος εγκατάστασής τους υπερκαλύπτεται σύντομα από τα κέρδη, που αυτά επιφέρουν.

Συνοψίζοντας, στόχος αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός τόννου ψηφιακής καθοδήγησης μικρού διαστάσεων, όπου με αυτόν τον τρόπο θα αναδειχθούν όλες οι ευελιξίες που προσφέρουν οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης και κυρίως η εργαλειομηχανή του τόννου καθώς και η σύγχρονη τεχνολογία που τις συνοδεύουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟΡΝΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

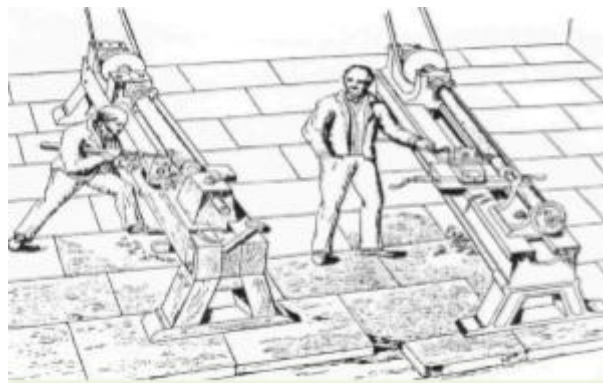
Η τórνευση σαν κατεργασία χρησιμοποιείται από πολύ παλαιά, γύρω όμως στο 1400 μ.Χ. εμφανίστηκαν οι πρώτοι τórνοι που στην αρχή κινούνταν με μυϊκή δύναμη ή με νερό σαν τους κατοπινούς υδρόμυλους. Στα επόμενα σχήματα, παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της τórνευσης (ποδοκίνητη, υδροκίνητη, ηλεκτροκίνητη). Η τεχνολογία της κοπής σε εργαλειομηχανή τórνευσης χρονολογείται αρκετούς αιώνες πριν, κατεργάζοντας ακόμα και ειδικές μορφές όπως σπείρωμα κ.λ.π.



Σχήμα 1.1:Ποδοκίνητος τórνος. [23]



Σχήμα 1.2:Υδροκίνητος τórνος. [23]



Σχήμα 1.3: Ιμαντοκίνητος τórνος. [23]

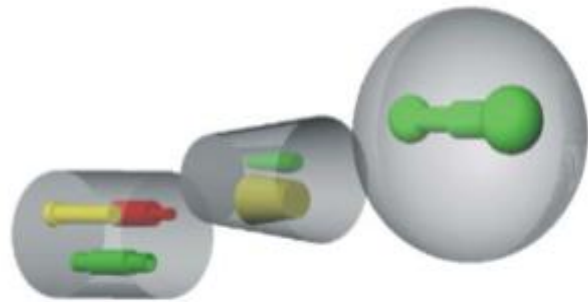


Σχήμα 1.4:
Τórνος του 1797 μ.Χ.
ανακαλύφθηκε στις Η.Π.Α.
και ήταν από τους πιο
εξελιγμένους. Επιπλέον,
ήταν σε θέση να κόβει
ακριβή σπείρώματα με
άνεση.[23]

1.2. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΤΟΡΝΟΥ

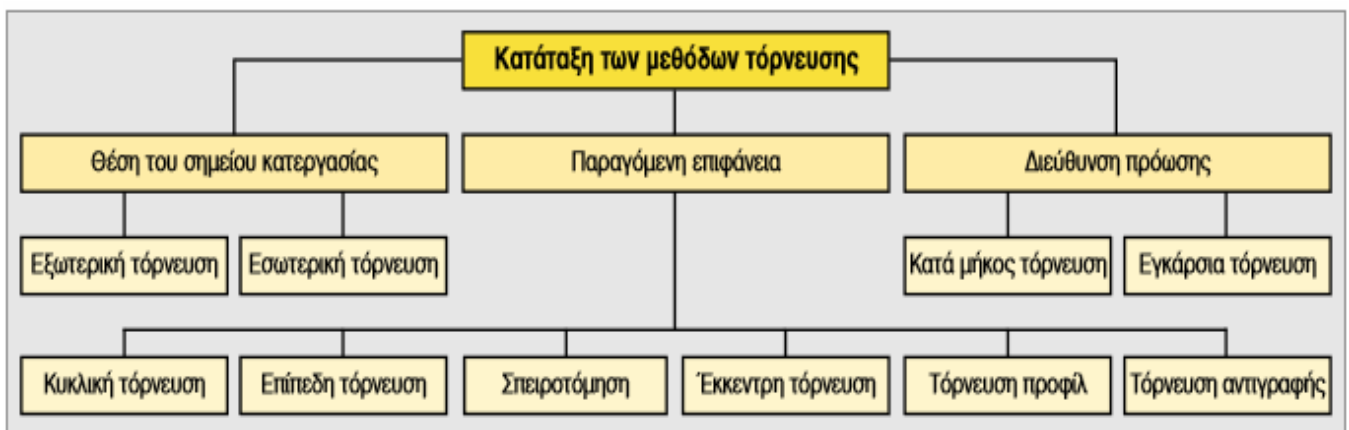
Ο τórνος γενικής χρήσης είναι εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται κατά κανόνα στον τομέα βιομηχανικής παραγωγής μηχανολογικών προϊόντων κατά μονάδα ή μικρών σειρών και στο τομέα συντήρησης και επισκευής μηχανολογικών κατασκευών στις βιομηχανικά αναπτυσσόμενες χώρες. Η διαμόρφωση των μεταλλικών υλικών στον τórνο και η μεταποίηση τους σε στοιχεία μηχανών διεξάγεται με κατεργασία κοπής, που επιτυγχάνεται με κοπτικό εργαλείο απλής κοπής. Η κατεργασία μηχανικής κοπής με κοπτικό εργαλείο απλής κοπής στον τórνο λέγεται τórνευση.

Με τórνευση κατεργάζονται τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής με, κατά κανόνα, κυκλική διατομή. Στο Σχήμα 1.5 παρουσιάζονται τέτοια τεμάχια στα οποία διάφορα τμήματά τους παίρνουν σχήμα κυλίνδρου, κώνου και σφαίρας. Τα κατεργαζόμενα τεμάχια στον τórνο είναι δυνατόν να αποκτούν διαφορετική ποιότητα επιφάνειας στα επί μέρους τμήματά τους, ανάλογα με τις συνθήκες κατεργασίας.



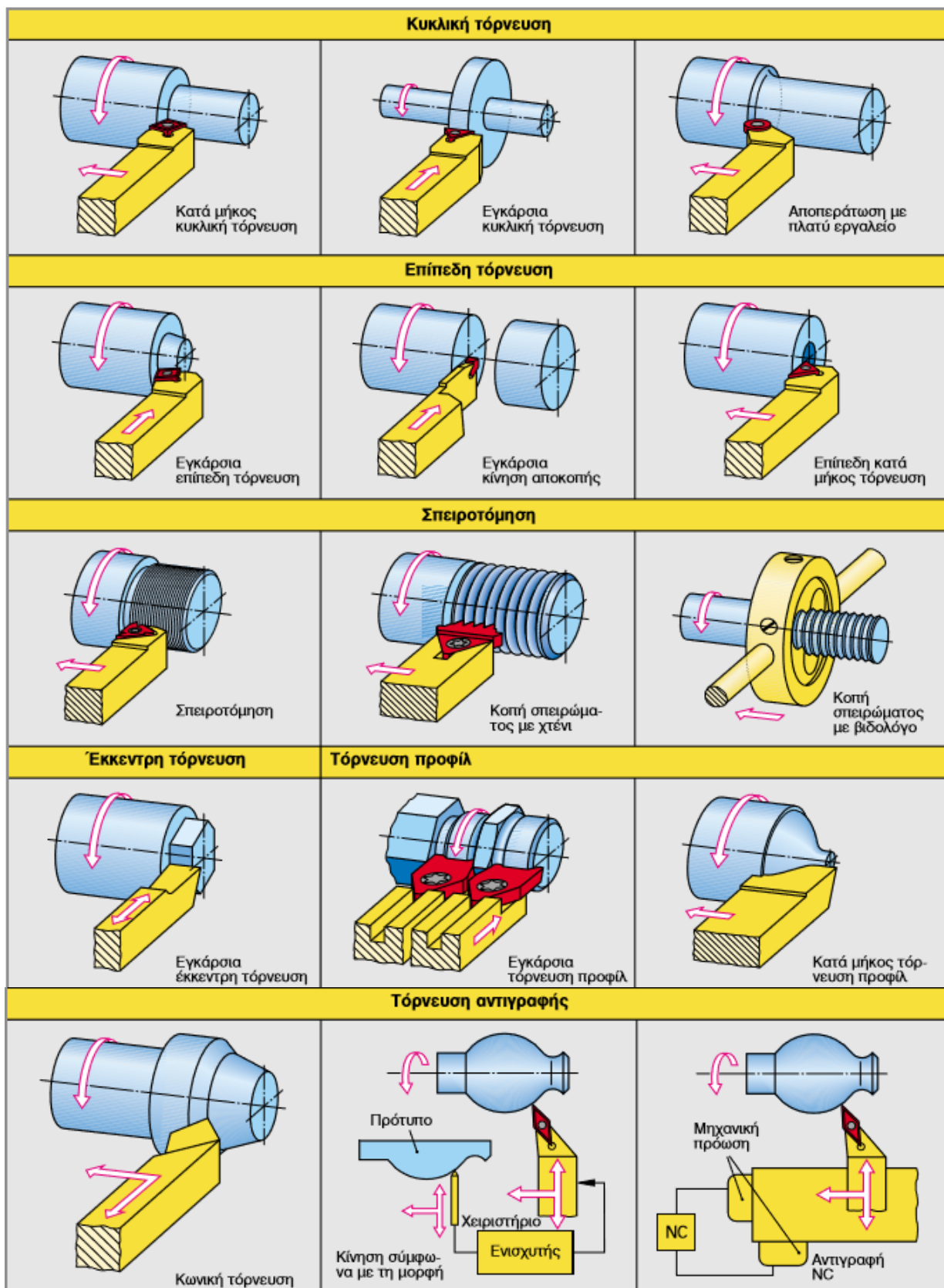
Σχήμα 1.5: Διαμόρφωση τεμαχίων στο τórνο.[1]

Οι μορφές, που μπορεί να πάρει το κατεργαζόμενο τεμάχιο με την τórνευση, απαιτούν διαφορετικό συνδυασμό κινήσεων, όπως και χρησιμοποίηση του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται εξαρτάται τόσο από το είδος της παραγόμενης επιφάνειας, όσο και από το αν η τórνευση είναι εξωτερική ή εσωτερική στο κομμάτι.



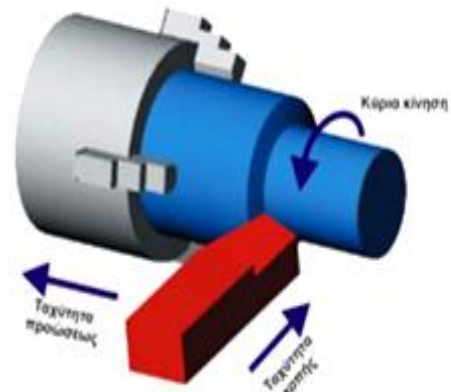
Σχήμα 1.6: Κατάταξη των μεθόδων τórνευσης. [1]

Στο Σχήμα 1.7 παρουσιάζονται διάφορα είδη εξωτερικής και εσωτερικής τórνευσης για την κατεργασία κυλινδρικών και κωνικών επιφανειών, επιφανειών ειδικής μορφής και σπειρωμάτων. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται με βέλη οι κινήσεις που απαιτούνται κάθε φορά για τη συγκεκριμένη κοπή. [1]



Σχήμα 1.7: Κατάταξη των μεθόδων τόνρευσης.[1]

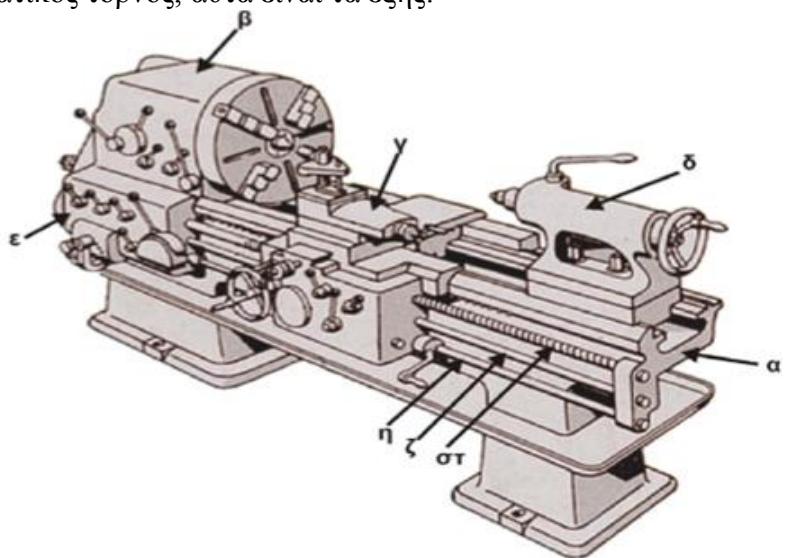
Κατά την τόννευση, το κατεργαζόμενο τεμάχιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, συγκρατούμενο στον σφικτήρα (τσοκ) του τόννου. Με αυτόν τον τρόπο, είναι σε επαφή με το κοπτικό εργαλείο, το οποίο έχει δυνατότητα διαμήκους και εγκάρσιας μετακίνησης, δηλαδή ευθύγραμμο παράλληλα προς τον άξονα του τεμαχίου ή σε ορθή γωνία ως προς τον άξονα του τεμαχίου. Οι κινήσεις αυτές, κατά την τόννευση, παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8:Κινήσεις κατά τη τόννευση. [1]

Όσον αφορά τη δομή ενός τόννου συμβατικού ελέγχου, δηλαδή για τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένας συμβατικός τόννος, αυτά είναι τα εξής:

- a. Σώμα
- b. Κιβώτιο ταχυτήτων
- c. Εργαλειοφορείο
- d. Κουκουβάγια - κεντροφορέας
- e. Κιβώτιο προώσεων
- f. Κινητήρια άτρακτος σπειρωμάτων
- g. Άτρακτος προώσεων
- h. Άτρακτος εμπλοκής



Σχήμα 1.9: Κύρια μέρη του τόννου.[1]

Στη συνέχεια του εδαφίου καταγράφονται αναλυτικά τα κύρια μέρη του τόννου με σκοπό την καλύτερη κατανόηση.

✚ Βάση Τόννου ή κρεβάτι

Το κρεβάτι ή βάση (Σχήμα 1.10) είναι το μέρος του τόννου, πάνω στο οποίο εδράζονται και κινούνται όλα τα υπόλοιπα μέρη του. Το σώμα του τόννου ενισχύεται με νεύρα για να είναι στιβαρό και να μπορεί να αντέχει στις διάφορες καταπονήσεις που δέχεται. [2]



Σχήμα 1.10:Σώμα τόννου. [1]

Οι καταπονήσεις που δέχεται το σώμα είναι οι εξής:

- Οι στατικές φορτίσεις που προέρχονται από το βάρος των άλλων μερών
- Οι εσωτερικές δυναμικές φορτίσεις που προέρχονται από τις δυνάμεις κοπής
- Οι εξωτερικές δυναμικές και στοχαστικές φορτίσεις, που μεταφέρονται μέσω του από εδάφους από άλλες τυχόν διπλανές εργαλειομηχανές οι οποίες έχουν άσχημα αποτελέσματα στη κατεργασία.

Για τον παραπάνω λόγο το σώμα πρέπει να έχει σωστή έδραση για να απομονώνει το εργαλείο και το κομμάτι από εξωτερικές καταπονήσεις. Το εργαλειοφορείο και ο κεντροφορέας κινούνται επάνω στο σώμα με τη βοήθεια των γλισσιερών. [3]

Κιβώτιο Ταχυτήτων

Το κιβώτιο ταχυτήτων μεταφέρει την περιστροφική ταχύτητα από τον ηλεκτροκινητήρα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο μέσω της κυρίας ατράκτου. Το κιβώτιο ταχυτήτων αποτελείται από δύο μέρη:

- Την κύρια άτρακτο
- Τους οδοντωτούς τροχούς

Την κύρια άτρακτο, η οποία είναι κατά κανόνα κοίλη για να έχει ο τόρνος τη δυνατότητα να κατεργάζεται βέργες μεγάλου μήκους. Οι επιφάνειες έδρασής της είναι ειδικά σκληρημένες, ενώ η έδραση γίνεται συνήθως με ειδικά σφαιρικά έδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν) από ορείχαλκο. Λόγω της χαμηλής τριβής χρησιμοποιούνται και ένσφαιρα ή κωνικά έδρανα κυλίσεως, καθώς και αξονικά για την παραλαβή των αξονικών φορτίων.

Στο άκρο η άτρακτος φέρει σπειρώμα για την τοποθέτηση όλων των πιθανών σφιγκτήρων (τσοκ). Αντί του σπειρώματος η άτρακτος μπορεί να φέρει ένα κώνο, οπότε το τσόκ ή το πλατώ συνδέονται στο άκρο της ατράκτου με κοχλίες. Οι τρόποι διαμόρφωσης του άκρου της κυρίας ατράκτου, για συναρμολόγηση του τσοκ ή του πλατώ, φαίνονται στο Σχήμα 1.11.



Σχήμα 1.11: Κιβώτιο ταχυτήτων. [1]

Το κιβώτιο ταχυτήτων περιέχει την κύρια άτρακτο και μία σειρά οδοντοτροχών, με τους οποίους η άτρακτος περιστρέφεται με διαφορετικές ταχύτητες.[1]

✚ Το εργαλειοφορείο

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

Τα μέρη του εργαλειοφορείου είναι τα κάτωθι:

- a. Σώμα
- b. Εγκάρσιος οδηγός ολισθητήρας
- c. Διαμήκης οδηγός ολισθητήρας
- d. Πόδια



Στην συνέχεια ακολουθεί ανάλυση των προαναφερόμενων [2]

Σχήμα 1.12:Εργαλειοφορείο. [1]

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

- **Το σώμα:** Φέρει επάνω του όλα τα υπόλοιπα μέρη του εργαλειοφορείου και κινείται κατά μήκος του σώματος του τόρνου μέσω των γλισιερών.
- **Ο εγκάρσιος ολισθητήρας (γλισιέρα):** Φέρει επάνω του τον διαμήκη ολισθητήρα και κινείται εγκάρσια.
- **Ο διαμήκης ολισθητήρας:** Φέρει επάνω του τον εργαλειοδέτη και έχει δυνατότητα κίνησης σε διάφορες κατευθύνσεις ως προς τον άξονα του τόρνου.
- **Η ποδιά:** Φέρει το μηχανισμό για την μεταφορά της κίνησης από το κιβώτιο προώσεως στο εργαλειοφορείο με τη βοήθεια των μοχλών.
- **Ο εργαλειοδέτης:** Συγκρατεί το κοπτικό εργαλείο.

Το εργαλειοφορείο υπακούει στην κίνηση που μεταδίδεται από τον άξονα των προώσεων, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει και το μοχλό σταματήματος των στροφών του τόρνου. Διατρέχεται από δύο άξονες, τον άξονα των προώσεων, τον κοχλιωτό άξονα για την κοπή σπειρωμάτων και τη ράβδο εκκίνησης ή σταματήματος των στροφών. [1], [3]

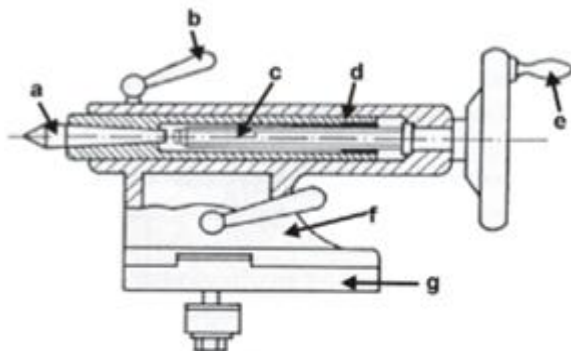
✚ Κεντροφορέας ή κουκουβάγια

Ο κεντροφορέας ή κουκουβάγια χρησιμοποιείται για την υποστήριξη μεγάλου μήκους τεμαχίων ή επίσης για διάτρηση ή γλύφανση με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου εργαλείου. Στο Σχήμα 1.13 παρουσιάζεται ένας κεντροφορέας και η τομή του με τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται.

Ο κεντροφορέας έχει δυνατότητα κίνησης στο μήκος του κρεβατιού του τόρνου και μπορεί να ασφαλίσει σε οποιαδήποτε θέση με τη χρήση κατάλληλου μοχλού ασφάλισης. Ο κώνος Μόρς, στον οποίο ασφαλίζει η πόντα στον κεντροφορέα, δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται στη θέση της πόντας κεντροτρύπανα ή άλλα κοπτικά εργαλεία.

Ο χειροτροχός στη κουκουβάγια χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση και τοποθέτηση της πόντας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός του κεντροφορέα μπορεί να διαφοροποιείται από τον αντίστοιχο του Σχήματος 1.13 και η δε μετατόπιση της πόντας

μπορεί να γίνεται και μέσω πεπιεσμένου αέρα ή υδραυλικού συστήματος. Τέτοιου είδους συστήματα εξυπηρετούν την επιθυμητή ομοιόμορφη πίεση της πόντας στο κατεργαζόμενο κομμάτι. [1]



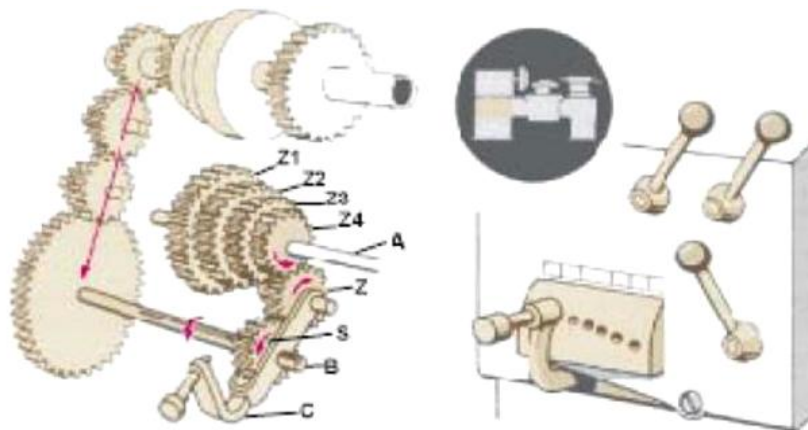
- a. Πόντα
- b. Μοχλός ασφάλισης πόντας
- c. Άξονας
- d. Έδραση
- e. Χειροτροχός
- f. Μοχλός ασφάλισης
- g. Βάση

Σχήμα 1.13: Κουκουβάγια. [1]

✚ Το κιβώτιο πρόωσης

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

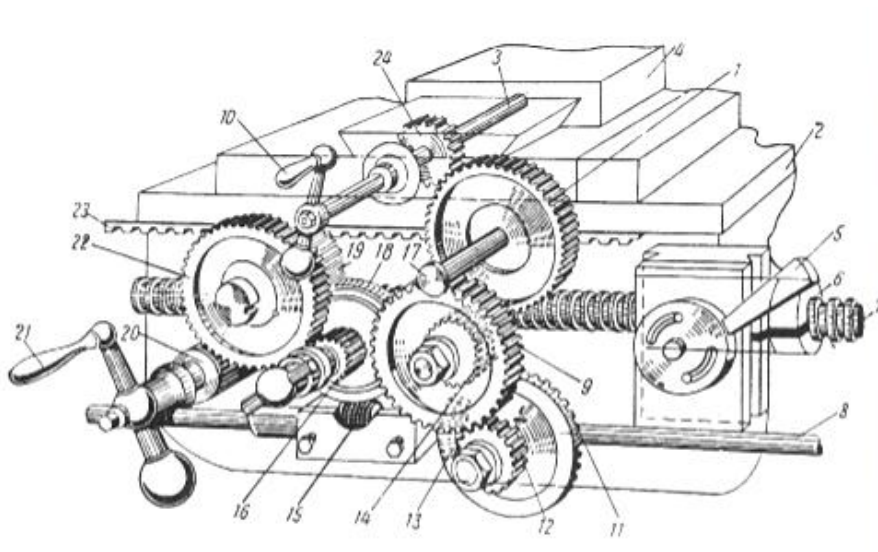
Σε πιο σύγχρονους τόννους η μετάδοση της κίνησης αυτής γίνεται διαμέσου του κιβωτίου Norton (Σχήμα 1.14) Οι οδοντωτοί τροχοί ενός κιβωτίου Norton παρουσιάζονται στη χαρακτηριστική μορφή ενός ενιαίου συνόλου γραναζιών διαφορετικών μεγεθών σε μορφή κώνου. [16]



Σχήμα 1.14:Κιβώτιο πρόωσης Norton. [1]

Για να μετακινηθεί το κοπτικό εργαλείο από αριστερά προς τα δεξιά ή από τα δεξιά προς τα αριστερά, επιβάλλεται η αλλαγή της κατεύθυνσης περιστροφής του άξονα προώσεων

ή και του κοχλιωτού άξονα. Αυτή η αλλαγή της κατεύθυνσης εξασφαλίζεται μέσω ενός οδοντωτού τροχού αναστροφής του οποίου η εμπλοκή και η απεμπλοκή εξασφαλίζει τη μία κατεύθυνση ή την άλλη. [1] , [2]



Σχήμα 1.15: Ποδιά τέρνου. [1]

1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΟΡΝΩΝ

Ο τέρνος είναι η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται για την τέρνευση. Ο τέρνος αποτελεί μια από τις πλέον παραγωγικές εργαλειομηχανές και το 40% περίπου των εργασιών κοπής των μετάλλων γίνονται σε τέρνο.

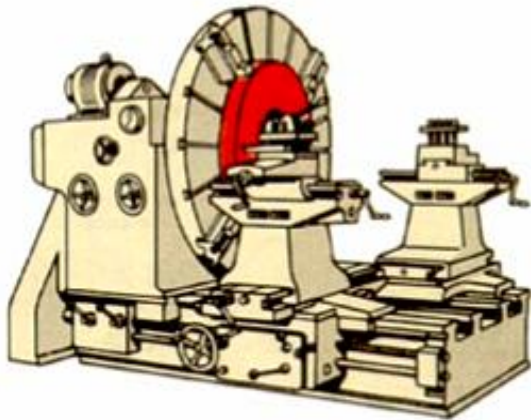
Οι σύγχρονοι τέρνοι έχουν δυνατότητα παραγωγής καμπύλων εξαρτημάτων, με μεγάλο βαθμό ακρίβειας και μεγάλες ταχύτητες παραγωγής.



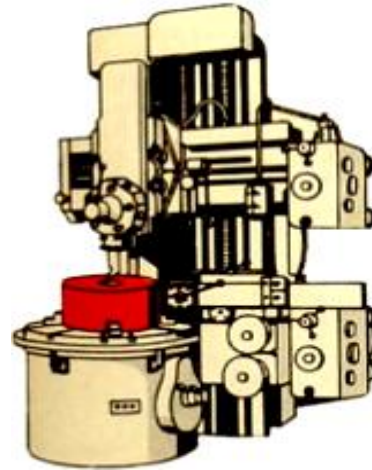
Σχήμα 1.16: Σύγχρονος τέρνος (παράλληλος κεντροφόρος) [1]

Ανάλογα με το είδος των κατεργασιών, οι τέρνοι διακρίνονται σε:

- Παράλληλους κεντροφόρους: Το κομμάτι τοποθετείται παράλληλα προς το κρεβάτι και το κοπτικό εργαλείο έχει δυνατότητα κίνησης παράλληλα και κάθετα προς το κρεβάτι της μηχανής.
- Μετωπικούς: Το κοπτικό εργαλείο έχει δυνατότητα κίνησης στο οριζόντιο επίπεδο. Στους συγκεκριμένους τέρνους κατεργάζονται μετωπικά κομμάτια μεγάλης διαμέτρου.
- Κατακόρυφους: Το κοπτικό εργαλείο κινείται σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 1.17:Μετωπικός τόννος. [1]



Σχήμα 1.18:Κατακόρυφος τόννος. [1]

Το μέγεθος του τόννου εκτιμάται βασικά από δύο χαρακτηριστικά τα οποία είναι η μέγιστη διάμετρο τεμαχίου που μπορεί να δεθεί στους σφικτήρες και να περιστραφεί γύρω από τους οδηγούς και το μήκος κρεβατιού. Επισημαίνεται ότι το μήκος του κρεβατιού δεν αντιστοιχεί και στο μέγιστο μήκος τεμαχίου προς κατεργασία, μια και αυτό καθορίζεται από την απόσταση των κέντρων του κιβωτίου ταχυτήτων και του κεντροφορέα. [3]

Ωστόσο, εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών, σημαντικό ρόλο παίζουν και τα εξής:

- Ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος αριθμός στροφών που μπορεί να επιτευχθεί
- Το πλήθος των ταχυτήτων
- Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα
- Το συνολικό βάρος του.

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές κατασκευαστικές διαστάσεις και μεγέθη διαφόρων τόννων. [1]

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

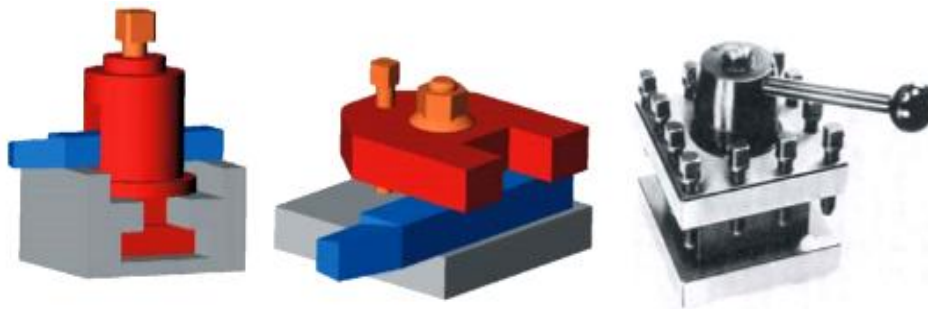
Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικές κατασκευαστικές διαστάσεις και μεγέθη τόννων. [1]

1.4. ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ (Κ.Ε) ΣΤΟΝ ΤΟΡΝΟ

Στα διαφορετικά είδη τórνευσης αντιστοιχούν και διαφορετικά κοπτικά εργαλεία ως προς τη μορφή και τη γεωμετρία τους. Στα κοπτικά αυτά εργαλεία αναπτύσσονται, κατά τη διάρκεια της κοπής, δυνάμεις και τάσεις που εξαρτώνται από το είδος της κατεργασίας, το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου, το υλικό του κοπτικού εργαλείου και τις συνθήκες κοπής. Το κοπτικό εργαλείο πρέπει να ασφαλιζεται πολύ σταθερά στον εργαλειοδέτη, μια και οι δυνάμεις που δέχεται είναι πολύ μεγάλες. Για να αποφευχθεί η μετακίνηση του κοπτικού εργαλείου η έδρασή του εξασφαλίζεται στον εργαλειοδέτη με διάφορους τρόπους.

Ο πιο απλός τρόπος «δεσίματος» του κοπτικού εργαλείου του τórνου είναι να ασφαλιζεται μόνο μέσω ενός κοχλίου. Η περίπτωση αυτή ισχύει για σταθερά κοπτικά εργαλεία τórνευσης και συνήθως γίνεται με τη χρήση εργαλειοφορείου. Η τριβή, που αναπτύσσεται από τη σύσφιγξη του κοχλίου δεν επιτρέπει καμία μετακίνηση του εργαλείου. Η έδραση αυτή δεν ενδύκνεται για υψηλές καταπονήσεις του κοπτικού εργαλείου κατά την κοπή και δεν εξασφαλίζει ικανή σταθερότητα. Χρησιμοποιείται μόνο για απλές διαδικασίες τórνευσης με μαλακά κατεργαζόμενα υλικά και πολύ μικρά βάθη κοπής.

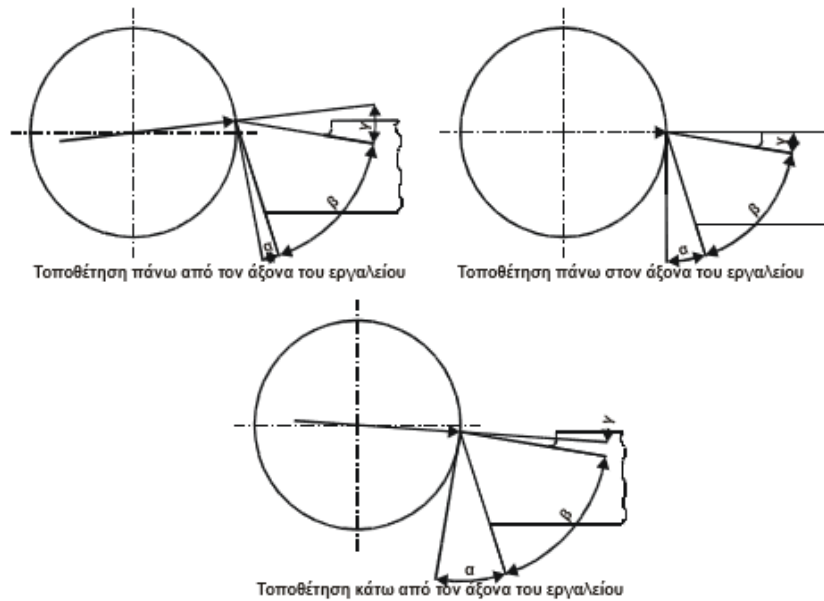
Αντίστοιχοι τρόποι «δεσίματος» είναι η πλάκα συγκρατήσεως, η οποία μπορεί και συγκρατεί το κοπτικό εργαλείο αρκετά σφικτά και επιτρέπει κατεργασία με υψηλές καταπονήσεις. Ο τετραπλός εργαλειοδέτης όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα δίδει τη δυνατότητα συγκράτησης τεσσάρων ανεξάρτητων εργαλείων, τα οποία με απλό χειρισμό παίρνουν θέση για κοπή. [1]



Σχήμα 1.19: Εργαλειοδέτες για πρόσδεση Κ.Ε τórνευσης. [1]

Η συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου στον εργαλειοδέτη, επάνω ή κάτω από το άξονα περιστροφής του τεμαχίου, διαφοροποιεί τις γωνίες κοπής, έτσι στην περίπτωση που η τοποθέτηση γίνεται επάνω από τον άξονα του τεμαχίου μικραίνει τη γωνία ελευθερίας α , με αποτέλεσμα να μεγαλώνει η τριβή ανάμεσα στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και στην κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. Η γωνία αποβλήτου γ μεγαλώνει και το παραγόμενο απόβλητο διαχωρίζεται εύκολα και απομακρύνεται. Για κατεργασία εκχόνδρισης το κοπτικό εργαλείο περιστασιακά τοποθετείται επάνω από τον άξονα του τεμαχίου, γύρω στο 2% της διαμέτρου.

Στην περίπτωση που η τοποθέτηση γίνεται κάτω από τον άξονα του τεμαχίου μεγαλώνει τη γωνία ελευθερίας α , με αποτέλεσμα να μικραίνει η τριβή ανάμεσα στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και στην κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. Η γωνία αποβλήτου γ μικραίνει και το παραγόμενο απόβλητο αποχωρίζεται δύσκολα. Οι γωνίες κοπής αναπαρίστανται στο Σχήμα 1.20, ωστόσο η ανάλυσή τους θα πραγματοποιηθεί σε ένα από τα επόμενα Κεφάλαια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. [1], [14]



Σχήμα 1.20: Τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου στην τόννευση σε σχέση με τον άξονα περιστροφής του τεμαχίου. [1]

1.5. ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΡΝΟ

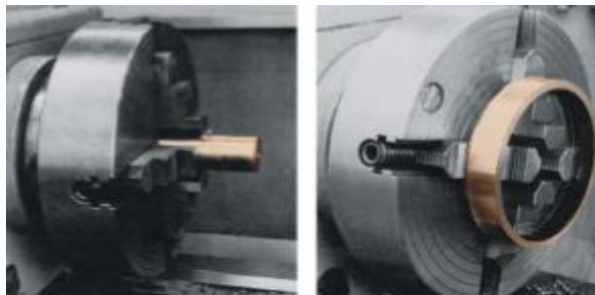
Οι διάφοροι μέθοδοι με τους οποίους συγκρατούμε τα προς κατεργασία τεμάχια στον τόρνο είναι τα εξής:

- Οι σφιγκτήρες ή τα τσοκ
- Τα πλατώ
- Τα καβαλλέτα
- Η τσιμπίδα ή σφιγκτήρας κολέτ

Στην συνέχεια του εδαφίου πραγματοποιείται συνοπτική περιγραφή των προαναφερόμενων μεθόδων. [16]

❖ Συγκράτηση μόνο στο τσοκ.

Εφαρμόζεται για εξωτερική ή εσωτερική τόννευση αξόνων μικρού μήκους, στην περίπτωση που δεν υπάρχει κίνδυνος κραδασμού και λυγισμού λόγω των δυνάμεων κοπής. Στο Σχήμα 1.21 παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι συγκράτησης τεμαχίων στο τσοκ.

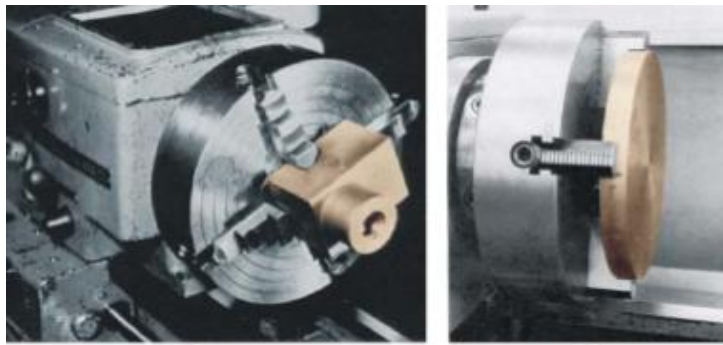


Σχήμα 1.21: Συγκράτηση τεμαχίων στο τσοκ. [2]

❖ **Συγκράτηση μόνο στο πλατώ.**

Εφαρμόζεται για συγκράτηση μη συμμετρικών τεμαχίων μικρού μήκους, επειδή οι σιαγόνες σύσφιγξης μετακινούνται ακτινικά αλλά ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Στο σχήμα 1.22Α παρουσιάζεται η συγκράτηση ενός ορθογώνιου κομματιού στο πλατώ και στο Σχήμα 1.22Β φαίνεται μία συγκράτηση ενός μικρού μήκους με μεγάλη διάμετρο. [16]



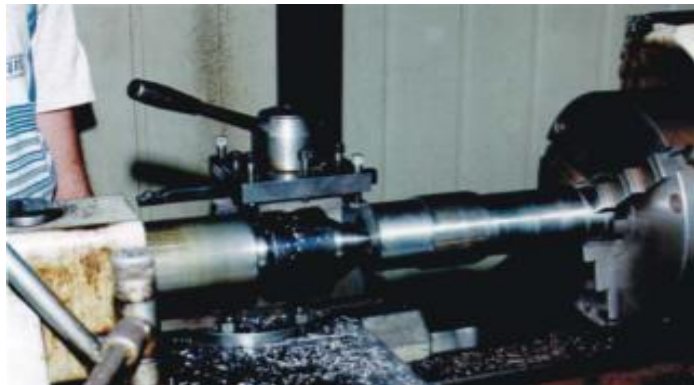
Σχήμα 1.22: Συγκράτηση στο πλατώ

A: ορθογώνιου κομματιού

B: μικρού μήκους και μεγάλης διαμέτρου κομματιού. [2]

❖ **Συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα.**

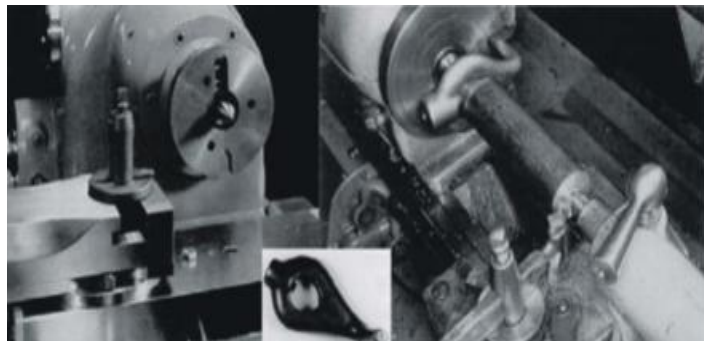
Εφαρμόζεται στην περίπτωση τórνευσης αξόνων μεγάλου μήκους, για αποφυγή κινδύνου λυγισμού του άκρου λόγω ταλαντώσεων εξ' αιτίας των δυνάμεων κοπής. Επίσης, εφαρμόζεται στην τórνευση σπειρωμάτων. Στο Σχήμα 1.23 παρουσιάζεται μια συγκράτηση άξονα μεταξύ σφιγκτήρα και κουκουβάγιας για κατεργασία στον τórνο. [1]



Σχήμα 1.23: Συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κουκουβάγιας. [1]

❖ **Συγκράτηση μεταξύ κέντρων (ποντών) με σφιγκτήρα καρδιά.**

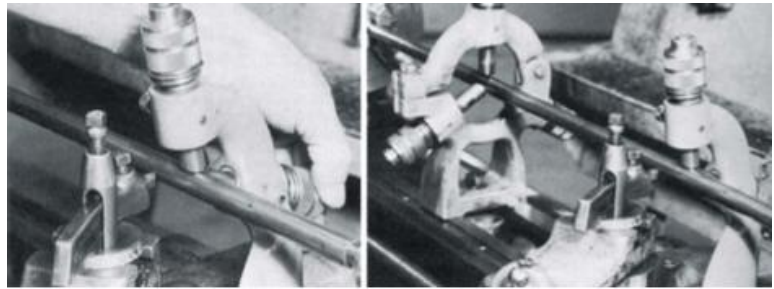
Στην περίπτωση αυτή, η περιστροφική ταχύτητα μεταφέρεται στο κομμάτι από την κυρία άτρακτο, με τη βοήθεια μιας πλάκας με πόντα και μία καρδιά. Στις συγκρατήσεις που χρησιμοποιούνται πόντες, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ανοχή ομοαξονικότητας μεταξύ των αξόνων των ποντών και του άξονα της κυρίας ατράκτου, δηλαδή οι τρεις άξονες της ατράκτου και των ποντών πρέπει να συμπίπτουν.



Σχήμα 1.24: Συγκράτηση τεμαχίου για τórνευση μεταξύ κέντρων. [1]

❖ Συγκράτηση με καβαλέτα.

Χρησιμοποιούνται για συγκράτηση κομματιών μικρής διαμέτρου αλλά μεγάλου μήκους. Στο Σχήμα 1.25 φαίνονται ένα σταθερό και ένα κινητό καβαλλέτο. [2]



Σχήμα 1.25: Συγκράτηση με καβαλέτα. [1]

❖ Συγκράτηση με τσιμπίδα (collet)

Χρησιμοποιείται για συγκράτηση μικρών διαμέτρων κομματιών. [1]



Σχήμα 1.26: Συγκράτηση με τσιμπίδα. [1]

1.6.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Τα κινούμενα στοιχεία του κιβωτίου ταχυτήτων του τόρνου (η άτρακτος, οι διάφοροι άξονες, οι τριβείς κύλισης- ρουλεμάν, οι οδοντωτοί τροχοί κ.ά.) πρέπει να λιπαίνονται κατάλληλα. Η λίπανση των σημείων έδρασης και επαφής των διαφόρων στοιχείων μηχανών πρέπει να γίνεται έγκαιρα στον κατάλληλο χρόνο, ικανοποιητικά με την κατάλληλη ποσότητα λιπαντικού και με το κατάλληλο είδος λιπαντικού. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα λίπανσης που χρησιμοποιούνται στα κιβώτια ταχυτήτων τόρνων γενικής χρήσης είναι:

✚ 1^ο ΣΥΣΤΗΜΑ: Λίπανση με ελεύθερη εκροή του λαδιού.

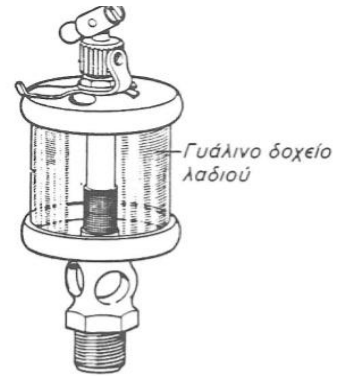
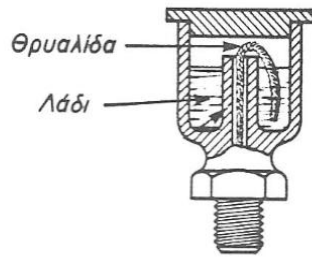
Στα συστήματα λίπανσης με ελεύθερη εκροή του λαδιού η λίπανση επιτυγχάνεται:

- ✓ Με απλό λιπαντήρα θρυαλλίδας (φυτιλιού)
- ✓ Με λιπαντήρα σταγόνων.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται απλός λιπαντήρας ελεύθερης εκροής (Σχήμα 1.27) το ένα άκρο της θρυαλλίδας είναι εμβαπτισμένο μέσα στο λάδι, το άλλο άκρο ευρίσκεται κοντά στα μέρη τριβής. Μόλις υγρανθεί αρχίζει να τρέχει. Με τη βοήθεια μιας βελόνας ρυθμίζεται το άνοιγμα της οπής του στομίου εκροής του λαδιού με τέτοιο τρόπο, ώστε από το ελαιοδοχείο του λιπαντήρα να στάζει στις επιφάνειες τριβής μόνο ορισμένος αριθμός σταγόνων λαδιού κατά λεπτό (Σχήμα 1.28). [2]



Σχήμα 1.27: Απλός λιπαντήρας ελεύθερης εκροής και λιπαντήρας θρυαλλίδας. [1]

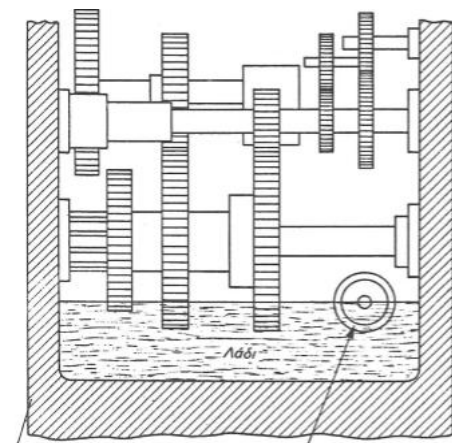


Σχήμα 1.28: Λιπαντήρας σιαγόνων. [1]

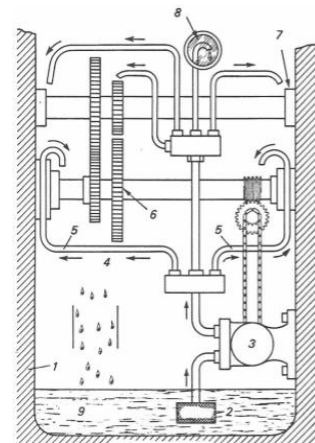
✚ Τα συστήματα λίπανσης με ανακύκλωση του λαδιού.

Στη λίπανση με ανακύκλωση του λαδιού υπάρχουν τα ακόλουθα συστήματα λίπανσης.

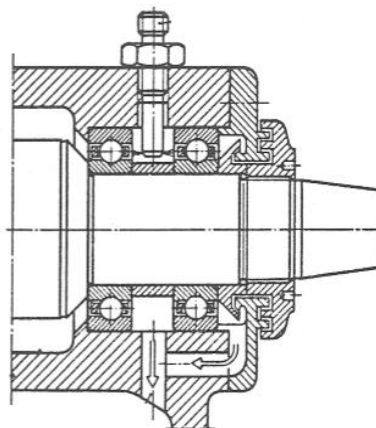
- ✓ Σύστημα αυτολίπανσης από λεκάνη λαδιού. (Σχήμα 1.29)
- ✓ Σύστημα λίπανσης με ανακυκλοφορία (Σχήμα 1.30)
- ✓ Σύστημα λίπανσης με έγχυση (Σχήμα 1.301)
- ✓ Σύστημα λίπανσης με ψεκασμό.



Σχήμα 1.29: Σύστημα αυτολίπανσης από λεκάνη λαδιού. [1]



Σχήμα 1.30: Σύστημα λίπανσης με ανακυκλοφορία. [1]



Σχήμα 1.31: Σύστημα λίπανσης με έγχυση. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

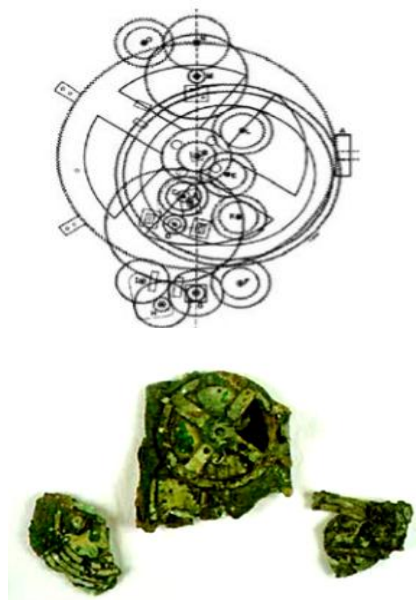
2.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΡΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Η εξέλιξη του αριθμητικού ελέγχου στη μηχανουργική τεχνολογία, στηρίζεται σε βασικές αρχές, που αναπτύχθηκαν πολλούς αιώνες πριν. Αρχικές προσπάθειες έχουν καταγραφεί στην Κίνα και στην Ελλάδα, με αντιπροσωπευτικότερη τον «Μηχανισμό των Αντικυθήρων», ο οποίος χρησιμοποιούνταν πιθανώς για αστρονομικούς και ημερολογιακούς υπολογισμούς. Βρέθηκε το 1900-1901 σε αρχαίο ναύαγιο κοντά στα Αντικύθηρα από σφουγγαράδες της Σύμης.

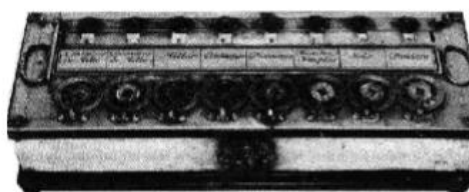
Ο μηχανισμός του ήταν ιδιαίτερα σύνθετος, έχοντας εσωτερικά 32 οδοντωτούς τροχούς ενώ είχε επιγραφές για το ζωδιακό κύκλο και τους μήνες.

Πολύ αργότερα, τον 14ο αιώνα μ.Χ, η ιδέα του ελέγχου μηχανικών διατάξεων μέσω ακολουθίας πληροφοριών, όπως είναι και ο αριθμητικός έλεγχος, εμφανίζεται στην κίνηση διακοσμητικών μορφών σε ρολόγια μεγάλων εκκλησιών.

Το 1642 ο Blaise Pascal (1623-1662), κατασκεύασε τον πρώτο μηχανικό υπολογιστή, χρησιμοποιώντας ένα περίπλοκο σύστημα οδοντωτών τροχών. [19]

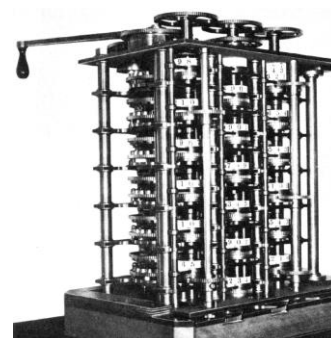


Σχήμα 2.1: Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο) [25]



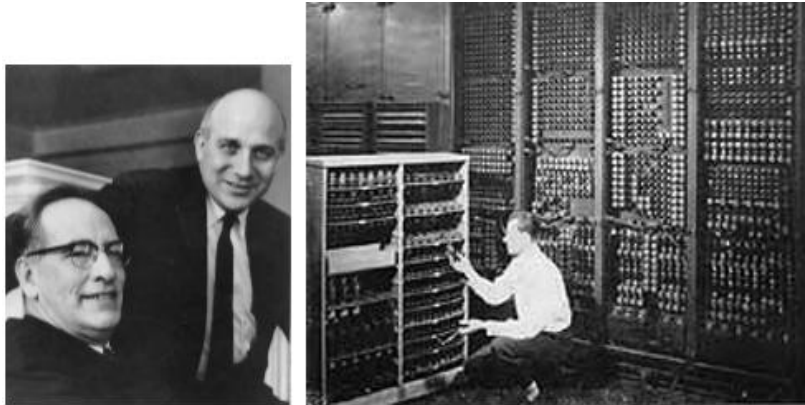
Εικόνα 2.1: Ο Blaise Pascal και ο πρώτος μηχανικός υπολογιστής. [26]

Σχεδόν δύο αιώνες μετά, το 1808, 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 στη διέλευση αέρα μέσα από ένα κατάλληλα τρυπημένο και κινούμενο ρολό χαρτιού, που ενεργοποιούσε την κίνηση των πλήκτρων. Το 1834 ολοκληρώθηκε από τον Charles Babbage (1792-1871) ένας μηχανικός υπολογιστής, που μπορούσε να κάνει αριθμητικές πράξεις, με ακρίβεια έξι δεκαδικών ψηφίων.



Εικόνα 2.2: Υπολογιστής του Charles Babbage. [27]

Πάνω από εκατό χρόνια πέρασαν έως το 1940, χρονιά κατά την οποία ο Aiken στις Ηνωμένες Πολιτείες και ο Zuse στη Γερμανία έφτιαξαν την πρώτη ηλεκτρονική υπολογιστική 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 (Εικόνα 2.3), ένα δημιούργημα μεγάλων διαστάσεων και βάρους τριάντα τόνων, που περιείχε 18 km καλώδια, 500.000 συνδέσεις και απορροφούσε ισχύ 174 kWatt. Ο προγραμματισμός του ήταν μια πολύπλοκη εργασία, σχεδόν ιεροτελεστία, και απαιτούσε τη συνδυασμένη ρύθμιση 6000 διακοπών. Η εξωπραγματική για την εποχή εκείνη υπολογιστική ισχύς είναι σήμερα σχεδόν αστεία, αφού σε μια κοινή αριθμομηχανή (calculator) είναι πολλαπλάσιες φορές μεγαλύτερη.



Εικόνα 2.3: Ο John Mauchly, ο Presper Eckert και ο ENIAC. [28]

Χρειάστηκε να περάσουν ακόμα δεκαπέντε χρόνια και να μεσολαβήσει η ανακάλυψη των ημιαγωγών το 1948, για να αναπτυχθούν εμπορικοί επαναπρογραμματιζόμενοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές στην αυγή του 1960. Από τότε, η αλματώδης ανάπτυξη στην ηλεκτρονική οδήγησε στη σημερινή εικόνα των υπολογιστών και επέβαλε τη σύγχρονη τεχνολογική επανάσταση. [5]

Ο σύγχρονος αριθμητικός έλεγχος των εργαλειομηχανών ξεκίνησε, όταν κατά τη διάρκεια του πολέμου με τους Ιάπωνες στον Ειρηνικό Ωκεανό, η Αμερικανική πολεμική 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 τη μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών, η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνιτών οδηγούσε, συχνά, σε ελαττωματικά και επικίνδυνα τεμάχια.

Ωστόσο, 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 προσδιορίζει τις διαδρομές του κοπτικού εργαλείου. Αυτές οι κινήσεις έπρεπε να αποθηκεύονται στο μόνο μέσο εκείνης της εποχής, δηλαδή στις διάτρητες κάρτες. Επίσης, η μηχανή θα έπρεπε να διαθέτει ένα μέσο ανάγνωσης, ώστε να διαβάσει αυτόματα τις κάρτες αυτές. Τέλος, κρίθηκε απαραίτητη η ύπαρξη μίας κεντρικής μονάδας ελέγχου, ώστε να καθοδηγεί τους σερβοκινητήρες, που θα κινούσαν τους κοχλίες κίνησης των μηχανών.



Σχήμα 2.2: Διάτρητη κάρτα και τασάκι κατασκευασμένο από την πρώτη ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με τη βοήθεια της APT. [5]

Το 1952 η πρώτη ψηφιακή εργαλειομηχανή, μια κατακόρυφη φρεζομηχανή, επιδείχτηκε με επιτυχία στο 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» (Automatically Programmed Tool, APT) και περιέγραφε με σχετική ευκολία τη μορφή του κατεργαζόμενου τεμαχίου και τις οδηγίες προς τη μηχανή, για να το κατασκευάσει. Ένα χαρακτηριστικό κομμάτι που φτιάχτηκε με την τεχνολογία εκείνης της εποχής, είναι το τασάκι του Σχήματος 2.2 που μοιράστηκε σε όλους τους παρευρισκόμενους στα πλαίσια επίδειξης της APT που έκανε το Εργαστήριο Σερβομηχανισμών του MIT το 1959.

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 αντιστοίχων NC εργαλειομηχανών. Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών οδήγησε στη μετάβαση από τις NC στις CNC εργαλειομηχανές και η ανάπτυξη των αισθητήρων και των συστημάτων αυτομάτου 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 δε συμβαδίζουν με τις δυνατότητες και τις απαιτήσεις των νέων μηχανών αλλά και τις παραγωγικές ανάγκες του σημερινού κόσμου. [4]

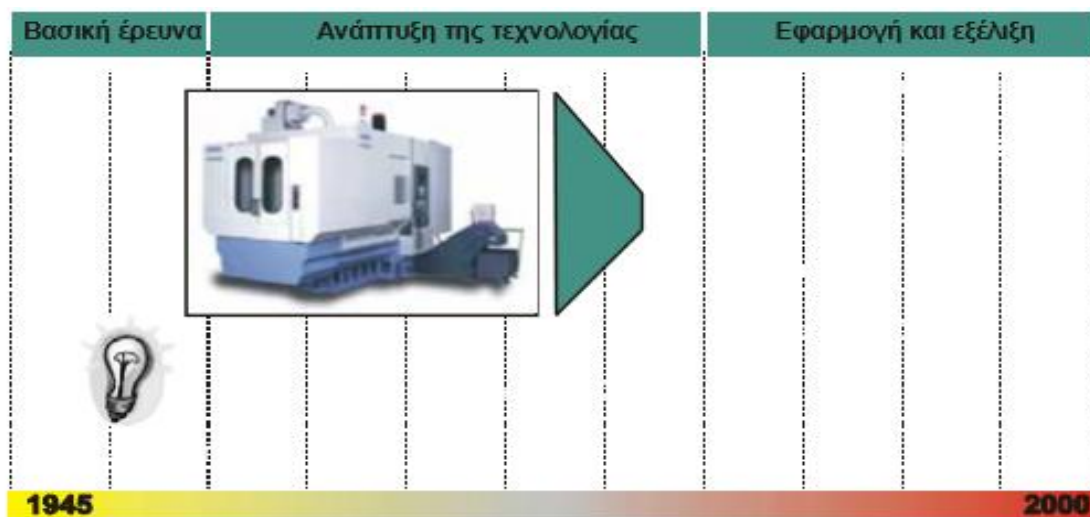
Η συνεργασία των μηχανουργικών κατεργασιών με NC, CNC και DNC μηχανές με άλλες λειτουργίες που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδήγησαν στη δημιουργία των ολοκληρωμένων με υπολογιστή συστημάτων παραγωγής (CIM). Έτσι, από τη σύλληψη ενός νέου προϊόντος, αυτό σχεδιάζεται, εξελίσσεται και βελτιστοποιείται μέσω των συστημάτων ανάπτυξης (Computer Aided Engineering - CAE), που περιλαμβάνουν τα κάτωθι:

- Συστήματα σχεδίασης (CAD)
- Προγράμματα υπολογισμών αντοχής με τη χρήση 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 τη βοήθεια δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτό, η σύγχρονη παραγωγή μετατρέπεται από σπαζοκεφαλιά σε ελεγχόμενη και απλοποιημένη διαδικασία.

Η χρήση της τεχνολογίας λογισμικού και υπολογιστών, με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence), οδηγεί στην πρόωμη έννοια του αυτόματου εργοστασίου, στο οποίο η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στη λήψη αποφάσεων και στην καθοδήγηση μειώνεται ακόμα περισσότερο. Η ιστορική εξέλιξη των τελευταίων περίπου 50 χρόνων που περιγράφηκε παραπάνω, φαίνεται στο Διάγραμμα 2.1. όπου μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι σήμερα το αυτόματο εργοστάσιο είναι πλέον στο στάδιο της εφαρμογής, χωρίς κανείς να μπορεί να προβλέψει μέχρι πού μπορεί να φτάσει η αυτοματοποίηση αυτή. [4], [16]



Διάγραμμα 2.1: Ιστορική αναδρομή της ψηφιακής καθοδήγησης των εργαλειομηχανών. [4]

2.2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η έννοια αριθμητικός έλεγχος (Numerical Control ή NC) ταυτίζεται σχεδόν με τις μηχανουργικές κατεργασίες και τις εργαλειομηχανές. Ο αριθμητικός έλεγχος δίδει τη δυνατότητα στο χειριστή να «επικοινωνεί» με την εργαλειομηχανή και να την «καθοδηγεί» μέσω ενός κώδικα, δηλαδή μιας ακολουθίας γραμμμάτων και αριθμών. Ο κώδικας αυτός αντικαθιστά, σε μεγάλο ποσοστό, τις επιμέρους χειρωνακτικές εργασίες του χειριστή, οι οποίες πλέον εκτελούνται αυτόματα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα συνεχών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής (Machine Control Unit, MCU), που βρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και ελέγχει τις

λειτουργίες της. Οι εργαλειομηχανές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτό λέγονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (NC).

Εάν ανάμεσα στο χειριστή και στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής NC παρεμβάλλεται, για λόγους ευκολότερου και πιο αποδοτικού χειρισμού, ηλεκτρονικός υπολογιστής, η μηχανή ονομάζεται ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Με τον τρόπο αυτό, η λειτουργία της εργαλειομηχανής αυτοματοποιείται περισσότερο, ενώ ο έλεγχός της μπορεί να γίνεται πλέον και από απόσταση (remote control).

Η CNC καθοδήγηση έχει το πλεονέκτημα της συνεργασίας της με τα εξής συστήματα:

- Συστήματα σχεδίασης (Computer Aided Design, CAD)
- Συστήματα κατεργασιών (Computer Aided Manufacturing, CAM) με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δίδεται η δυνατότητα ένταξής της σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστές (Computer Integrated Manufacturing, CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems, FMS). Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό υπολογισμών και διαδικασιών ελέγχου καθοδήγησης διεξάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταχύτερα και με μικρότερο κόστος.

Όλες οι διαδικασίες καθοδήγησης και ελέγχου των εργαλειομηχανών NC και CNC από το χειριστή τους είναι μονόδρομες. Ο τεχνικός NC ή CNC έχει την δυνατότητα των ακόλουθων διαδικασιών:

- Καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (πρώση, βάθη κοπής, ταχύτητα κοπής, κ.λπ.)
- Ελέγχει τη χρήση ή όχι του υγρού κοπής
- Διαχειρίζεται τα κοπτικά εργαλεία.

Έτσι για την σωστή διεκπεραίωση των προαναφερόμενων ακολουθει τα εξής βήματα:

- Συντάσσει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού (κώδικας)
- Μεταφέρει τον κώδικα στη μονάδα ελέγχου
- Ενεργοποιεί την εκτέλεση του προγράμματος.

Τονίζεται ότι κανένας δεν μπορεί να ισχυρισθεί ότι αυτή η αλληλουχία δεν είναι αυτοματοποιημένη. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας και, ιδιαίτερα, η ανάπτυξη των αισθητήρων (sensors) και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ), επιτρέπει στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών να πάνε ένα βήμα παραπέρα. Στο σχεδιασμό δηλαδή «σκεπτόμενων» διατάξεων, που ανάλογα με την εξέλιξη της μηχανουργικής κατεργασίας, παίρνουν αποφάσεις και επεμβαίνουν στο πρόγραμμα καθοδήγησης.

Οι μηχανές αυτές χαρακτηρίζονται άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Numerical Control - DNC). Στην περίπτωση μίας τυπικής τόννευσης με NC ή CNC τόννο, επιλεγεί κατά λάθος, και προγραμματισθεί απαράδεκτη πρώση κοπής, ο χειριστής πρέπει να διαβάσει την αντίστοιχη ένδειξη στον πίνακα ελέγχου της εργαλειομηχανής, να σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και αφού το διορθώσει, να το ενεργοποιήσει ξανά. Οι DNC εργαλειομηχανές είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου λαμβάνουν εντολές για εκτέλεση εργασιών, αλλά και αντλούν πληροφορίες από σχετικές βάσεις πληροφοριών.

Στις DNC εργαλειομηχανές μπορεί να ελέγχεται αυτόματα:

- ✓ Η ταχύτητα κοπής
- ✓ Η χρήση ψυκτικού υγρού
- ✓ Η φθορά των κοπτικών εργαλείων

Ιδιαίτερα για τη φθορά των κοπτικών εργαλείων, πολλές ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές διαθέτουν ειδικές μετρητικές διατάξεις στις οποίες μετρώνται τα κοπτικά εργαλεία, σε τακτά χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας. Στην περίπτωση που, για το εξεταζόμενο κοπτικό εργαλείο, διαπιστωθεί μεγάλη απόκλιση από τις προβλεπόμενες διαστάσεις, η κατεργασία συνεχίζεται αυτόματα με νέο (όμοιο) κοπτικό εργαλείο (sister tool). [5]

2.3. ΠΕΔΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ NC, CNC, DNC

Η εποχή στην οποία ζούμε έχει ξεφύγει τελείως από τη φιλοσοφία των συμβατικών εργαλειομηχανών και η χρήση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης αποτελεί μονόδρομος για την παραγωγή προϊόντων. Αυτό διότι, η κατασκευή τεμαχίων απαιτεί γρήγορες κατεργασίες, με μεγάλη επαναληψιμότητα και υψηλή ακρίβεια κατασκευής. Επομένως, είναι αυτονόητο οι μεγαλύτερες κατασκευάστριες χώρες εργαλειομηχανών CNC να μην κατασκευάζουν πια συμβατικές εργαλειομηχανές. Ήδη από την αρχή της δεκαετίας του 90 μιας και οι συμβατικές εργαλειομηχανές υστερούν κυρίως στο να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας.

Επίσης, ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τον οποίο δεν χρησιμοποιούνται οι εργαλειομηχανές συμβατικού ελέγχου είναι το γεγονός ότι δεν μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας. Έτσι, οι άλλοτε εξωτικές ταχύτητες κοπής των 500 m/min θεωρούνται πια συμβατικές. Κοπή σε υψηλές ταχύτητες (High Speed Cutting, HSC) κυμαίνονται από 1500 έως 2000 m/min. Ακόμα, και ο πιο έμπειρος μηχανουργός δεν μπορεί να καθοδηγήσει χειροκίνητα εργαλειομηχανές, σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 150 m/min. Μάλιστα, σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 500 m/min είναι δύσκολο ακόμα και να παρακολουθήσει κανείς την κίνηση του κοπτικού εργαλείου.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η καταλληλότητα χρήσης των συμβατικών και ψηφιακών εργαλειομηχανών, για διάφορες κατεργασίες σε χαμηλές, μέσες και μεγάλες ταχύτητες.

Κατεργασία	Συμβατικές εργαλειομηχανές			CNC εργαλειομηχανές		
	Χαμηλή ταχύτητα	Μέση ταχύτητα	Μεγάλη ταχύτητα	Χαμηλή ταχύτητα	Μέση ταχύτητα	Μεγάλη ταχύτητα
Τόρνευση	●	●	●	●	●	●
Φρεζάρισμα	●	●	●	●	●	●
Διάτρηση	●	●	●	●	●	●
Πλάνιση	●	●	●	●	●	●
Γραναζοκοπή	●	●	●	●	●	●
Λείανση	●	●	●	●	●	●

● Κατάλληλος ● Ακατάλληλος

Πίνακας 2.1: Χρησιμοποίηση εργαλειομηχανών CNC σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές, με κριτήριο την ταχύτητα κοπής. [3]

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1. συμπεραίνεται ότι οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές καλύπτουν σχεδόν όλο το φάσμα κατεργασιών και ταχυτήτων. [4]

2.4. ΔΙΑΦΟΡΕΣ NC-CNC-DNC ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Σε αυτή τη παράγραφο θα αναλύσουμε τις βασικές διαφορές των CNC,NC,DNC από τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Αρχικά αξίζει να αναφερθούμε στη μία και μοναδική ομοιότητα που υπάρχει μεταξύ των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης και των συμβατικών εργαλειομηχανών, η οποία σχετίζεται με τη κινηματική και των δύο τύπων εργαλειομηχανών καθώς παραμένει κοινή. Δηλαδή, τόσο στην τόνρευση ψηφιακής καθοδήγησης όσο και στη τόνρευση συμβατικού ελέγχου το τεμάχιο περιστρέφεται και το κοπτικό εργαλείο κινείται γραμμικά σε δύο άξονες που είναι κάθετοι μεταξύ τους.

Όσον αφορά τις διαφορές των συμβατικών από τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, οι βασικότερες είναι:

Η φιλοσοφία λειτουργίας

Στις παραδοσιακές εργαλειομηχανές ο τεχνίτης-χειριστής, με βάση τα τεχνικά σχέδια, τοποθετεί το τεμάχιο στη μηχανή, τη ρυθμίζει, τη θέτει σε λειτουργία και, τέλος, ελέγχει το αποτέλεσμα. Στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, το πρόγραμμα εργασίας μεταβιβάζεται στη μηχανή συνήθως μέσω συνδεδεμένου ηλεκτρονικού υπολογιστή ή στη χειρότερη περίπτωση, πληκτρολογείται κατευθείαν στην οθόνη της ίδιας της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο προγραμματιστής χειριστής μπορεί να ελέγχει διαδοχικά το πρόγραμμά του, μέσω κοπής στο κενό (χωρίς δηλαδή τεμάχιο κατεργασίας, ενώ η εργαλειομηχανή πραγματοποιεί τις προγραμματισμένες κινήσεις της) ή με τη βοήθεια προσομοιωτών (στην ίδια την οθόνη της εργαλειομηχανής ή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή), μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες λαθών και ο χρόνος προετοιμασίας της εργαλειομηχανής.

Η χρήση των NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών συμβάλλει στη συντονισμένη συνεργασία ανάμεσα σε τομείς της επιχείρησης:

- ✓ Σχεδιασμός
- ✓ Προγραμματισμός
- ✓ Παραγωγή
- ✓ Ποιοτικός έλεγχος
- ✓ Διάθεση προϊόντων

Η ακρίβεια και η ποιότητα κατασκευής τους

Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές μπορούν να εκτελέσουν απλές και σύνθετες κατεργασίες, με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ακριβώς για το λόγο αυτό, η ποιότητα κατασκευής τους και η ακρίβεια συναρμολόγησης των εξαρτημάτων τους δεν θυμίζει σε τίποτα αυτή των συμβατικών μηχανών. Ακόμα, και εξαρτήματα των μηχανών αυτών που έχουν μικρή συμμετοχή στη μηχανουργική κατεργασία, κατασκευάζονται με πολύ υψηλότερες προδιαγραφές, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές.

Η στιβαρότητα και η αντοχή τους

Οι μεγάλες ταχύτητες και δυνάμεις κοπής που αναπτύσσονται στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, απαιτούν αυξημένη ακαμψία και δυνατότητα απόσβεσης των ταλαντώσεων, που μπορεί να δημιουργηθούν. Μάλιστα, εάν αναλογιστεί κανείς την ακρίβεια κατεργασίας που απαιτείται, οι ανάγκες αυτές γίνονται πιο επιτακτικές. Για τους

λόγους αυτούς, η μελέτη της δυναμικής των NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών αποτελεί πρώτη προτεραιότητα. Σε αρκετές μάλιστα περιπτώσεις, τα δομικά τους στοιχεία κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά, αντί από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα.

Τα υποσυστήματα τους

Η απλούστερη ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή περιέχει και καθοδηγείται από σύνθετα ηλεκτρονικά κυκλώματα, ενώ οι συμβατικές έχουν μόνο ένα σχετικά απλό ηλεκτρικό δίκτυο παροχής ισχύος. Η ρύθμιση επίσης της ταχύτητας κοπής και της πρόωσης, δε γίνεται πια με μηχανικό τρόπο αλλαγής γραναζιών, αλλά γίνεται αυτόματα μέσω του προγράμματος κατεργασίας. Ακόμα και το δέσιμο των κοπτικών εργαλείων και, μερικές φορές, η τροφοδοσία σε υλικό κατεργασίας γίνονται αυτόματα στις ψηφιακές εργαλειομηχανές. [3]

2.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

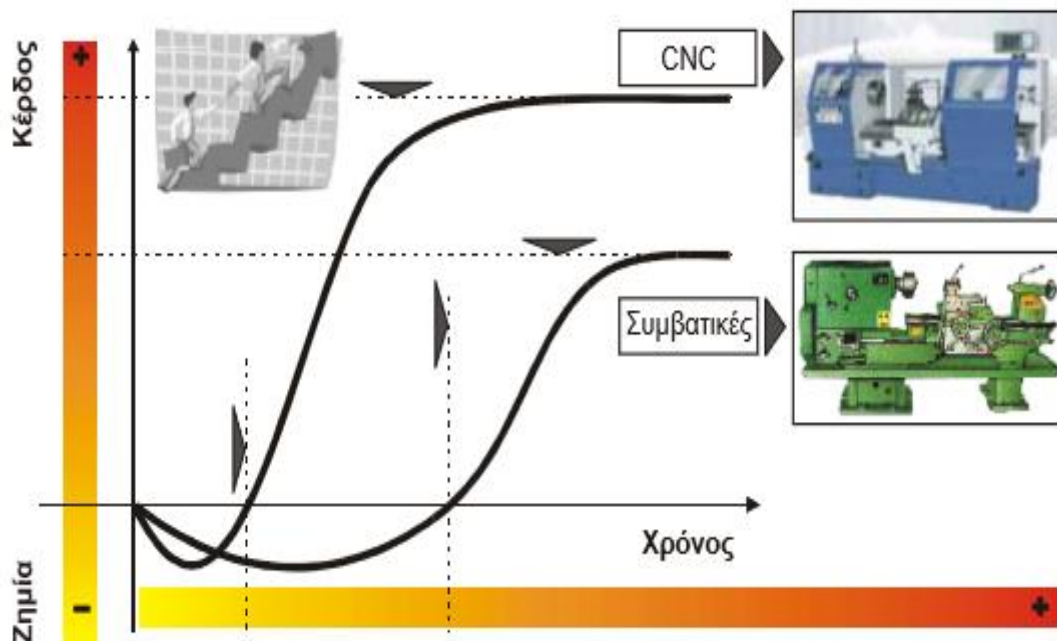
Σε μία εποχή όπως η σημερινή που διανύουμε, στην οποία η τεχνολογία σε κάθε τομέα βρίσκεται στο ζενίθ της, θα ήταν αδύνατον στον τομέα της μηχανουργικής τεχνολογίας να χρησιμοποιούνται ακόμα εργαλειομηχανές συμβατικού ελέγχου. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει παραπάνω, οι ανάγκες παραγωγής με χαμηλό κόστος, υψηλή ποιότητα και μεγάλα κέρδη, οδήγησαν τη μηχανουργική τεχνολογία ένα βήμα παραπέρα. Δηλαδή, όλες οι μηχανουργικές κατεργασίες να γίνονται αυτοματοποιημένα και να εξαρτώνται σε πολύ μικρό βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα. Αναπτύχθηκαν λοιπόν, οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης οι οποίες έχουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών.

Τα πλεονεκτήματα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι τα ακόλουθα:

- *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.*
- *Η αυτοματοποιημένη παραγωγή αυξάνει τη χωρίς λάθη παραγωγή και αναπαραγωγή των τεμαχίων. Έτσι, μειώνεται το ποσοστό των ελαττωματικών κομματιών και περιορίζεται η διάρκεια του ελέγχου ποιότητας. Βελτιώνεται, λοιπόν, η επαναληψιμότητα της κατεργασίας, αφού ο τεχνίτης δεν καθοδηγεί, αλλά επιβλέπει και ελέγχει τη μηχανή. Αντίθετα, στις συμβατικές εργαλειομηχανές, εισέρχονται πολλά λάθη του χειριστή λόγω απειρίας, έλλειψης προσοχής ή και κόπωσης. Τέτοια φαινόμενα ελαχιστοποιούνται με χρήση NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών.*
- *Η ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων (των χρόνων δηλαδή που η μηχανή δεν κόβει). Πρόκειται για τους χρόνους σχεδίασης και κατασκευής συσκευών πρόσδεσης, ρύθμισης της μηχανής, δεσίματος και λυσίματος των τεμαχίων, αλλαγής κοπτικών εργαλείων κ.λπ.. 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.*
- *Η ευκολία προγραμματισμού της μηχανής, που οφείλεται στη 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.

- Η σημαντική βελτίωση της ασφάλειας εργασίας, αφού ο χειριστής, κατά τη 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 στη θέση κοπής. Ο χειριστής πρέπει να είναι συνεχώς σε εγρήγορση, κάτι που τον κουράζει και πνευματικά εκτός από σωματικά.
- 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. Στο Διάγραμμα 2.2 φαίνεται το κέρδος της χρήσης ψηφιακών και συμβατικών εργαλειομηχανών. 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 (κέρδος) πολύ γρηγορότερα. Αυτό συμβαίνει, επειδή ένας τεχνίτης μπορεί να επιβλέπει και να εξυπηρετεί ακόμα και δύο ή τρεις ψηφιακές εργαλειομηχανές. Επίσης το κόστος ανά τεμάχιο είναι πια μικρότερο, ενώ η διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων είναι η καλύτερη δυνατή, αφού οι χρόνοι κοπής και οι βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας είναι γνωστά. [3], [5]



Διάγραμμα 2.2: Οικονομικό όφελος και κέρδος σε χρόνο με χρήση CNC εργαλειομηχανών, για το ίδιο προϊόν. [3]

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία εμφανίζονται κυρίως σε μικρά μηχανουργεία, λόγω της δυσκολίας τους να υιοθετήσουν νέες παραγωγικές δομές. Τα μειονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Το μεγάλο κόστος αγοράς τους, που στην καλύτερη περίπτωση είναι πέντε φορές μεγαλύτερο από της αντίστοιχης συμβατικής εργαλειομηχανής. Βέβαια, σε περίπτωση μεγάλων παρτίδων παραγωγής ή όγκου εργασίας, η απόσβεση του 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.
- Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές απαιτούν εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό, για να τις προγραμματίζει, να τις ρυθμίζει και να τις συντηρεί. Μάλιστα αυτή η εκπαίδευση είναι μακροχρόνια και διαρκής. Οι χειριστές τέτοιων εργαλειομηχανών έχουν μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα αλλά είναι και υψηλότερα αμειβόμενοι από τους τεχνίτες συμβατικών εργαλειομηχανών. [3]

2.6. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟΥ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Ένα μηχανουργείο για να μπορέσει να επιτύχει όλους τους στόχους του δηλαδή να είναι, όσο το δυνατό, κερδοφόρο και ανταγωνιστικό θα πρέπει να είναι σε «θέση» έτσι ώστε να αντιμετωπίσει κάθε είδους δυσκολία που δημιουργούν οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Οι δυσκολίες αυτές σχετίζονται κυρίως με τη τοποθέτηση τους στο χώρο και την οργάνωση της παραγωγής. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα κατασκευαστικά, τεχνικά και οικονομικά δεδομένα που φέρνει η τεχνολογία του αριθμητικού ελέγχου, είναι περισσότερα, σε σχέση με τη συμβατική τεχνολογία. Δηλαδή με λίγα λόγια όταν σχεδιάζεται ένα μηχανουργείο, πρέπει η σκέψη να είναι στο μέλλον και να συνεκτιμά την επέκταση και την εξέλιξη του. Σήμερα τα μηχανουργεία χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες και αυτές είναι οι ακόλουθες:

❖ 1^η Κατηγορία: Μηχανουργεία μόνο συμβατικές εργαλειομηχανές

Τα περισσότερα μικρά μηχανουργεία της Ελλάδας ανήκουν σε αυτή την κατηγορία ενώ σε προηγμένες βιομηχανικά χώρες έχουν σχεδόν εξαφανιστεί. Πρόκειται για μια ξεπερασμένη δομή, που δεν ταιριάζει με τη σύγχρονη τεχνολογική στάθμη και δεν είναι συμβατή με τις απαιτήσεις του όγκου και της ποιότητας κατασκευής. Απασχολεί τεχνίτες χαμηλής εκπαίδευσης, που είναι δύσκολο να εξοικειωθούν με τη νέα τεχνολογία.



Εικόνα 2.4: Παραδοσιακό μηχανουργείο. [4]

❖ **2^η Κατηγορία: Μηχανουργία με συμβατικές εργαλειομηχανές και ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές**

Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανουργείων μικρού και μεγάλου μεγέθους διεθνώς. Πρόκειται για επιχειρήσεις, των οποίων η μετάβαση, από τη συμβατική στη σύγχρονη τεχνολογία, έχει ξεκινήσει και ολοκληρώνεται σταδιακά. Ο ρυθμός μετάβασης στη νέα τεχνολογία είναι ανάλογος με το κόστος εγκατάστασης, που μπορεί να απορροφήσει η κάθε επιχείρηση. Στις περιπτώσεις αυτές, η χρησιμοποίηση του ενός ή του άλλου είδους μηχανών επιλέγεται με βάση τον όγκο παραγωγής, τη δυσκολία κατασκευής και τις απαιτήσεις σε ακρίβεια και ποιότητα. Σε τέτοια μηχανουργεία υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό καλά εκπαιδευμένων τεχνιτών, με εμπειρία και τεχνογνωσία στον αριθμητικό έλεγχο.

❖ **3^η Κατηγορία: Μηχανουργία μόνο με NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές**

Στην περίπτωση αυτή ανήκουν είτε αυτόνομες επιχειρήσεις είτε τμήματα μεγάλων παραγωγικών μονάδων, που επιθυμούν υψηλό δείκτη αυτοματοποίησης. Οι μονάδες αυτές διακρίνονται για τον υψηλό δείκτη αυτοματοποίησης τους, τόσο στις εργαλειομηχανές τους, όσο και στα συστήματα αποθήκευσης, φόρτωσης και μεταφοράς τεμαχίων κατά την παραγωγή. Το προσωπικό αποτελείται από εξειδικευμένους μηχανικούς και τεχνίτες. [5]

2.6.1. Χωροθέτηση και εξυπηρέτηση ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών

Ο τρόπος διάταξης των εργαλειομηχανών μέσα στο μηχανουργείο έχει ιδιαίτερη σημασία και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητά του. Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την επιτυχία της τοποθέτησης των μηχανημάτων, είναι η αναγνώριση του ζωτικού χώρου κάθε εργαλειομηχανής. Αυτός ο ζωτικός χώρος περιλαμβάνει την εργαλειομηχανή, τον περιφερειακό εξοπλισμό της και την επιφάνεια εργασίας του χειριστή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρόνος αυτός θα πρέπει να είναι αρκετός, ώστε να αποφεύγονται οι δυσκολίες στις μετακινήσεις και στην εξυπηρέτηση της μηχανής αλλά και να μη δημιουργεί προβλήματα στο ζωτικό χώρο των γύρω μηχανών ή συσκευών. Γενικά, η διάταξη ενός μηχανουργείου με ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές ακολουθεί διάφορες λογικές:

❖ **Ανάλογα με το είδος της εργαλειομηχανής.**

Με αυτόν τον τρόπο, οι ομοειδείς μηχανές τοποθετούνται σε ομάδες, οι οποίες εντάσσονται με τη σειρά τους σε παραγωγικά τμήματα του μηχανουργείου. Έτσι, όλοι οι τόρνοι αποτελούν ένα τμήμα και το ίδιο γίνεται για τις φρέζες, τα δράπανα, τις πλάνες, τις λειαντικές μηχανές κ.λπ..



Εικόνα 2.5: Ομαδοποίηση εργαλειομηχανών.[29]

❖ **Ανάλογα με τις φάσεις κατεργασίας ενός προϊόντος.**

Με τον τρόπο αυτό, οι απαραίτητες εργαλειομηχανές για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου προϊόντος, που κατασκευάζεται σε μεγάλες παρτίδες, τοποθετούνται στη σειρά των φάσεων κατεργασίας. Η διάταξη αυτή έχει πολλά κοινά στοιχεία με τη γραμμή παραγωγής (Εικόνα 2.5 για γραμμή συγκόλλησης αμαξωμάτων με βιομηχανικά ρομπότ). Δεν είναι όμως κατάλληλη για μηχανουργία με μικρές παρτίδες παραγωγής και με πολλές παραλλαγές των προϊόντων, που παράγονται.

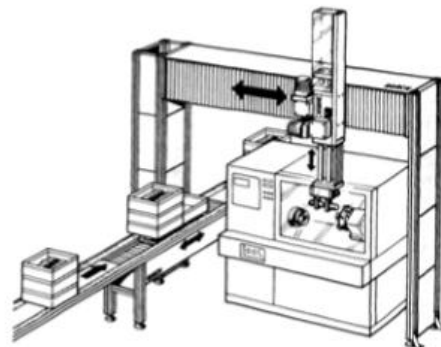


Εικόνα 2.6: Αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής σε αυτοκινητοβιομηχανία. [5]

❖ **Διάταξη ενέλικτου συστήματος παραγωγής (FMS)**

Ο αριθμητικός έλεγχος, στην ψηφιακή καθοδήγηση, δεν εφαρμόζεται μόνο στην περιγραφή των διαδρομών του κοπτικού εργαλείου και στον καθορισμό των δεδομένων κατεργασίας. Μπορεί να συνδυάσει με αυτές τις δυνατότητες και άλλες διαδικασίες αυτοματοποίησης που ενσωματώνουν συστήματα τροφοδοσίας και διαχείρισης πρώτων υλών και μεταφοράς προϊόντων, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ελέγχου και συναρμολόγησης, σε ένα ενιαίο σύνολο.

Η δομή αυτή ελέγχεται συνολικά μέσω ενός δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών και μπορεί, μέχρι σε ένα βαθμό, να προσαρμόζεται, ανάλογα με τις παραγωγικές ανάγκες κάποιας δεδομένης περιόδου. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται μία κυψέλη (αυτόνομη μονάδα – FM Cell) ενός συστήματος FMS, όπου τα τεμάχια προς κατεργασία μεταφέρονται προς την εργαλειομηχανή, προσδένονται αυτόματα, κατεργάζονται και, τέλος, απομακρύνονται για την επόμενη φάση κατεργασίας.



Σχήμα 2.3: Κυψέλη συστήματος FMS για τόννευση τεμαχίων. [5]



Εικόνα 2.7: Σύγχρονο μηχανουργείο με σύστημα FMS. [5]

Αντίστοιχα στην Εικόνα 2.6 φαίνεται ένα σύγχρονο μηχανουργείο με πολλές κυψέλες, οργανωμένες σε σύστημα FMS. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες εκτελούνται αυτόματα μέσω του αριθμητικού ελέγχου, ενώ η τοποθέτηση των εργαλειομηχανών μπορεί να γίνεται με οποιονδήποτε από τους δύο προηγούμενους τρόπους, δηλαδή είτε ανάλογα με το είδος της εργαλειομηχανής ή τις φάσεις κατεργασίας.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος μιας επένδυσης FMS είναι πολύ αυξημένο, αλλά αντίστοιχα είναι υψηλά τα κέρδη που προσφέρει η ευελιξία που προκύπτει στην παραγωγική διαδικασία. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

3.1.ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους της ραγδαίας εξάπλωσης των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης είναι πολύ μεγάλη ακρίβεια κατεργασίας που προσφέρουν, σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Η ακρίβεια αυτή, μάλιστα, είναι ανεξάρτητη από την εμπειρία και την προσοχή του χειριστή της εργαλειομηχανής και, το σημαντικότερο δε μεταβάλλεται από τεμάχιο σε τεμάχιο. Η ακρίβεια λοιπόν των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης αναπαράγεται χωρίς περιορισμό, είτε πρόκειται για μερικές δεκάδες, είτε για αρκετές χιλιάδες όμοιων προϊόντων. Η ποιότητα παραγωγής των σύγχρονων εργαλειομηχανών βασίζεται, στο συνεχή έλεγχο και την προσαρμογή των κινήσεων των αξόνων κατεργασίας με τη βοήθεια των μετρητών θέσης.

Ενδεικτικά μεγέθη ακρίβειας των σύγχρονων εργαλειομηχανών NC, CNC και DNC ανά άξονα κατεργασίας, είναι 0.008 έως 0.015 mm ανά πλήρη διαδρομή του άξονα. Αυτό σημαίνει ότι εάν ένας άξονας κατεργασίας καθοδηγηθεί με μετατόπιση από το ένα έως το άλλο όριο μετατόπισης του, η διαφορά της προγραμματισμένης από την πραγματική θέση δεν πρέπει να βρίσκεται έξω από το παραπάνω διάστημα. Επίσης, όταν ένας άξονας κατεργασίας προγραμματιστεί να εκτελέσει κάποια κίνηση για δεύτερη φορά, η διαφορά των κινήσεων δεν θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του διαστήματος από 0.001 mm έως 0.002 mm (1-2 μm).

Η ανάπτυξη των κατεργασιών αφαίρεσης μετάλλου με μη συμβατικό τρόπο οδήγησε στην επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης ακρίβειας κατεργασιών. Επίσης, μεγάλη ανάπτυξη έχει γνωρίσει τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των μικροκατεργασιών. Πρόκειται για διαδικασίες που διεξάγονται σε πολύ μικρή κλίμακα (ατομική ή μοριακή), με χρήση ειδικών μηχανών αντιστοίχου μεγέθους. Οι κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τεμαχίων πολύ μικρών διαστάσεων με εξαιρετικά περιορισμένες ανοχές.

Στις παραπάνω περιπτώσεις, δεν αρκεί μόνο η ποιότητα της εργαλειομηχανής, για να επιτευχθούν τα όρια των ανοχών, αλλά και η λειτουργία της σε ειδικούς χώρους. Οι χώροι αυτοί ονομάζονται χώροι ελεγχόμενης καθαρότητας (clean rooms) και μέσα σε αυτούς η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία και η καθαρότητα του αέρα ελέγχονται συνεχώς και διατηρούνται στις επιθυμητές τιμές. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις, οι χώροι αυτοί είναι απομονωμένοι από δονήσεις του περιβάλλοντος και είναι θεμελιωμένοι σε ειδικές αντικραδασμικές βάσεις. [5], [13]

3.2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Οι προδιαγραφές και απαιτήσεις ακρίβειας των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης επιβάλλουν τη διεξαγωγή ελέγχου παραλαβής, αμέσως μετά την εγκατάστασή τους στο μηχανουργείο. Οι μηχανές αυτές ελέγχονται και ρυθμίζονται κατά τη διάρκεια του ποιοτικού ελέγχου από τον κατασκευαστή και δεν πωλούνται, εάν δεν περάσουν από συγκεκριμένες δοκιμασίες. Ωστόσο, οι μηχανές συχνά διατίθενται σε επιχειρήσεις μακριά από το εργοστάσιο παραγωγής τους. Έτσι, μεταφέρονται με αεροπλάνα, πλοία, τρένα και φορτηγά, σε αποστάσεις πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Παρά το γεγονός της προσεγγμένης τους συσκευασίας σε ειδικά ξύλινα κιβώτια μεταφοράς με ελαστικές βάσεις και ελατήρια,

είναι προφανές ότι, κατά τη μεταφορά, υπάρχει πιθανότητα οι τρανταγμοί να προκαλέσουν βλάβες σε κάποια υποσυστήματα της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατές απορρυθμίσεις ή ακόμα και βλάβες που επηρεάζουν, λίγο ή πολύ, την ακρίβεια κατεργασίας των μηχανών.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε από την αρχή της διάθεσης των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με τον καθορισμό δοκιμών παραλαβής. Μάλιστα, για να μην υπάρχουν διαφωνίες μεταξύ του κατασκευαστή και του πελάτη, τυποποιήθηκαν συγκεκριμένες δοκιμασίες ελέγχου, ανάλογα με την εργαλειομηχανή. Οι έλεγχοι αυτοί βασίζονται κυρίως στην παραγωγή ενός συγκεκριμένου τεμαχίου ανά τύπο εργαλειομηχανής. Μετά την κατεργασία αυτού του τυποποιημένου τεμαχίου, ο μετροτεχνικός έλεγχος πρέπει να δώσει τις προβλεπόμενες ανοχές, ώστε ο πελάτης να παραλάβει τη μηχανή.

Σε αντίθετη περίπτωση, ο κατασκευαστής ή ο αντιπρόσωπός του ανά χώρα ή ανά πόλη είναι υποχρεωμένος να επισκευάσει ή να αντικαταστήσει τη μηχανή. Όταν γίνει αυτή η διαδικασία, η επισκευασμένη ή η νέα μηχανή περνάει από τον ίδιο έλεγχο, αφού ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος για την αβλαβή μεταφορά της εργαλειομηχανής στο χώρο εγκατάστασης του πελάτη.

Τα τυποποιημένα τεμάχια έχουν προδιαγραφεί από διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης, όπως είναι:

- ✓ ISO
- ✓ DIN
- ✓ NAS

Δηλαδή, υπάρχουν τυποποιημένα τεμάχια για κάθε είδους εργαλειομηχανής όπως για παράδειγμα υπάρχουν τυποποιημένα τεμάχια για τον έλεγχο παραλαβής ψηφιακά καθοδηγούμενων φρεζών τριών αξόνων, για φρέζα παραπάνω αξόνων ενώ το αντίστοιχο ισχύει και για τους τόνους. Τέτοια τυποποιημένα τεμάχια υπάρχουν για όλους τους τύπους των κατεργασιών.

Λαμβάνοντας υπόψη τη γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, οι παραπάνω κανονισμοί δοκιμασιών παραλαβής εξελίσσονται και εμπλουτίζονται συνεχώς. Είναι φυσικό ότι, όσο οι απαιτήσεις σε ακρίβεια παραγωγής αυξάνονται, καθορίζονται πιο δύσκολες κατεργασίες ελέγχου παραλαβής. [2], [14]

3.3. ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Αφού εγκατασταθεί, ελεγχθεί και παραληφθεί μία εργαλειομηχανή ψηφιακής καθοδήγησης, είναι πια σίγουρο ότι μπορεί να κατεργαστεί τεμάχια με την απαιτούμενη ακρίβεια κατεργασίας. Αυτό όμως δεν είναι δεδομένο ότι θα ισχύσει για όλη τη διάρκεια ζωής της. Αφού οι εργαλειομηχανές έχουν κινούμενα μέρη τα οποία μάλιστα δέχονται μεγάλες δυνάμεις και επιταχύνσεις, είναι επόμενο να υποστούν φυσιολογική φθορά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι από κάποια βλάβη του δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος, μπορεί να υποστούν βλάβη οι μετρητές θέσεως (encoders) ή άλλα ηλεκτρονικά υποσυστήματα της εργαλειομηχανής.

Ακόμα υπάρχει και η περίπτωση, λόγω κακού προγραμματισμού, να γίνει κάποια πρόσκρουση του εργαλείου πάνω στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Για τους παραπάνω λόγους, οι εργαλειομηχανές πρέπει να ελέγχονται και να τους γίνεται προληπτική συντήρηση σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να είναι δύο ειδών:

❖ 1^η Κατηγορία:

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι προληπτικοί έλεγχοι μετά τη συμπλήρωση προκαθορισμένων ωρών λειτουργίας της εργαλειομηχανής. Τα χρονικά αυτά διαστήματα καθορίζονται από τον κατασκευαστή της μηχανής στο βιβλίο συντήρησης και ελέγχου.

❖ 2^η Κατηγορία:

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι έκτακτοι έλεγχοι και γίνονται, όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι η ακρίβεια της εργαλειομηχανής έχει μειωθεί. Τέτοιες τυπικές ενδείξεις είναι, όταν κατά τον ποιοτικό έλεγχο των τεμαχίων, που κατεργάστηκε η μηχανή, βρεθεί ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός σκάρτων ή, όταν ο χειριστής της μηχανής αναφέρει κάποιο έκτακτο περιστατικό.

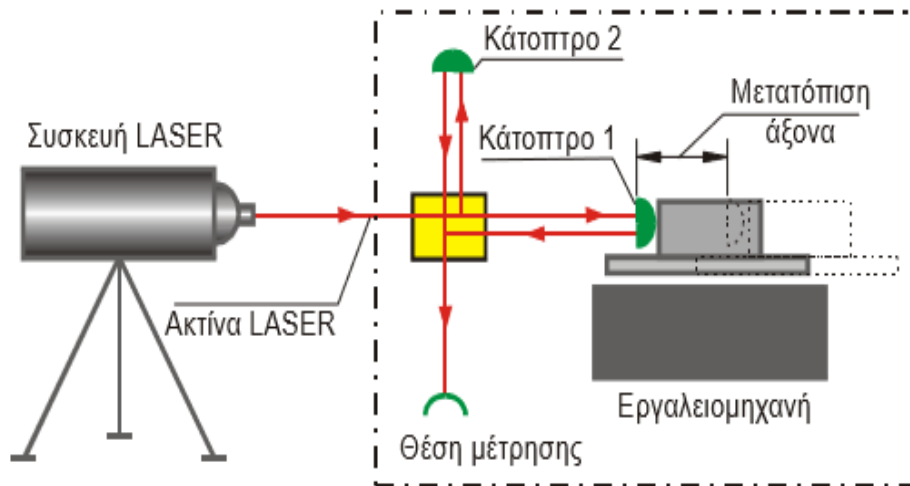
Και στις δύο αυτές κατηγορίες μορφές ελέγχου υπάρχει η εύκολη λύση της μέτρησης του κατεργαζόμενου τεμαχίου, για να εντοπιστούν αποκλίσεις στις διαστάσεις ή στη μορφή του. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε μετροτεχνικό εργαστήριο με τη βοήθεια:

- Παχυμέτρων
- Μικρομέτρων
- Μετρητικών ρολογιών
- Οργάνων μέτρησης κυκλικότητας

Στην περίπτωση αυτή μπορεί εύκολα να ανιχνευτεί, αν κάτι δεν πάει καλά. Ο τρόπος αυτός όμως έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα. Επειδή στην πολυαξονική καθοδήγηση μία επιφάνεια παράγεται από συνδυασμένες κινήσεις σε πολλές διευθύνσεις, δεν είναι εύκολο να εντοπίσει κάποιος πού ακριβώς υπάρχει το πρόβλημα ή τα προβλήματα. Αλλά ακόμα και αν αυτό συμβεί, δηλαδή τα προβλήματα εντοπισθούν, είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστεί η έκτασή τους ποσοτικά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές μετρητικές διατάξεις ελέγχου των εργαλειομηχανών. Τις διατάξεις αυτές μπορεί να αγοράσει ένα μηχανουργείο για έλεγχο των μηχανών που διαθέτει, αλλά, επειδή έχουν μεγάλο κόστος, είναι συνηθισμένο να αναθέτει την αποστολή αυτή σε ειδικές επιχειρήσεις ή σε ερευνητικά κέντρα.

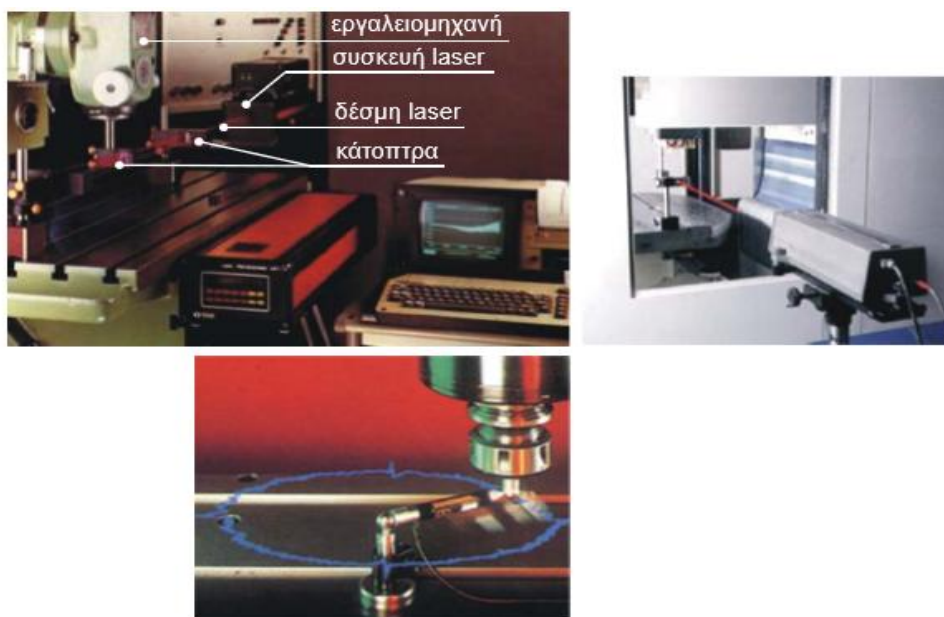
Οι πιο συνηθισμένες μετρητικές διατάξεις είναι τα λεγόμενα συμβολόμετρα λέιζερ (LASER interferometers). Τα συμβολόμετρα αυτά βασίζονται στο φαινόμενο της συμβολής του φωτός που είναι γνωστό από τη φυσική. Ως όργανα ακριβείας είναι γνωστά ήδη από την αρχή του εικοστού αιώνα και βρήκαν εφαρμογή στη μέτρηση μικρών μετατοπίσεων στη μετρολογία, έχοντας ακρίβεια εκατοστού του μικρού (μm). Πρακτική εφαρμογή στη μετροτεχνία βρήκαν μετά την εξέλιξη των λέιζερ σε πηγή φωτός μεγάλου βαθμού συνοχής. Ο βαθμός αυτός συνοχής είναι το μήκος εκείνο, στο οποίο μια πηγή φωτός διατηρεί σχεδόν αμετάβλητη τη συνοχή της.

Η αρχή λειτουργίας των συμβολόμετρων φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Η ακτίνα που δημιουργεί η συσκευή λέιζερ, κατευθύνεται στο πρώτο κάτοπτρο (ειδικός τύπος καθρέφτη) και χωρίζεται σε δύο δέσμες. Η πρώτη λέγεται δέσμη μέτρησης και κατευθύνεται προς ένα κάτοπτρο, που στερεώνεται στο αντικείμενο, που μετακινείται προς μία κατεύθυνση (άξονας κατεργασίας). Η δεύτερη ονομάζεται δέσμη αναφοράς και οδηγείται σε ένα σταθερό κάτοπτρο. Στη συνέχεια οι δύο δέσμες ενώνονται (συμβάλλουν) ξανά και από την επεξεργασία της νέας δέσμης με ηλεκτρονικό υπολογιστή μετριέται με μεγάλη ακρίβεια η μετατόπιση. [4], [18]



Σχήμα 3.1: Αρχή λειτουργίας συμβολόμετρου λέιζερ. [4]

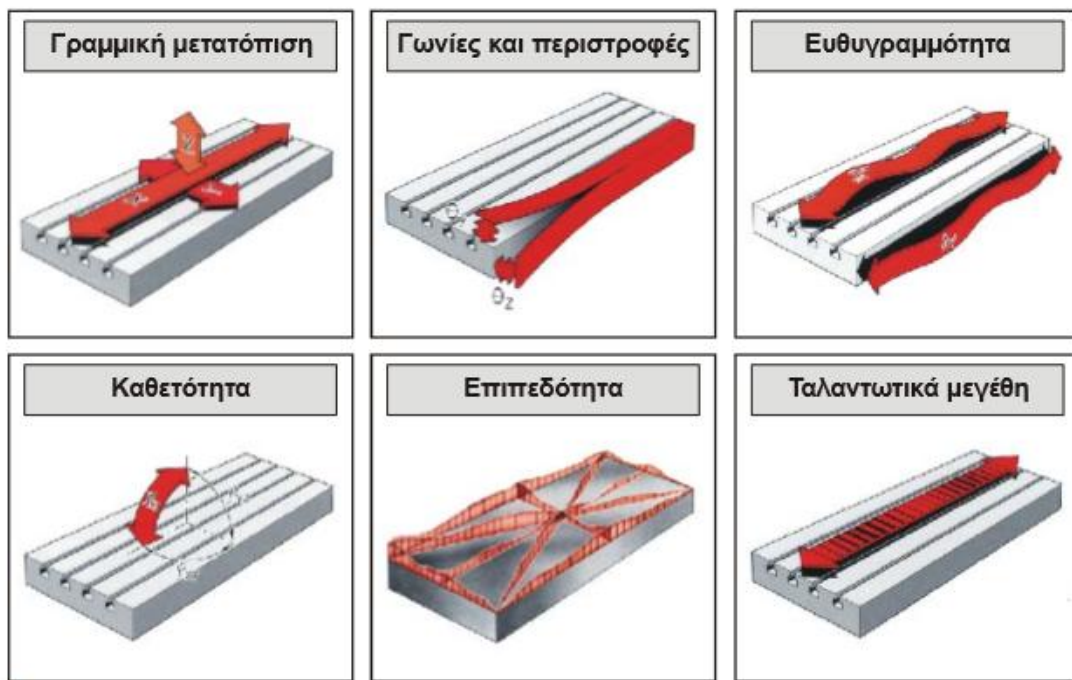
Η επεξεργασία γίνεται με την εφαρμογή των νόμων της επιστήμης της φωτομετρίας. Με τον τρόπο αυτό συγκρίνεται το μήκος, της μετατόπισης που έπρεπε να μετακινηθεί ένας άξονας κατεργασίας με βάση το πρόγραμμα καθοδήγησης, με αυτό που πραγματικά έγινε και μετρήθηκε από το συμβολόμετρο. Εάν η διαφορά των μηκών ξεπερνάει τις προδιαγραφές, η καθοδήγηση αυτού του άξονα κατεργασίας έχει πρόβλημα και πρέπει να επιδιορθωθεί. Διαδοχικά μπορούν γρήγορα και αποτελεσματικά να μετρηθούν όλοι οι άξονες κατεργασίας μίας μηχανής. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζονται διαδικασίες μέτρησης ακρίβειας εργαλειομηχανών με χρήση συμβολόμετρων λέιζερ.



Εικόνα 3.1: Μετρήσεις ακρίβειας εργαλειομηχανών με χρήση της τεχνολογίας των λέιζερ. [5]

Στο Σχήμα 3.2 φαίνονται οι δυνατότητες μετρήσεων αξόνων εργαλειομηχανών με τη βοήθεια των συμβολόμετρων λέιζερ. Συγκεκριμένα αυτές είναι:

- Μέτρηση γραμμικής μετατόπισης,
- Μέτρηση γωνιών και περιστροφών,
- Μέτρηση ευθυγραμμότητας,
- Μέτρηση καθετότητας,
- Μέτρηση επιπεδότητας,
- Μέτρηση ταλαντωτικών μεγεθών.



Σχήμα 3.2: Δυνατότητες μετρήσεων αξόνων εργαλειομηχανών με τη βοήθεια της τεχνολογίας των συμβολόμετρων λέιζερ. [5]

Πρέπει να σημειωθεί ότι, επειδή οι συνθήκες του περιβάλλοντος έχουν μεγάλη επίδραση στη μέτρηση, οι χαρακτηριστικές τους παράμετροι μετρώνται και λαμβάνονται υπόψη κατά τους ελέγχους. Είναι πια συνηθισμένο, στην περίπτωση καινούργιων εργαλειομηχανών, να γίνεται και έλεγχος παραλαβής με τη βοήθεια συμβολομέτρων. Αυτό γίνεται κατόπιν συμφωνίας του κατασκευαστή με τον πελάτη και αυξάνει περισσότερο την ασφάλεια του τελευταίου σε σχέση με το προϊόν, που αγοράζει. Τα συμβολόμετρα λέιζερ βρίσκουν και πολλές άλλες εφαρμογές σε ένα μηχανουργείο, όπως είναι ο έλεγχος ακρίβειας διαφόρων μετροτεχνικών συσκευών. Την επιστασία όλων των ελέγχων με τέτοια όργανα, έχει συνήθως ο μηχανικός παραγωγής ή ο προϊστάμενος του ποιοτικού ελέγχου. [2], [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

4.1. ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι λειτουργίες των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης προγραμματίζονται στη μονάδα κεντρικού ελέγχου ή σε κάποιο υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή και την εξυπηρετεί. Το σύστημα ελέγχου μετατρέπει τις εντολές καθοδήγησης σε σήματα ελέγχου υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης ή παλμών. Τα σήματα αυτά ενεργοποιούν τελικά όλες τις λειτουργίες της εργαλειομηχανής, με βάση τις αρχές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ). Τα συστήματα αυτά ονομάζονται αυτόματα, διότι η λειτουργία τους δεν γίνεται αντιληπτή από το χειριστή της εργαλειομηχανής. Οι διαδικασίες αυτομάτου ελέγχου συνθέτουν μία ολόκληρη επιστήμη, με εφαρμογές, εκτός από τη μηχανουργική τεχνολογία, στην ιατρική, στη βιολογία, στις οικονομικές επιστήμες και στην επιχειρηματική δραστηριότητα.

Στις εφαρμοσμένες θετικές επιστήμες, εκεί που ανήκει και η μηχανουργική τεχνολογία, ο αυτόματος έλεγχος χρησιμεύει στο να παρακολουθούνται διάφορες καταστάσεις, να μετρώνται τα φυσικά μεγέθη και να επηρεάζεται η εξέλιξη μίας διαδικασίας προς τον καλύτερο και πιο επιθυμητό τρόπο. Όμως, για να γίνει πιο κατανοητή η εφαρμογή του αυτομάτου ελέγχου στις εργαλειομηχανές, θα δοθούν παραδείγματα σε αυτήν ακριβώς την περίπτωση. Για τον αυτόματο έλεγχο απαιτείται η ύπαρξη και συνεργασία ενός συνόλου ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα χρειάζονται:

- Κεντρικό σύστημα ελέγχου το οποίο να συντονίζει όλες τις επιμέρους διεργασίες, που συμμετέχουν στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, το ρόλο αυτό αναλαμβάνει η μονάδα ελέγχου της μηχανής MCU. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει έναν τρόπο επικοινωνίας με το χειριστή της μηχανής, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η θόνη και το πληκτρολόγιο (σχήμα 4.1). Επίσης, υπάρχουν και διάφορα πλήκτρα, τα οποία διευκολύνουν την εισαγωγή δεδομένων και ελέγχουν διάφορες λειτουργίες της εργαλειομηχανής.
- Μηχανισμοί και διαδικασίες που να μπορούν να επιδράσουν και να διαμορφώσουν το μέγεθος που ελέγχεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ελέγχου της κίνησης κατά μήκος ενός άξονα κατεργασίας, πρέπει να υπάρχει κάποιος σερβομηχανισμός ή κάποιος βηματικός κινητήρας.
- Αισθητήρες για τη μέτρηση του μεγέθους, που πρέπει να ελεγχθεί κατά τη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Για παράδειγμα, εάν ελέγχεται η ακρίβεια της κίνησης κατά μήκος ενός γραμμικού άξονα κατεργασίας, χρησιμοποιείται σαν αισθητήρας ένας κωδικοποιητής θέσεως (encoder). Εάν το μέγεθος που μετρείται, είναι οι δυνάμεις κοπής, τότε χρησιμοποιείται απευθείας δυναμόμετρο ή γίνεται επεξεργασία της ισχύος που απορροφά η άτρακτος της εργαλειομηχανής.
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα και ηλεκτρικά υποσυστήματα, που να μπορούν να επεξεργάζονται και να μεταφέρουν τα σήματα καθοδήγησης, που παράγονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου προς τους μηχανισμούς. Επίσης, οι ίδιες διαδικασίες

γίνονται και στην περίπτωση μεταφοράς των σημάτων των αισθητήρων προς το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ενισχυτές, ανορθωτές, μετασχηματιστές, καλωδιώσεις κ.λπ.. [4], [9]



Σχήμα 4.1: Κεντρικό σύστημα ελέγχου στις εργαλειομηχανές με μονάδα εισόδου (πληκτρολόγιο) και μονάδα εξόδου (έγχρωμη οθόνη). [5]



Σχήμα 4.2: Συστήματα ένδειξης της ισχύος, που απορροφά η κεντρική άτρακτος κοπής και της περιστροφικής της ταχύτητας. [5]

Στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, η κύρια λειτουργία του συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι να τοποθετεί την τράπεζα ή την άτρακτο της μηχανής στην προγραμματισμένη θέση. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι ελέγχου, με τους οποίους το σύστημα αριθμητικού ελέγχου εκπληρώνει την ακριβή τοποθέτηση. Πρόκειται για το σύστημα κλειστού και το σύστημα ανοικτού βρόγχου. [8]

4.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου (open loop control) φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Το σήμα ελέγχου κάθε μετατόπισης ή κίνησης, που προέρχεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, ενισχύεται, ώστε να μπορεί να ενεργοποιήσει τον αντίστοιχο κινητήρα. Με τη σειρά του, ο κινητήρας μεταδίδει κίνηση στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής απευθείας είτε μέσω κατάλληλου μειωτήρα στροφών. Με τη διαδικασία αυτή, η παροχή ισχύος από τους κινητήρες ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή ταχύτητα ή πρόωση κατεργασίας.

Στην περίπτωση που το φορτίο της εργαλειομηχανής μεταβληθεί, διότι αυξάνεται το βάθος κοπής, τότε η ταχύτητα του σερβοκινητήρα θα επηρεασθεί. Η μείωση της ταχύτητας όμως δεν θα γίνει αντιληπτή από την κεντρική μονάδα ελέγχου, αφού δεν υπάρχει κάποιος τρόπος να φτάσει ως εκεί η πληροφορία. Για το λόγο αυτό, το σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόγχου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μηχανές με μεταβαλλόμενο φορτίο κοπής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε εργαλειομηχανές διάτρησης, όπου το φορτίο κοπής είναι σταθερό. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων περιορίζεται σε κατεργασίες, στις οποίες δεν απαιτείται ακρίβεια μεγαλύτερη από 25 μm.[8]



Σχήμα 4.3: Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση. [4]

Στο παραπάνω παράδειγμα, ο κινητήρας συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι το σύστημα ελέγχου να σταματήσει την τροφοδοσία, όταν η προγραμματισμένη θέση επιτευχθεί. Εάν, για παράδειγμα, ο κινητήρας έχει κάποια βλάβη ή μεγάλη φθορά, είναι πιθανόν, ενώ έχει δεχθεί την κατάλληλη εντολή, να μη την εκτελέσει σωστά. Όμως δεν υπάρχει δυνατότητα αυτό να γίνει αντιληπτό. Στην πράξη, το σύστημα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου θυμίζει ένα στρατηγό, που έχει οργανώσει μία μάχη από το στρατηγείο του, αλλά δεν έχει πληροφορίες για την έκβασή της. Στην περίπτωση που η μάχη εξελιχθεί σύμφωνα με τις προβλέψεις του, θα την κερδίσει. Εάν όμως, για κάποιο λόγο, κάτι δεν πάει καλά, δεν έχει τρόπο να το πληροφορηθεί και να αλλάξει τη στρατηγική του. [5], [13]

4.3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Στο παραπάνω παράδειγμα, τα πράγματα θα ήταν ευκολότερα για το στρατηγό, εάν κατά τη διάρκεια της μάχης είχε διαρκή πληροφόρηση για την έκβασή της. Στην περίπτωση αυτή, θα μπορούσε με κατάλληλους χειρισμούς να ανατρέψει την επίδραση τυχαίων γεγονότων και να διορθώσει τυχόν λάθη του. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των εργαλειομηχανών, τα προβλήματα ελέγχου που δεν είναι δυνατό να λυθούν με χρήση συστήματος ανοικτού βρόγχου, λύνονται με συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop control). Η λειτουργία των συστημάτων αυτών βασίζεται στην αρχή της ανάδρασης (feedback), που είναι το θεμέλιο στην επιστήμη του αυτομάτου ελέγχου.

Ανάδραση σημαίνει η σύγκριση της πραγματικής τιμής ενός μεγέθους με την επιθυμητή τιμή και κατάλληλη επέμβαση, ώστε η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών να ελαχιστοποιηθεί. Για παράδειγμα, εάν το ελεγχόμενο μέγεθος είναι η μετατόπιση ενός άξονα κατεργασίας μίας εργαλειομηχανής, πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα μέτρησης (ο κωδικοποιητής θέσεως). Ανά πάσα στιγμή συγκρίνεται η πραγματική θέση του ολισθητήρα με την προγραμματισμένη θέση. Η διαφορά των τιμών οδηγείται στην κεντρική μονάδα ελέγχου και το σήμα καθοδήγησης αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα του αντίστοιχου σερβοκινητήρα, ώστε να διορθωθεί το λάθος.

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος κλειστού βρόγχου φαίνεται στο Σχήμα 4.4 Οι διαφορές από το αντίστοιχο σχήμα του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου είναι η εισαγωγή του κωδικοποιητή θέσης και της μονάδας ανάδρασης (transducer). Τα συστήματα ανάδρασης είναι ηλεκτρονικές συσκευές, που συγκρίνουν σε ηλεκτρικές ή μαγνητικές κλίμακες. Εάν το σύστημα είναι ψηφιακό, η συσκευή συγκρίνει παλμούς, ενώ, εάν είναι αναλογικό, συγκρίνει τάσεις. Έχουν όλα μία βασική κατασκευαστική αρχή. Όταν ένα σύστημα επιτύχει την επιθυμητή θέση και τη διατηρεί, το σύστημα ανάδρασης παράγει παλμούς μηδενικού μεγέθους ή μηδενική τάση. Στην περίπτωση αυτή, η κεντρική μονάδα ελέγχου δεν έχει κάποιο ερέθισμα, ώστε να τροποποιήσει κάποιες από τις αρχικές εντολές της. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν στο σύστημα ανάδρασης παράγονται παλμοί ή τάση, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει τις αρχικές εντολές της.

Σε συστήματα κλειστού βρόγχου με παλμούς, απαιτούνται περίπου 10.000 ηλεκτρικοί παλμοί, για να μετακινηθεί ο ολισθητήρας 25 mm. Ο κάθε παλμός ελέγχεται από το σύστημα ανάδρασης και αυτό σημαίνει ότι υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της κίνησης του ολισθητήρα κατά 2.5 μm. Έτσι, η ακρίβεια που επιτυγχάνουν τα συστήματα κλειστού βρόγχου, είναι δεκαπλάσια από αυτήν των συστημάτων ανοικτού βρόγχου. Πέρα από την ανάδραση για τον έλεγχο της θέσης κάποιου ολισθητήρα, υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που πρέπει να ελέγχονται αυτόματα. Τυπική περίπτωση αποτελεί ο έλεγχος της ταχύτητας κοπής, που χρησιμοποιείται, για να βελτιστοποιήσει την ποιότητα σύνθετων επιφανειών κ.λπ.. [4], [12]



Σχήμα 4.4: Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση. [5]

4.4.ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

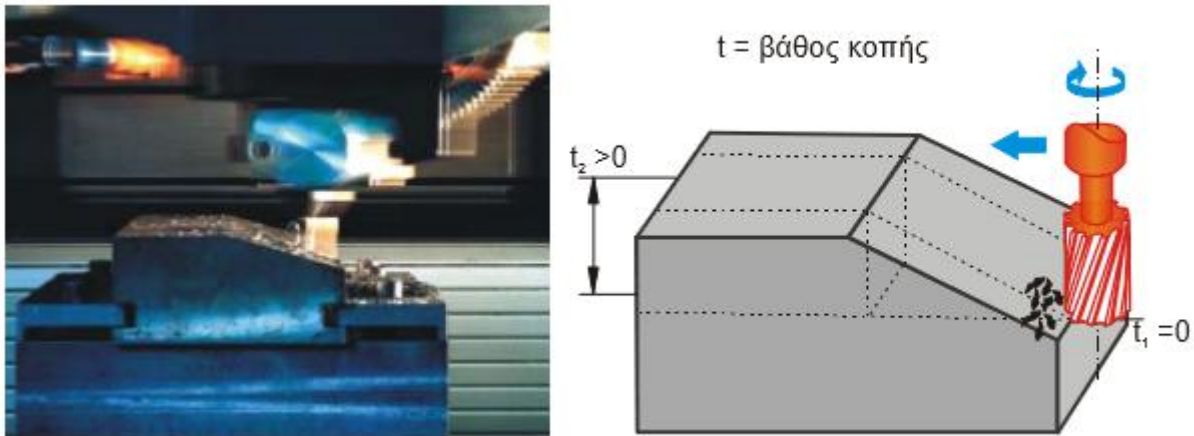
Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και επισκευών. Το αυξημένο κόστος εγκατάστασης δηλώνει ότι οι μηχανές αυτές, για να αποδώσουν οικονομικά, πρέπει να λειτουργούν κοντά στα όρια, που έχει ορίσει ο κατασκευαστής τους. Για παράδειγμα, η πρόωση στην κατεργασία και η ταχύτητα κοπής πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν, κοντά στα όρια ισχύος, που έχει η μηχανή. Με τον τρόπο αυτό η παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής βελτιστοποιείται.

Από την άλλη πλευρά, η λειτουργία των μηχανών στα όρια τους εγκυμονεί πάντα κάποιο κίνδυνο υπέρβασής τους και τη δημιουργία βλαβών. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται, όσο πιο πολύπλοκο είναι το τεμάχιο κατεργασίας, αφού αλλάζει συνεχώς το βάθος, άρα και οι δυνάμεις κοπής. Οι μεταβολές στις δυνάμεις, λόγω μεταβολών του βάθους κοπής, είναι ως ένα βαθμό προβλέψιμες, αφού η αρχική και η τελική μορφή του τεμαχίου είναι γνωστή. Υπάρχουν όμως και άλλες συνθήκες, που επηρεάζουν την αλλαγή των συνθηκών κοπής, όπως είναι η φθορά του κοπτικού εργαλείου ή οι μεταβολές στην ποιότητα της πρώτης ύλης.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται στις σύγχρονες εργαλειομηχανές με την εισαγωγή τεχνικών προσαρμοστικού ελέγχου (adaptive control). Ο βασικός στόχος του προσαρμοστικού ελέγχου είναι να συμπληρώνει το σύστημα ελέγχου της μηχανής με αισθητήρες, που προσδιορίζουν τις συνθήκες κοπής. Με τη χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, που επεξεργάζονται τα συστήματα των αισθητήρων, μπορούν να ρυθμίζονται αυτόματα η πρόωση και η ταχύτητα κοπής στις βέλτιστες ανά περίπτωση τιμές. [13]

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται ένα παράδειγμα λειτουργίας του προσαρμοστικού ελέγχου στον αριθμητικό έλεγχο εργαλειομηχανών. Καθώς το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται από αριστερά προς τα δεξιά, το βάθος κοπής αυξάνεται και, κατά συνέπεια, αυξάνουν οι

αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής. Έτσι, η απορροφούμενη ισχύς από τον κινητήρα της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής αυξάνεται και πιθανά να υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη. Για το λόγο αυτό, το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου μεταβάλλει αφενός την πρόωση κατεργασίας, ώστε να μειωθούν οι δυνάμεις κοπής, και αφετέρου την ταχύτητα κοπής, ώστε να μειωθεί η απορροφούμενη ισχύς, προστατεύοντας έτσι το σύστημα εργαλειομηχανή – κοπτικό εργαλείο – κατεργαζόμενο τεμάχιο. [5]



Σχήμα 4.5: Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος προσαρμοστικού ελέγχου σε εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση. [5]

Οι βασικοί στόχοι ενός συστήματος ελέγχου, που ενσωματώνει τεχνικές προσαρμοστικού ελέγχου, είναι:

- Η προστασία της κύριας ατράκτου κοπής της εργαλειομηχανής από υπερφορτίσεις ή απότομες μεταβολές ισχύος κατά την είσοδο και έξοδο από θέσεις κοπής.
- Η προστασία του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου από βλάβη ή καταστροφή.
- Ο σταθερός ρυθμός αφαίρεσης υλικού, στρατηγική που προσφέρει καλύτερη ποιότητα κατεργασίας.
- Η βελτιστοποίηση της διάρκειας ζωής του κοπτικού εργαλείου με τη διατήρηση σταθερών συνθηκών κοπής.
- Η μεταβολή της παροχής υγρού κοπής, ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ισχύς κοπής.
- Η επίτευξη μέγιστης ταχύτητας μεταφοράς σε περίπτωση απρόβλεπτου κενού κατεργασίας.
- Η ελαχιστοποίηση των τεχνολογικών παραμέτρων κοπής, που πρέπει να εισαχθούν από το χειριστή, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος λαθών λόγω άγνοιας ή απειρίας.

Σήμερα, ολοένα και περισσότερες σύγχρονες εργαλειομηχανές ενσωματώνουν αρχές προσαρμοστικού ελέγχου. Μάλιστα η έννοια αυτή είναι σε μεγάλο βαθμό συγγενική με τους όρους των εργαλειομηχανών με άμεση καθοδήγηση DNC και τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου. [5], [8]

4.5. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Οι δυνατότητες των σύγχρονων εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στις εφαρμογές, που προσφέρει ο αυτόματος έλεγχος. Επειδή ίσως να φάνηκε ότι τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου είναι αλάθητα και προσφέρουν πάντα μεγάλη ακρίβεια, είναι σωστό να αναφερθούν και τα προβλήματα, που συχνά αντιμετωπίζουν. Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται κυρίως με το μεγάλο αριθμό υπολογισμών, που πρέπει να εκτελεστούν αλλά και με το ότι έχουν να συνεργαστούν με καθαρά μηχανικές διατάξεις.

Τα μηχανικά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών δεν βρίσκονται πάντα σε άριστη κατάσταση, αφού συχνά εμφανίζουν φυσιολογικές φθορές ή απορρυθμίζονται. Έτσι, σε περίπτωση που εμφανίζονται μηχανικά προβλήματα, σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό πράξεων καθοδήγησης, είναι πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα στην ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών. [7], [14]

4.5.1. Διακριτική Ικανότητα

Η μονάδα κεντρικού ελέγχου MCU των εργαλειομηχανών αποτελεί τον εγκέφαλο που ελέγχει όλες τις λειτουργίες τους και κυρίως την καθοδήγηση των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου και του τεμαχίου. Και αν αυτό το πρόβλημα ελέγχου φαίνεται απλό στην περίπτωση εκτέλεσης γραμμικών μετατοπίσεων, τα πράγματα είναι κατά πολύ δυσκολότερα στην περίπτωση κατεργασίας διαφόρων καμπυλών. Η δυσκολία αυτή είναι σημαντική ακόμα και κατά μήκος μόνο δύο αξόνων, για παράδειγμα στην τórνευση σφαιρικών επιφανειών. Όπως είναι γνωστό από τη γεωμετρία, οι γραμμές και οι επιφάνειες αποτελούνται από άπειρο αριθμό σημείων. Δεν είναι φυσικά δυνατό να περιγραφούν οι μετατοπίσεις των αξόνων κατεργασίας σε όλα αυτά τα σημεία, αφού πρακτικά αυτό απαιτεί άπειρους υπολογισμούς. Στην πράξη, αυτό που γίνεται, είναι να διαιρούνται οι μετατοπίσεις ανά άξονα σε ένα πεπερασμένο αριθμό διαδοχικών διαστημάτων. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η θέση πεπερασμένου αριθμού σημείων, που είναι τα άκρα των διαστημάτων αυτών.

Το πόσα πολλά είναι τα σημεία αυτά εξαρτάται από την διακριτική ικανότητα (resolution) της μονάδας κεντρικού ελέγχου. Το μέγεθος αυτό εξαρτάται από τη χωρητικότητα της MCU, την ακρίβεια μετατόπισης των κινητήρων των αξόνων κατεργασίας αλλά και την ικανότητα ελέγχου των μετρητών θέσης. Έτσι, η συνολική ακρίβεια των μετατοπίσεων από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου των εργαλειομηχανών εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό από τη διακριτική ικανότητα τους.

Όσο προχωρά η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο μεγαλώνουν και οι δυνατότητες αύξησης του διακριτικού ελέγχου των εργαλειομηχανών. Φυσικά, επειδή η ανάπτυξη των άλλων μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων που εκτελούν τις εντολές καθοδήγησης, είναι πολύ πιο αργή, η αύξηση της διακριτικής ικανότητας τελικά καθορίζεται από την εξέλιξη αυτών των εξαρτημάτων των εργαλειομηχανών. [4], [7]

4.5.2. Επαναληψιμότητα

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που επέβαλαν την εφαρμογή του αριθμητικού ελέγχου στη μηχανουργική τεχνολογία, ήταν η ανάγκη της εκτέλεσης κατεργασιών με μεγάλη ακρίβεια. Όμως, ακόμα και στην περίπτωση παραγωγής ενός τέλει τεμαχίου, το

ζητούμενο είναι κατά πόσο αυτό μπορεί να επαναληφθεί από μία έως χιλιάδες ή ακόμα και εκατοντάδες χιλιάδες φορές. Υπάρχει δηλαδή η απαίτηση της επαναληψιμότητας και της πιστής αναπαραγωγής ενός συγκεκριμένου συνόλου κατεργασιών. Για να γίνει πιο απλή η έννοια της επαναληψιμότητας, αυτή μπορεί να ορισθεί από το εάν το κοπτικό εργαλείο ή το τεμάχιο μπορεί να πάει σε μία συγκεκριμένη θέση, για περισσότερες από μία φορές. Εάν αυτό γίνει για όλες τις θέσεις καθοδήγησης και κατά μήκος όλων των αξόνων κατεργασίας, το δεύτερο και τα επόμενα τεμάχια θα είναι ακριβώς όμοια με το πρώτο.

Στην περίπτωση των συμβατικών εργαλειομηχανών, το πρόβλημα της μικρής επαναληψιμότητας είναι ένα από τα μεγαλύτερα αίτια της μειωμένης ακρίβειας, που προσφέρουν. Τα προβλήματα που μπορούν να παρουσιασθούν στην παραγωγή ενός συγκεκριμένου τεμαχίου με χρήση συμβατικών εργαλειομηχανών, μπορεί να είναι:

- Παραγωγή του πρώτου τεμαχίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τις προβλεπόμενες ανοχές και αναπαραγωγή όλων των υπόλοιπων με κάποιο σφάλμα. Αυτό για παράδειγμα μπορεί να οφείλεται σε συστηματικό λάθος στη νέα επιλογή μηδενικών σημείων και συστημάτων αναφοράς. Αυτή η περίπτωση είναι σπάνια.
- Παραγωγή του πρώτου τεμαχίου και ενός ακόμα αριθμού τεμαχίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και τις προβλεπόμενες ανοχές και αναπαραγωγή των υπόλοιπων με κάποιο σφάλμα. Τυπική αιτία μπορεί να είναι η αλλαγή χειριστή, η αλλαγή εργαλειομηχανής ή ακόμα και η απορρύθμισή της.
- Περιοδική παραγωγή, σωστών τεμαχίων, με ενδιάμεσες παρτίδες ελαττωματικών. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αλλαγή χειριστών σε μηχανουργεία με δύο ή και τρεις βάρδιες εργασίας, στην κόπωση των χειριστών και σε άλλες περιοδικά μεταβαλλόμενες συνθήκες παραγωγής.

Και στις τρεις περιπτώσεις, η παραγωγή ελαττωματικών τεμαχίων οδηγεί σε αύξηση του κόστους παραγωγής και στη μείωση της παραγωγικότητας. Σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα αυτό λύνεται στις κατεργασίες με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, αφού η σχεδιαστική φιλοσοφία τους εξασφαλίζει την επαναληψιμότητα ενός κύκλου κατεργασιών. Αυτή η ικανότητα πιστής αναπαραγωγής μεγάλου αριθμού όμοιων τεμαχίων, οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους και είναι οι εξής:

- ✚ **1^{ος}:** η αλληλουχία του κύκλου των κατεργασιών βρίσκεται αποθηκευμένη σε ψηφιακή μορφή, που δεν επηρεάζεται από τον ανθρώπινο παράγοντα και τις συνθήκες εργασίας.
- ✚ **2^{ος}:** η μεγάλη ακαμψία και στιβαρότητα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, που εκμηδενίζει δυναμικά φαινόμενα και επιτρέπει την επίτευξη μεγάλων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, χωρίς προβλήματα ακρίβειας.

Οι παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την επαναληψιμότητα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, είναι κυρίως μηχανικά προβλήματα και ανθρώπινα λάθη. [5], [16]

4.5.3. Αστάθεια

Τα συστήματα που περιέχουν αυτόματο έλεγχο, μπορεί να είναι απλά (π.χ. συστήματα ανοικτού βρόγχου) ή πιο σύνθετα (π.χ. συστήματα κλειστού βρόγχου). Σε όλες τις περιπτώσεις, υπάρχει ένας αριθμός ελέγχων που πρέπει να γίνουν, ώστε να εξασφαλιστεί η

ακρίβεια των μετατοπίσεων των αξόνων κατεργασίας. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στη λειτουργία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή τα συστήματα δεν μπορούν να εκπληρώσουν με ακρίβεια την αποστολή τους και λειτουργούν, όπως λέγεται, σε κατάσταση αστάθειας.

Στην περίπτωση των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, αν υποθεθεί ότι έχει πάθει βλάβη ένας μετρητής θέσης, αυτός ή μετράει λάθος τη θέση του άξονα που τον περιέχει, ή δε δίνει καθόλου μέτρηση. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα αυτομάτου ελέγχου θέσης δε δέχεται τουλάχιστον ένα από τα δεδομένα που χρειάζεται, για να λειτουργήσει σωστά. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην μπορεί να γίνει ο έλεγχος θέσης για το συγκεκριμένο άξονα κατεργασίας, με επακόλουθο να μειωθεί η ακρίβεια της κατεργασίας. Σε ακόμα χειρότερη περίπτωση, οι λανθασμένες ενδείξεις του μετρητή μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβη της εργαλειομηχανής, αν για παράδειγμα οδηγήσουν το κοπτικό εργαλείο σε σύγκρουση με το τεμάχιο.

Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει αστάθεια στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου της εργαλειομηχανής, είναι το να φθάνουν σε αυτό οι μετρήσεις καθυστερημένα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε βλάβη των μετρητών θέσης ή ακόμα και σε υπερφόρτωση του υπολογιστή, που επεξεργάζεται τις μετρήσεις. Στη δεύτερη περίπτωση ο χρόνος απόκρισης του συστήματος, όπως αυτός ονομάζεται, είναι τόσο μεγάλος, ώστε το σύστημα αυτομάτου ελέγχου δεν μπορεί να λειτουργήσει σωστά και να οδηγήσει πάλι σε μείωση της ακρίβειας μετατόπισης. Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση έχουν εξελιχθεί πάντως σε τέτοιο βαθμό, που σπάνια αντιμετωπίζουν προβλήματα αστάθειας του συστήματος αυτομάτου ελέγχου τους. [2], [4], [16]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΥΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΘΕΣΗΣ ΣΤΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ

Οι ανεξάρτητες αλλά ταυτόχρονες μετακινήσεις της τράπεζας ή του κοπτικού εργαλείου στις εργαλειομηχανές NC, CNC και DNC, καθορίζουν τη σχετική θέση του κοπτικού εργαλείου σε σχέση με το τεμάχιο. Όλη αυτή η διαδικασία, η οποία παράγει την κοπή, περιγράφεται από τον προγραμματιστή της εργαλειομηχανής μέσω μίας συμβολικής ακολουθίας γραμμάτων και αριθμών, που είναι το πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης. Το πρόγραμμα αυτό έχει ως βασικό σκοπό την περιγραφή των κινήσεων που πρέπει να γίνουν, ώστε να παραχθεί η γεωμετρία του τεμαχίου.

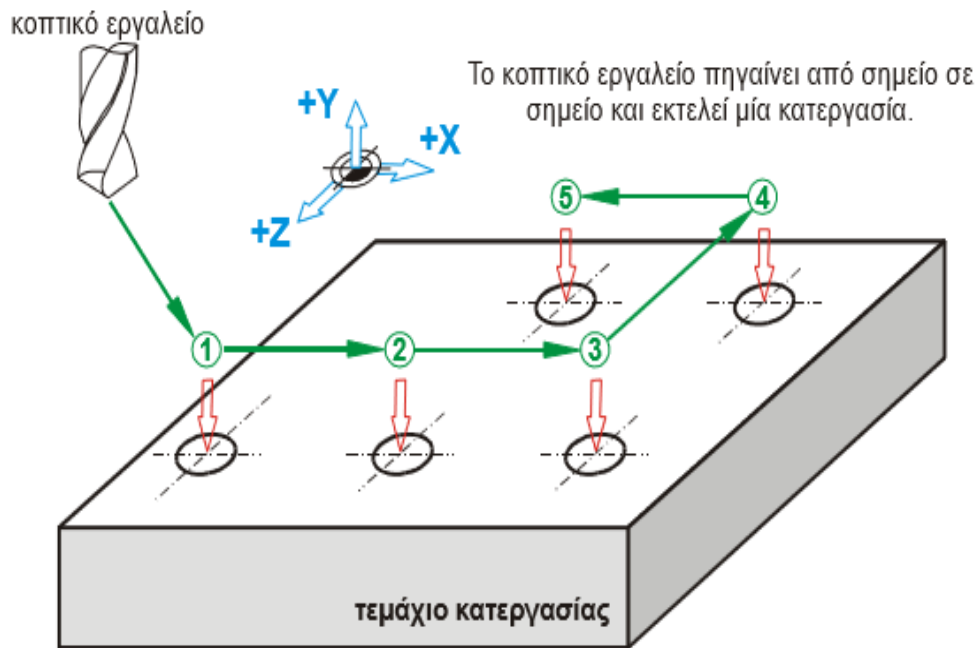
Ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής είναι μία εύκολη σχετικά διαδικασία για ένα έμπειρο χειριστή. Όμως η μετατροπή των εντολών του προγράμματος καθοδήγησης σε κινήσεις του εργαλείου ή του τεμαχίου δεν είναι απλή διαδικασία. Αντίθετα, απαιτεί την εκτέλεση ενός μεγάλου όγκου αριθμητικών υπολογισμών, που ευτυχώς γίνονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Μάλιστα, όσο πιο πολύπλοκη είναι η γεωμετρία του κατεργαζόμενου τεμαχίου, τόσο πιο μεγάλος είναι ο φόρτος εργασίας της κεντρικής μονάδας ελέγχου.

Αυτή η πολύπλοκη υπολογιστική εργασία του ηλεκτρονικού υπολογιστή της εργαλειομηχανής, δε γίνεται αντιληπτή από το χειριστή της. Επίσης, ο χειριστής δεν έχει τη δυνατότητα επέμβασης σε αυτή τη διαδικασία, αφού αυτή ξεπερνάει κατά εκατομμύρια φορές την ταχύτητα της ανθρώπινης σκέψης. Οι πρώτες γενιές εργαλειομηχανών NC είχαν περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου θέσης, άρα και δυνατοτήτων κατεργασίας. Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των υπολογιστών και των μηχανικών διατάξεων, ώθησε την ανάπτυξη μηχανών με πιο σύνθετο έλεγχο θέσης και επέτρεψε τη δυνατότητα συνθετότερων κινήσεων κατεργασίας. [4], [8]

5.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ

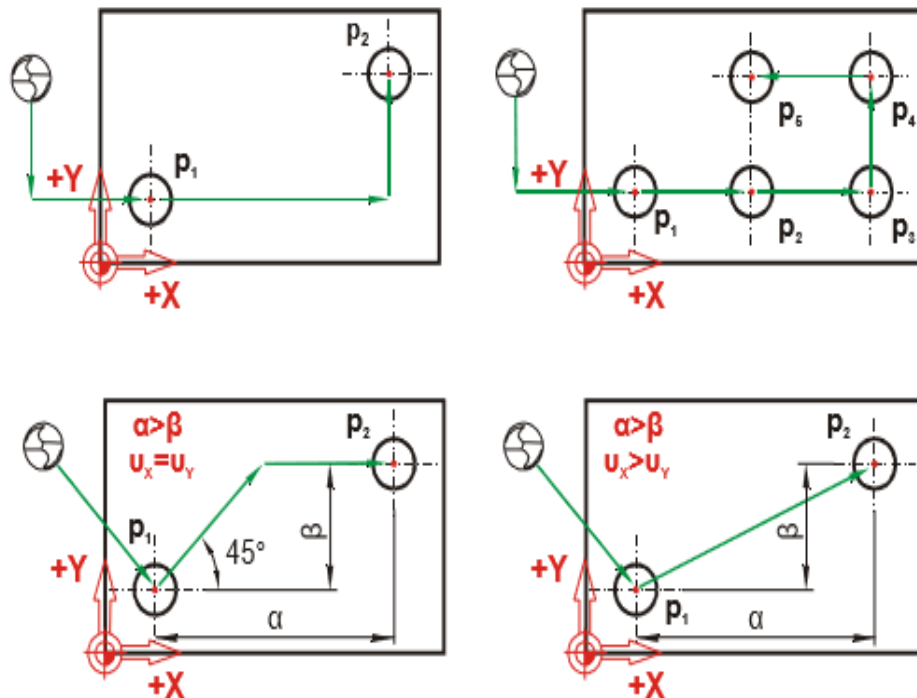
Στο σύστημα αυτό το κοπτικό εργαλείο κινείται με ταυτόχρονη ενεργοποίηση όλων των αξόνων κατεργασίας, ώστε κάθε άξονας να φθάσει στην προγραμματισμένη θέση. Κατά τη μετατόπιση από σημείο σε σημείο το κοπτικό εργαλείο δεν έχει επαφή με το τεμάχιο κατεργασίας. Η κατεργασία κοπής ξεκινάει μόνο, όταν το εργαλείο φτάσει στο προγραμματισμένο σημείο.

Παράδειγμα κατεργασίας με έλεγχο από σημείο σε σημείο (point to point positioning system), παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται προς την πρώτη θέση κατεργασίας, εκτελεί την κατεργασία και κατόπιν μετατοπίζεται διαδοχικά στις επόμενες θέσεις κατεργασίας. [8]



Σχήμα 5.1 : Πορεία κοπτικού εργαλείου σε σύστημα ελέγχου από σημείο σε σημείο.[5]

Κατά την καθοδήγηση με αυτή τη μέθοδο, κάθε άξονας κίνησης του εργαλείου ελέγχεται ανεξάρτητα. Για το λόγο αυτό, σε περίπτωση εκτέλεσης διαγώνιων μετακινήσεων, υπάρχουν δύο δυνατότητες εκτέλεσής τους, που ονομάζονται σειριακή και ταυτόχρονη αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 : Σειριακή και ταυτόχρονη μετατόπιση από σημείο σε σημείο. [4]

Εάν η μετατόπιση των αξόνων είναι σειριακή, τότε το εργαλείο θα μετακινηθεί κατά ένα άξονα σε ορθογώνια τροχιά και μόλις ολοκληρώσει αυτήν την κίνηση, θα μετακινηθεί διαδοχικά στους επόμενους άξονες. Το ποιος άξονας θα μετακινηθεί πρώτος το αποφασίζει το σύστημα ελέγχου. Στην περίπτωση ταυτόχρονης μετατόπισης οι άξονες μετακινούνται παράλληλα έτσι, ώστε το εργαλείο να εκτελέσει διαγώνια τροχιά. Εάν οι κινητήρες των αξόνων κινούνται με την ίδια ταχύτητα, η γωνία της κίνησης είναι 45° . Έτσι, το εργαλείο συμπληρώνει τη μικρότερη διάσταση κίνησης και μετά κινείται παράλληλα προς τον άξονα, κατά τον οποίο η μετατόπιση είχε μεγαλύτερο μήκος.

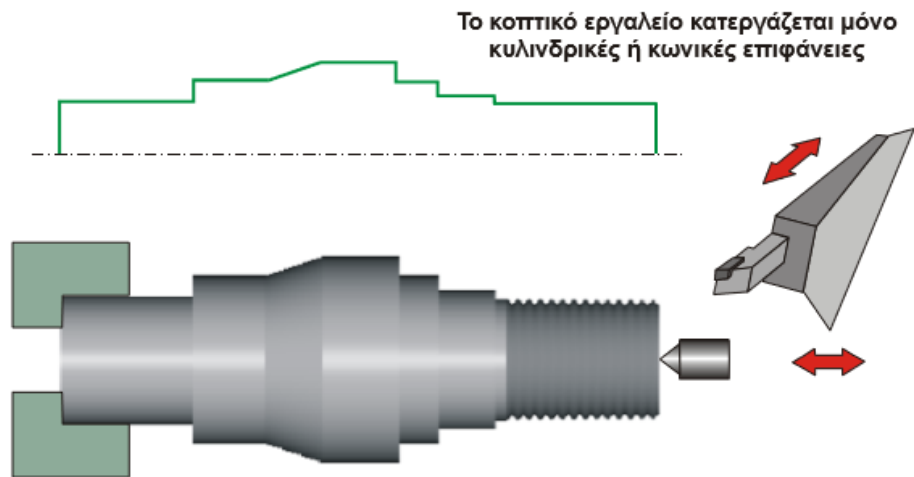
Αυτή η τεχνική ελέγχου είναι απλή και έχει μικρό κόστος κατασκευής, τόσο σε σχέση με τα μηχανικά όσο και τα ηλεκτρονικά μέρη της εργαλειομηχανής. Όμως, μπορεί να βρει περιορισμένο αριθμό εφαρμογών, όπως για παράδειγμα σε μηχανές διάτρησης, βηματικής απότμησης κ.λπ.. Στο σύστημα αυτό ελέγχου θέσης ενσωματώνονται επίσης και άλλες διαδικασίες ελέγχου, όπως είναι η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων, η ενεργοποίηση της ατράκτου και η έναρξη τροφοδοσίας σε λιπαντικό.[8], [11]

5.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΠΗΣ

Στον έλεγχο ευθύγραμμης κοπής οι άξονες καθοδηγούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην περίπτωση ελέγχου από σημείο σε σημείο, με τη διαφορά ότι κατά τη διάρκεια της μετατόπισης το εργαλείο εκτελεί κοπή. Στην περίπτωση αυτή ο κάθε άξονας μπορεί να κινείται με διαφορετική ταχύτητα, ώστε να είναι δυνατή η καθοδήγηση σε οποιαδήποτε διαγώνια τροχιά. Η αρχή αυτή καθοδήγησης φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Στην περίπτωση κατεργασίας τորναρίσματος, η μέθοδος αυτή μπορεί να παράγει κυλινδρικές και κωνικές επιφάνειες εκ περιστροφής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4. Υπάρχει και η απλουστευμένη εκδοχή του συστήματος αυτού, κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο μπορεί να εκτελέσει διαγώνια κατεργασία σε κλίση μόνο 45° . Η μέθοδος ελέγχου ευθύγραμμης κοπής έχει δυσανάλογο κόστος σε σχέση με τις δυνατότητες κατεργασίας που προσφέρει και δεν εφαρμόζεται σε σύγχρονες εργαλειομηχανές.



Σχήμα 5.3 : Πορεία κοπτικού εργαλείου σε σύστημα ελέγχου ευθύγραμμης κοπής.[5]



Σχήμα 5.4 : Δυνατότητες κατεργασίας σε τόρνο με σύστημα ελέγχου ευθύγραμμης κοπής.[5]

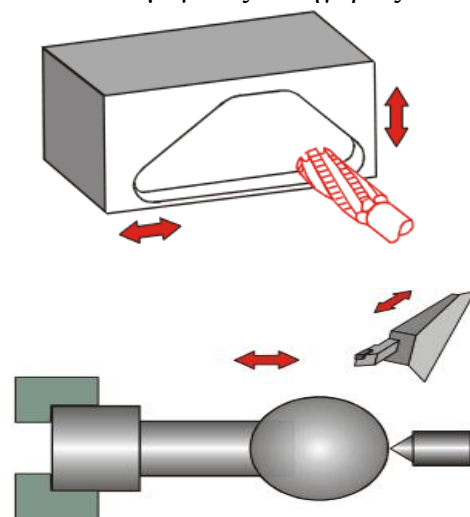
5.4.ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΚΟΠΗΣ

Τα συστήματα ελέγχου συνεχούς κοπής (continuous path control systems) είναι τα πιο σύγχρονα και ευέλικτα, αλλά και τα πιο πολύπλοκα. Ονομάζονται επίσης συστήματα τροχιακής καθοδήγησης (contouring systems) και προσφέρουν την ακριβή μεταφορά του κοπτικού εργαλείου σε οποιοδήποτε σημείο στο επίπεδο ή στο χώρο. Αυτό γίνεται, επειδή όλοι οι άξονες κατεργασίας καθοδηγούνται συνεχώς με ακρίβεια, ανεξάρτητα, αλλά σε πλήρη συντονισμό μεταξύ τους. Ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων που συμμετέχουν στην κατεργασία, τα συστήματα συνεχούς κοπής χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

✚ 1^η Κατηγορία:

Τα συστήματα συνεχούς κοπής σε δύο άξονες κατεργασίας, που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.5 για τις κατεργασίες τορναρίσματος και φρεζαρίσματος. Στην περίπτωση αυτή το κοπτικό εργαλείο μπορεί να μετακινηθεί, ακολουθώντας μία οποιαδήποτε τροχιά στο επίπεδο.

Η τροχιά αυτή μπορεί να περιέχει ευθύγραμμο, κυκλικό και συνθετότερα καμπύλο τμήματα. Στην περίπτωση κατεργασιών τόρνευσης, μπορούν να παραχθούν επιφάνειες εκ περιστροφής, που περιλαμβάνουν σφαιρικούς ή συνθετότερους ακόμα τομείς.

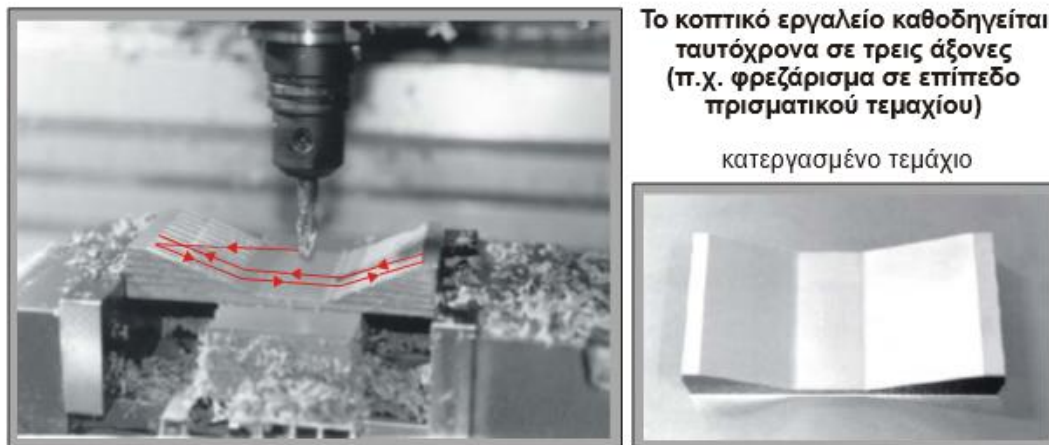


Σχήμα 5.5 : Δυνατότητες κατεργασίας σε φρέζα και τόρνο με σύστημα ελέγχου συνεχούς κοπής σε δύο άξονες κατεργασίας.[5]

✚ 2^η Κατηγορία

Τα συστήματα συνεχούς κοπής σε τρεις ή περισσότερους άξονες. Τυπική περίπτωση ελέγχου συνεχούς κοπής σε τρεις άξονες κατεργασίας φαίνεται στο Σχήμα 5.6 για κατεργασία

φρεζαρίσματος σύνθετης επιφάνειας. Στην περίπτωση αυτή, ανάλογα και με τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται, μπορούν να κατεργαστούν πολύ σύνθετες επιφάνειες και να παραχθούν πολύπλοκα τεμάχια. Τυπικές εφαρμογές αποτελούν τα περύγια των αεροστροβίλων, οι ανάγλυφες επιφάνειες κ.λπ..

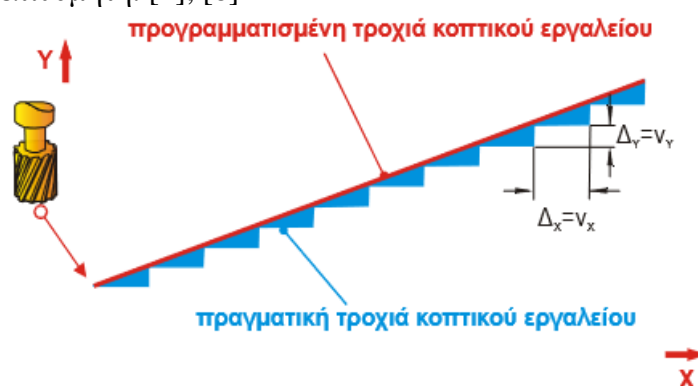


Σχήμα 5.6 : Δυνατότητες κατεργασίας σε φρέζα με σύστημα ελέγχου συνεχούς κοπής σε τρεις άξονες κατεργασίας. [5]

5.5.ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

Με τη γραμμική παρεμβολή ο άξονας της ατράκτου κινείται με στοιχειώδεις ορθογώνιες κινήσεις από την αρχή έως το τέλος της διαδρομής (Σχήμα 5.7). Η προγραμματιζόμενη ευθύγραμμη τροχιά διαιρείται σε ένα μεγάλο αριθμό ευθειών μικρού μήκους. Όσο περισσότερες είναι οι ευθείες αυτές, τόσο πιο πολύ προσεγγίζει η πραγματική τροχιά του εργαλείου την αντίστοιχη επιθυμητή. [2], [8]

Θεωρητικά, όλοι οι άξονες κατεργασίας είναι δυνατό να καθοδηγηθούν με γραμμική παρεμβολή. Έτσι, με τη χρήση γραμμικού παρεμβολέα, η μετακίνηση από μία θέση σε μία άλλη στο χώρο μπορεί να γίνει με ευκολία και με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η κατεργασία οποιασδήποτε επιφάνειας στο χώρο ή προφίλ στο επίπεδο.



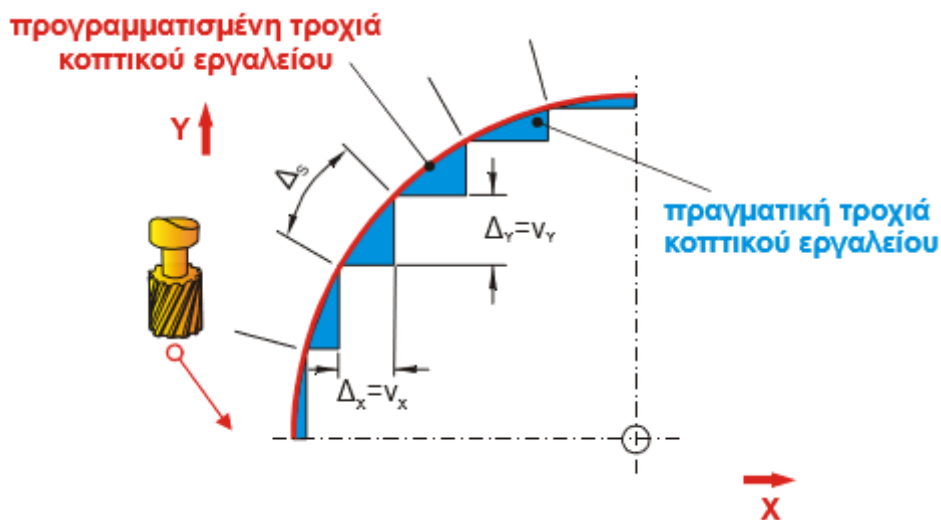
Σχήμα 5.7 : Γραμμική παρεμβολή. [5]

Όταν όμως απαιτείται πολύ καλή προσέγγιση για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης τροχιάς, ο αριθμός των ενδιάμεσων σημείων που πρέπει να καθορισθούν, οδηγεί σε ένα πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων υπολογισμού στον παρεμβολέα. Για το λόγο αυτό, παρά την αρχική μεγάλη διάδοση του γραμμικού παρεμβολέα στην ψηφιακή καθοδήγηση, σήμερα έχει αντικατασταθεί από πιο αποδοτικούς. [5]

5.6.ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

Αυτός ο τύπος της παρεμβολής περιορίζεται στο κύριο επίπεδο της επιφάνειας εργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση παρεμβολής είναι αδύνατη η συμμετοχή περιστροφικού άξονα κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης, για παρεμβολή στο χώρο, που απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση τριών ή περισσότερων αξόνων κατεργασίας, αυτός ο τρόπος παρεμβολής δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Όταν όμως σε κάποια τροχιά του κοπτικού εργαλείου, που ανήκει εντελώς σε κάποιο από τα επίπεδα XY, XZ ή YZ, περιέχονται κύκλοι, ημικύκλια ή τόξα, η παρεμβολή είναι κατά πολύ ευκολότερη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την περιγραφή της κίνησης απαιτούνται μόνο οι συντεταγμένες των άκρων του τόξου, η ακτίνα του και το κέντρο. Όλα τα ενδιάμεσα σημεία μετακίνησης του κοπτικού εργαλείου περιγράφονται από τις εξισώσεις της κυκλικής παρεμβολής, που βασίζεται σε γεωμετρικές σχέσεις όπως διακρίνονται στο Σχήμα 5.8. [5],[11]



Σχήμα 5.8 : Κυκλική παρεμβολή. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΡΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

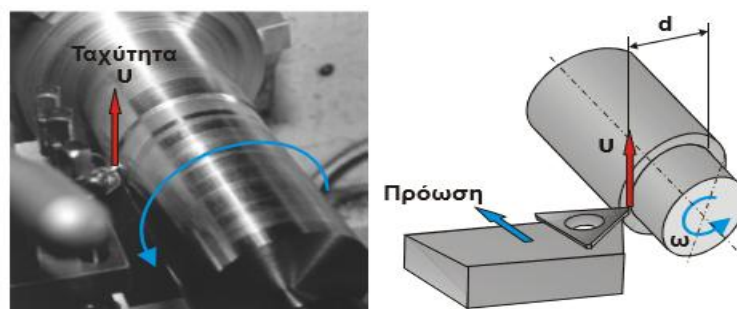
Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από τα σημαντικότερα υποσυστήματα των εργαλειομηχανών, καθώς όλες σχεδόν οι κινήσεις μετατόπισης και κοπής οδηγούνται από αυτούς. Η απόδοσή τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό, την ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών και την παραγωγικότητα των εργαλειομηχανών, που τους περιέχουν. Σήμερα οι NC, CNC οι DNC μηχανές περιέχουν, ως βασικό εξοπλισμό, ολόκληρα συστήματα σερβοκινητήρων (servomotors), που προσφέρουν διαρκή έλεγχο των παραμέτρων τους (ταχύτητα περιστροφής και αποδιδόμενη ισχύς).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο των προώσεων, όσο και των ταχυτήτων κοπής. Αποτελούνται από ηλεκτρικό κινητήρα είτε συνεχούς είτε εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μετρητής της ταχύτητας περιστροφής και μηχανισμός άμεσης πέδησης. Οι σερβοκινητήρες ενσωματώνουν ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας, ενώ μπορεί να περιλαμβάνουν και μηχανικά υποσυστήματα, όπως συμπλέκτες και μειωτήρες.

Οι απαιτήσεις για τους κινητήρες ενεργοποίησης των αξόνων κατεργασίας (κινητήρες προώσεων) είναι κατά πολύ διαφορετικές από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τις κύριες ατράκτους των εργαλειομηχανών. Επίσης, η σχεδιαστική φιλοσοφία διαφέρει από τύπο σε τύπο μηχανής, αφού, για παράδειγμα, η ταχύτητα κοπής σε λειαντική μηχανή είναι πολλαπλάσια από τις αντίστοιχες του φρεζαρίσματος και της τórνευσης. Πριν περιγραφούν οι εφαρμογές των διαφόρων τύπων κινητήρα στις εργαλειομηχανές, είναι σκόπιμο να δοθούν μερικά βασικά δεδομένα, που σχετίζονται γενικότερα με τις κατεργασίες. [3]

6.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει την ταχύτητα κοπής και επηρεάζεται από τον κινητήρα, είναι η γωνιακή ταχύτητα ω . Το μέγεθος αυτό προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η ταχύτητα κοπής, εκτός από τη γωνιακή ή την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα, εξαρτάται και από τη γεωμετρία της θέσης κοπής. [11]



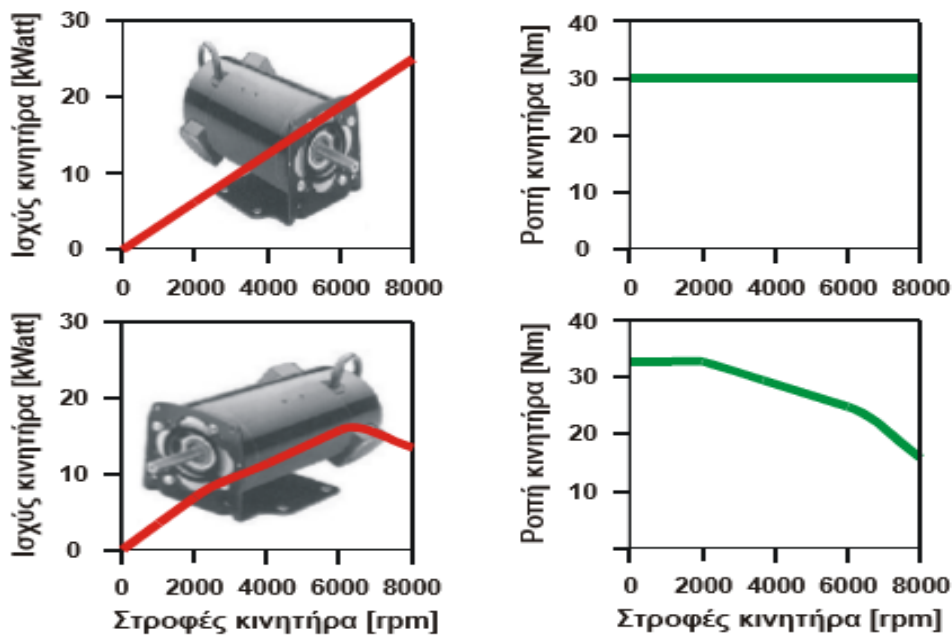
Σχήμα 6.1 : Ταχύτητα κοπής σε κατεργασία τórνευσης.[3]

Μία σημαντική παράμετρος των ηλεκτρικών κινητήρων είναι η αποδιδόμενη ισχύς P, η οποία μετριέται σε kWatt και σπανιότερα σε Hp. Σε όλες τις περιπτώσεις των κινητήρων δεν ενδιαφέρει τόσο η απόλυτη ισχύς, όσο η συσχετίσή της με τις στροφές, στις οποίες αποδίδεται αυτή η μέγιστη ισχύς. Επιπλέον, η ροπή στρέψεως ενός κινητήρα εκφράζει τη δυνατότητα υπερνίκησης μιας αντίστοιχης ροπής. Στην περίπτωση της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής, η ροπή που πρέπει να υπερνικηθεί, οφείλεται στην αντίσταση κοπής, δηλαδή στην κάθετη δύναμη κοπής.

Έτσι, ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατεργασία, επιλέγεται και ο αντίστοιχος κινητήρας, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά ροπής και ισχύος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση λειαντικής μηχανής που απαιτεί μεγάλη ταχύτητα και εμφανίζει μικρές δυνάμεις κοπής και ροπή αντίστασης, θα χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας, που αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του σε υψηλές στροφές. Σε αντίθετη περίπτωση, θα απαιτηθεί η προσθήκη πολλαπλασιαστή στροφών, που όμως αυξάνει το κόστος.

Οι βέλτιστοι σε απόδοση κινητήρες είναι αυτοί που εμφανίζουν σταθερή στρεπτική ροπή, σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας τους. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα να αυξάνεται, ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας (γραμμικά). Οι καμπύλες που παρουσιάζουν την αποδιδόμενη ισχύ και ροπή του κινητήρα, σε σχέση με τις στροφές του, ονομάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες. Στην περίπτωση αυτή, η αποδιδόμενη ροπή στρέψεως είναι σταθερή, σε σχέση με τις στροφές και το φαινόμενο αυτό συχνά ονομάζεται επίπεδη απόδοση ροπής.

Τέτοια περίπτωση φαίνεται στο πάνω μέρος του Σχήματος 6.2. Για παράδειγμα, ο συγκεκριμένος κινητήρας μπορεί να διπλασιάσει τις στροφές του, άρα και την ταχύτητα κοπής, χωρίς να χάσει σε ικανότητα υπερνίκησης της ροπής αντίστασης. Υπάρχουν όμως και κινητήρες που δεν έχουν τη συμπεριφορά αυτή, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του ίδιου Σχήματος. Στην περίπτωση αυτή, η ροπή του κινητήρα δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος των στροφών, γεγονός που δε βοηθάει τον ακριβή έλεγχο της κινητήριας ατράκτου. [3]

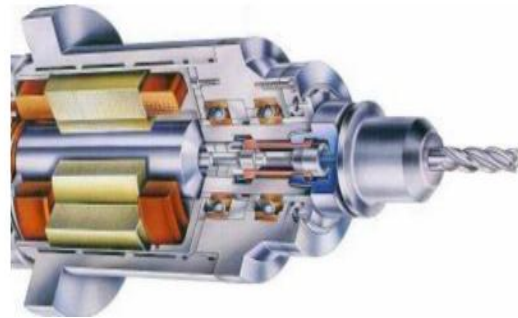


Σχήμα 6.2 : Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής. [3]

6.3. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΟΠΗΣ

Η ταχύτητα κοπής παράγεται από κάποια περιστροφική κίνηση που στην περίπτωση της τόννευσης την εκτελεί το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ενώ σχεδόν σε όλες τις άλλες κατεργασίες την εκτελεί το κοπτικό εργαλείο. Σε κάθε περίπτωση, η περιστροφική κίνηση δίδεται από την κινητήρια άτρακτο της εργαλειομηχανής. Η άτρακτος αυτή ενεργοποιείται άμεσα ή έμμεσα από κάποιου είδους ηλεκτρικό κινητήρα.

Ένας τέτοιος ηλεκτρικός κινητήρας ατράκτου σε τομή παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3, όπου οι άτρακτοι, εκτός από τον κινητήρα τους και τον εργαλειοδέτη, περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών και μηχανικών υποσυστημάτων. Χαρακτηριστικές ηλεκτρονικές ομάδες είναι οι ρυθμιστές του ρεύματος τροφοδοσίας, τα συστήματα προστασίας του κινητήρα, οι μετασχηματιστές κ.λπ.. [11]



Σχήμα 6.3: Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής. [3]

Τα μηχανικά συστήματα περιέχουν κιβώτια σταθερών ή διαρκώς μεταβαλλόμενων σχέσεων μετάδοσης και την πέδη της ατράκτου. Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών. [3]



Σχήμα 6.4: Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών. [3]

Στις κινητήριες ατράκτους εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων:

- *Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC drives):* Πρόκειται για κινητήρες εξωτερικής διέγερσης με αναστρεφόμενους πόλους και εξωτερικό κύκλωμα ψύξης, που χρησιμοποιούνται πολύ στις ατράκτους των εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι ο σχετικά απλός έλεγχος και το μικρό κόστος των ηλεκτρονικών τους. Αντίθετα, η χρήση ψηκτρών έχει ως συνέπεια την ανάγκη συχνής συντήρησής τους, ενώ σε πολύ χαμηλές ταχύτητες εμφανίζουν αστάθεια

(stall) και σε πολύ υψηλές υπάρχει ο περιορισμός των εναλλαγών των ψηκτρών του κινητήρα.

- *Τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες (Three phase asynchronous motors)*. Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατηγορία κινητήρων για ατράκτους εργαλειομηχανών. Επειδή η μεταφορά ισχύος γίνεται μέσω του φαινομένου της επαγωγής, οι κινητήρες αυτοί δε χρειάζονται συλλέκτες. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι ανάγκες συντήρησης των κινητήρων αυτών. Οι αρχικές δυσκολίες ελέγχου των κινητήρων αυτών και, ιδίως, της ρύθμισης των στροφών τους έχει σήμερα λυθεί με ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπών συχνότητας. [3],[5]

6.4. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΡΟΩΣΕΩΣ

Οι κινήσεις προώσεως των αξόνων μίας εργαλειομηχανής πρέπει γενικά να είναι μεγάλης ακρίβειας και να έχουν μικρές επιβραδύνσεις, λόγω τριβών. Οι μετατοπίσεις των αξόνων πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τα φορτία αντίδρασης, που είναι οι δυνάμεις τριβής και οι αδρανειακές δυνάμεις. Επίσης, οι κινήσεις προώσεως πρέπει να είναι σταθερές, καθώς απότομες αλλαγές και ταλαντωτικές κινήσεις είναι εντελώς απαράδεκτες, μια και επιδρούν δραστικά στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Παλιότερα, σε αρχικά στάδια εξέλιξης των εργαλειομηχανών CNC, για όλες τις κινήσεις των αξόνων υπήρχε ένας μόνο κινητήρας. Η κίνηση μεταδιδόταν στους διάφορους άξονες μέσω συμπλεκτών και πεδών. Αυτή η μέθοδος έχει σήμερα εγκαταλειφθεί και κάθε άξονας κατεργασίας ενεργοποιείται από το δικό του κινητήρα.

Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων των αξόνων είναι:

- ✓ Σταθερή ροπή στρέψης σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας των κινητήρων.
- ✓ Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής σε περίπτωση ταχείας κίνησης έως 6.000 rpm.
- ✓ Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak) τουλάχιστον τετραπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.
- ✓ Ονομαστική ισχύς έως 15 kWatt.

Στις κινήσεις προώσεων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων:

- *Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC feed drives)*: Οι κινητήρες αυτοί είναι αντίστοιχοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση των κινητήριων ατράκτων των εργαλειομηχανών. Είναι φυσικό να χρησιμοποιούνται κινητήρες με σαφώς μικρότερη ονομαστική ισχύ, σε σχέση με τις ατράκτους. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές λύσεις και, γενικά, οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται αρκετά στις κινήσεις προώσεων σε όλους τους άξονες κατεργασίας.
- *Τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες (Three phase synchronous motors)*: Σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα δε χρειάζονται εναλλάκτη ρεύματος, με αποτέλεσμα να μην έχουν ιδιαίτερα προβλήματα φθοράς, ενώ η απουσία συλλέκτη λύνει το πρόβλημα της καρβουνόσκονης. Επίσης, μπορούν να δώσουν τη μέγιστη ροπή τους ακόμα και κατά τη στιγμή της εκκίνησης, όταν δηλαδή ο ρότοράς τους δεν περιστρέφεται. Ακόμα για τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις αποδίδουν μεγαλύτερη ροπή, ενώ δεν έχουν προβλήματα υπερθέρμανσης. Για τους λόγους αυτούς, οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες είναι πολύ ελκυστικοί στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών.

- *Βηματικοί κινητήρες (stepping motor drives):* Οι βηματικοί κινητήρες ενεργοποιούνται με παλμούς, δηλαδή με ψηφιακό σήμα. Κάθε παλμός περιστρέφει την άτρακτο του κινητήρα ακριβώς κατά μία αυστηρά προκαθορισμένη γωνία. Έτσι δε χρειάζεται να μετατραπεί το ψηφιακό σήμα καθοδήγησης σε αναλογικό ρεύμα ενεργοποίησης, όπως συμβαίνει σε όλους τους άλλους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων. Επίσης, δε χρειάζονται σύστημα μέτρησης της θέσεως, αφού η ακρίβεια κίνησης είναι δεδομένη. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά θα έκαναν τους βηματικούς κινητήρες πολύ ελκυστικούς για ενεργοποίηση των ατράκτων προώσεων, εάν δεν είχαν κάποια μεγάλα μειονεκτήματα για τέτοιες εφαρμογές. Έτσι, οι συχνότητες βήματος είναι πολύ μικρές, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται μεγάλες προώσεις. Ακόμα, οι διαθέσιμες ροπές είναι πολύ χαμηλές, ενώ και η επιτάχυνση τους είναι πολύ αργή. Για τους λόγους αυτούς, οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στις εργαλειομηχανές.
- *Υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης (hydraulic feed drives):* Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, ενώ αργότερα αντικαταστάθηκε σχεδόν πλήρως από τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Όμως, τα τελευταία χρόνια, η βελτίωση των υδραυλικών κυλίνδρων είναι τόσο θεαματική, ώστε τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται αρκετά από τους σχεδιαστές εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των υδροστατικών μεταδόσεων κίνησης είναι το μικρό τους βάρος, οι μικρές διαστάσεις τους, η μεγάλη ισχύς τους, η απευθείας γραμμική κίνηση και οι μικρές απαιτήσεις σε ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης τους. [11]

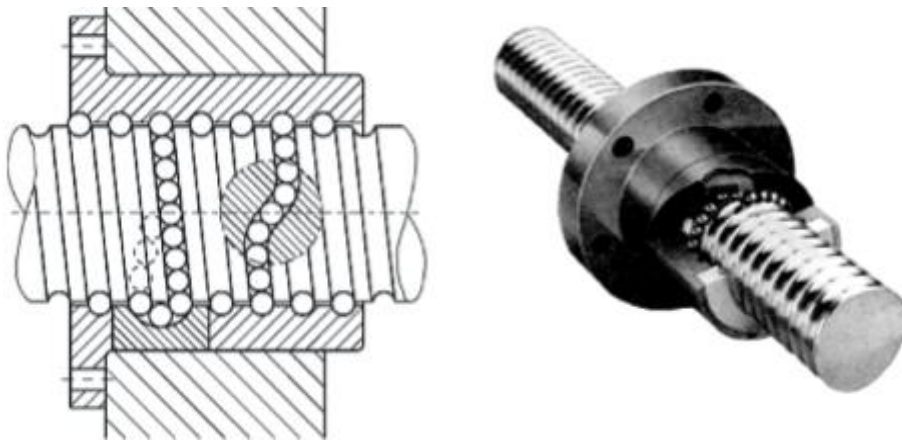
6.5. ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CNC ΤΟΡΝΟΥ

6.5.1. Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης στους άξονες κατεργασίας και έλεγχος πρόωσης

Οι μετακινήσεις κατά μήκος και γύρω από τους άξονες κατεργασίας εκτελούνται από τους αντίστοιχους κινητήρες προώσεων. Οι κινήσεις των κινητήρων αυτών ενεργοποιούνται από παλμούς, που ξεκινούν από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου και μετατρέπονται σε κινήσεις του τεμαχίου ή του κοπτικού εργαλείου. Ο τρόπος, όμως, που μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση των κινητήρων προώσεως σε γραμμικές μετατοπίσεις της τράπεζας της μηχανής, για παράδειγμα, δεν είναι απλή υπόθεση. Αντίθετα, πρέπει να καλύπτει ένα σύνολο απαιτήσεων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Για παράδειγμα, η ζητούμενη ακρίβεια μετακίνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την αξιοπιστία μιας εργαλειομηχανής. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατεργασίας μεγάλων και βαριών τεμαχίων, η επιτάχυνση και επιβράδυνση της μάζας του φορείου και του τεμαχίου και η δύναμη της αδράνειας μπορεί να είναι πολύ μεγάλη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετατροπής περιστροφικής κίνησης σε γραμμική είναι ο μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιρών, που φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Ο κινητήρας προώσεως είναι συνδεδεμένος με τον κοχλία κίνησης, που φαίνεται στο Σχήμα. Το σπείρωμα αυτού του κοχλία είναι σφαιρικό αντί για τριγωνικό, που χρησιμοποιείται στους κοινούς κοχλίες. Στη θέση επαφής του κοχλία κίνησης με την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο της μηχανής, υπάρχει ένα ειδικό περικόχλιο (παξιμάδι), που έχει το ίδιο σπείρωμα αλλά εσωτερικό. Ανάμεσα στον κοχλία και το περικόχλιο υπάρχουν σφαίρες κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό, με το οποίο κατασκευάζονται οι σφαίρες των ρουλεμάν, δηλαδή από βαμμένο

χάλυβα. Οι σφαίρες συμπιέζουν η μια την άλλη, ώστε να μην υπάρχουν διάκενα (τζόγος), που επηρεάζουν την ακρίβεια της μετατόπισης. Καθώς περιστρέφεται ο κοχλίας κίνησης, οι σφαίρες κινούνται έξω από το περικόχλιο και μπαίνουν σε ένα ειδικό κανάλι που τις μεταφέρει στο άλλο άκρο του περικοχλίου. Έτσι, υπάρχει μία ανακύκλωση των σφαιρών, που αναγκάζει το περικόχλιο και, άρα, και την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο να μετακινηθούν. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες μεταφοράς πάνω από 20 m/min με ακρίβεια της τάξης των 5 μm, σε όλο το μήκος μετατόπισης της τράπεζας. [3], [4]



Σχήμα 6.4 : Μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιρών που χρησιμοποιείται στην κίνηση των γραμμικών αξόνων κατεργασίας. [4]

6.5.2. Συστήματα τροφοδοσίας υγρού κοπής, πεπιεσμένου αέρα και απομάκρυνσης αποβλήτων

Όπως και στις κατεργασίες με συμβατικές μηχανές, έτσι και στην περίπτωση κοπής με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης απαιτείται η χρήση υγρού κοπής ή αέρα. Μάλιστα, επειδή οι κατεργασίες στις σύγχρονες μηχανές γίνονται με πολύ μεγάλες ταχύτητες κοπής, η χρήση υγρού κοπής για την προστασία του κοπτικού εργαλείου από πρόωρη φθορά είναι πολύ σημαντική.

Ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας, χρησιμοποιείται έλαιο κοπής ή σαπουνέλαιο. Για το λόγο αυτό, σχεδόν όλες οι εργαλειομηχανές CNC είναι εξοπλισμένες με ακροφύσια, που πετούν με πίεση το ψυκτικό υγρό στη θέση κοπής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2.

Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν ιδιαίτερα ακροφύσια για το λάδι κοπής, για το σαπουνέλαιο και για τον αέρα. Τα δύο πρώτα τροφοδοτούνται από δύο ξεχωριστά δοχεία, που βρίσκονται εντός της μηχανής, στα οποία και ανακυκλώνεται το υγρό κοπής κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Το ακροφύσιο του αέρα συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα του μηχανουργείου.



Εικόνα 6.2: Φρεζάρισμα με υγρό κοπής.[5]

Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής υγρού κοπής και πεπιεσμένου αέρα γίνεται χειροκίνητα από τον τεχνίτη, ο οποίος χρησιμοποιεί τους μικρούς διακόπτες των ακροφυσίων. Αντίθετα, στις εργαλειομηχανές CNC, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής προγραμματίζεται από το χειριστή της εργαλειομηχανής και ενεργοποιείται αυτόματα μέσω αντλιών, που παίρνουν εντολές από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σημαντικά η άσκοπη ανακύκλωση των υγρών κοπής. [2]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για να υπάρχει μόνιμη καθοδήγηση του υγρού κοπής ακριβώς στη θέση κατεργασίας, χρησιμοποιούνται ειδικά κοπτικά εργαλεία, όπως αυτό που φαίνεται στην εικόνα 6.3. Αντί το υγρό κοπής να ψεκάζεται από τα ακροφύσια, βγαίνει απευθείας από το κοπτικό εργαλείο από ειδικά κανάλια, που υπάρχουν τόσο στον εργαλειοδέτη, όσο και στο κοπτικό πλακίδιο. Με τον τρόπο αυτό, η θέση κοπής ψύχεται καλύτερα, ενώ απομακρύνονται ευκολότερα τα απόβλητα. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να διοχετευθεί και ο πεπιεσμένος αέρας.

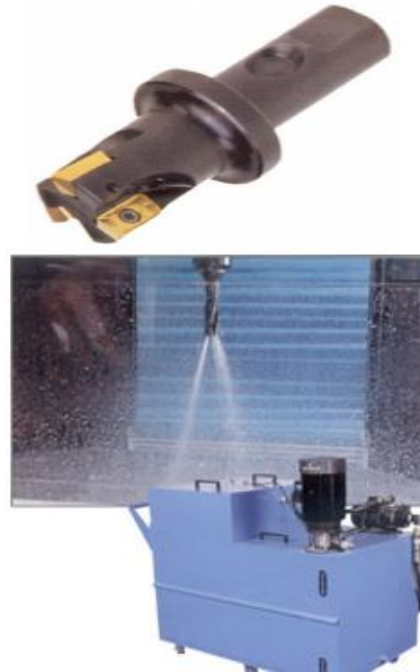
Πρέπει να σημειωθεί ότι, με την πάροδο του χρόνου, η τάση στη μηχανουργική τεχνολογία είναι να μειωθεί ή και να καταργηθεί η χρήση του υγρού κοπής. Η πρόβλεψη, ο σχεδιασμός και η έρευνα στην περιοχή αυτή εκτιμάται ότι θα περιορίσει τη χρήση των υγρών κοπής από το σημερινό επίπεδο σε ποσοστό κάτω του 30% έως το έτος 2015. [3]

Αυτή η προσπάθεια οφείλεται σε δύο λόγους:

- ✚ **1^{ος}**: Τα υγρά κοπής περιέχουν διάφορα πρόσθετα, τα οποία είναι επιβλαβή για το περιβάλλον και για τους εργαζόμενους. Έτσι, στα πλαίσια της νέας αντιμετώπισης της μόλυνσης του περιβάλλοντος, οι διάφοροι οργανισμοί επενδύουν μεγάλα ποσά στην εξέλιξη υλικών κοπτικών εργαλείων, που δε χρειάζονται υγρό κοπής. Αντί αυτού, χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας, που δεν προκαλεί καμία επιπλέον μόλυνση.
- ✚ **2^{ος}** : Τα απόβλητα που παράγονται με κατεργασίες, που χρησιμοποιούν υγρά κοπής, είναι ακάθαρτα και λαδωμένα. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα στην ανακύκλωσή τους σε χυτήρια παραγωγής πρώτης ύλης και μειώνει την ποιότητα του νέου χάλυβα. Για τους λόγους αυτούς τα λαδωμένα απόβλητα πωλούνται από τα μηχανουργεία στα χυτήρια δυσκολότερα και πολύ φθηνότερα.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που έχουν τα μηχανουργεία που περιέχουν εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, είναι η απομάκρυνση των αποβλήτων και ο καθαρισμός της εργαλειομηχανής. Ακόμα και στις συμβατικές εργαλειομηχανές, οι τεχνίτες αφιερώνουν ένα σημαντικό μέρος του χρόνου εργασίας τους στην απομάκρυνση των αποβλήτων. Στη διάρκεια του χρόνου αυτού, η εργαλειομηχανή παραμένει εκτός λειτουργίας, κυρίως για λόγους ασφάλειας.

Το πρόβλημα είναι ακόμα μεγαλύτερο στις μη συμβατικές εργαλειομηχανές, αφού, λόγω της απόδοσής τους, παράγουν πολλαπλάσιο όγκο αποβλήτων ανά ημέρα. Επίσης, το κόστος ακινησίας στις εργαλειομηχανές CNC είναι υψηλότερο, σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Για τους λόγους αυτούς, πολλοί κατασκευαστές εξοπλίζουν τις



Εικόνα 6.3: Απευθείας παροχή υγρού κοπής στη θέση κοπής.[4]

εργαλειομηχανές τους με συστήματα αυτόματης απομάκρυνσης των αποβλήτων (chip conveyors) Οι διατάξεις αυτές συλλέγουν τα απόβλητα κατά τη διάρκεια της κοπής και τα οδηγούν σε ειδικά βαρέλια, που δίνονται για ανακύκλωση. [4]

6.6.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

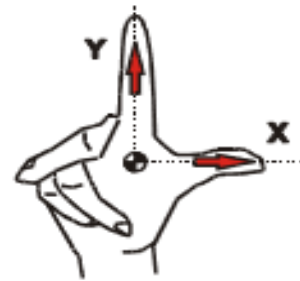
6.6.1. Καρτεσιανές Συνταγμένες

Το πιο απλό από τα συστήματα συντεταγμένων ορίζεται από δύο ορθογώνιους άξονες, που τέμνονται σε ένα σημείο, το οποίο ονομάζεται αρχή των αξόνων. Αυτό είναι το γνωστό από τα μαθηματικά καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο επίπεδο και ονομάστηκε έτσι προς τιμή του Καρτέσιου, που το επινόησε.

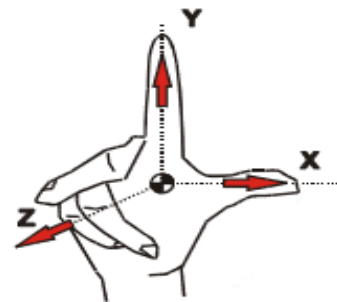
Σε ένα τέτοιο σύστημα, ο άξονας X ή άξονας των τετμημένων ορίζεται από τον αντίχειρα του δεξιού χεριού, ενώ ο άξονας Y ή άξονας των τεταγμένων ορίζεται από το δείκτη, όταν τα δύο αυτά δάκτυλα τοποθετηθούν σε κοινή ευθεία Σχήμα 6.5.

Για να περιγραφεί η θέση ενός σημείου στο επίπεδο, όταν έχει ορισθεί ένα σύστημα συντεταγμένων, είναι απαραίτητες τόσο η τετμημένη X, όσο και η τεταγμένη Y. Αντίστοιχα, για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου στο χώρο, απαιτείται ακόμα μία τρίτη διάσταση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ακόμα ένας άξονας Z ο οποίος περνάει από την αρχή του επίπεδου συστήματος συντεταγμένων και τέμνει κάθετα τους δύο άλλους (X,Y).

Οι θετικές κατευθύνσεις των αξόνων ορίζονται με μεγάλη ευκολία, χρησιμοποιώντας τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού, όπως δείχνει το Σχήμα 6.6. Η θετική κατεύθυνση του άξονα Z ορίζεται από την κατεύθυνση, που δείχνει το μεσαίο δάκτυλο του δεξιού χεριού. Το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται με αυτόν τον τρόπο, ονομάζεται δεξιόστροφο. [2]



Σχήμα 6.5:Κανόνας δεξιού χεριού για δύο άξονες(στο επίπεδο). [30]



Σχήμα 6.6: Κανόνας δεξιού χεριού για τρεις άξονες (στο χώρο). [30]

6.6.2. Πολικές Συντεταγμένες

Σε αρκετές περιπτώσεις, η θέση ενός σημείου ή η γεωμετρία ενός τεμαχίου είναι δύσκολο να περιγραφούν με χρήση καρτεσιανών συντεταγμένων. Για παράδειγμα, η περιγραφή των άκρων ενός τόξου κύκλου στο επίπεδο, χρειάζεται τριγωνομετρικές σχέσεις. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται το πολικό σύστημα συντεταγμένων.

Οι πολικές συντεταγμένες επεκτείνονται στο χώρο με τις σφαιρικές και τις κυλινδρικές συντεταγμένες. Τα συστήματα αυτά δίνουν μεγάλη ευελιξία στην περιγραφή

τεμαχίων, που προκύπτουν από περιστροφή κάποιας γραμμής στο χώρο (τεμάχια εκ περιστροφής). Στην περίπτωση όμως της ψηφιακής καθοδήγησης, σπάνια προσφέρουν ευκολίες στον προγραμματιστή και γενικά δεν χρησιμοποιούνται. [2],[3]

6.6.3. Απόλυτες και σχετικές συντεταγμένες

Τα γεωμετρικά δεδομένα ενός τεμαχίου, που πρόκειται να υποστεί κατεργασία, μπορούν να οριστούν με δύο τρόπους, άσχετα αν χρησιμοποιούνται καρτεσιανές ή πολικές συντεταγμένες. Πρόκειται για τον απόλυτο και το σχετικό τρόπο προσδιορισμού θέσης σημείων στο επίπεδο ή στο χώρο. Και οι δύο τρόποι είναι μεταξύ τους ισότιμοι, με την έννοια ότι, όποιος από τους δύο κι αν χρησιμοποιηθεί, το αποτέλεσμα της περιγραφής της θέσης θα είναι το ίδιο.

Στην περίπτωση προσδιορισμού θέσης με τον απόλυτο τρόπο, οι συντεταγμένες κάθε σημείου δίνονται σε σχέση με την αρχή των αξόνων, που έχει οριστεί. Με τον τρόπο αυτό, κάθε σημείο είναι διαφορετική οντότητα και η περιγραφή του δε σχετίζεται με κανένα άλλο σημείο, εκτός από το μηδενικό (την αρχή του συστήματος συντεταγμένων). Έτσι, στην ψηφιακή καθοδήγηση, υπάρχει η δυνατότητα διακοπής και επανάληψης της κοπής σε κάποια γνωστή θέση, χωρίς να είναι αναγκαία η επανεκτέλεση όλου του προγράμματος.

Στο δεύτερο τρόπο, με τη χρήση δηλαδή των σχετικών συντεταγμένων, η περιγραφή της θέσης ενός σημείου γίνεται πάντα με αναφορά στο προηγούμενο σημείο. Για να μεταφερθεί δηλαδή στη νέα θέση το κοπτικό εργαλείο, πρέπει η κίνηση να γίνει σε σχέση με τη θέση που αυτό βρισκόταν πριν. Η μέθοδος αυτή έχει ένα βασικό μειονέκτημα, εάν η κατεργασία διακοπεί, για παράδειγμα, λόγω βλάβης του ηλεκτρικού δικτύου, δεν μπορεί να ξεκινήσει πάλι από την ίδια θέση, αφού αυτή είναι ορισμένη σε σχέση με κάποια προηγούμενη θέση, που δεν είναι πια γνωστή. Όμως η μέθοδος αυτή έχει άλλες ευκολίες ελέγχου και αντιγραφής, που την κάνουν σε αρκετές περιπτώσεις ελκυστική στους προγραμματιστές. [2]

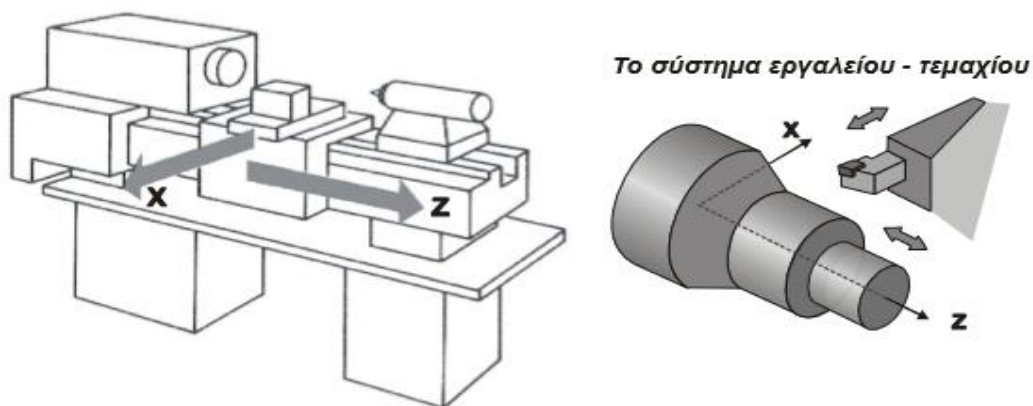
6.6.4. Συστήματα συντεταγμένων σε τόνους ψηφιακής καθοδήγησης

Στους τόνους συνήθως παράγονται τεμάχια εκ περιστροφής, που έχουν άξονα συμμετρίας. Η αρχή λειτουργίας της τόννευσης ταυτίζει τον άξονα συμμετρίας του τεμαχίου με τον άξονα της ατράκτου πρόσδεσης του τεμαχίου. Το τεμάχιο περιστρέφεται γύρω από τη νοητή αυτή ευθεία συμμετρίας, ενώ δε μετακινείται καθόλου ως προς αυτήν. Αντίθετα, το κοπτικό εργαλείο μπορεί να εκτελέσει δύο κάθετες μεταξύ τους κινήσεις ως προς το τεμάχιο, ακριβώς όπως στους συμβατικούς τόνους. Για το λόγο αυτό, στην τόννευση σε εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, αρκεί η χρήση επίπεδων συστημάτων συντεταγμένων και μάλιστα καρτεσιανών.

Το εργαλειοφορείο μπορεί να εκτελέσει κινήσεις:

- ❖ **Κάθετα**, ως προς την άτρακτο περιστροφής της μηχανής και, συνεπώς, στην ακτινική διεύθυνση του τεμαχίου. Η διεύθυνση της κίνησης αυτής καθορίζει και τη διεύθυνση του άξονα X της κατεργασίας. Ως θετική κατεύθυνση X ορίζεται, τις περισσότερες φορές, αυτή που ξεκινάει από τον άξονα τόννευσης και καταλήγει στη θέση του κοπτικού εργαλείου.

- ❖ **Παράλληλα**, ως προς την άτρακτο περιστροφής της μηχανής και, συνεπώς, στην κατά μήκος (αξονική) διεύθυνση του τεμαχίου. Η διεύθυνση της κίνησης αυτής καθορίζει και τη διεύθυνση του άξονα Z της κατεργασίας. Ο άξονας Z συνήθίζεται για λόγους ευκολίας του προγραμματισμού να ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής του τόννου ενώ ως θετική κατεύθυνση ορίζεται, τις περισσότερες φορές, αυτή που ξεκινάει από το συγκρατητή (τσοκ) και καταλήγει στον κεντροφορέα (κουκουβάγια).[2]



Σχήμα 6.7: Σύστημα συντεταγμένων σε τόννο ψηφιακής καθοδήγησης. [2]

6.6.5. Χαρακτηριστικά γεωμετρικά σημεία σε τόννους ψηφιακής καθοδήγησης

Σε κάθε εργαλειομηχανή και κατεργασία ψηφιακής καθοδήγησης, ορίζονται χαρακτηριστικά σημεία, ενώ όλες οι διαστάσεις των τεμαχίων που πρόκειται να κατεργαστούν, προγραμματίζονται σε σχέση με αυτά. Τα μηδενικά σημεία είναι, λοιπόν, αρχές συστημάτων συντεταγμένων. Η χρήση αυτών των σημείων επιτρέπει τη μονοσήμαντη επικοινωνία του προγραμματιστή με την εργαλειομηχανή. Για το λόγο αυτό, η γνώση, η κατανόηση και η χρήση των σημείων αυτών είναι από τις πιο βασικές παραμέτρους στον αριθμητικό έλεγχο των εργαλειομηχανών.

Το μηδενικό σημείο M μιας εργαλειομηχανής είναι ένα και μοναδικό, καθορίζεται από τον κατασκευαστή της και η θέση του βρίσκεται καταχωρημένη στη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Το σημείο αυτό καθορίζει την αρχή του συστήματος συντεταγμένων της μηχανής, που και αυτό είναι ένα και μοναδικό και δεν μπορεί να μεταφερθεί αλλού. Συνήθως, όταν η μηχανή τίθεται σε λειτουργία, όλοι οι άξονες κατεργασίας μετακινούνται αυτόματα προς αυτό. Μάλιστα, στις σύγχρονες εργαλειομηχανές, η κίνηση αυτή πραγματοποιείται με τέτοια σειρά, ώστε να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις (λογική τοποθέτησης - positioning logic). Η θέση, λοιπόν, του μηδενικού σημείου σε τόννους είναι συνήθως στη θέση που τέμνεται ο άξονας της ατράκτου με τη μετωπική επιφάνεια του πλατώ, Σημείο M.

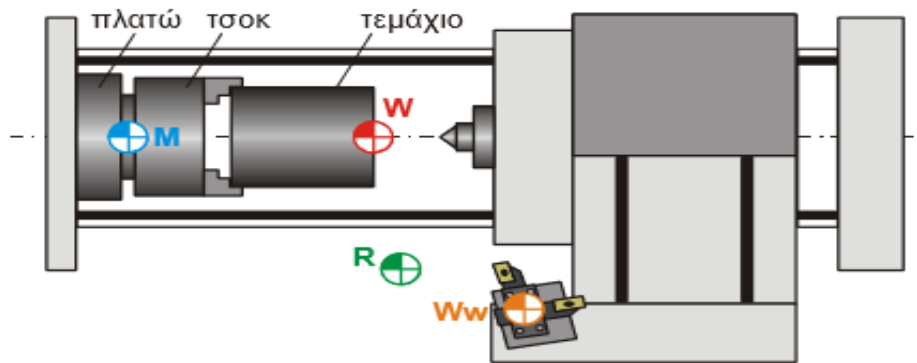
Πολλές φορές, η χρήση των μηδενικών σημείων της μηχανής δεν είναι βολική για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης κατεργασίας. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι σε εργαλειομηχανές μεγάλου ή πολύ μεγάλου μεγέθους, μεταφορά του κοπτικού εργαλείου στο μηδενικό σημείο της μηχανής απαιτεί απαράδεκτα μεγάλο χρόνο. Επιπλέον, όταν το κατεργαζόμενο τεμάχιο ή η ιδιοσυσκευή συγκράτησής του έχει τέτοια διαμόρφωση που να μην επιτρέπει τη μετάβαση στο μηδενικό σημείο της εργαλειομηχανής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην προαναφερόμενη περίπτωση θα πρέπει να επιλεγεί ένα πιο κατάλληλο σημείο, το οποίο θα παίζει το ρόλο του μηδενικού σημείου της μηχανής,

για τη συγκεκριμένη περίπτωση κατεργασίας. Το σημείο αυτό ονομάζεται «σημείο αναφοράς» της εργαλειομηχανής και συμβολίζεται με R. Σε αυτήν την περίπτωση, η επαναφορά, από το χειριστή, της μηχανής στο μηδενικό σημείο της εργαλειομηχανής θα οδηγήσει το κοπτικό εργαλείο στο σημείο αναφοράς της. Αυτό θα γίνεται, μέχρι ο χειριστής να ακυρώσει την ύπαρξη αυτού του σημείου.

Άλλο τυπικό σημείο, το οποίο συναντάται στην περίπτωση εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι το σημείο αλλαγής του κοπτικού εργαλείου, που συμβολίζεται με Ww. Στην περίπτωση αυτόματης αλλαγής του εργαλείου, η θέση αυτή είναι προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή και βρίσκεται κοντά στο σύστημα ή τα συστήματα αλλαγής, που έχει η εργαλειομηχανή.

Στην περίπτωση που η αλλαγή του εργαλείου γίνεται από το χειριστή της εργαλειομηχανής χειροκίνητα, η θέση αλλαγής ορίζεται σε κάποια απόσταση από το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ώστε να του αφήσει διαθέσιμο χώρο. Η απόσταση αυτή πρέπει να είναι αρκετή, ώστε ο τεχνίτης να έχει χώρο αλλαγής, αλλά όχι πολύ μεγάλη, ώστε να απαιτεί πολύ χρόνο μετακίνησης από το τεμάχιο στο σημείο αλλαγής. Επίσης, πρέπει να οριστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε κατά τη μετάβαση σε αυτή να μην υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με το κατεργαζόμενο τεμάχιο.



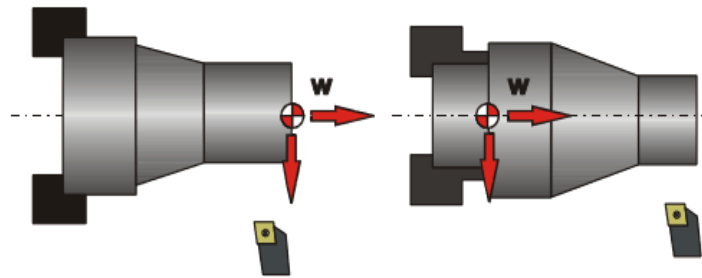
Σχήμα 6.8: Θέση χαρακτηριστικών σημείων σε τόνρους ψηφιακής καθοδήγησης.[2]

Το μηδενικό σημείο του προγράμματος, που συμβολίζεται με P, ορίζει τη θέση, που πρέπει να έχει το εργαλείο κατά την εκκίνηση του προγράμματος, δηλαδή την αρχή της κατεργασίας. Χρησιμοποιείται κυρίως, για να ορίσει τη θέση, που πρέπει να έχει το κοπτικό εργαλείο, όταν δένεται ένα νέο τεμάχιο.

Τέλος, το μηδενικό σημείο W του κατεργαζόμενου τεμαχίου είναι η αρχή του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου και ίσως το σημαντικότερο από όλα τα προαναφερόμενα σημεία, μια και ο σωστός καθορισμός του έχει άμεση επίδραση στη διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής του προϊόντος. Η θέση αυτού του σημείου καθορίζεται από το χειριστή της μηχανής, ανάλογα με τη μορφή του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Η επιλογή του μηδενικού σημείου του τεμαχίου έχει πολύ μεγάλη σημασία, όπως αναφέρθηκε, αφού η εκλογή κατάλληλης θέσης μπορεί να απλοποιήσει πάρα πολύ τον προγραμματισμό των κινήσεων, δηλαδή την καθοδήγηση του εργαλείου.

Ο σκοπός, σε αυτήν την περίπτωση, είναι οι έτοιμες διαστάσεις του τεμαχίου από το Μηχανολογικό σχέδιο να αποτελούν συντεταγμένες των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου, ώστε ο προγραμματισμός των κινήσεων να γίνεται εύκολα. Γενικά πάντως, προτιμάται η γωνία του τεμαχίου, που βρίσκεται πιο κοντά στο χειριστή, από τη μεριά που χειρίζεται την εργαλειομηχανή, μια και από εκεί έχει καλύτερη οπτική γωνία, για να πραγματοποιήσει τον

καθορισμό του μηδενικού σημείου. Στο Σχήμα 6.9, το μηδενικό σημείο τονριστού τεμαχίου ορίζεται στη θέση που ο άξονας του τεμαχίου τέμνεται από το αριστερό ή το δεξιό πρόσωπο του τεμαχίου. [2]



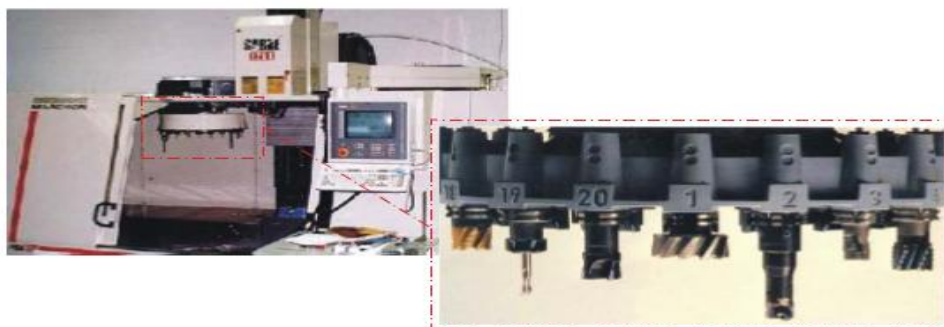
Σχήμα 6.9: Κατάλληλες θέσεις μηδενικού σημείου κατεργαζόμενου τεμαχίου στην τórνευση. [5]

6.7.ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ CNC ΤΟΡΝΟ

6.7.1. Συστήματα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων και τύποι εργαλειοφορείων αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων

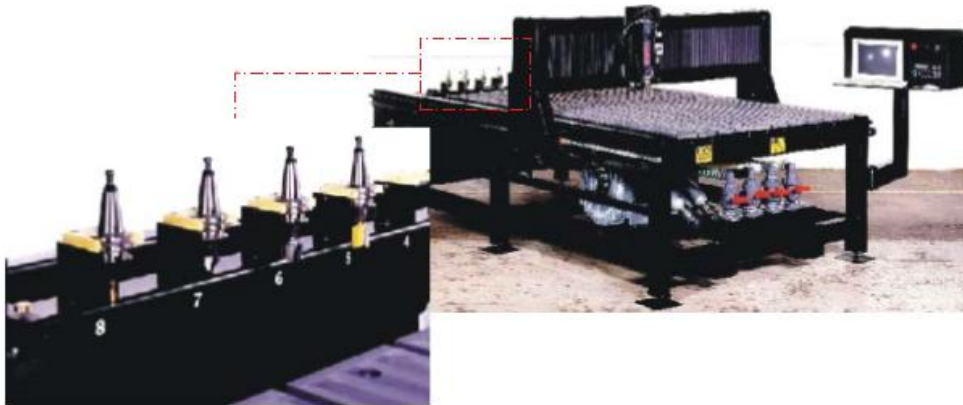
Οι εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης που ενσωματώνουν συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων, ονομάζονται γενικά κέντρα κατεργασίας. Τα συστήματα αυτά λύνουν πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την αλλαγή και τη διαχείριση των κοπτικών εργαλείων. Μάλιστα, πρέπει να αναφερθεί ότι συστήματα μηχανικής εναλλαγής κοπτικών εργαλείων υπήρχαν ήδη, από την εποχή που δεν είχαν ακόμα εισαχθεί οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση. Έτσι, ήταν αρκετά συνηθισμένο να βλέπει κανείς τórνους και εργαλειομηχανές διάτρησης με μηχανικά συστήματα εναλλαγής, έως και οκτώ εργαλείων.

Τα συστήματα αυτόματης αλλαγής εργαλείων στις σημερινές εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου MCU, σύμφωνα με τις οδηγίες του προγράμματος ελέγχου. Τα εργαλεία αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμα από τους πύργους εργαλείων (tool turrets), που στην απλούστερη μορφή τους περιέχουν έως 20 κοπτικά εργαλεία όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.4.



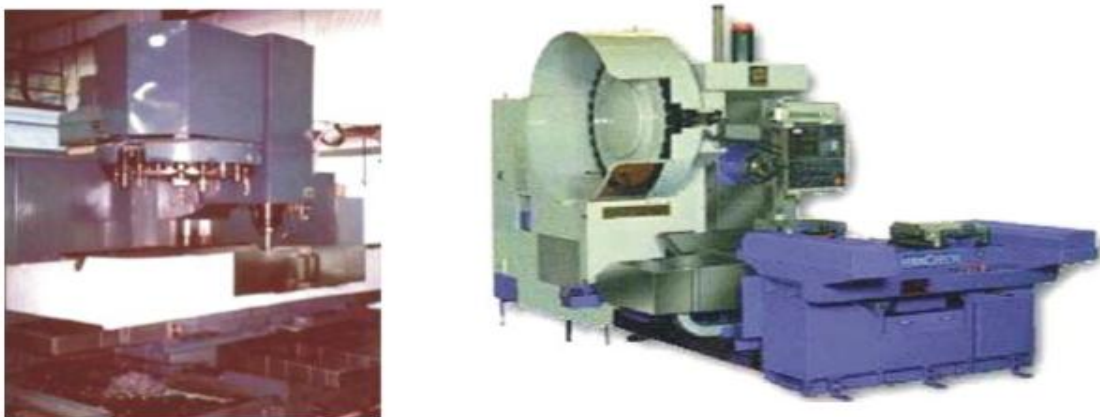
Εικόνα 6.4: Πύργος αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων (φρέζα). [5]

Τους επιμήκεις φορείς στους οποίους τα εργαλεία είναι τοποθετημένα σε μία γραμμική τοποθέτηση μέσα στο σύστημα εναλλαγής (Εικόνα 6.6). Πρόκειται για την πιο απλή διάταξη αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων αλλά, σε περίπτωση μεγάλου αριθμού εργαλείων, υπάρχουν περιορισμοί στο μήκος του συστήματος. Επίσης, η εύρεση του κάθε κοπτικού εργαλείου είναι υπόθεση μόνο μίας διάστασης, δηλαδή του μήκους του συστήματος.



Εικόνα 6.5: Επιμήκης φορέας αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων κέντρου κατεργασίας φρεζαρίσματος. [5]

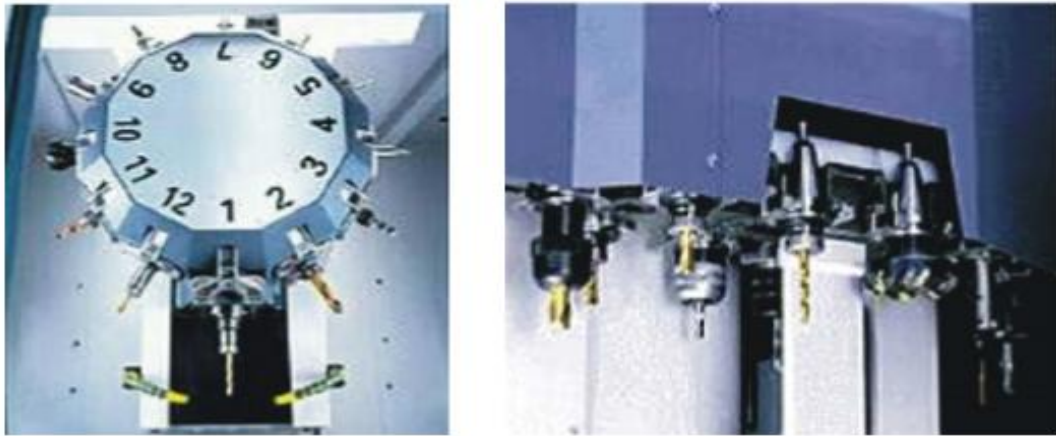
Τους δισκοειδείς φορείς, οι οποίοι, ανάλογα με το είδος και το σχεδιασμό της εργαλειομηχανής, μπορεί να τοποθετούνται μπροστά, πίσω ή και πλευρικά της κύριας ατράκτου κατεργασίας (Εικόνα 6.6). Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίσης τύπου ρεβόλβερ. Πρόκειται για σχετικά απλή διάταξη αλλά, όσο μεγαλώνει ο αριθμός των κοπτικών εργαλείων, τόσο αυξάνει και η διάμετρος του δίσκου. Η εύρεση κάθε κοπτικού εργαλείου είναι συνάρτηση της γωνίας περιστροφής του δίσκου.



Εικόνα 6.6: Δισκοειδείς φορείς αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων. [4]

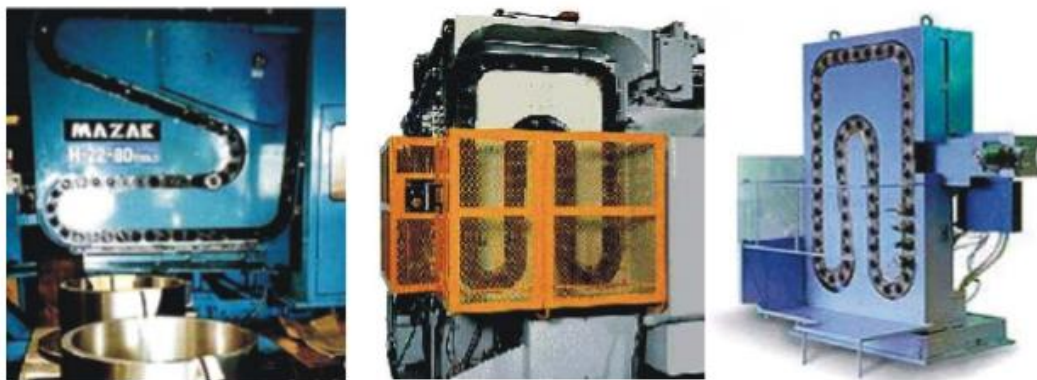
Τους φορείς τύπου καρουσέλ, στους οποίους τα εργαλεία είναι σε κάποια απόσταση από τον ορθοστάτη της ατράκτου (Εικόνα 6.7). Με τον τρόπο αυτόν, οι κραδασμοί από την κίνηση του εργαλειοφορείου δεν επηρεάζουν την ποιότητα κατεργασίας της

εργαλειομηχανής. Επειδή τα κοπτικά εργαλεία εκτείνονται έξω από το φορέα, η εργαλειομηχανή πρέπει να έχει τον απαιτούμενο χώρο, για να χωράει το εργαλειοφορείο.



Εικόνα 6.7: Φορέας αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων τύπου καρουσέλ. [4]

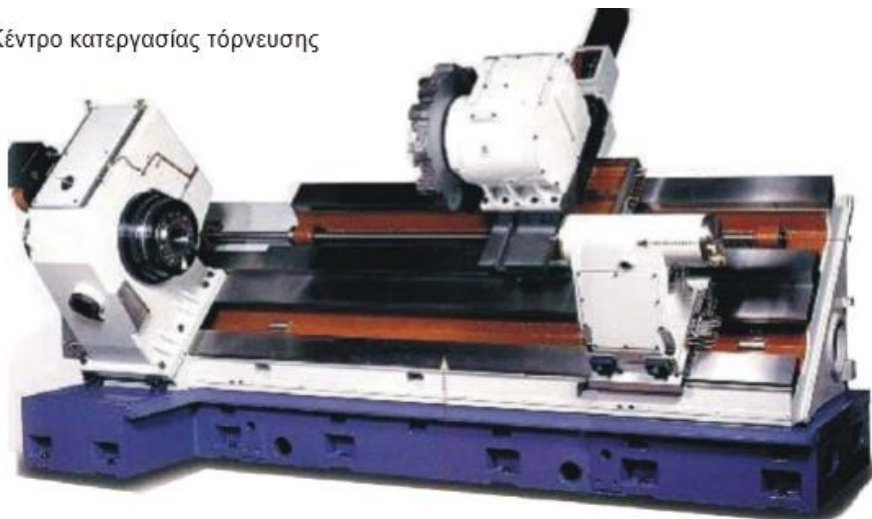
Τους φορείς τύπου μιάντα, οι οποίοι μάλιστα έχουν και τη μεγαλύτερη χωρητικότητα. Τοποθετούνται σε μία πλευρά ή πάνω στην εργαλειομηχανή και μπορούν να επιμηκυνθούν ανάλογα με τις συνθήκες και τον αριθμό των κοπτικών εργαλείων. Λόγω της κατασκευής τους μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα και με τον τρόπο αυτό διευκολύνουν τους σχεδιαστές των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση.



Εικόνα 6.8: Φορείς αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων τύπου μιάντα σε κέντρα κατεργασίας φρεζαρίσματος. [4]

Τα παραπάνω συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων τοποθετούνται επίσης σε κέντρα κατεργασίας τόνρευσης (Εικόνα 6.9). Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται κατακόρυφα η παραγωγικότητα αυτών των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, αφού κατεργασίες, όπως η εκχόνδριση, η σπειρωτόμηση, η απότμηση, η διάνοιξη οπών κ.λπ., γίνονται χωρίς την παύση του προγράμματος κατεργασίας.

Κέντρο κατεργασίας τórνευσης



Εικόνα 6.9: Συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων σε κέντρο τórνευσης. [4]

6.7.2. Μηχανισμοί αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων

Τα εργαλεία εναλλάσσονται στην άτρακτο της εργαλειομηχανής με τη βοήθεια ειδικών μηχανισμών, οι οποίοι επίσης καθοδηγούνται από την κεντρική μονάδα ελέγχου MCU. Τόσο οι μηχανισμοί, όσο και οι φορείς των εργαλείων, μπορεί να αποτελούν τμήμα της εργαλειομηχανής ή να είναι ανεξάρτητα συστήματα, που συνεργάζονται με αυτήν. Στη δεύτερη περίπτωση ανήκουν φορείς και μηχανισμοί που ενσωματώνονται κυρίως σε ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS).

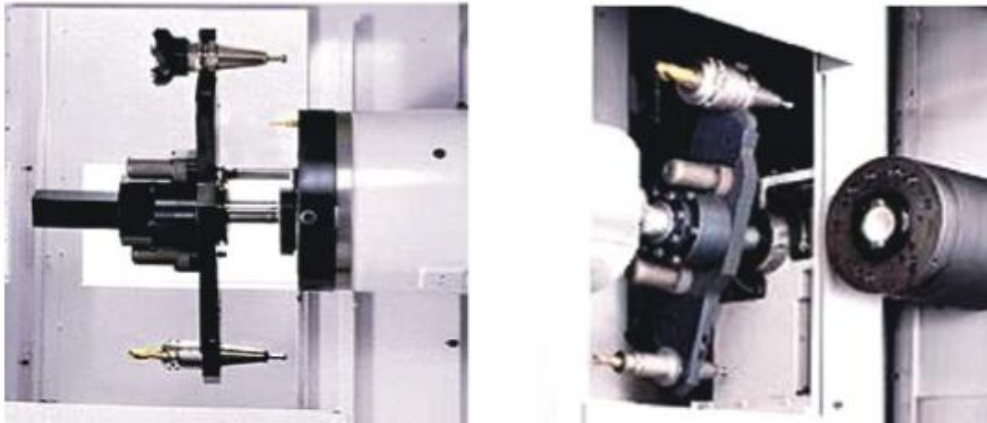
Σε κάθε περίπτωση, τα συστήματα αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι γρήγορα, ακριβή και αξιόπιστα. Η αυτόματη αυτή εναλλαγή των κοπτικών εργαλείων περιέχει γενικά τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμός του επόμενου εργαλείου, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, και μετακίνηση του φορέα στη θέση εναλλαγής.
- Απασφάλιση και απομάκρυνση του χρησιμοποιημένου κοπτικού εργαλείου από την άτρακτο κοπής ή από το εργαλειοφορείο.
- Τοποθέτηση και ασφάλιση του νέου κοπτικού εργαλείου στην άτρακτο κοπής ή στο εργαλειοφορείο.
- Επαναφορά του χρησιμοποιημένου εργαλείου στην κατάλληλη θέση στο φορέα των κοπτικών εργαλείων.

Οι χρόνοι αυτόματης εναλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι κατά πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχους με χειροκίνητη αλλαγή. Παρόλα αυτά, δεν παύουν να αποτελούν νεκρούς χρόνους για τις εργαλειομηχανές και γι' αυτό να γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησής τους. Έτσι, από τα παραπάνω βήματα, το πρώτο και το τελευταίο πρέπει να εκτελούνται, όταν η εργαλειομηχανή είναι σε φάση κατεργασίας, όταν δηλαδή το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί υλικό από το κατεργαζόμενο τεμάχιο.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι με χρήση του βραχίονα με δύο άκρα (Εικόνα 6.10). Αρχικά ο βραχίονας συλλέγει το επιθυμητό κοπτικό εργαλείο από το φορέα αποθήκευσης των εργαλείων και το τοποθετεί στο ένα άκρο του. Το

άλλο άκρο παραλαμβάνει το κοπτικό εργαλείο από την άτρακτο ή το εργαλειοφορείο στην περίπτωση της τórνευσης. Κατόπιν εκτελεί μία περιστροφική κίνηση 180° και φέρνει το νέο εργαλείο στη θέση πρόσδεσής του, ενώ το χρησιμοποιημένο εργαλείο τοποθετείται στο φορέα αποθήκευσης.



Εικόνα 6.10: Απλοί μηχανισμοί αλλαγής κοπτικού εργαλείου με βραχίονα. [4]

Υπάρχουν επίσης και ανάλογοι μηχανισμοί, που όμως εκτελούν πιο σύνθετες κινήσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργαλειομηχανές περισσότερων αξόνων κατεργασίας. Επειδή η κίνηση αυτή δεν προγραμματίζεται κάθε φορά, ο βραχίονας αυτός δεν μπορεί να θεωρηθεί ως βιομηχανικό ρομπότ. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που ο μηχανισμός αλλαγής κοπτικών εργαλείων είναι ένας πραγματικός ρομποτικός βραχίονας. Τέτοια παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στα ευέλικτα συστήματα παραγωγής FMS. [5], [11]



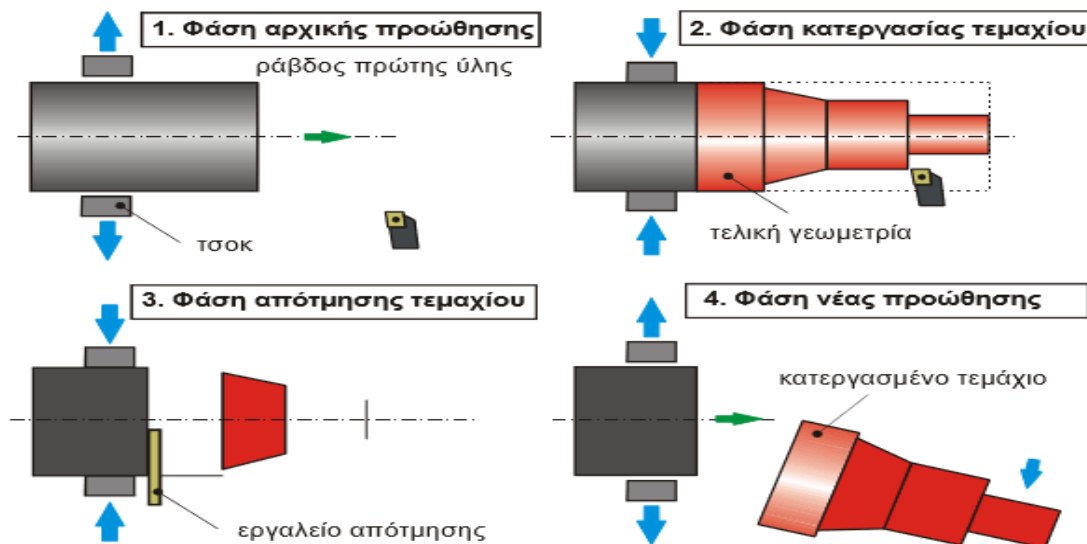
Εικόνα 6.11: Σύνθετοι μηχανισμοί αλλαγής κοπτικού εργαλείου με βραχίονα.[5]

6.8.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ

Στην περίπτωση κατασκευής μεγάλου αριθμού τεμαχίων με κατεργασία τórνευσης, το συνεχές δέσιμο των ακατέργαστων και το λύσιμο των κατεργασμένων τεμαχίων αποτελεί σημαντικό τμήμα των νεκρών χρόνων κατεργασίας. Η λύση στο πρόβλημα αυτό έχει δοθεί με την ανάπτυξη των συστημάτων συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης (bar feeders). Πρόκειται

για διατάξεις που συνδέονται στο άκρο του τόνου από την πλευρά της ατράκτου κατεργασίας και λειτουργούν ως εξής:

1. Η πρώτη ύλη κατεργασίας έρχεται σε μορφή κυλινδρικών ράβδων μεγάλου μήκους και σε διάφορες διαμέτρους, ανάλογα με τη διάμετρο του τεμαχίου, που πρόκειται να κατασκευαστεί. Η μπάρα αυτή εισέρχεται στο σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας και στηρίζεται σε αυτό μέσω κατάλληλων εδράνων και ολισθητήρων
2. Η ράβδος προωθείται διαμέσου του τόνου ψηφιακής καθοδήγησης, διαπερνά την κύρια άτρακτο και εκτείνεται από το άκρο του τσοκ λίγο περισσότερο από το μήκος του τελικού κατεργασμένου τεμαχίου. Στη συνέχεια, το τσοκ συσφίγγει τη ράβδο, εάν χρειαστεί, τοποθετείται πινόλη για αντιστήριξη και εκτελείται το πρόγραμμα κατεργασίας.
3. Αφού ολοκληρωθούν όλες οι κατεργασίες και το τελικό προϊόν είναι πλέον έτοιμο αλλά παραμένει ως συνέχεια της ακατέργαστης ράβδου, επιλέγεται και τοποθετείται κοπτικό εργαλείο απότμησης και το τεμάχιο αποκόπτεται από την υπόλοιπη ακατέργαστη ράβδο.
4. Αφού αποσυφίγγει το τσοκ, το σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας επαναπροωθεί την ακατέργαστη ράβδο και επαναλαμβάνεται ο κύκλος κατεργασιών. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, μέχρι να εξαντληθεί σε όλο της το μήκος η πρώτη ύλη, οπότε τοποθετείται νέα ράβδος.



Σχήμα 6.12: Αρχή λειτουργίας συστημάτων συνεχούς προώθησης πρώτης ύλης.[5]

Τέτοια συστήματα δεν μπορούν να τοποθετηθούν εκ των υστέρων σε ένα τόνου ψηφιακής καθοδήγησης, αφού η υποδομή σε μηχανικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι σημαντική. Έτσι, οι κατασκευαστές εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, συνήθως παράγουν εργαλειομηχανές με τέτοια υποδομή, ώστε οι πελάτες τους να μπορέσουν να τις αναβαθμίσουν μελλοντικά. Όλες οι παραπάνω λειτουργίες προγραμματίζονται στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης και εκτελούνται εντελώς αυτόματα. Τα σύγχρονα

συστήματα συνεχούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης έχουν ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες και μπορούν να διαχειριστούν περισσότερες από μία ράβδους με διάφορες διαμέτρους. Τέλος, επισημαίνεται ότι τα συστήματα αυτά απαιτούν για τη λειτουργία τους εργαλειομηχανές με συστήματα αυτόματης αλλαγής κοπτικού εργαλείου. [5]



Εικόνα 6.13: Εμπορικά συστήματα συνεχούς προώθησης πρώτης ύλης για κέντρα κατεργασίας τόρνευσης. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ ΤΟΡΝΟΥ

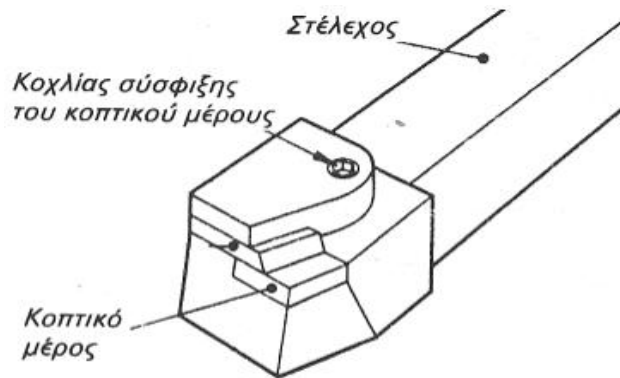
7.1.ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Για την κοπή στην τórνευση χρησιμοποιούνται κοπτικά εργαλεία συνήθως από χάλυβα εργαλείων, ταχυχάλυβα, σκληρομέταλλα και κεραμικά. Η διάρκεια ζωής ενός κοπτικού εργαλείου εξαρτάται κατά πολύ από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο και από την γεωμετρία της κόπης του. Τα εργαλεία για τórνευση προφίλ ή μικρών εσωτερικών λεπτομερειών, έχουν πολλές φορές κόψεις από ταχυχάλυβα. Για λεπτές κατεργασίες μη σιδηρούχων υλικών ή ενισχυμένων πλαστικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πολυκρυσταλλικό διαμάντι. Για σκληρά υλικά π.χ σκληρό χυτοσίδηρο και βαμμένο χάλυβα χρησιμοποιείται το αζωτούχο βόριο, ενώ για χυτοσίδηρο το αζωτούχο πυρίτιο.

Τα κοπτικά εργαλεία του τórνου είναι εργαλεία απλής κοπτικής αιχμής, δηλαδή έχουν μια μόνο κοπτική αιχμή. Επίσης, υπάρχουν και εργαλεία μορφής στην οποία η μορφή του εργαλείου μεταφέρεται στη εργασία και έχουν σύνθετη κοπτική αιχμή. Επιπλέον, μπορεί να είναι εξωτερικά και εσωτερικά. Όσον αφορά τις ιδιότητες των κοπτικών εργαλείων του τórνου αυτές συνοψίζονται παρακάτω και είναι οι εξής:

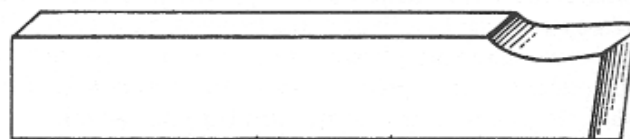
- Μεγάλη σκληρότητα, ώστε να μπορεί το εργαλείο να εισχωρεί στο μαλακότερο κατεργαζόμενο τεμάχιο
- Αντίσταση στην θερμότητα, ώστε να διατηρεί την σκληρότητά του στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή και
- Αντίσταση σε φθορά, ώστε η κοπτική ακμή του να διατηρεί τις κοπτικές ιδιότητές της.

Στο κοπτικό εργαλείο διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά τμήματα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.1, το στέλεχος (shank) και το κοπτικό άκρο (tool point). Το μεν στέλεχος χρησιμοποιείται για την συγκράτηση του εργαλείου στον εργαλειοδέτη, ενώ το κοπτικό άκρο περιλαμβάνει τις κοπτικές ακμές που συμμετέχουν στην κοπή. Τα κοπτικά εργαλεία που έχουν αυτή τη μορφή ονομάζονται διμερή (Σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1: Διμερές κοπτικό εργαλείο τórνου και απεικόνιση του στελέχους και του κοπτικού μέρους.[5]

Το στέλεχος είναι από μαλακό υλικό ώστε να δέχεται τα κρουστικά φορτία και τις δυναμικές καταπονήσεις κατά την διάρκεια της κοπής χωρίς να θραύεται. Ενώ τα κοπτικά εργαλεία τα οποία αποτελούνται μόνο από το στέλεχος είναι γνωστά ως ολόσωμα.

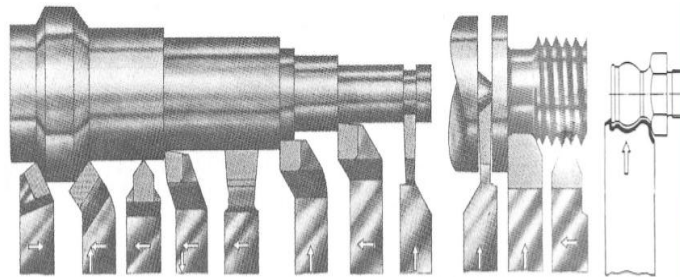


Σχήμα 7.2: Ολόσωμο κοπτικό εργαλείο. [5]

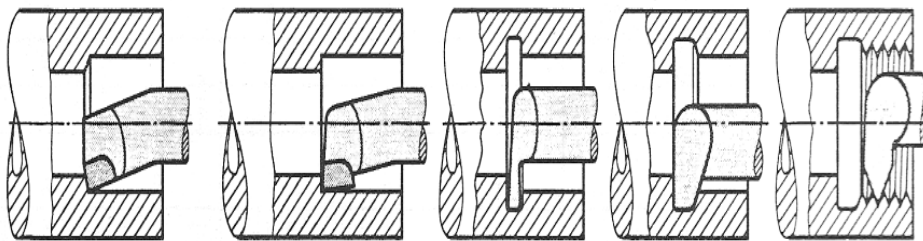
Όσον αφορά τις μορφές των κοπτικών εργαλείων του τόρνου ή μάλλον τις κυριότερες κατεργασίες που μπορούν να γίνουν σε τόρνο είναι οι εξής:

- Εξωτερική κυλινδρική τόννευση.
- Εσωτερική κυλινδρική τόννευση.
- Κάθετη ή μετωπική τόννευση.
- Εξωτερική και εσωτερική κώνικη τόννευση.
- Διάνοιξη εσωτερικών, εξωτερικών οπών.
- Κοπή εσωτερικών, εξωτερικών σπειρωμάτων.
- Αποκοπή.
- Τόννευση μορφής

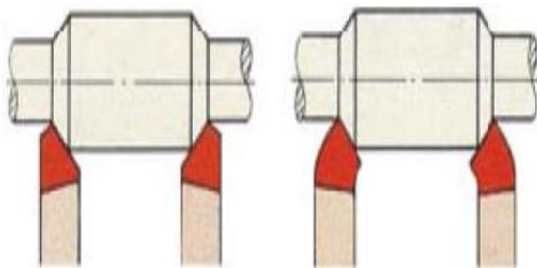
Οι παραπάνω κατεργασίες απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα.



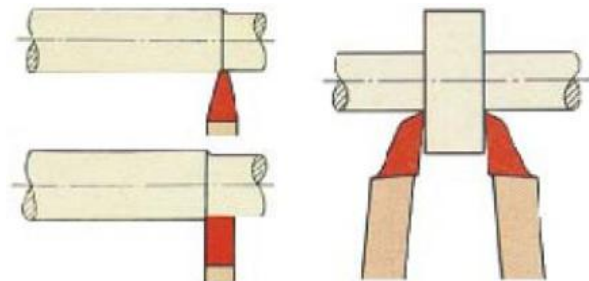
Σχήμα 7.3: Εξωτερικά κοπτικά εργαλεία τόρνου. Τα τόξα δείχνουν την κατεύθυνση προώθησης του κοπτικού εργαλείου. [5]



Σχήμα 7.4: Εσωτερικά κοπτικά εργαλεία τόρνου. [5]



Σχήμα 7.5: Κοπτικά εργαλεία εκχόνδρισης. [1]

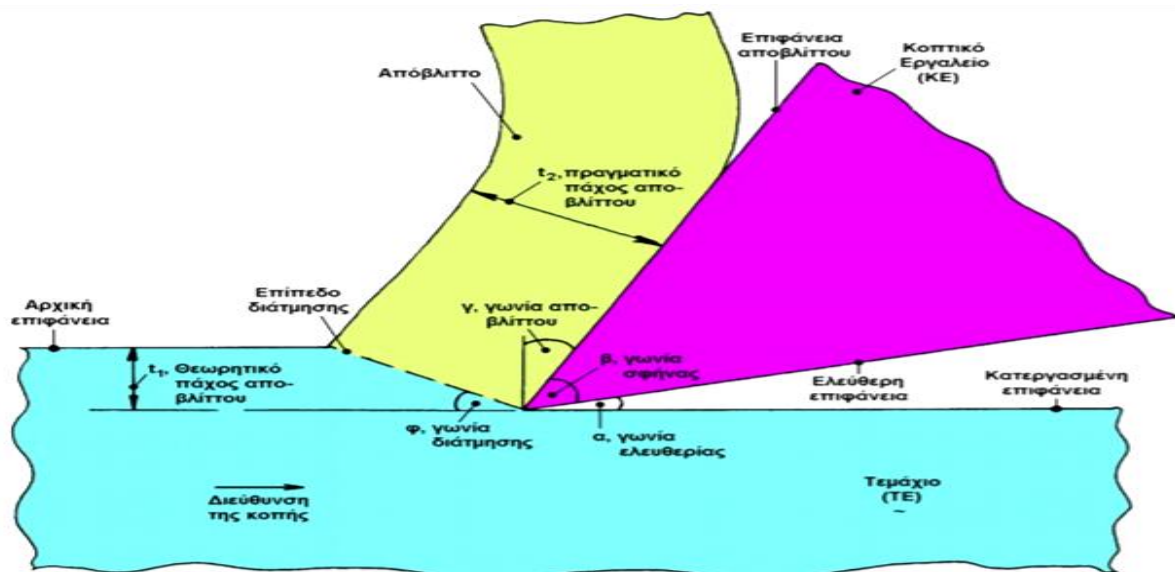


Σχήμα 7.6: Κοπτικά εργαλεία φινιρίσματος. [1]

7.2.ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΟΡΝΟΥ

Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου καθορίζεται από τις κοπτικές γωνίες του. Στο Σχήμα 7.7 φαίνονται οι χαρακτηριστικές επιφάνειες, ακμές και γωνίες ενός κοπτικού εργαλείου τórνευσης. Το ΚΕ προσομοιάζεται με σφήνα ευθύγραμμης ακμής που κινείται ως προς το κατεργαζόμενο ΤΕ έτσι, ώστε να αφαιρείται στρώμα υλικού ορισμένου πάχους και με ϵ την αντίστοιχη κάθε φορά μορφή αποβλήτου. Διακρίνουμε τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά ΚΕ:

- Επιφάνεια αποβλήτου: Είναι η επιφάνεια της σφήνας, πάνω στην οποία ολισθαίνει το απόβλητο κατά την κίνησή του.
- Ελεύθερη επιφάνεια: Είναι η επιφάνεια της σφήνας που αντικρίζει την κατεργασμένη επιφάνεια.
- Κόψη: Είναι η ακμή της σφήνας που προκύπτει ως τομή των δύο παραπάνω επιφανειών.
- Γωνία αποβλήτου (γ): Σχηματίζεται από την επιφάνεια αποβλήτου και το κάθετο επίπεδο στην κατεργασμένη επιφάνεια που διέρχεται από την κόψη του ΚΕ. Μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική.
- Γωνία ελευθερίας (α): Σχηματίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια του ΚΕ και την κατεργασμένη επιφάνεια.
- Γωνία σφήνας, (β): Σχηματίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια και από την επιφάνεια αποβλήτου. Ισχύει: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$



Σχήμα 7.7:Χαρακτηριστικές επιφάνειες, ακμές και γωνίες του κοπτικού εργαλείου. [1]

Οι γωνίες κοπής επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα της κοπής (ποιότητα επιφάνειας, τραχύτητα κ.λπ) και εξαρτώνται από το υλικό που πρόκειται να κατεργαστεί. Έτσι για να αποφευχθεί θραύση της κοπτικής ακμής στην κατεργασία σκληρών υλικών, επιλέγεται μεγάλη γωνία σφήνας. Η γωνία ελευθερίας κρατείται τόση ώστε να μην δημιουργείται τριβή ανάμεσα στην επιφάνεια ελευθερίας και την κατεργαζόμενη επιφάνεια

του τεμαχίου ενώ η μεγάλη γωνία αποβλήτου βοηθά στην καλύτερη ροή του αποβλήτου και κατά συνέπεια στην διαδικασία της κοπής. Η γωνία αποβλήτου όμως δεν μπορεί να μεγαλώνει τυχαία μια και επηρεάζει την γωνία σφηνός.

Συμπερασματικά λοιπόν, ανάμεσα στις κοπτικές γωνίες του εργαλείου υπάρχει αλληλεξάρτηση και πρέπει να γίνεται βέλτιστη επιλογή τους. Οι κατάλληλες αυτές γωνίες για τον συνδυασμό υλικό κοπτικού εργαλείου - υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου, προκύπτουν μετά από συστηματικά πειράματα. Σήμερα υπάρχουν αρκετά τέτοια αποτελέσματα που προτείνουν γωνίες κοπής ανάλογα το υλικό που πρόκειται να κατεργαστεί και αυτό που ισχύει γενικά είναι ότι σκληρό υλικό απαιτεί μεγάλη γωνία σφηνός και μαλακό υλικό απαιτεί μεγάλη γωνία αποβλήτου. [1], [18]

7.3. ΤΡΟΧΙΣΜΑ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΟΠΗΣ

Όπως είναι φυσικό, μετά από αρκετές ώρες κόπησης, η κοπτική ακμή του εργαλείου φθείρεται και γίνεται τραχιά, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της τριβής μεταξύ του εργαλείου και του τεμαχίου. Επομένως είναι απαραίτητος ο συχνός έλεγχος των γωνιών κοπής του εργαλείου και η διόρθωση τυχόν αποκλίσεων τους. Η συντήρηση των γωνιών κοπής γίνεται με τη βοήθεια του τροχίσματος. Το τρόχισμα για να ολοκληρωθεί και το εργαλείο να βρίσκεται ξανά σε κατάσταση χρήσης περνάει από κάποια στάδια τα οποία απεικονίζονται στην συνέχεια.

❖ Στάδιο 1^ο :



Εικόνα 7.1: Εκχόνδριση της κύριας επιφάνειας ελευθερίας (αριστερά) και έλεγχος της γωνίας ελευθερίας (δεξιά). [1]

❖ Στάδιο 2^ο :



Εικόνα 7.2: Εκχόνδριση της δευτερεύουσας επιφάνειας ελευθερίας (αριστερά) και έλεγχος της γωνίας αποβλήτου (δεξιά). [1]

❖ **Στάδιο 3^ο:**



Εικόνα 7.3:Εκχόνδριση της επιφάνειας αποβλήτου (αριστερά) και έλεγχος της γωνίας σφήνα (δεξιά).[1]

❖ **Στάδιο 4^ο:**

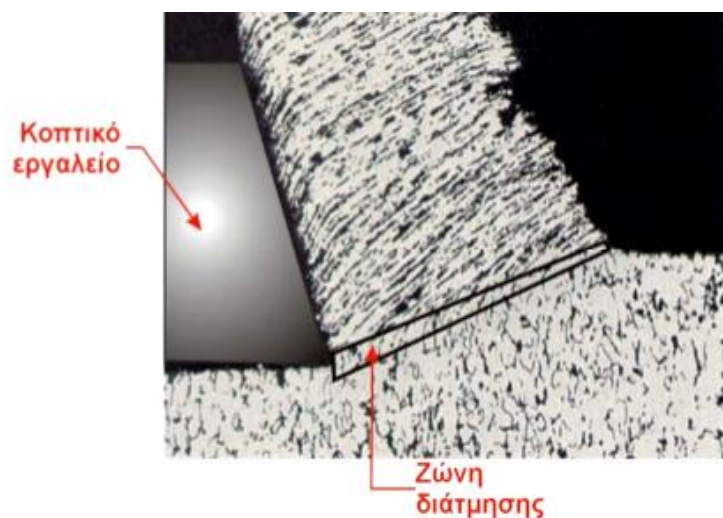


Εικόνα 7.4:Στρογγύλεμα της κύριας κοπτικής ακμής. [1]

7.4. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Η κατεργασία με αφαίρεση υλικού στις εργαλειομηχανές επιτυγχάνεται μέσω της διαφορετικής κινηματικής του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου, με καθορισμένο βάθος κοπής και προδιαγεγραμμένη ταχύτητα εισχώρησης.

Το υλικό του τεμαχίου που απομακρύνεται λέγεται απόβλητο (γρέζι). Το απόβλητο δημιουργείται σε μία στενή περιοχή που ονομάζεται ζώνη διάτμησης.



Σχήμα 7.8: Ζώνη διάτμησης. [1]

Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες κατεργασίας και το υλικό του τεμαχίου, το απόβλητο μπορεί να έχει διάφορες μορφές και αυτές είναι:

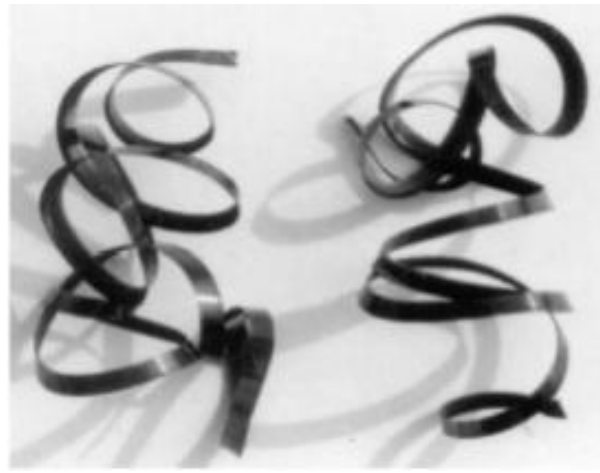
- ❖ **Ασυνεχές απόβλητο:** δημιουργείται με την περιοδική θραύση του αποβλήτου κατά τη διέλευσή του από τη ζώνη διατμήσεως. Τέτοιο απόβλητο συναντάται σε ψαθυρά υλικά, όπως ο χυτοσίδηρος, ή σε πολύ χαμηλές ταχύτητες κοπής, σε μεγάλες προώσεις ή σε κοπή με εργαλεία με μικρές γωνίες αποβλήτου.
- ❖ **Συνεχές απόβλητο:** δημιουργείται από συνεχή πλαστική παραμόρφωση, η οποία υφίσταται στην περιοχή της ζώνης διάτμησης. Το σχηματιζόμενο απόβλητο ρέει ως ταινία επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου. [20]



Σχήμα 7.9: Συνεχές απόβλητο (α), μερικώς συνεχές απόβλητο (β) και ασυνεχές απόβλητο (γ). [1]



Εικόνα 7.5: Μικρογραφική εικόνα από απόβλητα ασυνεχή. [1]



Εικόνα 7.6: Μικρογραφική εικόνα από απόβλητα ασυνεχή (αριστερά) συνεχή.[1]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το συνεχές απόβλητο είναι και το επιθυμητό στην πράξη, μια και σχετίζεται με ευνοϊκές συνθήκες όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής, την καταναλισκόμενη ισχύ, την προκύπτουσα τραχύτητα επιφάνειας του τεμαχίου, καθώς και την αναπτυσσόμενη φθορά στο κοπτικό εργαλείο.

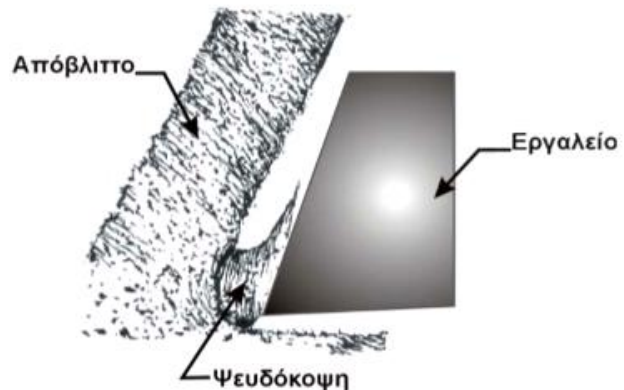
Το συνεχές απόβλητο επιτυγχάνεται με:

- ✓ Μεγάλη ταχύτητα κοπής,
- ✓ Μικρή πρόωση,
- ✓ Μεγάλη γωνία αποβλήτου.

Σε περιπτώσεις που το συνεχές απόβλητο αποκτά μεγάλο μήκος, με αποτέλεσμα να επιφέρει δυσκολίες, αλλά και κινδύνους κατά την ώρα της κατεργασίας, χρησιμοποιούνται κατάλληλες διαμορφώσεις του κοπτικού εργαλείου, που ονομάζονται γρεζοθραύστες.

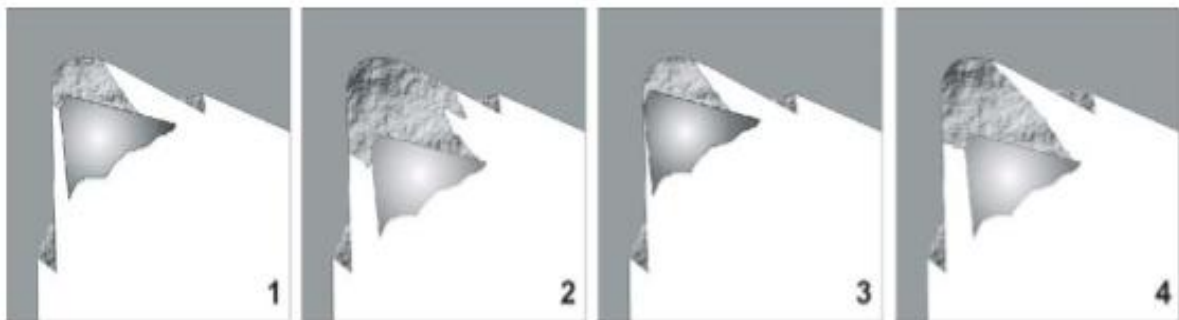
Ωστόσο, υπάρχει ακόμα μία κατηγορία η οποία είναι το συνεχές απόβλητο με ψευδόκοψη. Αυτό δημιουργείται όταν κατά τη διαδικασία δημιουργίας του συνεχούς αποβλήτου, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στην κόψη του εργαλείου η ψευδόκοψη.

Πρόκειται για σφηνοειδές, ασύμμετρο σώμα από ισχυρά παραμορφωμένο και σκληρωμένο υλικό του τεμαχίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.10 Στο σχήμα αυτό διακρίνονται η κοπτική ακμή του εργαλείου, που έχει μορφή σφήνας, το κατεργαζόμενο τεμάχιο, το απόβλητο που παράγεται και η ψευδόκοψη ανάμεσα στο κοπτικό εργαλείο και το τεμάχιο. Η ψευδόκοψη αυτή δημιουργείται από επάλληλα στρώματα υλικού του τεμαχίου, που προσκολλώνται στην επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου. Η ψευδόκοψη αναπτύσσεται καθώς η κοπή προχωρεί. [3]



Σχήμα 7.10: Ψευδόκοψη. [1]

Όταν η ψευδόκοψη αποκτά ένα ορισμένο μέγεθος, αποχωρίζονται από το σώμα της, λόγω των δυνάμεων κοπής, μικρά κομμάτια, τα οποία προσκολλώνται είτε στο απόβλητο, που ρέει, είτε στη νεοσχηματιζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. Ο περιοδικός αυτός σχηματισμός και τεμαχισμός της ψευδόκοψης φαίνεται στο σχήμα 7.11, όπου παρατηρείται στη φάση 2 ο διαχωρισμός της ψευδόκοψης προς το απόβλητο και την κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου, τεμαχισμός που ολοκληρώνεται στη συνέχεια. Η ύπαρξη της ψευδόκοψης χειροτερεύει την ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας, ενώ η συμπεριφορά της ως προς το κοπτικό εργαλείο εξαρτάται από τις συνθήκες κοπής. [1], [22]



Σχήμα 7.11: Φάσεις σχηματισμού της ψευδόκοψης. [1]

Με βάση τα παραπάνω, υπάρχει περίπτωση η σταθερή παρουσία της ψευδόκοψης να προστατεύει το κοπτικό εργαλείο, μια και κόβει αυτή και όχι άμεσα η κοπτική ακμή του, ενώ υπάρχει και η περίπτωση, ανάλογα με τις συνθήκες κοπής, η ψευδόκοψη να φθείρει το εργαλείο, κυρίως στην επιφάνεια αποβλήτου του. Η δημιουργία ή η αποφυγή της ψευδόκοψης μπορεί να ελεγχθεί από την κατάλληλη επιλογή των συνθηκών κατεργασίας. Έτσι, το μέγεθος της ψευδόκοψης μειώνεται αν:

- Αυξηθεί η ταχύτητα κοπής
- Χρησιμοποιηθεί εργαλείο με μεγαλύτερη γωνία αποβλήτου
- Μειωθεί η χρησιμοποιούμενη πρόωση
- Χρησιμοποιηθεί κατάλληλο υγρό κοπής. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΡΝΟΥ CNC ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει η παρουσίαση του σχεδιασμού ενός τórνου CNC μικρών διαστάσεων. Δηλαδή, θα γίνει φανερό ο τρόπος με τον οποίο «γεννιέται» μια κατασκευή και στη παρούσα περίπτωση η εργαλειομηχανή του τórνου, βήμα-βήμα, αλλά και πως θα είναι σε θέση να εκτελεί αυτόματα κατεργασίες, πριν ακόμα αυτή κατασκευασθεί. Συγκεκριμένα, θα γίνει πλήρης σχεδιασμός της εργαλειομηχανής με πληθώρα εικόνων και επεξηγήσεων, αφού αρχικά γίνει μια σύντομη περιγραφή του προγράμματος σχεδίασης που θα χρησιμοποιήσουμε αλλά και του προγράμματος καθοδήγησης που θα χρησιμοποιούσαμε σε περίπτωση κατασκευής της εργαλειομηχανής του τórνου

8.2. SOLIDWORKS

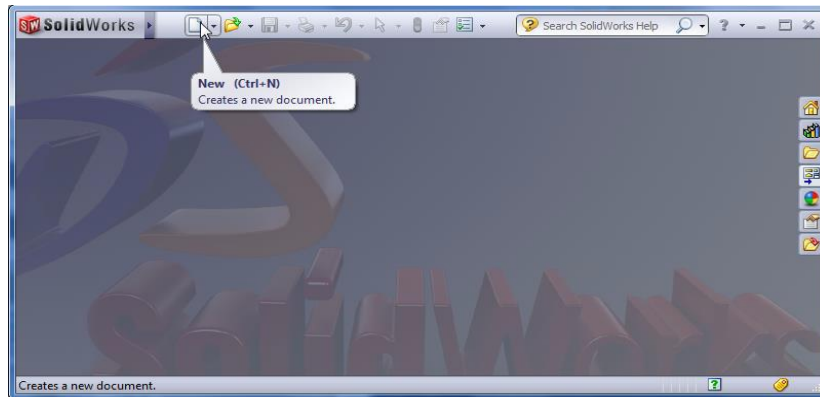
Το Solidworks είναι ένα 3D μηχανολογικό CAD (Computer Aided Design) πρόγραμμα, προϊόν της Dassault Systèmes SolidWorks Corp., θυγατρική της Dassault Systèmes S. A. Λειτουργεί σε σύστημα Microsoft Windows και αποτελεί εργαλείο για πάνω από δύο εκατομμύρια μηχανικούς και σχεδιαστές σε περισσότερες από 165.000 εταιρείες παγκοσμίως. Σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή, μέχρι τον Ιούλιο του 2012 υπήρχαν εγκατεστημένες περισσότερες από 1,5 εκατομμύριο άδειες παγκοσμίως, ένα μεγάλο ποσοστό μεταξύ των οποίων είναι για εκπαιδευτική χρήση.

Ιστορικά, η SolidWorks Corporation ιδρύθηκε το 1993 από τον Jon Hirschtick με έδρα το Waltham, Μασαχουσέτη, ΗΠΑ, ο οποίος προσέλαβε μια ομάδα μηχανικών για την οικοδόμηση μιας εταιρείας που ανέπτυξε 3D CAD λογισμικό, εύκολο στη χρήση, με προστιτή τιμή και διαθέσιμο στην επιφάνεια εργασίας των Windows. Κυκλοφόρησε το πρώτο της προϊόν, SolidWorks 95, το 1995. Η SolidWorks σήμερα κυκλοφορεί διάφορες εκδόσεις του CAD λογισμικού SolidWorks, καθώς και τα eDrawings (εργαλείο συνεργασίας) και DraftSight (2D CAD). Το 1997 η Dassault Systèmes S.A., γνωστή για το CATIA CAD λογισμικό της, απέκτησε την εταιρεία και αυτή τη στιγμή κατέχει το 100% των μετοχών της.

Η εφαρμογή SolidWorks εκτός του ότι είναι ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης ενεργεί επίσης ως αποθήκη για πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο, έτσι ώστε να εισάγει και αποθηκεύει άλλες μορφές αρχείων, όπως PDF για γρήγορη προβολή στο εσωτερικό του προγράμματος. Τα σύγχρονα συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ στηρίζονται στη χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι απαραίτητη για την παρουσίαση, την ανάλυση της συμπεριφοράς του αντικειμένου και για την παραγωγή του. Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης βασίζονται στα στερεά μοντέλα, ή στα μεντελί επιφανειών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την χρήση του μοντέλου είναι η μονοδιάστατη απεικόνιση του πραγματικού αντικειμένου από το μοντέλο, σε όλες τις φάσεις χρησιμοποίησής του. [9]

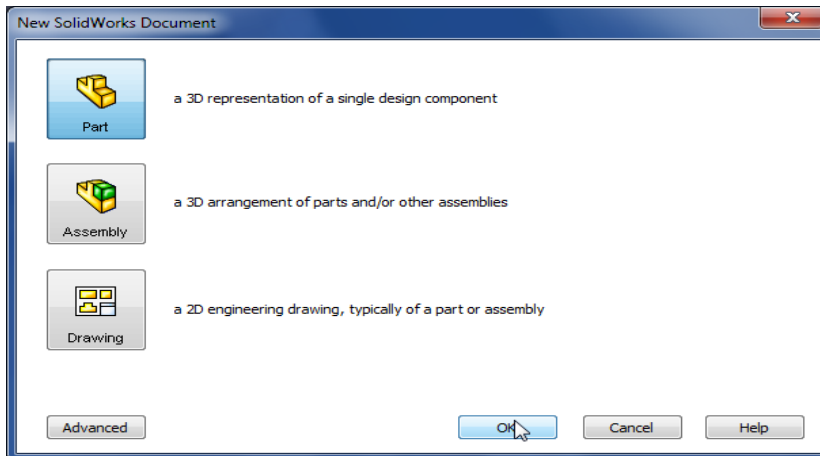
➤ Έναρξη προγράμματος

Κατά την έναρξη του προγράμματος SolidWorks εμφανίζεται το Σχήμα 8.1, όπου με την επιλογή της εντολής «New» δημιουργείτε ένα νέο αρχείο SolidWorks.



Σχήμα 8.1

Έτσι, στην οθόνη εμφανίζεται το παράθυρο «*New SolidWorks Document*», Σχήμα 8.2. Έπειτα, επιλέγεται το εικονίδιο «**Part**» γιατί αρχικά πρέπει τα αντικείμενα της μηχανής έγχυσης να σχεδιαστούν μεμονωμένα.



Σχήμα 8.2.

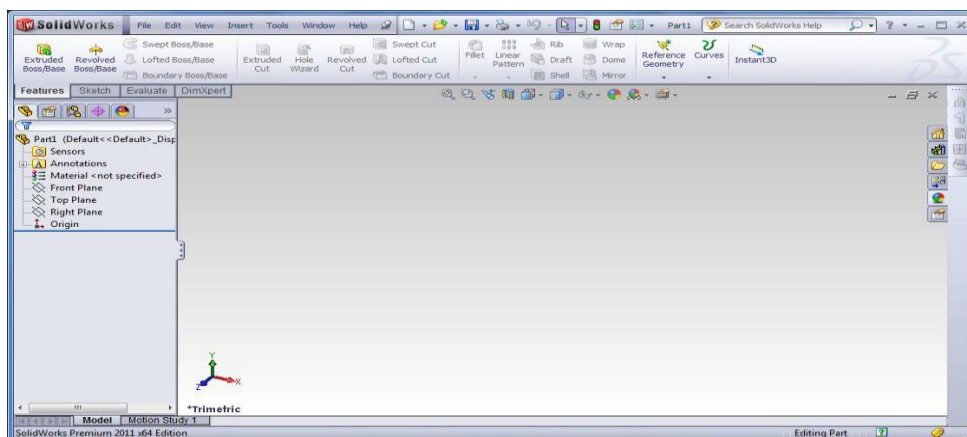
Ωστόσο, το SolidWorks μπορεί να δημιουργήσει τρία διαφορετικά αρχεία και επομένως τρεις διαφορετικές μορφές σχεδίων:

Part → 3D αντικείμενα

Assembly → Συναρμολόγηση αντικειμένων

Drawing → Σχεδιασμός

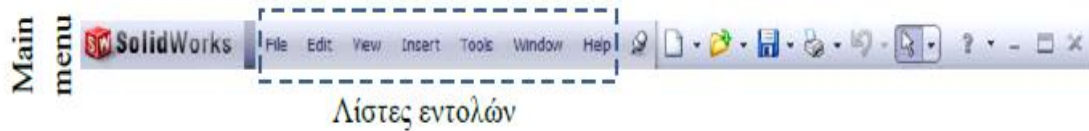
Με την επιλογή της εντολής «**Part**» εμφανίζεται στη οθόνη το περιβάλλον σχεδίασης του προγράμματος, Σχήμα 8.3.



Σχήμα 8.3.

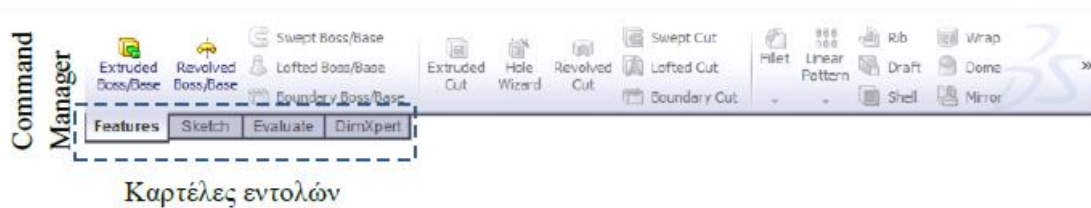
Για την σχεδίαση των αντικειμένων θα πρέπει να γνωρίζουμε τις βασικές περιοχές που εμφανίζονται στην αρχική οθόνη. Οι βασικές περιοχές του προγράμματος είναι τέσσερις και είναι οι ακόλουθες:

- Περιοχή Main Menu: βρίσκεται στο πάνω μέρος της οθόνης και περιέχει την λίστα εντολών File, Edit, View, Insert, Tools, Windows και Help.



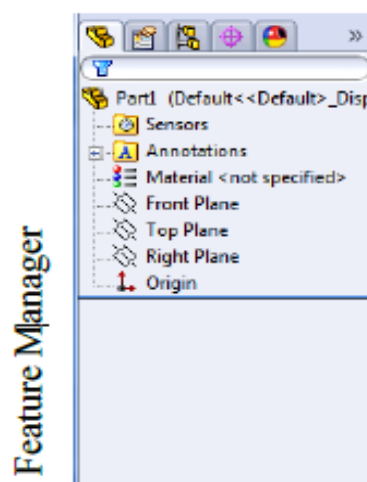
Σχήμα 8.4: Περιοχή Main Menu.

- Περιοχή Command Manager: βρίσκεται κάτω από την περιοχή του Main Menu και αποτελείται από τις καρτέλες εντολών, οι οποίες είναι οι Features, Sketch, Evaluate και Dim Xpert.



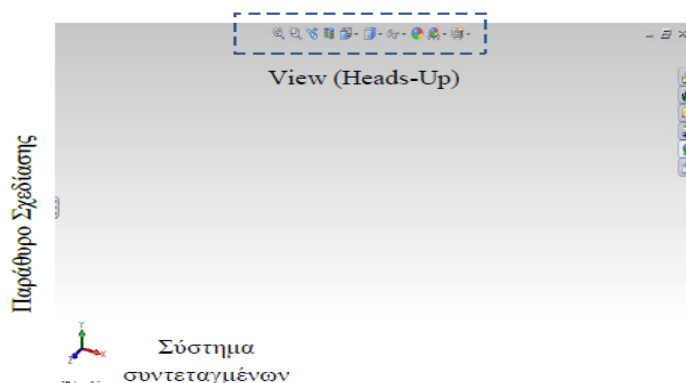
Σχήμα 8.5: Περιοχή Command Manager.

- Περιοχή Feature Manager: βρίσκεται στο αριστερό μέρος της οθόνης όπου και καταγράφεται η ιστορική εξέλιξη του αντικειμένου κατά τη σχεδίαση.



Σχήμα 8.6: Περιοχή Feature Manager.

- Περιοχή Σχεδίασης: βρίσκεται στο μέσο της οθόνης, σε αυτή τη περιοχή σχεδιάζεται το αντικείμενο. Στο πάνω μέρος της περιοχής σχεδίασης εμφανίζεται το menu View (Heads-Up), ενώ κάτω αριστερά εμφανίζεται το σύστημα συντεταγμένων.



Σχήμα 8.7: Περιοχή Σχεδίασης.

Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε καρτέλα περιέχει διαφορετικές εντολές οι οποίες χρησιμοποιούνται για ξεχωριστό σκοπό κάθε φορά.

➤ Εντολές σχεδίασης

Εφόσον βρισκόμαστε στην περιοχή σχεδίασης του προγράμματος SolidWorks αρχικά επιλέγεται η περιοχή **Command Manager** και στην συνέχεια από την καρτέλα εντολών επιλέγετε το «**Sketch**» με συνέπεια να εμφανιστούν όλα τα εργαλεία για τον σχεδιασμό 2D σχημάτων.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό της μηχανής έγχυσης είναι τα ακόλουθα:

- **Sketch:** γίνεται επιλογή του επίπεδου σχεδιασμού (Front, Top και Right Plane)
- **Smart Dimension:** γίνεται εισαγωγή των επιθυμητών διαστάσεων
- **Line:** γίνεται σχεδιασμός ευθείας γραμμής
- **Circle:** γίνεται σχεδιασμός κύκλου
- **Center Rectangle:** γίνεται σχεδιασμός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου
- **Trim Entities:** γίνεται αφαίρεση ή επιμήκυνση μιας γραμμής



Σχήμα 8.8: Απεικόνιση καρτέλας Sketch.

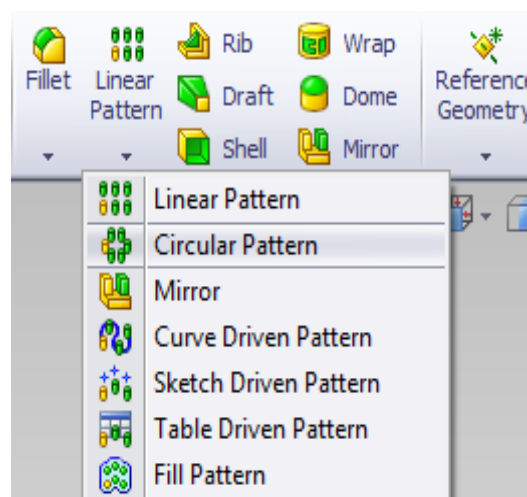
Ωστόσο, αν θέλουμε να μετατρέψουμε ένα αντικείμενο 2D σε 3D επιλεγούμε πάλι την περιοχή **Command Manager** αλλά από την καρτέλα εντολών επιλέγεται το «**Features**» με συνέπεια να εμφανιστούν όλα τα εργαλεία για τον σχεδιασμό 3D σχημάτων.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό της μηχανής έγχυσης είναι τα ακόλουθα:

- **Extruded Boss/Base:** χρησιμοποιείται για να δοθεί ύψος ή πάχος σε ένα 2D σχήμα
- **Revolved Boss/Base:** χρησιμοποιείται για την δημιουργία 3D αντικειμένων από την περιστροφή ενός περιγράμματος γύρω από τον άξονα συμμετρίας
- **Extruded Cut:** χρησιμοποιείται για την περικοπή 3D αντικειμένων δημιουργία οπών
- **Fillet:** χρησιμοποιείται για την μετατροπή γωνίας σε καμπυλοειδή επιφάνεια
- **Chamfer:** χρησιμοποιείται για την μετατροπή γωνίας σε επίπεδη επιφάνεια
- **Circular Pattern:** χρησιμοποιείται για την δημιουργία 3D κυκλικών μοτίβων γύρω από ένα σημείο.



Σχήμα 8.9: Απεικόνιση καρτέλας Features



Σχήμα 8.10: Απεικόνιση επιλογών εντολής Circular Pattern.

8.3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MACH 3

Το Mach3 είναι το λογισμικό με το οποίο μπορούμε να καθοδηγήσουμε τον τόνρο ψηφιακής καθοδήγησης που σχεδιάσαμε, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ουσιαστικά, μετατρέπει έναν τυπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε έναν ελεγκτή CNC. Είναι ένα λογισμικό πολύ πλούσιο σε χαρακτηριστικά και αποτελεί σημαντικό εργαλείο-βοήθημα για εκείνους που χρειάζονται ένα πλήρες πακέτο ελέγχου CNC και είναι συμβατό στα περισσότερα Windows.

Επιπλέον, με το λογισμικό αυτό είμαστε σε θέση να ελέγχουμε τη κίνηση όλων των μοτέρ, όπως των βηματικών κινητήρων και μπορώ να εξάγω έναν G - κώδικα. Συγκεκριμένα, με το Mach 3 μπορώ να ελέγγω τη κίνηση των αξόνων κατεργασίας, τη ταχύτητα μετακίνησης των αξόνων και του κοπτικού εργαλείου, να ορίζω τις τιμές των αξόνων, και γενικά μπορώ να καθορίζω όλες τις χαρακτηριστικές τιμές της κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής κ.τλ). Επίσης, παρόλο που το Mach 3 αποτελεί ένα λογισμικό που περιλαμβάνει αρκετά προηγμένα χαρακτηριστικά, είναι το πιο διαδεδομένο και το πιο ευέλικτο στη χρήση του, αλλά και το πιο «έξυπνο» λογισμικό ελέγχου.



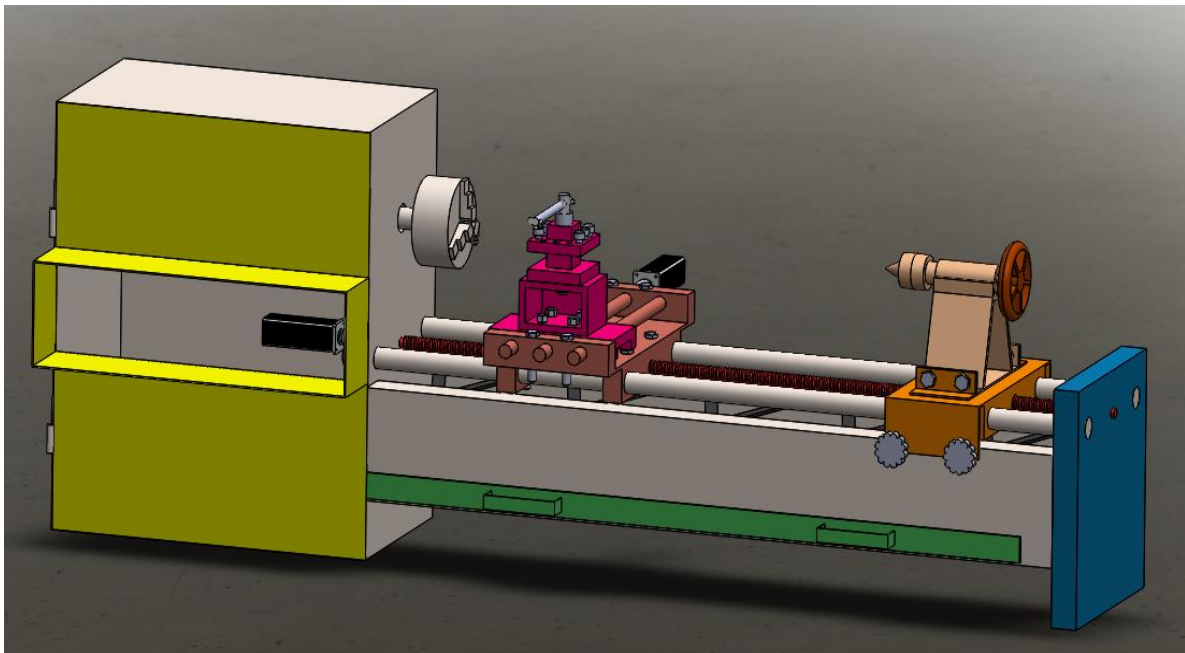
Σχήμα 8.11: Περιβάλλον εργασίας Mach 3 για τόνρο CNC.

8.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΡΝΟΥ

Ο τόνρος που πρόκειται να κατασκευάσουμε είναι απλού τύπου. Ωστόσο, με την εισαγωγή ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού του δίνεται η δυνατότητα να μετατραπεί σε τόνρο CNC. Η μετατροπή αυτή δίνει τα πλεονεκτήματα της μεγαλύτερης ακρίβειας αλλά και παραγωγικότητας.

Ο τόννος της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελείται από τα εξής κατασκευαστικά τμήματα: Αρχικά από το σκελετό, δηλαδή το κουτί που στεγάζει τον ηλεκτροκινητήρα με τον inverter. Τονίζεται ότι ο inverter είναι ένας ρυθμιστής στροφών, οι όποιες είναι αυτές που μεταδίδονται στο τσοκ. Στη συνέχεια θα έχουμε δύο μεγάλα στρατζαριστά τα οποία θα είναι η τράπεζα του τόννου. Για γλύστρες θα τοποθετήσουμε δύο άξονες (βάκτρα) διαμέτρου 20mm και το τσοκ για την σύσφιξη των τεμαχίων. Ακόμα, έχουμε δύο άξονες μετάδοσης κίνησης με τραπεζοειδή σπείρωμα. Οι άξονες μετάδοσης κίνησης κινούνται μέσω των βηματικών μοτέρ τα οποία ελέγχονται από πρόγραμμα μέσω υπολογιστή το οποίο ονομάζεται Mach 3.

Επιπλέον, θα υπάρχει το εργαλειοφορείο-σεπόρτ το οποίο θα φέρει τον εργαλειοδέτη αλλά και η κουκουβάγια-κεντροφορέας που θα κινείται χειροκίνητα με τη βοήθεια ενός χειρομοχλού. Ακόμα, λόγω των κραδασμών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της κοπής ενισχύουμε το «σώμα» του τόννου με νεύρα. Τέλος για τη συλλογή των αποβλήτων αλλά και των κατεργασμένων τεμαχίων θα τοποθετήσουμε σκάφη κατάλληλα διαμορφωμένη έτσι ώστε να συγκεντρώνονται όλα τα ρινίσματα και τα έτοιμα τεμάχια. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάποια επιμέρους κομμάτια της κατασκευής εξίσου σημαντικά είναι η πλακέτα, δύο τροφοδοτικά και δύο ασφαλιστικά. Στην Εικόνα 8.1 απεικονίζεται ο τόννος που μελετάται.



Εικόνα 8.1: Τόννος CNC.

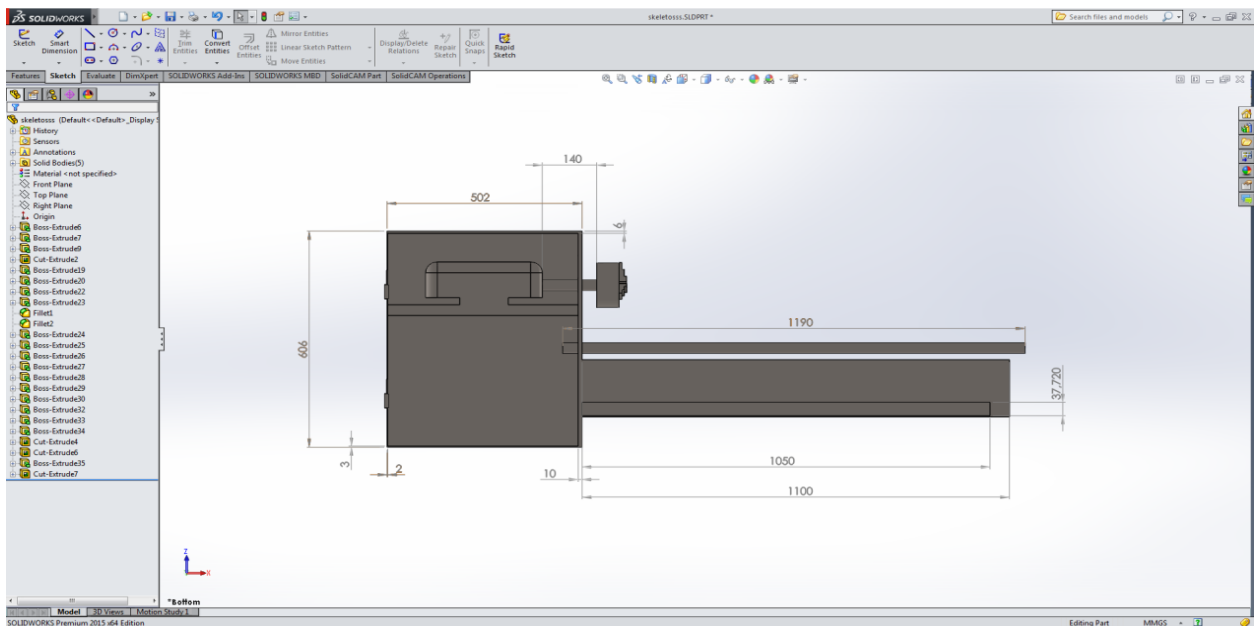
- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Σκελετός Τόννου | 6. Εργαλειοδέτης |
| 2. Τσοκ | 7. Κουκουβάγια |
| 3. Άξονας μετάδοσης κίνησης | 8. Κομμάτι στήριξης αξόνων |
| 4. Σταθεροποιητής κρεβατιού | 9. Πόρτα κουτιού |
| 5. Σεπόρτ | 10. Σκάφη αποβλήτων |

Στην συνέχεια του εδαφίου θα αναπτυχθούν και θα αναλυθούν όλα τα προαναφερόμενα τμήματα του τόννου.

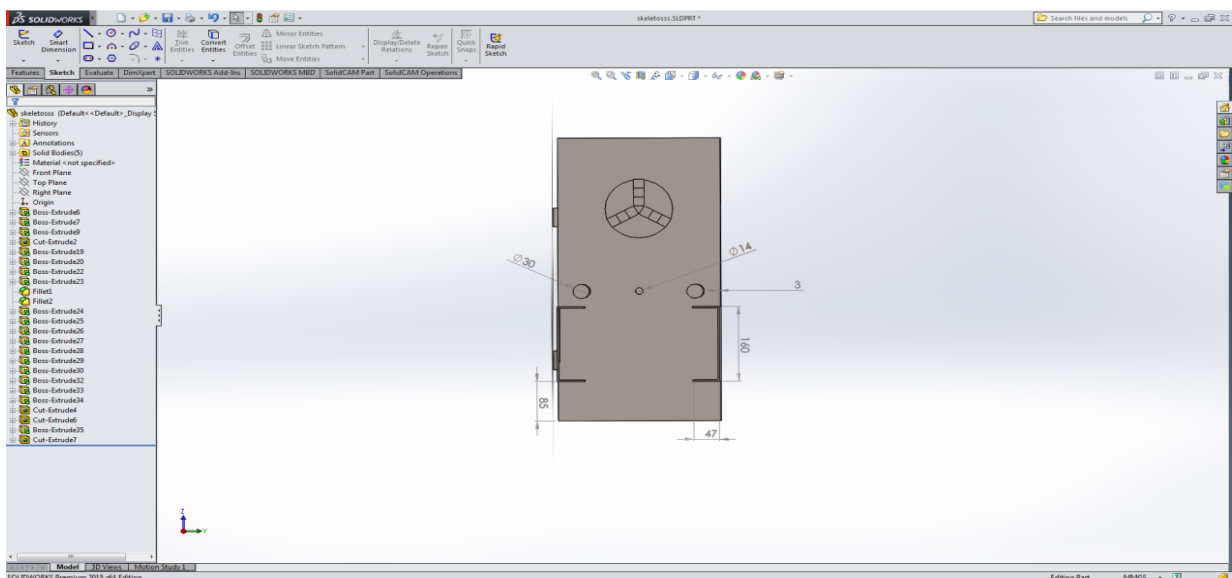
❖ Σκελετός Τόρνου

Στην Εικόνα 8.2 απεικονίζεται ο σκελετός του τόρνου όπου το υλικό που θα κατασκευαστεί θα είναι χάλυβας εμπορίου. Η οπή που διακρίνεται στο πάνω μέρος του, έχει διάμετρο 40mm και είναι για τον άξονα του τσοκ. Οι οπές που διακρίνονται στο κάτω μέρος είναι για τους άξονες στήριξης εργαλειοφορείου, οι οποίοι είναι ταυτόχρονα και άξονες ολίσθησης. Η κεντρική τρύπα που βλέπουμε έχει διάσταση $\varnothing 20\text{mm}$ και είναι η οπή στήριξης του άξονα μετάδοσης κίνησης του εργαλειοφορείου.

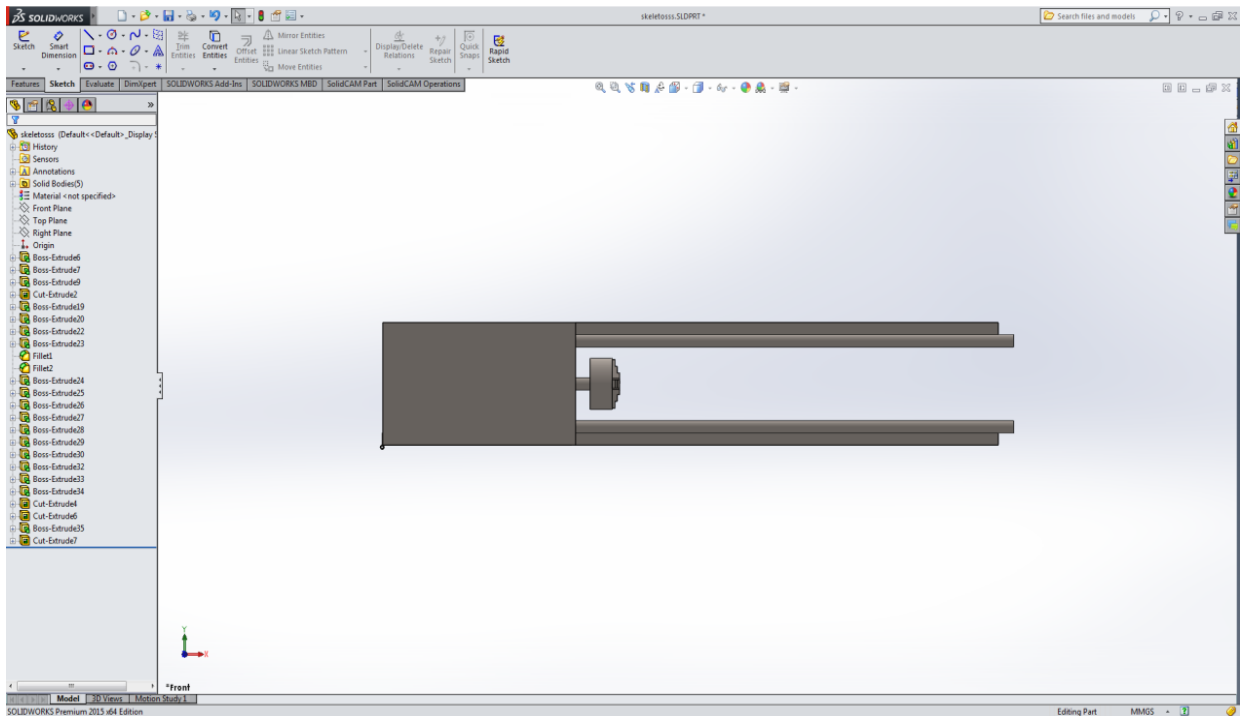
Επιπλέον, στα μακρόστενα [Π] υπάρχει ένα άνοιγμα για την σκάφη συλλογής αποβλήτων. Το πάχος των λαμαρινών που έχει δοθεί είναι τέτοιο ώστε να δώσουμε βάρος στην κατασκευή και να έχουμε σταθερότητα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ένωση των λαμαρινών πρόκειται να γίνει με ηλεκτροσυγκόλληση.



Εικόνα 8.2: Σκελετός τόρνου.

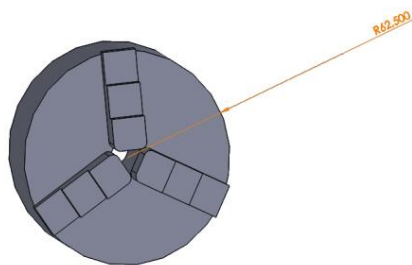


Εικόνα 8.3: Πλάγια δεξιά όψη σκελετού τόρνου.

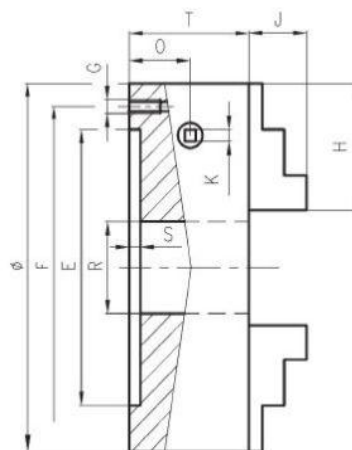


Εικόνα 8.4: Κάτοψη σκελετού τόνου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το τσόκ όπως είναι τριών σημείων, έχει διάμετρο 125mm και εξυπηρετεί πλήρως τις απαιτήσεις. Στην Εικόνα 8.6 διακρίνονται οι διαστάσεις του τσόκ.



Εικόνα 8.5: Τσόκ



Εικόνα 8.6: Διαστάσεις Τσόκ

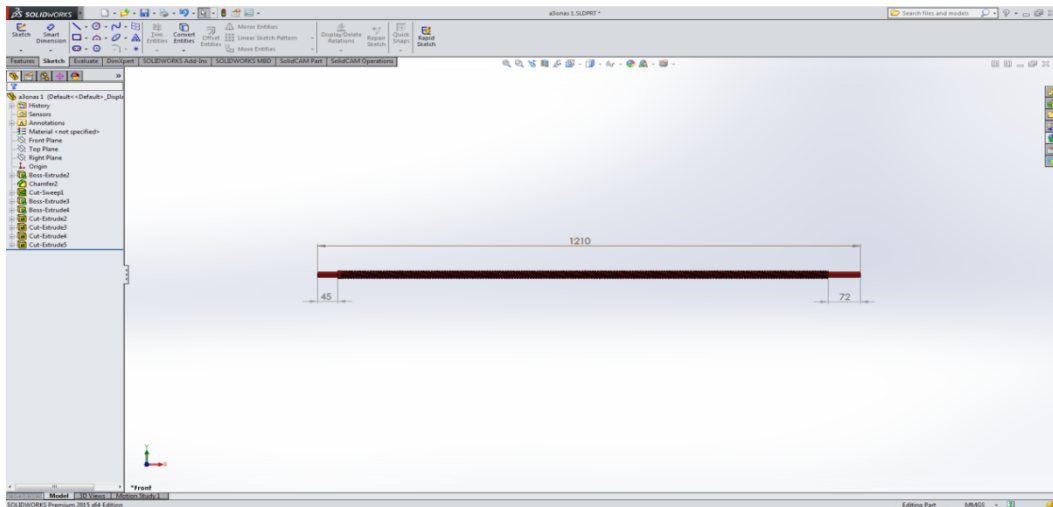
Κωδικός	Φ	E H6	F (2)	G	H	J	K	O	S	T	R
IUS125/3M1	125	100	110	3 x M8	51,5	19	8	22,0	4	58	28

Πίνακας 8.1: Διαστάσεις Τσόκ

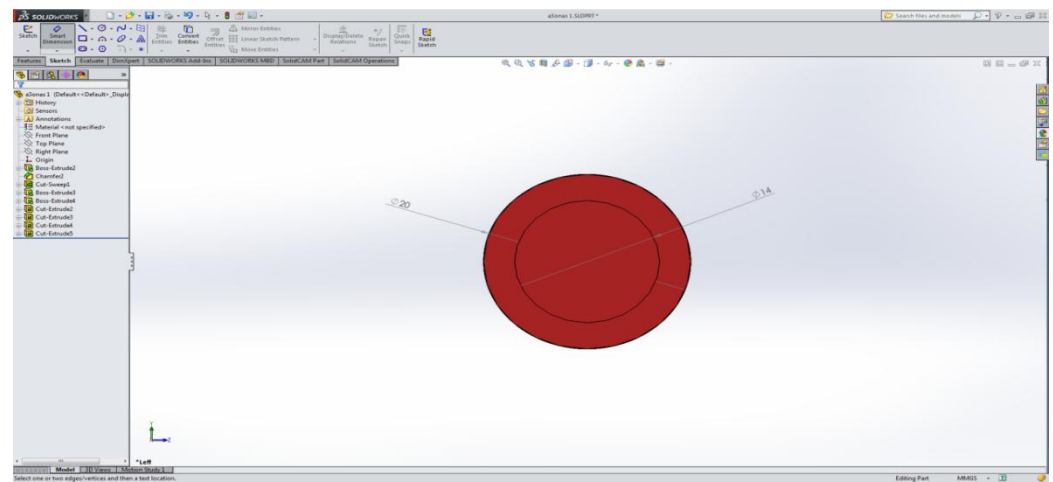
❖ Άξονας μετάδοσης κίνησης

Ο άξονας μετάδοσης κίνησης Φ20 διατίθεται στο εμπόριο και πωλείται με το μέτρο. Θα διαμορφωθεί ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής μας. Επιπλέον, φέρει τραπεζοειδές σπείρωμα, με βήμα 4mm, ώστε να μπορεί να δεχθεί και να καταπονηθεί από τα φορτία της κατεργασίας. Η Εικόνα 8.7 απεικονίζει το πώς είναι διαμορφωμένος ο άξονας, με τις

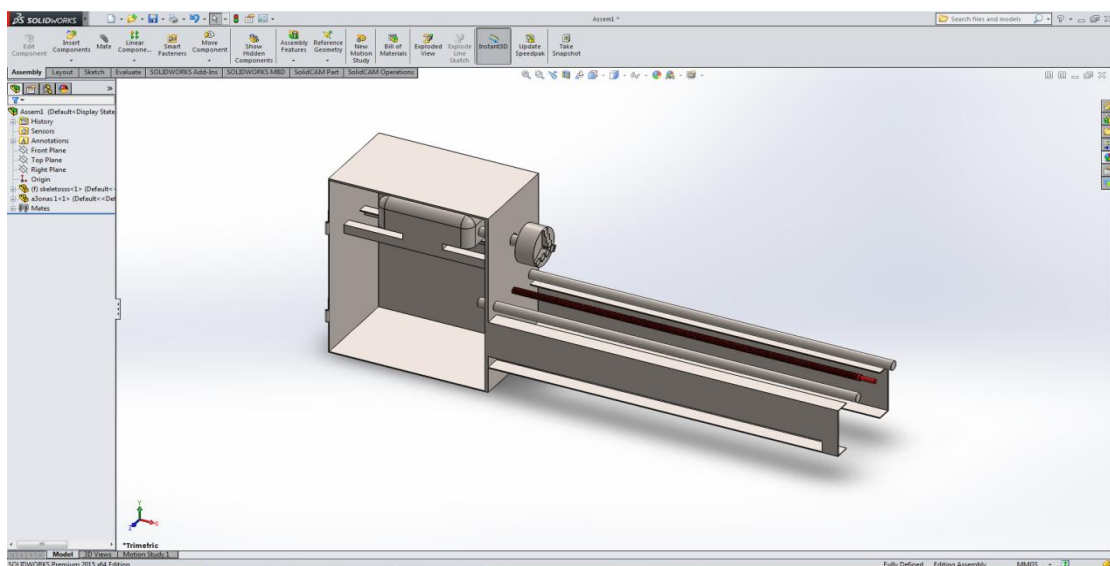
κατάλληλες εσοχές αριστερά και δεξιά με σκοπό να τοποθετηθεί στην εργαλειομηχανή με ασφάλεια και σταθερότητα.



Εικόνα 8.7: Άξονας μετάδοσης κίνησης.



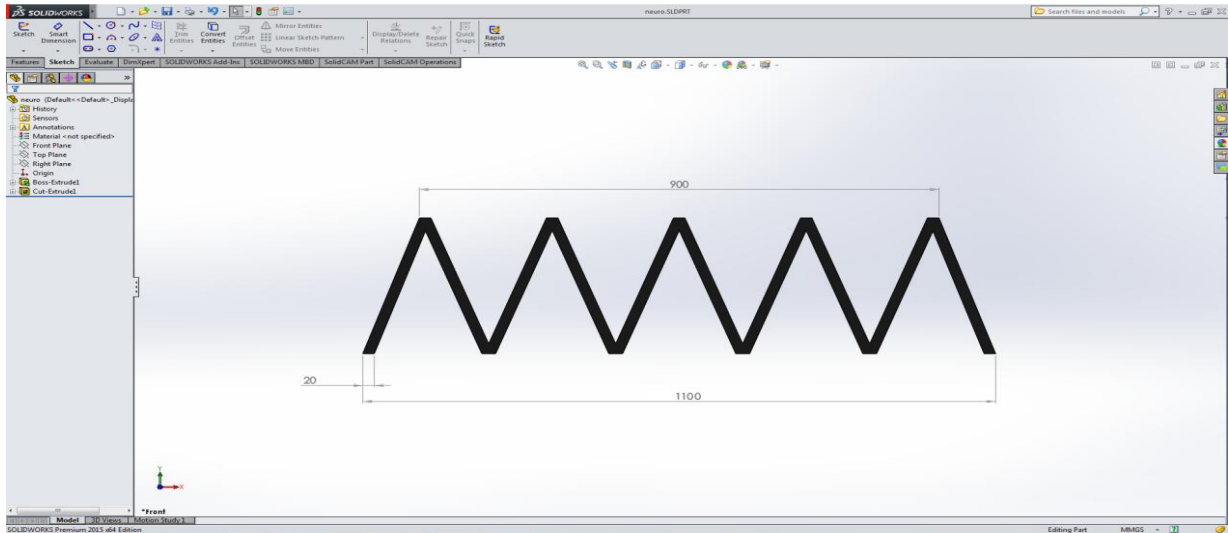
Εικόνα 8.8: Άξονας μετάδοσης κίνησης σε πλάγια δεξιά όψη.



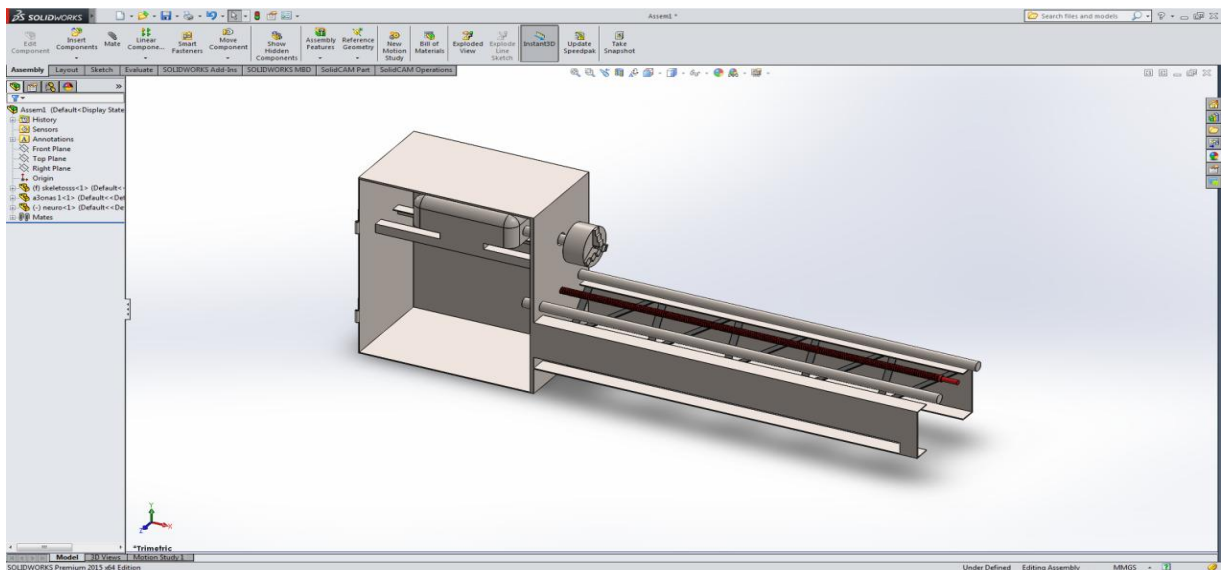
Εικόνα 8.9: Τοποθέτηση Άξονας μετάδοσης κίνησης στην Εργαλειομηχανή CNC.

❖ Σταθεροποιητής κρεβατιού

Για να ενισχυθεί η σταθερότητα της κατασκευής τοποθετείται εσωτερικά του κρεβατιού το νεύρο της Εικόνας 8.10. Λόγω της μορφής του, δηλαδή της χιαστής, δίνεται η ευχέρεια απορρόφησης διαφόρων κραδασμών.



Εικόνα 8.10: Νεύρο για μεγαλύτερη σταθεροποίηση κρεβατιού.



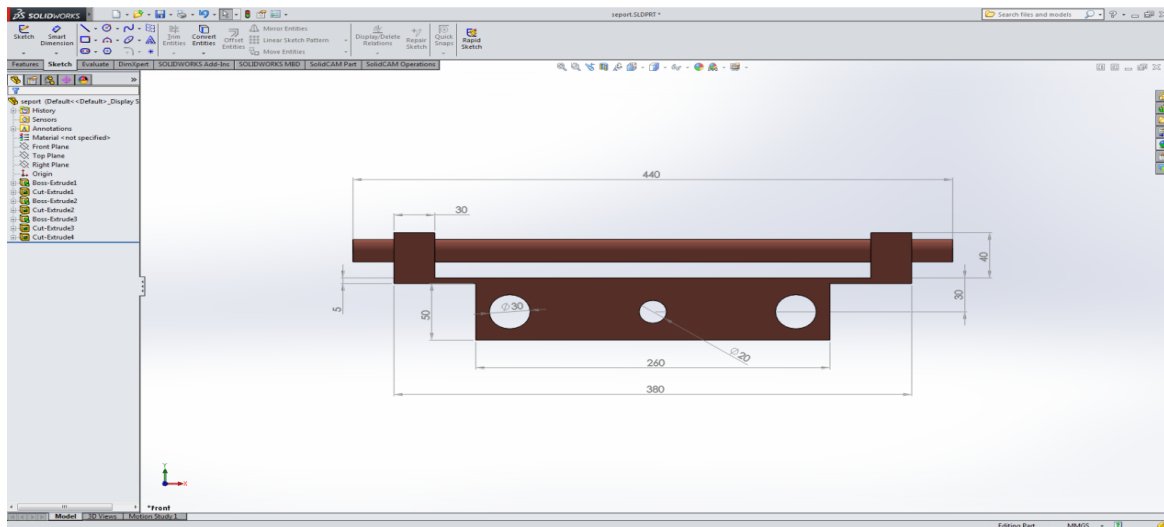
Εικόνα 8.11: Τοποθέτηση νεύρου στην εργαλειομηχανή CNC

❖ Σεπόρτ

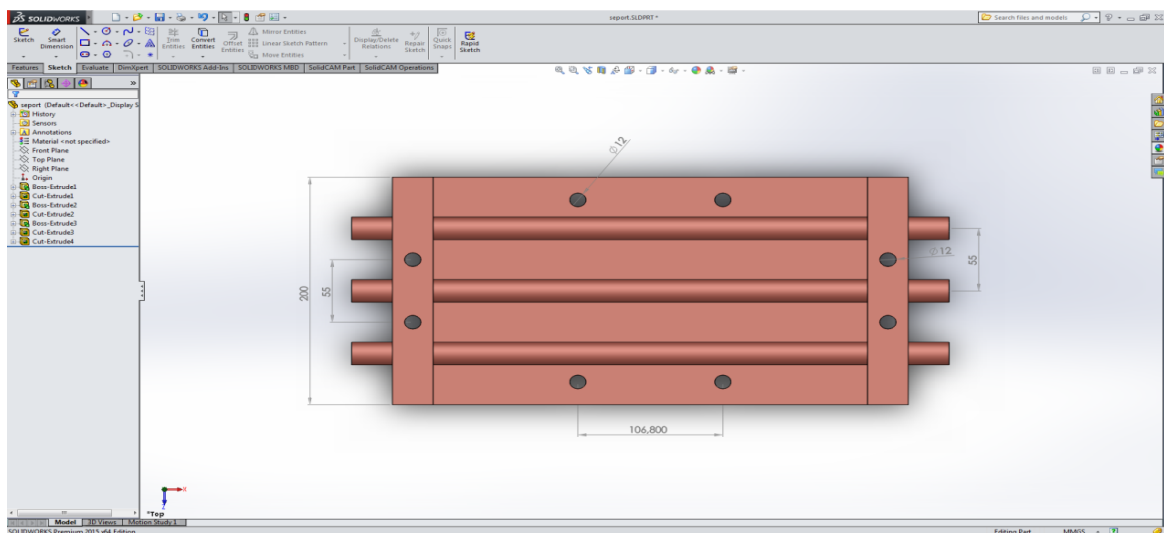
Το σεπόρτ απεικονίζεται στην συνέχεια, τα συμπαγή ορθογώνια είναι από αλουμίνιο διότι θέλουμε να αποφύγουμε το βάρος. Επιπλέον, το σεπόρτ θα κινείται επάνω στον άξονα Z ενώ στους άξονες που φέρει θα κινείται ο εργαλειοδέτης κατά τον άξονα X. Επίσης, η ενδιάμεση πλάκα που τα συνδέει θα κατασκευαστεί από χάλυβα πάχους 5mm. Η πλάκα αυτή συγκρατείται με τα ορθογώνια μέσω κοχλιών M12.

Η μετάδοση της κίνησης από τον άξονα κίνησης ως προς το σεπόρτ πραγματοποιείται από την μεσαία πλάκα η οποία εσωτερικά φέρει σπείρωμα. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί

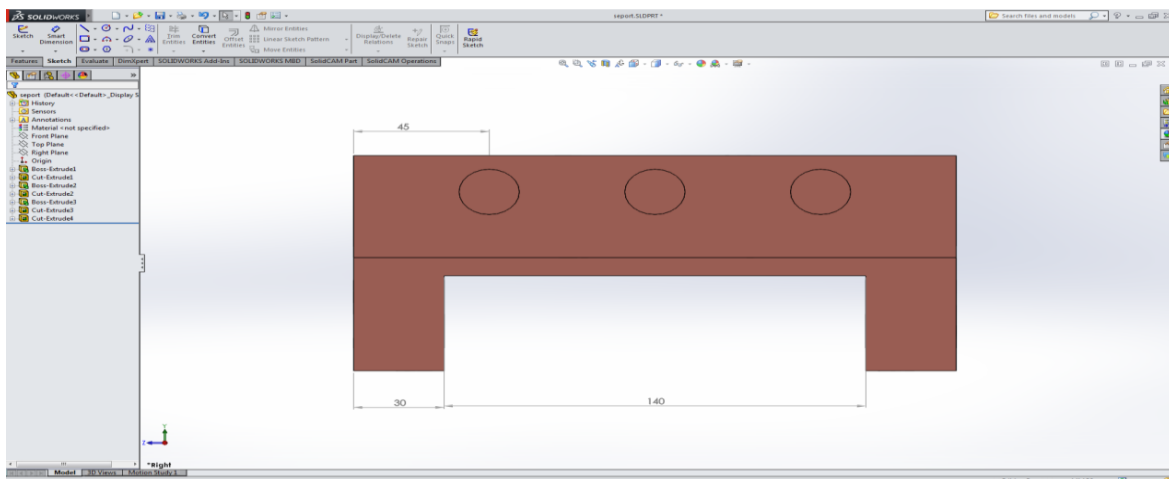
ότι η μεταφορά του σεπόρτ, στο ενδιάμεσο της απόστασης των μεταξύ δύο ορθογωνίων θα γίνεται με περικόχλιο αντίστοιχο συναρμολογούμενο του άξονα με σκοπό να υπάρχει η ασφάλεια αντοχής στα φορτία που αναπτύσσονται κατά την κίνησή του σεπόρτ.



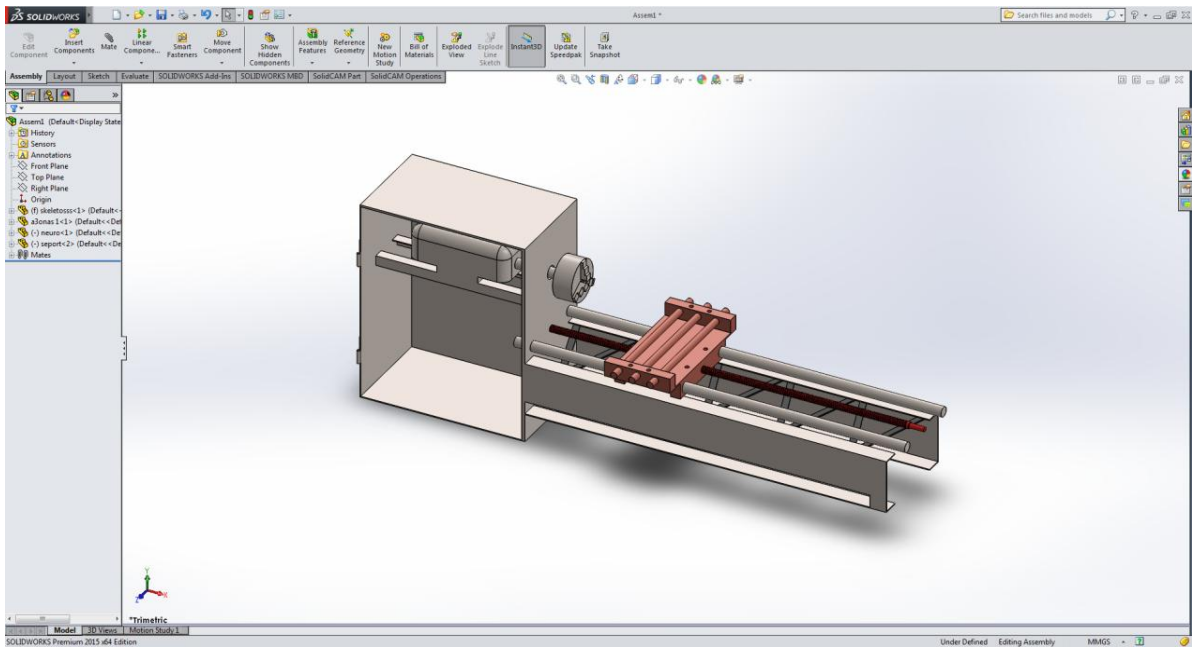
Εικόνα 8.12: Πρόοψη Σεπόρτ



Εικόνα 8.13: Κάτοψη σεπόρτ



Εικόνα 8.14: Πλάγια δεξιά όψη σεπόρτ.



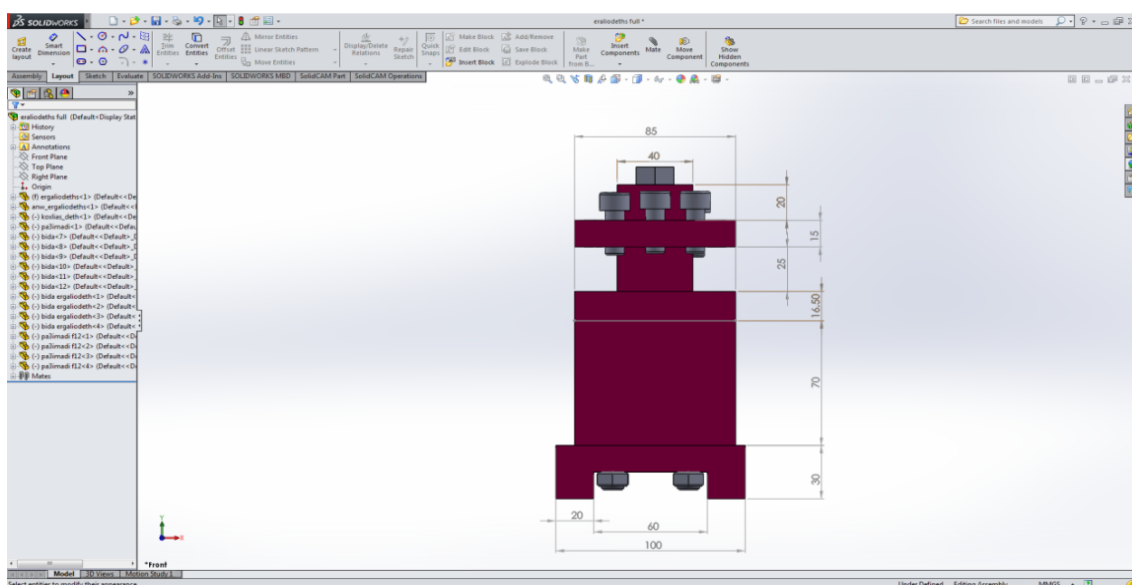
Εικόνα 8.15: Τοποθέτηση Σεπόρτ στην εργαλειομηχανή CNC.

❖ Εργαλειοδέτης

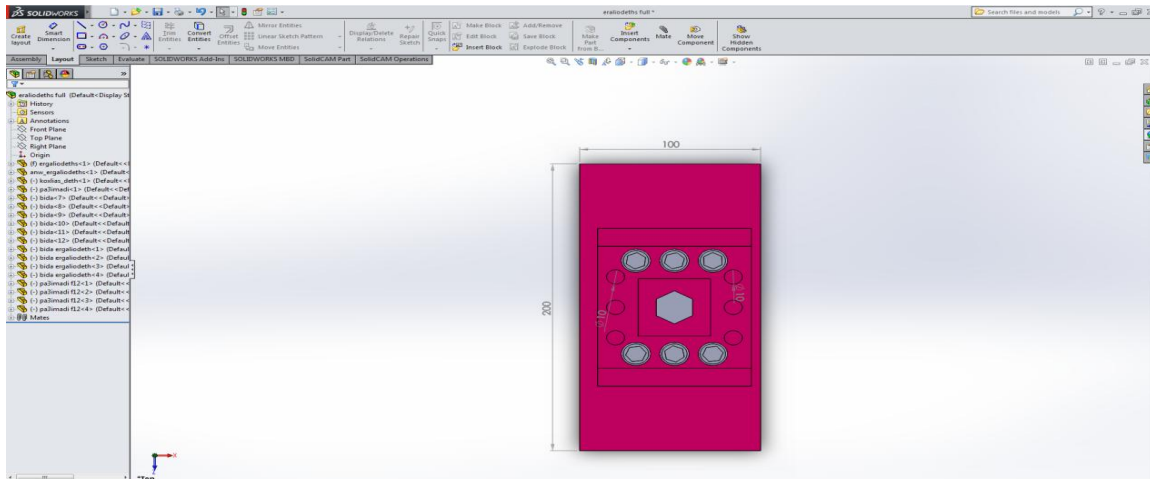
Ο εργαλειοδέτης έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποδέχεται δύο κοπτικά εργαλεία Τύπου μανέλας με καρβίδιο. Στην Εικόνα 8.17 απεικονίζονται οι διαστάσεις του εξαρτήματος. Οι οπές υποδέχονται τους άξονες του σεπόρτ για την κίνηση του εργαλειοδετή. Η σύσφιξη του κοπτικού εργαλείου γίνεται μέσω κοχλιών άλεν. Επιπλέον, στο επάνω μέρος διακρίνεται ένας κεντρικός κοχλίας όπου μέσω αυτού δύναται η περιστροφή του εργαλειοδέτη για την αλλαγή του κοπτικού εργαλείου.



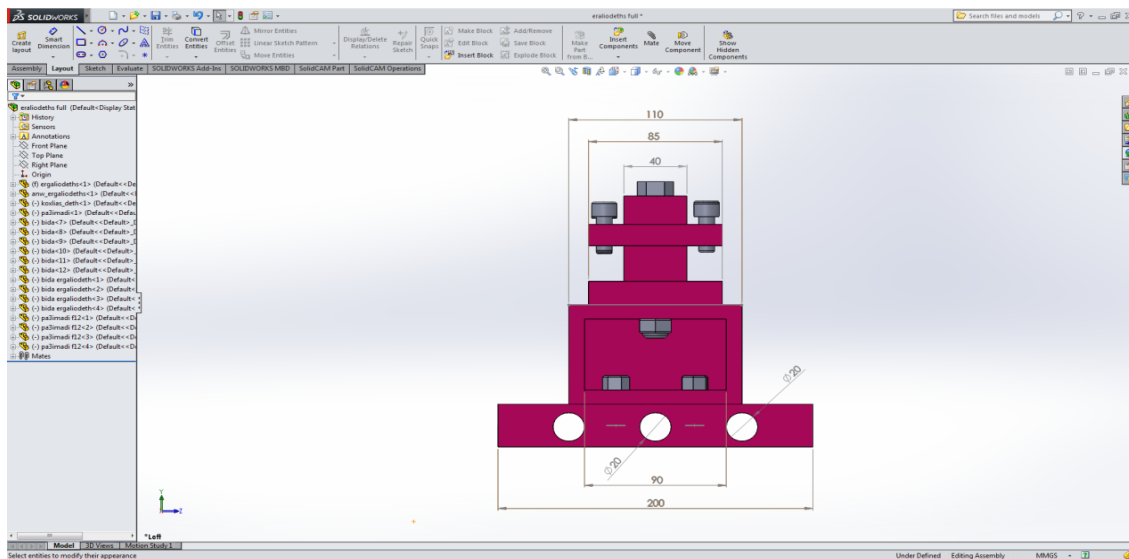
Εικόνα 8.16: Μανέλας με καρβίδιο (PCLNR-L-1).



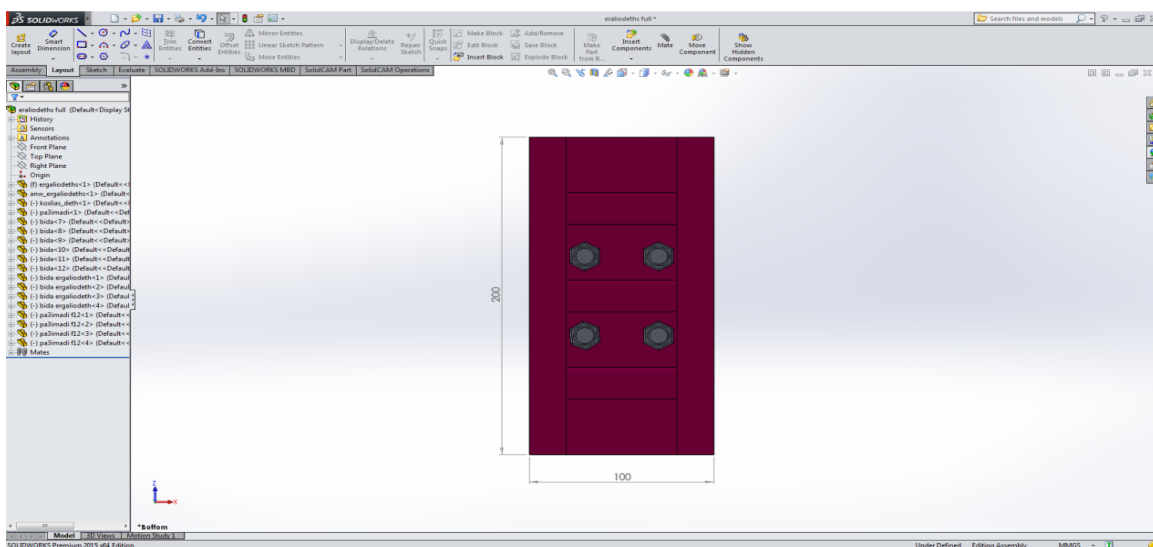
Εικόνα 8.17: Εργαλειοδέτης πρόοψη.



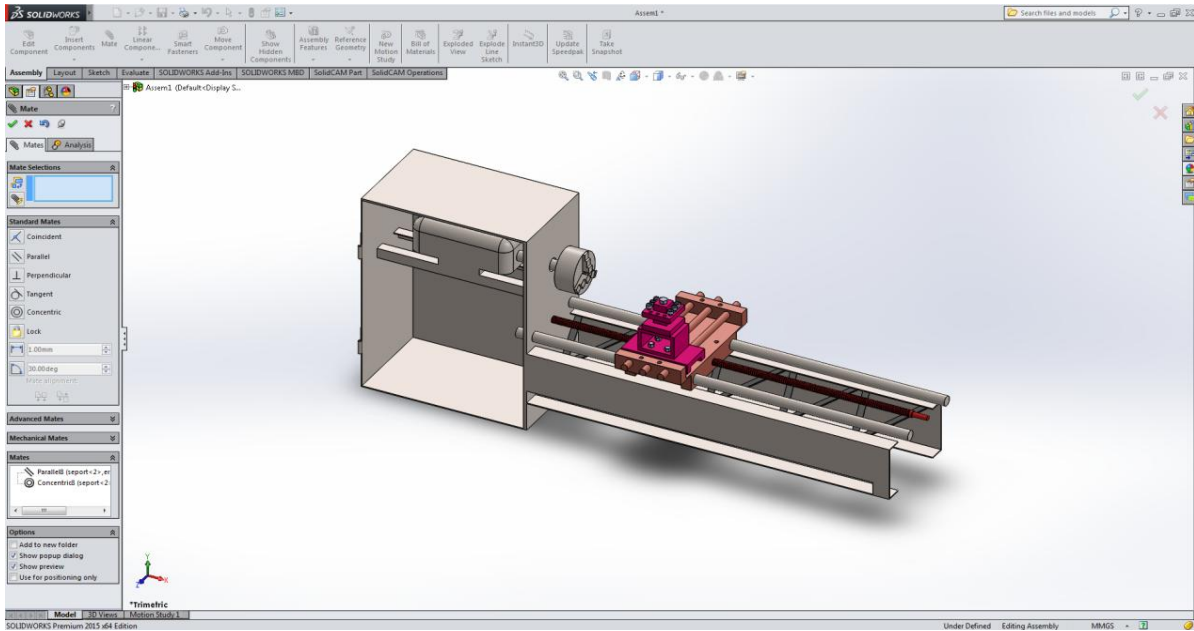
Εικόνα 8.18: Εργαλειοδέτης κάτω όψη



Εικόνα 8.19: Εργαλειοδέτης πλάγια δεξιά όψη.



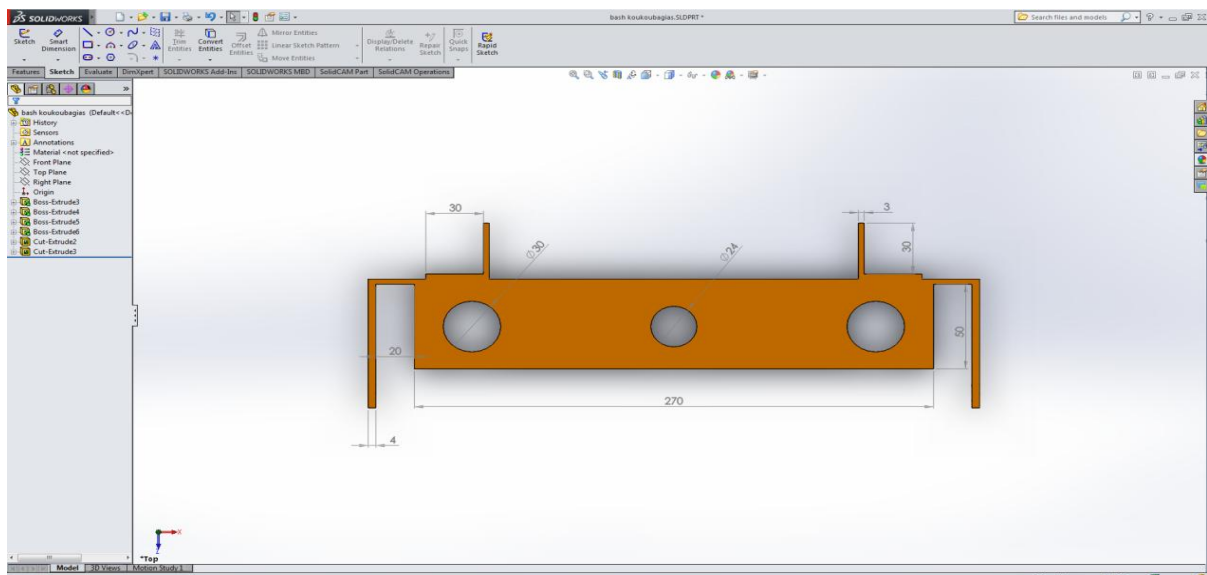
Εικόνα 8.20: Εργαλειοδέτης άνω όψη



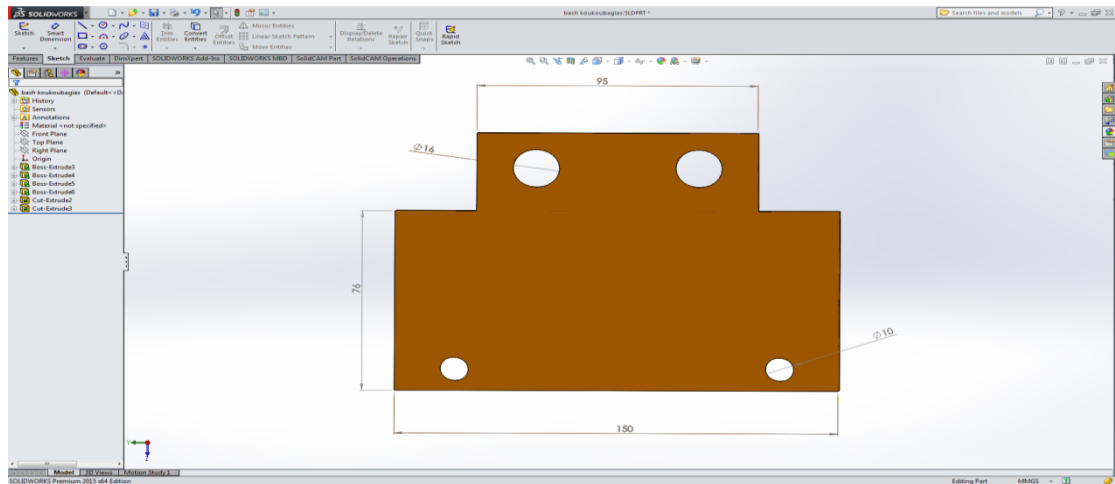
Εικόνα 8.21: Τοποθέτηση Εργαλειοδέτη στην εργαλειομηχανή CNC.

❖ Κεντροφορέας ή κουκουβάγια

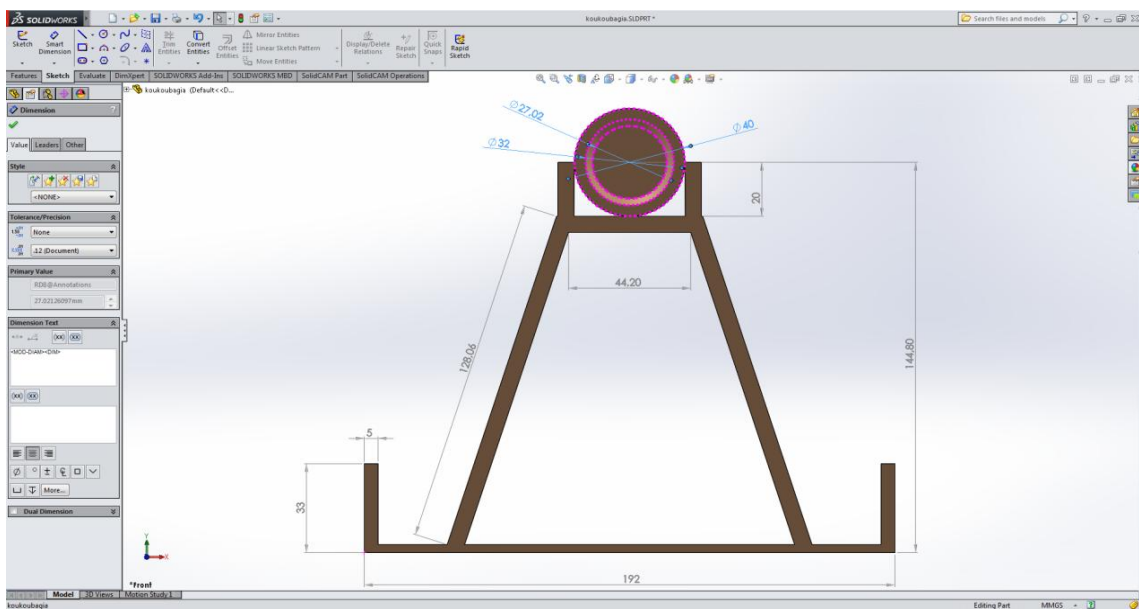
Ο κεντροφορέας ή κουκουβάγια χρησιμοποιείται για την υποστήριξη μεγάλου μήκους τεμαχίων ή επίσης για διάτρηση ή γλύφανση με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου εργαλείου. Ο κεντροφορέας έχει δυνατότητα κίνησης στο μήκος του κρεβατιού του τόρνου και μπορεί να ασφαλίσει σε οποιαδήποτε θέση με τη χρήση κατάλληλου μοχλού ασφάλισης. Ο κώνος Μόρς, στον οποίο ασφαλίζει η πόντα στον κεντροφορέα, δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται στη θέση της πόντας κεντροτρύπανα ή άλλα κοπτικά εργαλεία



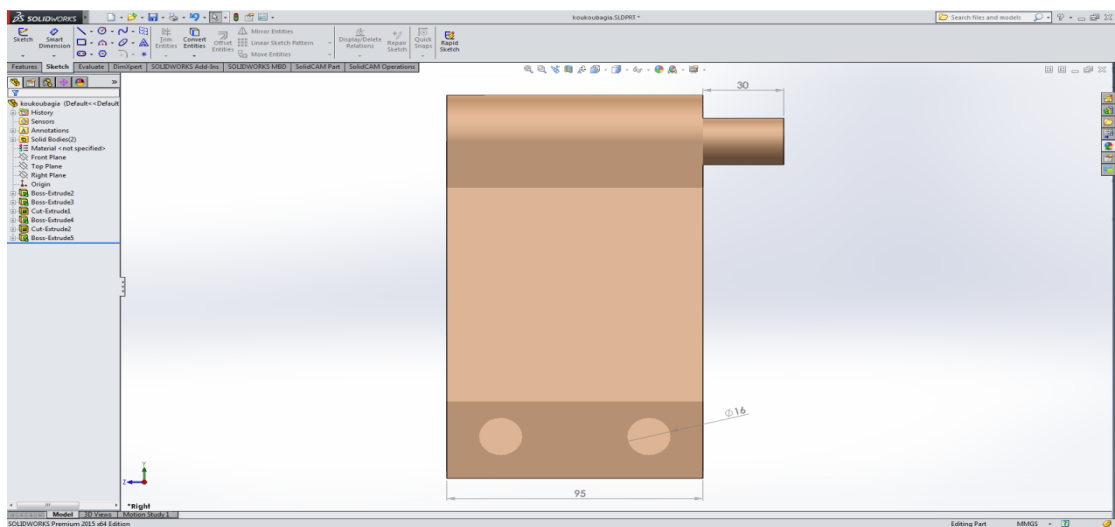
Εικόνα 8.22: Πρόοψη βάσης κουκουβάγιας ή κεντροφορέα



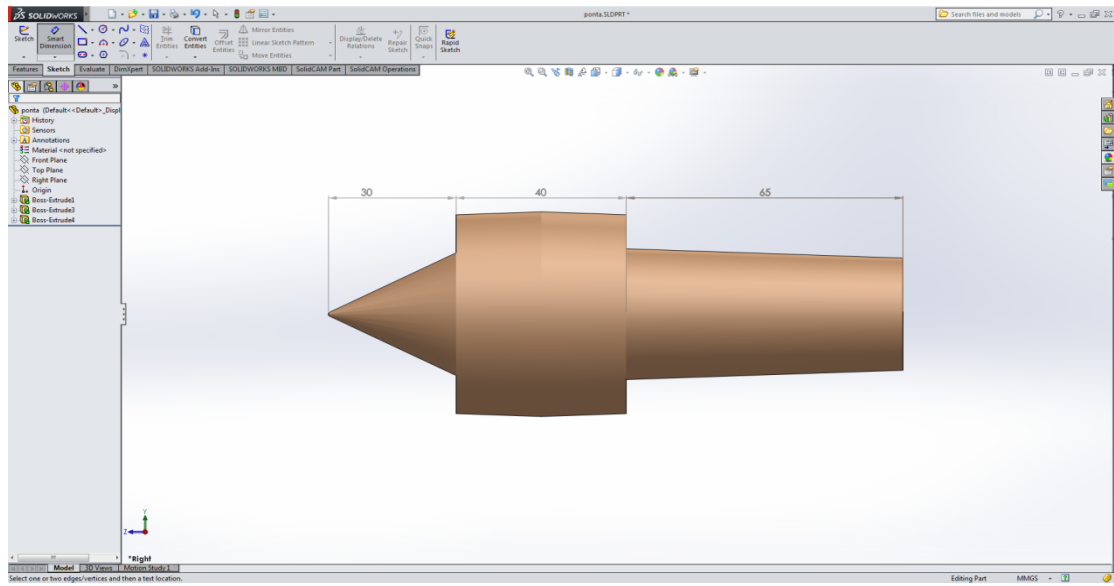
Εικόνα 8.23: Πλάγια αριστερή όψη βάσης κουκουβάγιας ή κεντροφορέα



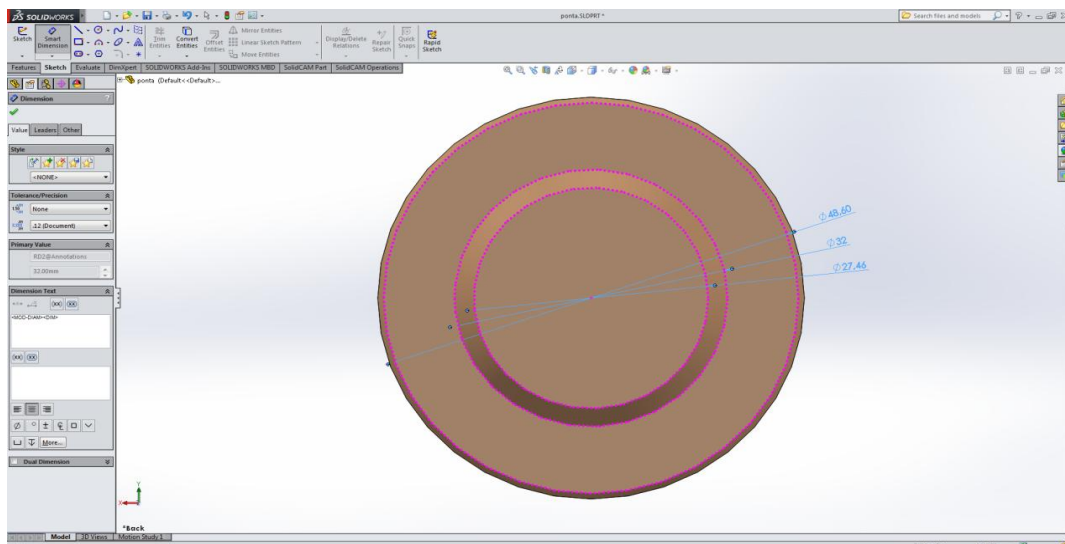
Εικόνα 8.24: Πρόσψη κουκουβάγιας



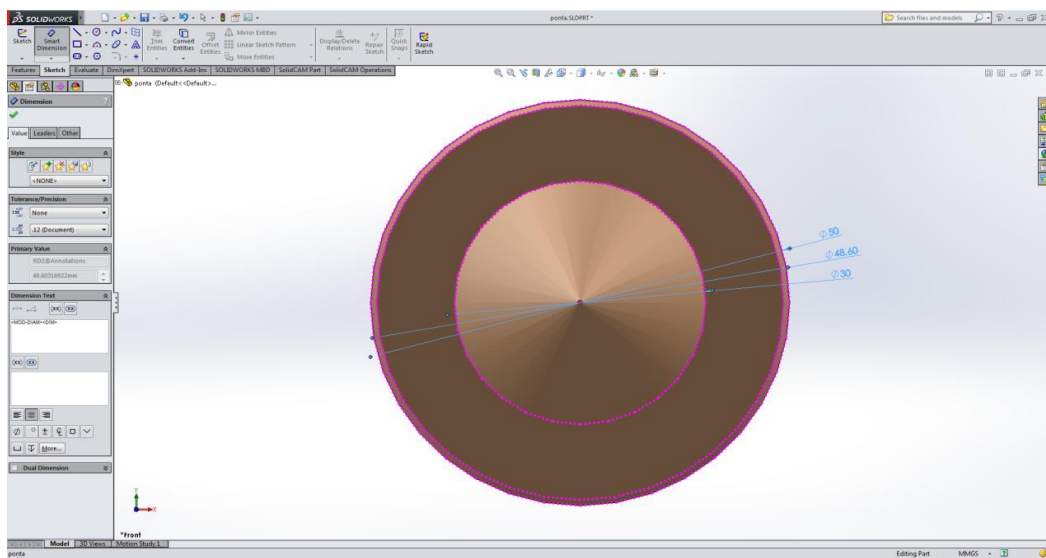
Εικόνα 8.25: Πλάγια αριστερή όψη κουκουβάγιας.



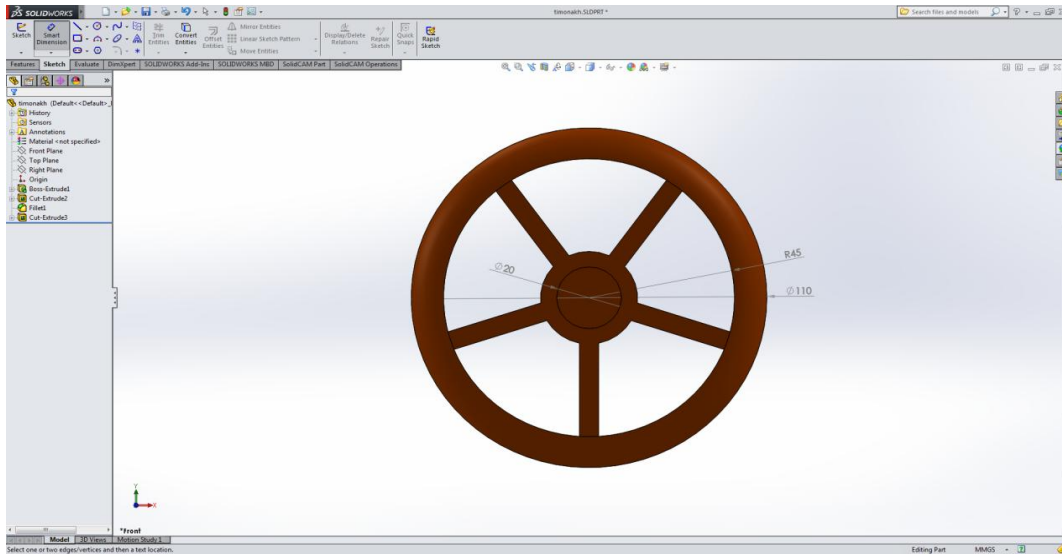
Εικόνα 8.26: Πρόοψη πόντας



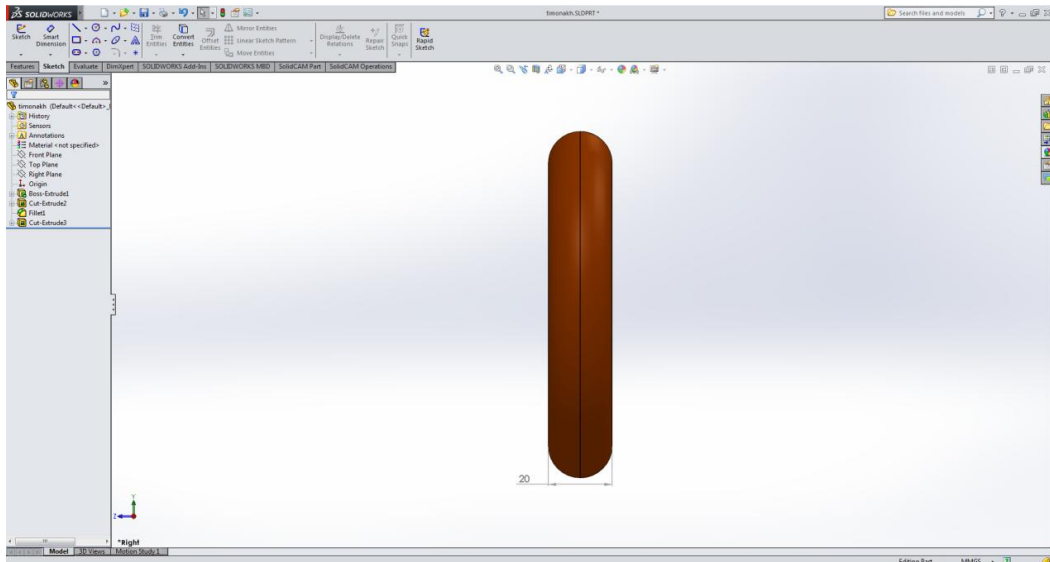
Εικόνα 8.27: Πλάγια δεξιά όψη πόντας



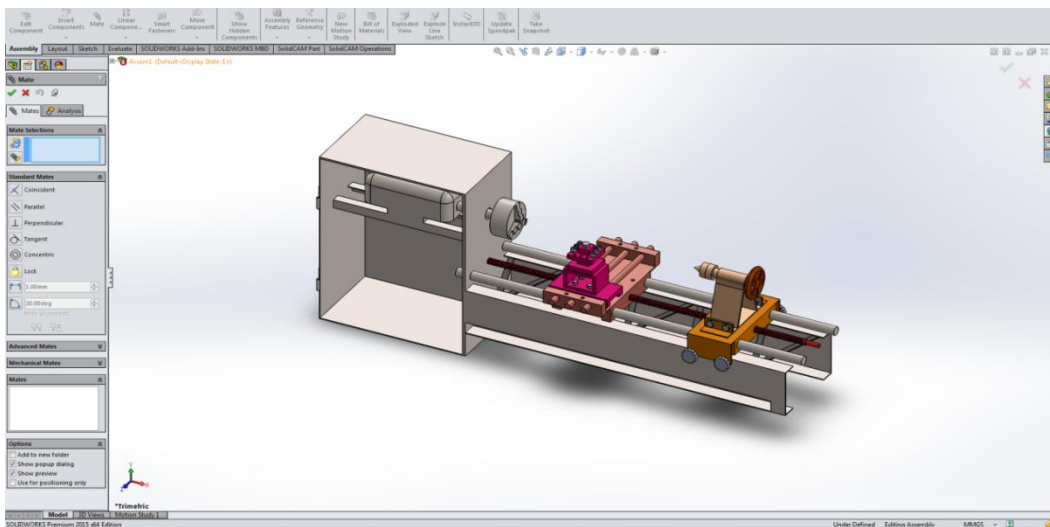
Εικόνα 8.28: Πλάγια αριστερή όψη πόντας.



Εικόνα 8.29: Χειρομοχλός κουκουβάγιας ή κεντροφορέας



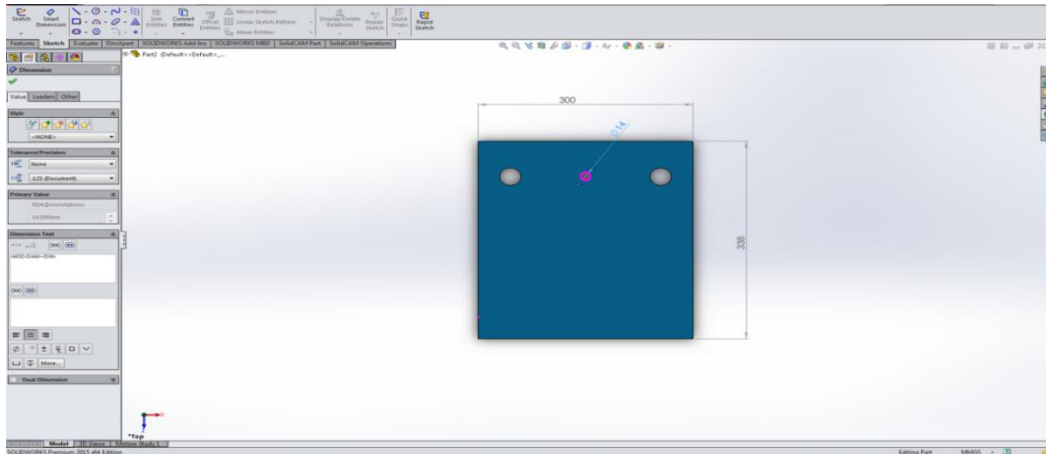
Εικόνα 8.30: Πλάγια όψη χειρομοχλού κουκουβάγιας ή κεντροφορέας



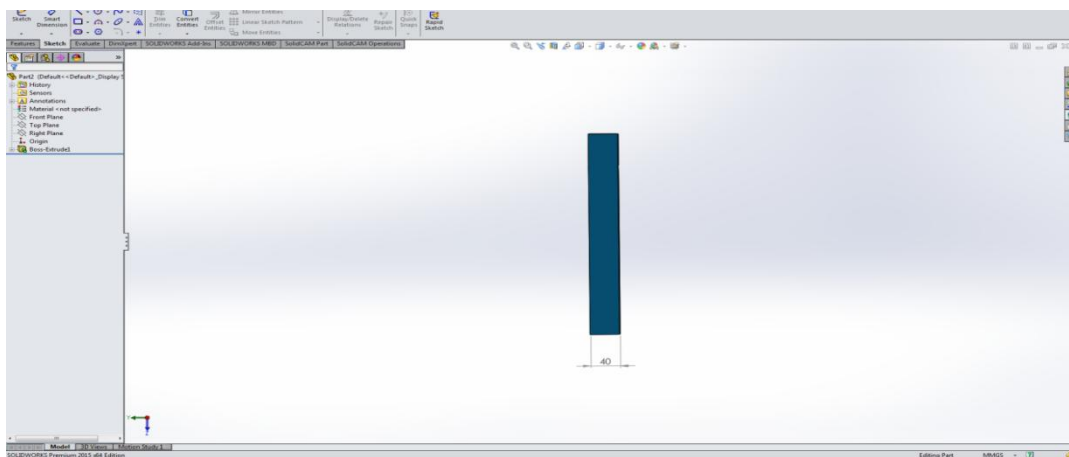
Εικόνα 8.31: Τοποθέτηση κεντροφορέα στην εργαλειομηχανή CNC.

❖ Κομμάτι στήριξης των αξόνων

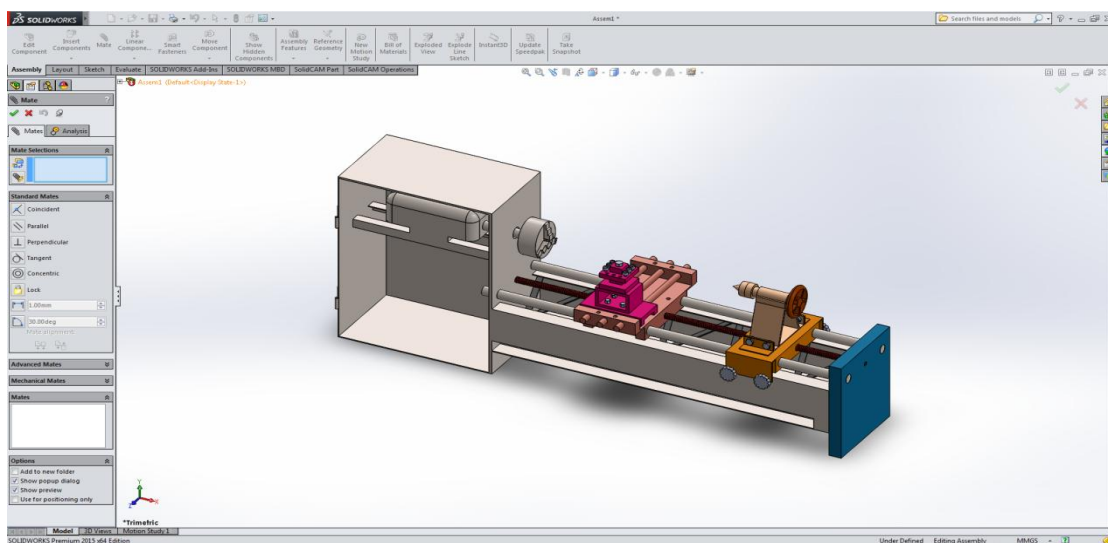
Το κομμάτι στήριξης των αξόνων είναι κούφιο και περιέχει αριστερά και δεξιά δύο στοιχεία συγκράτησης των αξόνων. Επιπλέον, στο κέντρο υπάρχει ένα στοιχείο κύλισης για τον άξονα μετάδοσης κίνησης. Το κομμάτι στήριξης απεικονίζεται στην Εικόνα 8.32.



Εικόνα 8.32: Κομμάτι στήριξης των αξόνων – πρόοψη.



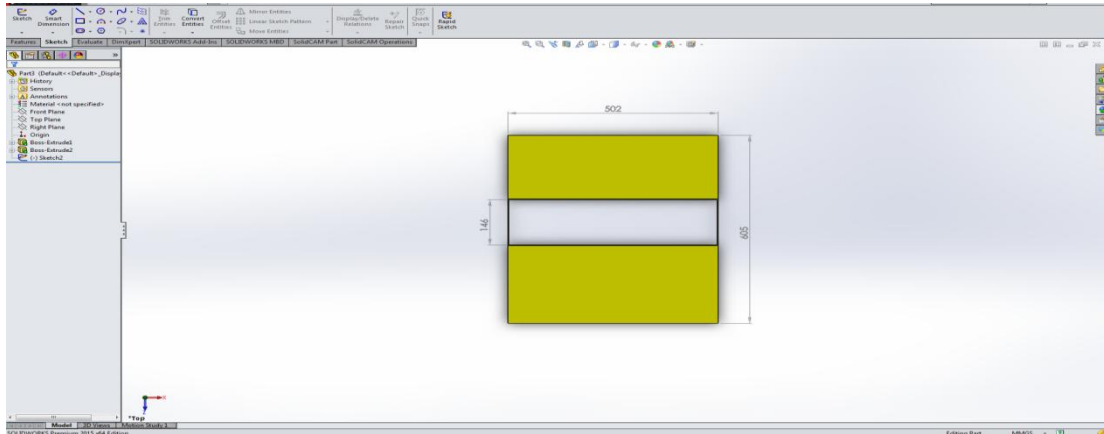
Εικόνα 8.33: Κομμάτι στήριξης των αξόνων – Πλάγια αριστερή όψη



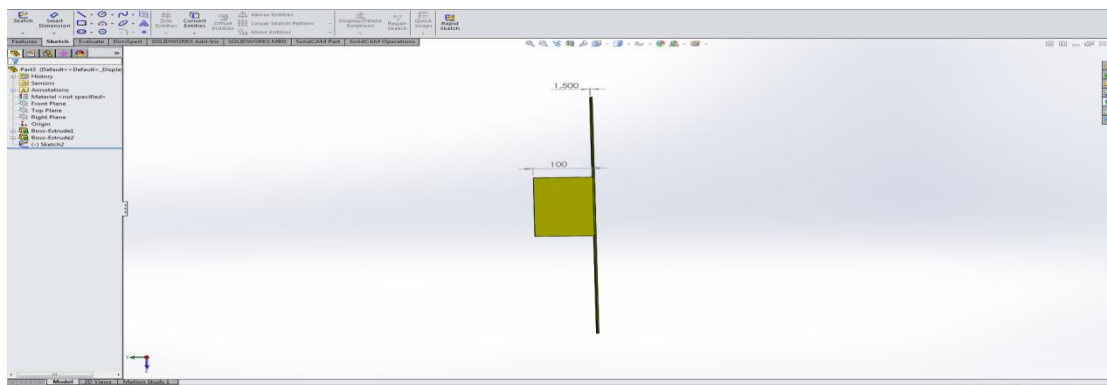
Εικόνα 8.34: Τοποθέτηση του κομματιού στήριξης στην εργαλειομηχανή CNC.

❖ Πόρτα κουτιού

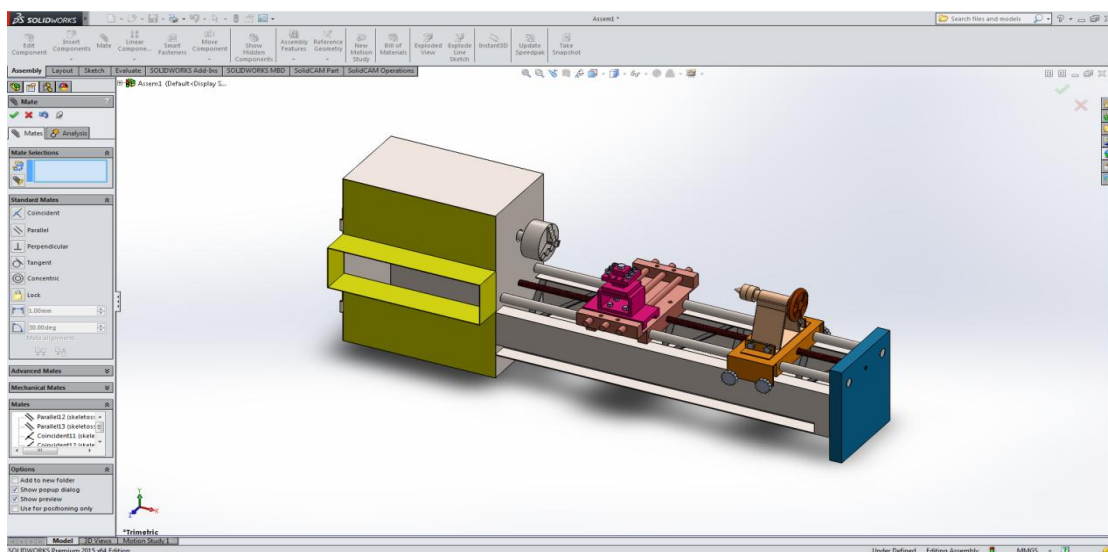
Στο σημείο αυτό σχεδιάζεται η πόρτα του κουτιού, η οποία περίπου στο κέντρο της θα κατασκευαστεί ένα κουτί. Στο εσωτερικό του κουτιού θα τοποθετηθεί η πλακέτα και πάνω από αυτό όλοι οι απαραίτητοι διακόπτες για την σωστή λειτουργία του τόννου. Επιπλέον, η έξοδος της πλακέτας προς τον υπολογιστή θα είναι από μπροστά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πόρτα θα είναι ανοιγόμενη και όταν θα κλείνει θα σφαλίζει με σύρτη.



Εικόνα 8.35: Πόρτα κουτιού - πρόοψη



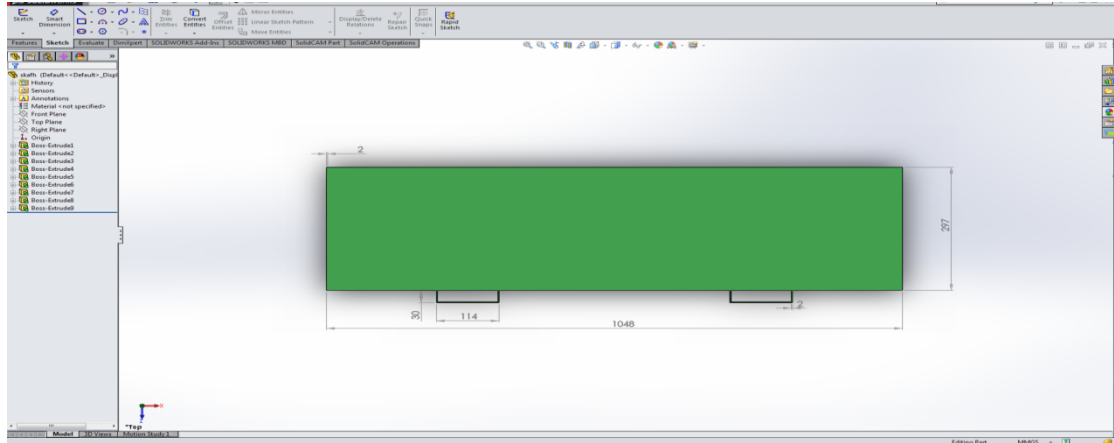
Εικόνα 8.36: Πόρτα κουτιού - Πλάγια δεξιά όψη



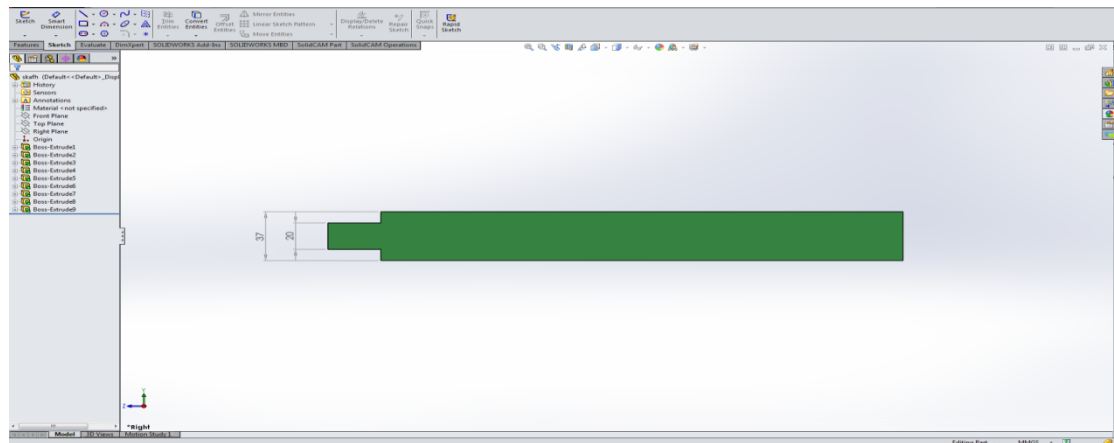
Εικόνα 8.37: Τοποθέτηση Πόρτας κουτιού - Πλάγια όψη.

❖ Σκάφη αποβλήτων

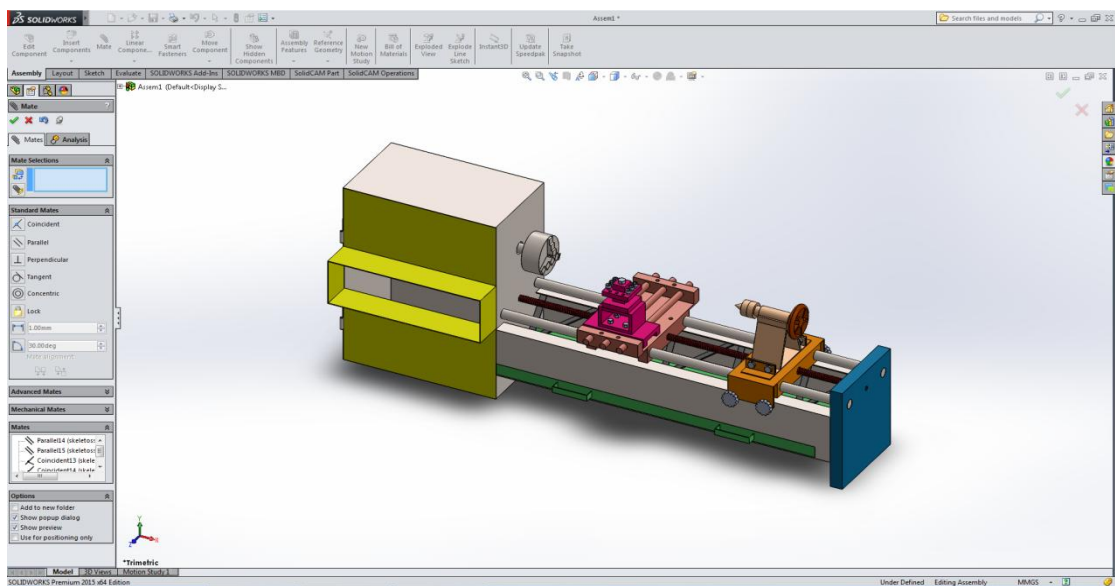
Η σκάφη αποβλήτων χρησιμεύει για την συλλογή των ριμισμάτων μετά από κάθε κατεργασία αλλά και για την συλλογή των κομματιών των οποίων πέφτουν μετά την κοπή τους.



Εικόνα 8.38: Σκάφη αποβλήτων κάτωψη



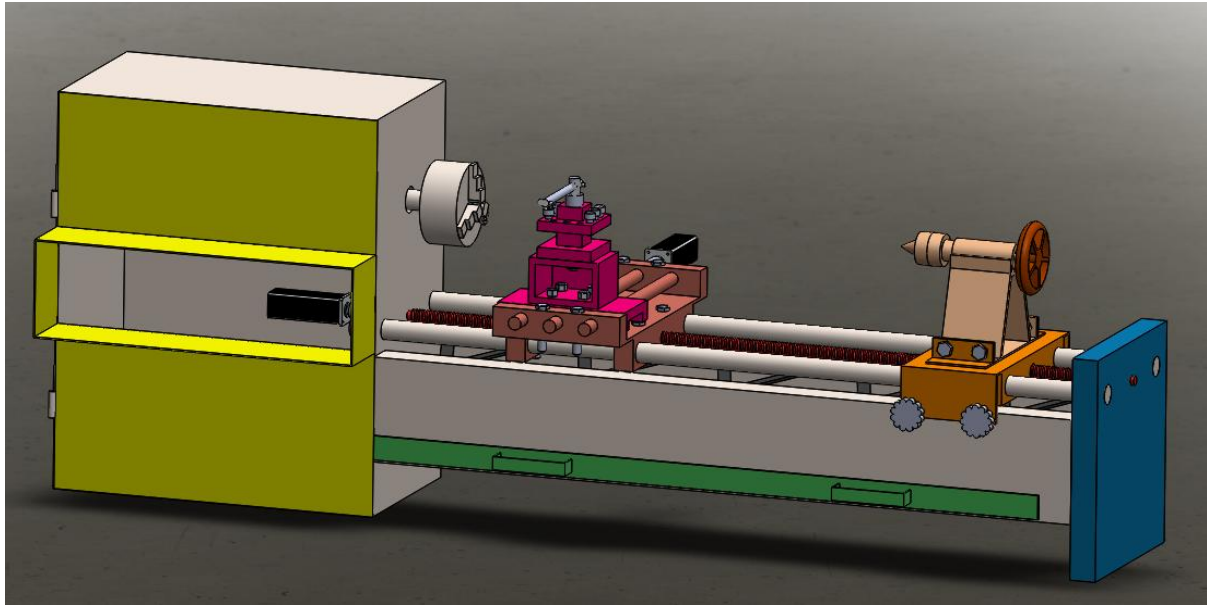
Εικόνα 8.39: Σκάφη αποβλήτων πλάγια δεξιά όψη



Εικόνα 8.40: Τοποθέτηση σκάφης αποβλήτων.

❖ Τόρνος CNC μικρών διαστάσεων

Στο σημείο αυτό της παρούσας πτυχιακής εργασίας ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός των τμημάτων του τόρνου. Στην Εικόνα 8.40 απεικονίζεται η ένωση των τμημάτων δίνοντας την τελική μορφή του τόρνου.



Εικόνα 8.41: Τόρνος CNC.

8.5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΡΝΟΥ

Στην ενότητα αυτή, θα αναφερθεί, θα αναλυθεί και θα επεξηγηθεί όλος ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για τη κατασκευή του τόρνου. Τα ηλεκτρικά μέρη είναι απαραίτητα, διότι είναι αυτά που θα <<μετατρέψουν>> την κατασκευή του συμβατικού τόρνου σε τόρνο ψηφιακής καθοδήγησης. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός αποτελείται από τα εξής:

- Δυο βηματικά μοτέρ
- Δυο driver
- Τροφοδοτικό
- Πλακέτα
- Ηλεκτροκινητήρας
- Inverter

Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι χρειάζονται είτε δύο ασφαλιστικά είτε δύο τερματικά κατά τον άξονα Z έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα σύγκρουσης του κοπτικού εργαλείου ή και ολόκληρου του εργαλειοδέτη με το τσοκ. Στην συνέχεια του εδαφίου θα αναλυθούν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που χρειάζονται για την κατασκευή.

➤ ΒΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΤΕΡ

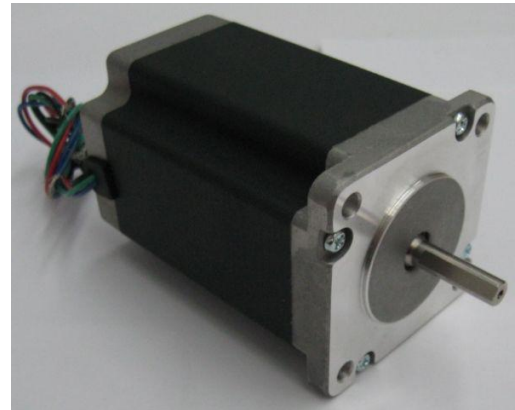
Τα βηματικά επιλέχτηκαν βάση του υπολογισμού της $P_z=4340$ N. Η ροπή που έχουν τα βηματικά είναι 11,2 N*m όπως αναγράφεται και στα χαρακτηριστικά. Εμείς όμως

εξετάζουμε την δύναμη σε χιλιοστά και όχι σε μέτρα αρά κάνοντας την μετατροπή έχουμε $11,2 \text{ N}\cdot\text{m} * 1000 = 11200 \text{ N}\cdot\text{mm}$ που όπως βλέπουμε μας καλύπτει και με το παραπάνω.

Στη περίπτωση αυτή τα βηματικά μοτέρ λειτουργούν σαν κιβώτιο πρώωσης .

NEMA 34 STEPPER MOTOR	
step angle	: 1.8 degree
voltage	: 5.7V
current	: 3.0 A/phase
resistance	: 1.9ohm/phase
inductance	: 22mH/phase
holding torque	: 11.2 N.m 1600oz-in
inrotor inertia	: 3600g-cm2
number of wire leads	: 4
weight	: 5kg
length	: 151mm

Πίνακας 8.2: Στοιχεία βηματικών μοτέρ



Εικόνα 8.42: Βηματικό μοτέρ

➤ DRIVER

STEPPER MOTOR DRIVER	
◆ Low cost and good high-speed torque	◆ 14 selectable resolutions
◆ Supply voltage up to +80VD	◆ Suitable for-2-phase and 4-phase motors
◆ Output current up to 8.2A	◆ Dip switch current setting 8different values
◆ Optically isolated input signals	◆ Pulse frequency up to 200KHz
◆ Automatic idle-current reductiOn	◆ Small size (107*97*48),Weight:1KG

Πίνακας 8.3: Στοιχεία Driver.

➤ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ 350W,48VDC 7.3A

Το τροφοδοτικό έχει την δυνατότητα να μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές 48V για την πλακέτα.



Εικόνα 8.43: Τροφοδοτικό.

➤ ΠΛΑΚΕΤΑ 5 ΑΞΟΝΩΝ

Breakout board

Input Voltage	USB port from PC(5V) and 24-48V power supply
Drive type	Pulse and Direction Signal Control
Suitable Microstep Driver	2 Phase Microstep Driver
Net weight	Approx 75g
Dimensions	90 * 70 * 20mm (L*W*H)

Πίνακας 8.4: Στοιχεία πλακέτας.



Εικόνα 8.44: Πλακέτα 5 αξόνων.

➤ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Μονοφασικός ηλεκτροκινητήρας

Ισχύς	2 hp
Στροφές	1450rpm
Διάμετρο άξονα	24mm
Ροπή	5738,46 n*m

Πίνακας 8.5: Στοιχεία μονοφασικού ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 8.45: Μονοφασικός ηλεκτροκινητήρας.

Η ροπή του ηλεκτροκινητήρα είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη P_z που ασκεί το κοπτικό εργαλείο κατά την τόννευση, άρα ο ηλεκτροκινητήρας μας καλύπτει. Στην περίπτωση μας ο ηλεκτροκινητήρας μεταφέρει την περιστροφική ταχύτητα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο μέσω της ατράκτου του κινητήρα και δίνεται η δυνατότητα επιλογής ταχύτητας μέχρι και 1450 rpm. Ουσιαστικά ο ηλεκτροκινητήρας «παίζει» τον ρόλο του κιβώτιου ταχυτήτων.

➤ INVERTER

Η συνδεσμολογία που πρέπει να γίνει στα παραπάνω εξαρτήματα είναι η έξης: το τροφοδοτικό δέχεται ρεύμα από το δίκτυο 230V και το μεταφέρει στην πλακέτα 48V. Στην συνέχεια η πλακέτα επικοινωνεί με τα driver και αυτά κινούν τα βηματικά μοτέρ. Η πλακέτα συνδέεται με παράλληλο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου και από εκεί δέχεται τις εντολές λειτουργίας. Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρειαζόμαστε το πρόγραμμα mach 3 όπου είναι συμβατό για τέτοιες λειτουργίες. Για την κίνηση του τσοκ έχουμε ένα μονοφασικό ηλεκτροκινητήρα 2 Hp - 1450rpm και για τον ρυθμιστή των στροφών έχουμε έναν inverter.



Εικόνα 8.46: Inverter

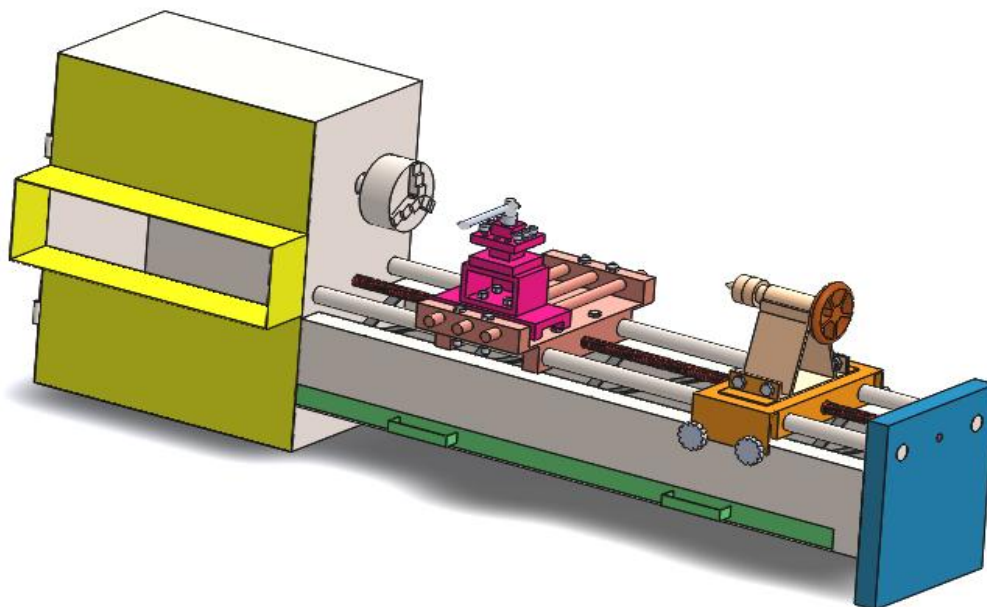
8.6. ΈΝΩΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΡΝΟΥ

Σε αυτό το εδάφιο της παρούσα πτυχιακής εργασίας θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη περιγραφή της ένωσης των τμημάτων του τórνου. Όπως προαναφέρθηκε αρχικά σχεδιάστηκε ο σκελετός του τórνου. Έχει πραγματοποιηθεί διάνοιξη οπών για τους άξονες του τσοκ και της μετάδοσης κίνησης αντίστοιχα. Ακολουθεί η τοποθέτηση του άξονα μετάδοσης κίνησης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο άξονας είναι με τραπεζοειδής σπείρωμα διότι τα φορτία που θα αναπτύσσονται είναι μεγάλα. Το τραπεζοειδές σπείρωμα έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετεί μεγάλα φορτία. Τραπεζοειδής σπείρωμα έχει τοποθετηθεί και στον άξονα μετάδοσης κίνησης του άνω εργαλειοφορείου.

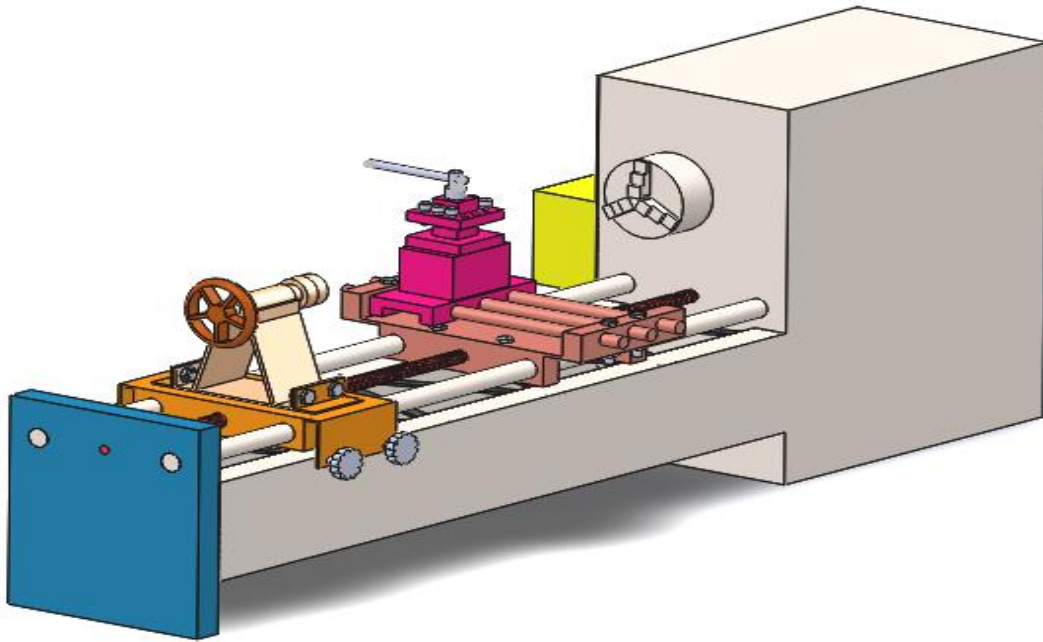
Στη συνέχεια τοποθετείται εσωτερικά του κρεβατιού το νεύρο το οποίο προσδίδει τη σταθερότητα και στιβαρότητα της κατασκευής λόγω των χιαστών. Ακολουθεί η τοποθέτηση του Σεπόρτ χωρίς τον εργαλειοδέτη, όπου αποτελείται από τρεις άξονες, δύο από αυτούς είναι οι γλίστρες ενώ ο κεντρικός είναι ο άξονας κινήσεως του εργαλειοδέτη. Τονίζεται ότι μέρος του Σεπόρτ είναι από αλουμίνιο διότι με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται το βάρος κατά την κίνηση. Για αυτό το λόγο τοποθετούνται τα ορθογώνια αυτά κομμάτια που συγκρατούν τους άξονες του Σεπόρτ αλλά και του κρεβατιού. Τα κομμάτια μεταξύ τους είναι συνδεδεμένα με κοχλίες έτσι ώστε να είναι εύκολη η αποσυναρμολόγηση του Σεπόρτ, καθώς και για τη συντήρηση αυτού.

Ακολουθεί η τοποθέτηση του κάτω εργαλειοφορείου. Επιπλέον, ο εργαλειοδέτης είναι έτσι δομημένος ώστε να δέχεται δύο κοπτικά εργαλεία. Η κατασκευή του εργαλειοδέτη έχει γίνει έτσι ώστε να σφίγγει και να αποσφίγγει με την χρήση κλειδιού. Τονίζεται ότι με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η σύσφιγξη του κοπτικού εργαλείου επάνω στον εργαλειοδέτη με την χρήση κοχλιών τύπου allen.

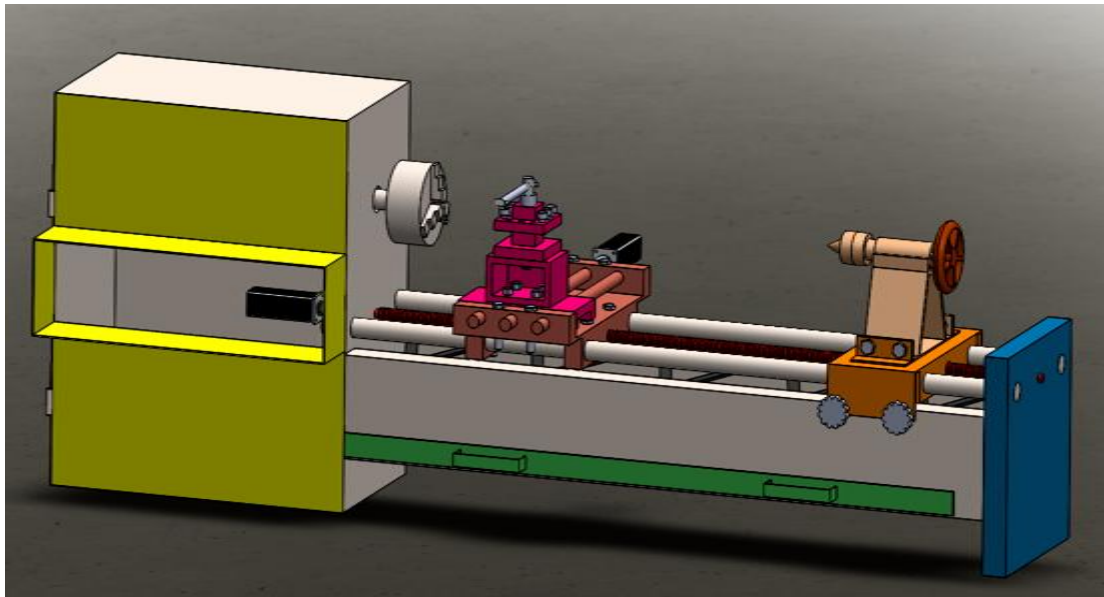
Όσον αφορά τα έξτρα κομμάτια που έχουν προστεθεί είναι η πόρτα του κουτιού που φιλοξενεί τον ηλεκτροκινητήρα και το βηματικό μοτέρ για την περιστροφή του κινητήριου άξονα μετάδοσης κίνησης του εργαλειοφορείου. Επίσης, είναι και η σκάφη η οποία βοηθά στην συλλογή αποβλήτων μετά από κάθε κατεργασία.



Εικόνα 8.47: Τελική μορφή τórνου.



Εικόνα 8.48: Τελική μορφή τόνου.



Εικόνα 8.49: Τελική μορφή τόνου με βηματικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΡΝΟΥ CNC ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

9.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη του Τόρνου CNC που σχεδιάσαμε. Σκοπός είναι να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Αρχικά θα υπολογίσουμε την δύναμη κοπής με σκοπό να γίνει σωστή επιλογή των εξαρτημάτων και των υλικών με τα οποία θα κατασκευαστεί ο τόρνος και στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των σημαντικότερων χαρακτηριστικών κοπής για τόρνους και είναι η ισχύς, η πρόωση, η ταχύτητα κοπής και το βάθος κοπής.

9.2. ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΡΝΟΥ CNC

9.2.1. Δύναμη κοπής

Με την βοήθεια εμπειρικών εξισώσεων θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε την δύναμη κοπής η οποία μας δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί σωστή επιλογή ορισμένων μηχανημάτων καθώς επίσης να κάνουμε και τις απαραίτητες ενέργειες για την κατασκευή του τόρνου. Κατά την διαδικασία της κοπής εκτός από την κίνηση εργασίας και πρόωσης απαιτείται και η ανάλογη δύναμη για να υπερνικήσουμε την αντίσταση του κατεργαζόμενου υλικού. Η συνισταμένη δύναμη κοπής P κατά την τórνευση αναλύεται σε τρεις δυνάμεις και είναι οι εξής:

- Η δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής Z και ονομάζεται περιφερειακή δύναμη κοπής (P_Z)
- Η δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής X και ονομάζεται προωστική δύναμη κοπής (P_X)
- Η δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής Y και ονομάζεται δύναμη αντιδράσεως (P_Y).[22]

Η σχέση μεταξύ των παραπάνω τιμών προσεγγίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_Z : P_Y : P_X = 1 : 0,4 : 0,25 \quad (9.1)$$

$$P = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2 + P_X^2} \quad (9.2)$$

$$P = P_Z * \sqrt{1^2 + 0,4^2 + 0,25^2} = 1,11 * P_Z \quad (9.3)$$

Όπου:

P_Z : δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής Z
 P_X : δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής X

P_Y : δύναμη κατά την φορά της αξονικής γραμμής Y .

Η σχέση μεταξύ των παραπάνω τιμών προσεγγίζεται από τον παρακάτω τύπο. Όπως διαπιστώνεται η συνισταμένη δύναμη P είναι μεγαλύτερη κατά 11% από την δύναμη κοπής P_Z . Η ισχύς κοπής κατά την τόννευση και για όλες τις κατεργασίες υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$N = \frac{P_Z * V}{60 * 75} \text{ ps} \quad (9.4)$$

Ο υπολογισμός των δυνάμεων κοπής γίνεται μέσω εμπειρικών τύπων επειδή ο καθορισμός τους είναι πολύ δύσκολος έως αδύνατος. Αυτό διότι κατά τη διάρκεια της κοπής προκύπτουν διάφορα φαινόμενα τα οποία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες κάποιιοι από τους οποίους είναι ακαθόριστοι. Ένας από τους εμπειρικούς τύπους είναι και ο παρακάτω.[20]

$$P_Z = ks * F \quad (9.5)$$

Όπου:

ks : συντελεστής ο οποίος εκφράζει την ειδική αντίσταση κατά την κοπή σε kp/mm^2
 F : επιφάνεια του αφαιρούμενου στρώματος σε mm^2

Οι προαναφερόμενες τιμές δίνονται από τον Πίνακα 9.1

Κατεργαζόμενο υλικό	Όριο θραύσης σ_{θ} Kp/mm^2	Σκληρότητα HB Kp/mm^2	Ειδική αντίσταση ks Kp/mm^2 (διατομή του αποβλήτου $F \text{ m m}^2$)			
			1	2	5	10
Μαλακός Ανθρακοχάλυβας	60-70		200	180	158	142
Ανθρακοχάλυβας μέσης σκληρότητας	70-85	220	220	197	172	155
Σκληρός Ανθρακοχάλυβας	85-10		240	217	188	172
Χυτοσίδηρος φαιός		160-180	127	118	105	100
Σκληρός Χυτοσίδηρος φαιός		200-220	143	132	118	110
Ελαφρά κράματα		50-60	25	23	21	20
Μπρούτζος		80-100	110	93	76	63

Πίνακας 9.1: Συντελεστές ορίου θραύσης, σκληρότητα και ειδικής αντίστασης. [6]

Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού και ποιο αναλυτικός είναι ο παρακάτω διότι λαμβάνουμε υπόψη τις ιδιότητες των κοπτικών εργαλείων. Αυτό γίνεται από τους παρακάτω τύπους:

$$P_Z = C_z * g^{ez} * p^{uz} \text{ KP} \quad (9.6)$$

$$P_Y = C_y * g^{ey} * p^{uy} \text{ KP} \quad (9.7)$$

$$P_X = C_x * g^{ex} * p^{ux} \text{ KP} \quad (9.8)$$

Όπου:

g: Το βάθος κοπής.

P: Πρόωση.

e_z, e_y, e_x : Εκθέτες δυνάμεις του βάθους κοπής

u_z, u_y, u_x : Εκθέτες δυνάμεις της πρόωσης

C_z, C_y, C_x : Σταθερές οι οποίες λαμβάνονται υπ όψιν της για τις ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού αλλά και του κοπτικού εργαλείου.

Είδος κατεργαζόμενου υλικού	Τρόπος κατεργασίας	P_Z			P_Y			P_X		
		C_z	e_z	u_z	C_y	e_y	u_y	C_x	u_y	u_x
Ανθρακοχάλυβας $\sigma_{\theta}=75[\frac{kp}{mm^2}]$	Τόρνευση κυλινδρικών επιφανιών και οπών	200	1.0	0.75	124.8	0.90	0.75	66.8	1.20	0.65
	Τόρνευση μορφής	212	1.0	0.75						
	Κοπή	247	1.0	1						
Όλκιμος χυτοσίδηρος	Τόρνευση κυλινδρικών επιφανιών και οπών	100	1.0	0.75	87.6	0.90	0.75	39.6	1.20	0.65
	Τόρνευση μορφής	138.7	1.0	1						
Χυτοσίδηρος φαιός	Τόρνευση κυλινδρικών επιφανιών και οπών	114	1.0	0.75	119.2	0.90	0.75	51.4	1.20	0.65
	Τόρνευση μορφής	158	1.0	1						
Μπρούτζος μέσης σκληρότητας	Τόρνευση κυλινδρικών επιφανιών και οπών	55	1.0	0.66						

Πίνακας 9.2: Τιμές σταθερών και εκθετών για τον υπολογισμό των δυνάμεων κοπής κατά την τόρνευση. [6]

Κάνοντας αντικατάσταση στην προαναφερόμενη σχέση 9.5 λαμβάνεται η δύναμη κοπής. Από την τιμή της δύναμης αυτής εξαρτώνται όλα τα εξαρτήματα του τόννου καθώς επίσης και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του.

Το κατεργαζόμενο υλικό μας θα είναι ο σκληρός ανθρακοχάλυβας άρα από τον Πίνακα 9.1 λαμβάνονται οι εξής τιμές:

$$\checkmark k_s = 240 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] \text{ για } F=1mm^2$$

$$\checkmark k_s = 217 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] \text{ για } F=2mm^2$$

Από την σχέση 9.5 και τα δεδομένα που προκύπτουν από τον Πίνακα 9.1 βάση του υλικού, καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

$$P_Z = k_s * F = 240 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] * 1 mm^2 = 240 Kp \text{ ή } 2400 N$$

$$P_Z = k_s * F = 217 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] * 2 mm^2 = 434 Kp \text{ ή } 4340 N$$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η δύναμη P είναι 11% μεγαλύτερη από την P_Z . Άρα υπολογίζοντας την μέγιστη P_Z υπολογίζεται και η μέγιστη δύναμη κοπής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ελέγχεται πάντα η δυσμενέστερη κατάσταση. Στην περίπτωση της μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας επιλέγεται το 434 Kp ή 4340 N για την συνέχεια των υπολογισμών.

9.2.2. Ταχύτητα κοπής, πρόωση και βάθος κοπής

Στη τόννευση οι συνθήκες κοπής είναι η ταχύτητα κοπής που σχετίζεται με τις στροφές περιστροφής του κομματιού και τη διάμετρο κοπής, η πρόωση και το βάθος κοπής. Οι τρεις αυτοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στη κατεργασία και η σωστή επιλογή τους αποτελεί απαραίτητη γνώση του χειριστή ενός τόννου. [1], [6]

❖ Ταχύτητα κοπής

Η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει την ταχύτητα κοπής ή μετατόπισης και επηρεάζεται από τον κινητήρα, είναι η γωνιακή ταχύτητα ω . Το μέγεθος αυτό προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα, που μετρείται σε στροφές ανά λεπτό (rpm) και δίνεται από τη σχέση :

$$\omega = \frac{2 * \pi * n}{60} \quad (9.10)$$

Όπου: ω = γωνιακή ταχύτητα
 π = 3,14
 n = στροφές (RPM)

Η ταχύτητα κοπής, εκτός από τη γωνιακή ή την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα, εξαρτάται και από τη γεωμετρία της θέσης κοπής. Ο υπολογισμός της ταχύτητας κοπής v προκύπτει από την μαθηματική σχέση που δίνει την ταχύτητα κοπής είναι:

$$v = \pi * d * n \quad (9.11)$$

Στην παραπάνω σχέση, d είναι η διάμετρος του περιστρεφόμενου σώματος στη θέση κοπής, δηλαδή του εργαλείου για την περίπτωση του φρεζαρίσματος και της λείανσης, και του κατεργαζόμενου τεμαχίου, για την περίπτωση της τórνευσης.

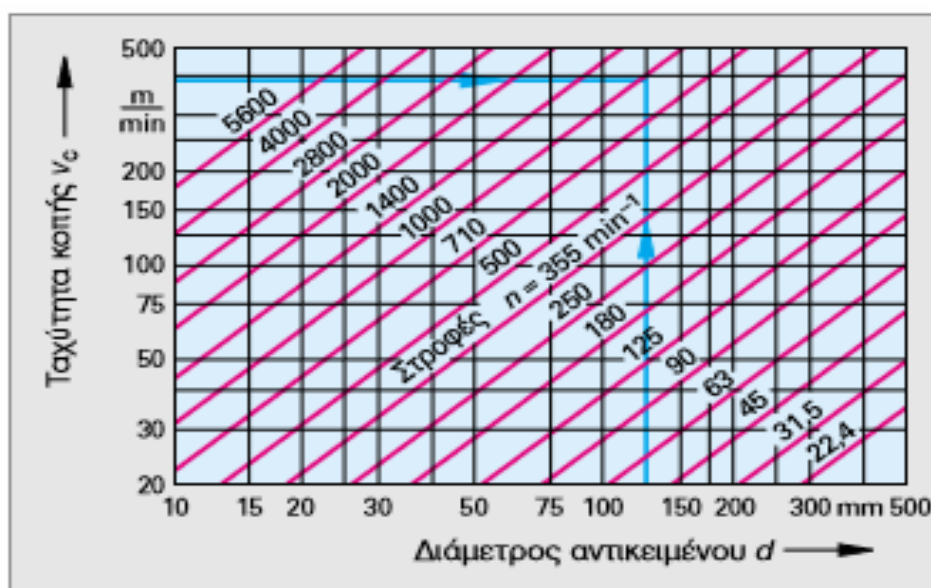
Η σχέση 9.10 μετασχηματίζεται για την ταχύτητα κοπής στη σχέση 9.11, όταν η ταχύτητα κοπής μετριέται σε [m/min], η διάμετρος d σε [mm] και οι στροφές n σε στροφές το λεπτό [rpm].

$$v = \frac{\pi * d * n}{1000} \quad (9.12)$$

Κάνοντας αντικατάσταση προκύπτει η ταχύτητα κοπής $v = 455,53$ m/min

Η ταχύτητα κοπής δεν επιλέγεται τυχαία. Χαμηλή ταχύτητα κοπής οδηγεί σε μεγάλο χρόνο κοπής, ενώ υψηλή ταχύτητα κοπής οδηγεί σε υψηλές θερμοκρασίες, που αναπτύσσονται στο κοπτικό εργαλείο με αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά και καταστροφή του. Η επιλογή της μπορεί να γίνει είτε μέσα από το Διάγραμμα 9.1 είτε μέσα από τον Πίνακα 9.3 στον οποίο παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές της ταχύτητας κοπής, ανάλογα με το υλικό του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας κοπής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- **Υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.** Τα σκληρά υλικά αναπτύσσουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες στη ζώνη τριβής, από τα μαλακά υλικά. Η θερμοκρασία μεγαλώνει, όσο μεγαλώνει η ταχύτητα κοπής. Γι' αυτό το λόγο, τα σκληρά υλικά πρέπει να κατεργάζονται σε χαμηλές ταχύτητες κοπής.
- **Υλικό του κοπτικού εργαλείου.** Τα κοπτικά εργαλεία από σκληρομέταλλο διατηρούν τη σκληρότητά τους σε ψηλότερες θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα των ταχυαλύβων. Για το λόγο αυτό, επιλέγονται μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής.
- **Πάχος του αποβλήτου.** Στην αποπεράτωση, το πάχος του αποβλήτου είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της εκχόνδρισης. Μεγαλύτερο πάχος αποβλήτου, σημαίνει μεγαλύτερη θερμοκρασία στη ζώνη τριβής, άρα και χαμηλότερες ταχύτητες κοπής. [2], [22]



Διάγραμμα 9.1: Διάγραμμα ταχυτήτων κοπής, στροφών και διαμέτρων. [6]

ΥΛΙΚΟ	ΚΟΠΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΓΩΝΙΕΣ ΚΟΠΗΣ			ΕΚΧΟΝΔΡΙΣΗ ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ $a \approx 4 \dots \dots \dots 10.s$			ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ $a \approx 2 \dots \dots \dots 5.s$			ΥΓΡΟ ΚΟΠΗΣ	
					ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ U [m/min]	ΠΡΩΨΗ S [mm/rev]	ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ a [mm]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ U [m/min]	ΠΡΩΨΗ S [mm/rev]	ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ a [mm]	ΕΚΧΟΝΔΡΙΣΗ	ΑΠΟΠΕΡΑΓΩΣΗ
		α°	β°	γ°								
ΧΑΛΥΒΑΣ 50 Kg/mm ²	W	8	62	20	14	0.5	4	20	0.2	1	E	E ή P
	HSS				22	1	10	30	0.5	1		
	H	5	67	18	150	2.5	15	250	0.25	1.5		
50-70 Kg/mm ²	W	8	68	14	10	0.5	4	15	0.2	1	E	E ή P
	HSS				20	1	10	24	0.5	1		
	H	5	75	10	120	2.5	15	200	0.25	1.5		
70-85 Kg/mm ²	W	8	68	14	8	0.5	4	12	0.2	1	E	E ή P
	HSS				15	1	10	20	0.5	1		
	H	5	75	10	80	2	15	140	0.2	1.5		
ΧΑΛΥΒΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΩ N	W	8	76	6	6	0.5	3	8	0.2	1	E	E ή P
	HSS				12	1	8	16	0.5	1		
	H	5	79	6	30	0.6	5	50	0.15	1		
W = Χάλυβας εργαλείων HSS = Ταχυχάλυβας H = Σκληρομέταλλο				E = Διαλυτικό λάδι R = Ραφανιδέλαιο P = Κηροζίνη				Για τόννευση σπειρωμάτων η τιμή της ταχύτητας πρέπει να είναι η μισή από την αντίστοιχη της διαμήκου τόννευσης				

Πίνακας 9.3: Τιμές γωνιών κοπής, ταχυτήτων κοπής, προώσεων, βαθών κοπής και υγρών κοπής για κατεργασίες στον τόρνο. [6]

❖ Πρόωση

Η πρόωση εκφράζει την ταχύτητα της κίνησης του κοπτικού εργαλείου σε χιλιοστά ανά λεπτό [mm/min] ή χιλιοστά ανά περιστροφή του τεμαχίου [mm/rev] και συμβολίζεται αντίστοιχα με f . Επίσης εκλέγεται σύμφωνα με την ισχύ του τόρνου και τη ζητούμενη ποιότητα επιφάνειας. Ουσιαστικά πρόκειται για την ταχύτητα μετακίνησης του κοπτικού εργαλείου. Η σχέση ανάμεσα στις δύο εκφράσεις της πρόωσης είναι:

$$s = f * n \text{ [mm/min]} \quad (9.13)$$

όπου:

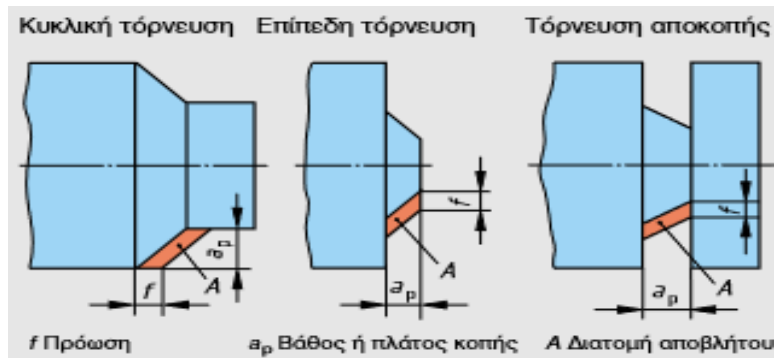
s : ταχύτητα προώσεως.

n : στροφές

Στην περίπτωση εγκάρσιας τόννευσης, δηλαδή τόννευσης προσώπου, η πρόωση ονομάζεται εγκάρσια πρόωση. Η τιμή της εγκάρσιας προώσεως είναι μισή της διαμήκου προώσεως. Η σχέση της τιμής της προώσεως προς την τιμή του βάθους κοπής είναι 1:5 περίπου. [1, [22]

❖ Βάθος κοπής

Το βάθος κοπής a_p (πλάτος κοπής) καθορίζεται στην κυκλική και στην επίπεδη τόννευση από την προσέγγιση του κοπτικού εργαλείου, ενώ στην εγκάρσια κίνηση αποκοπής από το πλάτος του εργαλείου. Το γινόμενο του βάθους κοπής επί την πρόωση f δίνει το μέγεθος της διατομής του αποβλήτου (Σχήμα 9.1).



Σχήμα 9.1: Πλάτος και βάθος κοπής. [1]

Στην παρούσα μελέτη το μέγιστο βάθος κοπής μπορεί να φτάσει βάσει υπολογισμών έως 5mm επειδή τα βηματικά μοτέρ έχουν μέγιστη ροπή 11200 N*mm.

$$k_s = 217 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] \text{ για } F=2mm^2$$

$$k_s = 188 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] \text{ για } F=5mm^2$$

$$P_Z = k_s * F = 217 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] * 2 mm^2 = 434 \text{ Kp ή } 4340 \text{ N}$$

$$P_Z = k_s * F = 188 \left[\frac{kp}{mm^2} \right] * 5 mm^2 = 940 \text{ Kp ή } 9400 \text{ N}$$

Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί η κατεργασία με ασφάλεια το μέγιστο βάθος κοπής δίνεται στα 2mm, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται κατεργασία με μέγιστο βάθος κοπής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

10.1. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΡΝΟΥ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΟΡΝΟΥ ΕΜΠΟΡΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύγκριση του τórνου που έχουμε σχεδιάσει με έναν τórνο μικρών διαστάσεων που υπάρχει στο εμπόριο (PROXXON D 400). Η σύγκριση αυτή αφορά τόσο τις δυνατότητες του κάθε τórνου όσο και το κόστος κατασκευής και αγοράς αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει όλα τα προς σύγκριση χαρακτηριστικά των τórνων.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΑΣ	Proxxon D 400
Παροχή ρεύματος	220-240 V	220-240 V
Οδηγοί (driver)	1492 W	550 W
Άξονας μετάδοσης κίνησης (X άξονας)	Επανακυκλοφορία άξονα μπάλα με 1,8 mm κλίση, διαμέτρου 14 mm. Βηματικό με 3A και 11200 Nmm Διαδρομή άξονα χ είναι 220mm	Επανακυκλοφορία άξονα μπάλα με 2 mm κλίση, διαμέτρου 8 mm. Βηματικό με 1.8A και 500 Nmm Διαδρομή άξονα χ περ. 70mm
Άξονας μετάδοσης κίνησης (Z άξονας)	Επανακυκλοφορία άξονα μπάλα με 1,8 mm κλίση, διαμέτρου 14 mm. Βηματικό με 3A και 11200 Nmm Διαδρομή άξονα z είναι 815mm	Επανακυκλοφορία άξονα μπάλα με 4 mm κλίση, διαμέτρου 12 mm. Βηματικό με 1.8A και 500 Nmm Διαδρομή άξονα z περ. 300mm
Πλήθος στροφών	80 έως 1450 rpm	80 έως 2800 rpm
Καθοδήγηση βηματικών μοτέρ	Μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή	Μέσω της μονάδας ελέγχου CNC
Λογισμικό	Mach 3	-
Τρόπος σύνδεσης driver	Με παράλληλο	Μέσω RS 232 ή με τη χρήση ενός προσαρμογέα USB
Διαστάσεις	Μηχανή : 1642 x 300 x 338 mm Κουτί : 502 x 300 x 606 mm	Μηχανή: 900 x 400 x 300 mm Εγκέφαλος: 450 x 270 x 60 mm
Συνολικό βάρος	138 kg	45 kg
Κόστος	1747.48	2.399,90 €

Πίνακας 10.1: Οικονομικά στοιχεία τórνων.

Ο τόρνος των μικρών διαστάσεων που σχεδιάστηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον τόρνο του εμπορίου. Παρατηρούμε πως με αρκετά μικρότερο κόστος κατορθώσαμε να έχουμε σχεδόν τριπλάσιες διαδρομές στους άξονες X (220mm) και Y (815mm). Επιπλέον, θεωρείται πιο στιβαρός λόγω βάρους το οποίο είναι περίπου 138 κιλά. Ακόμα, η ισχύς του μοτέρ μας είναι στα 1492 W. Τέλος, τα βηματικά μοτέρ παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια ελάχιστης περιστροφής 1,8mm με άξονα διαμέτρου 14 mm και δύναμη ίση με 11200 Nmm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε σκοπό την μελέτη και την σχεδίαση CNC τόννου μικρών διαστάσεων. Διάφορα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον σχεδιασμό και τη μελέτη παρουσιάζονται στο παρακάτω εδάφιο.

Αρχικά, το τρνάκι λόγω της βαριάς κατασκευής παρέχει τη δυνατότητα κατεργασίας υλικών από μαλακό υλικό όπως τεφλόν έως και σκληρό υλικό όπως ανθρακοχάλυβας με σταθερότητα κατεργασίας ακόμα και σε μεγάλα βάθη κοπής. Επιπλέον, για την κίνηση X και Z χρησιμοποιείται μία σειρά από ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες είναι καθοδηγούμενες μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αυτών γίνεται μέσω του λογισμικού Mach 3. Το λογισμικό αυτό παρέχει τον ακριβή έλεγχο των κινήσεων του εργαλειοφορείου και του εργαλειοδέτη, των οποίων η κίνηση επιτυγχάνεται με τη χρήση των βηματικών μοτέρ NEMA 34, επιλογή που έγινε μέσα από τον υπολογισμό της δύναμη κοπής.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης δίνουν τα χαρακτηριστικά του τόννου καθώς και τις δυνατότητες που έχει. Ο υπολογισμός της δύναμης κοπής, της ταχύτητας και της πρόωσης είναι τα βασικά στοιχεία που στηρίζεται η μελέτη για κάποιες λεπτομέρειες της σχεδίασης και της επιλογής κάποιων επιμέρους τμημάτων όπως είδαμε παραπάνω.

Στη συνέχεια, βάση σύγκρισης των χαρακτηριστικών στο κεφάλαιο 10 καταλήγουμε πως ο τόννος που σχεδιάσαμε έχει υψηλότερες αποδόσεις με χαμηλότερο κόστος. Δηλαδή, η μετατροπή ενός συμβατικού τόννου σε CNC για ένα μέσο μηχανουργείο είναι η οικονομικότερη αλλά και αξιόπιστη λύση από την αγορά ενός νέου CNC.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η παρούσα πτυχιακή εργασία για το σχεδιασμό ενός τόννου απαιτεί εξειδίκευση στα σχεδιαστικά υπολογιστικά προγράμματα διότι χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια και προσοχή. Επιπλέον, κατά την διάρκεια του σχεδιαστικού τμήματος γίνεται σαφές ότι ο τόννος θα μπορεί να λάβει μέρος σε παραγωγική διαδικασία.

Τέλος, με την παρούσα πτυχιακή εργασία δίνεται βήμα για τους επόμενους Μηχανολόγους Μηχανικούς Τ.Ε του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας να ολοκληρώσουν την παρούσα πτυχιακή εργασία, με την υλοποίηση της κατασκευής του τόννου κάνοντας τις δικές τους παρεμβάσεις όπου αυτό θεωρηθεί απαραίτητο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μάνσουρ Γ., 2010, *Μηχανουργική τεχνολογία - εργαλειομηχανές αριθμητικού έλεγχου NC – CNC*, Εκδόσεις ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
2. Τσίρκας Σ., 2011, *Συμβατικές εργαλειομηχανές και CNC*, Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα
3. Σαλωνίτης Κ., 2008, *Προγραμματισμός εργαλειομηχανών με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAM)*, Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα
4. Βιδάκης Ν. & Αντωνιάδης Α., 2004, *Εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση*, Εκδόσεις ΑΤΕΙ Κρήτης Τεύχος Α, Ηράκλειο.
5. Βιδάκης Ν. & Αντωνιάδης Α., 2004, *Εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση*, Εκδόσεις ΑΤΕΙ Κρήτης Τεύχος Β, Ηράκλειο
6. Διαμαντούδη Θ., 1976, *Μηχανουργική Τεχνολογία Εργαλειομηχανών Κατασκευή λειτουργία και εκμεταλλευτές*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
7. Φιλήμονος Χρ. Σκιττίδη, Ph.D., 2000, *Βασικές αρχές αριθμητικού ελέγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC*, Τόμος Α, Εκδόσεις Σύγχρονη εκδοτική, Αθήνα
8. Γιάννης Δ. Κεχαγιάς, 2009, *Εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
9. Κώστα Μ., 2010, *Πρόγραμμα σχολιασμού τροχαλίας και υπολογισμού στο SolidWorks*, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χανιά.
10. Ομήρου, Σωτήρης Λ, 2000, *Προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
11. Φιλήμονος Χρ., 2000, *Βασικές αρχές αριθμητικού ελέγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC*, Τόμος Β, Εκδόσεις Σύγχρονη εκδοτική, Αθήνα
12. Πετρόπουλος Π., 1988, *Μηχανουργική τεχνολογία-Εργαστήριο II*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα
13. Πετρόπουλος Π., 1986, *Μαθήματα μηχανουργικής τεχνολογίας, Θεωρία και τεχνολογία μηχανουργικών κατεργασιών των μετάλλων*, Τεύχος Ι, έκδοση Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
14. Παπαδανιήλ Ε., & Σφαντζικόπουλος Μ., 1986, *Μηχανουργική τεχνολογία-Εργαστήριο II*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα
15. Praca Zbiorowa, 1958, *Obrakiaki do skawania metali*, Warszawa.
16. Steve F. Krar Albert F. Check. Glencoe, 1997, *Technology of machine tools*, McGraw Hill
17. J. Francis Reintjes, 1991, *Numerical Control, Making a New Technology*, Oxford
18. James J. Childs, 1973, *Numerical Control Part Programming*, New York
19. M.O.Jakobson, 1962, *Technologia obrabiarek*, Warszawa
20. Chapman W. A. J., 1959, *Workshop technology, part I, an introductory course*, Arnold E. Publ. LTD, London
21. Davis J., et all, 1989, *Metals handbook, 9th edition, vol 16, Machining*, ASM, USA
22. White W., Neely J., Kibbe R., Meyer R., 1977, *Machine tools and machining practices, vol I*, J. Wiley&sons, Canada
23. <http://www.m3.tuc.gr>
24. <https://el.wikipedia.org/wiki>

25. <http://www.namuseum.gr>
26. <http://1gym-kalam.mes.sch.gr>
27. <http://www.don-lindsay-archive.org/talk/differ.html>
28. <http://www.pitt.edu/~super1/lecture/lec44911/028.htm>
29. https://www.aegean.gr/gympeir/mixan_texn.htm
30. <https://sites.google.com/site/ammlabgen/mechanourgeio/tornoi---phrezes>
31. <http://www.m3.tuc.gr>
32. <http://ikee.lib.auth.gr>
33. <http://www.tm.teicrete.gr>