

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1670

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ (ΑΜ) 6749

ΠΑΠΠΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (ΑΜ) 6752

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΑΡΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η περιγραφή της κατασκευής και της λειτουργίας των CNC εργαλειομηχανών. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή των εργαλειομηχανών CNC. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η δομή των εργαλειομηχανών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη σωστή λειτουργία των μηχανών. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα προγραμματισμού των CNC εργαλειομηχανών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Computerized **N**umerical **C**ontrol (CNC) ονομάζεται η λειτουργία μιας μηχανής μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Συστήματα CNC συνηθίζονται στην κατεργασία μετάλλου και ξύλου και επιτρέπουν μια τυποποίηση και ακρίβεια από μικρές ποσότητες διότι απαιτούν μόνο ένα πρόγραμμα αντί για καλούπια.

Ο προγραμματισμός εργασιών σε μια εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου αποτελεί μια πολύ υπεύθυνη εργασία κατά την εκτέλεση της οποίας θα πρέπει ο μηχανικός-προγραμματιστής να λάβει υπόψη του μια σειρά από παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν τόσο την κατανόηση της μορφολογίας του προς κατασκευή εξαρτήματος όσο και εκείνους που αφορούν τη λειτουργία και τις απαιτήσεις της εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου. Σημαντικό ρόλο για τις αποφάσεις που θα λάβει ο προγραμματιστής αποτελούν και ο καθορισμός των συνθηκών κοπής του εξαρτήματος σε συνάρτηση με το προς κατεργασία υλικό αλλά και ως προς τα εργαλεία κοπής που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνουν οι εργαλειομηχανές CNC είναι:

- Αύξηση παραγωγικότητας
- Μεγαλύτερη ακρίβεια κατεργασίας
- Μείωση του χρόνου παραγωγής
- Αυτοματοποίηση παραγωγής
- Δυνατότητα επικοινωνίας με το σύστημα προγραμματισμού παραγωγής
- Αυτοματοποιημένη χρήση κοπτικών
- Δυνατότητα γραφικής απεικόνισης της κατεργασίας.

Τα βασικά μειονεκτήματα μιας εργαλειομηχανής CNC είναι: Μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης.

- Αυξημένο κόστος συντήρησης του μηχανήματος.
- Μεγάλη πιθανότητα αντικατάστασης/ αναβάθμισης του υπάρχοντος λογισμικού CAD/CAM.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η περιγραφή της κατασκευής και της λειτουργίας των CNC εργαλειομηχανών. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή των εργαλειομηχανών CNC. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η δομή των εργαλειομηχανών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη σωστή λειτουργία των μηχανών. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα προγραμματισμού των CNC εργαλειομηχανών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC	7
1.1 Κύρια μέρη εργαλειομηχανής CNC.....	7
1.2 Βασικές λειτουργίες μιας EM κοπής	7
1.3 Κινήσεις EM κοπής	8
1.4 Συστήματα αξόνων EM κατά ISO	8
1.5 Ταξινόμηση EM κοπής.....	9
1.6 Συγκρότηση Εργαλειομηχανών Κοπής.....	11
1.6.1 Τα κύρια μέρη μιας EM κοπής.....	11
1.7 Δομικά στοιχεία EM κοπής	12
1.7.1 Το σώμα της EM.....	12
1.7.3 Κεφαλή, τράπεζα, εργαλειοφορεία	13
1.7.4 Ολισθητήρες.....	13
1.7.5 Υλικά κατασκευής	13
1.7.6 Άτρακτος.....	14
1.7.7 Έδρανα.....	15
1.8 Αρχή λειτουργίας E/M CNC κοπής.....	16
1.8.1 Διαφορές από συμβατικές εργαλειομηχανές	17
1.8.2 Πλεονεκτήματα	17
1.8.3 Μειονεκτήματα	18
1.8.4 Εφαρμογές.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC.....	19
2.1 Τρόποι προγραμματισμού E/M - CNC	19
2.2 Γλώσσες προγραμματισμού	20
2.2.1 Κώδικες G	20
2.2.1.1 Διευθύνσεις γραμμάτων	20
2.3 Παράδειγμα προγράμματος 1	29
2.4 Παράδειγμα προγράμματος 2	33
2.5 Παράδειγμα προγράμματος 3	38
2.6 Η γλώσσα APT	44
2.7 Το CL File.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	48
ΑΙΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ	48
3.1 Αισθητήρες	48
3.1.1 Βασικές έννοιες συστημάτων μέτρησης και ελέγχου	50
3.2 Χαρακτηριστικά και είδη αισθητήρων	52
3.3 Οπτικοί Αισθητήρες.....	54
3.3.1 Φωτοαντιστάσεις (LDRs)	54
3.3.2 Φωτοдиодοι και φωτοτρανζίστορ.....	55
3.3.3 Αισθητήρες Πιεζοαντίστασης.....	56
3.3.4 Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης	57
3.4 Αισθητήρες μετατόπισης και πίεσης.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	62
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ	62
4.1 Γενικά για τους ηλεκτρικούς κινητήρες , που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές	62
4.2 Ηλεκτροκινητήρες κινητήριας ατράκτου κοπής	67
4.3 Ηλεκτροκινητήρες προώσεως.....	71
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

- **1760-1860:** Σημαντική ανάπτυξη των εργαλειομηχανών (EM) κοπής (κυρίως στην Αγγλία)
 - Κατασκευή τραπεζοπλάνης (Wilkinson, 1774)
 - Κοπή σπειρωμάτων σε τόρνο (Maudsley)
 - Βελτιώσεις στην κατασκευή τόρνου και δραπάνου. Καθιέρωση προτύπων μέτρησης στη μηχανουργική παραγωγή (Whitworth)
- **1850-1900:** Αξιόλογη ανάπτυξη των EM κοπής στις ΗΠΑ
 - Κατασκευή φρεζομηχανής (Whitney, 1818)
 - Κατασκευή πυργωτού τόρνου (Fitch, 1845)
 - Κατασκευή φρεζομηχανής γενικής χρήσης (Brown, 1862)
 - Κατασκευή λειαντικού κυλινδρικών επιφανειών (Brown, 1864)
- **1851:** Πρώτη δημοσίευση πάνω στην κοπή (Cocquilhat, Γαλλία) (Υπολογισμός ροπής στρέψης στη διάτρηση και ειδικής αντίστασης/ανηγμένης ενέργειας κοπής για τα μέχρι τότε κατεργαζόμενα υλικά)
- **1862:** Επέκταση προηγούμενης εργασίας (Clarival, Γαλλία)
- **1864:** Επίδραση της γεωμετρίας κοπτικού εργαλείου (ΚΕ) και των συνθηκών κοπής επί των δυνάμεων κοπής κατά την τόρνευση και διάτρηση (Joessel, Γαλλία)
- **1870:** Σχηματισμός αποβλίττου (Thime, Ρωσία) (Διάτμηση σε διαδοχικά επίπεδα θραύσης μπροστά από την κόψη του ΚΕ)
- **1873:** Σχηματισμός αποβλίττου (Tresca, Γαλλία) (Διάσχιση του υλικού μπροστά από την κόψη του ΚΕ λόγω σύνθετης καταπόνησής του σε ισχυρή θλίψη και διάτμηση)

- **1881:** Σχηματισμός αποβλίττου (Mallock, Αγγλία) (Πειραματική εργασία με εφαρμογή στίλβωσης και χημικής προσβολής του αποβλίττου. Μηχανισμός κοπής με θεώρηση διάτμησης με θραύση σε συγκεκριμένο επίπεδο και τριβής του αποβλίττου πάνω στο ΚΕ. Ανάδειξη της σημασίας της γεωμετρίας ΚΕ και της χρήσης υγρού κοπής)
- **1892:** Πειραματική μέτρηση της κύριας συνιστώσας της δύναμης κοπής σε πλάνισμα.
 - Μελέτη του μηχανισμού σχηματισμού ψευδοακμής.
 - Εξάρτηση της διάτμησης από την ορθή τάση (Hausner)
- **1893:** Πρώτη προσπάθεια προσδιορισμού της γωνίας διάτμησης. Πρότυπο επιπέδου διάτμησης (Znorykin, Ρωσία)
- **1896:** Θεώρηση της πλαστικής παραμόρφωσης κατά την κοπή (Bricks, Ρωσία)(Πλαστική διάτμηση σε οικογένεια διακριτών επιπέδων)
- **1898:** Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για κατασκευή ΚΕ από κραματούχο χάλυβα με μικρή πρόσμιξη Cr και W. Αύξηση της ταχύτητας κοπής στο 3πλάσιο (Taylor, ΗΠΑ)
- **1900:** Επίσημη πρώτη παρουσίαση ΚΕ από ταχυχάλυβα στη Διεθνή Έκθεση Παρισίων.
- **1900:** Λανθασμένη θεωρία εξέλιξης της κοπής λόγω διάδοσης ρωγμής μπροστά από το ΚΕ (Rouleau/Γερμανία, Kingsbury/Αγγλία)
- **1905:** Κριτική στο μοντέλο Rouleau-Kingsbury (Brooks)
- **1906:** Κριτική στο μοντέλο Rouleau-Kingsbury με θεώρηση της πλαστικής παραμόρφωσης του υλικού ως μηχανισμού σχηματισμού αποβλίττου (Rosenhain)
- **1907:** Κλασική διατύπωση της εξίσωσης Taylor για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής (ΔZ) του ΚΕ (Taylor, ΗΠΑ)

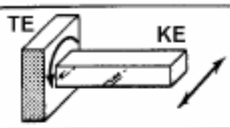
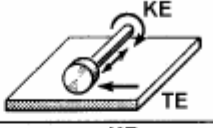
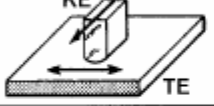
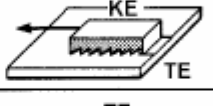
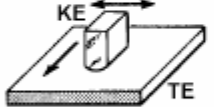
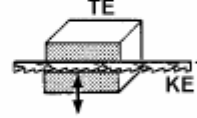
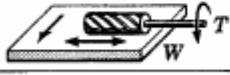

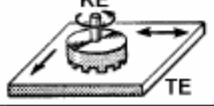
- **1915:** Εμφάνιση και εφαρμογή στην πράξη ΚΕ από χυτοκράματα (Heynes, ΗΠΑ)
- **1923-30:** Ανακάλυψη και εφαρμογή των σκληρομετάλλων ως υλικών κατασκευής ΚΕ. Πρώτη μεγάλη επανάσταση στην κατασκευή ΚΕ (Schrötter, Γερμανία)
- **1920-25:** Χρήση φωτοελαστικών μεθόδων για την ανάλυση της κατανομής των τάσεων στο κατεργαζόμενο τεμάχιο (ΤΕ) και στο ΚΕ. Εντοπισμός πολύ λεπτής ζώνης διάτμησης (Coker/Chakko, Αγγλία)
- **1925:** Κατάταξη μορφών αποβλίττου σε τρεις τύπους (Rosenhain/Sturnay)
- **1925:** Ακριβέστερη μέθοδος μέτρησης των δυνάμεων κοπής σε τórνευση (Stanton/Hyde, ΗΠΑ)
- **1930-33:** Γενικευμένες έρευνες επί του μηχανισμού σχηματισμού αποβλίττου (Wallicks/Opitz, Γερμανία)
- **1933:** Κύκλος σχηματισμού και τεμαχισμού ψευδοακμής. Εξάρτηση από την ταχύτητα κοπής (Schwerd)
- **1935:** Μελέτη μηχανισμού σχηματισμού συνεχούς αποβλίττου με ψευδοακμή (Ernst/Martellotti, ΗΠΑ)
- **1937:** Γραφικός προσδιορισμός της γωνίας διάτμησης (Piispanen, Φινλανδία)
- **1938:** Ανασκόπηση διαφόρων τύπων αποβλίττου (Ernst)
- **1940-41:** Γεωμετρία σχηματισμού αποβλίττου. Επίδραση στην τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας (Merchant)
- **1943:** Μελέτη της επίδρασης της γεωμετρίας ΚΕ στο μηχανισμό της κοπής (Kronenberg)
- **1944-45:** Μοντέλο ορθογωνικής κοπής των Ernst-Merchant
- **1955:** Εμφάνιση ΚΕ από κεραμικό υλικό για ειδικές εφαρμογές.

- **1966:** Πρώτη διατύπωση της εξίσωσης Kronenberg για τον υπολογισμό της ΔZ του ΚΕ (Kronenberg)
- **1969-71:** Δεύτερη μεγάλη επανάσταση στην κατασκευή ΚΕ με την εισαγωγή "επενδυμένων σκληρομετάλλων"
- **1971:** Δεύτερη διατύπωση της εξίσωσης Kronenberg για τον υπολογισμό της ΔZ του ΚΕ (Kronenberg)
- **1972:**δημιουργήθηκε η πρώτη γενιά CNC σε mini υπολογιστές.
- **1976:** πολλαπλοί επεξεργαστές στις μονάδες ελέγχου.
- **1980:**ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής υποστηρίζεται από γραφικά
- **1985:**τυποποιημένα πρωτόκολα επικοινωνίας για CIM.
- **1990:**ψηφιακά interfaces μεταξύ μονάδας ελέγχου και κίνησης που βελτίωσαν πολύ την ακρίβεια και τη δυναμική συμπεριφορά των αξόνων.και τη δυναμική συμπεριφορά των αξόνων
- **1994:** ανοιχτά συστήματα
- **2000** web--based manufacturing


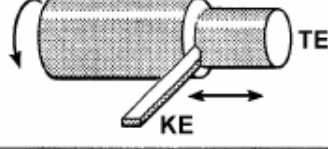
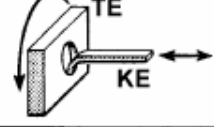
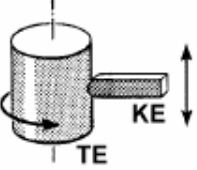
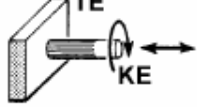
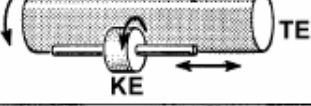

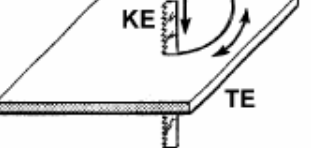
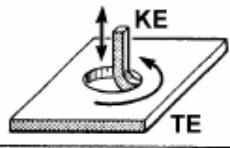
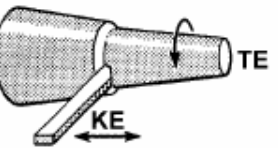
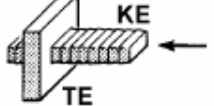
Είδη συμβατικών κατεργασιών κοπής

Στους Πίνακες 1 και 2 παρουσιάζονται σχηματικά οι βασικές συμβατικές κατεργασίες κοπής σε επίπεδες και κυλινδρικές επιφάνειες.

Πίνακας 1: Κατεργασίες επίπεδων επιφανειών

ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ
	Τόρνευση		Λείανση
	Πλάνισμα		Broaching
	Φρεζάρισμα		Πριόνισμα
	Φρεζάρισμα		Φρεζάρισμα
	Φρεζάρισμα		

Πίνακας 2: Κατεργασίες κυλινδρικών επιφανειών

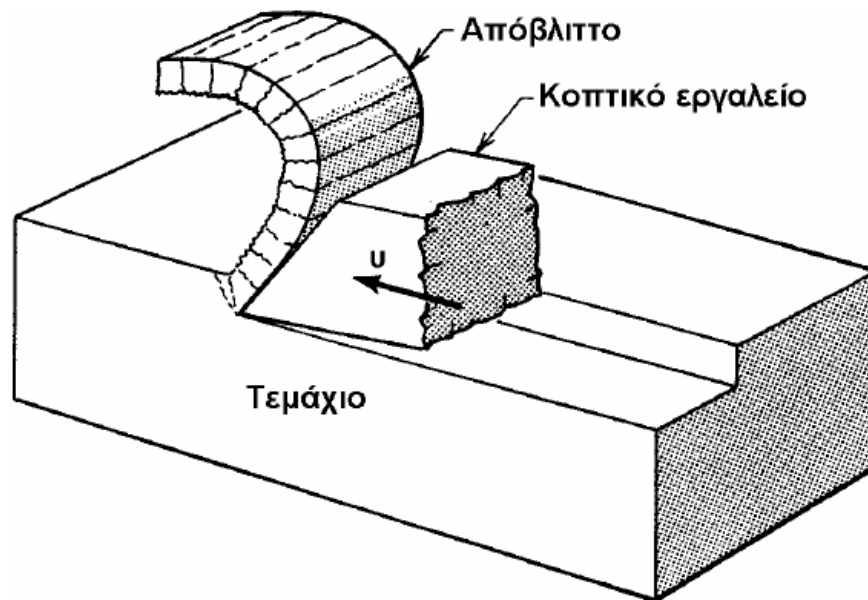
ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
	Διάτρηση		Τόρνευση
	Boring		Τόρνευση
	Γλύφανση		Λείανση
	Λείανση		Πριόνισμα
	Boring		Τόρνευση
	Broaching		

Βασικοί συντελεστές της κοπής

Οι βασικοί συντελεστές που παίζουν σημαντικό ρόλο στην κοπή είναι (Σχ.1):

- Κατεργαζόμενο τεμάχιο (ΤΕ)
- Κοπτικό εργαλείο (ΚΕ)
- Απόβλιττο (το αφαιρούμενο υλικό)

Το ΚΕ κινείται σε σχέση προς το ΤΕ σε συγκεκριμένη κατεύθυνση (διεύθυνση κοπής) με ταχύτητα u , ενώ συγχρόνως σχηματίζεται το απόβλιττο που κινείται επί του ΚΕ μετά από ισχυρή πλαστική παραμόρφωσή του.



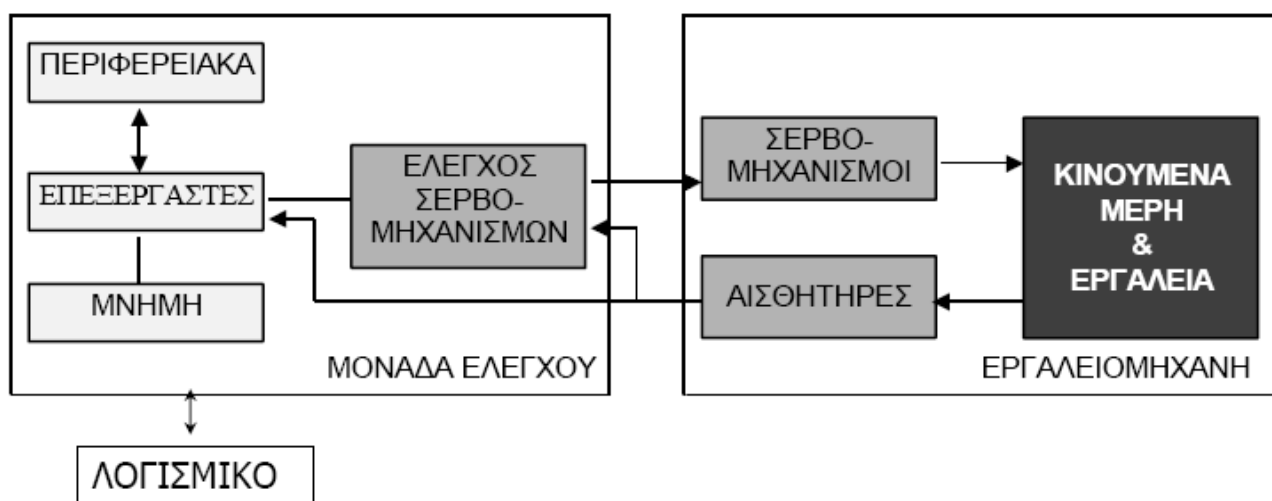
Σχήμα 1: Οι βασικοί συντελεστές της κοπής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC

1.1 Κύρια μέρη εργαλειομηχανής CNC

Εργαλειομηχανή (EM) είναι το σύνολο μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την επιτέλεση μιας κατεργασίας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα κύρια μέρη μιας εργαλειομηχανής.



Διάγραμμα 1: Τα κύρια μέρη μιας εργαλειομηχανής

1.2 Βασικές λειτουργίες μιας EM κοπής

- Παρέχει την αναγκαία ισχύ για την κατεργασία.
- Εξασφαλίζει την ασφαλή συγκράτηση ΚΕ και ΤΕ και τη σωστή αρχική σχετική θέση μεταξύ τους.
- Εκτελεί τις βασικές κινήσεις για την κατεργασία, ελέγχει και διατηρεί τη σχετική θέση ΚΕ/ΤΕ καθόλη τη διάρκεια της κατεργασίας.

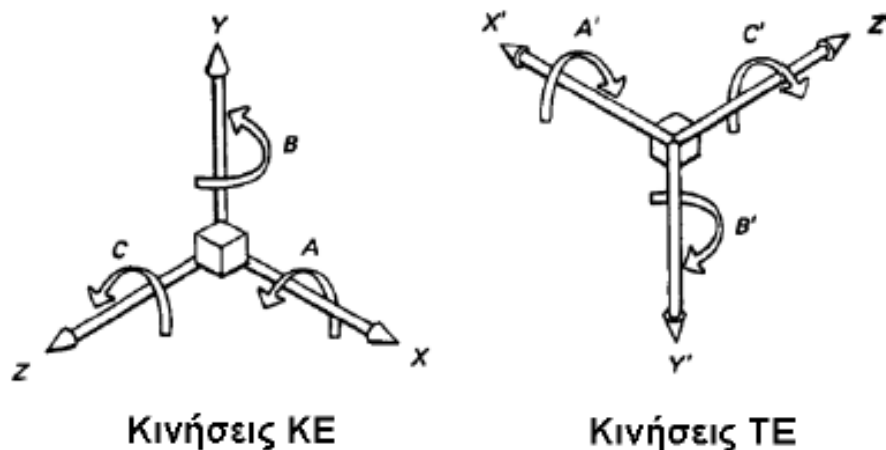
1.3 Κινήσεις EM κοπής

Κύρια κίνηση (primary motion): Απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό της απαιτούμενης για την κατεργασία ισχύος και εξασφαλίζει τη σχετική κίνηση μεταξύ ΚΕ και ΤΕ, ώστε η κόψη του ΚΕ να προσεγγίζει το υλικό ΤΕ.

Κίνηση πρόωσης (feed motion): Συμπληρωματική προς την κύρια κίνηση, αποδίδεται στο ΚΕ ή στο ΤΕ και προκαλεί συνεχή ή διακεκομμένη αφαίρεση του υλικού, αποδίδοντας τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά στο ΤΕ. Εξαρτάται από το είδος της κατεργασίας κοπής.

1.4 Συστήματα αξόνων EM κατά ISO

Πρόκειται για δεξιόστροφα συστήματα συντεταγμένων που αναφέρονται στο ΚΕ και στο ΤΕ. Οι άξονες X, Y, Z αναφέρονται στις δυνατές γραμμικές κινήσεις του ΚΕ, ενώ οι κινήσεις A, B, C σε περιστροφή περί τους άξονες αυτούς, αντίστοιχα.



Σχήμα 2: Συστήματα αξόνων EM κατά ISO

1.5 Ταξινόμηση EM κοπής

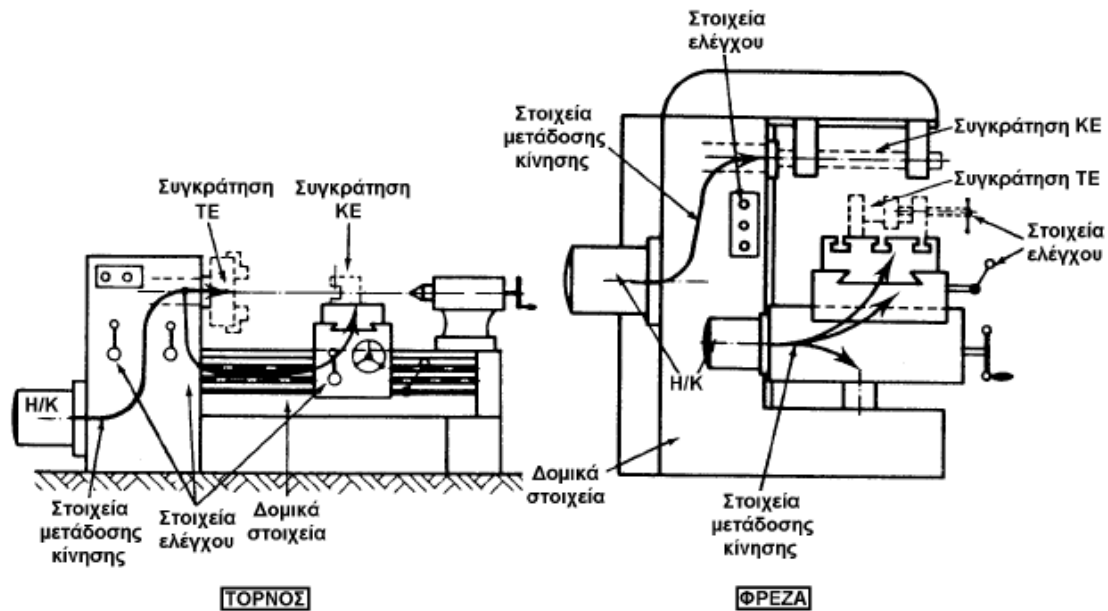
- Ως προς το είδος της κατεργασίας
 - Τόρνος
 - Δράπανο
 - Πλάνη
 - Φρεζομηχανή
 - Λειαντικό μηχάνημα
 - (Φρεζοδράπανο, φρεζοπλάνη, πριόνι, γριναζοκόπτης, EM κοπής ελικώσεων, αυλακώσεων, honing, lapping κλπ.)
- Ως προς το είδος της κύριας κίνησης
 - Με περιστροφική κύρια κίνηση :Τόρνος (οριζόντιος, κατακόρυφος, πυργωτός, σπειροτόμησης), Δράπανο (στήλης, οριζόντιο ακτινωτό), Φρεζομηχανή (οριζόντια, κατακόρυφη, παντογράφος), Φρεζοδράπανο, Λειαντικό (επίπεδης , κυλινδρικής, άκεντρης λείανσης κλπ.), EM στίλβωσης (honing, lapping), Γριναζοκόπτης, EM απόξεσης οδοντοτροχών
 - Με ευθύγραμμη κύρια κίνηση: Πλάνη (οριζόντια, κατακόρυφη, τραπεζοπλάνη), EM αυλάκωσης, Γριναζοκόπτης (παράλληλων οδοντοτροχών, κωνικών οδοντοτροχών με ίσιους οδόντες), EM αποκοπής (παλινδρομικό πριόνι)
- Ως προς το βαθμό εξειδίκευσης
 - EM γενικής χρήσης
 - EM ειδικής χρήσης
 - Αυστηρά εξειδικευμένες EM

- Γραμμή μεταφοράς (transfer line)
- **Ως προς το βάρος της ΕΜ**
 - Ελαφριά (με βάρος μέχρι 1t)
 - Μέσου βάρους (με βάρους μεταξύ 1-10t)
 - Βαριά (με βάρος πάνω από 10t)
- **Ως προς την ακρίβεια κατεργασίας**
 - ΕΜ συνήθους ακριβείας
 - ΕΜ ακριβείας
 - ΕΜ μεγάλης ακριβείας
 - ΕΜ υψίστης ακριβείας
- **Ανάλογα με τη μορφή των κατεργαζομένων επιφανειών**
 - ΕΜ κατεργασίας επίπεδων επιφανειών
 - ΕΜ κατεργασίας κυλινδρικών επιφανειών
 - ΕΜ κατεργασίας επιφανειών με ειδική μορφή (γριναζοκόπτης, παντογράφος κλπ.)
- **Ως προς το βαθμό αυτοματισμού**
 - Κοινή
 - Ημιαυτόματα
 - Αυτόματα.

1.6 Συγκρότηση Εργαλειομηχανών Κοπής

1.6.1 Τα κύρια μέρη μιας ΕΜ κοπής

- **Δομικά στοιχεία:** Απαρτίζονται από το σώμα (βάση, κλίση, ορθοστάτης), την τράπεζα, τα εργαλαιοφορεία, τους ολισθητήρες, την κύρια άτρακτο.
- **Στοιχεία μετάδοσης κίνησης:** Περιλαμβάνουν μηχανισμούς που εξασφαλίζουν την κύρια κίνηση και την κίνηση πρόωσης (κιβώτιο ταχυτήτων, κιβώτιο προώσεων), μηχανισμούς μετατροπής περιστροφικής κίνησης σε παλινδρομική, διατάξεις περιοδικής ή διακοπτόμενης κίνησης ή μηχανισμούς βοηθητικών κινήσεων.
- **Συμπληρωματικός εξοπλισμός για πρόσδεση ΚΕ και ΤΕ** (εξαρτήματα, ιδιοσυσσκευές, ειδικές διατάξεις κλπ.).
- **Στοιχεία ελέγχου και προστασίας της ΕΜ:** Αφορούν την έναρξη και παύση λειτουργίας της ΕΜ, τις κύριες και βοηθητικές κινήσεις, τον ψηφιακό έλεγχο, τα μέτρα προστασίας έναντι βλάβης ή ατυχήματος.
- **Σύστημα παροχής υγρού κοπής.**
- **Σύστημα λίπανσης.**
- **Διάφορα παρελκόμενα.**



Σχήμα 3: Δομικά στοιχεία χαρακτηριστικών ΕΜ κοπής (τόρνος, φρέζα)

1.7 Δομικά στοιχεία ΕΜ κοπής

1.7.1 Το σώμα της ΕΜ

Είναι το πιο βασικό δομικό στοιχείο της ΕΜ. Πάνω σ' αυτό στηρίζονται σταθερά ή οδηγούνται σε καθορισμένες διευθύνσεις μέσω ολισθητήρων τα άλλα κύρια μέρη της ΕΜ. Πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να αντέχει στις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις και να ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη ακρίβεια κατεργασίας. Πρέπει να διαθέτει επαρκή στιβαρότητα, ώστε να αντεπεξέρχεται αποτελεσματικά στις ταλαντώσεις της κατεργασίας. Απαιτείται άριστη αρχική ευθυγράμμιση του και διατήρηση της σε ορισμένα αποδεκτά όρια κατά την κατεργασία, ώστε να επιτυγχάνεται καλή ακρίβεια της ΕΜ.

1.7.2 Κατασκευή σώματος ΕΜ

(α) Ως χυτό από φαιό χυτοσίδηρο (ΕΜ μέσου βάρους) ή από ταχυχάλυβα (βαριές ΕΜ).

(β) Ως συγκολλητή κατασκευή από χαλυβδοελάσματα και μορφοδοκούς (εξασφαλίζονται μικρό βάρος ΕΜ, ευκολία επισκευών, δυνατότητα τροποποιήσεων της ΕΜ, αλλά δυσχεραίνεται η δυναμική απόκριση της ΕΜ σε κραδασμούς και ταλαντώσεις).

1.7.3 Κεφαλή, τράπεζα, εργαλειοφορεία

Η κεφαλή παρέχει τα μέσα πρόσδεσης και περιστροφής ΚΕ ή ΤΕ ή περιστροφής και πρόωσης του ΚΕ. Η τράπεζα συγκρατεί το ΤΕ με τη βοήθεια ποικίλων συσκευών πρόσδεσης. Σε ορισμένες ΕΜ μπορεί να μετακινείται σε περισσότερες από μία διευθύνσεις ή ακόμη και να περιστρέφεται. Τα διάφορα φορεία διευκολύνουν τις μετακινήσεις των δομικών στοιχείων της ΕΜ κατά μήκος καθορισμένων διευθύνσεων.

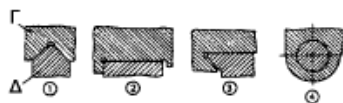
1.7.4 Ολισθητήρες

Εξασφαλίζουν την προσαρμογή και οδήγηση των διαφόρων δομικών στοιχείων κατά την κίνησή τους (συνήθως ευθύγραμμη) σύμφωνα με τις απαιτήσεις και την κινηματική της κατεργασίας. Είναι γραμμικά έδρανα με το ένα τους μέλος ενσωματωμένο στο σώμα της ΕΜ και το άλλο στο κινούμενο δομικό της στοιχείο. Επιτρέπουν ένα βαθμό ελευθερίας στο κινούμενο δομικό στοιχείο.

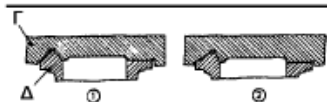
1.7.5 Υλικά κατασκευής

- Φαιός χυτοσίδηρος, όταν σώμα και κινητό δομικό στοιχείο είναι χυτοσιδηρά.
- Χάλυβας (συγκολλητοί ολισθητήρες στο χαλύβδινο σώμα της ΕΜ ή κοχλιωμένοι ολισθητήρες στο χυτοσιδηρό σώμα της ΕΜ).
- Πλαστικά με καλές αντιτριβικές και αντισκωριωτικές ιδιότητες.

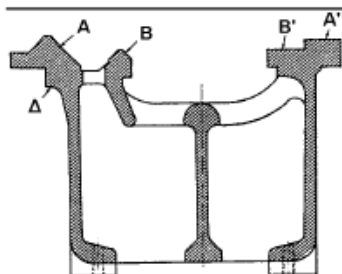
Είδη ολισθητήρων



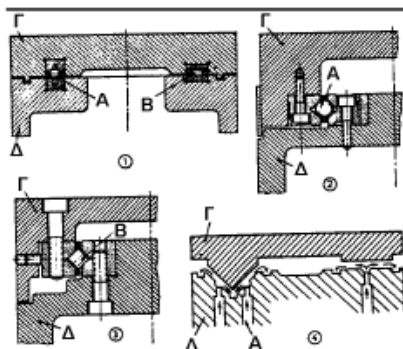
- 1: Μορφής V
- 2: Επίπεδος
- 3: Μορφής χελιδνοουράς
- 4: Κυλινδρικός



- 1: Συνδυασμός μορφής V συμμετρικού με επίπεδο ολισθητήρα
- 2: Συνδυασμός μορφής V μη συμμετρικού με επίπεδο ολισθητήρα



Κλίνη τόρνου με τους ολισθητήρες της
(Στους A και A' οδηγείται το εργαλειοφόρειο, ενώ στους B και B' οδηγείται ο κεντροφορέας)



- 1: Ολισθητήρες με σφαίρες (A) και κυλίνδρους (B)
- 2: Ολισθητήρες με σφαίρες
- 3: Ολισθητήρες με κυλίνδρους
- 4: Συνδυασμός ολισθητήρων μορφής V και επιπέδων με υδροστατική πίεση

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Γ η κινούμενη δομική μονάδα
Δ το σώμα της ΕΜ

Σχήμα 4: Είδη ολισθητήρων

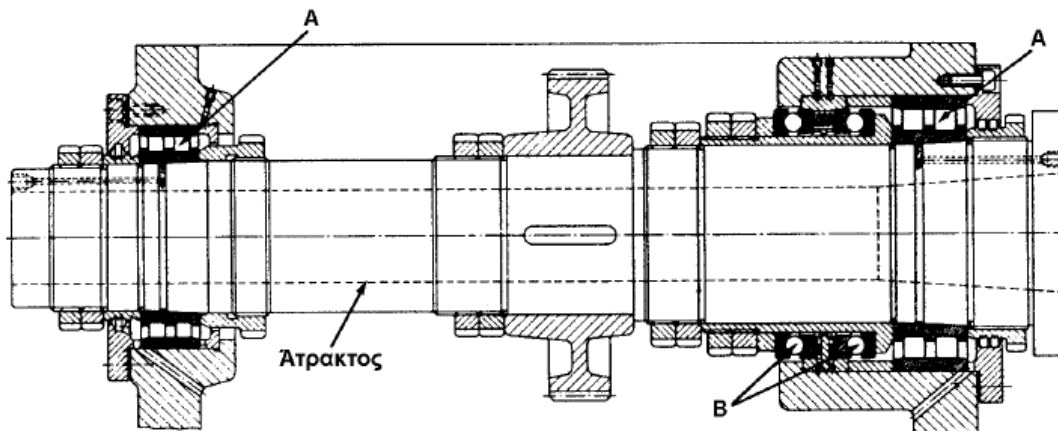
1.7.6 Ατράκτος

Στηρίζεται σε κατάλληλα μελετημένα έδρανα και εξασφαλίζει την περιστροφική κίνηση του ΤΕ ή του ΚΕ. Πρέπει να μελετάται, ώστε να αντέχει στα επιβαλλόμενα φορτία και να αναπτύσσει βέλη κάμψης συμβατά προς την επιδιωκόμενη ακρίβεια κατεργασίας. Η κεφαλή της ατράκτου διαμορφώνεται σε τυποποιημένη κολουροκωνική κοιλότητα για την πρόσδεση του ΚΕ ή του κέντρου και των συστελλόμενων σφιγκτήρων για τη συγκράτηση του ΤΕ. Ημίσκληρος ανθρακούχος χάλυβας ($\pi(C)=0.40-0.50\%$) που έχει υποστεί βαφή και επαναφορά σε υψηλή θερμοκρασία. Σε ΕΜ ακριβείας χρησιμοποιούνται κατάλληλα χαλυβοκράματα κατασκευών σε ειδικές συνθήκες βαφής και επαναφοράς. Στις

θέσεις στροφών που απαιτείται αυξημένη σκληρότητα χρησιμοποιείται εναζωτωμένος ή ενανθρακωμένος χάλυβας.

1.7.7 Έδρανα

Η ακρίβεια οδήγησης της ατράκτου, ακτινικά και αξονικά, επιτυγχάνεται με κατάλληλα έδρανα. Η χάρη μεταξύ στροφέα/τριβέα είναι πολύ μικρή. Τα έδρανα ολίσθησης κατασκευάζονται συνήθως διμερή από κρατέρωμα ή λευκό μέταλλο, με αντιτριβική επένδυση μετάλλου και κέλυφος από κατάλληλο χάλυβα. Συναρμολογούνται έτσι ώστε η ρύθμιση τους (ακτινικά και αξονικά) να είναι εύκολη. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται υδροστατικά έδρανα (λίπανση υπό πίεση) για χαμηλές ταχύτητες και συνθήκες υγρής τριβής ή αεροστατικά έδρανα σε υψηλές ταχύτητες (προσαγωγή πεπιεσμένου αέρα στο διάκενο τριβές/στροφέα). Τα έδρανα κύλισης είναι αυστηρών απαιτήσεων και υψηλής στάθμης ακριβείας. Χρησιμοποιούνται ως έδρανα με προένταση ή ως αξονικά έδρανα.



Σχήμα 5: Κατασκευαστική διαμόρφωση κύριας ατράκτου τόνου και των εδράνων της

1.8 Αρχή λειτουργίας E/M CNC κοπής

Μια Εργαλειομηχανή CNC είναι μία εργαλειομηχανή (E/M) που λειτουργεί με τις αρχές του Αριθμητικού Ελέγχου. Τα αρχικά CNC προέρχονται από τα αρχικά των λέξεων: **C**omputer **N**umerical **C**ontrol (Αριθμητικός Έλεγχος με χρήση Η/Υ)

Η εργαλειομηχανή (E/M), στην οποία παρεμβάλλεται ηλεκτρονικός υπολογιστής ανάμεσα στα μηχανικά μέρη της και τον χειριστή, ονομάζεται ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή (CNC).

Κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με

1. Την ακρίβεια

- α. Συνήθους ακριβείας (10 μ m)
- β. Ακριβείας (1 μ m)
- γ. Υψηλής ακριβείας (0.1 μ m)
- δ. Υψίστης ακριβείας (<0.01 μ m)

2. Τον βαθμό αυτοματισμού

- α. Χαμηλού βαθμού αυτοματισμού.

Πραγματοποιούνται μόνο οι κινήσεις των αξόνων και δεν φέρουν ελέγχους θέσης και ανάδραση στους αυτοματισμούς.

- β. Υψηλού βαθμού αυτοματισμού.

Έλεγχος θέσεων και γενικότερης κατάστασης της EM μέσω αισθητήρων και εξελιγμένων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ) με ανάδραση.

3. Το είδος της κατεργασίας

- A. Τόρνοι – Κέντρα Τόρνευσης
- B. Φρέζες – Κέντρα Κατεργασιών

- Γ. Κέντρα διάτρησης-απότμησης και κάμψης ελάσματος
- Δ. Ηλεκτροδιάβρωση (Electromagnetic Discharge Machine tool - EDM)
- Ε. Κέντρα κατεργασιών laser
- ΣΤ. Κέντρα κοπής με δέσμη ρευστού (νερού, ελαίου, νερού με κοπτικούς κόκκους κτλ.) ή με δέσμη ενέργειας (δέσμη plasma ή οξυακετυλενίου)
- Ζ. Εργαλειομηχανές Μέτρησης (Computer Measuring Machine tool – CMM)
- Η. Μηχανές Ταχείας Προτυποποίησης (Rapid Prototyping ή 3D Printing)

1.8.1 Διαφορές από συμβατικές εργαλειομηχανές

- Φιλοσοφία λειτουργίας
- Ακρίβεια και ποιότητα κατασκευής
- Στιβαρότητα και αντοχή
- Υποσυστήματα

1.8.2 Πλεονεκτήματα

- Παραγωγή σύνθετης γεωμετρίας με υψηλή ακρίβεια και ποιότητα
- Επαναληψιμότητα
- Ελαχιστοποίηση νεκρών χρόνων
- Ευκολία προγραμματισμού
- Βελτίωση ασφάλειας εργασίας

1.8.3 Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος κτήσης και συντήρησης
- Απαίτηση για εξειδικευμένο

1.8.4 Εφαρμογές

1. Μηχανουργική Τεχνολογία - Κατεργασίες

- Εργαλειομηχανές CNC
- Μετρητικές μηχανές (CMM)
- Κατεργασίες με Ρομπότ
- Αυτόματες Μεταφορικές Διατάξεις

2. Ρομπότ

- Συγκολλήσεις
- Βαφές
- Εξυπηρέτηση αποθηκών
- Αλλαγή εργαλείων και διαχείριση εργαλειοφορείων
- Συναρμολόγηση
- Φόρτωση πρώτης ύλης – απομάκρυνση κατεργασμένων τεμαχίων
- Σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (τοξικά, διαχείριση εκρηκτικών υλών κτλ.)
- Για Διαστημικές εφαρμογές

3. Ιατρική Τεχνολογία

- Προσθετικά Μέλη
- Εξυπηρέτηση χειρουργικών επεμβάσεων
- Απεικόνιση (τομογράφοι κτλ.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC

2.1 Τρόποι προγραμματισμού E/M - CNC

I. Συμβατικός (με το χέρι), πραγματοποιείται :

- Βάσει του μηχανολογικού σχεδίου του τεμαχίου
- Ενσωματώνοντας γνώσεις από την τεχνολογία της κατεργασίας
- Χρησιμοποιείται ένα προκαθορισμένο φασεολόγιο

II. Με τη βοήθεια Η/Υ αλληλεπιδραστικά.

- Προετοιμασμένο φασεολόγιο και αντίστοιχες συνθήκες κατεργασίας, καθώς και ύπαρξη δισδιάστατου ή τρισδιάστατου σχεδίου του κατεργαζόμενου τεμαχίου για την δημιουργία κώδικα CNC.
- Οι συντεταγμένες κινήσεων της E/M CNC βρίσκονται από μοντέλο του τεμαχίου σε σύστημα CAD.

III. Πλήρως αυτόματα σε Η/Υ από λογισμικό τύπου CAM.

- Αυτόματη ανάλυση του τεμαχίου σε σειρά τυπικών γεωμετρικών μορφών και θέση των αντίστοιχων στρατηγικών κατεργασίας.
- Προϋπόθεση η καλή γνώση της κατεργασίας, της εργαλειομηχανής και των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, ώστε να αποφευχθούν «λογικά» λάθη, τα οποία δεν μπορεί να κρίνει από μόνο του το λογισμικό.

2.2 Γλώσσες προγραμματισμού

2.2.1 Κώδικες G

Οι G-κώδικες, που ονομάζονται επίσης προπαρασκευαστικοί (preparatory) κώδικες, είναι οποιεσδήποτε λέξεις σε ένα πρόγραμμα CNC, που αρχίζουν με το γράμμα G. Γενικά είναι ένας κώδικας που λέει στην εργαλειομηχανή τι είδους ενέργεια να εκτελέσει, όπως:

- Γρήγορη κίνηση (μεταφορά του εργαλείου όσο το δυνατόν συντομότερα σε ένα σημείο χωρίς κοπή)
- Ελεγχόμενη πρόωση σε ευθεία γραμμή ή τόξο
- Μια σειρά από ελεγχόμενες κινήσεις που θα έχουν σαν αποτέλεσμα π.χ τη διάτρηση μιας οπής ή την κατασκευή ενός τεμαχίου συγκεκριμένου σχήματος (π.χ. ένα γριναζιού)
- Να δηλώσει πληροφορίες σχετικές με τα εργαλεία κοπής, όπως απόκλιση
- Αλλαγή συστήματος συντεταγμένων

2.2.1.1 Διευθύνσεις γραμμάτων

Κάποιες διευθύνσεις γραμμάτων χρησιμοποιούνται ή μόνο σε φρεζάρισμα ή μόνο σε τόννευση. Οι περισσότερες χρησιμοποιούνται και στα δύο. Παρακάτω με έντονα γράμματα είναι οι διευθύνσεις που συναντώνται συχνότερα μέσα σε ένα πρόγραμμα.

Μεταβλητή	Περιγραφή	Σχετικές πληροφορίες
A	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα A (περιστροφικός άξονας γύρω από τον άξονα X)	Σαν θετική περιστροφή ορίζεται η αντίθετη των δεικτών του ρολογιού κοιτώντας από τη θετική πλευρά του άξονα X προς την αρνητική του.

B	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα B (περιστροφικός άξονας γύρω από τον άξονα Y)	
C	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα C (περιστροφικός άξονας γύρω από τον άξονα Z)	
D	Καθορίζει τη διάμετρο ή την ακτινική απόκλιση, που χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση του εργαλείου κοπής. Το D χρησιμοποιείται για το βάθος κοπής στους τόννους. Χρησιμοποιείται επίσης για επιλογή οπών (apertures) και εντολών σε photoplotters.	G41: Αριστερή αντιστάθμιση εργαλείου κοπής, G42: Δεξιά αντιστάθμιση εργαλείου κοπής
E	Πρόωση ακριβείας για σπειροτόμηση σε τόννους	
F	Καθορίζει την πρόωση (feed rate)	Συνηθισμένες μονάδες είναι η απόσταση που διανύει το εργαλείο ανά μονάδα χρόνου για φρέζες (ίντσες ανά λεπτό,

		inches per minute-IPM, ή millimeters ανά λεπτό minute, mm/min) και η απόσταση ανά περιστροφή για τόρνους (Ίντσες ανά περιστροφή inches per revolution, IPR, ή millimeters per revolution, mm/rev)
G	Διεύθυνση για προπαρασκευαστικές εντολές	Οι εντολές G συχνά λένε στη μονάδα ελέγχου τι κίνηση θέλουμε να κάνει (π.χ γρήγορη τοποθέτηση, γραμμική πρόωση, κυκλική πρόωση, τυποποιημένο κύκλο) ή τί τιμή απόκλισης να χρησιμοποιηθεί
H	Καθορίζει την απόκλιση μήκους του εργαλείου, Σχετικός άξονας (Incremental axis) που αντιστοιχεί στον άξονα C (π.χ σε έναν turn-mill)	G43: Αρνητική αντιστάθμιση μήκους εργαλείου, G44: Θετική αντιστάθμιση μήκους εργαλείου
I	Καθορίζει το κέντρο του τόξου στον άξονα X για τις εντολές τόξων G02 ή G03. Επίσης χρησιμοποιείται σαν παράμετρος μέσα σε μερικούς κύκλους κατεργασιών.	Το κέντρο του τόξου είναι τις περισσότερες φορές (αλλά όχι όλες), η σχετική απόσταση του κέντρου του τόξου από την τρέχουσα θέση και όχι η απόλυτη θέση, σε σχέση με το Σύστημα Συνταταγμένων Εργασίας (WCS).

J	Καθορίζει το κέντρο του τόξου στον άξονα Y για τις εντολές τόξων G02 ή G03. Επίσης χρησιμοποιείται σαν παράμετρος μέσα σε μερικούς κύκλους κατεργασιών.	Ισχύουν τα ίδια όπως παραπάνω
K	Καθορίζει το κέντρο του τόξου στον άξονα Z για τις εντολές τόξων G02 ή G03. Επίσης χρησιμοποιείται σαν παράμετρος μέσα σε κάποιους κύκλους κατεργασιών, όπως η παράμετρος L.	Ισχύουν τα ίδια όπως παραπάνω
L	<p>Απαρίθμηση βρόχων κύκλου κατεργασιών</p> <p>Καθορισμός των καταχωρητών που θα επεξεργαστούμε με την G10</p>	<p>Απαριθμητής βρόχου κύκλων κατεργασιών (Fixed cycle): Καθορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων ("βρόχων") ενός κύκλου κατεργασιών σε μία συγκεκριμένη θέση. Υποτίθεται ότι είναι 1, εκτός αν προγραμματιστεί κάποιος άλλος ακέραιος. Μερικές φορές χρησιμοποιείται η διεύθυνση K αντί για την L. Με σχετική τοποθέτηση (G90), μία σειρά οπών που ισαπέχουν μπορεί να προγραμματιστεί σαν βρόχος</p>

		παρά σαν διαφορετικές θέσεις. Χρήση G10: Καθορίζει ποιοι καταχωρητές θα αλλάξουν (μεταβολή σημείου εργασίας, αντιστάθμιση ακτίνας εργαλείου, αντιστάθμιση μήκους εργαλείου, κ.τ.λ.).
M	Διάφορες λειτουργίες	Κώδικας ενέργειας, βοηθητική εντολή. Οι περιγραφές διαφέρουν. Αρκετοί M-κώδικες καλούν λειτουργίες της μηχανής και για το λόγο αυτό πολλοί λένε ότι το "M" είναι από το "μηχανή", αν και αυτό δεν ισχύει.
N	Αριθμός γραμμής (block) σε ένα πρόγραμμα; Αριθμός παραμέτρου του συστήματος, που θα αλλάξει χρησιμοποιώντας το G10	Αριθμοί γραμμών (block) : Προαιρετικοί, έτσι συχνά παραλείπονται. Απαραίτητοι για κάποιες λειτουργίες, όπως M99 P διεύθυνση (για να πούμε στον ελεγκτή σε ποια γραμμή του προγράμματος να επιστρέψει, εάν δεν υπάρχει η προεπιλογή είναι το 1) ή σε εντολές GoTo (εάν ο ελεγκτής τις υποστηρίζει). Η αρίθμηση N δεν είναι απαραίτητο να αυξάνει κατά 1 (για παράδειγμα μπορεί να αυξάνει κατά 10, 20, or 1000) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε γραμμή ή μόνο σε κάποια σημεία μέσα στο

		<p>πρόγραμμα.</p> <p>Αριθμοί παραμέτρων συστήματος: η G10 επιτρέπει την αλλαγή των παραμέτρων του συστήματος κάτω από τον έλεγχο του προγράμματος.</p>
O	Όνομα προγράμματος	<p>Για παράδειγμα, O4501. Για πολλά χρόνια συνηθιζόταν οι οθόνες ελέγχου των CNC, να χρησιμοποιούν το διαγραμμένο μηδενικό (δηλ. το μηδέν με μία λοξή γραμμή πάνω του σαν διαγραφή) για να διακρίνεται το γράμμα "O" από το ψηφίο "0". Σήμερα τα GUI των οθονών, προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής γραμματοσειρών, όπως τα PC.</p>
P	Χρησιμοποιείται ως παράμετρος διεύθυνσης για διάφορους G και M κώδικες	<p>Με τον G04, καθορίζει το χρόνο παύσης</p> <p>Επίσης χρησιμοποιείται σαν παράμετρος σε canned cycles, παριστάνοντας χρόνους παύσης ή άλλες παραμέτρους</p> <p>Επίσης χρησιμοποιείται στην κλήση και τον τερματισμό υποπρογραμμάτων. Με τη M98, καθορίζει ποιο υποπρόγραμμα θα κληθεί. Με τη M99, it καθορίζει σε ποιο αριθμό γραμμής του κυρίου προγράμματος θα</p>

		επιστρέψει.)
Q	Βήμα τσιμπήματος (Peck increment) σε canned κύκλους	Για παράδειγμα, G73, G83 (κύκλοι βηματικής διάτρησης)
R	Καθορίζει το μέγεθος της ακτίνας του τόξου ή καθορίζει το ύψος επιστροφής (retract) σε κύκλους εργασιών φρεζαρίσματος (milling canned cycles)	Χρησιμοποιείται για ακτίνες, δεν υποστηρίζουν όμως όλοι οι ελεγκτές τη διεύθυνση R στις εντολές G02 and G03. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται τα διανύσματα IJK. Χρησιμοποιείται επίσης για το ύψος επιστροφής, το "επίπεδο R ", όπως καλείται. Εάν προγραμματιστεί η εντολή G99, τότε το εργαλείο επιστρέφει σε αυτό το ύψος.
S	Καθορίζει την ταχύτητα, είτε την ταχύτητα της ατράκτου, είτε την επιφανειακή ταχύτητα ανάλογα με την μέθοδο	Τύπος δεδομένων =ακέραιος. Στην κατάσταση G97 (η οποία είναι συνήθως η προεπιλεγμένη), ο ακέραιος μετά το S ερμηνεύεται σαν στροφές ανά λεπτό (rev/min, rpm). Στην κατάσταση G96(CSS), ο ακέραιος μετά το S ερμηνεύεται σαν επιφανειακή ταχύτητα (surface speed—sfm (G20)) ή m/min (G21). Δείτε επίσης Speeds and feeds. Σε μηχανές πολλών λειτουργιών (τόρνους-φρέζες ή φρέζες-τόρνους), το ποιά άτρακτος παίρνει την είσοδο (κύρια

		<p>άτρακτος ή υποάτρακτος) καθορίζεται από άλλους κώδικες M.</p>
T	<p>Επιλογή εργαλείου</p>	<p>Για να κατανοήσουμε πώς λειτουργεί η διεύθυνση T και πώς αλληλεπιδρά (ή όχι) με τη M06, πρέπει κανείς να μελετήσει τις διάφορες μεθόδους, όπως προγραμματισμό lathe turret , ATC fixed tool selection, ATC random memory tool selection, την έννοια του "επόμενου εργαλείου σε αναμονή", και αφαίρεσης εργαλείων. Ο προγραμματισμός για μία συγκεκριμένη εργαλειομηχανή, προϋποθέτει τη γνώση της μεθόδου που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη εργαλειομηχανή . Οι τρόποι με τους οποίους θα αποκτήσουμε αυτή την γνώση, αναφέρονται στα σχόλια της M06.</p>
U	<p>Σχετικός άξονας (incremental axis) που αντιστοιχεί στον άξονα X (τυπικά μόνο σε ελεγκτές τόνων της ομάδας A)</p> <p>Επίσης καθορίζει το χρόνο παύσης σε</p>	<p>Σε αυτούς τους ελεγκτές, οι X και U καθιστούν περιττές τις G90 και G91, αντίστοιχα. Σε αυτούς τους τόνους, η G90 χρησιμοποιείται αντί για a fixed cycle address for roughing.</p>

	μερικές μηχανές (αντί για το "P" ή το "X").	
V	Σχετικός άξονας (incremental axis) που αντιστοιχεί στον άξονα Y	Μέχρι τη δεκαετία του 2000s, η διεύθυνση V χρησιμοποιούνταν πολύ σπάνια, επειδή οι περισσότεροι τόρνοι που χρησιμοποιούσαν U και W δεν είχαν άξονα Y και έτσι δεν χρησιμοποιούσαν το V. (Green et al. 1996 δεν ανέφεραν καν το V στον πίνακα διευθύνσεών τους.) That is still often the case, although the proliferation of live lathe tooling and turn-mill machining has made V address usage less rare than it used to be (O Smid 2008 δείχνει ένα παράδειγμα). Κοιτάξτε επίσης την G18.
W	Σχετικός άξονας (incremental axis) που αντιστοιχεί στον άξονα (τυπικά μόνο σε ελεγκτές τόνων της ομάδας A)	Σε αυτούς τους ελεγκτές, οι Z και W καθιστούν περιττές τις G90 και G91, αντίστοιχα. Σε αυτούς τους τόνους, η G90 χρησιμοποιείται αντί για a fixed cycle address for roughing.
X	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα X. Επίσης καθορίζει το χρόνο παύσης σε μερικές μηχανές	

	(αντί για το "P" ή το "X").	
Y	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα Y	
Z	Απόλυτη ή σχετική θέση του άξονα Z	Ο άξονας περιστροφής του βασικού spindle συχνά καθορίζει, ο οποίος άξονας της μηχανής χαρακτηρίζεται σαν Z.

2.3 Παράδειγμα προγράμματος 1

Αυτό είναι ένα γενικό πρόγραμμα το οποίο επιδεικνύει τη χρήση του κώδικα G-Code για την κατασκευή σε τόρνο ενός εξαρτήματος διαμέτρου 1" X 1" μήκος. Ας υποθέσουμε ότι μία ράβδος υλικού είναι τοποθετημένη στη μηχανή και ότι είναι λίγο μεγαλύτερη σε μήκος και διάμετρο και εξέχει μία ίντσα από το πρόσωπο του τσοκ. (Προσοχή: Αυτή είναι μία γενική μορφή κώδικα και μπορεί να μην λειτουργεί σε μία συγκεκριμένη μηχανή. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή από το σημείο 5 και παρακάτω.)

Μπλοκ	Κώδικας	Περιγραφή
%		Σηματοδοτεί την αρχή των δεδομένων κατά την μεταφορά του αρχείου. Αρχικά χρησίμευε για να σταματήσει το γύρισμα πίσω της ταινίας και όχι απαραίτητα την αρχή του προγράμματος. Για μερικούς ελεγκτές (FANUC) το πρώτο LF (EOB) είναι η αρχή του προγράμματος. Ο ISO χρησιμοποιεί το %, η EIA χρησιμοποιεί

		το ER (0x0B).
	O4968 (Προαιρετική περιγραφή του προγράμματος ή σχόλιο)	Τα σχόλια περικλείονται σε παρενθέσεις
N01	M216	Ενεργοποίηση του παρακολουθητή φορτίου
N02	G20 G90 G54 D200 G40	Μονάδες σε ίντσες. Απόλυτες συντεταγμένες. Ενεργοποίηση συστήματος συντεταγμένων εργασίας (το G54). Ενεργοποίηση απόκλισης εργαλείου. Απενεργοποίηση αντιστάθμισης ακτίνας μύτης του εργαλείου.
N03	G50 S2000	Ρύθμιση της μέγιστης ταχύτητας της ατράκτου σε rev/min — Αυτή η ρύθμιση θα επηρεάσει την κατάσταση λειτουργίας σταθερής επιφανειακής ταχύτητας.
N04	T0300	Index turret to tool 3. Clear wear offset (00).
N05	G96 S854 M03	Σταθερή επιφανειακή ταχύτητα [Μεταβάλλει αυτόματα την ταχύτητα της ατράκτου], 854 sfm, ξεκινά την περιστροφή της ατράκτου κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού.

N06	G41 G00 X1.1 Z1.1 T0303 M8	Ενεργοποίηση της αντιστάθμισης της ακτίνας του εργαλείου κοπής, γρήγορη τοποθέτηση 0.55" κεντρική γραμμή του άξονα (1.1" σε διάμετρο) και 1.1 inches στα θετικά από την αρχή του άξονα εργασίας Z, ενεργοποίηση πλυμηρίσματος ψυκτικού υγρού.
N07	G01 Z1.0 F.05	Οριζόντια πρόωση με ταχύτητα 0.050" ανά περιστροφή της ατράκτου μέχρι το εργαλείο να φτάσει σε απόσταση 1" θετικά από την αρχή των αξόνων.
N08	X-0.016	Πρόωση του εργαλείου ελαφρά πέρα από το κέντρο. Η μύτη του εργαλείου πρέπει να προχωρήσει τουλάχιστον κατά την ακτίνα της μύτης του εργαλείου πέρα από το κέντρο , αλλιώς θα παραμείνει εκεί ένα σκαλοπάτι.
N09	G00 Z1.1	Γρήγορη τοποθέτηση. Επαναφορά στο σημείο ξεκινήματος.
N10	X1.0	Γρήγορη τοποθέτηση. Επόμενο πέρασμα
N11	G01 Z0.0 F.05	Οριζόντια πρόωση κόβοντας τη ράβδο σε διάμετρο 1" σ' όλο το μήκος μέχρι την αρχή των αξόνων, με 0.05in/rev
N12	G00 X1.1 M05 M09	Καθαρισμός εξαρτήματος, σταμάτημα ατράκτου, διακοπή παροχής ψυκτικού υγρού.

N13	G91 G28 X0	Home X axis — επιστροφή στη θέση home του άξονα X της μηχανής
N14	G91 G28 Z0	Home Z axis — επιστροφή στη θέση home του άξονα Z της μηχανής
N15	G90	Επιστροφή στον απόλυτο τρόπο. Απενεργοποίηση του load monitor
N16	M30	Τέλος προγράμματος. Επιστροφή στην αρχή του προγράμματος και αναμονή για το πάτημα του πλήκτρου έναρξης κύκλου (cycle start).
%	Σηματοδοτεί το τέλος των δεδομένων κατά την μεταφορά του αρχείου. Αρχικά χρησίμευε για να σηματοδοτήσει το τέλος της ταινίας και όχι απαραίτητα το τέλος του προγράμματος. Ο ISO χρησιμοποιεί το %, η EIA χρησιμοποιεί το ER (0x0B).	

2.4 Παράδειγμα προγράμματος 2

Κοπή του περιγράμματος που φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο στην Φρέζα C.N.C. BRIDGEPORT INTERACT 2 του εργαστηρίου εργαλειομηχανών C.N.C. του ΑΤΕΙ Πάτρας

Δεδομένα

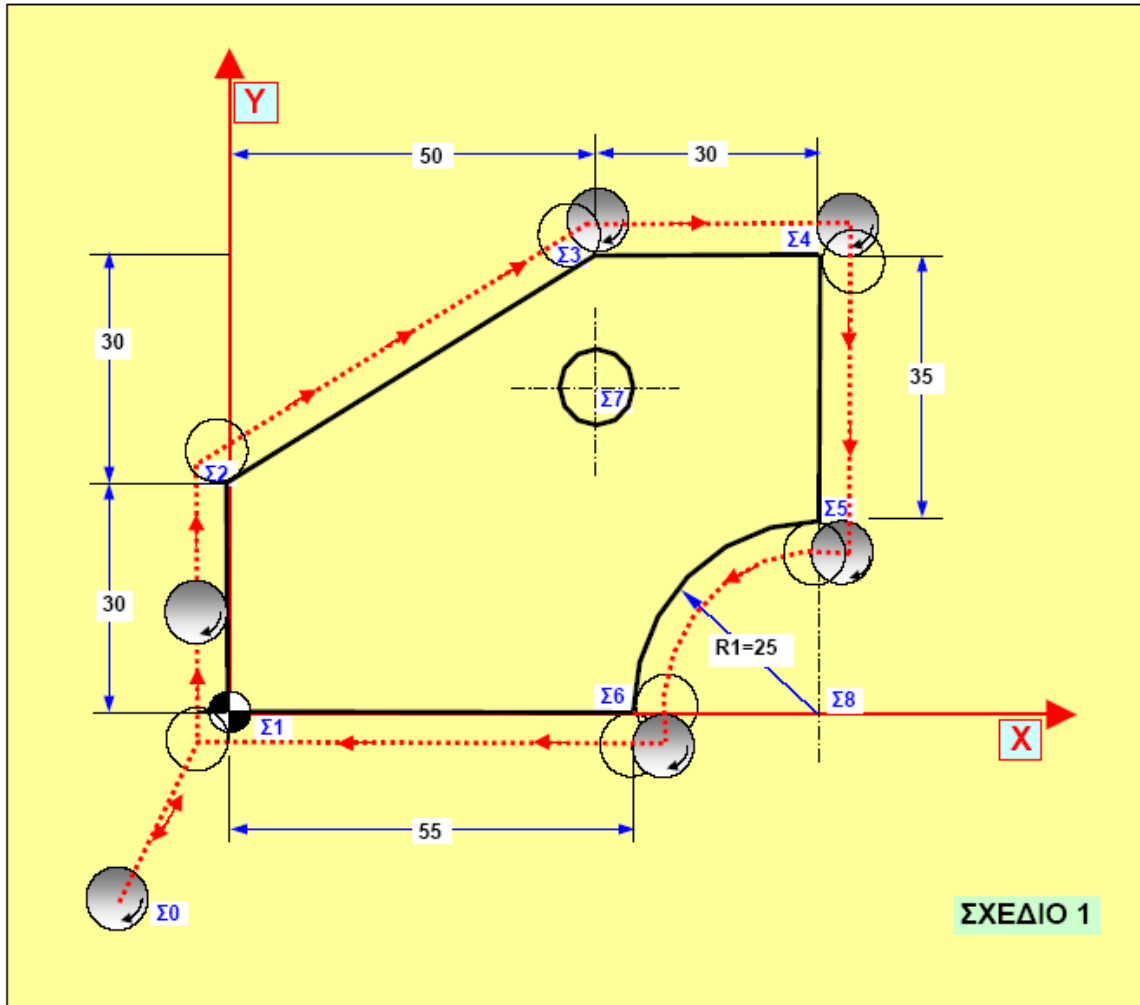
- Υλικό κατασκευής : Αλουμίνιο
- Πάχος αντικειμένου : $h = 3 \text{ mm}$
- Διάμετρος Τρυπανιού : $D = 10 \text{ mm}$ (για τρύπημα)
- Διάμετρος κοπτικού εργαλείου : $D = 8 \text{ mm}$ (για φρεζάρισμα περιγράμματος)
- Σύμβολο αρχής του συστήματος συντεταγμένων $(0,0,0)$

Για να πραγματοποιηθεί η κατεργασία του κομματιού στην Φρέζα C.N.C. πρέπει να γραφεί το πρόγραμμα κοπής σύμφωνα με το σχέδιο 1 ακολουθώντας τις παρακάτω ενέργειες.

- Ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων και την αρχή του, δηλαδή τους άξονες $(X0,Y0,Z0)$ επάνω στο κομμάτι, όπου νομίζουμε ότι θα είναι ευκολότερος ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων $\{ \Sigma_n \}$ (γενικά προσέχουμε το σημείο αυτό να ευρίσκεται επάνω στο περίγραμμα.)
- Υπολογίζουμε τις συντεταγμένες των σημείων $\{ \Sigma_n \}$ που φαίνονται στο σχέδιο 1, (με βάση που έχουμε τοποθετήσει το σημείο αρχής του συστήματος συντεταγμένων.)
- Γραφή προγράμματος κοπής με βάση τον παραπάνω υπολογισμό των σημείων αλλαγής διαδρομής του κοπτικού εργαλείου.
- Δέσιμο του κομματιού στο τραπέζι της εργαλειομηχανής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα με φουρκέτες ή οποιονδήποτε άλλο τρόπο πρόσδεσης κομματιών στην φρέζα.
- Δέσιμο του κοπτικού εργαλείου T1 (τρυπάνι) στην άτρακτο της εργαλειομηχανής και Αρχικοποίηση τις κατεργασίας,

δηλαδή οδηγούμε το κοπτικό εργαλείο με την λειτουργία χειροκίνητης μετατόπισης των αξόνων X,Y,Z, ώστε το κέντρο του να συμπίπτει με το σημείο που θεωρήσαμε ότι θα είναι 0,0,0 προσέχοντας πάντα τον άξονα Z ώστε να ακουμπήσει ακριβώς το κοπτικό εργαλείο στην επιφάνεια του κομματιού όπου συνήθως την θεωρούμε και ως $Z=0$, χρησιμοποιώντας για ακριβέστερη προσέγγιση του εργαλείου στο σημείο τον ηλεκτρονικό χειροστρόφαλο της εργαλειομηχανής.

- Αλλάζουμε εργαλείο και βάζουμε το T2 (κονδύλι φρεζαρίσματος) και οδηγούμε το κοπτικό εργαλείο με τον παραπάνω τρόπο στην επιφάνεια του κομματιού καταγράφοντας την διαφορά ύψους από το T1 για να την δηλώσουμε στο μπλοκ με τον ορισμό εργαλείου του προγράμματος κοπής, έτσι ώστε με την αλλαγή των εργαλείων να οδηγούνται βάζοντας το Z0 στο ίδιο σημείο.
- Απομάκρυνση του κοπτικού εργαλείου στην θέση περίπου εκκίνησης του προγράμματος που είναι συνήθως ένα σημείο έξω από το X0,Y0,Z0, όπως φαίνεται στο σχέδιο 1 σημείο Σ_0 και εκκίνηση του προγράμματος κοπής από την εργαλειομηχανή.



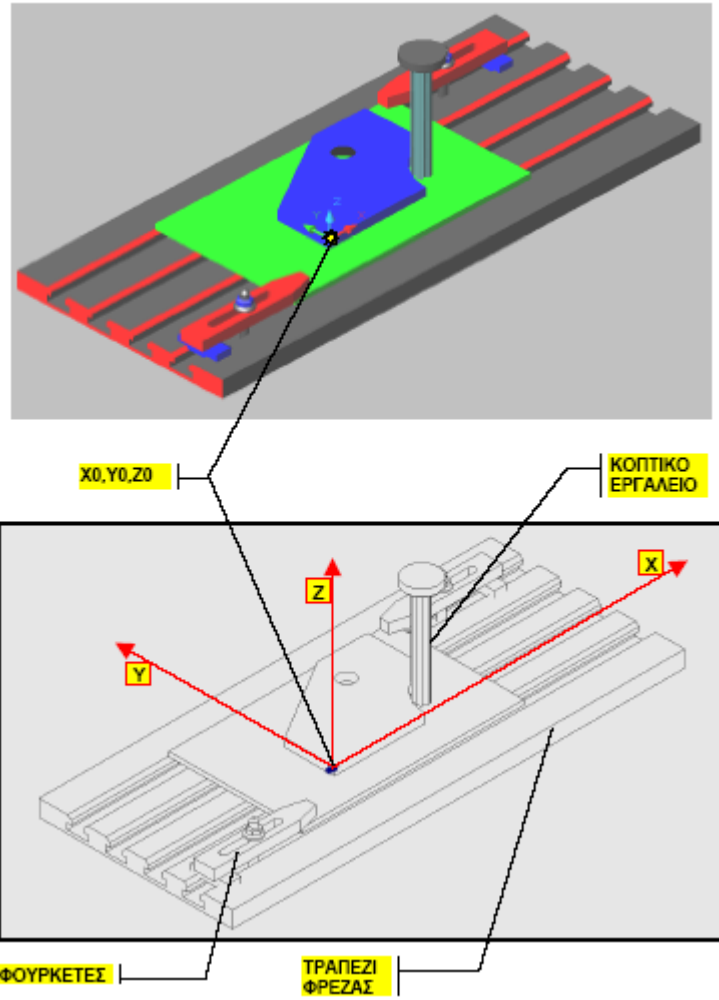
Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στο επίπεδο X, Y των σημείων $\{\Sigma_n\}$ που αναφέραμε παραπάνω, όπως φαίνονται στο σχεδιο1 θα ληφθεί σύστημα απόλυτων συντεταγμένων με αρχή το X_0, Y_0 , που ευρίσκεται στο σημείο Σ_1 .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΣΗΜΕΙΑ	ΑΞΟΝΑΣ Χ	ΑΞΟΝΑΣ Υ
Σ0	-50	-50
Σ1	+0	+0
Σ2	+0	+30
Σ3	+50	+60
Σ4	+80	+60
Σ5	+80	+25
Σ6	+55	+0
Σ7	+50	+42.5

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΟΠΗΣ ΣΤΗΝ ΦΡΕΖΑ

% 10	G71				
N10	G99 T1	L0 R4			ορισμός κοπτικού εργαλείου
N20	G99 T2	L-41 R4			ορισμός κοπτικού εργαλείου
N20	T1	G17 S1000			
N30	G00 G40	G90	X-50 Y-50	Z+30	M03
N50	G00	X+50 Y+42.5	Z5		M08
N60	G01	Z- 5	F 60		
N70	G01	Z+ 5			
N80	G00	Z+ 30			
N90	G00	X-50 Y-50			
N100	M06				Αλλαγή κοπτικού εργαλείου
N110	T2	G17 S1200			
N120	G00	Z+ 5			
N130	G01	Z-3	F 90		
N140	G01	G41	X+0 Y+0	F160	
N150	G01	X+0 Y+30			
N160	G01	X+50 Y+60			
N170	G01	X+80 Y+60			
N180	G01	X+80 Y+25			
N190	I+80 J+0	G03 X+55	Y+0		
N200	G01	X+0 Y+0	M09		
N210	G00	Z+30			
N220	G00	G40 X-50	Y-50	M02	Τέλος προγράμματος
N9999	% 10	G71			



Σχήμα 6: Το εργαλείο κοπής

2.5 Παράδειγμα προγράμματος 3

Κοπή του περιγράμματος που φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο στην Φρέζα C.N.C. BRIDGEPORT INTERACT 2 του εργαστηρίου εργαλειομηχανων CNC του ΑΤΕΙ Πάτρας

Δεδομένα

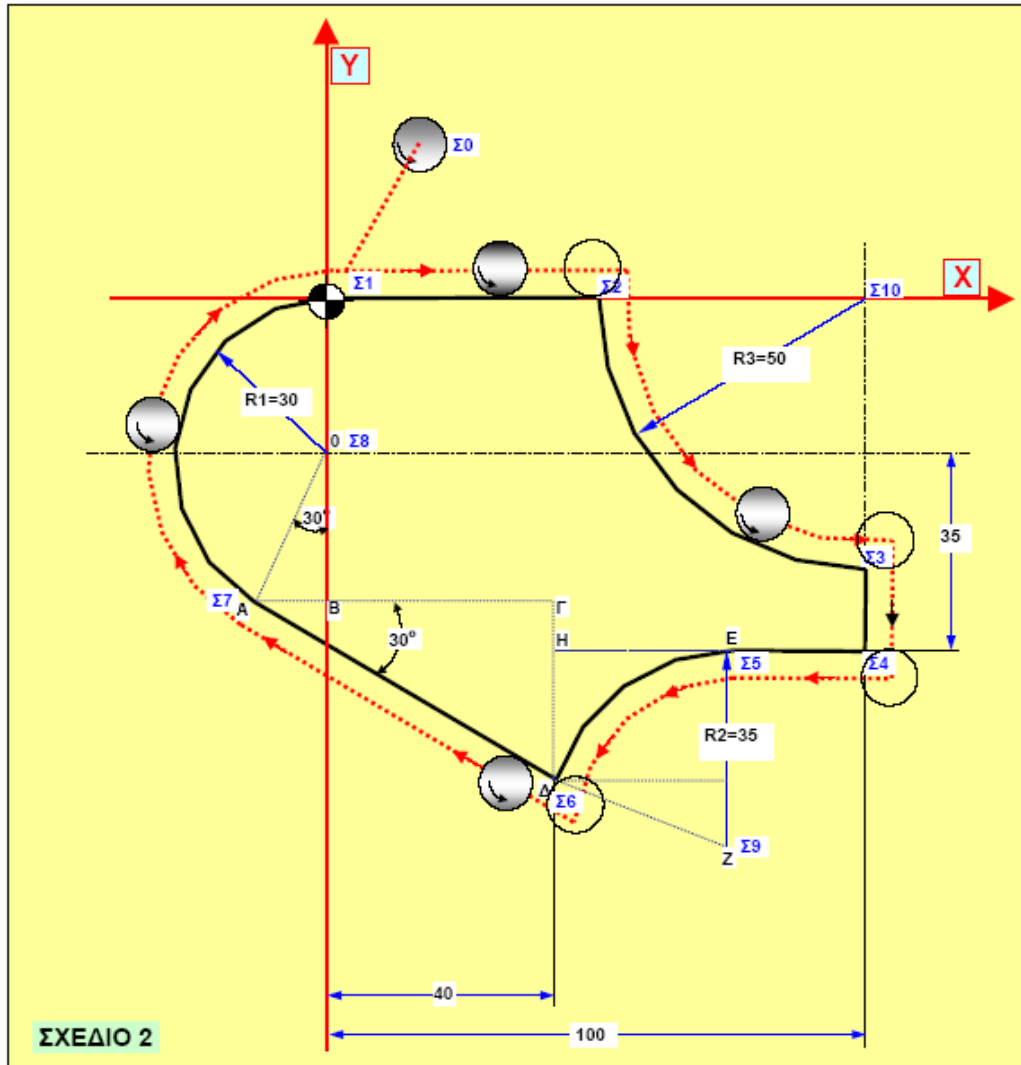
- Υλικό κατασκευής : Αλουμίνιο
- Πάχος αντικειμένου : $h = 3 \text{ mm}$
- Διάμετρος κοπτικού εργαλείου : $D = 8 \text{ mm}$
- Σύμβολο αρχής του συστήματος συντεταγμένων $(0,0,0)$

Για να πραγματοποιηθεί η κατεργασία του κομματιού στην Φρέζα C.N.C. πρέπει να γραφεί το πρόγραμμα κοπής σύμφωνα με το σχέδιο 2 ακολουθώντας τις παρακάτω ενέργειες .

- Ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων και την αρχή του, δηλαδή τους άξονες $(X0,Y0,Z0)$ επάνω στο κομματι , όπου νομίζουμε ότι θα είναι ευκολότερος ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων $\{ \Sigma_n \}$ (γενικά προσέχουμε το σημείο αυτό να ευρίσκεται επάνω στο περίγραμμα .)
- Υπολογίζουμε τις συντεταγμένες των σημείων $\{ \Sigma_n \}$ που φαίνονται στο σχέδιο 2, (με βάση που έχουμε τοποθετήσει το σημείο αρχής του συστήματος συντεταγμένων.)
- Γραφή προγράμματος κοπής με βάση τον παραπάνω υπολογισμό των σημείων αλλαγής διαδρομής του κοπτικού εργαλείου.
- Δέσιμο του κομματιού στο τραπέζι της εργαλειομηχανής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

με φουρκέτες ή οποιονδήποτε άλλο τρόπο πρόσδεσης κομματιών στην φρέζα.

- Δέσιμο του κοπτικού εργαλείου στην άτρακτο της εργαλειομηχανής και Αρχικοποίηση τις κατεργασίας , δηλαδή οδηγούμε το κοπτικό εργαλείο με την λειτουργία χειροκίνητης μετατόπισης των αξόνων X,Y,Z, ώστε το κέντρο του να συμπίπτει με το σημείο που θεωρήσαμε ότι θα είναι 0,0,0 προσέχοντας πάντα τον άξονα Z ώστε να ακουμπήσει ακριβώς το κοπτικό εργαλείο στην επιφάνεια του κομματιού όπου συνήθως την θεωρούμε και ως $Z=0$, χρησιμοποιώντας για ακριβέστερη προσέγγιση του εργαλείου στο σημείο τον ηλεκτρονικό χειροστρόφαλο της εργαλειομηχανής.
- Απομάκρυνση του κοπτικού εργαλείου στην θέση περίπου εκκίνησης του προγράμματος που είναι συνήθως ένα σημείο έξω από το X_0, Y_0, Z_0 , όπως φαίνεται στο σχέδιο 2 σημείο Σ_0 και εκκίνηση του προγράμματος κοπής από την εργαλειομηχανή.



Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στο επίπεδο X, Y των σημείων $\{\Sigma v\}$ που αναφέραμε παραπάνω, όπως φαίνονται στο σχεδιο2 θα ληφθεί σύστημα απόλυτων συντεταγμένων με αρχή το X_0, Y_0 , που ευρίσκεται στο σημείο $\Sigma 1$.

Τα σημεία [$\Sigma 5$ - $\Sigma 6$ - $\Sigma 7$ - $\Sigma 9$] για να υπολογιστούν απαιτείται η εφαρμογή τριγωνομετρικών σχέσεων όπως θα δούμε παρακάτω η' μπορούμε να τα υπολογίσουμε με ακρίβεια και ταχύτητα με κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα όπως π.χ. το **AUTOCAD**

Υπολογισμός ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ [$\Sigma 5$ - $\Sigma 6$ - $\Sigma 7$ - $\Sigma 9$]

Υπολογισμός της πλευράς AB του ορθογωνίου τριγώνου (AB0)

$$\eta\mu.30^{\circ} = \frac{AB}{A0} \Rightarrow AB = \eta\mu 30^{\circ} * A0 = 0.5 * 30 = 15 \text{ mm}$$

Υπολογισμός της πλευράς B0 του ορθογωνίου τριγώνου (AB0)

$$\sigma\upsilon\nu.30^{\circ} = \frac{B0}{A0} \Rightarrow B0 = \sigma\upsilon\nu 30^{\circ} * A0 = 0.866 * 30 = 25.98 \text{ mm}$$

Υπολογισμός της πλευράς ΓΔ του ορθογωνίου τριγώνου (ΑΓΔ)

$$\epsilon\phi.30^{\circ} = \frac{\Gamma\Delta}{A\Gamma} \Rightarrow \Gamma\Delta = \epsilon\phi.30^{\circ} * A\Gamma = 0.57735 * 55 = 31.755 \text{ mm}$$

Υπολογισμός της πλευράς ΘZ του ορθογωνίου τριγώνου (ΔΘZ)

$$\begin{aligned} E\Theta &= \Gamma\Delta - \Gamma\text{H} = 31.755 - 9.02 = 22.735 \text{ mm} \\ \Theta Z &= E Z - E\Theta = 35 - 22.735 = 12.265 \text{ mm} \end{aligned}$$

Υπολογισμός της πλευράς ΔΘ του ορθογωνίου τριγώνου (ΔΘZ)

$$\Delta\Theta = \sqrt{Z\Delta^2 - \Theta Z^2} = \sqrt{1225 - 150.43} = 32.78 \text{ mm}$$

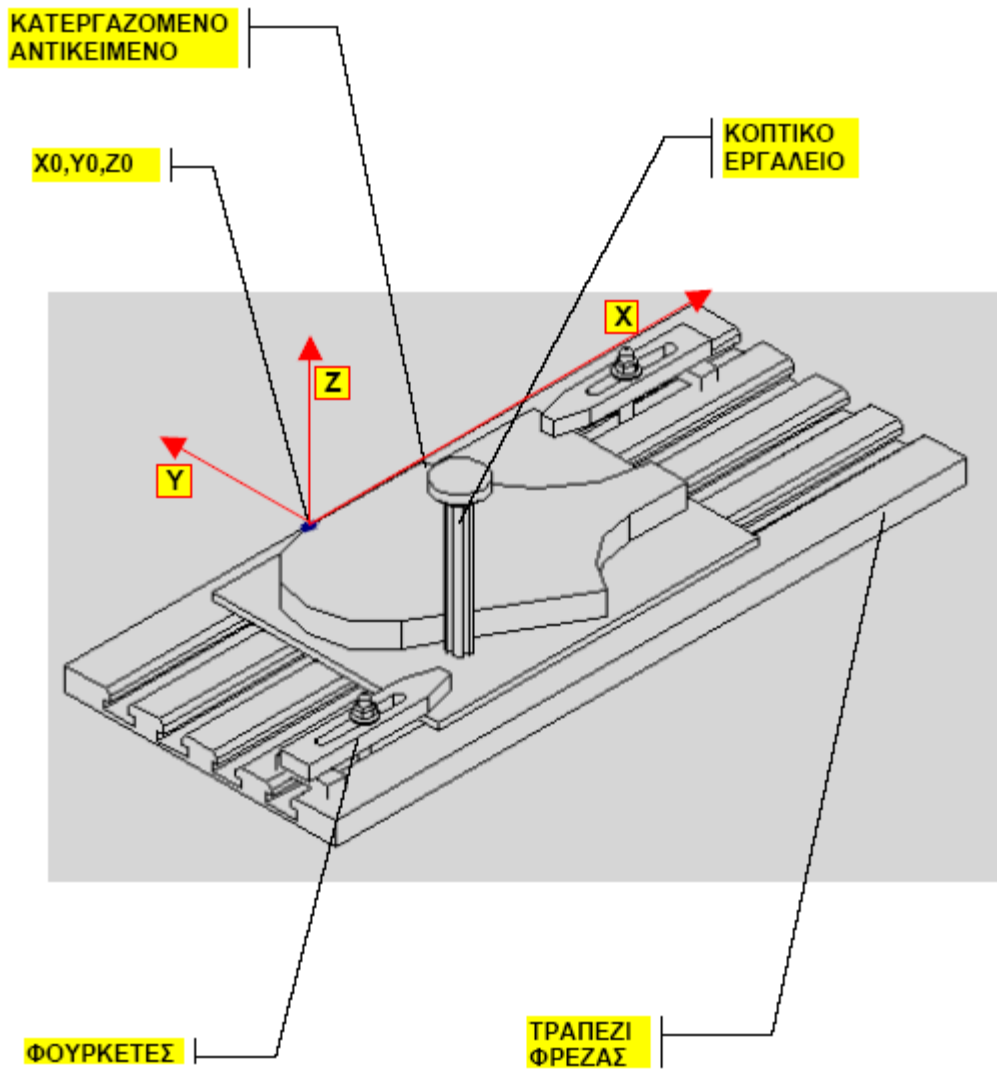
Προσθέτοντας τα τμήματα που υπολογίσαμε δημιουργούμε τον παρακάτω πίνακα των σημείων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΣΗΜΕΙΑ	ΑΞΟΝΑΣ X	ΑΞΟΝΑΣ Y
Σ0	+30	+30
Σ1	+0	+0
Σ2	+50	+0
Σ3	+100	-50
Σ4	+100	-65
Σ5	+72.78	-65
Σ6	+40	-87.734
Σ7	-15	-55.98
Σ8	+0	-30
Σ9	+72.78	-100
Σ10	+0	100

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΟΠΗΣ ΣΤΗΝ ΦΡΕΖΑ

%100	G71
N10	G99 T1 L0 R4
N20	T1 G17 S1000
N30	G00 G90 X+30 Y+30 Z+30 M03
N50	G00 Z+5
N60	G01 Z-3 F200
N70	G01 G41 X+0 Y+0 F90
N80	G26 R15 F90
N90	G01 X+50 Y+100
N100	I+100 J+0 G03 X+100 Y-50
N110	G01 X+100 Y-65
N120	G01 X+72.78 Y-65
N130	I+72.78 J-100 G03 X+40 Y-87.734
N140	G01 X-15 Y-55.98
N150	I+0 J-30 G03 X+0 Y+0
N160	G27 R15 F90
N170	G00 Z+30
N180	G00 G40 X+30 Y+30
N190	M02
N9999	%100 G71



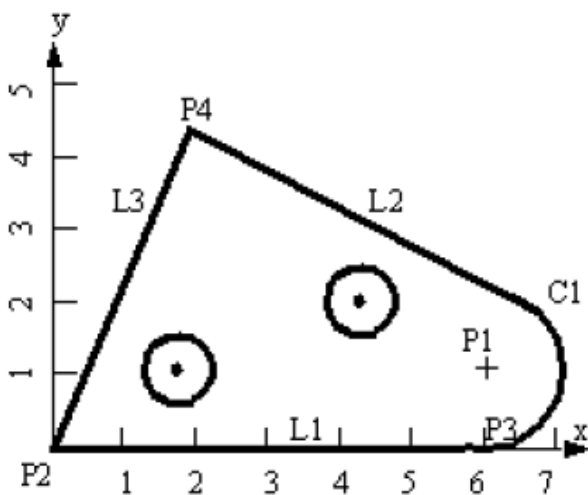
Σχήμα 7: το εργαλείο κοπής

2.6 Η γλώσσα APT

Σημαίνει Automatically Programmed Tool, είναι μια γλώσσα προγραμματισμού και σε κάποιο βαθμό μπορεί να θεωρηθεί και αρχιτεκτονική. Προσφέρει διασυνδεσιμότητα των μονοπατιών των εργαλείων (tool path associability), μακροεντολές, μετασχηματισμούς, έλεγχο των εργαλείων σε πέντε άξονες, καθορισμό και κατεργασία συμπλεγμάτων επιφανειών, περίπλοκα σχήματα εργαλείων και πολλά άλλα.

Οι μέθοδοι της APT δεν προσαρμόστηκαν καλά στον κόσμο των γραφικών, αλλά η APT παραμένει ένα πολύ δυνατό, και σε πολλές περιπτώσεις το καλύτερο, εργαλείο για επαναλαμβανόμενα προγραμματιστικά έργα.

Η συγκεκριμένη γλώσσα επιτρέπει τον προγραμματισμό εργαλείων με χρήση γεωμετρικών σχημάτων. Έτσι ο προγραμματιστής υποχρεώνεται να κάνει κάποιους υπολογισμούς με το μυαλό του. Τα προγράμματα της APT πρέπει να μετατραπούν σε προγράμματα low level, όπως είναι οι G-codes. Ακολουθεί ένα παράδειγμα προγράμματος



```
P0=POINT/0,-1.0,0
P1=POINT/6.0,1.125,0
P2=POINT/0,0,0
P3=POINT/6.0,0,0
P4=POINT/1.75,4.5,0
L1=LINE/P2,P3
C1=CIRCLE/CENTER,P1,RADIUS,1.125
L2=LINE/P4,LEFT,TANTO,C1
L3=LINE/P2,P4
PL1=PLANE/P2,P3,P4
FROM/P0
GO/TO,L1,TO,PL1,PAST,L3
GORGT/L1,TANTO,C1
GOFWD/C1,PAST,L2
GOFWDL2,PAST,L3
GOLFT/L3,PAST,L1
GOTO/P0
```

2.7 To CL File

Ένα CL File είναι ένα πρόγραμμα CNC με ουδέτερο format που δημιουργείται από ένα σύστημα CAD/CAM, από APT ή από οποιοδήποτε άλλο σύστημα προγραμματισμού NC. Θεωρείται ουδέτερο επειδή δεν έχει ειδικό format για οποιαδήποτε εργαλειομηχανή. Δεν υπάρχει ένα και μοναδικό πρότυπο για το format ενός CL file και δεν υπάρχει ένα και μοναδικό πρότυπο για τα περιεχόμενα ενός CL file

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο CL files, τα οποία περιγράφουν με δύο διαφορετικούς τρόπους το ίδιο μονοπάτι ενός κοπτικού εργαλείου.

1^{ος} τρόπος

```
PARTNO ABIRD
CUTTER/.0$$$14
GOTO/.0,.0,5.0$$$15
RAPID
GOTO/-1.50,1.250,5.0$$$17
FEDRAT/15.0$$$18
GOTO/-1.50,1.250,-.20$$$19
GOTO/-1.251350,1.250,.0$$$20
MOVARC/CENTER,-.750,1.250,.0,AXIS,.0,.0,1.0,RADIUS,.50090$$$21
GOTO/-.256223,1.163192,.0
GOTO/-.488339,.107357,.0$$$22
MOVARC/CENTER,.0,.0,0,AXIS,.0,.0,-1.0,RADIUS,.50$$$23
GOTO/.446479,-.225070,.0
GOTO/1.303521,1.475070,.0$$$24
MOVARC/CENTER,1.750,1.250,.0,AXIS,.0,.0,1.0,RADIUS,.50$$$25
GOTO/2.171831,.981562,.0
GOTO/.421831,-1.768438,.0$$$26
MOVARC/CENTER,.0,-1.50,.0,AXIS,.0,.0,-1.0,RADIUS,.50$$$27
GOTO/-.482340,-1.631711,.0
GOTO/-1.233209,1.118052,.0$$$28
GOTO/-1.50,1.250,-.20$$$29
RAPID
GOTO/-1.50,1.250,.30$$$31
RAPID
GOTO/.0,.0,5.0$$$33
END
FINI
```

2^{ος} τρόπος

```
PARTNO ABIRD
CUTTER/ .0
LOADTL/ 1.0
SPINDL/ 2000.0,CLW
COOLNT/ ON
FROM/ .0,.0,5.0
RAPID
GOTO/ -1.50,1.250,5.0
FEDRAT/ 15.0
GOTO/ -1.50,1.250,-.20
GOTO/ -1.25180,1.250,-.20
INDIRV/ .027273,.999628,.0
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/ -.750,1.250,.0,.50090),ON,(LINE/ -.750,$
1.250,.0,-.254332,1.171790,-.20)
GOTO/ -.488339,.107357,-.20
INDIRV/ -.183921,-.982941,.0
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/ .0,.0,.0,.50),ON,(LINE/ .0,.0,.0,.446479,$
-.225070,-.20)
GOTO/ 1.303521,1.475070,-.20
INDIRV/ .477749,.878497,.0
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/ 1.750,1.250,.0,.50),ON,(LINE/ 1.750,1.250,$
.0,2.171831,.981562,-.20)
GOTO/ .421831,-1.768438,-.20
INDIRV/ -.562248,-.826969,.0
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/ .0,-1.50,.0,.50),ON,(LINE/ .0,-1.50,.0,$
-.482340,-1.631711,-.20)
GOTO/ -1.233209,1.118052,-.20
GOTO/ -1.50,1.250,-.20
COOLNT/ OFF
RAPID
GOTO/ -1.50,1.250,.30
SPINDL/ OFF
RAPID
GOTO/ .0,.0,5.0
END
FINI
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΙΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

3.1 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι συσκευές που ανιχνεύουν ένα σήμα ή μία διέγερση και παράγουν από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Υπάρχουν διαθέσιμες διαφορετικές μορφές αισθητήρων, σχεδιασμένες να μετρούν διάφορες φυσικές παραμέτρους. Φυσικές παράμετροι που συναντώνται συχνά και απαιτούν μέτρηση είναι η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση αντικειμένων, η ροή και η στάθμη υγρών, η δύναμη, η πίεση και η θερμοκρασία. Υπάρχουν ακόμη και ειδικότεροι αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν χημικές ποσότητες, ήχο, ακτινοβολία κλπ.

Η επιλογή ενός αισθητήρα εξαρτάται από τη φύση των παραμέτρων που πρέπει να μετρηθούν, καθώς και από άλλους παράγοντες, όπως: κόστος, αξιοπιστία, ποιότητα, χρόνος και χώρος αξιοποίησης της απαιτούμενης πληροφορίας, περιβάλλον χρήσης.

Υπάρχουν δύο πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες: η συλλογή πληροφορίας (μέτρηση) και ο έλεγχος συστημάτων. Η χρήση της τεχνολογίας αισθητήρων στα πεδία αυτά διαφέρει ως προς τον τρόπο αξιοποίησης της πληροφορίας που λαμβάνεται από τους αισθητήρες.

Οι αισθητήρες ως ανιχνευτές συλλογής πληροφορίας παρέχουν πληροφορία με στόχο να είναι διαρκώς γνωστή και κατανοητή η τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων ενός συστήματος (π.χ. ανιχνευτής – ταχύμετρο αυτοκινήτου). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καταγράφουν και να παρέχουν μία εικόνα της εξέλιξης των παραμέτρων του συστήματος (π.χ. ταχογράφος).

Οι αισθητήρες συστημάτων ελέγχου είναι της ίδιας μορφής, αλλά συνήθως τροφοδοτούν ελεγκτή ο οποίος παράγει μία νέα έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου. Σήμερα χρησιμοποιούνται υπερσύγχρονοι επεξεργαστές με χαμηλό κόστος ως ελεγκτές, των οποίων όμως η αξιοποίηση θα ήταν πολύ δύσκολη εάν δεν τροφοδοτούνταν από τις κατάλληλες πληροφορίες

που συλλέγονται από αποδοτικούς και αξιόπιστους αισθητήρες. Ένα παράδειγμα που δείχνει τη χρησιμότητα και τις πολλαπλές εφαρμογές των αισθητήρων στη καθημερινή ζωή

. Οι εφαρμογές των αισθητήρων κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: συστήματα μέτρησης και συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα ελέγχου με αισθητήρες μπορούν να διακριθούν σε συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου και σε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου.

Ένα σύστημα μέτρησης απεικονίζει (εμφανίζει) ή καταγράφει μία ποσοτική έξοδο που αντιστοιχεί στην παράμετρο που μετρά, η οποία αποτελεί και την ποσότητα εισόδου. Τα συστήματα μέτρησης δεν αντιδρούν στην ποσότητα εισόδου, απλά την καθιστούν κατανοητή στο χρήστη με κατάλληλη απεικόνιση ή καταγραφή.

Η διαδικασία μέτρησης μπορεί να διακριθεί σε επιμέρους στάδια και επομένως ένα σύστημα μέτρησης περιλαμβάνει τα αντίστοιχα λειτουργικά στοιχεία: Το παράδειγμα του θερμομέτρου είναι απλό, αφού όλα τα στάδια είναι ενσωματωμένα στην ίδια συσκευή και η ρύθμιση σήματος είναι η μετατροπή της θερμότητας περιβάλλοντος σε κίνηση της στήλης υδραργύρου. Σε περίπλοκα συστήματα μέτρησης είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των λειτουργικών στοιχείων, όπου ο αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική ποσότητα σε σήμα, το οποίο με κατάλληλη τροποποίηση από τη μονάδα ρύθμισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη μονάδα απεικόνισης ή καταγραφής. Για παράδειγμα εάν το σήμα είναι μία ηλεκτρική τάση πιθανώς χρειάζεται ενίσχυσή της από τη μονάδα ρύθμισης για να μπορεί να απεικονιστεί κατάλληλα. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ρύθμισης (ενίσχυση τάσης, μετατροπή παλμών φωτός σε ηλεκτρικούς κλπ.) και τεχνικές απεικόνισης ή καταγραφής (αριθμητική έξοδος, μετακίνηση βελόνας σε κλίμακα, προβολή ή εκτύπωση γραφικής παράστασης κλπ.)

Τα συστήματα ελέγχου έχουν σκοπό τη διατήρηση μιας παραμέτρου σε μία προκαθορισμένη τιμή. Περιλαμβάνουν συστήματα μέτρησης, αλλά σε αντίθεση με τα συστήματα μέτρησης, η έξοδός τους ρυθμίζει κάποια παράμετρο, η τιμή της οποίας δεν εμφανίζεται απαραίτητως στο χρήστη. Η βάση της λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόχου είναι ότι ελέγχεται από ένα σήμα προκαθορισμένης τιμής. Η

προκαθορισμένη τιμή δεν αλλάζει ακόμη και αν άλλοι παράγοντες αλλάξουν και καταστήσουν την έξοδο του συστήματος ανακριβή.

3.1.1 Βασικές έννοιες συστημάτων μέτρησης και ελέγχου

- **Απόλυτη μέτρηση (absolute measurement):** μέτρηση ενός μεγέθους που δεν χρησιμοποιεί κλίμακα μέτρησης η οποία βασίζεται σε σύγκριση του μεγέθους με ένα αντίστοιχο μέγεθος αναφοράς (αυθαίρετη κλίμακα), αλλά κλίμακα μέτρησης η οποία βασίζεται στη μικρότερη φυσική δυνατή τιμή που μπορεί να λάβει το μέγεθος που μετριέται (απόλυτη κλίμακα).
 - Η κλίμακα K είναι απόλυτη αφού σχετίζει τη θερμοκρασία με το απόλυτο 0 , ενώ η κλίμακα C είναι αυθαίρετη αφού σχετίζει τη θερμοκρασία με τη θερμοκρασία πήξης του νερού που αυθαίρετα ορίζεται ως 0°C .
 - Η μέτρηση της πίεσης σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι απόλυτη, ενώ η μέτρηση της σε σχέση με το απόλυτο κενό είναι απόλυτη.
- **Μονάδες διεθνούς συστήματος (SI):** μονάδες μετρήσεων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως μετά από διεθνή συμφωνία ώστε να διασφαλίζεται συμβατότητα.
- **Παράμετρος:** μεταβλητή ποσότητα με καθορισμένα όρια.
- **Μεταβλητή** (σε σχέση με αισθητήρες και συστήματα μέτρησης): φυσική ή μετρούμενη ποσότητα που μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές.
- **Τοπική ένδειξη (local reading) αισθητήρα:** ένδειξη που παρέχεται από τον αισθητήρα κοντά στο σημείο μέτρησης.
- **Ένδειξη από απόσταση (remote reading):** ένδειξη που παρέχεται από τον αισθητήρα και το σημείο απεικόνισής της είναι μακριά από το σημείο μέτρησης.

- **Μετρούμενη ποσότητα (measurand):** είσοδος ενός συστήματος μέτρησης, δηλ. η ποσότητα που πρόκειται να μετρηθεί.
- **Ρυθμισμένο σήμα (conditioned signal):** έξοδος ενός αισθητήρα, η οποία έχει υποστεί κατάλληλη τροποποίηση, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή από μία συσκευή απεικόνισης, καταγραφής ή ελέγχου.
- **Ηλεκτρικός θόρυβος (noise):** ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να αλλοιώσουν το σήμα που μεταφέρει χρήσιμη πληροφορία (π.χ. έξοδος αισθητήρα).
- **Ολοκληρωμένο κύκλωμα (integrated circuit, IC):** ηλεκτρονικό κύκλωμα του οποίου όλα τα τμήματα (στοιχεία) είναι κατασκευασμένα (ενσωματωμένα) σε μία μόνο ψηφίδα (die) ημιαγωγίου υλικού.
- **Ημιαγωγοί:** υλικά με ηλεκτρικές ιδιότητες ανάμεσα στα μέταλλα και στους μονωτές, στα οποία βασίζονται τα στοιχεία (π.χ. τρανζίστορ) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- **Προδιαγραφές (specifications) συσκευής:** τεχνική περιγραφή των χαρακτηριστικών, της κατασκευής και της απόδοσης, καθώς και κάθε άλλης σχετικής πληροφορίας που αφορά τη συσκευή.
- **Διασύνδεση (interface):** σύνδεση δύο ηλεκτρονικών συσκευών κατά την οποία οι είσοδοι και οι έξοδοι έχουν σχεδιαστεί ή προσαρμόζονται ώστε οι συσκευές να μπορούν να συνεργαστούν (να ανταλλάξουν δεδομένα).
- **Ακροδέκτης μέτρησης (probe):** συσκευή που ενώνει έναν αισθητήρα ή μία συσκευή απεικόνισης με τη μετρούμενη ποσότητα ή με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.
- **Ρευστά:** ουσίες που μπορούν να ρέουν (αέρια και υγρά, αλλά και στερεά όπως η άμμος). Δεν έχουν συγκεκριμένο σχήμα και παρουσιάζουν μικρή αντίσταση στη μηχανική τάση.

3.2 Χαρακτηριστικά και είδη αισθητήρων

Συχνά οι αισθητήρες δεν δίνουν στην έξοδό τους κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Τότε απαιτείται η χρήση ενός επιπρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος, το οποίο να λαμβάνει την έξοδο του αισθητήρα και να τη μετατρέπει σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των επόμενων βαθμίδων. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται *κύκλωμα ρύθμισης σήματος (signal conditioning circuit)*, *κύκλωμα ελέγχου (control circuit)* ή *εξωτερική μονάδα (outer ή external module)*. Για παράδειγμα, υπάρχουν αισθητήρες στάθμης που μετρούν το χρόνο που απαιτείται για να ανακλαστεί ένα υπερηχητικό κύμα από τη μετρούμενη επιφάνεια και να επιστρέψει στο σημείο από όπου εκπέμφθηκε. Σε αυτούς πρέπει να υπάρχει κατάλληλο κύκλωμα για τη μετατροπή των τιμών χρόνου σε ανάλογες τιμές τάσης.

Οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν ονομάζονται *ενεργοί*. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης LVDT πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση. Οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μία τάση και δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται *παθητικοί*. Τέτοιοι είναι για παράδειγμα οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, που όταν πιεστούν αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων συγκροτούν τις *προδιαγραφές* τους (*specifications*) και είναι πολλά. Παρότι οι ποικίλοι αισθητήρες που υπάρχουν σήμερα στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας, έχουν κοινά τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- **ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ:** Ο κάθε αισθητήρας διαθέτει ένα χαρακτηριστικό ή ιδιότητα, του οποίου η τιμή μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται η φυσική ποσότητα που μετρά ο αισθητήρας. Είναι επιθυμητό οι μεταβολές της φυσικής ποσότητας να προκαλούν αυστηρά ανάλογες μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται *γραμμικότητα (linearity)* και είναι ιδιαίτερης σημασίας. Εάν ο αισθητήρας δεν είναι γραμμικός, τότε η αντιστοίχιση των

τιμών του μετρούμενου μεγέθους με τις τιμές εξόδου του αισθητήρα γίνεται με βάση την καμπύλη «βαθμονόμησης». Η μη-γραμμικότητα είναι συχνά εγγενής ιδιότητα του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αισθητήρας και εν γένει είναι αδύνατο να μηδενιστεί.

- **ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ:** Η *ευαισθησία (sensitivity)* εκφράζει πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Έτσι, εάν ένας αισθητήρας θερμοκρασίας έχει ευαισθησία $1 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, συνεπάγεται ότι παράγει έξοδο ίση με 1 mV για κάθε βαθμό της μετρούμενης θερμοκρασίας και προφανώς είναι πιο ευαίσθητος από έναν άλλο αισθητήρα με ευαισθησία $0.5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, ο οποίος για κάθε θερμοκρασία παράγει ως έξοδο τη μισή τάση.
- **ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ:** Η *διακριτική ικανότητα (resolution)* εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας και να μεταβάλλει την έξοδό του ανάλογα. Για παράδειγμα, ένα θερμόμετρο με διακριτική ικανότητα $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ σημαίνει ότι μπορεί να διακρίνει μεταξύ δύο θερμοκρασιών που απέχουν $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, δηλαδή να παράγει εξόδους ελαφρά διαφορετικής τιμής.
- **ΑΚΡΙΒΕΙΑ:** Η *ακρίβεια (accuracy)* ισούται με το σφάλμα που εγγενώς περιέχει η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο, δηλώνει δηλαδή την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου. Μπορεί να εκφράζεται σε απόλυτες τιμές (για παράδειγμα $\pm 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ή επί τοις εκατό (για παράδειγμα 1%). Στην πρώτη περίπτωση η ανακρίβεια είναι σταθερή και ανεξάρτητη της τιμής του μετρούμενου φυσικού μεγέθους, ενώ στην άλλη περίπτωση η ανακρίβεια είναι ανάλογη της παραπάνω τιμής.
- **ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ:** Το *εύρος τιμών εισόδου (full-scale input, FSI)* ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλοί αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμοζεύγη, θερμίστορ, θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις) αλλά δεν ενδείκνυνται όλοι για τη μέτρηση θερμοκρασιών της τάξης των $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Η γνώση του εύρους τιμών εισόδου μας

επιτρέπει να επιλέξουμε τον κατάλληλο αισθητήρα που ταιριάζει στις ανάγκες της εφαρμογής.

- **ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΞΟΔΟΥ:** Το εύρος τιμών εξόδου (*full-scale output, FSO*) ορίζει τη μορφή (δηλαδή τις τιμές) που μπορεί να λαμβάνει η τάση ή το ρεύμα εξόδου ενός αισθητήρα. Οι αισθητήρες διατίθενται εν γένει σε παραλλαγές με διάφορα εύρη τιμών εξόδου, ώστε να μπορεί ο χρήστης να επιλέξει τη μορφή που ταιριάζει περισσότερο στα κυκλώματα που θα παραλάβουν το σήμα εξόδου (για παράδειγμα σε ένα μετατροπέα A/D). Το εύρος τιμών εξόδου καθορίζεται συχνά από ένα κύκλωμα ρύθμισης σήματος, το οποίο συνδέεται μόνιμα με τον αισθητήρα. Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι η θερμοκρασία αποτελεί τον συνηθέστερο παράγοντα που αλλοιώνει τις προδιαγραφές των αισθητήρων. Η επίδραση της θερμοκρασίας στους αισθητήρες μπορεί να είναι γνωστή και συχνά υπάρχει τρόπος *αντιστάθμισής της (compensation)* με κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα ρύθμισης σήματος. Για την περιγραφή της επίδρασης αυτής ορίζονται διάφορα μεγέθη, όπως η *ολίσθηση του σημείου μηδενός λόγω θερμοκρασίας (temperature zero shift)*, η *ευαισθησία στη θερμοκρασία (temperature sensitivity)* και η *μεταβολή της ευαισθησίας λόγω θερμοκρασίας (thermal sensitivity shift)*.

3.3 Οπτικοί Αισθητήρες

3.3.1 Φωτοαντιστάσεις (LDRs)

Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσα σε ένα υλικό από τα ηλεκτρόνια του υλικού που μπορούν να κινηθούν μέσα σε αυτό και λέγονται *ελεύθερα ηλεκτρόνια* ή *ηλεκτρόνια αγωγιμότητας (conduction electrons)*. Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη *αγωγιμότητα*, και άρα μικρότερη *αντίσταση*, εμφανίζει στη ροή του ρεύματος. Όταν προσπίπτει φως σε ένα φωτοαγώγιμο υλικό, αυξάνει ο αριθμός των ελευθέρων ηλεκτρονίων του. Αυτό γίνεται επειδή τα προσπίπτοντα φωτόνια διεγείρουν ηλεκτρόνια που είναι δεσμευμένα και τα καθιστούν ελεύθερα. Έτσι η αντίσταση του φωτοαγώγιμου υλικού μειώνεται. Η σχέση μεταξύ της προσπίπτουσας φωτεινής ισχύος P και της αντίστασης R δεν είναι γραμμική αλλά λογαριθμική και έχει τη μορφή:

$$R = \frac{a}{P^b}$$

Από αυτήν καταλήγουμε στην εμπειρική σχέση

$$\log R = a - b \log P$$

Οι ποσότητες a και b είναι χαρακτηριστικές του φωτοαγωγίμου υλικού. Με βάση αυτά τα υλικά κατασκευάζονται τα εμπορικά προϊόντα των *φωτο-αντιστάσεων* (*photoresistors*) ή *αντιστάσεων εξαρτώμενων από φωτεινή ένταση* (*light-dependent resistors – LDRs*).

3.3.2 Φωτοдиодοι και φωτοτρανζίστορ

Οι φωτοдиодοι και τα φωτοτρανζίστορ αποτελούν τα βασικά είδη φωτοβολταϊκών ανιχνευτών. Αυτά δημιουργούν ρεύμα, που ονομάζεται *φωτόρευμα* (*photocurrent*), ανάλογο της προσπίπτουσας φωτεινής έντασης. Τα φωτοτρανζίστορ είναι στην ουσία φωτοдиодοι που επιπρόσθετα εκτελούν ενίσχυση του δημιουργούμενου ρεύματος και έτσι η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν των φωτοдиодων. Ο όρος *φωτοдиодος* μπορεί να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει έως και τις ηλιακές μπαταρίες, αλλά συνήθως αναφέρεται μόνο στους αισθητήρες φωτεινής στάθμης.

Οι φωτοдиодοι αποτελούνται από μία φωτοευαίσθητη διοδο πυριτίου, δηλαδή μία επαφή p-n που έχει στην άνω όψη της ένα φωτοαγωγίμο στρώμα. Η πρόσπτωση φωτός στην επιφάνειά τους δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών στην περιοχή της επαφής, δηλαδή ένα μικρό ρεύμα (φωτόρευμα). Το φωτόρευμα είναι αμελητέο σε σύγκριση με τα ρεύματα που διαρρέουν τις φωτοдиодους όταν αυτές είναι ορθά πολωμένες, οπότε άγουν ως κανονικές διοδοι. Όταν όμως οι φωτοдиодοι είναι ανάστροφα πολωμένες, το φωτόρευμα καθίσταται σημαντικό και επιτρέπει τη μέτρηση της προσπίπτουσας φωτεινής έντασης.

3.3.3 Αισθητήρες Πιεζοαντίστασης

Οι αισθητήρες αυτοί στηρίζονται στη μεταβολή της τιμής της αντίστασης ενός μεταλλικού σύρματος όταν αυτό πιεστεί κατά μήκος της κύριας διάστασής του. Για τον υπολογισμό της ποσοτικής σχέσης θεωρούμε την εξίσωση που σχετίζει την αντίσταση ενός σύρματος με τα φυσικά του χαρακτηριστικά:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του υλικού, από το οποίο είναι φτιαγμένο το σύρμα,

και l και A είναι το μήκος και το εμβαδό διατομής του σύρματος.

Εάν το υλικό συμπιεστεί (και άρα το μήκος του μειωθεί και η ενεργός διατομή του αυξηθεί), και εκφράσουμε τη μεταβολή ΔR της αντίστασης ως προς τις αντίστοιχες μεταβολές των ποσοτήτων ρ , l και A , αποδεικνύεται ότι είναι:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = G \frac{\Delta l}{l_0},$$

όπου

R_0 και l_0 είναι οι τιμές της αντίστασης και του μήκους όταν η πίεση μετρητή είναι μηδέν,

Δl είναι η μεταβολή του μήκους και

G είναι μία ποσότητα χαρακτηριστική του υλικού, που ονομάζεται παράγοντας G (*gauge factor*). Η ποσότητα G σχετίζεται με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού και έχει γνωστή τιμή, η οποία εξαρτάται ελαφρά από τη συμπίεση Δl που προκαλείται στο υλικό.

Το πηλίκο $\Delta l / l_0$ εκφράζει την ποσοστιαία συμπίεση του υλικού και είναι γνωστό με τον αγγλικό όρο *strain*.

Με τη βοήθεια πιεζοαντιστάσεων κατασκευάζονται μετρητικές διατάξεις που ονομάζονται μετρητές μηχανικής τάσης (*strain*

gauges). Αυτές αποτελούνται συνήθως από τέσσερις πιεζοαντιστάσεις σε διάταξη γέφυρας Wheatstone. Οι πιεζοαντιστάσεις κατασκευάζονται συνήθως από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου, το οποίο υφίσταται μία διαδικασία *απόξεσης* (*etching*) και λαμβάνει τη μορφή ενός σύρματος. Το αλουμίνιο συνδέεται σε μία βάση από ρητίνη και στη συνέχεια αυτή συγκολλάται στην επιφάνεια που μας ενδιαφέρει. Η έξοδος της γέφυρας Wheatstone είναι της τάξης των 100 mV και έτσι είναι αναγκαία η ενίσχυσή της προτού διαβιβαστεί σε ένα μετατροπέα A/D. Εναλλακτικά, η έξοδος μπορεί να μην υποστεί ενίσχυση εάν ο μετατροπέας A/D έχει υψηλή ευαισθησία (π.χ. έχει ανάλυση 12 bits).

3.3.4 Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης

Όταν συμπιέζεται ή εφελκύεται ένας κρύσταλλος, μετατοπίζονται οι θέσεις των θετικών και αρνητικών φορτίων του και έτσι εμφανίζεται στα άκρα του μία ποσότητα φορτίου (θετικού στο ένα άκρο και αρνητικού στο άλλο άκρο), δηλαδή διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο* (*piezoelectric effect*) και εμφανίζεται σε όλα τα κρυσταλλικά υλικά, είναι όμως ιδιαίτερα έντονο σε ορισμένα μόνο υλικά, τα οποία ονομάζονται για το λόγο αυτό *πιεζοηλεκτρικά*. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν και το *αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο*, κατά το οποίο η εφαρμογή στα άκρα του υλικού μίας τάσης V προκαλεί συμπίεση (ή εφελκυσμό, ανάλογα με το πρόσημο της τάσης) κατά διάστημα x :

$$x = d V$$

όπου η ποσότητα d είναι η πιεζοηλεκτρική σταθερά του υλικού. Η περιγραφή του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου γίνεται πολύ απλά θεωρώντας ότι ένας κρύσταλλος λειτουργεί σαν ελατήριο σταθεράς k όταν συμπιέζεται κατά διάστημα x . Η σχέση μεταξύ δύναμης και διαστήματος είναι η εξής:

$$F = k x$$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω σχέσεις εξάγεται η σχέση μεταξύ της εφαρμοζόμενης δύναμης και της πιεζοηλεκτρικής τάσης αναπτύσσεται στα άκρα του υλικού:

$$F = k d V \Leftrightarrow V = \frac{1}{k d} F$$

Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι είναι συνήθως κρύσταλλοι χαλαζία (quartz). Μπορούν να έχουν πολύ μικρό μέγεθος και είναι ανθεκτικοί σε υψηλές θερμοκρασίες. Η σταθερά k των κρυστάλλων είναι πολύ μεγάλη (δηλαδή οι κρύσταλλοι είναι *σκληροί*), με αποτέλεσμα η τάση V που παράγεται να έχει μικρές τιμές και να απαιτείται η ενίσχυσή της ή η τοποθέτηση πολλών κρυστάλλων σε σειρά. Οι κρύσταλλοι τίθενται σε επαφή με ένα κινητό διάφραγμα, το οποίο δέχεται την πίεση, και συμπιέζονται από αυτό.

Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι δε χρησιμοποιούνται μόνο για τη μέτρηση πιέσεων και δυνάμεων αλλά και επιταχύνσεων, καθώς γνωρίζουμε ότι η δύναμη και η επιτάχυνση είναι μεγέθη ανάλογα, με βάση τη γνωστή σχέση:

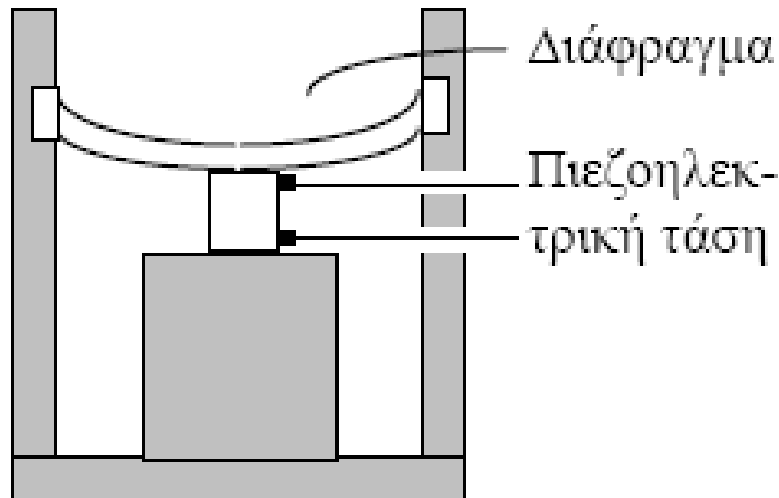
$$F = m a$$

όπου

a είναι η επιτάχυνση και

m είναι η μάζα που δέχεται την επιτάχυνση.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά διακρίνονται μεταξύ τους ανάλογα με την τιμή του ηλεκτρικού σήματος που παράγουν εξαιτίας μίας δεδομένης πίεσης, την απόκρισή τους σε πιέσεις διαφόρων συχνοτήτων, τη συχνότητα στην οποία εμφανίζουν το φαινόμενο του συντονισμού κ.ά.



Σχήμα 8: Μορφή πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα πίεσης

3.4 Αισθητήρες μετατόπισης και πίεσης

Η ανίχνευση της *φυσικής θέσης* και της *κίνησης* των αντικειμένων έχει ζωτική σημασία, αφού οι περισσότερες κατασκευές και διατάξεις διαθέτουν κινητά μηχανικά μέρη. Είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση ενός αντικειμένου. Ενδέχεται να θέλουμε να προσδιορίσουμε εάν ή πότε ένα κινητό μέρος ευρίσκεται σε κάποια προκαθορισμένη θέση του χώρου. Άλλοτε είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε εάν και σε ποιο βαθμό ένα κινητό μέρος κινείται ή περιστρέφεται προς κάποια κατεύθυνση ή την αντίθετή της. Κάποιες φορές μας ενδιαφέρει πόσο γρήγορα κινείται ένα κινητό μέρος. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, η γνώση της θέσης, της προσέγγισης, της μετατόπισης και της ταχύτητας ή επιτάχυνσης ενός αντικειμένου αφορούν στο γενικότερο ζήτημα της ανίχνευσης κάποιας παραμέτρου της *κίνησής του*.

Ανάλογα επομένως με τη φύση της εφαρμογής μας πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες που να ανιχνεύουν κάποιο από τα ακόλουθα μεγέθη:

- Θέση
- Προσέγγιση

- Μετατόπιση (ευθύγραμμη ή περιστροφική)
- Ταχύτητα ή επιτάχυνση

Η μετατόπιση (*displacement*) προκύπτει από τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στη νέα και την παλαιά θέση του εξεταζόμενου αντικειμένου, και άρα η ανίχνευση της θέσης ανάγεται στην ανίχνευση της μετατόπισης και αντίστροφα. Η προσέγγιση (*proximity*) αποτελεί μία ειδική περίπτωση ανίχνευσης θέσης, καθώς τότε μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε εάν θα ευρεθεί το εξεταζόμενο αντικείμενο σε μία συγκεκριμένη, προκαθορισμένη θέση. Έτσι η ανίχνευση της προσέγγισης δίνει δύο δυνατά αποτελέσματα (ΝΑΙ και ΟΧΙ) και είναι απλούστερη από την ανίχνευση θέσης, η οποία πρέπει να δίνει ως αποτελέσματα συνεχείς αριθμητικές τιμές (σε χιλιοστάμετρα ή μίρες). Η μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης διαφέρει από τις μετρήσεις μηκών και γωνιών (θέσεων, μετατοπίσεων κ.ά.) και στηρίζεται σε διαφορετικές αρχές.

Η μετατόπιση μπορεί να μετρηθεί στις απλούστερες περιπτώσεις με μηχανικά συστήματα (γραμμικά μικρόμετρα ή γωνιόμετρα) και για να γίνει αυτό πρέπει να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση, όσον αφορά στην ανάγνωση της μέτρησης και συχνά στην εκτέλεσή της. Ένας καλύτερος τρόπος είναι με τη βοήθεια ενός ποτενσιομέτρου (γραμμικού ή περιστροφικού), καθώς γνωρίζουμε ότι η έξοδος ενός ποτενσιομέτρου είναι ανάλογη κάποιου μήκους ή γωνίας. Τα μειονεκτήματα των ποτενσιομέτρων είναι η εξάρτηση της τάσης εξόδου από την αντίσταση που συνδέεται σε αυτήν, η μηχανική φθορά της ποτενσιομετρικής ράβδου ή του ποτενσιομετρικού δακτυλίου από τη συνεχή ολίσθηση ενός δρομέα επάνω του και η συχνά βηματική φύση των τιμών της τάσης εξόδου, όταν η ποτενσιομετρική ράβδος αποτελείται από περιελιγμένο καλώδιο και επομένως ο δρομέας σταθμεύει εν γένει μεταξύ των περιελίξεων. Οι πιο σύγχρονοι τρόποι μέτρησης της μετατόπισης και θέσης είναι οι επαγωγικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης, που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Η μέτρηση της προσέγγισης μπορεί να γίνει με μηχανικό τρόπο με τη βοήθεια ενός διακόπτη επαφής: Τοποθετούμε το διακόπτη στη θέση που μας ενδιαφέρει και όταν το κινούμενο αντικείμενο φθάσει σε αυτήν τη θέση κλείνει ή ανοίγει το διακόπτη, ενεργοποιώντας

μέσω αυτού κάποιο κύκλωμα ελέγχου. Ένας πιο ολοκληρωμένος τρόπος μέτρησης της προσέγγισης είναι μέσω της αντίστοιχης θέσης. Για να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιούμε έναν αισθητήρα μετατόπισης, ο οποίος παράγει μία τάση ανάλογη της θέσης. Συγκρίνουμε την τάση αυτή με την τάση που αναπτύσσεται όταν το εξεταζόμενο αντικείμενο φθάσει στην προκαθορισμένη θέση και από το αποτέλεσμα της σύγκρισης ενεργοποιούμε ή όχι το κύκλωμα ελέγχου. Έτσι, η μέτρηση της προσέγγισης ανάγεται στη μέτρηση της μετατόπισης. Υπάρχουν πάντως και ειδικές μέθοδοι μέτρησης της μετατόπισης, που στηρίζονται στη μέτρηση μαγνητικού πεδίου (αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης, αισθητήρες προσέγγισης φαινομένου Hall) και στην ανάκλαση μίας φωτεινής δέσμης από το μετατοπιζόμενο αντικείμενο (οπτικοί αισθητήρες προσέγγισης)

Για τη μέτρηση της ταχύτητας ενός αντικειμένου χρησιμοποιούνται τεχνικές υπερήχων ή ραδιοκυμάτων (radar). Σύμφωνα με αυτές εκπέμπεται προς το αντικείμενο ένα κύμα (υπέρηχος ή ραδιοκύμα), το οποίο ανακλάται από το αντικείμενο και ένα τμήμα του επιστρέφει προς τη συσκευή εκπομπής. Το τμήμα του κύματος που επιστρέφει έχει μήκος κύματος ελαφρά διαφορετικό από αυτό που εκπέμπεται λόγω του φαινομένου Doppler και η διαφορά αυτή σχετίζεται με την ταχύτητα του αντικειμένου. Η μέτρηση της επιτάχυνσης σχετίζεται με τη μέτρηση της δύναμης, καθώς τα μεγέθη αυτά είναι ανάλογα. Εντούτοις, οι αισθητήρες δύναμης που έχουμε περιγράψει στην προηγούμενη παράγραφο στηρίζονται στη μέτρηση του μεγέθους της πίεσης, η οποία προϋποθέτει τη φυσική επαφή του εξεταζόμενου αντικειμένου με το αντικείμενο που το πιέζει. Είναι όμως δυνατό να επιταχυνθεί ένα αντικείμενο χωρίς να υποστεί πίεση, εάν για παράδειγμα μετατοπιστεί βίαια το στήριγμά του λόγω κάποιας δύναμης (βαρυτικής, φυγόκεντρης, ηλεκτρικής κ.ά.) που ενεργεί επάνω σε αυτό από απόσταση. Έτσι υπάρχουν αισθητήρες ειδικά κατασκευασμένοι για να μετρούν αποκλειστικά το μέγεθος της επιτάχυνσης και ονομάζονται *επιταχυνσιόμετρα (accelerometers)*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

4.1 Γενικά για τους ηλεκτρικούς κινητήρες , που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από τα σημαντικότερα υποσυστήματα των εργαλειομηχανών , καθώς όλες σχεδόν οι κινήσεις μετατόπισης και κοπής οδηγούνται από αυτούς . Η απόδοση τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών και την παραγωγικότητα των εργαλειομηχανών , που τους περιέχουν . Σήμερα οι NC, CNC και DNC μηχανές περιέχουν ως βασικό εξοπλισμό , ολόκληρα συστήματα **σερβοκινητήρων** 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 συνεχολυς ή εναλλασσομένου ρεύματος ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες . Η λειτουργία αυτών των κινητήρων θα περιγραφεί στις επόμενες παραγράφους , ανάλογα με την εφαρμογή τους . Σε κάθε περίπτωση , υπάρχει μετρητής της ταχύτητας περιστροφής και μηχανισμός αμεσης 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 τόννευσης . Πριν περιγραφούν οι εφαρμογές των διαφόρων τύπων κινητήρα στις εργαλειομηχανές , είναι σκόπιμο να δοθούν μερικά βασικά δεδομένα , που σχετίζονται γενικότερα με τις κατεργασίες .

Χαρακτηριστικά στοιχεία κινητήρων .

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

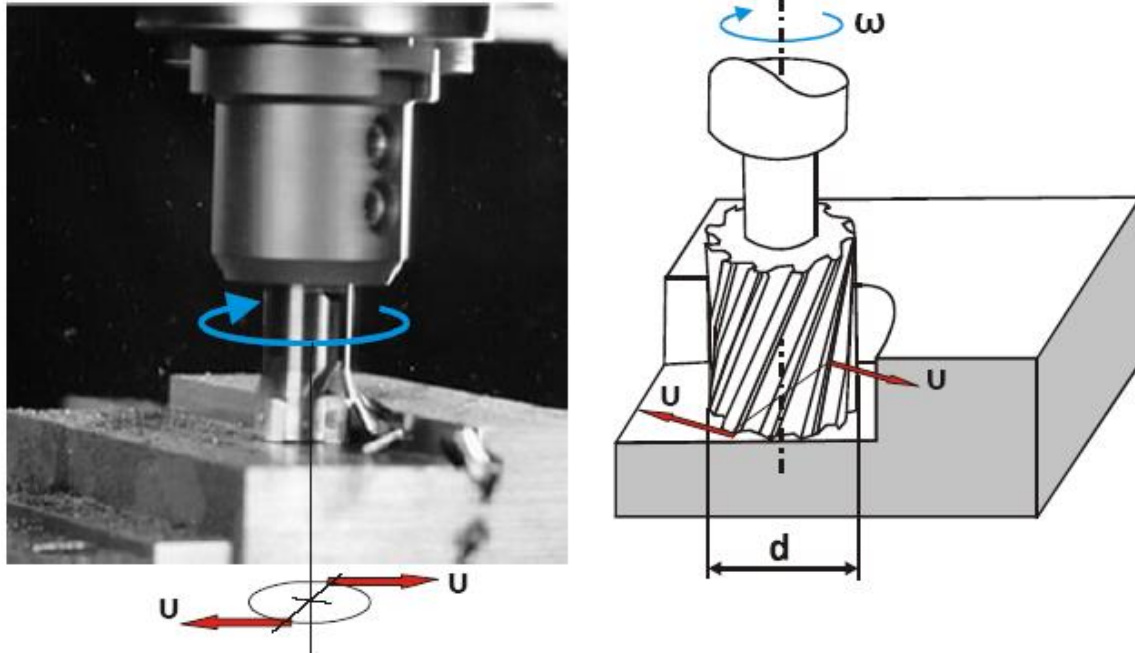
$$\omega = 2\pi n/60$$

Η ταχύτητα κοπής , εκτός από τη γωνιακή ή την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα , εξαρτάται και από την γεωμετρία της θέσης κοπής . Ο υπολογισμός της ταχύτητας κοπής u προκύπτει , στην περίπτωση του φρεζαρίσματος , με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 9 , ενώ στην περίπτωση της τόννευσης , με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 10 . Η μαθηματική σχέση που δίνει την ταχύτητα κοπής είναι :

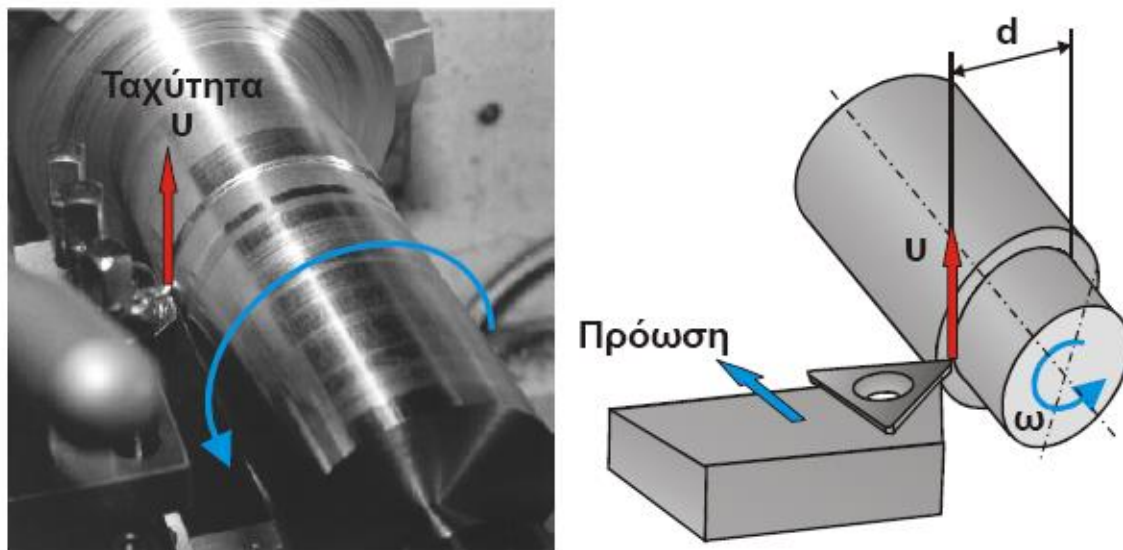
$$u = \pi d n$$

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 τόννευσης η σχέση $\Delta 2$ μετασχηματίζεται για την ταχύτητα κοπής στη σχέση $\Delta 3$ όταν η ταχύτητα κοπής μετριέται σε (m/min) , η διάμετρος d σε (mm) και οι στροφές n σε στροφές το λεπτό (rpm)

$$u = \pi d n / 1000$$



Σχήμα 9: Ταχύτητα κοπής σε κατεργασίες φρεζαρίσματος



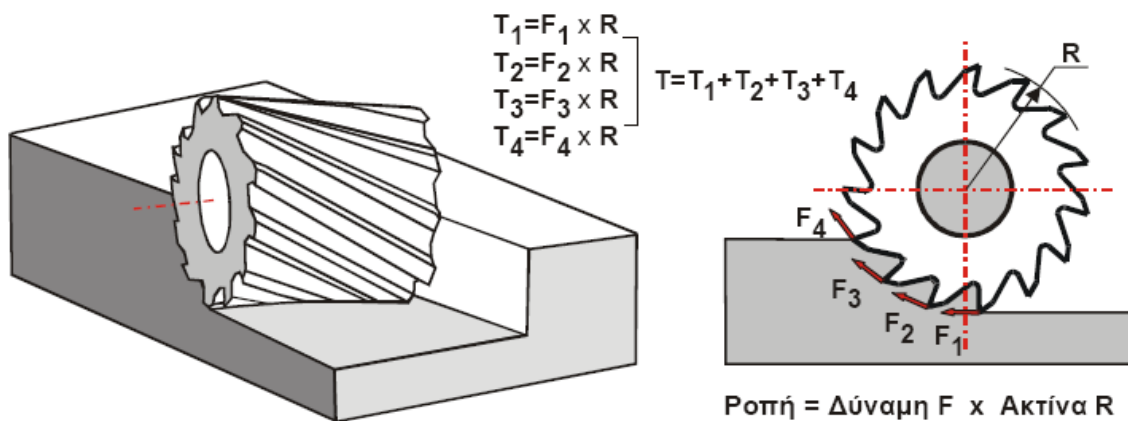
Σχήμα 10: Ταχύτητα κοπής σε κατεργασία τόννευσης

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος των ηλεκτρικών κινητήρων είναι η **αποδιδόμενη ισχύς P** η οποία μετριέται σε kWatt και σπανιότερα σε Hp . Σε όλες τις περιπτώσεις των κινητήρων δεν ενδιαφέρει τόσο η απόλυτη ισχύς ,όσο η συσχέτιση με τις στροφές στις οποίες αποδίδεται αυτή η μέγιστη ισχύς . Για το λόγο

αυτό χρησιμοποιείται η ροπή στρέψεως T που μετριέται σε Nm και εκφράζεται από την σχέση :

$$T = P/\omega$$

Η ροπή στρέψεως ενός κινητήρα εκφράζει τη δυνατότητα υπερνίκησης μιας αντίστοιχης ροπής . Στην περίπτωση της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής η ροπή που πρέπει να υπερνικηθεί οφείλεται στην αντίσταση κοπής , δηλαδή στην κάθετη δύναμη κοπής . Η ροπή αυτή περιγράφεται στο σχήμα 11 για το φρεζάρισμα σαν τη συνολική ροπή που προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ροπών που αφείλονται στις αντίστοιχες δυνάμεις κοπής.



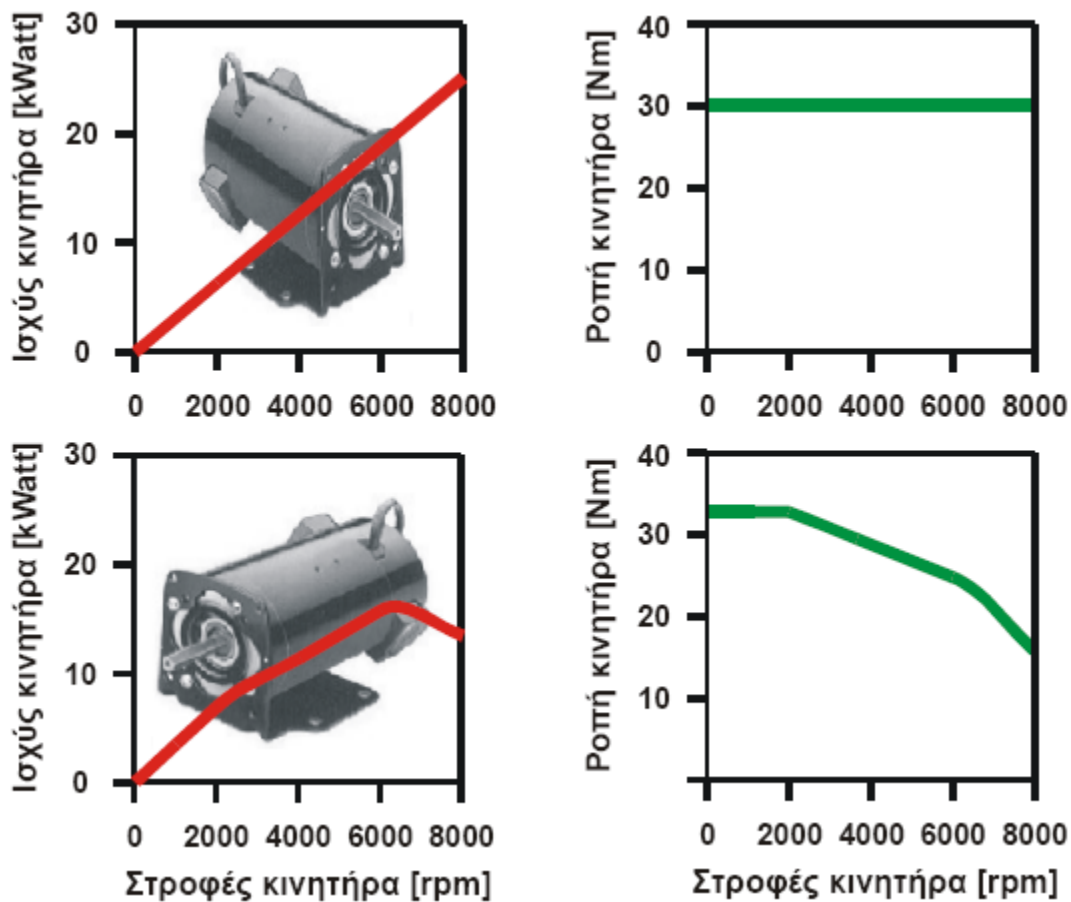
Σχήμα 11:Χρησιμοποίηση της ροπής για την υπερνίκηση της αντίστασης κοπής

Έτσι ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατεργασία επιλέγεται και ο αντίστοιχος κινητήρας σε σχέση με τα χαρακτηριστικά ροπής 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 αθξάνει 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 12. 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 και στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος. Στην περίπτωση αυτή η ροπή του κινητήρα δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος των στροφών γεγονός που δεν βοηθάει το ακριβή έλεγχο της κινητήριας ατράκτου.



Σχήμα 12:Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής

4.2 Ηλεκτροκινητήρες κινητήριας ατράκτου κοπής

Όπως περιγράφηκε 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 τη 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 13 . Όπως φαίνεται στο σχήμα οι άτρακτοι εκτός από τον κινητήρα τους και τον εργαλειοδέτη περιέχουν λена μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών και μηχανικών υποσυστημάτων . Χαρακτηριστικές ηλεκτρονικές ομάδες είναι οι ρυθμιστές του ρεύματος τροφοδοσίας τα συστήματα προστασίας του κινητήρα , οι μετασχηματιστές κ.λ.π.. Τα μηχανικά συστήματα περιέχουν κιβώτια σταθερών ή διαρκώς μεταβαλλόμενων σχέσεων μετάδοσης και την πέδη της άτρακτου .



Σχήμα 13: Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής

Αντίστοιχα στο σχήμα 14 παρουσιάζεται κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών .



Σχήμα 14:Κινητήρας ατράκτου εργαλειομηχανής με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών

Οι κινητήρες ατράκτων πρέπει να μπορούν να λειτουργούν σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος στροφών ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν όλες τις εναλλαγές στις συνθήκες κατεργασίας .Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων αυτών είναι :

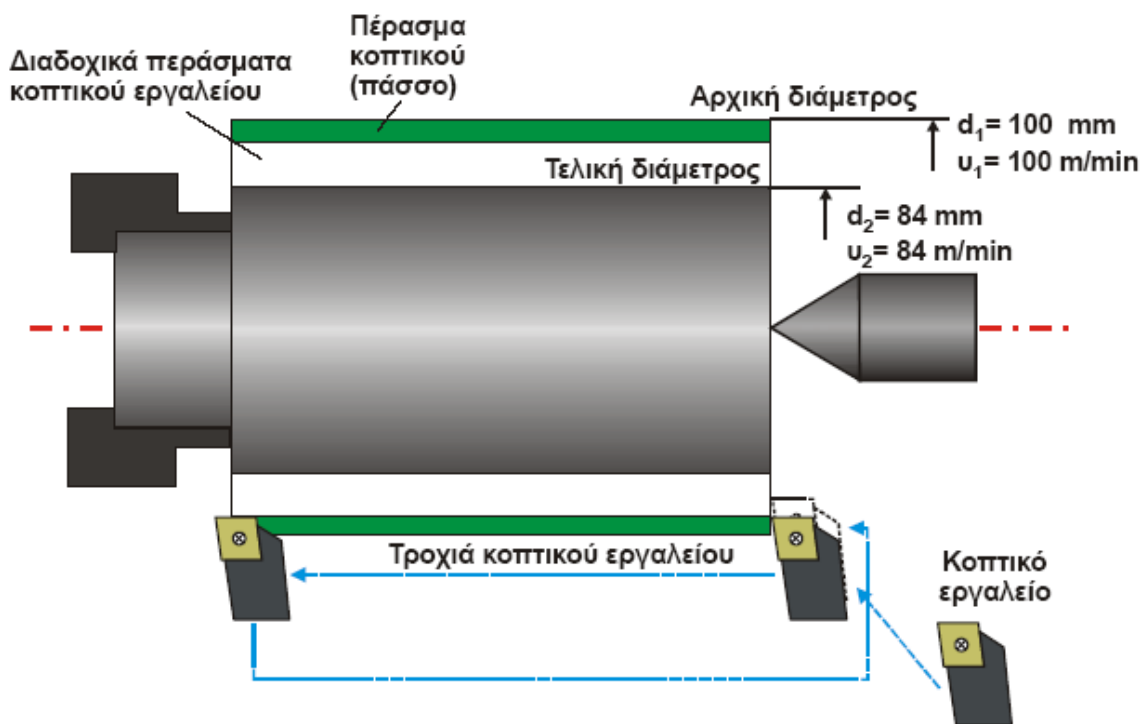
- Η δυνατότητα παραγωγής επίπεδων καμπύλων ροπής για ένα μεγάλο εύρος στροφών .
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 12,000rpm για τόρνους , φρέζες και κέντρα κατεργασίας και 50,000 rpm για λειαντικές μηχανές .
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak), τουλάχιστον διπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.
- Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη περιστροφική ταχύτητα κυμαίνεται για τόρνους από 40 έως 60, για φρέζες από 30 έως 50 και για κέντρα κατεργασίας από 50 έως 70 .
- Ονομαστική ισχύς έως 100 kW.

Ένα τυπικό παράδειγμα που εξηγεί αυτήν την απαίτηση για λειτουργία σε μεγάλο εύρος στροφών περιγράφεται στο σχήμα 15..

Ας υποθεθεί ότι για την επίτευξη της επιθυμητής διάστασης στο τεμάχιο του σχήματος που είναι 84mm , χρησιμοποιείται διαίρεση του βάθους κοπής 2mm . Αυτό σημαίνει ότι για την κατεργασία στην επιθυμητή διάμετρο , απαιτούνται τέσσερα περάσματα του κοπτικού εργαλείου , μια και η διαφορά αρχικής και τελικής ακτίνας , δηλαδή το συνολικό βάθος κοπής είναι $50-42=8\text{mm}$.

Εάν βέλτιστη ταχύτητα κοπής , στη συγκεκριμένη περίπτωση , είναι τα 100m/min και η αρχική διάμετρος της ατράκτου είναι 100mm, τότε ο τόνος πρέπει να ρυθμιστεί στις 320rpm (εφαρμόζεται η σχέση $\Delta 2$).

Εάν οι στροφές διατηρηθούν σταθερές , στο τελευταίο πέρασμα του κοπτικού εργαλείου η ταχύτητα κοπής θα έχει πέσει στα 84m/min, κάτι που είναι απαράδεκτο για την παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής .



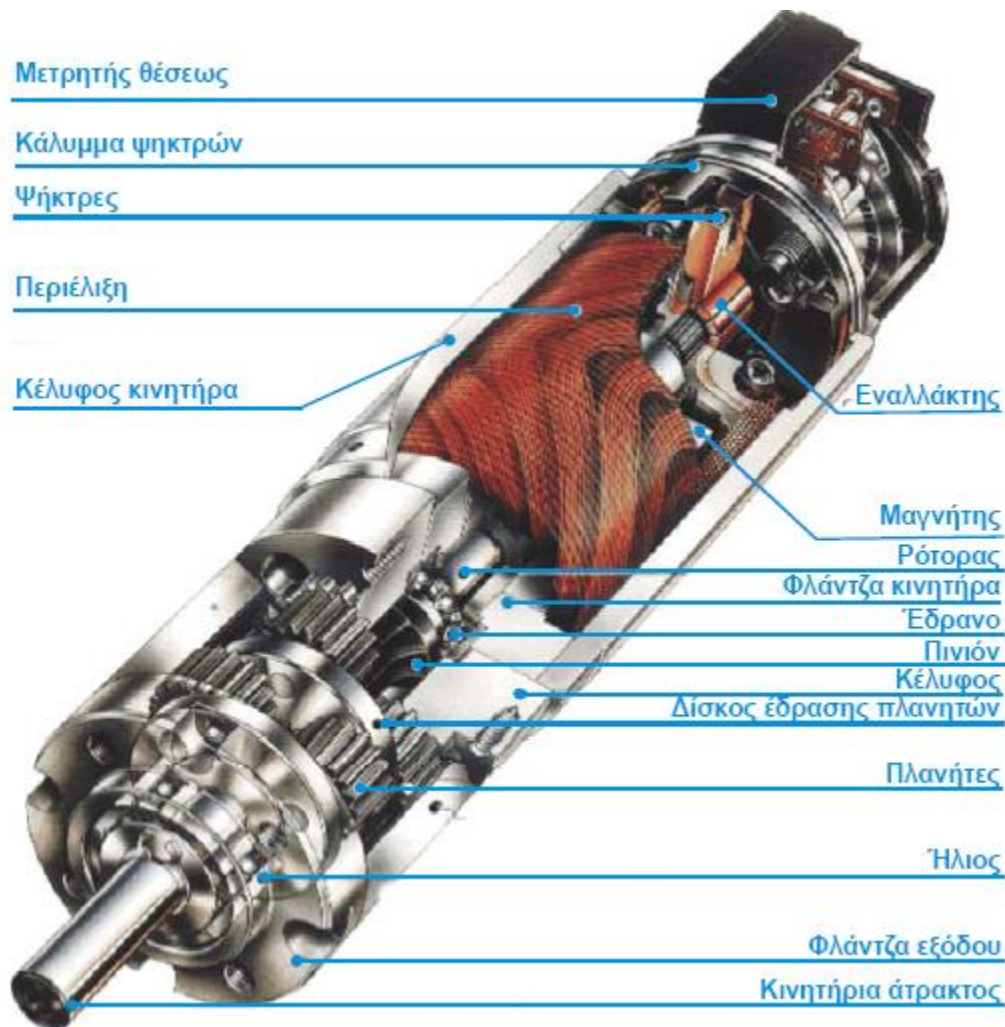
Σχήμα 15: Τυπικό πρόβλημα που απαιτεί μεταβαλλόμενη περιστροφική ταχύτητα της ατράκτου ενός τόνου ψηφιακής καθοδήγησης

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 δεν χρειάζονται συλλέκτες. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι ανάγκες συντήρησης των κινητήρων αυτών. Οι αρχικές δυσκολίες ελέγχου των αυτών και ιδίως της ρύθμισης των στροφών τους έχει σήμερα λυθεί με ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπών συχνοτήτων.

Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται μια εξαιρετικά ταχύστροφη άτρακτος, όπου φαίνονται τα κατασκευαστικά της στοιχεία, ο κινητήρας και η μετάδοση της κίνησης.



Σχήμα 16: Κατασκευαστικά στοιχεία πολύστροφης ατράκτου εργαλειομηχανής

4.3 Ηλεκτροκινητήρες προώσεως

Οι κινήσεις προώσεως των αξόνων μίας εργαλιομηχανής πρέπει γενικά να είναι μεγάλης ακρίβειας και να έχουν μικρές επιβραδύσεις, 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 απαράδεκτες, μιας και επιδρούν δραστικά στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Παλιότερα, σε αρχικά στάδια εξέλιξης των εργαλιομηχανών CNC, για όλες τις κινήσεις των αξόνων υπήρχε ένας κινητήρας. Η κίνηση

μεταδιδόταν στους διάφορους άξονες μέσω συμπλεκτών και πέδων . 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 6,000rpm.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθληκες αιχμής (peak) τουλάχιστον τετραπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα .
- Ονομαστική ισχύς έως 15kW.

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 κινητήρων 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 μην έχουν ιδιαίτερα προβλήματα φθοράς , ενώ 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 ρότορας 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 άτρκτο 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 , ενώκαι 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 μέθοδο 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 κυλινδρών 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 .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.qcontrol.gr/gr/diastasiologikes-metriseis/metritikes-mixanes-cmm/dea-small-medium-cmm/item/584-dea-global-silver-sf.html>

http://learn.eim.gr/?page_id=4

<http://www.metromecanica.com/en/zeiss-carmet-coordinates-measurement-machine/>

https://www.slideshare.net/BKLR/machine-tool-metrology-5675130?next_slideshow=1

<http://slideplayer.com/slide/5288349/>

<http://what-when-how.com/metrology/principle-of-working-metrology/>

https://www.researchgate.net/figure/224092403_fig1_Fig-1-Virtual-metrology-principle

<http://what-when-how.com/metrology/how-machine-vision-system-functions-metrology/>

<https://www.quora.com/How-does-a-CNC-machine-work>

<https://www.quora.com/How-do-use-a-block-diagram-of-CNC-machine>

<https://www.quora.com/What-is-a-CNC-machine-and-what-is-its-working-principle>

https://kadia.de/fileadmin/user_upload/09-broschueren/KADIA-Uline-en.pdf

<https://kadia.de/en/honing/honing-machines/#uid211>

<https://www.gehring.de/en-ww/powertrainhone>

<https://pico-systems.com/blkdiag.html>

<https://www.index-traub.com/en/technology-solutions/gearing-technology/>

<https://chiron.de/en/products/machine-tools/overview>

<http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/YLIKA/SHMEIWSEIS/5%20THERMIKES%20KATERGASIESw.pdf>

<https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/96/1/Κεφάλαιο%208.pdf>

<https://ocw.aoc.ntua.gr/courses/MECH124/>

<https://ocw.aoc.ntua.gr/courses/MECH124/>

<https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU102/ΦΡΕΖΑ%20C.N.C.%20%28κατακόρυφη%29/Εφαρμογές/ΑΣΚΗΣΗ2.pdf>

<https://eclass.aspete.gr/modules/document/file.php/EML125/EM%20CNC%20%281%29.pdf>

<https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU102/TOP%20NOΣ%20C.N.C./γ.%20Ανάπτυξη%20Προγραμμάτων%20Κοπής/β.%20Απλός%20προγραμματισμός.pdf.pdf>

<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH124/01%20Εισαγωγή%20στις%20Σύγχρονες%20Εργαλειομηχανές%20CNC.pdf>

http://www.aut.teihal.gr/e_class/notes/shmeioseis_ergastriou_epi_kairopoihmeno.pdf

<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH124/08%20Παραμετρικός%20Προγραμματισμός%20CNC.pdf>

<http://platon.teipir.gr/WWW/ECS/CAD-CAM/CNC%20III%20.htm>

<https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1490/2/Κεφάλαιο%207.pdf>

http://lms.mech.upatras.gr/LMS/files-1/students-area/arithmetikos-elegkhos-ergaleiomekhanon/subject-files/ekpaideutiko-uliko/CNCLabLeaflet_v13.pdf

<https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/FURN136/CAD-CAM.pdf>

<https://el.wikipedia.org/wiki/G-code>