

Κεφάλαιο 1

Εργαλειομηχανές

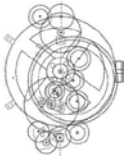
Εργαλειομηχανή ονομάζεται μία μηχανή η οποία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην κατασκευή εξαρτημάτων, με την απομάκρυνση υλικού. Ο όρος «Εργαλειομηχανή», χρησιμοποιείται για μηχανές οι οποίες έχουν ως κινητήρια δύναμη οποιαδήποτε πηγή, εκτός από τον άνθρωπο. Αρχικά, οι εργαλειομηχανές είχαν ως κινητήρια δύναμη τα ζώα και το νερό, ενώ στη συνέχεια, με την βιομηχανική επανάσταση, τον ατμό. Σήμερα, όλες οι μηχανές κινούνται με τον ηλεκτρισμό.

1. Εισαγωγή – Ιστορική Αναδρομή

Ο έλεγχος των εργαλειομηχανών γίνεται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Οι πρώτες εργαλειομηχανές είχαν μεγάλους σφονδύλους για να σταθεροποιήσουν την κίνηση, καθώς και ένα πολύπλοκο σύστημα γραναζιών και μοχλών για τον έλεγχο τους.

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, αναπτύχθηκε ο «Αριθμητικός Έλεγχος». Οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου χρησιμοποιούσαν οπές σε κάρτες ή ταινίες για τον έλεγχο τους. Μετά το 1960, άρχισε η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και σύντομα χρησιμοποιήθηκαν στον αριθμητικό έλεγχο. Αυτές οι μηχανές ονομάζονται μηχανές αριθμητικού ελέγχου με υπολογιστή (Computer Numeric Control). Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή η κατασκευή εξαρτημάτων με επαναλαμβανόμενη ακολουθία εντολών, επιτυγχάνοντας μεγάλη επαναληπτικότητα (**επαναληψιμότητα/repeatability**). Η ακρίβεια κατασκευής ήταν τέτοια που ήταν αδύνατο να επιτευχθεί ακόμη και από υψηλά εκπαιδευμένους και εξειδικευμένους χειριστές.

Με την εξέλιξη των εργαλειομηχανών, υπήρξε η δυνατότητα αυτόματης αλλαγής του εργαλείου κοπής και συνεπώς, του είδους της εκτελούμενης κατεργασίας. Το επόμενο βήμα, ήταν ο συνδυασμός διάφορων μηχανών



κάτω από τον έλεγχο ενός υπολογιστικού συστήματος. Αυτές οι μηχανές ονομάζονται «Κέντρα Κατεργασίας».

Οι πιο κοινές εργαλειομηχανές είναι:

- Δράπανα
- Γραναζοκόπτες
- Μηχανές ρεκτιφιέ
- Τόρνοι
- Φρέζες
- Μηχανές κοπής-(Πριόνια)
- Μηχανές πλανίσματος (Πλάνες)

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του υλικού όταν ένα αντικείμενο είναι υπό κατεργασία, είναι:

- Λείανση
- Με κοπτικό εργαλείο
- Με ηλεκτρικό τόξο
- Υδατοκοπή
- Ακτίνα Laser

Ένας άλλος τρόπος κατασκευής εξαρτημάτων είναι η προσθήκη υλικού. Τα εξαρτήματα αυτά συνήθως φτιάχνονται από πλαστικό και οι μηχανές κατασκευής ονομάζονται «Μηχανές Ταχείας Προτυποποίησης».

Είδη εργαλειομηχανών.

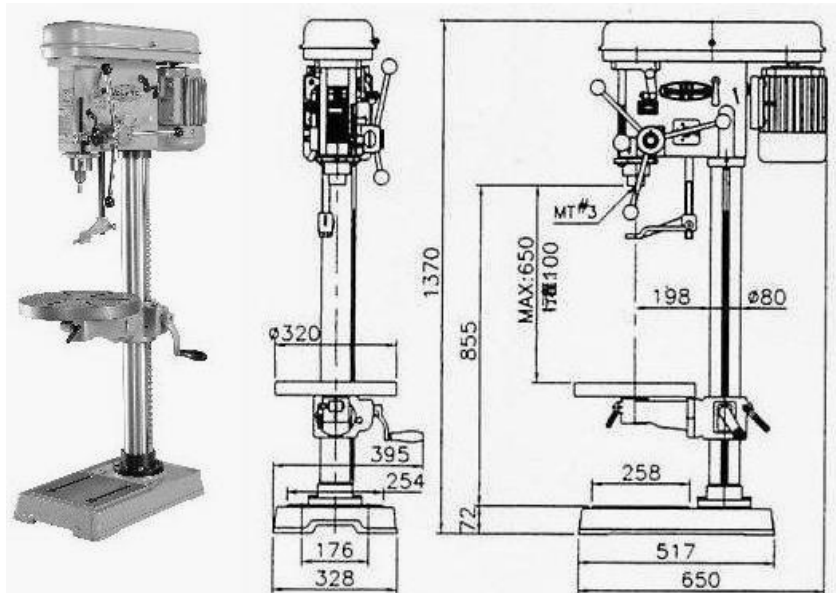
A. Δράπανα.

Το δράπανο είναι ένα μηχανήμα το οποίο έχει μια περιστρεφόμενη κεφαλή στην οποία είναι στερεωμένο το κοπτικό εργαλείο. Καθώς η κεφαλή πιέζει το περιστρεφόμενο κοπτικό εργαλείο προς το εξάρτημα, ανοίγονται οι οπές στις επιθυμητές θέσεις. Το εξάρτημα είναι στερεωμένο στην τράπεζα η οποία μετακινείται στις δύο διευθύνσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις, η τράπεζα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από άξονα. Στα δράπανα, η κατεργασία γίνεται (κυρίως) μόνο ως προς τον κάθετο στην τράπεζα άξονα

Κεφάλαιο 1: Εργαλειομηχανές



Το μέγεθος του δραπάνου καθορίζεται από το μέγεθος του υλικού που μπορεί να χειριστεί, δηλαδή την απόσταση (μεταξύ κεφαλής-τράπεζας) από την κεφαλή μέχρι την τράπεζα. Στο Σχήμα 1 φαίνεται μια τυπική μορφή δραπάνου.

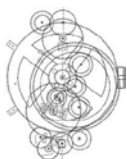


Σχήμα 1.1. Τυπική μορφή δραπάνου

Τα κύρια πλεονεκτήματα των δραπάνων είναι:

- Απαιτείται μικρότερος κόπος για την διάτρηση. Η κίνηση της κεφαλής γίνεται με τη βοήθεια μοχλών και γραναζιών, τα οποία πολλαπλασιάζουν την δύναμη του χειριστή.
- Η τράπεζα επιτρέπει την τοποθέτηση μέγγενης, η οποία επιτρέπει τη στήριξη του προς κατεργασία εξαρτήματος.
- Η θέση και γωνία περιστροφής είναι σταθερή σε σχέση με την τράπεζα, επιτρέποντας τη διάνοιξη οπών με ακρίβεια και επαναληψιμότητα.

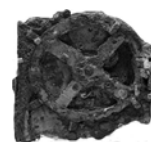
Η αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής του τρυπανιού γίνεται είτε μέσω συστήματος γραναζιών είτε με ηλεκτρονικό τρόπο (Inverter). Στην πρώτη περίπτωση η ταχύτητα επιλέγεται με βήματα, ενώ στην δεύτερη με συνεχή τρόπο. Επίσης, με τη χρήση Inverter, η ταχύτητα μπορεί να μεταβληθεί ακόμη και κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της οπής.



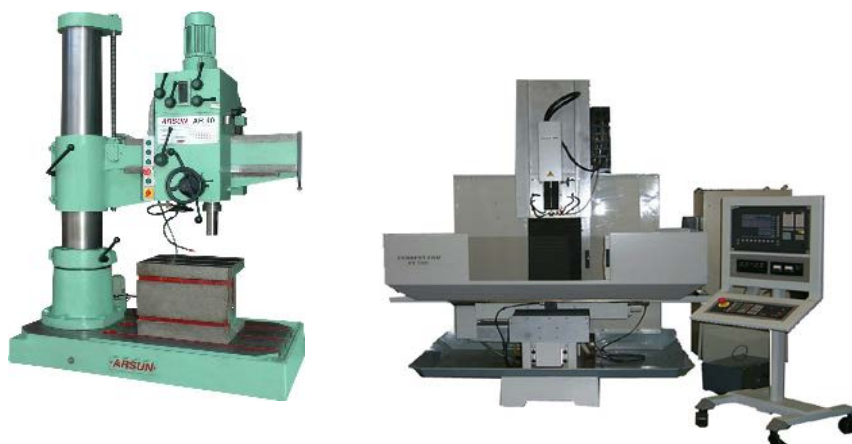
Είδος υλικού	Μέγιστη αντοχή (daN/mm ²) ή σκληρότητα (BHN)	Πρόωση (mm/rev.) για διάφορες περιοχές ονομαστικής διαμέτρου τρυπάνου D (mm)			
		2-10	10-20	20-40	40-60
Ανθρακούχοι χάλυβες	Έως 50	0.03-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
	50-70	0.03-0.16	0.16-0.24	0.24-0.32	0.32-0.4
	70-90	0.02-0.125	0.12-0.18	0.18-0.24	0.24-0.32
	90-100	0.01-0.1	0.1-0.14	0.14-0.2	0.2-0.24
Κεκραμένοι χάλυβες	100-120	0.01-0.1	0.1-0.14	0.14-0.2	0.2-0.24
Ανοξειδωτοι χάλυβες		0.02-0.1125	0.12-0.18	0.18-0.24	0.24-0.32
Χυτοχάλυβες	38-52	0.03-0.16	0.16-0.24	0.24-0.32	0.32-0.4
Φαίος χυτοσίδηρος	έως 200BHN	0.06-0.24	0.24-0.32	0.32-0.35	0.45-0.56
	άνω 200BHN	0.04-0.18	0.18-0.24	0.24-0.36	0.36-0.45
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη		0.04-0.18	0.18-0.24	0.24-0.36	0.36-0.45
Μαλακτικοποιημένος χυτοσίδηρος		0.02-0.125	0.12-0.18	0.18-0.24	0.24-0.32
Κράματα Αλουμινίου		0.05-0.24	0.24-0.3	0.3-0.45	0.45-0.56
Ορείχαλκος		0.04-0.18	0.18-0.24	0.24-0.36	0.36-0.45
Κρατέρωμα		0.04-0.18	0.18-0.24	0.24-0.36	0.36-0.45
Πλαστικά		0.08-0.32	0.32-0.45	0.45-0.56	0.56-0.70

Πίνακας 1. Συνιστώμενες τιμές της προώσεως s κατά τη διάτρηση διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια από ταχυχάλυβα, [1, σελ. 314]

Κεφάλαιο 1: Εργαλειομηχανές



Στον Πίνακα-1 δίνονται οι συνιστώμενες τιμές της προώσεως s κατά τη διάτρησης διαφόρων υλικών με ελικοειδή τρυπάνια από ταχυγάλυβα, [1, σελ. 314]



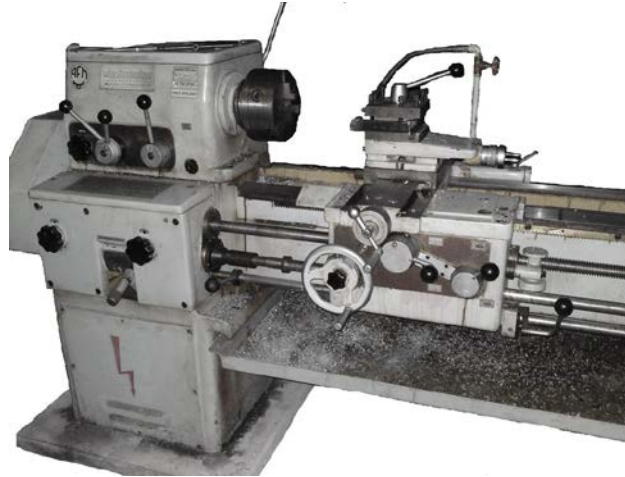
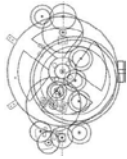
Σχήμα 1.2. Δράπανο ισχύος και ελεγχόμενος από υπολογιστή.

Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η μορφή ενός δραπεάνου ισχύος και ενός δραπεάνου ελεγχόμενου από υπολογιστή (Δράπανο CNC).

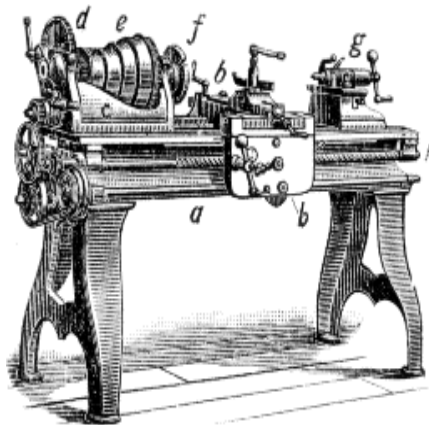
B. Τόρνος.

Ο τόρνος είναι μια εργαλειομηχανή η οποία περιστρέφει το προς κατεργασία αντικείμενο, ενώ το κοπτικό εργαλείο κινείται παράλληλα με το αντικείμενο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα εξάρτημα με κυλινδρική συμμετρία, γύρω από τον άξονα περιστροφής. Σαν πρώτη μορφή τόρνου μπορούν να θεωρηθούν οι τροχοί κεραμικής.

Οι τόρνοι χρησιμοποιούνται στην κατεργασία ξύλου, πλαστικού γυαλιού και μετάλλου. Παραδείγματα αντικειμένων που μπορούν να κατασκευαστούν από τόρνο είναι το κηροπήγιο, η στέκα μπιλιάρδου, τα πόδια τραπεζιών, τα μουσικά όργανα κυρίως πνευστά, οι στροφαλοφόροι άξονες, οι εκκεντροφόροι άξονες κλπ. Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται ένας σύγχρονος τόρνος κατεργασίας μετάλλου.



Σχήμα 1.3. Τυπική μορφή τόννου.



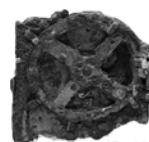
Lathe, p. 1218.

Σχήμα 1.4. Τόννος επεξεργασίας μετάλλου του 1911.
a = τράπεζα (bed), b = φορέας (carriage), c = κεφαλή (headstock), d = οδοντωτός τροχός (back gear), e = κωνικός τροχός οδήγησης με μιάντα, f = αντικείμενο προς κατεργασία, g = **κεντροφορέας** (κουκουβάγια) (tailstock), h = ατέρμονας κοχλίας οδήγησης (leadscrew).

Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται ένας τόννος κατεργασίας μετάλλου των αρχών του 20^{ου} αιώνα με τα διάφορα τμήματα του.

Όλοι οι τόννοι αποτελούνται από την «τράπεζα», η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι οριζόντια. Στο ένα άκρο της τράπεζας

Κεφάλαιο 1: Εργαλειομηχανές



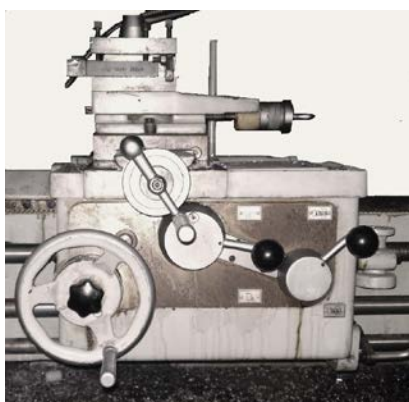
(σχεδόν πάντα στην αριστερή πλευρά) βρίσκεται η «κεφαλή». Η κεφαλή περιστρέφεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα και στηρίζεται σε ένα πολύπλοκο σύστημα ρουλεμάν. Στο άκρο της η κεφαλή φέρει σφικτήρα (τσοκ) για την συγκράτηση του εξαρτήματος. Η περιστροφή της κεφαλής γίνεται από ηλεκτροκινητήρα και ενός συστήματος οδοντωτών τροχών (γρνααζιών) για τη μεταβολή της ταχύτητας. Στα σύγχρονα συστήματα ο κινητήρας ελέγχεται ηλεκτρονικά μέσω αντιστροφέα (inverter).

Στο άλλο άκρο της κεφαλής (στην δεξιά πλευρά) βρίσκεται ο «κεντροφορέας» (κουκουβάγια) του τόρνου. Αυτός μπορεί να μετακινείται παράλληλα με τον άξονα και να στερεώνεται στην επιθυμητή θέση. Ο κεντροφορέας μπορεί να εκτελέσει δύο εργασίες:

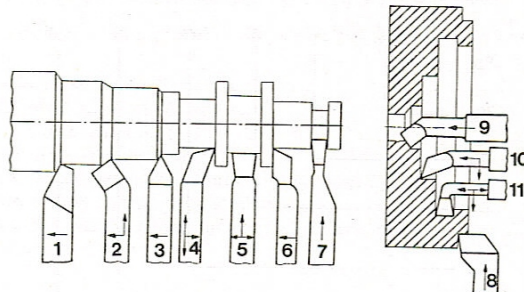
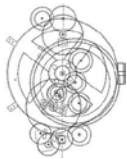
α) την στήριξη μακρών εξαρτημάτων, καθώς τα συγκρατεί και το σημείο το οποίο έρχεται σε επαφή με το εξάρτημα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα περιστροφής της κεφαλής.

β) Να χρησιμοποιηθεί για την διάνοιξη οπών, καθώς μπορεί να στερεωθεί σε αυτόν ένα κοπτικό εργαλείο π.χ. τρυπάνι.

Τα κοπτικά εργαλεία είναι στερεωμένα στον «εργαλειοφορέα». Αυτός μετακινείται, γλιστρώντας κατά μήκος της τράπεζας, η οποία είναι διαμορφωμένη για το λόγο αυτό σε πρισματικές επιφάνειες. Ο εργαλειοφορέας και η στήριξη του κοπτικού εργαλείου σε αυτόν, παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.5.



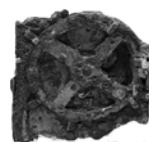
Σχήμα 1.5. Ο εργαλειοφορέας και το κοπτικό εργαλείο.



Σχήμα 1.6. Σχηματική παράσταση τυποποιημένων μορφών εργαλείων τорνεύσεως και παραδείγματα εφαρμογής των, [1, σελ. 186]
 1) ευθύ εργαλείο εκχονδρίσεως, 2) κεκκαμένο εκχονδρίσεως, 3) οξύ αποπερατώσεως, 4) κεκκαμένο ειδικής μορφής, 5) πλατύ (ορθογωνικό) αποπερατώσεως, 6) ξεθυμάσματος (γωνιάσματος), 7) αποκοπής, 8) μεταπικής τорνεύσεως (προσώπου), 9) εσωτερικής τорνεύσεως (διαμετρική κοίλα) 10) τорνεύσεως τυφλών κοίλων 11) ορθογωνικό εσωτερικής αυλακώσεως.

Κατεργαζόμενο υλικό	Εργαλείο από:					
	Ανθρακοχάλυβα		Ταχυχάλυβα		Σκληρομέταλλο	
	Ξεχόνδρισμα	Τελείωμα	Ξεχόνδρισμα	Τελείωμα	Ξεχόνδρισμα	Τελείωμα
Χυτοσίδηρος						
Μαλακός	6-12	12-18	14-20	18-24	80-100	90-130
Σκληρός	4-6	8-10	8-10	14-18	50-70	90-100
Μαλακτός	8-14	14-20	15-22	20-28	60-80	70-100
Χάλυβας						
Αντοχής						
30-40 Kg	12-16	14-20	20-30	28-32	100-200	150-300
50-70 Kg	10-14	12-18	16-24	22-28	130-180	150-250
80-90 Kg	6-10	8-12	12-18	16-20	80-120	110-150
Ορείχαλκος και Μπρούντζος						
Μαλακός	25-35	30-40	30-40	40-50	350-450	450-550
Σκληρός	15-22	25-28	20-30	30-40	150-220	250-330
Αλουμίνιο	80-120	160-240	140-170	300-380	800-1200	1000-1500

Πίνακας 2. Κανονικές ταχύτητες κοπής σε μέτρα ανά πρώτο λεπτό χωρίς ψύξη, [2, σελ. 172]

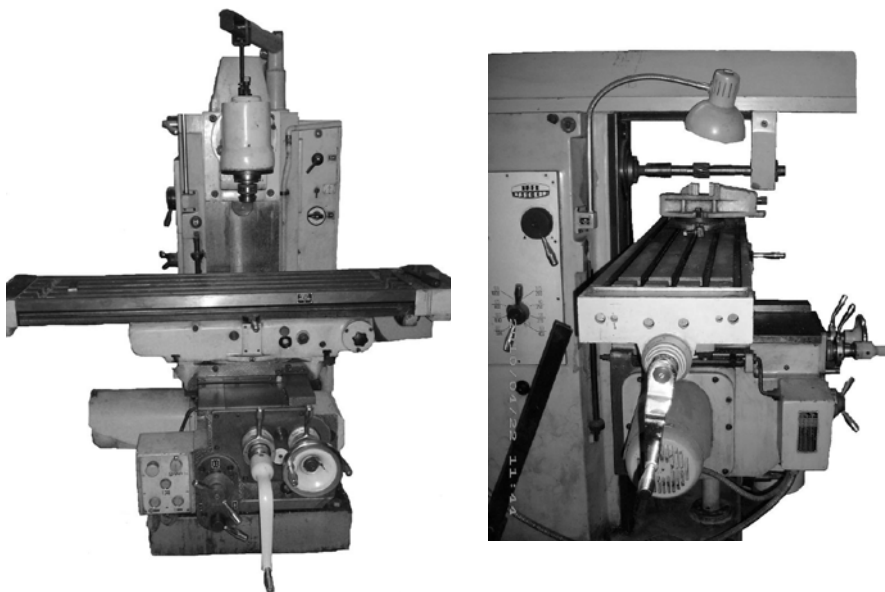


Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζεται η σχηματική παράσταση τυποποιημένων μορφών εργαλείων τριβής και παραδείγματα εφαρμογής των [1, σελ. 186], ενώ στον Πίνακα 2 δίνονται οι κανονικές ταχύτητες κοπής σε μέτρα ανά πρώτο λεπτό, χωρίς ψύξη, [2, σελ. 172].

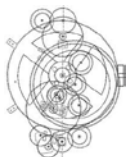
Γ. Φρέζα.

Η φρέζα είναι μια εργαλειομηχανή, η οποία χρησιμοποιείται για την μορφοποίηση μετάλλων και άλλων σκληρών υλικών. Οι φρέζες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες την **οριζόντια** και την **κάθετη**. Η ονομασία αφορά τον άξονα περιστροφής της κεφαλής (Σχήμα 1.7).

Σε αντίθεση με τις διατρητικές μηχανές, όπου το υλικό είναι σταθερό και το κοπτικό κινείται κάθετα διαπερνώντας το, οι φρέζες περιλαμβάνουν κίνηση του υλικού. Επίσης το κοπτικό μπορεί να κατεργάζεται το υλικό και πλευρικά. Μία φρέζα μπορεί να είναι χειροκίνητη, μηχανικός αυτοματοποιημένη ή ελεγχόμενη από υπολογιστή μέσω αριθμητικού ελέγχου. Οι φρέζες μπορούν να εκτελέσουν πληθώρα κατεργασιών όπως διάνοιξη σχισμών, πλανάρισμα, διάτρηση, δημιουργία σπειρωμάτων (φιλιάρισμα), τομή απολήξεων, δημιουργία οδεύσεων (routing) κλπ.



Σχήμα 1.7. Βασική μορφή κάθετης και οριζόντιας φρέζας.

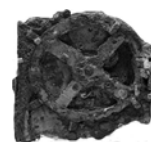


Το ψυκτικό υγρό παρέχεται στην πλευρά κοπής του εργαλείου ώστε να το λιπαίνει αλλά και να απομακρύνει τα υπολείμματα κοπής (γρέζια).

Όσον αφορά τα κοπτικά εργαλεία, αυτά είναι τυποποιημένα ως ένα βαθμό, ιδιαίτερα στις αυτοματοποιημένες φρέζες. Οι τυποποιήσεις που υπάρχουν είναι οι SK (ή ISO), CAT, BT και η HSK. Η τυποποίηση SK χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην Ευρώπη (πρότυπο ISO), σε αντίθεση με την CAT (ή V-Flange Tooling) η οποία είναι η παλαιότερη και χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ. Η τυποποίηση BT είναι παρόμοια με την CAT, εκτός του ότι τα κοπτικά εργαλεία που ανήκουν στην τελευταία είναι συμμετρικά γύρω από τον άξονα περιστροφής, δίνοντας μεγαλύτερη ευστάθεια στο κοπτικό. Τέλος, η HSK (Hollow Shank Tooling), είναι παρόμοια με την BT, έχει όμως καλύτερο μηχανισμό συγκράτησης στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής της κεφαλής.

Κατεργαζόμενο υλικό	Εργαλείο από:			
	Ανθρακοχάλυβα		Ταχυχάλυβα	
	Ξεχόνδρισμα	Τελείωμα	Ξεχόνδρισμα	Τελείωμα
Χυτοσίδηρος				
Μαλακός	10-16	12-20	18-30	24-38
Σκληρός	8-10	8-12	10-16	14-18
Μαλακτός	10-16	12-18	18-30	20-35
Χυτοχάλυβας	8-14	10-18	16-25	18-28
Χάλυβας				
Αντοχής				
30-40 Kg	18-22	20-25	24-30	35-45
50-70 Kg	12-18	14-18	15-25	24-32
80-90 Kg	6-10	8-12	12-18	16-22
Ορείχαλκος και Μπρούντζος				
Μαλακός	30-40	40-50	45-50	50-70
Σκληρός	20-30	25-35	35-50	40-60

Πίνακας 3. Επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής σε φρέζα, [2, σελ. 247]



Δ. Ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Flexible Manufacturing System).

Ένα σύνολο μηχανών συνδεδεμένων μέσω ενός αυτόματου τροφοδότη και το οποίο ελέγχεται από ένα κεντρικό υπολογιστή ονομάζεται FMS. Καθώς το σύστημα ελέγχεται κεντρικά από έναν υπολογιστή, επιτυγχάνεται χαμηλό κόστος για τα παραγόμενα προϊόντα, ακόμη και σε μικρές ποσότητες.

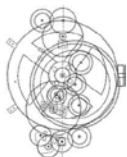
Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι η ικανότητά τους να παράγουν διαφορετικό εξάρτημα χωρίς διακοπή της διαδικασίας παραγωγής.

Το υπολογιστικό σύστημα έχει αποθηκευμένες στη μνήμη του τις διαδικασίες παραγωγής (G-Codes) πολλών διαφορετικών εξαρτημάτων. Στη συνέχεια επιλέγει και ενεργοποιεί αυτά τα προγράμματα όπως απαιτείται από την διαδικασία παραγωγής. Καθώς το υπολογιστικό σύστημα καθορίζει την παροχή του υλικού στα διάφορα τμήματα της μηχανής, επιλέγονται οι μηχανουργικές κατεργασίες και τα εργαλεία τα οποία θα τις εκτελέσουν.

1.3. Αριθμητικός Έλεγχος.

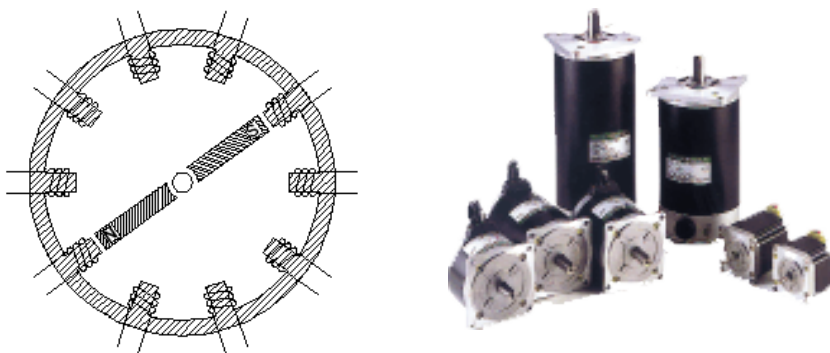
Η ποιότητα της μηχανουργικής κατεργασίας εξαρτάται από τον χειριστή, ο οποίος εκτελεί τις κατάλληλες ρυθμίσεις μέσω των χειριστηρίων της μηχανής. Για την βελτιστοποίηση της ποιότητας και την αυτοματοποίηση της κατεργασίας, τα χειριστήρια ελέγχου συνδέονται με βηματικούς κινητήρες υψηλής ακρίβειας.

Στους συμβατικούς κινητήρες δημιουργείται ένα συνεχώς στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολος ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητάς τους ενώ είναι σχεδόν αδύνατος ο έλεγχος της θέσης του ρότορα. Οι βηματικοί κινητήρες λόγω των πολλών πόλων που διαθέτουν έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν μαγνητικό πεδίο το οποίο περιστρέφεται κατά συγκεκριμένη γωνία (βήμα). Με κάθε παλμό τάσης με τον οποίο τροφοδοτείται ο βηματικός κινητήρας, ο ρότορας του περιστρέφεται κατά συγκεκριμένη γωνία, ανάλογα με τα κατασκευαστικά



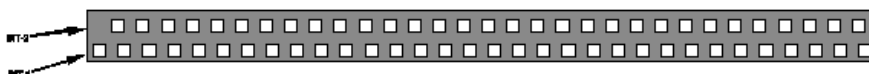
χαρακτηριστικά του κινητήρα. Μέσω του ηλεκτρονικού κυκλώματος το οποίο τροφοδοτεί τον κινητήρα, καθορίζοντας με ακρίβεια τον αριθμό των παλμών τροφοδοσίας, μπορεί να υπάρξει ακριβής έλεγχος στην ταχύτητα περιστροφής αλλά και στη θέση του ρότορα. Συνήθως, οι βηματικοί κινητήρες δέχονται δύο σήματα ελέγχου, εκ' των οποίων το πρώτο είναι οι παλμοί περιστροφής ενώ το δεύτερο αφορά τη φορά περιστροφής. Στο Σχήμα 1.8 παρουσιάζεται η σχηματική μορφή ενός βηματικού κινητήρα με **63** πόλους.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός βηματικού κινητήρα είναι η ισχύς του, η τάση λειτουργίας και ο αριθμός των βημάτων για μια πλήρη περιστροφή.



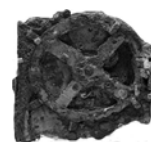
Σχήμα 1.8. Σχηματική μορφή βηματικού κινητήρα.

Παρ' όλα αυτά, λόγω διαφόρων σφαλμάτων μπορεί να μην υπάρχει ταύτιση της επιθυμητής με την πραγματική ταχύτητα περιστροφής ή της θέσης του ρότορα. Για την επίτευξη του μέγιστου βαθμού ακρίβειας τοποθετούνται στην εργαλειομηχανή συσκευές ανάγνωσης θέσης ή ταχύτητας περιστροφής. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα είδος ανάδρασης, η οποία χρησιμοποιείται για την διόρθωση του σφάλματος.



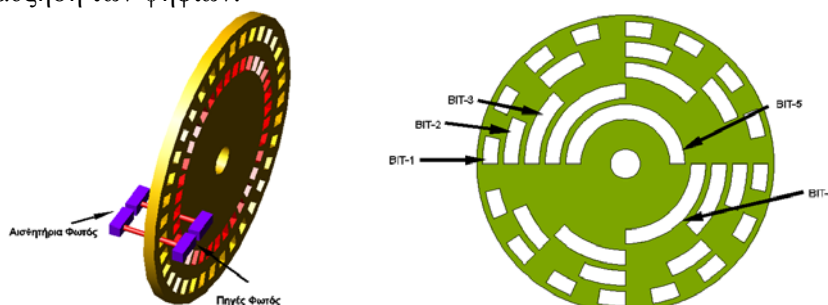
Σχήμα 1.9. Σχετικός γραμμικός αναγνώστης θέσης.





Σχήμα 1.10. Απόλυτος γραμμικός αναγνώστης θέσης έξι ψηφίων. Η πιο συνηθισμένη μορφή ανάγνωσης θέσης είναι οι οπτικοί κωδικοποιητές (optical encoders). Αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους περιστροφικούς και τους γραμμικούς, ανάλογα με την κίνηση την οποία θα αναγνώσουν.

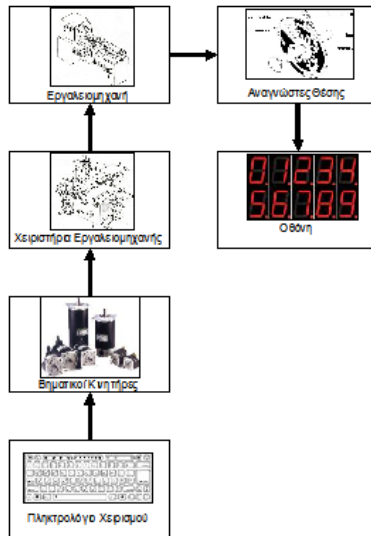
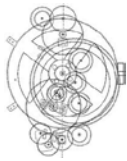
Επίσης υπάρχουν δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τη μορφή της πληροφορίας την οποία θα εξάγουν, δηλαδή οι απόλυτοι κωδικοποιητές και οι σχετικοί. Στο Σχήμα 1.9 φαίνεται ένας οπτικός γραμμικός αναγνώστης θέσης. Αποτελείται από δύο ψηφία, εκ των οποίων το πρώτο δείχνει τη μεταβολή της θέσης και το δεύτερο τη φορά μετακίνησης. Στο Σχήμα 1.10 παρουσιάζεται ένας απόλυτος γραμμικός αναγνώστης πέντε ψηφίων. Για μήκος L , η ακρίβεια ανάγνωσης είναι $L/32$, καθώς τα έξι δυαδικά ψηφία παρέχουν $2^5 = 32$ καταστάσεις. Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται με την αύξηση των ψηφίων.



Σχήμα 1.11. Σχετικός και απόλυτος κυκλικός αναγνώστης θέσης.

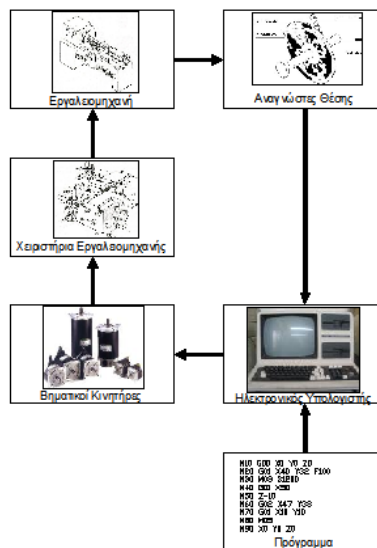
Στο Σχήμα 1.11 παρουσιάζονται κυκλικοί αναγνώστες σχετικής και απόλυτης θέσης, αντίστοιχα.

Η ενσωμάτωση των βηματικών κινητήρων και των αναγνώστων θέσης σε μία εργαλειομηχανή είναι το πρώτο βήμα αυτοματοποίησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.12.

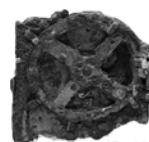


Σχήμα 1.12. Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανής.

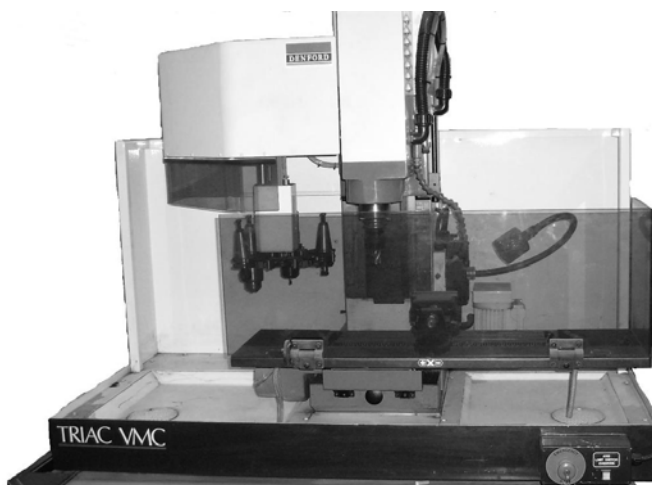
Η αυτοματοποίηση ολοκληρώνεται με την προσθήκη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος ελέγχει την εργαλειομηχανή μέσω των βηματικών κινητήρων, ενώ αναγνωρίζει τη θέση του κοπτικού μέσω των αναγνωστών θέσης.



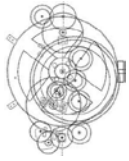
Σχήμα 1.13. Αριθμητικός έλεγχος με υπολογιστή.



Σχήμα 1.14. Τόρνος ελεγχόμενος από υπολογιστή.



Σχήμα 1.15. Φρέζα ελεγχόμενη από υπολογιστή



Προγραμματισμός CNC