



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μελέτη κατεργασιμότητας χάλυβα σε φρεζάρισμα

Τριανταφύλλου Πέτρος BS04566

Υπεύθυνοι καθηγητές: Τζώτζης Αναστάσιος, Κυράτσης Παναγιώτης

Κοζάνη 2022

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	3
1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ	4
1.2.1 CAD	6
1.2.2 CAM.....	6
1.2.3 CAE (Computer Aided Engineering)	7
1.3 ΕΙΔΗ ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΩΝ	7
1.4 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΗΣ	9
1.5 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	10
1.7 ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ.....	11
1.8 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΦΡΕΖΑ	14
1.9 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΥΓΡΟ ΚΟΠΗΣ	16
1.10 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΟ ΚΟΠΗΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	18
2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (DESIGN OF EXPERIMENTS)	18
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ	18
2.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ	19
2.3 ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	21
2.3.1 CENTRAL COMPOSITE DESIGN.....	22
2.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ	23
2.4 ΠΕΙΡΑΜΑ.....	23
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξ ορισμού CNC (Computerized Numerical Control) σημαίνει να ελέγχει κάποιος ένα εργαλείο ή μια άλλη συσκευή αυτόματα μέσω ενός υπολογιστή αντί να το κάνει άμεσα ο χειριστής. Οι εργαλειομηχανές από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν διάφορες διαδικασίες όπως φρεζάρισμα ή τόννευση ώστε να μπορέσει να παραχθεί ένα αντικείμενο εργασίας από ένα ακατέργαστο υλικό.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός πως οι πρώτες NC (Numerical Control – Αριθμητικός έλεγχος) μηχανές στα 1940 και στα 1950 χρησιμοποιούσαν διατρητές ταινίες για τον έλεγχο της κίνησης. Το NC έγινε CNC μόνο όταν οι υπολογιστές έγιναν οι χειριστές των μηχανών το 1960. Η γλώσσα προγραμματισμού που μπορεί να μετατρέψει ένα πρόγραμμα πληροφοριών NC σε ακριβείς κινήσεις εργαλειομηχανής ονομάζεται G-code.

Στην αρχή, οι περισσότερες μηχανές CNC φτιάχνονταν κατά παραγγελία για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες κατασκευής αν και παράγονταν και μηχανήματα γενικού σκοπού για τόννευση ή γεώτρηση για παράδειγμα. Από το 1990 και έπειτα τα κέντρα μηχανών CNC γενικού σκοπού, κατάλληλα για συγκεκριμένες διαδικασίες και διαμέτρους έχουν εξελιχθεί σε απίστευτα μεγάλο βαθμό και έχουν καταλάβει την πλειοψηφία των αγορών.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Κατά τη διάρκεια του πολέμου μεταξύ Ηνωμένων Πολιτειών και Ιαπωνίας, οι ΗΠΑ λόγω των μεγάλων απωλειών, έπρεπε να βρουν ένα τρόπο να παράγουν εξαρτήματα αεροπλάνων ευκολότερα και γρηγορότερα. Η αεροπορική βιομηχανία δεν ήταν σε θέση να παράγει και να επισκευάζει τα αεροπλάνα ή τα εξαρτήματα με γρήγορους ρυθμούς και αυτό δημιουργούσε πολλά προβλήματα. Η παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών ήταν μειωμένη, οι τεχνίτες ήταν κουρασμένοι και η παραγωγή που δεν σταματούσε ποτέ γινόταν χωρίς συντήρηση. Όλοι αυτοί οι παράγοντες είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ελαττωματικών και επικίνδυνων τεμαχίων. Επίσης, τα συμβατικά μηχανουργία δεν μπορούσαν να καλύψουν την ανάγκη της βιομηχανίας για πιο σύνθετα τεμάχια.

Το 1949, το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης ανέθεσε στον John Pearson να αναπτύξει αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές. Η κατασκευή της πρώτης μηχανής αριθμού ελέγχου έγινε το 1952. Ήταν μια Cincinnati Hydrotel, που είχε κατακόρυφη άτρακτο, 400 διόδους στη μονάδα ελέγχου και η κίνηση της ήταν ταυτόχρονη σε 3 άξονες ενώ η ανάγνωση των δεδομένων γινόταν από διάτρητη ταινία. Η βιομηχανική παραγωγή των εργαλειομηχανών NC ξεκίνησε το 1954 από την εταιρεία Bendix ενώ η εμφάνιση της πρώτης γλώσσας προγραμματισμού αριθμητικού ελέγχου, της APT έγινε το 1958. Το 1960, τα τρανζίστορ αντικατέστησαν τις διόδους της μονάδας ελέγχου και τα ρελέ ενώ το 1965 είχαμε την αυτοματοποίηση της αλλαγής εργαλείων.

Η εφαρμογή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πραγματοποιήθηκε το 1968 ενώ την ίδια χρονιά έκανε την εμφάνιση του το πρώτο DNC Standard Omnicontrol σε IBM υπολογιστή. Την επόμενη χρονιά είχαμε την υλοποίηση της αυτόματης αλλαγής παλετών και τρία χρόνια αργότερα, το 1972, είχαμε την δημιουργία της πρώτης γενιάς CNC σε μικρούς υπολογιστές. Η χρήση πολλαπλών επεξεργαστών στην αρχιτεκτονική της μονάδας ελέγχου ξεκίνησε το 1976, γεγονός που βοήθησε στο να διευρυνθούν οι λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν στην ίδια εργαλειομηχανή. Τέσσερα χρόνια μετά, το 1980, άρχισε η υποστήριξη του προγραμματισμού της εργαλειομηχανής από γραφικά κάποιου είδους προσομοίωσης στην μονάδα ελέγχου. Το 1985, ξεκίνησαν να δημιουργούνται τα «ανοιχτά» συστήματα και τα τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας ώστε να ενσωματωθούν οι εργαλειομηχανές σε περιβάλλον CIM. Το 1990 έκαναν την εμφάνιση τους τα ψηφιακά interfaces μεταξύ μονάδας κίνησης και μονάδας ελέγχου, τα οποία συνέβαλαν στην βελτίωση της ακρίβειας και της δυναμικής συμπεριφοράς των αξόνων. Το 1993 έγινε για πρώτη φορά η χρήση του λειτουργικού συστήματος Windows στις μονάδες ελέγχου.

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

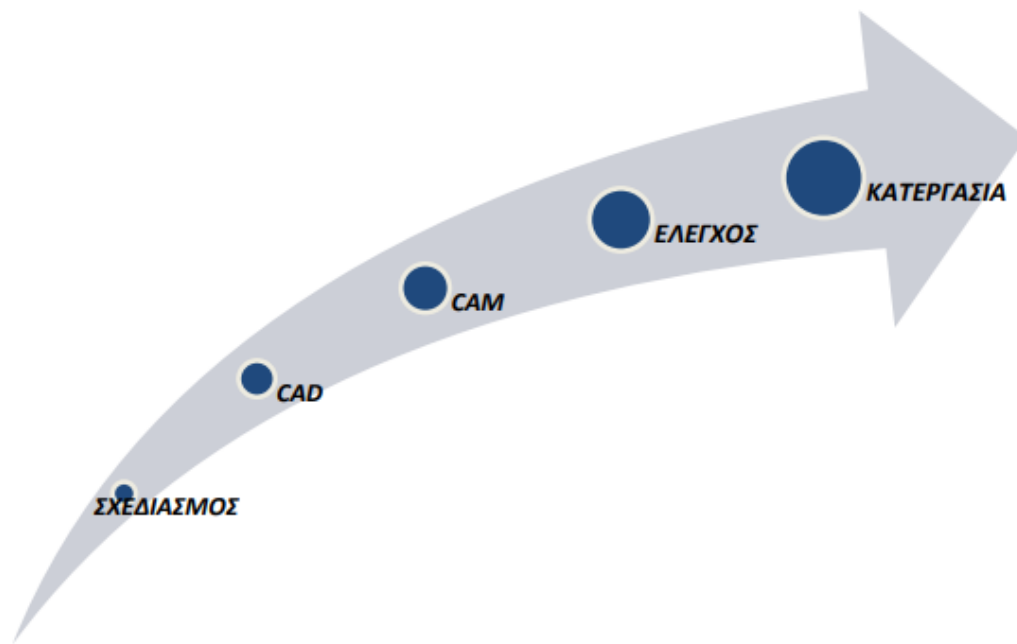
Ψηφιακός αριθμητικός έλεγχος (CNC) σημαίνει πως η εργαλειομηχανή καθοδηγείται μέσω μιας σειράς εντολών ειδικά κωδικοποιημένων, που αποτελούνται από σύμβολα, γράμματα και νούμερα, απόλυτα κατανοητά από την μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής.

Η εκτέλεση των μηχανολογικών εργασιών σε ένα εξάρτημα πραγματοποιείται με την μετατροπή αυτών των εντολών σε παλμούς ρεύματος, οι οποίοι ακολουθούνται από τους κινητήρες και τις μονάδες ελέγχου των μηχανών. Τα γράμματα, τα σύμβολα και οι αριθμοί αποτελούν τις εντολές που έχουν κωδικοποιηθεί ώστε να είναι κατανοητές από τις μηχανές καθώς διαμορφώνουν τα εξαρτήματα και αναφέρονται σε

συγκεκριμένες θέσεις, κινήσεις ή λειτουργίες και αποστάσεις. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιεί ο χειριστής για την καθοδήγηση και τον έλεγχο της μηχανής είναι συγκεκριμένες και δεν επιδέχονται αλλαγών. Οι τεχνικοί CNC καθορίζουν τις ακολουθίες των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές της ταχύτητας κοπής, του βάθους κοπής, της πρόωσης κ.λ.π, διαχειρίζονται τα κοπτικά εργαλεία και ελέγχουν αν χρησιμοποιηθεί ή όχι το υγρό κοπής. Για να πραγματοποιηθούν όλα τα προαναφερθέντα, απαιτείται η σύνταξη ενός προγράμματος καθοδήγησης γραμμένο σε μια τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού, το οποίο θα μεταφερθεί στην μονάδα ελέγχου προκειμένου να ενεργοποιηθεί η εκτέλεση του προγράμματος. Ένα από τα πλεονεκτήματα της CNC καθοδήγησης είναι πως συνεργάζεται με συστήματα κατεργασιών όπως το CIM, ευέλικτα συστήματα παραγωγής όπως το FMS και συστήματα σχεδίασης όπως το CAD. Επιπρόσθετα, η διεξαγωγή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μεγάλου μέρους των διαδικασιών ελέγχου καθοδήγησης και των υπολογισμών γίνεται πιο γρήγορα και πιο οικονομικά. Τα πλεονεκτήματα του CNC είναι τα εξής:

- ✓ Μειώνεται ο χρόνος που χρειάζεται για προετοιμασία για να αρχίσει η παραγωγή.
- ✓ Μειώνονται οι πιθανότητες να υπάρξει ανθρώπινο σφάλμα.
- ✓ Έχει μεγάλο βαθμό ακριβείας.
- ✓ Πραγματοποιούνται μηχανουργικές κατεργασίες που θεωρούνται πολύπλοκες.
- ✓ Αυξάνεται η παραγωγικότητα
- ✓ Η χρήση της εργαλειομηχανής γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια
- ✓ Μειώνεται η ανάγκη για επίβλεψη.
- ✓ Χρησιμοποιείται περισσότερο η εργαλειομηχανή.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Πρώτα έχουμε τον σχεδιασμό όπου ορίζονται οι προδιαγραφές και σχεδιάζεται το τεμάχιο. Μετά περνάμε στο CAD όπου το τεμάχιο σχεδιάζεται με τρισδιάστατη απεικόνιση και στη συνέχεια το τρισδιάστατο σχέδιο μετατρέπεται στη γλώσσα της μηχανής με τη χρήση υπολογιστή. Το επόμενο στάδιο είναι ο έλεγχος όπου δίνεται η κατεύθυνση των κινήσεων και τέλος η κατεργασία όπου κατασκευάζεται το τεμάχιο με βάση τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί.



Εικόνα 1 Βήματα διαδικασίας CNC

1.2.1 CAD

Το λογισμικό CAD (Computer Aided Design) βοηθάει στο να δημιουργηθεί ψηφιακά η γεωμετρία ενός συναρμολογήματος, ενός εξαρτήματος ή ενός προϊόντος. Προηγείται ο αρχικός σχεδιασμός των ιδεών που έχουν σχέση με τη δημιουργία ενός προϊόντος ή εξαρτήματος, μετά είναι ο βιομηχανικός σχεδιασμός όπου σχεδιάζονται οι ελεύθερες επιφάνειες και μετά ο λεπτομερής σχεδιασμός όπου καθορίζεται και η τελική μορφή του προϊόντος.

Πριν εγκριθεί προς παραγωγή η ψηφιακή δημιουργία ενδέχεται να αναλυθεί ακόμα περισσότερο ώστε να τελειοποιηθεί. Το ότι χρησιμοποιείται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής στη διαδικασία του σχεδιασμού σημαίνει πως οι τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν ακριβέστερα και γρηγορότερα ενώ μειώνονται και οι πιθανότητες να υπάρξουν σφάλματα εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα. Η χρήση ενός CAD λογισμικού βοηθάει στην παραγωγή πιο καινοτόμων σχεδίων πιο γρήγορα και πιο οικονομικά. Η τρισδιάστατη απεικόνιση προσφέρει την δυνατότητα καλύτερης αντίληψης των μοντέλων και δημιουργίας σχεδίων παραγωγής, τρισδιάστατων σχεδίων, σχεδίων διαδικασιών συναρμολόγησης, ρεαλιστικών εικόνων και κινηματικών προσομοιώσεων.

1.2.2 CAM

Το CAM (Computer Aided manufacturing) είναι η διαδικασία επεξεργασίας των CAD δεδομένων με χρήση υπολογιστή για την καθοδήγηση μιας CNC εργαλειομηχανής. Το λογισμικό CAD εισάγει στο CAM τις ψηφιακές πληροφορίες ενός προϊόντος. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να έχουν είτε δισδιάστατη είτε τρισδιάστατη μορφή, ανάλογα με τις κατεργασίες για τις οποίες προορίζονται.

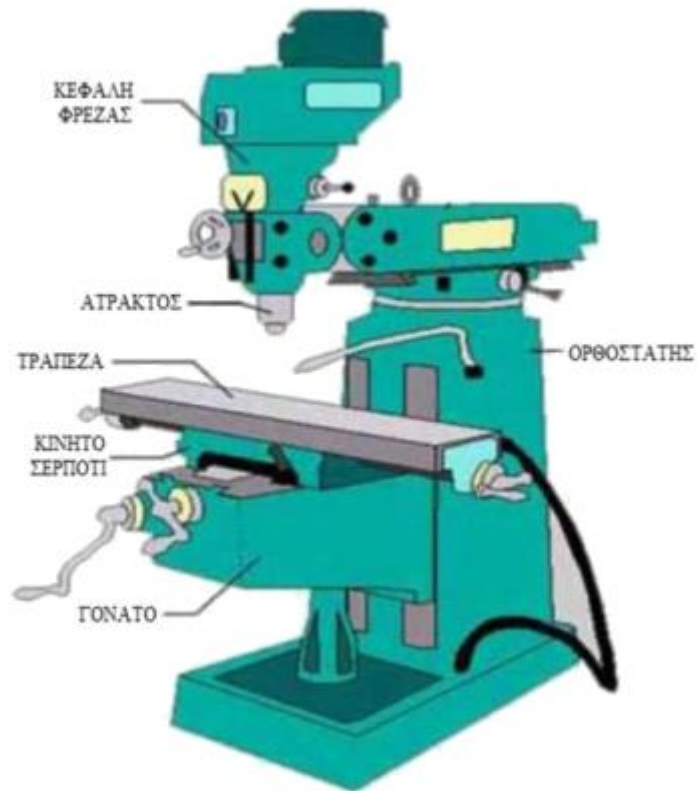
1.2.3 CAE (Computer Aided Engineering)

Ο όρος CAE χρησιμοποιείται για την περιγραφή της προσομοίωσης, της επαλήθευσης και της ανάλυσης που πραγματοποιούνται σε ψηφιακά μοντέλα, προϊόντα ή συναρμολογήματα με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ένα πρόγραμμα CAE διευκολύνει την εξέταση και αξιολόγηση απόδοσης των προϊόντων, πριν φτάσουν για παραγωγή, χωρίς να χρειάζεται η δημιουργία ενός φυσικού πρωτότυπου. Με τη χρήση εξελιγμένων εργαλείων προσομοίωσης και ανάλυσης και από το τρισδιάστατο σχέδιο CAD , μπορούν να δοκιμαστούν οι δονήσεις, η δομική και θερμική απόδοση, η κινητική απόδοση και η ανθεκτικότητα. Τα εργαλεία ανάλυσης που διαθέτουν κάποια συστήματα CAD και CAM είναι σχετικά απλά. Ωστόσο όταν οι αναλύσεις που πρέπει να γίνουν είναι πιο απαιτητικές τότε χρησιμοποιούνται προγράμματα CAD και CAM που διαθέτουν πιο εξειδικευμένα εργαλεία ανάλυσης.

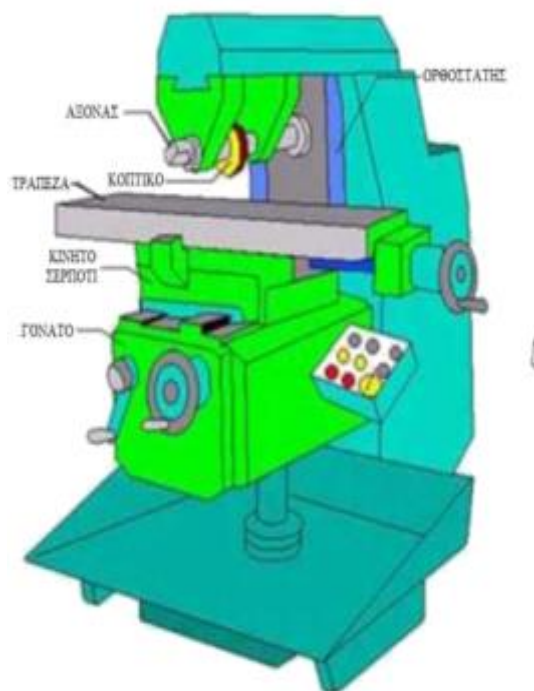
1.3 ΕΙΔΗ ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΩΝ

Τα είδη φρεζομηχανών που υπάρχουν είναι δυο:

- ✓ Οι φρεζομηχανές οριζόντιας ατράκτου
- ✓ Οι φρεζομηχανές κατακόρυφης- κάθετης ατράκτου



Εικόνα 2 Απεικόνιση κάθετης φρεζομηχανής



Εικόνα 3 Απεικόνιση οριζόντιας φρεζομηχανής

Ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων που διαθέτουν, οι εργαλειομηχανές CNC μπορεί να χαρακτηριστούν ως

- ✓ Εργαλειομηχανές τριών αξόνων
- ✓ Εργαλειομηχανές τεσσάρων αξόνων
- ✓ Εργαλειομηχανές πέντε αξόνων.

Στην επιτραπέζια κλίμακα βρίσκουμε κυρίως τις εργαλειομηχανές τριών αξόνων ενώ σε ορισμένες δίνεται η δυνατότητα να γίνει εναλλαγή ενός από τους ευθύγραμμους άξονες με περιστροφικό μηχανισμό που ονομάζεται διαιρέτης. Πολύ σπάνια θα συναντήσουμε σε επιτραπέζια κλίμακα μηχανές τεσσάρων αξόνων με ταυτόχρονη κίνηση ενός περιστροφικού και τριών ευθυγράμμων αξόνων.

1.4 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΦΡΕΖΟΜΗΧΑΝΗΣ

Τα κύρια μέρη μιας CNC φρέζας είναι τα εξής:

Άξονες: Οι άξονες επιτελούν συνδυαστικά γραμμικές και περιστροφικές κινήσεις και νοούνται τόσο με την κινηματικής τους έννοια όσο και σαν συστήματα μετάδοσης ισχύος και κίνησης. Η κίνηση των αξόνων, ο έλεγχός τους αλλά και οι ίδιοι οι άξονες είναι πολύ σημαντικοί για τις δυνατότητες, την κατάταξη και τον χαρακτηρισμό των CNC φρεζομηχανών επιτραπέζιας κλίμακας.

Κινητήρας κύριας ατράκτου: Μέσω του κινητήρα κύριας ατράκτου πραγματοποιείται η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου.

Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου: Στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου περιλαμβάνονται μια σειρά από μικροεπεξεργαστές μνήμης (RAM & ROM) και ολοκληρωμένα κυκλώματα επεξεργασίας και διαχείρισης του προγράμματος κοπής όπως και ηλεκτρονικά ισχύος για να ελέγχονται οι άξονες. Επίσης, περιλαμβάνει διάφορα περιφερειακά συστήματα παρακολούθησης λειτουργίας της μηχανής, εισαγωγής προγραμμάτων και εκτύπωσης αρχείων.

Ηλεκτρονικός υπολογιστής και λειτουργικό λογισμικό: Τόσο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής όσο και το λειτουργικό λογισμικό είναι απαραίτητα για να μπορεί ο χειριστής να διαχειριστεί το πρόγραμμα κοπής στη μηχανή (είτε με ενσωματωμένο είτε με εξωτερικό CAM) να εκτυπώσει αρχεία και να παρακολουθεί την λειτουργία της μηχανής.

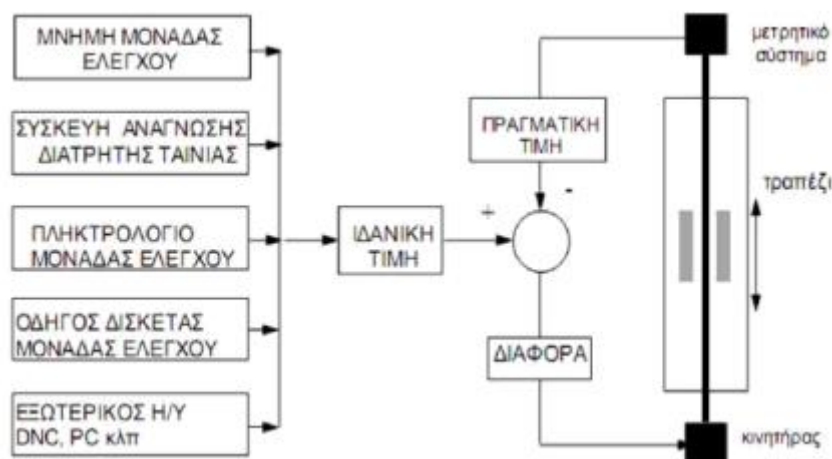
Συσκευές αλλαγής εργαλείων: υπάρχουν δυο ειδών συσκευές αλλαγής εργαλείων, η οριζόντια και η κατακόρυφη. Στις συσκευές αλλαγής εργαλείων υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης αρκετών προ- τοποθετημένων εργαλείων που μπορεί μέσω του προγράμματος του εξαρτήματος να κληθούν αυτόματα για χρήση. Οι συσκευές

αλλαγής εργαλείων έχουν κυρίως δυο κατευθύνσεις, γεγονός που μειώνει την απόσταση μετακίνησης για πρόσβαση στα εργαλεία- ενδεικτικά θα αναφέρουμε πως ο χρόνος αλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 δευτερολέπτων.

MCU (Machine Control Unit): Η MCU επιτρέπει στο χειριστή να εκτελεί μια σειρά από εργασίες όπως η διάγνωση, η κατεργασία, η εποπτεία μηχανής και εργαλείων και ο προγραμματισμός. Οι μονάδες ελέγχου διαφέρουν ανάλογα με τις προδιαγραφές κάθε κατασκευαστή. Οι καινούργιες μονάδες ελέγχου είναι πιο εξελιγμένες γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία των εργαλειομηχανών και μειώνει την εξάρτηση του συνόλου της μηχανουργικής επεξεργασίας από την επιδεξιότητα του ανθρώπου.

1.5 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το σύστημα ελέγχου στο οποίο αναφερόμαστε είναι κλειστού βρόχου ανάδρασης. Οι πραγματικές τιμές, η μέτρηση των οποίων γίνεται όποτε και όταν είναι απαραίτητο συγκρίνονται με τις τιμές αναφοράς από το πρόγραμμα. Στη συνέχεια γίνεται χρήση της διαφοράς που προκύπτει από την σύγκριση για τον χειρισμό των συστημάτων κίνησης των αξόνων και των ενεργοποιητών. Η γενική αρχή λειτουργίας μιας μηχανής CNC απεικονίζεται στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 4 Γενική αρχή λειτουργίας μηχανής CNC



Εικόνα 5 Γενική αρχή λειτουργίας μηχανής CNC

Καθώς οι κινητήρες servo είναι εφοδιασμένοι με οπτική παλμογεννήτρια έχουν σταθερή ανάδραση θέσης. Η οπτική παλμογεννήτρια τοποθετείται στην πίσω πλευρά του κινητήρα για να μπορεί ο ελεγκτής να ενημερώνεται για την πραγματική περιστροφή του άξονα του κινητήρα.

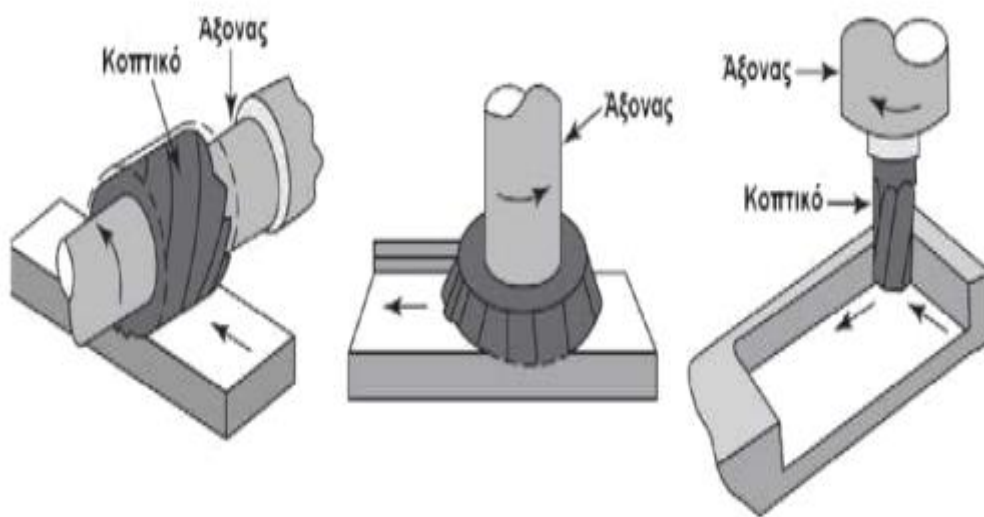
Η ανάδραση θέσης χρησιμεύει στην διόρθωση κάθε διαφοράς μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής θέσης. Η επίτευξη της αυτής της σταθερής διορθωτικής διεργασίας πραγματοποιείται σε υψηλές ταχύτητες και όταν έχουμε αυξημένη ισχύ. Το σύστημα κλειστού βρόγχου εξασφαλίζει πως δεν θα παρουσιαστεί κάποιου είδους καθυστέρηση στην κίνηση, με την προϋπόθεση βέβαια πως δεν υπάρχουν αμετακίνητα αντικείμενα που να εμποδίζουν την τροχιά της κίνησης.

1.7 ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ

Το φρεζάρισμα είναι η κατεργασία κατά την οποία αφαιρείται μεταλλικό υλικό και δίνεται η δυνατότητα παραγωγής πολύπλοκων γεωμετριών, αναλογικά πάντα με τις δυνατότητες των αξόνων περιστροφής και του κοπτικού εργαλείου της μηχανής. Η κίνηση προώσεως δίνεται στο κομμάτι ενώ η κύρια κίνηση στο κοπτικό εργαλείο που έχει πολλά δόντια ή κύριες κόψεις. Η μεταβολή της διατομής του αποβλήτου εξαρτάται από το χρόνο κοπής που έχει κάθε δόντι καθώς τα δόντια δεν κόβουν συνεχώς παρά μόνο όταν έρχονται σε επαφή με τα κομμάτια καθώς το κοπτικό εργαλείο κινείται περιστροφικά.

Το φρεζάρισμα μπορεί να διακριθεί σε:

- Περιφερικό φρεζάρισμα
- Μετωπικό φρεζάρισμα
- Φρεζάρισμα με κονδύλι.



Εικόνα 6 Περιφερικό, μετωπικό και φρεζάρισμα με κονδύλι

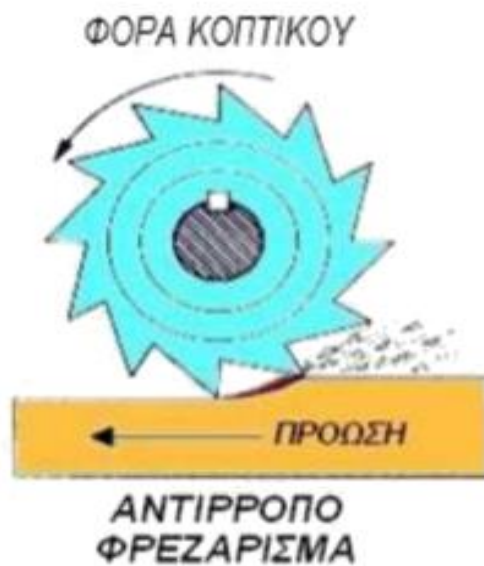
Το μετωπικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για την κατεργασία επιφανειών κάθετων προς τον άξονα του κοπτικού εργαλείου, του οποίου οι κόψεις βρίσκονται τόσο περιφερειακά όσο και μετωπικά. Το περιφερικό φρεζάρισμα χρησιμοποιείται για την κατεργασία επίπεδων επιφανειών παράλληλων προς τον άξονα του κοπτικού εργαλείου του οποίου οι κόψεις βρίσκονται περιφερειακά. Το φρεζάρισμα με κονδύλι χρησιμοποιείται για την κατεργασία διάφορων επιφανειών μετωπικών ή περιφερικών. Η διεύθυνση του κοπτικού εργαλείου είναι κάθετη προς το κομμάτι και η γεωμετρία του είναι αυτή ενός περιφερικού εργαλείου.

Κατά το φρεζάρισμα, η κίνηση προώσεως που δίνεται στο κομμάτι μπορεί να είναι είτε ομόρροπη είτε αντίρροπη ως προς την κύρια κίνηση του κοπτικού εργαλείου, η οποία είναι περιστροφική.



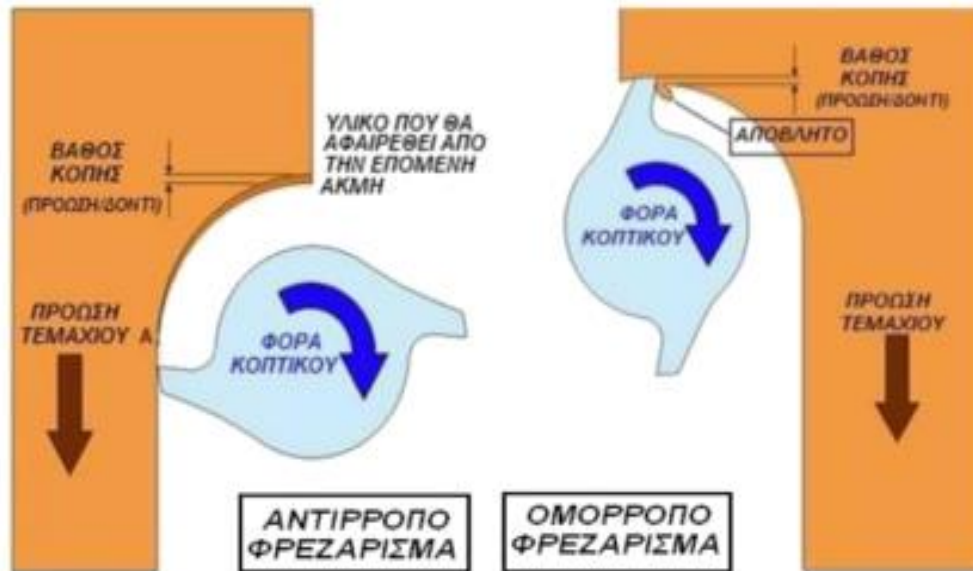
Εικόνα 7 Ομόρροπο φρεζάρισμα

Όταν πρόκειται για ομόρροπο φρεζάρισμα, η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου είναι ίδια με την διεύθυνση που έχει η πρόωση του κομματιού που πρόκειται να κατεργαστεί. Η επαφή κομματιού και εργαλείου γίνεται από την πλευρά που η κίνηση των δοντιών είναι προς τα κάτω. Όταν ξεκινά η κοπή, έχουμε το μεγαλύτερο δυνατό απόβλητο, το οποίο όσο προχωρά η κοπή μειώνεται στον ελάχιστο βαθμό. Τις περισσότερες φορές προτιμάται το ομόρροπο φρεζάρισμα λόγω της απόδοσης καλύτερων επιφανειών και της μεγαλύτερης ζωής του εργαλείου.



Εικόνα 8 Αντίρροπο φρεζάρισμα

Στην περίπτωση του αντίρροπου φρεζαρίσματος, η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου είναι αντίθετη της διεύθυνσης της πρόωσης καθώς η κίνηση του κομματιού προς το εργαλείο γίνεται από την πλευρά που η κίνηση των δοντιών είναι προς τα πάνω. Όταν αρχίζει η κοπή, αποβάλλεται το μικρότερο δυνατό πάχος και στην συνέχεια αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά ώσπου να φτάσει στο μέγιστο βαθμό. Το αντίρροπο φρεζάρισμα προτιμάται όταν πρέπει τα κατεργαζόμενα κομμάτια να έχουν τραχιά επιφάνεια.

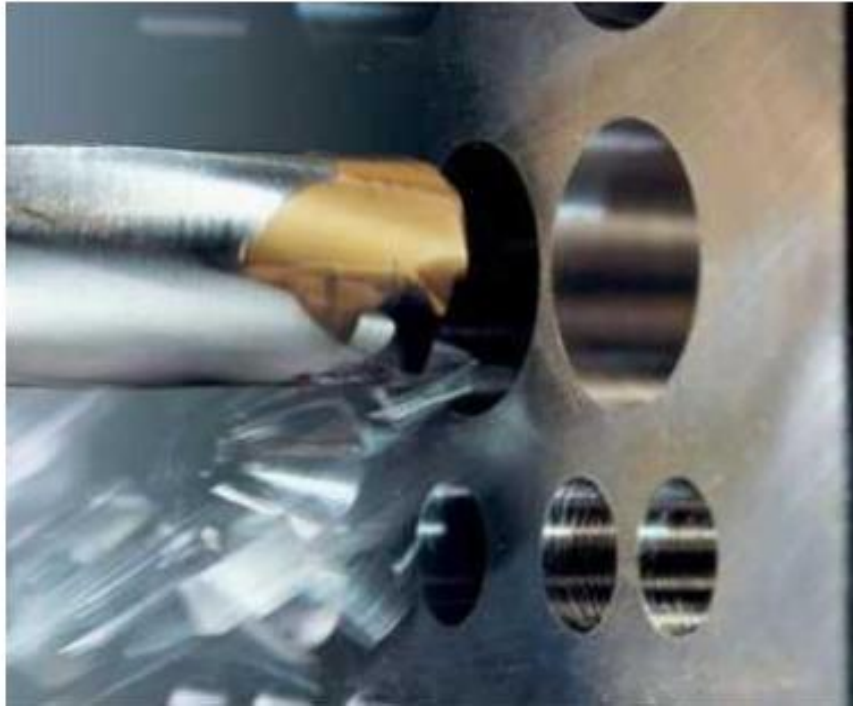


Εικόνα 9 Κάτοψη αντίρροπου και ομόρροπου φρεζαρίσματος

1.8 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΦΡΕΖΑ

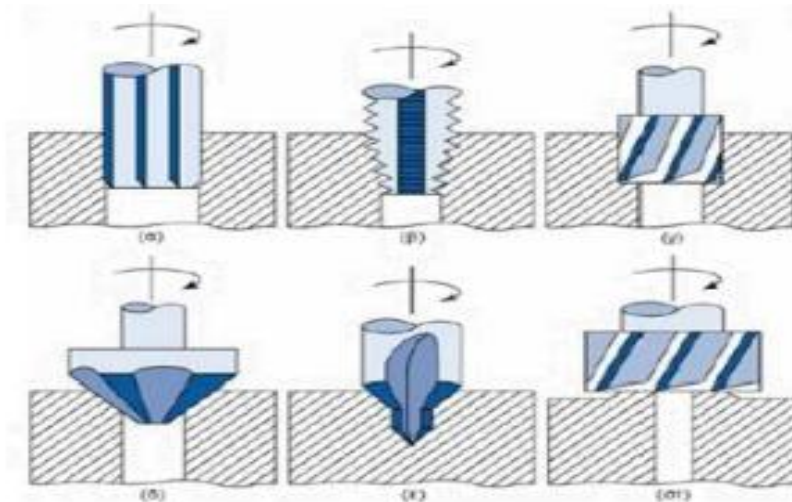
Πρόκειται για μια μέθοδο που είναι γρήγορη, απλή και οικονομική και χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται να διανοιχθούν κυλινδρικές οπές ή να διευρυνθούν και να μορφοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες οπές με τη χρήση ελικοειδούς κοπτικού εργαλείου. Τόσο η κύρια όσο και η κίνηση προώσεως δίνονται στο κοπτικό εργαλείο.

Το απόβλητο ρέει πάνω στους έλικες του κοπτικού εργαλείου και το πάχος του ισούται με το μήκος της λωρίδας που εισέρχεται στο εκάστοτε κομμάτι. Η κατεργασία δημιουργίας οπών δύναται να εκτελεσθεί και από μηχανές τórνευσης. Η επαφή του αντικειμένου και του εργαλείου είναι συνεχής μέχρι το τέλος της κατεργασίας και άρα τόσο οι δυνάμεις όσο και οι θερμοκρασίες είναι σταθερές, όπως συμβαίνει και στην τórνευση.



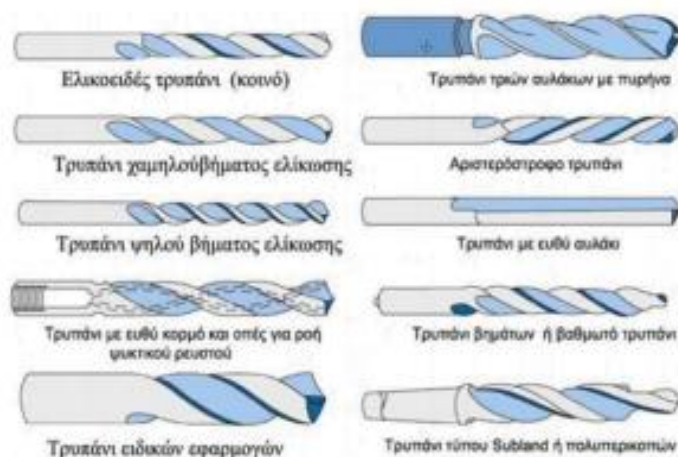
Εικόνα 10 Παράδειγμα διάτρησης

Για να μορφοποιηθούν οι υπάρχουσες οπές χρησιμοποιούνται η γλύφανση, η εμφάθυνση, το σπείρωμα, το κεντράρισμα και η ισοπέδωση του άκρου οπής. Η γλύφανση χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται να αυξηθεί η διάμετρος μιας οπής και η εσωτερική επιφάνεια στο τέλος να είναι λεία. Η χρήση της σπειροτόμησης ενδείκνυται όταν πρέπει να δημιουργηθεί εσωτερικό σπείρωμα στην οπή. Η βύθιση παράγει πιο μεγάλη διάμετρο στην αρχή της οπής για να τοποθετηθεί η κεφαλή του κοχλίου. Έχουμε επίσης και τη βύθιση με γωνία η χρήση της οποίας ενδείκνυται όταν πρέπει να παραχθούν οι απαιτούμενες κλίσεις για να τοποθετηθούν οι γωνιακές κεφαλές του κοχλίου. Η χρήση του κεντραρίσματος ενδείκνυται πριν κατασκευαστεί η οπή για τη δημιουργία ενός σημείου για να κεντραριστεί το εργαλείο. Η χρήση του άκρου της οπής προτιμάται όταν πρέπει να δημιουργηθεί μια επίπεδη επιφάνεια πάνω από την οπή.

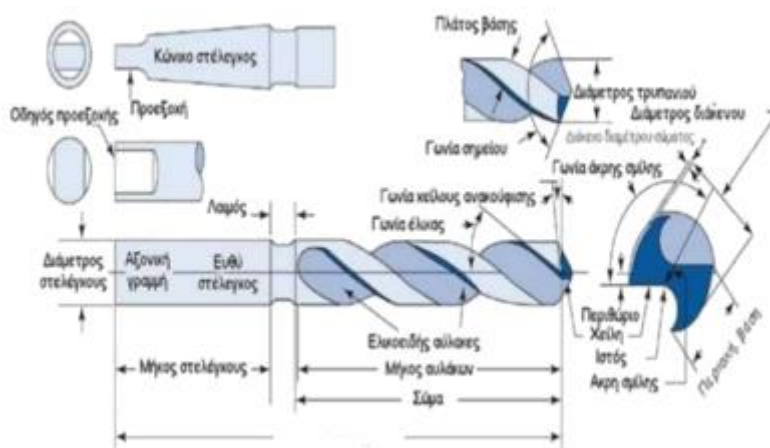


Εικόνα 11 α) γλυφανση β) σπειροτόμηση γ) βύθιση δ)βύθιση με γωνία ε) κεντράρισμα

στ) ισοπέδωση του άκρου τομής



Εικόνα 12 Τύποι τρυπανιών



Εικόνα 13 Χαρακτηριστικά στοιχεία ελικοειδούς τρυπανιού

1.9 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΥΓΡΟ ΚΟΠΗΣ

Το ψυκτικό υγρό χρησιμεύει για τη ψύξη και λίπανση των επιφανειών κατεργασίας και για την απομάκρυνση των αποβλήτων. Έχει άμεση επίδραση στις συνθήκες τριβής, στις τάσεις και στη θερμοκρασία και επομένως στην ποιότητα της επιφάνειας του κομματιού και στο χρόνο ζωής του εργαλείου. Μέχρι πριν τον 20^ο αιώνα, το μόνο ψυκτικό μέσο που υπήρχε ήταν το νερό αλλά καθώς έφθιρε και διάβρωνε γρήγορα τα εργαλεία, η χρήση του σταμάτησε σταδιακά. Από τον 20^ο αιώνα και έπειτα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα ορυκτέλαια, στα οποία με το πέρασμα των χρόνων εισάχθηκαν πρόσθετα.

Το ψυκτικό υγρό κατά την κοπή βελτιώνει τις συνθήκες εργασίας αλλά μόνο εάν οι ταχύτητες είναι χαμηλές. Σε περιπτώσεις που η ταχύτητα κοπής ξεπεράσει τα 100m/min, τα υγρά κοπής δεν έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα καθώς όταν το

μέταλλο κόβεται σε υψηλή ταχύτητα, τότε το απόβλητο έρχεται σε επαφή με το εργαλείο στο 100% και έτσι η εισχώρηση του υγρού μεταξύ των δυο επιφανειών είναι αδύνατη. Αν και τα υγρά κοπής παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα, υπάρχει μεγάλος αριθμός κατεργασιών που δεν μπορούν να γίνουν χωρίς αυτά ενώ το γεγονός πως η χρήση τους αυξάνει το χρόνο ζωής των εργαλείων, τα κάνει απαραίτητα.

1.10 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΟ ΚΟΠΗΣ

Η κατεργασία χωρίς υγρό κοπής μπορεί να εφαρμοστεί όταν η κοπή γίνεται σε πολύ υψηλές ταχύτητες και σε κατεργασίες όπου το κοπτικό εργαλείο είναι γεωμετρικά καθορισμένο. Φυσικά, προτού την κατεργασία θα πρέπει να επιλυθούν τα ζητήματα της ψύξης, της λίπανσης και της απομάκρυνσης των αποβλήτων. Το θέμα της ψύξης μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση αεριοποιημένου μείγματος λιπαντικού μέσου και αξιοποιώντας το φαινόμενο Venturi (Mist Cooling).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (DESIGN OF EXPERIMENTS)

Ο σχεδιασμός πειραμάτων ή αλλιώς πειραματικός σχεδιασμός είναι ένας δομημένος και οργανωμένος τρόπος διεξαγωγής και ανάλυσης ελεγχόμενων τεστ για να την αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν μια αποκριτική μεταβλητή. Ο σχεδιασμός των πειραμάτων καθορίζει τα συγκεκριμένα επίπεδα των συνδυασμών των παραγόντων στα οποία θα πραγματοποιηθούν οι δοκιμές στο πείραμα.

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

Ο σχεδιασμός των πειραμάτων εφευρέθηκε από τον Ronald A. Fisher στη δεκαετία του 1920 και 1930 στον πειραματικό σταθμό του Rothamsted, ένα γεωργικό ερευνητικό σταθμό 25 μίλια βόρεια του Λονδίνου. Ο Fisher στο πρώτο του βιβλίο πάνω στο σχεδιασμό των πειραμάτων έδειξε πόσο έγκυρα συμπεράσματα μπορεί να προκύψουν από πειράματα με φυσικές διακυμάνσεις όπως θερμοκρασία, συνθήκες εδάφους και βροχόπτωση παρουσία «ενοχλητικών» μεταβλητών. Οι γνωστές «ενοχλητικές» μεταβλητές συνήθως προκαλούν συστηματικά σφάλματα στα σύνολα αποτελεσμάτων. Οι άγνωστες «ενοχλητικές» μεταβλητές συνήθως προκαλούν τυχαία μεταβλητότητα στα αποτελέσματα και ονομάζονται θόρυβος. Παρόλο που η μέθοδος του πειραματικού σχεδιασμού, χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο πεδίο της γεωργίας, χρησιμοποιείται με επιτυχία στο στρατό και στη βιομηχανία από το 1940.

Ο Besse Day, ο οποίος εργαζόταν στο Ναυτικό Πειραματικό Εργαστήριο των Ηνωμένων Πολιτειών, χρησιμοποίησε τον πειραματικό σχεδιασμό για την επίλυση ορισμένων προβλημάτων όπως την εύρεση της αιτίας των κακών συγκολλήσεων σε ένα ναυπηγείο του ναυτικού κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου. Ο George Box, που εργαζόταν στις Αυτοκρατορικές Χημικές Βιομηχανίες (Imperial Chemical Industries) προτού πάει στην Αμερική, είναι αυτός που πρωτοπόρησε στην ανάπτυξη των πειραματικών διαδικασιών σχεδίου για τη βελτιστοποίηση των χημικών διεργασιών. Ο W. Edwards Deming δίδαξε στατιστικές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένου του πειραματικού σχεδίου, σε Ιάπωνες επιστήμονες και μηχανικούς στις αρχές του 1950 σε μια περίοδο όταν το «Made in Japan» σήμαινε κακή ποιότητα. Ο Genichi Taguchi, ο πιο γνωστός από αυτό το γκρουπ των Ιαπώνων επιστημόνων, είναι διάσημος για τις μεθόδους βελτίωσης της ποιότητας. Μια από τις εταιρείες όπου ο Taguchi εφάρμοσε για πρώτη φορά τις μεθόδους του ήταν η Toyota.

Από τα τέλη του 1970, η Αμερικανική βιομηχανία άρχισε να ενδιαφέρεται ξανά για πρωτοβουλίες βελτίωσης της ποιότητας που τώρα είναι γνωστές ως τα προγράμματα «Total Quality» και «Six Sigma». Ο σχεδιασμός πειραμάτων θεωρείται μια προηγμένη μέθοδος στα προγράμματα «Six Sigma» στα οποία ήταν πρωτοπόρες η Motorola και η GE.

2.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ

Οι θεμελιώδεις αρχές στο σχεδιασμό πειραμάτων είναι λύσεις στα προβλήματα του πειραματισμού που προκαλούνται από δύο τύπους «ενοχλητικών» παραγόντων και εξυπηρετούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των πειραμάτων. Αυτές οι θεμελιώδεις αρχές είναι:

- Τυχαιοποίηση
- Επανάληψη
- Blocking
- Ανεξαρτησία
- Παραγοντικός πειραματισμός

Τυχαιοποίηση: είναι μια μέθοδος προστασίας ενάντια σε άγνωστες μεταβλητές που αλλοιώνουν τα αποτελέσματα του πειράματος. Ένα παράδειγμα τέτοιας μεταβλητής είναι η μετατόπιση του εργαλείου σε ένα πείραμα που συγκρίνει μια βασική διαδικασία με μια καινούργια διαδικασία. Αν όλα τα τεστ που χρησιμοποιούν τη βασική διαδικασία διεξαχθούν πρώτα και διεξαχθούν όλα τα τεστ που χρησιμοποιούν τη νέα διαδικασία, τότε η διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των διαδικασιών μπορεί να οφείλεται εξ ολοκλήρου στην μετατόπιση του εργαλείου. Για να προστατευτούμε ενάντια λανθασμένων συμπερασμάτων, η σειρά των τεστ βασικής διαδικασίας και νέας διαδικασίας πρέπει να είναι τυχαία όπως B, N,N,B,N,B και τα λοιπά.

Επανάληψη : η επανάληψη αυξάνει το μέγεθος του δείγματος και είναι μια μέθοδος που μεγαλώνει την ακρίβεια του πειράματος. Η επανάληψη αυξάνει την αναλογία σήματος προς θόρυβο όταν ο θόρυβος προέρχεται από «ενοχλητικές» μεταβλητές που δεν μπορούν να ελεγχθούν. Ένα αντίγραφο είναι μια πλήρης επανάληψη των ίδιων πειραματικών συνθηκών, ξεκινώντας από το αρχικό στήσιμο. Ένα ειδικό σχέδιο που ονομάζεται Split Plot μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν κάποιος από τους παράγοντες είναι δύσκολο να μεταβληθούν.

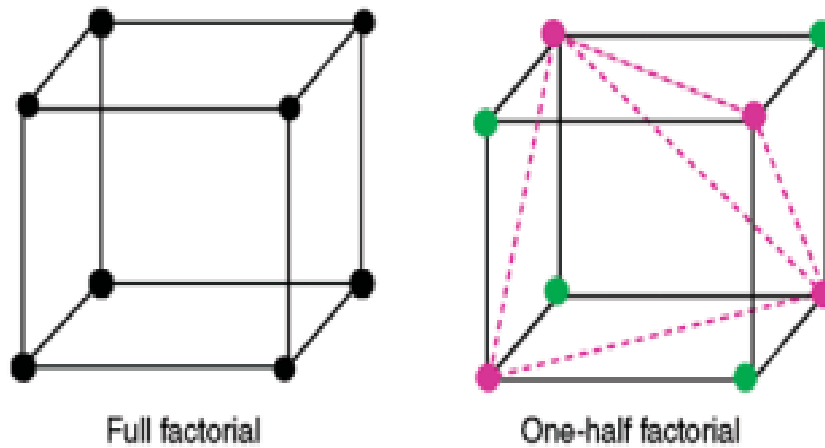
Blocking: είναι μια μέθοδος για να μεγαλώσει η ακρίβεια με την απομάκρυνση της επίδρασης γνωστών «ενοχλητικών» παραγόντων. Ένα παράδειγμα γνωστού

«ενοχλητικού» παράγοντα είναι η batch-to-batch μεταβλητότητα. Σε ένα blocked σχέδιο, τόσο οι βασικές όσο και οι νέες διαδικασίες εφαρμόζονται σε δείγματα υλικού από μια παρτίδα, μετά σε δείγματα από άλλη παρτίδα και ούτω καθεξής. Η διαφορά ανάμεσα στις νέες και στις βασικές διαδικασίες δεν επηρεάζεται από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των παρτίδων. Το blocking περιορίζει την απόλυτη τυχαιοποίηση καθώς και οι δυο διαδικασίες εφαρμόζονται πάντα σε κάθε παρτίδα. Το blocking μεγαλώνει την ακρίβεια καθώς η μεταβλητή από παρτίδα σε παρτίδα αφαιρείται από το «πειραματικό λάθος».

Ανεξαρτησία: Η ανεξαρτησία σε ένα πείραμα έχει ως αποτέλεσμα οι επιδράσεις των παραγόντων να μένουν ασύνδετες και επομένως να μπορούν να ερμηνευτούν πιο εύκολα. Οι παράγοντες σε ένα ανεξάρτητο πειραματικό σχέδιο ποικίλουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Τα κύρια αποτελέσματα των δεδομένων που συλλέχθηκαν με τη χρήση αυτού του σχεδίου μπορούν να συνοψιστούν παίρνοντας τις διαφορές των μέσων όρων και μπορούν να αποτυπωθούν με γραφική παράσταση με τη χρήση κατάλληλα επιλεγμένων μέσων όρων. Πλέον, με την ύπαρξη πανίσχυρων υπολογιστών και λογισμικών, η ανεξαρτησία δεν αποτελεί πλέον αναγκαιότητα αλλά μια επιθυμητή ιδιότητα καθώς διευκολύνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Παραγοντικός πειραματισμός: Ο παραγοντικός πειραματισμός είναι μια μέθοδος στην οποία γίνεται η εκτίμηση των επιδράσεων κάθε παράγοντα ξεχωριστά όπως και των συνδυασμών των παραγόντων. Τα παραγοντικά σχέδια είναι γεωμετρικά κατασκευασμένα και μεταβάλλουν όλους τους παράγοντες ταυτόχρονα και ανεξάρτητα. Τα παραγοντικά σχέδια συλλέγουν δεδομένα στις κορυφές ενός κύβου σε p διαστάσεις (όπου p ο αριθμός των παραγόντων που μελετώνται.). Εάν τα δεδομένα συλλέγονται από όλες τις κορυφές, το σχέδιο είναι πλήρως παραγοντικό και χρειάζονται 2^p δοκιμές. Καθώς ο συνολικός αριθμός των συνδυασμών αυξάνεται γεωμετρικά με τον αριθμό των παραγόντων που μελετώνται, μπορούν να κατασκευαστούν κλάσματα του πλήρους παραγοντικού σχεδίου. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των παραγόντων, τα κλάσματα γίνονται όλο και μικρότερα ($1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$...).

Τα κλασματικά παραγοντικά σχέδια συλλέγουν δεδομένα από ένα συγκεκριμένο υποσύνολο όλων των πιθανών κορυφών και απαιτούν 2^{p-1} δοκιμές, με το 2^{p-1} να είναι το κλασματικό μέγεθος του σχεδίου. Αν υπάρχουν μόνο τρεις παράγοντες στο πείραμα, η γεωμετρία πειραματικού σχεδίου για ένα πλήρες παραγοντικό πείραμα απαιτεί 8 δοκιμές ενώ ένα μισό κλασματικό παραγοντικό πείραμα απαιτεί 4 δοκιμές.



Εικόνα 14 Πλήρως παραγοντικό και μισό παραγοντικό σε τρεις διαστάσεις

Τα παραγοντικά σχέδια, συμπεριλαμβανομένων των κλασματικών παραγοντικών, έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με άλλους τύπους σχεδίων καθώς διαθέτουν εσωτερική αντιγραφή. Οι επιδράσεις ενός παράγοντα είναι ουσιαστικά η διαφορά ανάμεσα στο μέσο όρο όλων των δοκιμών στα δυο επίπεδα για κάθε παράγοντα, όπως «υψηλό» και «χαμηλό».

Δεν χρειάζονται αντίγραφα των ίδιων σημείων σε ένα παραγοντικό σχέδιο, γεγονός που φαίνεται ως παραβίαση της αρχής της αντιγραφής στο σχεδιασμό πειραμάτων. Ωστόσο, τα μισά από τα δεδομένα λαμβάνονται στο υψηλό επίπεδο και τα άλλα μισά στο χαμηλό επίπεδο για κάθε παράγοντα, με αποτέλεσμα να έχουμε ένα πολύ μεγάλο αριθμό αντιγράφων. Η αντιγραφή επίσης παρέχεται από τους παράγοντες που περιλαμβάνονται στο σχέδιο και αποδεικνύεται πως έχουν ασήμαντη επίδραση. Καθώς κάθε παράγοντας μεταβάλλεται σε σχέση με όλους τους παράγοντες, σε κάθε δοκιμή συλλέγονται πληροφορίες για όλους τους παράγοντες. Στην πραγματικότητα κάθε σημείο δεδομένων χρησιμοποιείται πολλές φορές στην ανάλυση και στην εκτίμηση κάθε επίδρασης και αλληλεπίδρασης. Η επιπλέον αποδοτικότητα ενός παραγοντικού σχεδιασμού δυο επιπέδων οφείλεται στο γεγονός πως διευρύνει τον παραγοντικό χώρο, που είναι ο πιο σίγουρος τρόπος να καθοριστεί αν ένας παράγοντας έχει σημαντική επίδραση ή όχι.

2.3 ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για να μπορέσει να γίνει σωστά ο πειραματικός σχεδιασμός θα πρέπει να ακολουθήσουμε ορισμένα βήματα:

- Να καθορίσουμε τον στόχο της έρευνας. Έτσι θα είμαστε σε θέση να οργανώσουμε καλύτερα τις σημαντικές μεταβλητές και να τις κατανοήσουμε καλύτερα και να βρούμε τους βέλτιστους όρους.
- Να καθορίσουμε τις μεταβλητές που θα ελέγξουμε με το πείραμα όπως και τα επίπεδα στα οποία θα διακυμανθούν.
- Να καθορίσουμε τις παραμέτρους που θα μετρήσουμε ώστε να περιγραφεί η έκβαση των πειραματικών διαδικασιών.
- Να επιλέξουμε από τα διαθέσιμα τυποποιημένα μοντέλα εκείνο το οποίο είναι συμβατό με τον καθορισμένο στόχο, με τον αριθμό των μεταβλητών, με την ακρίβεια των μετρήσεων και φυσικά έχει λογικό κόστος.
- Εκτελούμε προκαταρκτικά πειράματα. Η εκτέλεση των προκαταρκτικών πειραμάτων είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των ορίων, εντός των οποίων θα γίνει η μελέτη των μεταβολών της απόκρισης. Τα προκαταρκτικά πειράματα έχουν επίσης ως στόχο να διακρίνουν σε πρώτη φάση τις κρίσιμες μεταβλητές για την τιμή των αποκρίσεων. Επιπλέον, μπορούν να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών που δεν είναι κρίσιμες και έτσι να αποκλειστούν από τα πειράματα που θα ακολουθήσουν.
- Εκτελούμε τα πειράματα.
- Αναλύουμε στατιστικά τα δεδομένα.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως ο πειραματικός σχεδιασμός πρέπει να περιέχει μικρό αριθμό μεταβλητών καθώς σε αντίθετη περίπτωση έχουμε ραγδαία αύξηση του αριθμού των πειραμάτων.

2.3.1 CENTRAL COMPOSITE DESIGN

Ο κεντρικός σύνθετος σχεδιασμός ή αλλιώς CCD έχει τα εξής μέρη:

- Έναν πλήρη παραγοντικό σχεδιασμό ή έναν κλασματικό παραγοντικό σχεδιασμό
- Έναν επιπλέον σχεδιασμό με τα σημεία να απέχουν από το κέντρο σε απόσταση α
- Ένα κεντρικό σημείο
- Η σχέση που δίνει τον απαιτούμενο αριθμό πειραμάτων προκύπτει από τη σχέση $k^2 + 2k + C_p$ όπου:

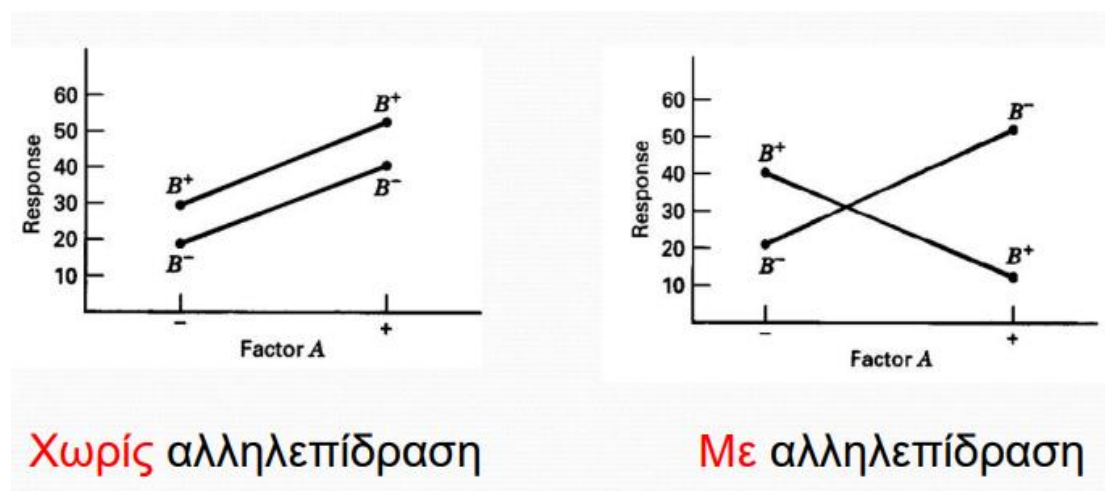
k = ο αριθμός των παραγόντων

C_p = ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για το κεντρικό σημείο.

- Το α εξαρτάται από τον αριθμό των μεταβλητών
- Η εξέταση όλων των παραγόντων γίνεται σε πέντε επίπεδα ($-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$)
- Είναι αποτελεσματικός παρόλο που ο αριθμός των δοκιμασιών είναι μικρός
- Προσαρμόζεται ανάλογα τις ανάγκες του πειράματος.

Έχουμε τρία είδη κεντρικού σύνθετου σχεδιασμού : τον εδροκεντρωμένο, τον περιστρέψιμο και τον εγγεγραμμένο.

2.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ



Εικόνα 15 Διαγράμματα με ή χωρίς αλληλεπίδραση

Τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης τα χρησιμοποιούμε για να δείξουμε πως η σχέση μεταξύ ενός παράγοντα και μιας συνεχής απόκρισης εξαρτάται από την τιμή ενός δεύτερου παράγοντα. Όταν οι γραμμές ισοαπόκρισης είναι παράλληλες, τότε σημαίνει πως δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των παραγόντων. Όταν οι γραμμές ισοαπόκρισης τέμνονται τότε υπάρχει αλληλεπίδραση.

2.4 ΠΕΙΡΑΜΑ

Σκοπός του πειράματος ήταν η μελέτη της επίδρασης που έχει η ταχύτητα, η διάμετρος των κονδυλίων και η πρόωση στην τραχύτητα. Προτού την εκτέλεση των πειραμάτων έγινε ο απαραίτητος πειραματικός σχεδιασμός με τη χρήση του κεντρικού σύνθετου σχεδιασμού (Central Composite Design). Εδώ πρέπει να πούμε πως έγινε χρήση κονδυλίων διαμέτρου 6mm, 8mm και 10mm, σε ταχύτητα 160, 175 και 190 και η πρόωση που ελέγχθηκε ήταν 0,18, 0,22 και 0,26.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για Ra και Rz.

No	Vc	f	ap	D	Ra	Rz
1	160	0,18	0,5	10	0,714	3,894
2	190	0,18	1,5	10	0,951	4,964
3	190	0,26	1,5	10	1,344	7,615
4	160	0,18	1,5	6	2,969	12,512
5	160	0,18	1,5	10	1,185	6,117
6	190	0,18	0,5	6	1,332	6,017
7	175	0,22	1	8	2,223	8,292
8	190	0,26	0,5	6	3,279	11,483
9	160	0,26	1,5	10	1,344	7,615
10	190	0,26	1,5	6	2,881	12,382
11	160	0,26	0,5	10	0,704	3,626
12	160	0,18	0,5	6	1,217	5,9
13	190	0,18	1,5	6	2,242	9,532
14	190	0,26	0,5	10	1,169	5,458
15	175	0,22	1	8	2,411	10,666
16	175	0,22	1	8	2,223	9,567
17	190	0,18	0,5	10	0,63	3,338
18	160	0,26	1,5	6	3,15	11,832
19	175	0,22	1	8	2,215	10,179
20	160	0,26	0,5	6	2,998	11,039
21	175	0,22	0,5	8	2,425	10,826
22	175	0,26	1	8	2,896	10,972
23	175	0,22	1	10	1,023	5,833
24	175	0,22	1	8	2,04	8,041

25	175	0,22	1	6	1,944	9,02
26	160	0,22	1	8	2,956	15,284
27	175	0,18	1	8	1,661	9,464
28	190	0,22	1	8	2,332	10,73
29	175	0,22	1,5	8	2,601	12,971
30	175	0,22	1	8	2,029	7,998

Αφού επιλέξαμε την κατάλληλη ατσάλινη ράβδο, κόψαμε το κομμάτι που θα χρησιμοποιούσαμε στην πριονοκορδέλα.



Εικόνα 16 Επιλογή ράβδου κυκλικής διατομής



Εικόνα 17 Πριονοκορδέλα στην οποία έγινε η κοπή



Εικόνα 18 Κόψιμο κομματιού

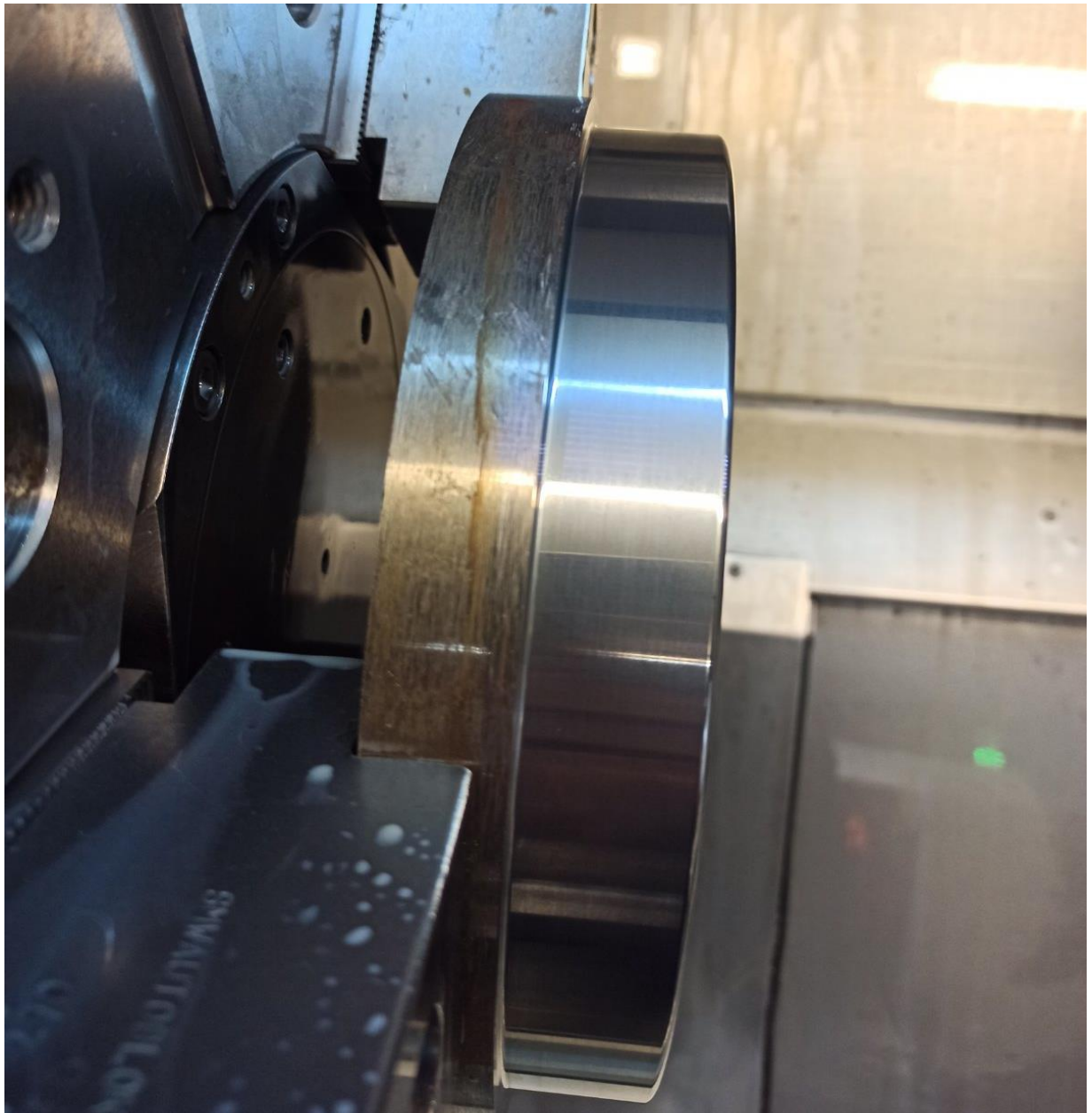


Εικόνα 19 Το κομμάτι μετά την κοπή

Στη συνέχεια, το κομμάτι που είχε διάμετρο 250mm και πάχος 45mm τοποθετήθηκε σε CNC dmg mori τórνο ώστε να τórνευσει.

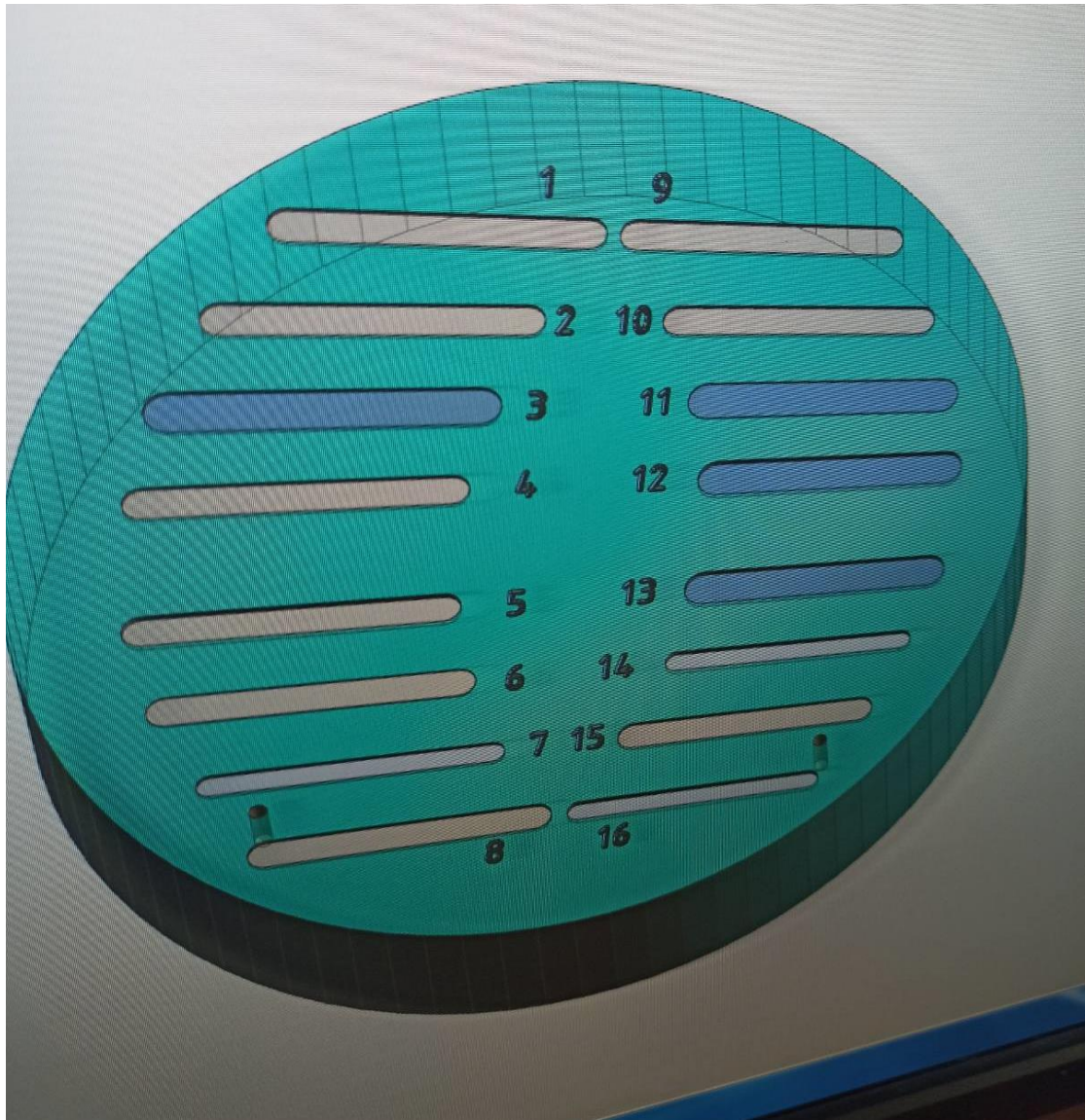


Εικόνα 20 Ο CNC dmg mori τórνος όπου πραγματοποιήθηκε η τórνευση του κομματιού



Εικόνα 21 Τόρνευση του κομματιού

Όταν ολοκληρώθηκε η τόρνευση, πραγματοποιήθηκε ο προγραμματισμός των 30 slot milling με τη χρήση του προγράμματος Edgcam.



Εικόνα 22 Προγραμματισμός slot milling με το πρόγραμμα Edgcam.

Μετά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού, περάσαμε στην κατεργασία η οποία έγινε στο κέντρο κατεργασίας MAZAK όπου και τοποθετήθηκαν καινούργια κονδύλια διαμέτρου 6mm, 8mm και 10mm.



Εικόνα 23 Κονδύλια που χρησιμοποιήθηκαν στην κατεργασία 6,8,10 mm

Οι μετρήσεις τραχύτητας έγιναν με τραχύμετρο tesa rugosorf. Σε κάθε slot έγιναν μετρήσεις σε τρία διαφορετικά σημεία. Το κάθε σημείο απέχει από το άλλο 2,5mm. Από τις μετρήσεις των τριών σημείων, υπολογίστηκε ο μέσος όρος ώστε να πάρουμε τις τιμές για το Ra και Rz. Τέλος, έγινε γραφική απεικόνιση των μετρήσεων με χρήση διαγραμμάτων αλληλεπιδράσεων ώστε να είναι εφικτή η μελέτη επίδρασης της ταχύτητας, του βάθους κοπής, της διαμέτρου των κονδυλίων και της πρόωσης στην τραχύτητα.



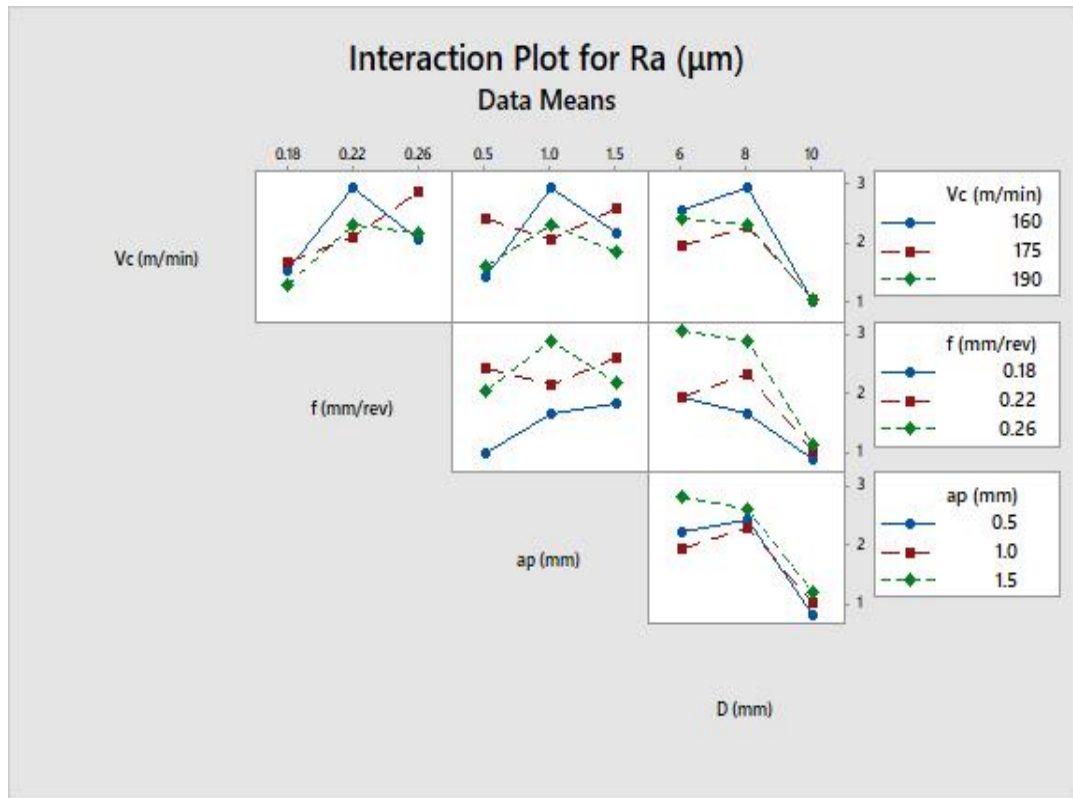
Εικόνα 24 Μέτρηση σημείου με τραχύμετρο tesa rugosorf



Εικόνα 25 Μέτρηση πρώτου σημείου στο πρώτο slot



Εικόνα 26 Το κομμάτι μας μετά το τέλος της κατεργασίας



Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποδόθηκαν με διαγράμματα αλληλεπίδρασης. Στα 3 πρώτα διαγράμματα βλέπουμε την αλληλεπίδραση της ταχύτητας (V) με την πρόωση (f), το βάθος κοπής (ap) και την διάμετρο του κονδυλίου (D). Όταν η ταχύτητα είναι 160 και 190 τότε η τραχύτητα ανεβαίνει και στην συνέχεια μειώνεται όταν αυξάνεται η πρόωση. Το ενδιαφέρον εδώ είναι πως για ταχύτητα 175, η τραχύτητα αυξάνεται όταν αυξάνεται η πρόωση.

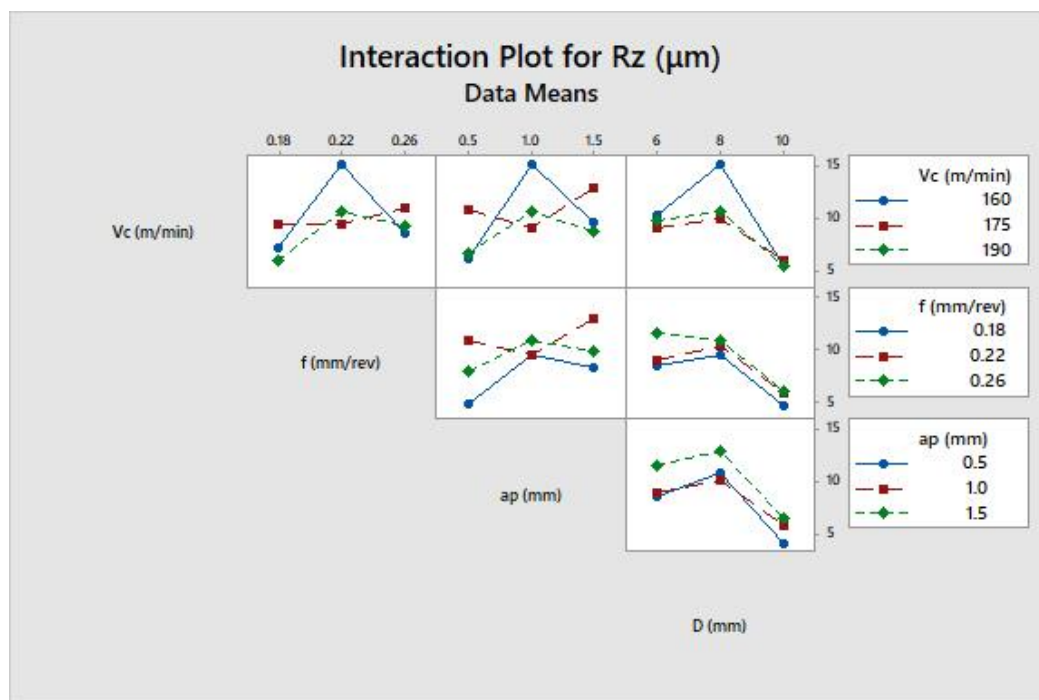
Όσον αφορά την αλληλεπίδραση ταχύτητας και βάθους κοπής, παρατηρούμε πως για τις ταχύτητες 160 και 190, η τραχύτητα ανεβαίνει και στη συνέχεια μειώνεται απότομα όταν μεγαλώνει το βάθος κοπής. Για την ταχύτητα όμως 175, η τραχύτητα μειώνεται και στην συνέχεια αυξάνεται όταν μεγαλώνει το βάθος κοπής.

Όταν αλληλοεπιδρά η ταχύτητα με τη διάμετρο των κονδυλίων, παρατηρούμε πως όταν αυξάνεται η διάμετρος, αυξάνεται και η τραχύτητα η οποία στην συνέχεια μειώνεται απότομα και διατηρεί αυτή την τάση. Αυτό ισχύει για τις ταχύτητες 160 και 175 γιατί στην ταχύτητα 190 παρατηρούμε πως η τραχύτητα μειώνεται στην αρχή ελάχιστα και μετά απότομα όσο μεγαλώνει η διάμετρος.

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση πρόωσης και βάθους κοπής παρατηρούμε πως για πρόωση 0,18, η τραχύτητα ανεβαίνει όσο αυξάνεται το βάθος κοπής ενώ για πρόωση 0,22, όταν αυξάνεται το βάθος κοπής, αρχικά μειώνεται και στην συνέχεια αυξάνεται. Το αντίθετο παρατηρείται για πρόωση 0,26 όπου όταν αυξάνεται το βάθος κοπής, η τραχύτητα αυξάνεται αρχικά και στη συνέχεια μειώνεται.

Στο διάγραμμα αλληλεπίδρασης πρόωσης και διαμέτρου κονδυλίου, βλέπουμε πως για πρόωση 0,18, πως όσο αυξάνεται η διάμετρος, μειώνεται η τραχύτητα ενώ για 0,22 η τραχύτητα αρχικά αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται όταν αυξάνεται η διάμετρος. Τέλος, για πρόωση 0,26, η τραχύτητα μειώνεται όταν αυξάνεται η διάμετρος.

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση βάθους κοπής και διαμέτρου, παρατηρούμε πως η τραχύτητα ανεβαίνει και μειώνεται απότομα και η τάση αυτή διατηρείται καθώς αυξάνεται η διάμετρος και το βάθος.



Ας δούμε τώρα πως επηρεάζεται το μέγιστο ύψος προφίλ. Στο διάγραμμα που απεικονίζεται η αλληλεπίδραση ταχύτητας και πρόωσης, το μέγιστο ύψος προφίλ παρουσιάζει αυξομειώσεις. Για τις ταχύτητες 160 και 190, όταν αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται αρχικά το μέγιστο ύψος προφίλ και στη συνέχεια μειώνεται ενώ για 175 παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η πρόωση, τόσο αυξάνεται και το μέγιστο ύψος προφίλ. Την ίδια τάση ακολουθεί το μέγιστο ύψος προφίλ όταν αλληλοεπιδρούν η ταχύτητα και το βάθος κοπής. Για ταχύτητες 160 και 190 αυξάνεται αρχικά και στη συνέχεια μειώνεται ενώ για ταχύτητα 175 μειώνεται αρχικά και στη συνέχεια αυξάνεται.

Όταν αλληλοεπιδρά η ταχύτητα με την διάμετρο παρατηρούμε πως όταν αυξάνεται τόσο η διάμετρος όσο και η ταχύτητα αρχικά το μέγιστο ύψος προφίλ αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται.

Όταν αλληλοεπιδρά το βάθος κοπής με την πρόωση παρατηρούμε πως στη χαμηλή και υψηλή τιμή της πρόωσης, το μέγιστο ύψος προφίλ αρχικά αυξάνεται και στη συνέχεια

μειώνεται όσο αυξάνεται το βάθος κοπής. Ωστόσο στη μεσαία τιμή πρόωσης, βλέπουμε πως όταν μεγαλώνει το βάθος, η τιμή του μέγιστου ύψους προφίλ αρχικά μειώνεται και στη συνέχεια αυξάνεται.

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση της πρόωσης και της διαμέτρου, παρατηρούμε πως για τη χαμηλή και μεσαία τιμή της πρόωσης, το μέγιστο ύψος προφίλ αυξάνεται αρχικά και στη συνέχεια μειώνεται απότομα όσο αυξάνεται η διάμετρος. Όσον αφορά την υψηλή τιμή της πρόωσης, εδώ η τάση είναι πτωτική. Όσο αυξάνεται η διάμετρος, μειώνεται το μέγιστο ύψος προφίλ. Αρχικά η πτώση είναι ελάχιστη αλλά στη συνέχεια γίνεται απότομη.

Τέλος, όταν αλληλοεπιδρούν το βάθος κοπής και η διάμετρος, παρατηρούμε πως το μέγιστο ύψος προφίλ αρχικά αυξάνεται όταν μεγαλώνει η διάμετρος και το βάθος κοπής αλλά στη συνέχεια μειώνεται απότομα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Chai Wesley, CAD (computer-aided design),

<https://www.techtarget.com/whatis/definition/CAD-computer-aided-design>

Oyoun Louie (2020), COMPUTER NUMERICAL CONTROL(CNC),

https://www.researchgate.net/publication/344462723_COMPUTER_NUMERICAL_CONTROL_CNC

Telford Jacqueline K., A Brief Introduction to Design of Experiments,

<https://www.jhuapl.edu/Content/techdigest/pdf/V27-N03/27-03-Telford.pdf>

What is CNC Machining? | Definition, Processes, Components & More

<https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-cnc-machining/>

What Is Computer Aided Engineering (Cae)? [https://www.twi-global.com/technical-](https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-computer-aided-engineering)

[knowledge/faqs/what-is-computer-aided-engineering](https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-computer-aided-engineering)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Βήματα διαδικασίας CNC.....	6
Εικόνα 2 Απεικόνιση κάθετης φρεζομηχανής	8
Εικόνα 3 Απεικόνιση οριζόντιας φρεζομηχανής.....	8
Εικόνα 4 Γενική αρχή λειτουργίας μηχανής CNC.....	10
Εικόνα 5 Γενική αρχή λειτουργίας μηχανής CNC.....	11
Εικόνα 6 Περιφερικό, μετωπικό και φρεζάρισμα με κονδύλι.....	12
Εικόνα 7 Ομόρροπο φρεζάρισμα.....	13
Εικόνα 8 Αντίρροπο φρεζάρισμα.....	13
Εικόνα 9 Κάτοψη αντίρροπου και ομόρροπου φρεζαρίσματος.....	14
Εικόνα 10 Παράδειγμα διάτρησης.....	15
Εικόνα 11 α) γλυφανση β) σπειροτόμηση γ) βύθιση δ)βύθιση με γωνία ε) κεντράρισμα.....	16
Εικόνα 12 Τύποι τρυπανιών	16
Εικόνα 13 Χαρακτηριστικά στοιχεία ελικοειδούς τρυπανιού	16
Εικόνα 14 Πλήρως παραγοντικό και μισό παραγοντικό σε τρεις διαστάσεις.....	21
Εικόνα 15 Διαγράμματα με ή χωρίς αλληλεπίδραση	23
Εικόνα 16 Επιλογή ράβδου κυκλικής διατομής.....	25
Εικόνα 17 Πριονοκορδέλα στην οποία έγινε η κοπή.....	26
Εικόνα 18 Κόψιμο κομματιού.....	26
Εικόνα 19 Το κομμάτι μετά την κοπή.....	27
Εικόνα 20 Ο CNC dmg mori τórνος όπου πραγματοποιήθηκε η τórνευση του κομματιού...	27
Εικόνα 21 Τórνευση του κομματιού.....	28
Εικόνα 22 Προγραμματισμός slot milling με το πρόγραμμα Edgcam.....	29
Εικόνα 23 Κονδύλια που χρησιμοποιήθηκαν στην κατεργασία 6,8,10 mm	30
Εικόνα 24 Μέτρηση σημείου με τραχύμετρο tesa rugosorf	31
Εικόνα 25 Μέτρηση πρώτου σημείου στο πρώτο slot	31
Εικόνα 26 Το κομμάτι μας μετά το τέλος της κατεργασίας	32