



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ:

**Σχεδιασμός, προσομοίωση και κατασκευή τεμαχίων σε ψηφιακά
καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος με χρήση του τέταρτου
άξονα της**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Κυριάκου Νίκος

ΕΠΙΒΛΕΨΗ: Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Μάρκος Πετούσης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2013

Περιεχόμενα

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: CNC ΦΡΕΖΕΣ	3
1.1	Εισαγωγή	3
1.2	Ιστορική Εξέλιξη	3
1.3	Λειτουργία CNC	4
1.4	Πλεονεκτήματα CNC	5
1.5	Βήματα Διαδικασίας	6
1.6	Λογισμικά CAD/CAM/CAE	6
1.7	Είδη Φρεζομηχανών	8
1.8	Κύρια Μέρη	9
1.9	Αρχή Λειτουργίας	11
1.10	Καθορισμός των Αξόνων	12
1.11	Απόλυτες και Σχετικές Συντεταγμένες	14
1.12	Φρεζάρισμα	15
1.13	Διάτρηση με Φρέζα	17
1.14	Υγρή / Ξηρή Κατεργασία	20
1.15	Κατεργασία με υγρό κοπής	20
1.16	Κατεργασία Χωρίς Υγρό Κοπής (Dry Machining)	22
1.17	Κοπτικά Εργαλεία και Υλικά για Επιτραπέζιο Φρεζάρισμα	24
1.18	Βασικά Στοιχεία Μηχανικής Κατά το Φρεζάρισμα	27
1.19	Κατηγορίες Φρεζαρίσματος, Κοπτικών Εργαλείων και Επιλογή Κατά το Επιτραπέζιο Φρεζάρισμα	30
1.20	Κονδύλια (End Mills)	32
1.21	Τρόποι Εισχώρησης Κοπτικού Εργαλείου στην Πρώτη Ύλη	37
1.22	Μηχανική Φρεζαρίσματος — Βασικές Εξισώσεις	38
1.23	Μηχανική Διάτρησης & Σπειροτόμησης - Βασικές Εξισώσεις	40
1.24	Σφαιροειδή Κονδύλια (ball nose end mills)	41
1.25	Κανόνες Επιλογής και Χρήσης Κοπτικών Εργαλείων	43
1.26	Υλικά Κοπτικών Εργαλείων	44
1.27	Φθορά Κοπτικών Εργαλείων	47
1.28	Τρόποι Συγκράτησης Ακατέργαστων Τεμαχίων	49
1.29	Προγραμματισμός	50
1.30	Είδη Συντήρησης Εργαλειομηχανών Ψηφιακής Καθοδήγησης	51
1.31	Ασφάλεια με τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές	53
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: PRO-ENGINEER ΠΟΛΥΑΞΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ	55
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	55
2.2	Πολυαξονική κατεργασία	56
2.3	Περιγραφή 4 ^{ου} άξονα	57
2.4	Απεικόνιση φοράς περιστροφής	57
2.5	Μετατόπιση 4ου άξονα	58

2.6 Γωνιακή ταχύτητα	58
2.7 Πλεονεκτήματα και μείωση του κύκλου κατεργασίας με τον 4ο άξονα	59
2.8 Διαφορές στην προσομοίωση και στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης σε σχέση με κατεργασίες φρεζαρίσματος που δεν απαιτούν τη χρήση 4ου άξονα (3 αξόνων).....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΛΑΝΤΖΑΣ.....	65
3.1 Σχεδιασμός φλάντζας	65
3.2 Εισαγωγή εντολών κατεργασίας.....	66
3.3 Κατεργασία τεμαχίου	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ 4 ^{ΟΥ} ΑΞΟΝΑ.....	73
4.1 Περιγραφή εισαγωγής κατεργασίας για λειτουργία 4ου άξονα.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: POST PROCESSOR- ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ	84
5.1 Ιστορική αναδρομή.....	84
5.2 Post processor- περιγραφή.....	84
5.3 Ρυθμίσεις post-processor	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Πειραματική διαδικασία.....	90
6.1 Διαδικασία κατασκευής δυο διαφορετικών τεμαχίων με τη χρήση του 4ου άξονα.....	90
6.2 Κατασκευή 2 ^{ου} Τεμαχίου-εκκεντροφόρος	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
7.1 Γενικά.....	104
7.2 Κατεργασίες με τη χρήση 4ου άξονα	104
7.2.1 Κοπτικά.....	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: CNC ΦΡΕΖΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες (Computer Numerical Control - CNC) εργαλειομηχανές είναι πολύπλοκα εργαλεία επεξεργασίας υλικών που μπορούν να δημιουργήσουν πολύπλοκα εξαρτήματα που απαιτούνται από τη σύγχρονη τεχνολογία, οι οποίες αυξάνονται ραγδαία με την πρόοδο των υπολογιστών. Οι CNC μπορούν να βρεθούν σε μηχανές που εκτελούν τις εργασίες όπως τόννοι, φρέζες, κοπή και χάραξη με λέιζερ, υδροκοπή και άλλων βιομηχανικών εργαλείων. Ο όρος CNC αναφέρεται σε μια μεγάλη ομάδα από αυτά τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν τη λογική υπολογιστή για τον έλεγχο των κινήσεων, για να εκτελεσθεί η κατεργασία.

1.2 Ιστορική Εξέλιξη

Το κίνητρο της 'εφεύρεσης' του αριθμητικού ελέγχου (NC) ήταν η ευκολότερη και γρηγορότερη παραγωγή εξαρτημάτων αεροπλάνων στο πόλεμο των Ιαπώνων με τους Αμερικάνους στον Ειρηνικό Ωκεανό, όπου οι δεύτεροι είχαν εξαιρετικά μεγάλες απώλειες. Η ταχεία παραγωγή και επισκευή αεροσκαφών και ανταλλακτικών στάθηκε πραγματικός πονοκέφαλος για τους μηχανικούς της αεροπορικής βιομηχανίας. Έτσι, πέρα από τη μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών, η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνιτών οδηγούσε, συχνά, σε ελαττωματικά και επικίνδυνα τεμάχια. Ακόμα, οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για ακόμα πιο σύνθετα τεμάχια, δεν μπορούσαν να καλυφθούν από τα συμβατικά μηχανουργεία. Η ιστορική εξέλιξη της εφαρμογής αριθμητικού ελέγχου στις εργαλειομηχανές είναι η ακόλουθη:

1949 Ανάπτυξη αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών ανατέθηκε στον John Pearson στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT).

1952 Κατασκευάστηκε η πρώτη μηχανή αριθμητικού ελέγχου, μία Cincinnati Hydrotel, με κατακόρυφη άτρακτο, ταυτόχρονη κίνηση σε τρεις άξονες (3D γραμμική παρεμβολή), 400 περίπου διόδους στη μονάδα ελέγχου και ανάγνωση δεδομένων από διάτρητη ταινία.

1954 Η εταιρία Bendix άρχισε βιομηχανική παραγωγή εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου.

1958 Εμφανίστηκε η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού αριθμητικού ελέγχου η APT (Automatically Programmed Tool) σε συσχετισμό με υπολογιστή IBM 704.

1960 Αντικαταστάθηκαν ρελέ και δίοδοι της μονάδας ελέγχου με τρανζίστορ.

1965 Αυτοματοποιήθηκε η αλλαγή εργαλείων

1968 Εφαρμόστηκαν ολοκληρωμένα κυκλώματα με άμεσο αντίκτυπο στο μέγεθος της μονάδας ελέγχου.

1968 Εμφανίστηκε το πρώτο DNC (σημαίνει κατανεμημένος (DISTRIBUTED) και όχι άμεσος (DIRECT)) - Standard Omnicontrol φυσικά σε υπολογιστή IBM.

1969 Υλοποιήθηκε η αυτόματη αλλαγή παλετών.

1972 Δημιουργήθηκε η πρώτη γενιά CNC σε mini υπολογιστές.

1976 Άρχισαν να χρησιμοποιούνται πολλαπλοί επεξεργαστές στην αρχιτεκτονική των μονάδων ελέγχου, πράγμα που διευκόλυνε τη διεύρυνση των λειτουργιών που είναι εφικτές στην ίδια την εργαλειομηχανή (κυρίως ο προγραμματισμός της μηχανής).

1980 Ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής υποστηρίζεται από γραφικά με κάποιο είδος προσομοίωσης στην ίδια την μονάδα ελέγχου.

1985 Ξεκίνησε η δημιουργία 'ανοιχτών' συστημάτων και τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας για την ενσωμάτωση των εργαλειομηχανών σε περιβάλλον CIM.

1990 Εμφανίστηκαν ψηφιακά interfaces μεταξύ μονάδας ελέγχου και μονάδας κίνησης που βελτίωσαν πολύ την ακρίβεια και τη δυναμική συμπεριφορά των αξόνων.

1993 Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά λειτουργικό σύστημα Windows στην μονάδα ελέγχου.

Σημειώνεται ότι η κύρια και τεχνικά πιο απαιτητική εφαρμογή του αριθμητικού ελέγχου γίνεται σε εργαλειομηχανές κοπής, όπου τυπικά ένα εργαλείο ακολουθεί μία γεωμετρική τροχιά. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιείται αριθμητικός έλεγχος και σε εργαλειομηχανές διαμόρφωσης (ελασμάτων, σωλήνων κλπ), αλλά και σε μη συμβατικές μηχανές.

1.3 Λειτουργία CNC

CNC είναι η καθοδήγηση μιας εργαλειομηχανής με τη βοήθεια μιας σειράς κωδικοποιημένων εντολών που αποτελούνται από αριθμούς, γράμματα του αλφαβήτου και σύμβολα τα οποία μπορεί να κατανοήσει η μονάδα ελέγχου της μηχανής (machine control unit, MCU).

Οι εντολές αυτές μετατρέπονται σε παλμούς ηλεκτρικού ρεύματος τους οποίους ακολουθούν οι κινητήρες και οι μονάδες ελέγχου της μηχανής έτσι ώστε να εκτελεσθούν οι μηχανολογικές εργασίες σε ένα εξάρτημα. Οι αριθμοί τα γράμματα και τα σύμβολα είναι κωδικοποιημένες εντολές που αναφέρονται σε συγκεκριμένες αποστάσεις, θέσεις, λειτουργίες ή κινήσεις τις οποίες μπορεί να κατανοήσει η εργαλειομηχανή καθώς διαμορφώνει το εξάρτημα.

Όλες οι διαδικασίες καθοδήγησης και έλεγχου των εργαλειομηχανών CNC από το χειρίστη τους είναι μονόδρομος. Ο τεχνικός CNC καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανή, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (πρόωση, βάθη κοπής, ταχύτητα κοπής, κ.λπ.), ελέγχει τη χρήση ή όχι του υγρού κοπής, διαχειρίζεται τα κοπτικά εργαλεία, κ.λπ. Για όλα αυτά, συντάσσει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού (κώδικας), μεταφέρει τον κώδικα στη μονάδα έλεγχου και ενεργοποιεί την εκτέλεση του προγράμματος.

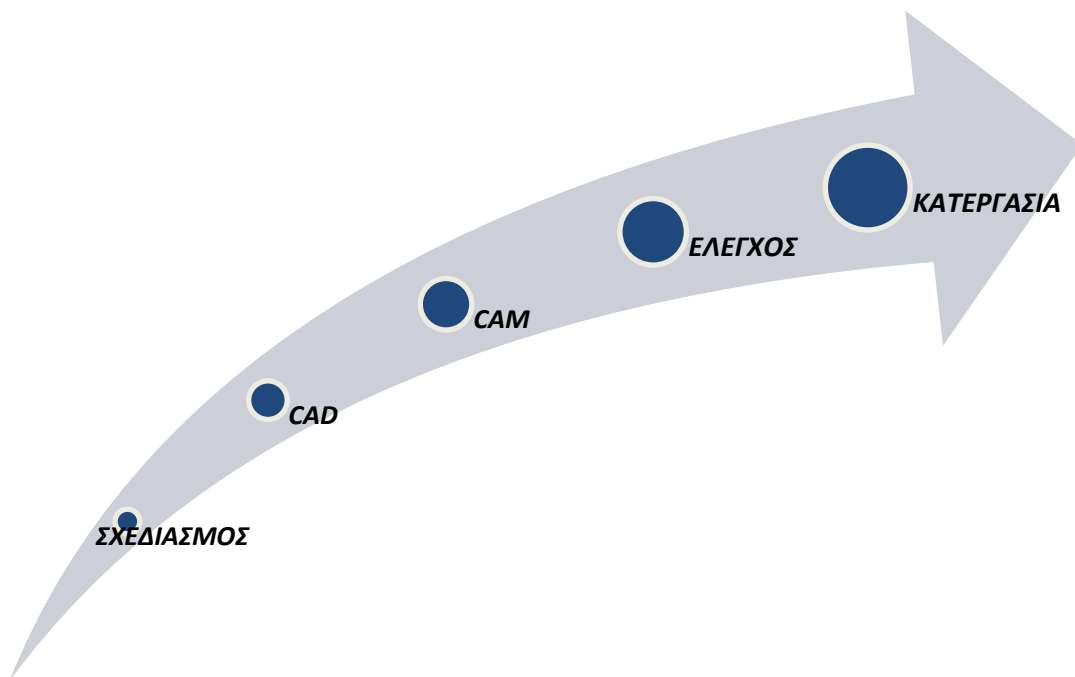
Η CNC καθοδήγηση έχει το πλεονέκτημα της συνεργασίας της με συστήματα σχεδίασης (Computer Aided Design, CAD) και συστήματα κατεργασιών (Computer Integrated Manufacturing, CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems, FMS). Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό υπολογισμών και διαδικασιών έλεγχου καθοδήγησης διεξάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταχύτερα και με μικρότερο κόστος.

1.4 Πλεονεκτήματα CNC

- Ελαττωμένος χρόνος προετοιμασίας για παραγωγή.
- Ελάττωση ανθρώπινου σφάλματος.
- Μεγάλος βαθμός ακρίβειας.
- Πολύπλοκες μηχανουργικές κατεργασίες.
- Αυξημένη παραγωγικότητα.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια της εργαλειομηχανής.
- Μικρότερη ανάγκη επίβλεψης.
- Μεγαλύτερη χρήση της μηχανής.

1.5 Βήματα Διαδικασίας

- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ: Σκέψη, ορισμός προδιαγραφών και σχεδιασμός τεμαχίου.
- CAD: Μετάφραση της σκέψης στον υπολογιστή. Σχεδιασμός του τεμαχίου σε πρόγραμμα 3D (Τρισδιάστατης απεικόνισης).
- CAM: Μετατροπή του 3D σχεδίου με την χρήση του υπολογιστή στην γλώσσα της μηχανής.
- ΕΛΕΓΧΟΣ: Κατεύθυνση των κινήσεων της μηχανής.
- ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ: Κατασκευή του τεμαχίου σύμφωνα με τις προδιαγραφές.



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής διαδικασίας CNC

1.6 Δογματικά CAD/CAM/CAE

Computer Aided Design (CAD) είναι η ψηφιακή δημιουργία της γεωμετρίας ενός προϊόντος, εξαρτήματος ή συναρμολογήματος.

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

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

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

Computer Aided Manufacturing - CAM

Computer Aided manufacturing είναι η διαδικασία όπου τα CAD δεδομένα επεξεργάζονται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή για την καθοδήγηση CNC εργαλειομηχανών.

Η ψηφιακή πληροφορία ενός κομματιού εισάγεται στο σύστημα CAM από το λογισμικό CAD. Η πληροφορία μπορεί να είναι σε δισδιάστατη (2D) ή τρισδιάστατη (3D) μορφή, ανάλογα με την κατεργασία για την οποία προορίζεται.

Computer Aided Engineering - CAE

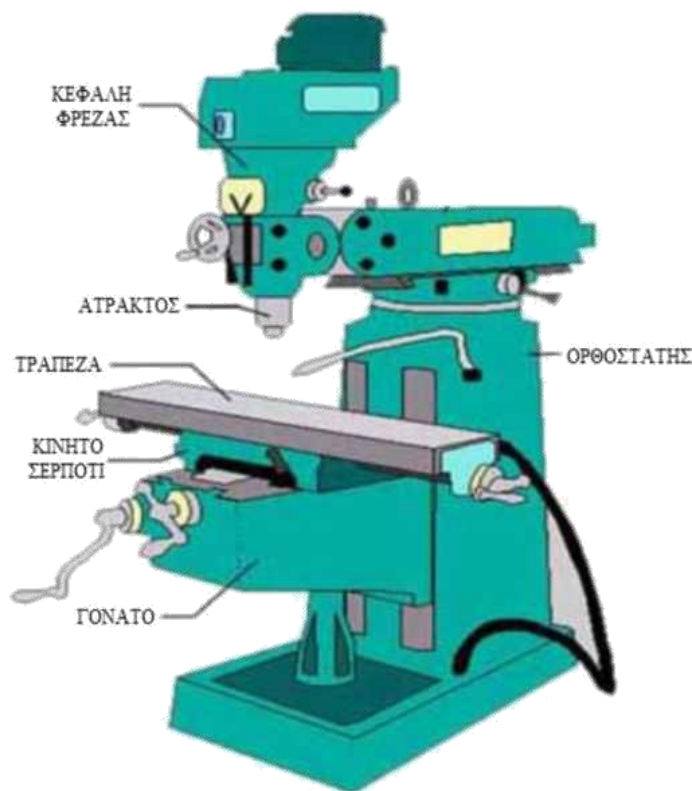
Computer Aided Engineering είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την προσομοίωση, την επαλήθευση και την ανάλυση που πραγματοποιείται σε ένα ψηφιακό μοντέλο, προϊόν ή συναρμολόγημα, με τη βοήθεια του H/Y. Με τα προγράμματα CAE, εξετάζεται και αξιολογείται η απόδοση ενός προϊόντος, πριν το στάδιο της παραγωγής, χωρίς να χρειαστεί να δημιουργηθεί ένα φυσικό πρωτότυπο. Με εξελιγμένα εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης, οι μηχανικοί μπορούν να δοκιμάσουν τη δομική και τη θερμική απόδοση, τις δονήσεις, την ανθεκτικότητα και την κινητική απόδοση του προϊόντος, από το τρισδιάστατο CAD σχέδιο. Ορισμένα CAD/CAM συστήματα περιλαμβάνουν κάποια απλά εργαλεία ανάλυσης, αλλά για πιο απαιτητικές αναλύσεις, υπάρχουν πιο εξειδικευμένα προγράμματα.

Επιπρόσθετα, υπάρχει μια γκάμα εργαλείων βιομηχανικής ανάλυσης και προσομοίωσης, όπως η ανάλυση ροής πλαστικού και η επαλήθευση της βελτιστοποίησης της διαδικασίας injection moulding. Η διαδικασία χύτευσης μετάλλου, μπορεί να προσομοιωθεί και να βελτιστοποιηθεί, ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη ακριβών πρώτων υλών και εξασφαλίζοντας ένα χυτό υψηλής ποιότητας.

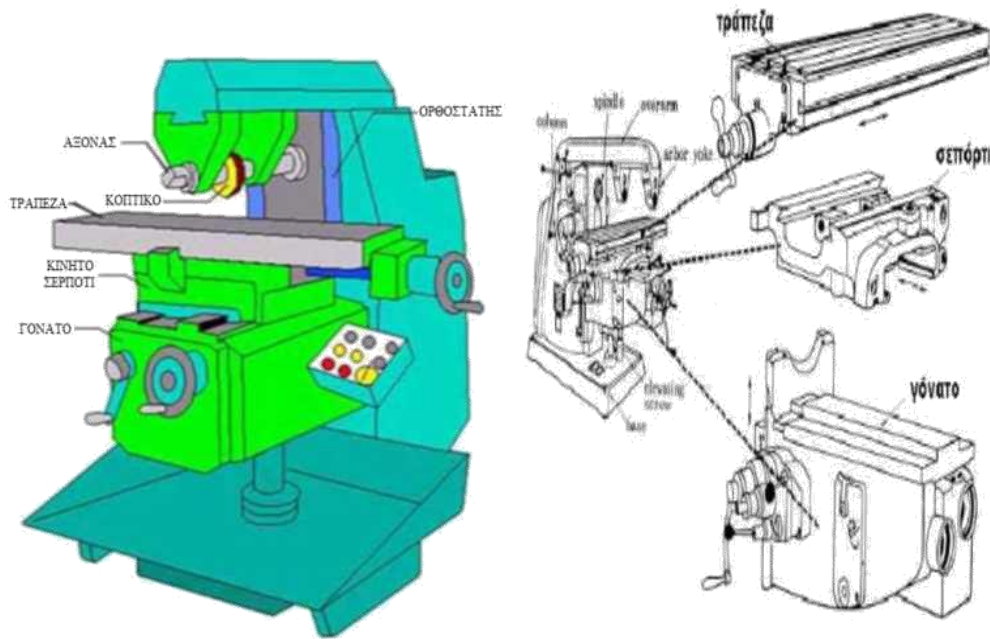
1.7 Είδη Φρεζομηχανών

Υπάρχουν δύο είδη φρεζομηχανών:

- > Οριζόντιας ατράκτου.
- > Κατακόρυφης-κάθετης ατράκτου.



Εικόνα 2: Λεπτομερή απεικόνιση κάθετης φρεζομηχανής



Εικόνα 3: Λεπτομερή απεικόνιση οριζόντιας φρεζομηχανής και σερποτί (φορείου)

Με βάση τους άξονες που ενσωματώνουν οι περισσότερες CNC εργαλειομηχανές χαρακτηρίζονται ως τριών (3), τεσσάρων (4) ή και πέντε (5) αξόνων.

Σε επιτραπέζια κλίμακα όμως συναντώνται κυρίως μηχανές τριών (3) αξόνων, σε κάποιες από τις οποίες υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής ενός εκ των ευθυγράμμων αξόνων με περιστροφικό μηχανισμό (διαιρέτης). Σε σπανιότερες περιπτώσεις υπάρχουν και επιτραπέζιες μηχανές τεσσάρων αξόνων με δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης τριών ευθυγράμμων αξόνων και ενός περιστροφικού.

1.8 Κύρια Μέρη

Κυρία μέρη σε φρέζες αριθμητικού έλεγχου αποτελούν:

Οι άξονες της εργαλειομηχανής: Με αυτούς επιτελείται συνδυασμός γραμμικών και περιστροφικών κινήσεων. Κάθε άξονας νοείται τόσο με την κινηματική του έννοια, όσο και σαν σύστημα μετάδοσης κίνησης και ισχύος ή μέτρησης επί αυτού των στοιχείων κίνησης (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση). Οι άξονες, η κίνησή τους και ο έλεγχός τους είναι αποφασιστικής σημασίας για την κατάταξη, το χαρακτηρισμό και τις δυνατότητες των επιτραπέζιων CNC φρεζομηχανών.

Ο κινητήρας κύριας ατράκτου δια του οποίου συντελείται η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου.

Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο περιλαμβάνει συνήθως ένα αριθμό μικροεπεξεργαστών, μνήμης (RAM & ROM) και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για την επεξεργασία και διαχείριση του προγράμματος κοπής καθώς και ηλεκτρονικά ισχύος για τον έλεγχο των αξόνων. Διάφορα περιφερειακά για την εισαγωγή του προγράμματος στη μηχανή, την εκτύπωση αρχείων και ενδεχόμενα την παρακολούθηση της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

Ο Η/Υ και το λειτουργικό λογισμικό χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση του προγράμματος κοπής στη μηχανή (με ενσωματωμένο CAM ή μέσω post-processor από εξωτερικό CAM), την εκτύπωση αρχείων και ενδεχομένως την παρακολούθηση της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

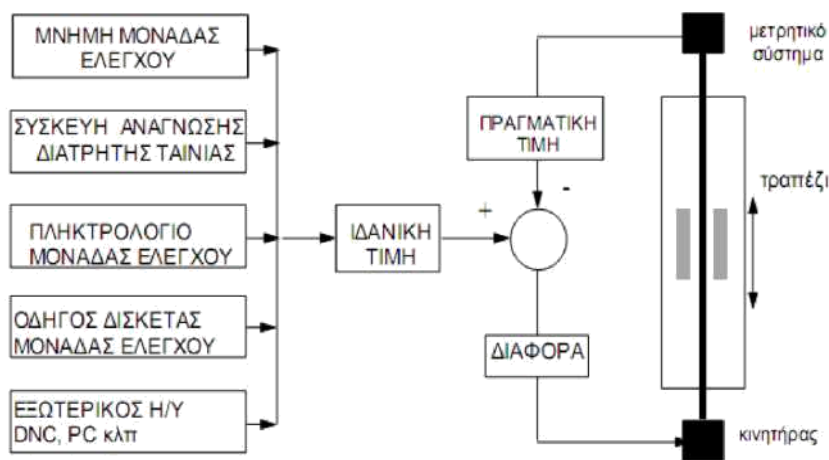
Συσκευές αλλαγής εργαλείων, υπάρχουν δύο ειδών, η κατακόρυφη και η οριζόντια. Η συσκευή αλλαγής εργαλείων μπορεί να αποθηκεύει αρκετά προ-τοποθετημένα εργαλεία που μπορούν να κληθούν για χρήση αυτόματα, από το πρόγραμμα του εξαρτήματος. Οι συσκευές αλλαγής εργαλείων είναι συνήθως δύο κατευθύνσεων, πράγμα που επιτρέπει τη μικρότερη απόσταση μετακίνησης για την τυχαία πρόσβαση στο εργαλείο. Ο πραγματικός χρόνος αλλαγής εργαλείων είναι μόνο 3 μέχρι 5 sec.

Η MCU (Machine Control Unit) δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή να εκτελεί μια ποικιλία εργασιών όπως είναι ο προγραμματισμός, η κατεργασία, η διάγνωση, η εποπτεία εργαλείων και μηχανής κλπ. Οι MCU ποικίλουν ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Οι νέες MCU είναι περισσότερο εκλεπτυσμένες, πράγμα που κάνει τις εργαλειομηχανές περισσότερο αξιόπιστες και το σύνολο της μηχανουργικής επεξεργασίας λιγότερο εξαρτώμενο από την ανθρώπινη επιδεξιότητα.

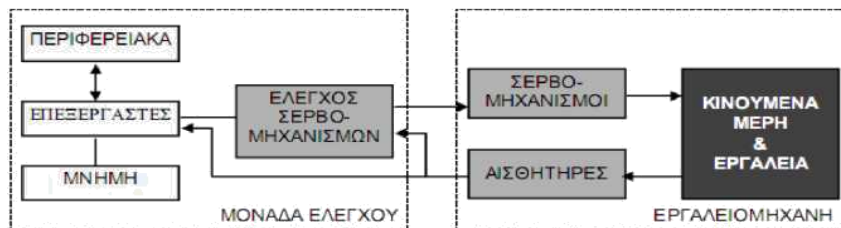
1.9 Αρχή Λειτουργίας

Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου ανάδρασης. Οι τιμές αναφοράς που προέρχονται από το πρόγραμμα συγκρίνονται με τις πραγματικές τιμές που μετρώνται όσο συχνά απαιτείται και η διαφορά τους χρησιμοποιείται για την οδήγηση του συστήματος κίνησης κάθε άξονα ή γενικότερα των πάσης φύσεως ενεργοποιητών (actuators).

Η γενική αρχή λειτουργίας μιας προγραμματιζόμενης εργαλειομηχανής φαίνεται στο σχήμα 4 και 5.



Εικόνα 4: Γενική αρχή λειτουργίας CNC εργαλειομηχανής.



Εικόνα 5: Γενική αρχή λειτουργίας CNC εργαλειομηχανής

Από τη φύση της κατασκευής τους, οι κινητήρες servo έχουν σταθερή ανάδραση θέσης, λόγω της οπτικής παλμογεννήτριας (optical encoder), με την οποία είναι εφοδιασμένοι. Η συγκεκριμένη συσκευή είναι τοποθετημένη στο πίσω μέρος του κινητήρα και κρατά τον ελεγκτή ενημερωμένο για το πόσο πραγματικά έχει περιστραφεί ο άξονας του κινητήρα.

Η ανάδραση θέσης χρησιμοποιείται για να διορθώσει κάθε διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής θέσης. Η σταθερή διορθωτική αυτή διεργασία επιτυγχάνεται σε υψηλές ταχύτητες (μέχρι και τρεις φορές το συνολικό έργο) καθώς και σε περιπτώσεις αυξημένης ισχύος (μέχρι και τρεις φορές τη στρεπτική ροπή) σε υψηλές ταχύτητες. Το σύστημα κλειστού βρόγχου των κινητήρων servo διασφαλίζει επίσης ότι δεν πρόκειται να εμφανιστεί κάποια καθυστέρηση στην κίνηση, εκτός και αν κάποιο αμετακίνητο αντικείμενο εμποδίσει την τροχιά κίνησης.

1.10 Καθορισμός των Αξόνων

Οι άξονες συντεταγμένων και ο τρόπος καθορισμού της θετικής κατεύθυνσης κίνησης για εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου περιγράφονται στο ISO-841 του 1974 και στα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα DIN, BS κλπ. Ορίζεται δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα για τους κύριους άξονες X, Y και Z (βλ. Εικόνα 6).

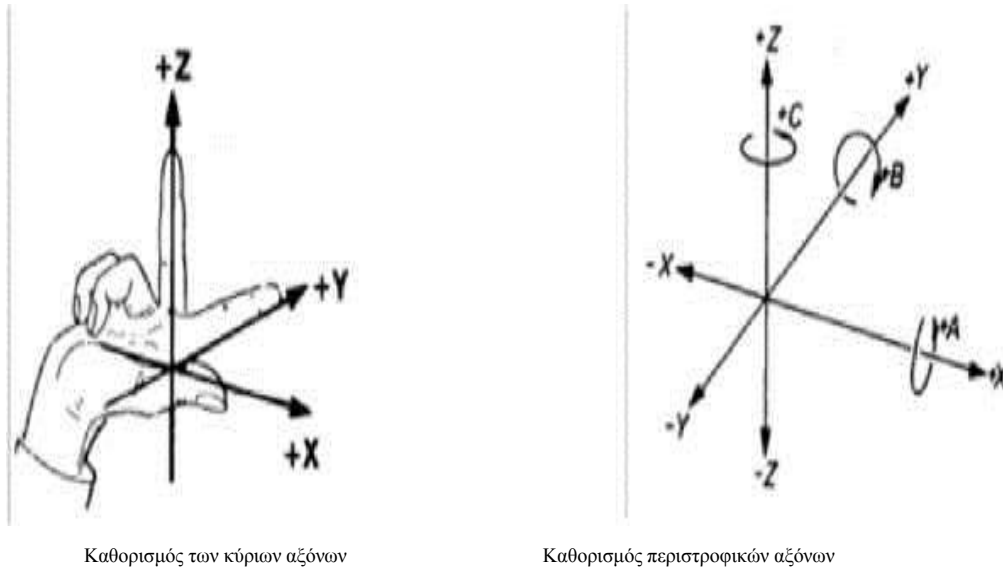
Οι γραμμικοί άξονες μιας εργαλειομηχανής είναι:

- οι κύριοι X, Y, Z,
- οι δευτερεύοντες U, V, W, παράλληλοι προς τις διευθύνσεις X, Y, Z αντίστοιχα.
- οι βοηθητικοί P, Q και R., όχι αναγκαία παράλληλοι προς τις διευθύνσεις X, Y, Z.

Οι άξονες περιστροφής συμβολίζονται με A, B, και C και είναι επίσης παράλληλοι προς τις κύριες καρτεσιανές διευθύνσεις X, Y, Z. Η θετική κατεύθυνση περιστροφής για τους άξονες A, B, και C προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία κοιτώντας προς τη θετική κατεύθυνση των αξόνων X, Y, Z αντίστοιχα.

Ο άξονας R (Reference = αναφορά) συχνά χρησιμοποιείται αντί του Z για να δηλώσει το επίπεδο (αναφοράς) όπου αποσύρεται το εργαλείο φρέζας, τρυπανιού και άλλων συναφών εργαλειομηχανών μετά την ολοκλήρωση μιας φάσης κοπής και πριν την έναρξη της επόμενης και πάνω από το οποίο το εργαλείο είναι δυνατό να κινείται με γρήγορη πρόωση.

Κάποτε συμβαίνει επίσης να χρησιμοποιούνται δείκτες (συνήθως 1 και 2) στους άξονες X, Y. Αυτοί οι άξονες αντιστοιχούν σε γέφυρες μεγάλων εργαλειομηχανών, οι οποίες κινούνται στην κατεύθυνση X ή Y με τη βοήθεια δύο κινητήρων (αξόνων). Παρόλο ότι δεν πρόκειται για διαφορετικούς άξονες, αλλά για συμπληρωματικούς, θεωρήθηκε χρήσιμο να διαχωρίζονται τουλάχιστον με ένα δείκτη.



Καθορισμός των κύριων αξόνων

Καθορισμός περιστροφικών αξόνων

Εικόνα 6: Καθορισμός αξόνων

Για τον καθορισμό θετικής κατεύθυνσης σε κάθε γραμμικό άξονα θεωρείται πάντοτε η σχετική κίνηση του εργαλείου σε σύστημα αναφοράς ακίνητο ως προς το τεμάχιο. Αν στην πραγματικότητα κινείται το τεμάχιο, η κατεύθυνση που καθορίζεται σαν θετική είναι η πραγματική (αντίθετη με την περίπτωση ακίνητου τεμαχίου) αλλά το σύμβολο του αντίστοιχου άξονα ακολουθείται από ένα τόνο, δηλ. $+X'$, $+Y'$ κλπ. Με αυτή τη σύμβαση απαλλάσσεται ο προγραμματιστής από την ανάγκη προσαρμογής του συστήματος συντεταγμένων στην ιδιαίτερη κατασκευή κάθε μηχανής. Οι κανόνες προσανατολισμού του καρτεσιανού συστήματος σε εργαλειομηχανές είναι οι ακόλουθοι :

Για τον άξονα των Z :

- Σε εργαλειομηχανές φρεζαρίσματος ή διάτρησης, η σύμβαση είναι ο Z άξονας να είναι παράλληλος με την άτρακτο και η θετική κατεύθυνση να αντιστοιχεί σε αύξηση της απόστασης τεμαχίου και εργαλείου.
- Γενικά ο άξονας Z είναι κατά μήκος της κύριας άτρακτου (αυτής που διαθέτει την μέγιστη ισχύ). Η άτρακτος μπορεί να περιστρέφει το εργαλείο (όπως σε δρόπανα) ή το τεμάχιο (όπως σε τόνους).
- Εάν δεν υπάρχει άτρακτος, όπως λ.χ. σε πλάνες, ο άξονας Z είναι κάθετος στην επιφάνεια συγκράτησης του τεμαχίου (τραπέζι).

Για τον άξονα των X :

- Ο άξονας X είναι παράλληλος προς την επιφάνεια συγκράτησης και παράλληλος προς τη μακρύτερη από τις κινήσεις της μηχανής. Όπου είναι δυνατό πρέπει να είναι οριζόντιος.
- Σε εργαλειομηχανές με περιστρεφόμενα εργαλεία εάν ο άξονας Z είναι οριζόντιος, η θετική κατεύθυνση X είναι προς τα δεξιά κοιτώντας από την κολώνα προς το τεμάχιο, βλ. Εικόνα 6.

Εάν ο άξονας Z είναι κατακόρυφος η θετική κατεύθυνση του άξονα X είναι προς τα δεξιά κοιτώντας από την άτρακτο προς την κολώνα, βλ. Εικόνα 6 .

1.11 Απόλυτες και Σχετικές Συντεταγμένες

Τα γεωμετρικά δεδομένα ενός τεμαχίου, που πρόκειται να υποστεί κατεργασία, μπορεί να οριστούν με δυο τρόπους. Πρόκειται για τον απόλυτο και το σχετικό τρόπο προσδιορισμού θέσης σημείων στο επίπεδο ή στο χώρο. Και οι δυο τρόποι είναι μεταξύ τους ισότιμοι, με την έννοια ότι, οποίος από τους δυο κι αν χρησιμοποιηθεί, το αποτέλεσμα της περιγραφής της θέσης θα είναι το ίδιο. Στην περίπτωση προσδιορισμού θέσης με τον απόλυτο τρόπο, οι συντεταγμένες κάθε σημείου δίνονται σε σχέση με την αρχή των αξόνων, που έχει ορισθεί. Με τον τρόπο αυτό, κάθε σημείο είναι διαφορετική οντότητα και η περιγραφή του δε σχετίζεται με κανένα άλλο σημείο, εκτός από το μηδενικό (αρχή του συστήματος συντεταγμένων). Έτσι στην ψηφιακή καθοδήγηση υπάρχει η δυνατότητα διακοπής και επανάληψης της κοπής σε κάποια γνωστή θέση, χωρίς να είναι αναγκαία η επανεκτέλεση όλου του προγράμματος.

Στο δεύτερο τρόπο, με τη χρήση δηλαδή των σχετικών συντεταγμένων, η περιγραφή της θέσης ενός σημείου γίνεται πάντα με αναφορά στο προηγούμενο σημείο. Για να μεταφερθεί δηλαδή στη νέα θέση το κοπτικό εργαλείο, πρέπει η κίνηση να γίνει σε σχέση με τη θέση που αυτό βρίσκεται πριν. Η μέθοδος αυτή έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Εάν η κατεργασία διακοπεί, για παράδειγμα, λόγω βλάβης του ηλεκτρικού δικτύου, δεν μπορεί να ξεκινήσει πάλι από την ίδια θέση, αφού αυτή είναι ορισμένη σε σχέση με κάποια προηγούμενη θέση, που δεν είναι πια γνωστή.

Όμως η μέθοδος αυτή έχει άλλες ευκολίες έλεγχου και αντιγραφής, που την κάνουν σε αρκετές περιπτώσεις ελκυστική στους προγραμματιστές.

1.12 Φρεζάρισμα

Το φρεζάρισμα είναι μια κατεργασία αφαίρεσης μεταλλικού υλικού όπου, ανάλογα με τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής στους άξονες περιστροφής του κομματιού και του κοπτικού εργαλείου, μπορούν να παραχθούν πολύπλοκες γεωμετρίες.

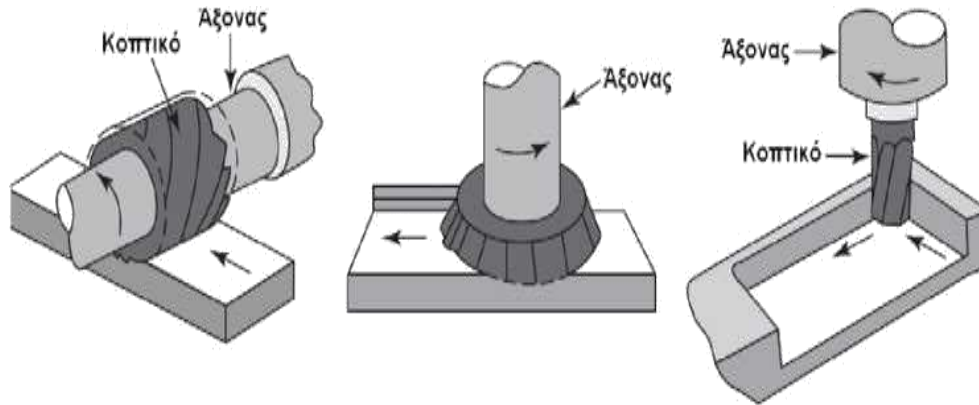
Η κύρια κίνηση δίδεται στο κοπτικό εργαλείο, το οποίο διαθέτει πολλές κύριες κόψεις ή δόντια, ενώ στο κομμάτι δίνεται η κίνηση προώσεως. Η διατομή του αποβλήτου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο κοπής του κάθε δοντιού, καθώς κάθε δόντι δεν κόβει συνεχώς αλλά μόνο όταν έρχεται σε επαφή με το κομμάτι κατά την περιστροφική κίνηση του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 7: Παράδειγμα φρεζαρίσματος

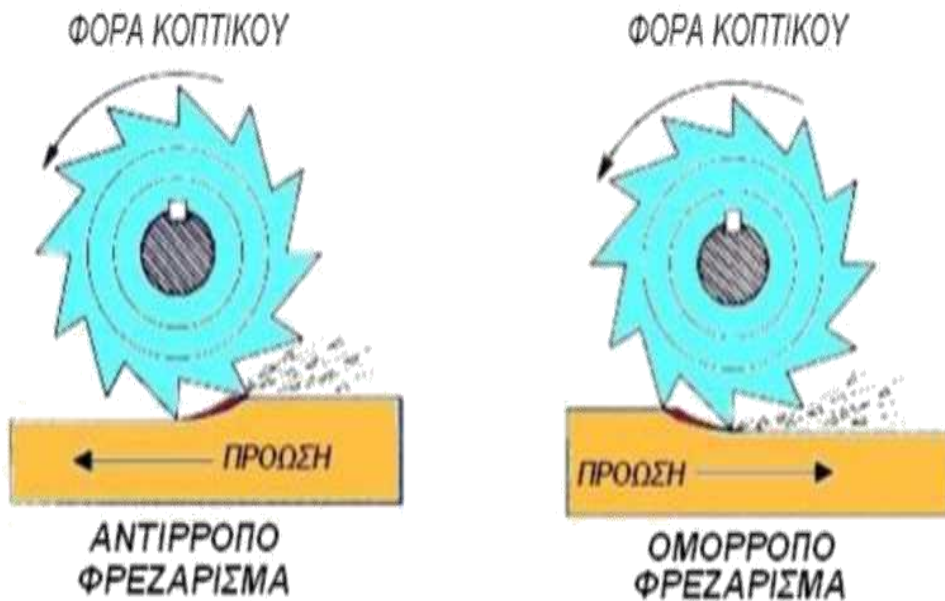
Οι κατεργασίες φρεζαρίσματος διακρίνονται σε περιφερικό, μετωπικό και φρεζάρισμα με κονδύλι. Με το μετωπικό φρεζάρισμα κατεργάζονται επιφάνειες κάθετες προς τον άξονα του κοπτικού εργαλείου, το οποίο διαθέτει δόντια με κόψεις περιφερειακά και μετωπικά.

Με το περιφερικό φρεζάρισμα κατεργάζονται επίπεδες επιφάνειες παράλληλες προς τον άξονα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου, το οποίο διαθέτει δόντια με κόψεις μόνο περιφερειακά. Στο φρεζάρισμα με κονδύλι κατεργάζονται διάφορες επιφάνειες μετωπικές ή περιφερικές, καθώς το κοπτικό εργαλείο διαθέτει τη γεωμετρία του περιφερικού εργαλείου, με κάθετη διεύθυνση προς το κομμάτι, όπως στο μετωπικό φρεζάρισμα.

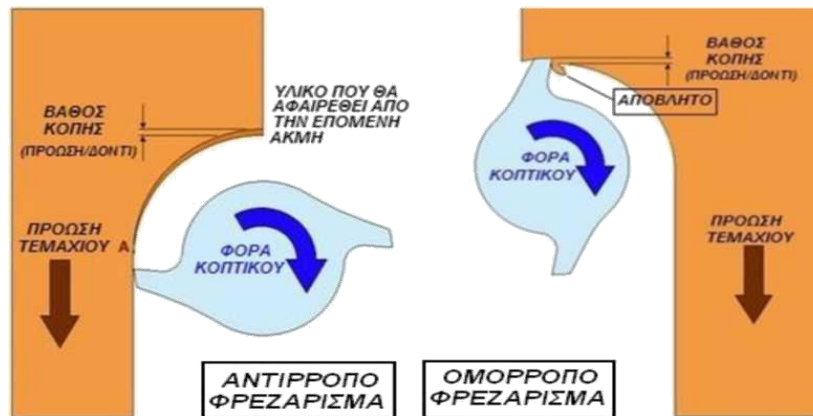


Εικόνα 8: Κατεργασίες φρεζαρίσματος- περιφερικό, μετωπικό και με κονδύλι

Κατά την κατεργασία φρεζαρίσματος η κίνηση προώσεως του κομματιού μπορεί να είναι αντίρροπη ή ομόρροπη προς την κύρια περιστροφική κίνηση του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 9: Πλάγια όψη αντίρροπου και ομόρροπου φρεζαρίσματος



Εικόνα 10: Κάτοψη αντίρροπου και ομόρροπου φρεζαρίσματος

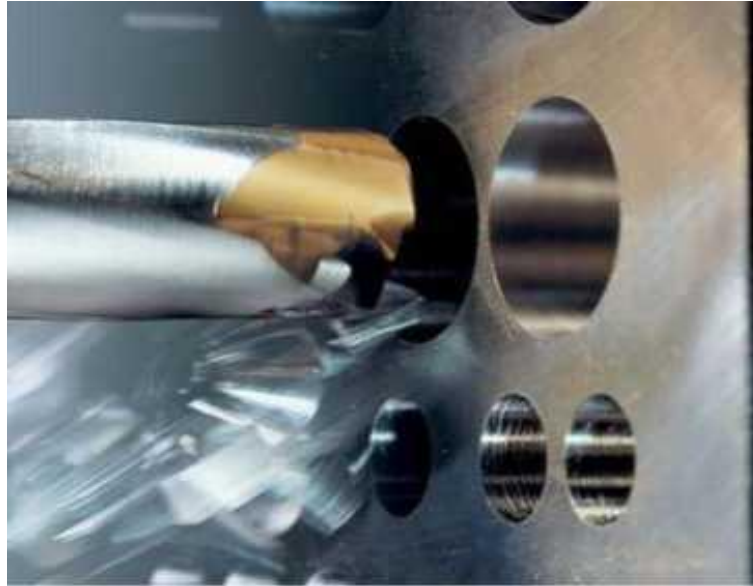
Στο αντίρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο περιστρέφεται αντίθετα από τη διεύθυνση της πρόωσης καθώς το κομμάτι κινείται προς το εργαλείο από τη μεριά όπου τα δόντια κινούνται προς τα πάνω. Το πάχος του αποβλήτου στην αρχή της κοπής του ενός δοντιού είναι το μικρότερο δυνατό και σταδιακά αυξάνεται, όπου στο τέλος της κοπής του ενός δοντιού είναι το μέγιστο. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται από το κατεργαζόμενο τεμάχιο να έχει τραχιά επιφάνεια, ώστε να αυξάνεται η ζωή του εργαλείου, καθώς τα δόντια έρχονται σε επαφή με το κομμάτι κάτω από την επιφάνεια του κομματιού.

Στο ομόρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο περιστρέφεται σύμφωνα με την διεύθυνση της πρόωσης του τεμαχίου προς κατεργασία. Το τεμάχιο έρχεται σε επαφή με το εργαλείο από τη μεριά που τα δόντια κινούνται προς τα κάτω. Το απόβλητο στην αρχή της κοπής του ενός δοντιού είναι το μεγαλύτερο δυνατό και σταδιακά μειώνεται στο ελάχιστο έως το τέλος της κοπής του ενός δοντιού. Το ομόρροπο φρεζάρισμα χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις, γιατί αποδίδει καλύτερες επιφάνειες και μεγαλύτερη ζωή του εργαλείου

1.13 Διάτρηση με Φρέζα

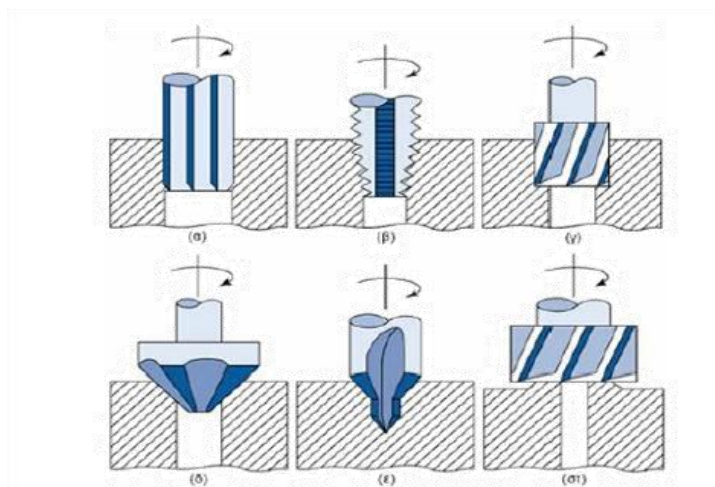
Η διάτρηση είναι μια απλή, γρήγορη και οικονομική μέθοδος για τη διάνοιξη κυλινδρικών οπών ή τη διεύρυνση και μορφοποίηση υπάρχοντων οπών με ελικοειδές κοπτικό εργαλείο. Η κύρια κίνηση και η κίνηση προώσεως δίνεται συνήθως στο κοπτικό εργαλείο.

Πάνω στους έλικες του εργαλείου ρέει το απόβλητο, το πάχος του οποίου είναι ίσο με το μήκος της λωρίδας του εργαλείου που εισχωρεί στο αντικείμενο. Οι κατεργασίες δημιουργίας οπών μπορούν να εκτελεστούν και από τις εργαλειομηχανές τórνευσης. Η επαφή του εργαλείου στο κομμάτι είναι συνεχής έως ότου τελειώσει η κατεργασία, το οποίο σημαίνει σταθερές δυνάμεις και θερμοκρασίες. Για αυτό το λόγο, η διάτρηση είναι παρόμοια με την τórνευση.

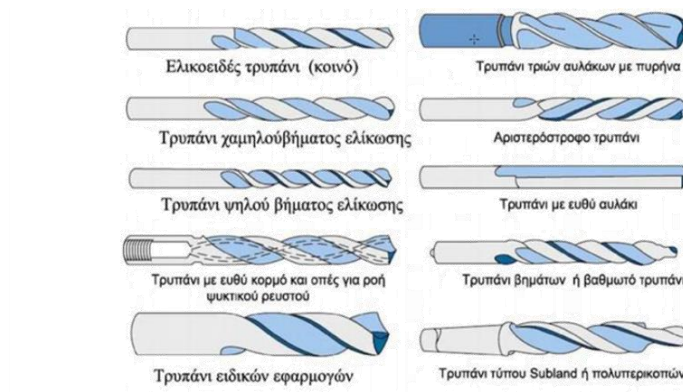


Εικόνα 11: Παράδειγμα διάτρησης

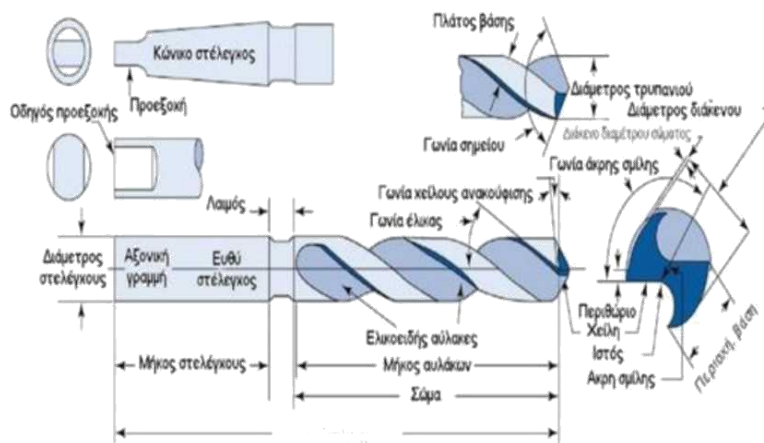
Για τη μορφοποίηση υπαρχόντων οπών χρησιμοποιούνται οι κατεργασίες γλύφανσης, εμβάθυνσης, σπειρώματος, κεντραρίσματος και ισοπέδωσης του άκρου οπής. Η γλύφανση χρησιμοποιείται για την αύξηση της διαμέτρου μιας οπής, αποδίδοντας λεία τελική εσωτερική επιφάνεια. Η σπειροτόμηση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εσωτερικού σπειρώματος στην οπή. Με την βύθιση παράγεται μεγαλύτερη διάμετρος στην αρχή της οπής, για την τοποθέτηση της κεφαλής του κοχλία. Παραλλαγή της κατεργασίας βύθισης είναι η βύθιση με γωνία, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή απαιτούμενων κλίσεων για την τοποθέτηση γωνιακών κεφαλών κοχλία. Το κεντράρισμα χρησιμοποιείται πριν την κατασκευή της οπής, δημιουργώντας ένα σημείο ώστε το εργαλείο να κεντραριστεί. Η ισοπέδωση του άκρου της οπής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία επίπεδης επιφάνειας πάνω από την οπή.



Εικόνα 12: Κατεργασίες διάτρησης-(α) γλύνανση, (β) σπειροτόμηση, (γ) βύθιση, (δ) βύθιση με γωνία, (ε) κεντράρισμα, (στ) ισοπέδωση του άκρου οπής.



Εικόνα 13: Τύποι τρυπανιών



Εικόνα 14: Χαρακτηριστικά στοιχεία ελικοειδούς τρυπανιού

1.14 Υγρή / Ξηρή Κατεργασία

Η επιλογή για Υγρή ή Ξηρή Κατεργασία, δηλαδή για χρήση ή όχι ψυκτικού και λιπαντικού υγρού κατά την κατεργασία, δεν ετίθετο καν ως ερώτημα λίγες δεκαετίες πριν. Τα οφέλη της χρήσης του και από την άλλη μεριά τα προβλήματα της απουσίας του δεν μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με άλλο τρόπο. Σήμερα όμως, ειδικά με τις κοπές υψηλής ταχύτητας, η χρήση του ψυκτικού μέσου είναι συζητήσιμη και σε πολλές περιπτώσεις απαγορευτική. Παράλληλα, έχει παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια και η «σχεδόν ξηρή» κατεργασία, που συνδυάζει πλεονεκτήματα και από τα δύο είδη κατεργασίας, χρησιμοποιώντας την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα λιπαντικού. Για να γίνουν πιο κατανοητές καλύτερα οι συνθήκες κατά τις οποίες μπορεί να υπάρξει υγρή ή ξηρή κοπή, είναι καλό να αναλυθούν και οι δύο τρόποι.

1.15 Κατεργασία με υγρά κοπής

Οι βασικές λειτουργίες του ψυκτικού υγρού κατά την κοπή μετάλλων είναι κυρίως να προσφέρει ψύξη και λίπανση στις επιφάνειες κατεργασίας (κυρίως του εργαλείου) και δευτερευόντως να απομακρύνει τα απόβλητα. Έτσι επηρεάζει άμεσα τις συνθήκες τριβής, τη θερμοκρασία και τις τάσεις, άρα τον χρόνο ζωής του εργαλείου και την ποιότητα της επιφανείας του τεμαχίου. Ο όρος που χρησιμοποιείται είναι υγρά κοπής μετάλλου (Metal Working Fluids - MWF).

Μέχρι τον 19^ο αιώνα, το νερό αποτελούσε το μόνο ψυκτικό μέσο, αλλά εγκαταλείφθηκε σταδιακά, γιατί παρόλο που είχε εξαιρετική θερμική χωρητικότητα και ήταν ευκόλως διαθέσιμο, δημιουργούσε γρήγορα φθορά και διάβρωση στα εργαλεία ενώ παράλληλα δεν προσέφερε ικανοποιητική λίπανση. Παρόλα αυτά, έδινε τη δυνατότητα να αυξηθεί η ταχύτητα κοπής κατά 30-40%. Τα ορυκτέλαια χρησιμοποιήθηκαν από την αρχή του 20^{ου} αιώνα και μέχρι σήμερα, ελάχιστα έχει αλλάξει η δομή τους, με εισαγωγή προσθέτων και παραγωγή συνθετικών.

Η σημασία τους στις κατεργασίες κοπής είναι αδιαμφισβήτητη, όμως αυτό δε σημαίνει ότι είναι πάντοτε σωστό να «πλημμυρίζει» η επιφάνεια κατεργασίας με λιπαντικό, ανεξαρτήτως των συνθηκών κοπής ή της κατεργασίας.

Έτσι σπαταλούνται μεγάλες ποσότητες λιπαντικών, τα οποία ούτε ιδιαιτέρως φθηνά είναι, ούτε χωρίς άλλα προβλήματα που θα αναλυθούν παρακάτω.

Το κόστος του όλου συστήματος λίπανσης αλλά και η συντήρηση του δεν είναι διόλου άνευ σημασίας. Υπολογίζεται ότι κοστίζει 15-20% της όλης κατεργασίας (έρευνα που έγινε στην Mazda υπολόγισε ότι το κόστος ψύξης και λίπανσης κατά την κατεργασία φτάνει μέχρι και το 30%), ενώ ο καθαρισμός του λιπαντικού μετά τη χρήση δεν είναι πάντοτε αποτελεσματικός, εξαιτίας της συνεχόμενης μείωσης του μεγέθους των αποβλήτων (φτάνουν μέχρι και το μm , μέγεθος που δεν κρατάει κανένα φίλτρο), μετά από κάθε επαναχρησιμοποίηση. Το αποτέλεσμα είναι είτε να ανανεώνεται συχνότερα το υγρό κοπής (αύξηση του κόστους) είτε τα απόβλητα αυτά να επηρεάζουν την ακρίβεια της κοπής (μείωση ποιότητας).

Τα ορυκτέλαια αυτά μετά τις κατεργασίες, είναι άκρως βλαβερά για το περιβάλλον αλλά και τους εργάτες που έρχονται σε επαφή μαζί τους. Με την οικολογική συνείδηση συνεχώς να μεγαλώνει, το πρόβλημα διαχείρισης των τοξικών αποβλήτων ίσως είναι και το πλέον σημαντικό πρόβλημα και έχει και οικονομικό αντίκτυπο, εφόσον πλέον όποιος ρυπαίνει, πληρώνει.

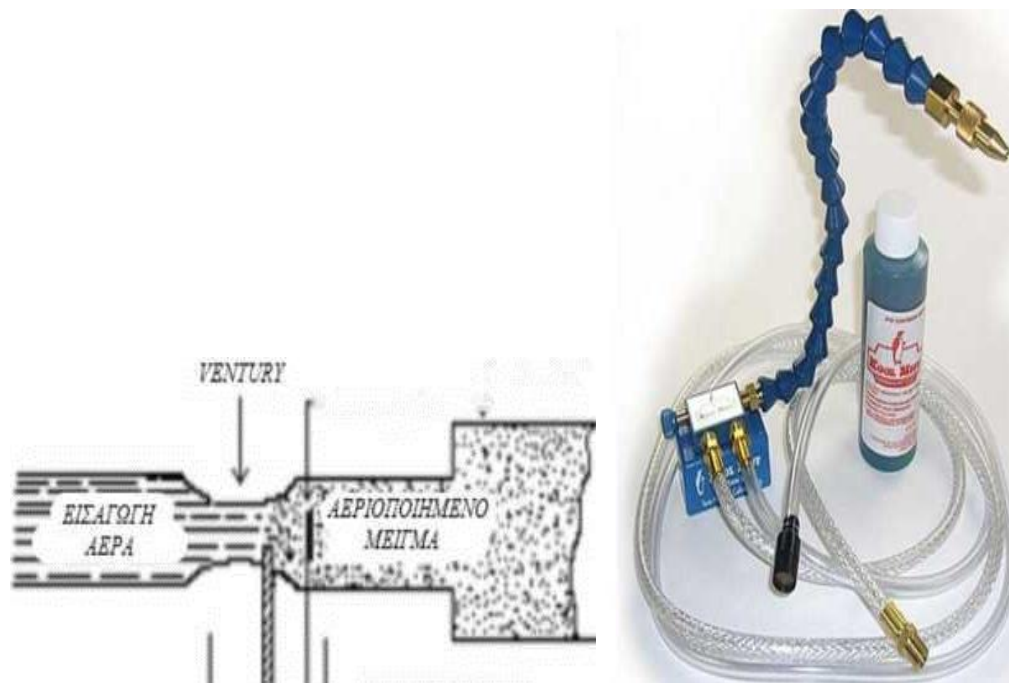
Και όταν η κατανάλωση υγρών κοπής στην Αμερική σε ετήσια βάση ξεπερνάει τα 400.000.000 λίτρα, γίνεται αντιληπτό το μέγεθος της οικολογικής καταστροφής, ενώ οι εργάτες που έρχονται καθημερινά σε επαφή με αυτά ξεπερνούν το ένα εκατομμύριο.

Το ψυκτικό υγρό προσφέρει πολύ καλύτερες συνθήκες κατά την κοπή, αλλά κυρίως για τις χαμηλές ταχύτητες κοπής. Μετά τα 100m/min, η λίπανση και η ψύξη δεν είναι πλέον το ίδιο αποτελεσματική ενώ για ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες (σε αυτές που αναφέρονται οι κοπές υψηλής ταχύτητας), η αποτελεσματικότητα των υγρών κοπής είναι αμφισβητήσιμη και καθορίζεται από τις συνθήκες κοπής. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την κοπή μετάλλου και ιδιαίτερα στις υψηλές ταχύτητες, η επαφή αποβλήτου και εργαλείου στην επιφάνεια αποβλήτου φτάνει το 100%, με αποτέλεσμα το υγρό να μην μπορεί να εισχωρήσει ανάμεσα στις δύο επιφάνειες.

Είναι βέβαια προφανές, ότι παρόλα τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα υγρά κοπής, σε πολλές κατεργασίες δεν έχει βρεθεί ακόμη τρόπος να αντικατασταθούν χωρίς να προκύψουν σημαντικότερα προβλήματα. Γιατί ο χρόνος ζωής του εργαλείου, ειδικά κατά τις κοπές μεσαίων ταχυτήτων θα μειωνόταν δραστικά χωρίς λιπαντικό.

Γι' αυτό η ροή του υγρού κοπής κατά την κατεργασία πιθανόν δεν πρόκειται ποτέ να εγκαταλειφθεί. Κατεργασία χωρίς λιπαντικό είναι σήμερα εφαρμόσιμη σε κατεργασίες υψηλής ταχύτητας και είναι πολλά υποσχόμενη για κατεργασίες με γεωμετρικά καθορισμένο κοπτικό εργαλείο.

Ακόμα το ζήτημα της ψύξης αντιμετωπίζεται με αεριοποιημένο μείγμα λιπαντικού μέσου (χαμηλής περιεκτικότητας) που ψεκάζεται στην επιφάνεια κοπής με χρήση διάταξης πεπιεσμένου αέρα και αξιοποίηση του φαινομένου Venturi (Mist Cooling).



Εικόνα 15: Σύστημα αεριοποιημένου μείγματος λιπαντικού

1.16 Κατεργασία Χωρίς Υγρό Κοπής (Dry Machining)

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι η ξηρή κοπή είναι δυνατή και αξιόπιστη μόνο για κοπή με υψηλές ταχύτητες, καθώς η συγκέντρωση θερμικών φορτίων θα ήταν μη αντιμετωπίσιμη, αφού στις υψηλές ταχύτητες, η επαφή εργαλείου και τεμαχίου ελαχιστοποιείται. Κατά την ξηρή κατεργασία, είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν επαρκώς οι λειτουργίες που προσφέρει το υγρό κοπής, δηλαδή η ψύξη, η λίπανση και η απομάκρυνση των αποβλήτων. Οι θερμικές καταπονήσεις και η συσσώρευση των αποβλήτων μπορούν να αντιμετωπιστούν με διάφορους τρόπους και επιλογές.

Κατεργαζόμενο Τεμάχιο: Τα χαρακτηριστικά και το υλικό του, καθορίζουν αρχικά αν μπορεί να υποστεί κατεργασία υψηλής ταχύτητας χωρίς υγρό κοπής.

Η επιθυμητή ποιότητα επίσης είναι σημαντική καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι πολύ υψηλές και έτσι, παρόλο που η πλαστική παραμόρφωση του τεμαχίου εννοεί την ευκολία της κοπής, η ποιότητα της επιφάνειας του τεμαχίου χειροτερεύει. Σκοπός λοιπόν είναι να μεταφέρεται όσο το δυνατόν λιγότερη θερμότητα στο τεμάχιο ή τουλάχιστον να μην μένει συγκεντρωμένη στην επιφάνεια αυτού. Γι 'αυτό είναι λογικό να προτιμάται η ξηρή κοπή σε κομμάτια με καλή θερμική αγωγιμότητα και με μεγάλη μάζα για την ευκολότερη απαγωγή της θερμότητας.

Κοπτικό Εργαλείο: Αυτό οφείλει να έχει τη βέλτιστη γεωμετρική για τη μείωση της δύναμης κοπής (και άρα της θερμοκρασίας) με την αύξηση των γωνιών ελευθερίας και για την καλύτερη απομάκρυνση του αποβλήτου.

Η απομάκρυνση αυτή διευκολύνεται όταν το απόβλητο είναι διακοπτόμενο και άρα συμφέρει η γωνία αποβλήτου να είναι αρνητική και να «σπάει» το απόβλητο.

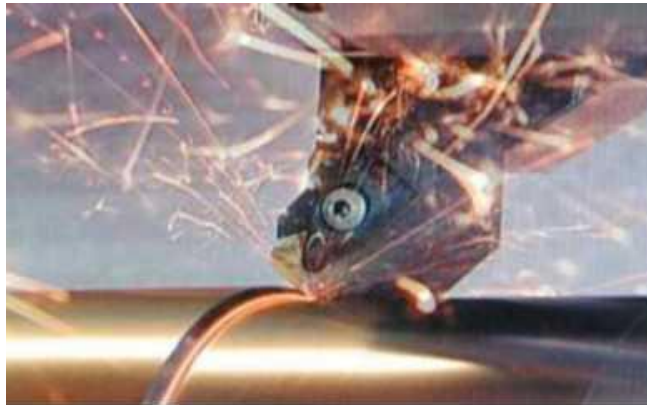
Η ξηρή κοπή απαιτεί επίσης κοπτικά εργαλεία με όσο το δυνατό μεγαλύτερη σκληρότητα και θερμική αντοχή. Έτσι τα καρβίδια, τα κεραμικά και το διαμάντι αποτελούν τα μόνα υλικά κατασκευής εργαλείων για τις υψηλές ταχύτητες κοπής. Ειδικά το διαμάντι, είτε ως υλικό κατασκευής είτε ως υλικό επικάλυψης είναι το πλέον ενδεδειγμένο, αφού προσφέρει τη μικρότερη τριβή και την καλύτερη αντοχή.

Εργαλειομηχανή: Το κυριότερο που μπορούν να προσφέρουν οι μηχανισμοί μιας εργαλειομηχανής είναι ένα σύστημα απομάκρυνσης αποβλήτων, με ειδική διαμόρφωση του θαλάμου κοπής (καλό θα ήταν να διατηρείται ο χώρος της κοπής υπό πίεση) και πρωτίστως με σύστημα ψεκασμού αέρα υψηλής πίεσης (flush-fine machining) στο σημείο κοπής.

Συνθήκες Κοπής: Εκτός της ταχύτητας κοπής, είναι σημαντικό επίσης να χρησιμοποιούνται υψηλές ταχύτητες πρόωσης και μεγάλο βάθος κοπής, καθώς παρόλο που αυξάνουν τη θερμοκρασία κατεργασίας, μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας απάγεται από τα μεγάλα μεγέθους απόβλητα και έτσι μένει λιγότερη θερμοκρασία στην κατεργασμένη επιφάνεια, βελτιώνοντας την ποιότητα της τελικής επιφάνειας.

Το είδος της κατεργασίας επίσης καθορίζει το κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοπή υψηλής ταχύτητας χωρίς υγρό κοπής. Για τις κατεργασίες τόννευσης και φρεζαρίσματος το κυριότερο πρόβλημα εντοπίζεται στα υπερ-κράματα ενώ όλα τα υπόλοιπα υλικά έχουν τη δυνατότητα να κατεργαστούν.

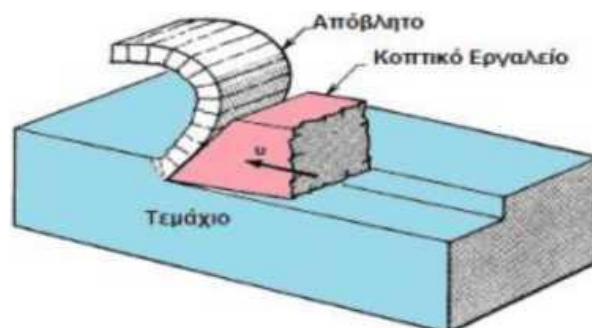
Η επιλογή των καταλλήλων συνθηκών κοπής δεν είναι καθόλου εύκολη και όλοι οι παραπάνω παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο.



Εικόνα 16: Ξηρή κοπή τεμαχίου χάλυβα με εργαλείο σκληρομετάλλου

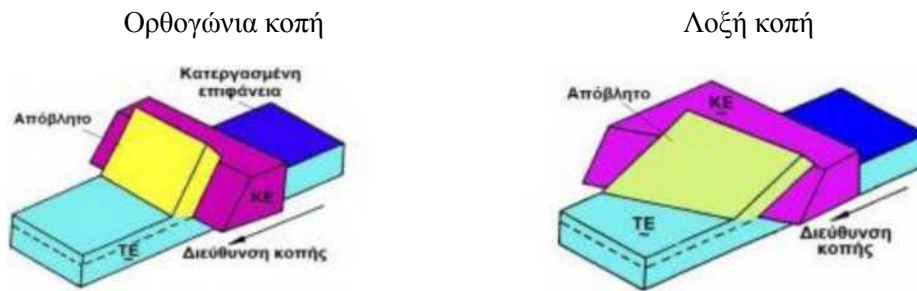
1.17 Κοπτικά Εργαλεία και Υλικά για Επιτραπέζιο Φρεζάρισμα

Κοπή: Οι βασικοί συντελεστές κατά την κοπή είναι το κατεργαζόμενο τεμάχιο, το κοπτικό εργαλείο και το απόβλητο. Η κίνηση του κοπτικού εργαλείου (η οποία προσομοιάζεται με σφήνα) ως προς το τεμάχιο σε συγκεκριμένη κατεύθυνση (διεύθυνση κοπής) με ταχύτητα v προκαλεί τον σχηματισμό αποβλήτου, λόγω της ισχυρής πλαστικής παραμόρφωσης του τεμαχίου.



Εικόνα 17: Κίνηση κοπτικού εργαλείου και σχηματισμός αποβλήτου

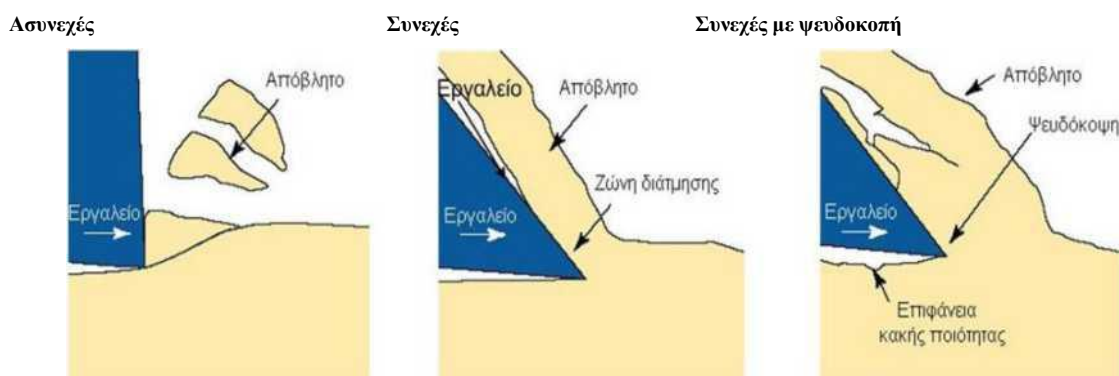
Ανάλογα με την μορφή της ακμής του κοπτικού εργαλείου μπορούμε να έχουμε είτε ορθογώνια, είτε λοξή κοπή



Εικόνα 18: Τύποι κοπής

Απόβλητο: Οι συνθήκες κοπής μετάλλων περιλαμβάνουν τρεις σημαντικές μεταβλητές, το ρυθμό αφαίρεσης υλικού, τη ζωή του εργαλείου και την τελική επιφάνεια. Οι επιλογές στις συνθήκες κοπής πρέπει να εξισορροπούν αυτές τις τρεις μεταβλητές και να εξασφαλίζουν το ελάχιστο κόστος, το μέγιστο ρυθμό παραγωγής και την καλύτερη επιθυμητή τελική επιφάνεια ανάλογα με την κατεργασία.

Η μελέτη του αποβλήτου δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για το φαινόμενο της κοπής. Το απόβλητο σχηματίζεται σε διάφορα μεγέθη και παίρνει ποικίλες μορφές, ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας. Τα βασικά είδη του αποβλήτου είναι το ασυνεχές, το συνεχές και το συνεχές με ψευδόκοψη.



Εικόνα 19: Βασικά είδη αποβλήτου

Κατά το σχηματισμό του ασυνεχούς αποβλήτου το μέταλλο θραύεται περιοδικά και το απόβλητο τεμαχίζεται. Το ασυνεχές απόβλητο παρουσιάζεται συνήθως στην κατεργασία ψαθυρών μετάλλων, όπως είναι ο χυτοσίδηρος, γενικά σε χαμηλές ταχύτητες κοπής και σε μεγάλες προώσεις. Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης απομάκρυνσης, όμως χειροτερεύει η τραχύτητα της επιφάνειας.

Κατά το σχηματισμό του συνεχούς αποβλήτου το μέταλλο υφίσταται συνεχή πλαστική παραμόρφωση σε διάτμηση και το απόβλητο έχει τη μορφή ταινίας, η οποία κινείται πάνω στην επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου. Το συνεχές απόβλητο δημιουργείται κατά την κοπή όλκιμων μετάλλων και κραμάτων, κυρίως σε υψηλές ταχύτητες κοπής. Η ύπαρξη συνεχούς αποβλήτου σχετίζεται με ευνοϊκές συνθήκες κοπής και οδηγεί σε καλύτερης ποιότητας επιφάνεια, όμως το μήκος του αποβλήτου μπορεί να είναι τόσο μεγάλο, ώστε να δυσχεραίνει την απομάκρυνσή του. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση γρεζοθραύστη, ο οποίος αναγκάζει τη θραύση του αποβλήτου.

Η παραγωγή του συνεχούς αποβλήτου με ψευδόκοψη σχηματίζεται όπως και το συνεχές απόβλητο, με τη διαφορά ότι ένα σώμα από ισχυρά παραμορφωμένο και σκληρυμένο μέταλλο, προσκολλάται πάνω στο κοπτικό εργαλείο, δημιουργώντας την ψευδόκοψη.

Η κοπή πραγματοποιείται με το προσκολλημένο υλικό και όχι με την επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου, έχοντας σαν αποτέλεσμα, τη χειροτέρευση της τραχύτητας της επιφάνειας του κομματιού, μείωση της ζωής του εργαλείου κοπής και επίδραση στη διαστατική ακρίβεια του κομματιού. Ο σχηματισμός της ψευδόκοπης αποδίδεται στο συνδυασμό των τάσεων και των συνθηκών τριβής και θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια αποβλήτου και κοπτικού εργαλείου. Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να αυξηθεί η ταχύτητα κοπής, το οποίο συνεπάγεται και αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 20 :Είδη αποβλήτου ανάλογα με την ταχύτητα προώσεως και του βάθους κοπής

1.18 Βασικά Στοιχεία Μηχανικής Κατά το Φρεζάρισμα

Πρόωση κοπής: Είναι η απόσταση την οποία διανύει το κοπτικό εργαλείο, ή το υπό κατεργασία τεμάχιο (μετατόπιση τραπέζης εργαλειομηχανής), κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής της κυρίας ατράκτου της εργαλειομηχανής (Spindle) μαζί με εργαλειομηχανή, μετρούμενη σε ίντσες ανά περιστροφή (IPR) ή mm ανά περιστροφή (mm/rev). Σε μερικές περιπτώσεις η εργαλειομηχανή διεισδύει (Feeds) εντός του υπό κατεργασία τεμαχίου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις το υπό κατεργασία τεμάχιο διεισδύει εντός του κοπτικού εργαλείου. Για ένα πολύφτερο κοπτικό εργαλείο (Multipoint tool), η πρόωση κοπής ισούται με τη πρόωση ανά δόντι (Feed Per Tooth) [f_z], μετρούμενη σε ίντσες ανά δόντι (IPT) ή mm/δόντι, πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των οδόντων του κοπτικού εργαλείου.

Ταχύτητα κοπής: Είναι η ταχύτητα του κοπτικού εργαλείου, κατά τη διάρκεια της κοπτικής διαδικασίας, αναγόμενη στην κοπτική ακμή του κοπτικού εργαλείου.

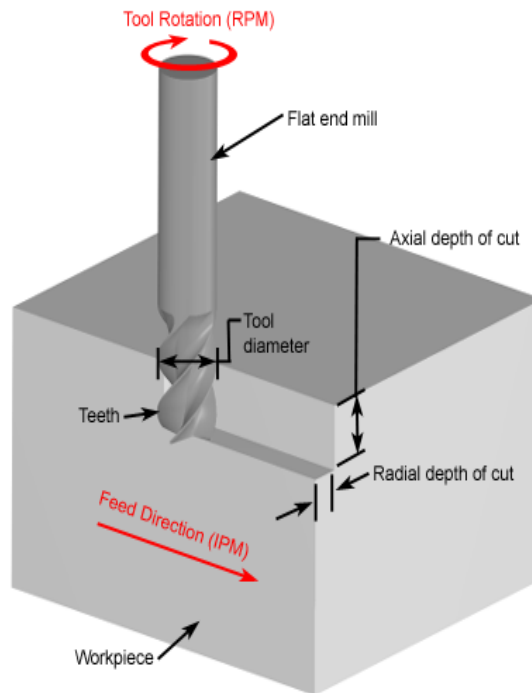
Μετριέται σε πρόωση επιφανείας ανά λεπτό (Surface Feed Per Minute - SFM) ή σε m/min.

Ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου: Είναι η περιστροφική ταχύτητα του άξονα της εργαλειομηχανής και συνάμα του κοπτικού εργαλείου, μετρούμενη σε περιστροφές ανά λεπτό (Revolutions Per Minute) (RPM).

Ρυθμός πρόωσης (feed rate): Είναι η σχετική, στο υπό κατεργασία τεμάχιο, ταχύτητα κοπής του κοπτικού εργαλείου κατά τη διάρκεια της κοπτικής διαδικασίας. Ο ρυθμός πρόωσης μετριέται σε ίντσες ανά λεπτό (IPM) ή mm/min και είναι «προϊόν» της πρόωσης κοπής (IPR) και της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου (RPM).

Αξονικό βάθος κοπής (Axial depth of cut): Είναι το βάθος κοπής του κοπτικού εργαλείου στο υπό κατεργασία τεμάχιο, κατά τη διάρκεια της κοπής. Το βάθος κοπής μετράται κατά μήκος του άξονα του κοπτικού εργαλείου. Τα μεγάλα αξονικά βάθη απαιτούν χαμηλό ρυθμό πρόωσης, διαφορετικά μεταφέρονται στην εργαλειομηχανή υψηλά φορτία, κάτι το οποίο μειώνει τη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου.

Για να αποφευχθούν αυτά τα φορτία, η κατεργασία διεξάγεται σε διαφορετικά περάσματα (πάσα). Σε αυτή την περίπτωση το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται σε διακριτά και καθορισμένα βάθη κοπής ανά πάσο.



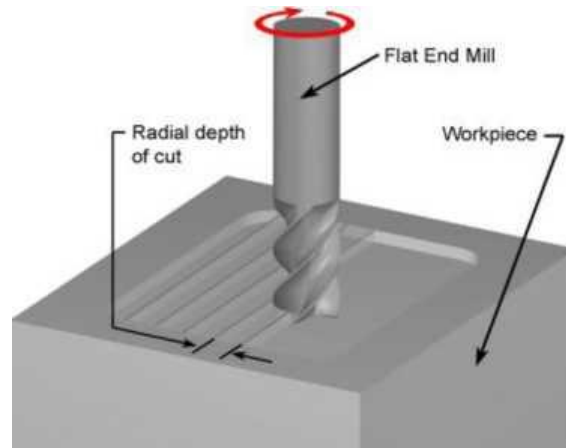
Copyright © 2008 CustomPartNet

Εικόνα 21: Αξονικό βάθος κοπής

Ακτινικό βάθος κοπής (axial depth cut): Είναι το βάθος κοπής κατά μήκος της ακτίνας του κοπτικού εργαλείου στο υπό κατεργασία τεμάχιο. Εάν το ακτινικό βάθος κοπής είναι μικρότερο από την ακτίνα του κοπτικού εργαλείου, τότε κόβει τμηματικά και διεξάγει περιφερικό φρεζάρισμα. Εάν το ακτινικό βάθος κοπής ισούται με τη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου, τότε εισχωρεί πλήρως στο υπό κατεργασία τεμάχιο και δημιουργεί θυλάκια (Slots).

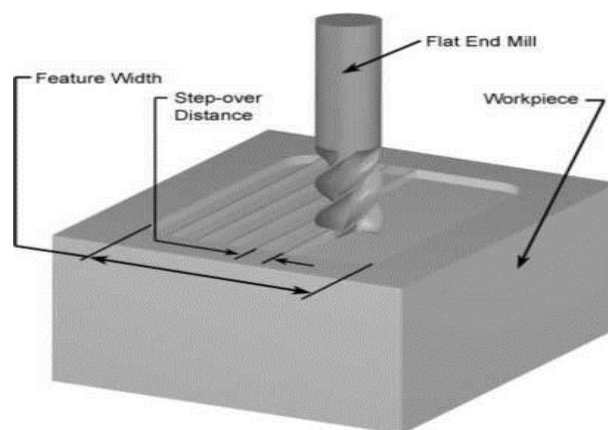
Τα μεγάλα ακτινικά βάθη κοπής απαιτούν χαμηλούς ρυθμούς πρόωσης, διαφορετικά το κοπτικό εργαλείο θα καταπονηθεί με υψηλά φορτία και θα μειωθεί ο χρόνος ζωής του.

Για το λόγο αυτό, η κατεργασία εξελίσσεται σε διάφορα στάδια, όσο το κοπτικό εργαλείο κινείται εντός της απόστασης Step-Over και διεισδύει στο επιθυμητό ακτινικό βάθος κοπής.



Εικόνα 22: Ακτινικό βάθος κοπής

Απόσταση διαδοχικού βηματισμού (step over distance): Η κατεργασία με φρεζάρισμα μιας γεωμετρίας, η οποία είναι μεγαλύτερης έκτασης από το πλάτος του κοπτικού εργαλείου, θα πρέπει να διεξαχθούν διαδοχικές κοπές, οι οποίες εκτελούνται βαθμιδωτά και διαδοχικά η μια μετά την άλλη, με τρόπο τέτοιο που μοιάζει με διαδοχικούς βηματισμούς του κοπτικού. Η απόσταση διαδοχικού βηματισμού (Step-Over) είναι ταυτόσημη με το ακτινικό βάθος κοπής κάθε πάσου και πρέπει να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της διαμέτρου του κοπτικού.



Εικόνα 23: Απόσταση διαδοχικού βηματισμού

1.19 Κατηγορίες Φρεζαρίσματος, Κοπτικών Εργαλείων και Επιλογή Κατά το Επιτραπέζιο Φρεζάρισμα

Κατηγορίες Φρεζαρίσματος (milling): Το φρεζάρισμα ως κατεργασία διαχωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

Γενικό φρεζάρισμα (General Machining): Είναι μια στρατηγική φρεζαρίσματος για γενική χρήση. Το πλάτος κοπής (a_e) και το βάθος κοπής (a_p) μπορούν να διαφέρουν σε κάθε περίπτωση. Τα εργαλεία στην εν λόγω στρατηγική φρεζαρίσματος έχουν συνήθως μεγάλα μήκη κοπής (Long Cutting Lengths) και μικρού πάχους διαμέτρους στα άκρα τους (Core Diameters). Δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις στις ανοχές (Tolerances). Στην εν λόγω στρατηγική φρεζαρίσματος, η χρήση των βασικών στοιχείων της τεχνολογίας CNC δεν καθιστά εφικτές προχωρημένες μεθόδους κατεργασίας. Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της μεθόδου λαμβάνονται από τον βαθμό αποβολής υλικού Q (cm^3 / min). Το εύρος εφαρμογής της εν λόγω κατηγορίας περιλαμβάνει μικρές παραγωγές (Small Batch Sizes) σε ευρύ πεδίο υλικών.

Φρεζάρισμα υψηλών ταχυτήτων (High Speed Precision Machining): Είναι μια στρατηγική φρεζαρίσματος που συνδυάζει μικρά ακτινωτά βάθη κοπής (Small Radial Depth Of Cut) με υψηλές ταχύτητες κοπής και πρόωσης της τράπεζας της εργαλειομηχανής (Table Feed). Ανάλογα με τη μέθοδο, μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί βαθμοί αποβολής υλικού και χαμηλές τιμές τραχύτητας R_a . Τυπικά χαρακτηριστικά της εν λόγω στρατηγικής είναι οι μικρές δυνάμεις κοπής που εμφανίζονται, η μειωμένη παραγωγή θερμότητας στο τεμάχιο και το κοπτικό εργαλείο, μικρότερη ανάγκη για γλύφανση (Burr Formation) και υψηλή διαστασιολογική ακρίβεια στο τεμάχιο.

Με τη μέθοδο HSM (High Speed Machining) μπορεί να επιτευχθεί υψηλός ρυθμός αποβολής υλικού και αποπεράτωση της επιφάνειας με τη χρήση πολύ υψηλότερων ταχυτήτων κοπής από αυτές που εμφανίζονται στο γενικό φρεζάρισμα (General Machining). Τα εργαλεία είναι πολύ ευσταθή, έχουν μεγάλο πάχος διάμετρο στα άκρα τους και μικρά μήκη κοπής, περιλαμβάνουν κατάλληλα διαμορφωμένο και ευκρινή χώρο για την εξαγωγή του αποβλήτου για την εύκολη απομάκρυνσή του και μπορεί να φέρουν επικάλυψη (π.χ. επικάλυψη κοβαλτίου, που προσδίδει βελτιωμένη αντοχή σε φθορά λόγω των υψηλών ταχυτήτων κοπής).

Πεδίο εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου φρεζαρίσματος είναι η βιομηχανία ταχείας κατασκευής καλουπιών/χυτών για προ-αποπερατωμένες (PreFinishing) και αποπερατωμένες (Finishing) κατεργασίες σε σκληρυμένο χάλυβα (7862 HRc). Η τεχνική αυτή μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στις περισσότερες κατηγορίες υλικών όταν χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο εργαλείο και προχωρημένες μέθοδοι κατεργασίας.

Φρεζάρισμα υψηλών αποδόσεων (High Performance Machining): Στην εν λόγω στρατηγική φρεζαρίσματος επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί βαθμοί αποβολής υλικού. Τυπικό χαρακτηριστικό της εν λόγω κατεργασίας είναι ότι το πλάτος κοπής (a_e) αντιστοιχεί μια φορά στη διάμετρο κοπής (D_c) και το βάθος κοπής από 1 μέχρι 1,5 φορές στη D_c αναφορικά με το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Με τη μέθοδο HPM (High Performance Machining) επιτυγχάνεται ιδιαίτερα υψηλός ρυθμός αποβολής υλικού εφαρμόζοντας πολύ υψηλότερες φορτίσεις στο απόβλητο (Chip Load) από ότι στο γενικό φρεζάρισμα (General Machining). Τα κοπτικά έχουν ειδικές διαμορφώσεις στους αύλακες τους για την απομάκρυνση του αποβλήτου. Στις αιχμές τους έχουν προστατευτικές επιφάνειες 45° ή προστατευτικά γωνιακά ράδια (Corner Radius), δηλαδή έχουν έναν ειδικά λείο διαμορφωμένο χώρο για το απόβλητο και την επικάλυψη που επιδέχονται. Πεδίο εφαρμογής της εν λόγω κατηγορίας είναι οι κατεργασίες σε περιβάλλοντα μαζικής παραγωγής στα οποία ο χρόνος παραγωγής/παράδοσης των τεμαχίων είναι πολύ μεγάλης σημασίας ή σε παραγωγή ξεχωριστών προϊόντων στα οποία απαιτείται υψηλός βαθμός αποβολής υλικού Q (cm^3 / min).

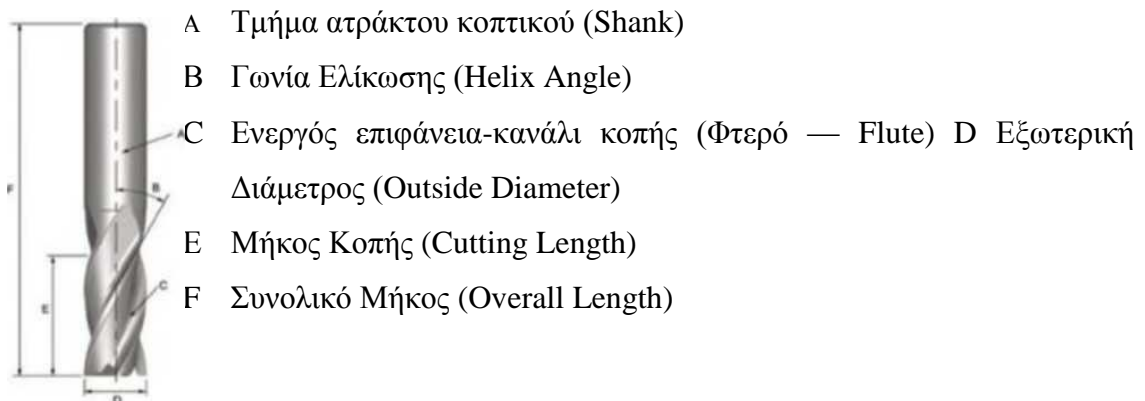
Φρεζάρισμα υψηλών προώσεων (High Feed Machining): Στην εν λόγω στρατηγική φρεζαρίσματος μπορούν να επιτευχθούν υψηλές τιμές προώσεως με πλήρη σύμπλεξη της διαμέτρου του κοπτικού εργαλείου (a_e) σε συνδυασμό με μικρά βάθη κοπής (a_p). Με τη χρήση της τεχνολογίας HFM (High Feed Machining) επιτυγχάνεται υψηλός ρυθμός αποβολής υλικού και αποπεράτωση επιφανειών με πολύ υψηλότερες προώσεις τραπέζης συγκριτικά με αυτές του γενικού φρεζαρίσματος (General Machining). Τα κοπτικά έχουν ιδιαίτερα μελετημένο το κυρίαρχο κοπτικό δόντι (Front Teeth), έχουν πολύ μικρά μήκη για κοπή και επικάλυψη.

Πεδίο εφαρμογής της εν λόγω κατηγορίας φρεζαρίσματος είναι οι κατεργασίες μαλακού και σκληρυμένου χάλυβα, κατεργασίες τιτανίου και ανοξείδωτου χάλυβα, καθώς επίσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια καλή μέθοδος για προεργασία πριν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος HSM. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί για φρεζάρισμα θυλακίων μεγάλου βάθους.

1.20 Κονδύλια (End Mills)

Στο επιτραπέζιο φρεζάρισμα σχεδόν κατά αποκλειστικότητα χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα κονδύλια (End Mills). Υπάρχουν σε αρκετές μορφές και τα χαρακτηριστικά τους αναφέρονται παρακάτω:

Βασικά Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:



Εικόνα 24: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κονδυλιού

Επιλέγοντας τον αριθμό των φτερών (flutes)

Διακρίνονται σε δίφτερα, τρίφτερα, τετράφτερα ή και με περισσότερα φτερά (σπανιότερα).

Ο αριθμός των φτερών (flutes) στα κονδύλια φρεζαρίσματος (end mill) εξαρτάται από:

- Το κατεργαζόμενο υλικό.
- Τις διαστάσεις του υπό κατεργασία τεμαχίου.
- Τις συνθήκες κατεργασίας.

Τα γενικά χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής τους φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα1.

Ο ρόλος της γωνίας ελίκωσης (Helix angle)

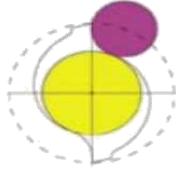
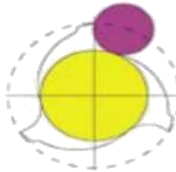
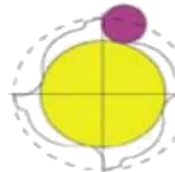
Αυξάνοντας τον αριθμό των φτερών (Flutes), το φορτίο κοπής σε κάθε οδόντωση είναι περισσότερο ομοιογενές, με αποτέλεσμα να προκύπτει καλύτερη ποιότητα επιφανείας στο τεμάχιο που κατεργαζόμαστε.

Μια μεγάλη όμως γωνία ελίκωσης αυξάνει και το φορτίο (FV) κατά μήκος του άξονα του κοπτικού. Ένα μεγάλο φορτίο FV συνεπάγεται τα ακόλουθα:

- Αυξημένα φορτία στις εδράσεις (Bearings) της εργαλειομηχανής.
- Μετατόπιση του κοπτικού κατά μήκος της ατράκτου περιστροφής. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν κοχλιωτοί ή τύπου Weldon σφικτήρες (Shanks).



Εικόνα 25: Κονδύλι φρεζαρίσματος (End Mill)

2 flutes	3 flutes	4 flutes (or multiflutes)
		
Αντοχή σε λυγισμό/κάμψη (flexural strength)	Υψηλή ←	→ Χαμηλή
Ρυθμός Απομάκρυνσης αποβλήτου (chip space)	Μεγάλος ←	→ Μικρός
<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλος χώρος αποβλήτου. • Ευκολία αποβολής υλικού. • Ενδείκνυται για slot milling. • Ιδανικό για μεγάλο φόρτο εργασίας. • Μικρότερη ακαμψία εξαιτίας της μικρής διατομής του. • Μικρότερη ποιότητα επιφανείας στο τεμάχιο κατά την αποπεράτωση. 	<ul style="list-style-type: none"> • Χώρος αποβλήτου περίπου ίσου μεγέθους με αυτόν των 2 flutes. • Μεγαλύτερη διατομή – μεγαλύτερη ακαμψία από αυτήν των 2 flutes. • Βελτιωμένη ποιότητα επιφανείας στο τεμάχιο. 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερη ακαμψία. • Μεγαλύτερη διατομή – μικρός χώρος αποβλήτου. • Κορυφαία ποιότητα επιφανείας στο τεμάχιο. • Ιδανικό για φρεζάρισμα profile, πλευρικό (side milling) και shallow slotting.

Πίνακας 1: Γενικά χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής κονδυλίων

Βασικές Κατηγορίες:

Τα κονδύλια φρεζαρίσματος κατατάσσονται ανάλογα με τη μορφή τους κατά τον ακόλουθο πίνακα:

Επίπεδα - Ξεγονδρίσματος (Flat end mills)	Σφαιρικά-Σφαιροειδή (Ball-nose End Mills)	Γωνιακά (Corner Radius End Mills)	Χαρακτικά - Λεπτοκατεργασίας (Miniature Cutters)
			
Τελειώνει σε τετραγωνική διατομή	Τελειώνει σε ημισφαιρική διατομή	Τελειώνει σε τετραγωνική διατομή με ράδιο.	Διάμετρος έως 1mm



Πίνακας 2: Κατάταξη κονδυλιών φρεζαρίσματος ανάλογα με την μορφή τους

Το πρότυπο DIN 1836 καθορίζει τους διαφορετικούς τύπους κοπτικής ικανότητας για τα κονδύλια, όπως στον παρακάτω πίνακα:

N	-Για κοπτικά εργαλεία που κατεργάζονται χάλυβα. -Ανεπαρκή σε συνθήκες υψηλής αντίστασης.
W	-Για κοπτικά που κατεργάζονται ελατά (Malleable) υλικά

Πίνακας 3: Μερικοί τύποι κοπτικής ικανότητας κατά το πρότυπο DIN 1836

Χαρακτηριστικά κονδυλιών ως προς τις κοπτικές αιχμές τους (απολήξεις των Flutes) τα κονδύλια υποδιαιρούνται σε:

Κεντροφόρα κονδύλια	Μη-κεντροφόρα κονδύλια
	
<p>Ιδανικό για διάτρηση (drilling) και βυθίσεις (plunging).</p> <p>Στην περίπτωση άρτιου αριθμού ελικώσεων (π.χ. 2-4-6 κτλ), τότε κεντρικά εισχωρούν μόνο δύο αιχμές. Στην περίπτωση περιττού αριθμού ελικώσεων (π.χ. 3-5 κτλ), κεντρικά εισχωρεί μόνο μια αιχμή.</p>	<p>Χρησιμοποιείται μόνο για γεωμετρίες περιγράμματος (profile) και ανοικτών αυλακών (slots)</p> <p>Επιτρέπει την λείανση μεταξύ των κέντρων. (Allows the regrinding between centers)</p>

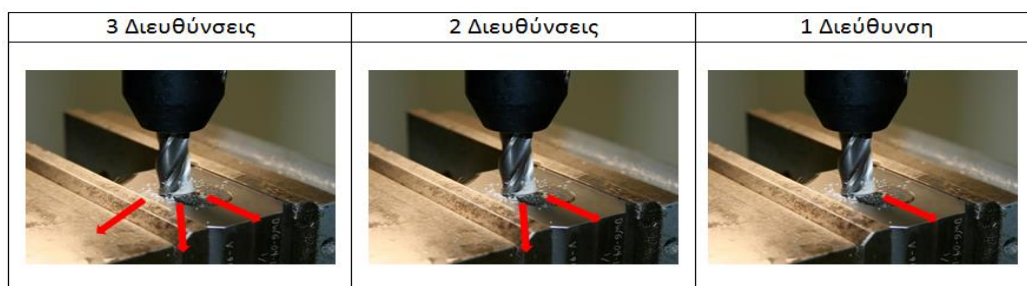
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά κεντροφόρων και μη κεντροφόρων κονδυλιών.

Περαιτέρω Κατηγοριοποίηση για την επιλογή κονδυλιών (End Mills)

Υπάρχουν πολλές κατεργασίες οι οποίες ορίζονται υπό τον όρο "End Milling". Για κάθε κατεργασία, υπάρχει ένας βέλτιστος τύπος κοπτικού εργαλείου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τρεις κυρίως παράμετροι επηρεάζουν τον τύπο του κοπτικού που τελικά θα επιλεγεί και την περαιτέρω κατηγοριοποίηση των κοπτικών εργαλείων αυτού του τύπου :

- Η κατεύθυνση χρήσης (κοπής) του κοπτικού.
- Ο ρυθμός αποβολής του υλικού (Material Removal Rate).
- Ο τύπος της εφαρμογής.

Όσον αφορά την κατεύθυνση χρήσης του κοπτικού (Direction of the use of the Cutter), μπορούμε να διαχωρίσουμε το σύνολο των κοπτικών σχετικά με τις πιθανές διευθύνσεις εργασίας πάνω στην επιφάνεια του υπό κατεργασία τεμαχίου (Workpiece) με τρεις τρόπους:



Πίνακας 5: Κατεύθυνση χρήσης του ΚΕ

Παρατήρηση: Η αξονική κατεύθυνση είναι εφικτή μόνο με Center Cutting End Mills

Όσον αφορά το ρυθμό αποβολής υλικού Γ Material Removal Rate - MRR (Q) μπορεί να υπολογιστεί ως ο όγκος του υλικού που αποβάλλεται κατά τη διάρκεια της κοπής. Ο όγκος που αποβάλλεται είναι ο αρχικός όγκος του τεμαχίου πλην αυτόν που μένει μετά το πέρας της κατεργασίας. Ο χρόνος κοπής είναι ο χρόνος που χρειάζεται το κοπτικό για να μετακινηθεί κατά το μήκος του τεμαχίου. Ο ρυθμός αποβολής υλικού είναι η παράμετρος, η οποία επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το βαθμό τελικής ποιότητας αποπεράτωσης (Finishing Grade) του τεμαχίου.

Ορίζεται: a_p ■ a_e ■ a_f 1000 όπου:






$$Q = MRR(cm / min)$$

a_p = αξονικό πάχος (mm)

a_e = ακτινικό μήκος (mm)

a_f = ρυθμός αποβολής (mm / min)

Όσον αφορά τις εφαρμογές των κονδυλίων αυτές συνδέονται στενά με το ρυθμό αποβολής υλικού. Για κάθε εφαρμογή υπάρχει ένας διαφορετικός ρυθμός αποβολής υλικού, ο οποίος αυξάνεται με τον τρόπο εμπλοκής του κοπτικού εργαλείου με το υπό κατεργασία τεμάχιο.

Πλευρικό φρεζάρισμα (Side Milling)	Μετωπικό φρεζάρισμα (Face Milling)	Slot Milling	Plunge Milling	Ramping
				
Το ακτινικό βάθος κοπής πρέπει να είναι μικρότερο από το 0,25 της διαμέτρου του κοπτικού End Mill.	Το ακτινικό βάθος κοπής δεν πρέπει να είναι παραπάνω από το 0,9 της διαμέτρου του κοπτικού. Το αξονικό βάθος κοπής δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 0,1 της διαμέτρου του κοπτικού.	Φρεζάρισμα θηλακίου για σφηνάμλακα. Το ακτινικό βάθος κοπής είναι ίσο με την διάμετρο του κοπτικού End Mill.	Σε περίπτωση διάτρησης με κοπτικό End Mill η πρόωση θα πρέπει να μειωθεί στο μισό.	Ταυτόχρονη αξονική και ακτινική εισχώρηση του κοπτικού στο ακατέργαστο τεμάχιο.

Πίνακας 6: Συνιστώμενες παράμετροι χρήσεις κονδυλίων ανά εφαρμογή

1.21 Τρόποι Εισχώρησης Κοπτικού Εργαλείου στην Πρώτη Ύλη

Απαντώνται στις κατεργασίες φρεζαρίσματος οι παρακάτω τρόποι εισχώρησης κοπτικού εργαλείου στο τεμάχιο:

Εισχώρηση με γωνία (ramping)

Προτεινόμενες γωνίες εισχώρησης α στο κατεργαζόμενο τεμάχιο (ramping angle) για εφαρμογή σε κονδύλια φρεζαρίσματος υψηλών ταχυτήτων.

Αριθμός οδόντων	2	3	>4
Για χάλυβα και χυτοσίδηρο	<15	<10	<5
Για αλουμίνιο, χαλκό και πλαστικά	<30	<20	<10
Για σκληρυμένο χάλυβα	<4	<3	<2

Πίνακας 7: Προτεινόμενες γωνίες εισχώρησης α στο κατεργαζόμενο τεμάχιο

Υλικό	Προτεινόμενο $\alpha\rho$
Χάλυβας	<0.10x0
Αλουμίνιο	< 0.20 xD
Σκληρυμένος χάλυβας	<0.05x0

Πίνακας 8: Προτεινόμενες τιμές ταχύτητας σπειροειδούς εισχώρησης για διαφορετικού τύπου υλικά

$$Db \max = 2 \cdot (D - R) \text{ όπου ,}$$

$Db \max$ = η μέγιστη δυνατή διάμετρος διάνοιξης D = Η διάμετρος φρεζαρίσματος

R = Η ακτίνα φρεζαρίσματος

Αξονική εισχώρηση



Εικόνα 26: Αξονική εισχώρηση

Σε αυτήν την περίπτωση, η πρόωση πρέπει να διαιρεθεί με τον αριθμό των οδόντων του κοπτικού εργαλείου. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι δεν πρέπει να διεξαχθεί αξονική εισχώρηση με κονδύλια που φέρουν παραπάνω από τέσσερις οδόντες.

1.22 Μηχανική Φρεζαρίσματος — Βασικές Εξισώσεις

Δίνονται παρακάτω βασικοί συμβολισμοί και εξισώσεις μηχανικής κοπών που αφορούν στο φρεζάρισμα:

Ορολογία και συμβολισμοί κατά το φρεζάρισμα:

D_c : Διάμετρος κοπής (mm).

l_m : Υπό κατεργασία μήκος (mm).

D_e : Ενεργή διάμετρος κοπής.

Q_p : Βάθος κοπής (mm). a_e : Πλάτος κοπής (mm).

V_c : Ταχύτητα κοπής (m/min).

Q : Ρυθμός αποβολής υλικού (cm^3 / min)

T_c : Χρόνος κατεργασίας (min).

Z_n : Αριθμός δοντιών. f_z : Πρόωση ανά δόντι (mm/δόντι). f_n : Πρόωση ανά περιστροφή (mm/rev).

V_f : Ταχύτητα πρόωσης τραπέζης (mm/min).

h_{ex} : Μέγιστο πάχος αποβλήτου (mm).

h_m : Μέσο θεωρητικό πάχος αποβλήτου (mm)

Z_c : Ενεργός αριθμός δοντιών¹.

k_c : Δύναμη κοπής ανά mm^2 (N/mm^2) .

n : Στροφές ατράκτου (RPM) ή Βαθμός απόδοσης.

k_{ci} : Δύναμη κοπής για πάχος αποβλήτου 1mm (N/mm^2). Είναι διαφορετική για κάθε κατηγορία υλικών της αυτή δίνεται από της πίνακες του κατασκευαστή εργαλείων.

K_r : Βασική γωνία κοπής (degrees).

γ_n : Αξονική κλίση κοπτικού εργαλείου

γ_f : Ακτινική κλίση κοπτικού εργαλείου.

$\gamma\theta$: (Γωνία κλίσης του κοπτικού εργαλείου) + (γωνία κλίσης του ένθετου πλακιδίου).

mc : Εκθέτης που λαμβάνεται στον υπολογισμό της δύναμης κοπής ανά mm^2 (k_{ci})

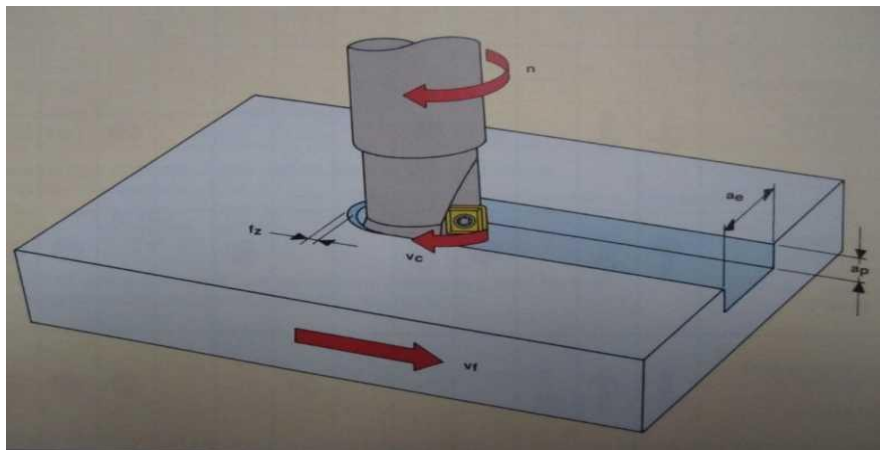
V_{co} : Σταθερά για την ταχύτητα κοπής.

c_{vc} : Συντελεστής διόρθωσης της ταχύτητας κοπής.

iC : Καταχωρημένος κύκλος.

ω : Γωνία σύμπλεξης.

M_c : Ροπή κοπής (Nm).



Εικόνα 27: Απεικόνιση συμβολισμών φρεζαρίσματος.

¹ Ο ενεργός αριθμός δοντιών Z_c είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό των V_f και f Στις περισσότερες περιπτώσεις ισχύει $Z_c = Z_n$, χωρίς να αποκλείεται όμως να έχουμε $Z_c < Z_n$.

			Drilling	Milling		Threading
			K	K_{CI}	Z	K_C
Application Material Groups			Material factor	N/mm^2	Correction factor	N/mm^2
1. Steel	1.1	Magnetic soft steel	1.3	1400	0.18	2000
	1.2	Structural steel, case carburizing steel	1.4	1450	0.22	2100
	1.3	Plain Carbon steel	1.9	1500	0.20	2200
	1.4	Alloy steel	1.9	1550	0.20	2400
	1.5	Alloy steel, Hardened and tempered steel	2.7	1600	0.20	2600
	1.6	Alloy steel, Hardened and tempered steel	3.4	1700	0.20	2600
	1.7	Alloy steel, Heat treated	3.7	1900	0.20	2900
	1.8	Alloy steel, Hardened & Wear resistant steel	4.0	2300	0.20	2900
2. Stainless Steel	2.1	Free machining, Stainless Steel	1.9	1300	0.36	2300
	2.2	Austenitic	1.9	1500	0.32	2600
	2.3	Ferritic + Austenitic, Ferritic, Martensitic	2.7	1600	0.24	3000
3. Cast Iron	3.1	Lamellar graphite	1.0	900	0.26	1600
	3.2	Lamellar graphite	1.5	1100	0.36	1600
	3.3	Nodular graphite, Malleable Cast Iron	2.0	1150	0.24	1700
	3.4	Nodular graphite, Malleable Cast iron	1.5	1450	0.24	2000
4. Titanium	4.1	Titanium, unalloyed	1.4	900	0.20	2000
	4.2	Titanium, alloyed	2.0	1200	0.22	2000
	4.3	Titanium, alloyed	2.7	1450	0.22	2300
5. Nickel	5.1	Nickel, unalloyed	1.3	1100	0.12	1300
	5.2	Nickel, alloyed	2.0	1450	0.22	2000
	5.3	Nickel, alloyed	2.7	1700	0.22	2000
6. Copper	6.1	Copper	0.6	450	0.20	800
	6.2	β -Brass, Bronze	0.7	500	0.30	1000
	6.3	α -Brass	0.7	600	0.32	1000
	6.4	High Strength Bronze	1.5	1600	0.36	1000
7. Aluminium Magnesium	7.1	Al, Mg, unalloyed	0.6	250	0.22	700
	7.2	Al alloyed, Si < 0.5%	0.6	450	0.18	700
	7.3	Al alloyed, Si > 0.5% < 10%	0.7	450	0.18	800
	7.4	Al alloyed, Si > 10% Whisker reinforced Al-alloys Mg-alloys	0.7	500	0.18	1000
8. Synthetic materials	8.1	Thermoplastics	0.6	1400	0.15	400
	8.2	Thermosetting plastics	0.6	1400	0.20	600
	8.3	Reinforced plastic materials	1.0	1600	0.30	800
9. Hard material	9.1	Ceramics (metals-ceramics)	4.0	2600	0.36	>2800
10. Graphite	10.1	Graphite	-	200	0.30	800

Πίνακας 9: Δύναμη κοπής για πάχος αποβλήτου 1mm

(N/mm^2). Είναι διαφορετική για κάθε κατηγορία υλικών, δίνεται από πίνακες του κατασκευαστή εργαλείων.

1.23 Μηχανική Διάτρησης & Σπειροτόμησης - Βασικές Εξισώσεις

Χωρίς αλλαγή στους συμβολισμούς που δόθηκαν παραπάνω δίνονται επίσης εξισώσεις μηχανικής κοπών που αφορούν στη διάτρηση και σπειροτόμηση, καθώς και αυτές οι κατεργασίες μπορούν αν υλοποιηθούν σε επιτραπέζιες CNC φρέζες.

Διάτρηση:

$$\text{Στροφές απράκτου (n): } n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi D} \text{ (RPM)}$$

v_c = Ταχύτητα κοπής [m/min]

D= Διάμετρος (mm)

$$\text{Ταχύτητα πρόωσης}(V_f): V_f = n \cdot f_n \text{ (mm/min)}$$

f_n = feed/rev

n = r/min (RPM)

$$\text{Αξονική δύναμη εισχώρησης}(T): T = 11.4 \cdot K \cdot D \cdot (100 \cdot f_n)^{0.8}$$

$$\text{Ισχύς (P): } P = \frac{1.25 \cdot D^2 \cdot K \cdot n \cdot (0.056 + 1.5 \cdot f_n)}{100000} \text{ (kW)}$$

P= Power (kW) (Για μετατροπή σε HP πολλαπλασιάζουμε με 1.34)

K= Συντελεστής υλικού

T= Δύναμη εισχώρησης (N)

Σπειροτόμηση:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \text{ (RPM)}$$

$$\text{Ροπή (} M_d): M_d = \frac{p^2 \cdot D \cdot k_c}{8000} \text{ (Nm)}$$

p = Βήμα [mm]

D= Ονομαστική διάμετρος [mm]

K_c = Δύναμη κοπής ανά mm²

$$\text{Ισχύς (P): } P = \frac{M_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ (kW)}$$

1.24 Σφαιροειδή Κονδύλια (ball nose end mills)

Ένα σφαιροειδές κονδύλι (Ball Nose End Mill) έχει στην άκρη του μια ημισφαιρική επιφάνεια κοπής. Τα σφαιροειδή κονδύλια χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατεργασία καλουπιών (Dies) και μητρών (Moulds) καθώς της για την κατασκευή σύνθετων επιφανειών για την αεροπορική βιομηχανία, τη βιομηχανία οχημάτων και την πολεμική βιομηχανία (Defense Industry), ως τα πλέον κατάλληλα για ελεύθερες 3D μορφές.

Η ενεργή διάμετρος κοπής είναι ο βασικότερος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη ώστε να υπολογισθεί για αυτά η ταχύτητα περιστροφής της κυρίας ατράκτου (Spindle). Η ενεργή διάμετρος του κοπτικού εργαλείου είναι αυτή που πραγματικά χρησιμοποιείται στα αξονικά βάθη κοπής. Η ενεργή διάμετρος επηρεάζεται από δυο παραμέτρους: την ακτίνα του κοπτικού εργαλείου και το αξονικό βάθος κοπής. Δίνεται από τη παρακάτω σχέση.

Η ενεργή διάμετρος κοπής αντικαθιστά την διάμετρο (D_c) του κοπτικού εργαλείου όταν υπολογίζεται η ενεργός ταχύτητα κοπής V_c για φρεζάρισμα με σφαιροειδή κονδύλια.

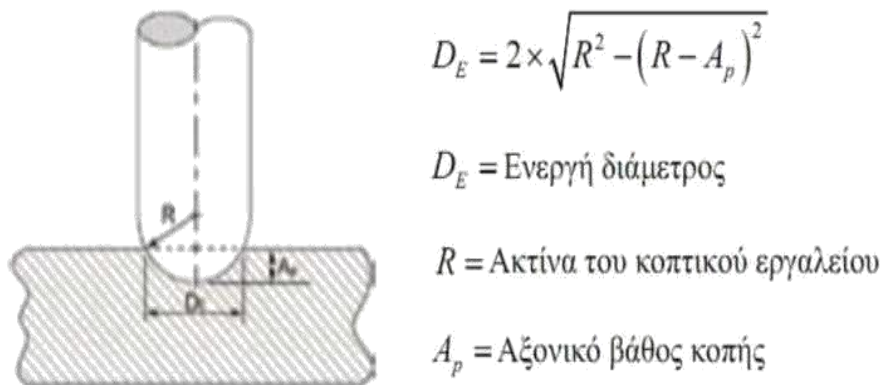
$$V_c = (n \cdot \pi \cdot D_E) / 100 \quad \text{όπου:}$$

V_c = η ταχύτητα κοπής (m/min).

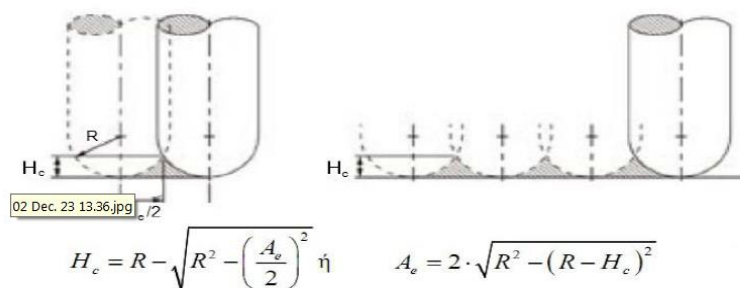
D_E = η ενεργός διάμετρος κοπής (mm).

n = η ταχύτητα περιστροφής (rpm).

Όταν ένα μη επίπεδο κοπτικό εργαλείο, π.χ. όταν ένα σφαιροειδές κονδύλι, χρησιμοποιείται για να κατεργαστεί μια επιφάνεια με την τακτική «zig-zag», μεταξύ δυο πάσων εμφανίζεται υπόλειμμα υλικού, το ύψος των οποίων υπολογίζεται ως εξής:



Εικόνα 28: Ενεργός διάμετρος κοπής



Εικόνα 26: Ύψος του υλικού που απομένει και απόσταση μεταξύ δυο πάσων

Όπου:

H_c = Το ύψος του υλικού που απομένει (υπόλειμμα)

R = Η ακτίνα του κοπτικού εργαλείου A_e = Η απόσταση μεταξύ δυο πάσων

Η συσχέτιση μεταξύ του H_c και της τιμής της τραχύτητας επιφανείας R_a προσεγγίζεται περίπου ως εξής :

H_c (μm)	0.2	0.4	0.7	1.25	2.2	4	8	12.5	25	32	50	63	100
R_a (μm)	0.03	0.05	0.1	0.4	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	8	12.5	16	25

Το R_a αντιστοιχεί περίπου στο 25% του H_c

Πίνακας 10: Συσχέτιση μεταξύ του H_c και της τιμής της τραχύτητας επιφανείας

1.25 Κανόνες Επιλογής και Χρήσης Κοπτικών Εργαλείων

Η επιλογή συνθηκών κατεργασίας για επιτραπέζιες εργαλειομηχανές CNC με δεδομένο το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί έχει δύο σκέλη, το τεχνολογικό και το οικονομικό. Το πρώτο συνδέεται με όλους εκείνους τους περιορισμούς που αναφέρονται στις τεχνολογικές δυνατότητες της μηχανής, του κοπτικού εργαλείου και του περιβάλλοντος της κατεργασίας (υγρό κοπής, σύστημα συγκράτησης κλπ) καθώς και με τις προδιαγραφές ποιότητας του κατεργαζόμενου τεμαχίου (τραχύτητα επιφάνειας, ανοχές κλπ.). Το δεύτερο σκέλος αναφέρεται στη βελτιστοποίηση των συνθηκών κατεργασίας έτσι ώστε -τυπικά- να μεγιστοποιείται κάποια συνάρτηση κέρδους. Θεωρητικά, δηλαδή, πρόκειται για ένα πρόβλημα πολύ-παραμετρικής βελτιστοποίησης με περιορισμούς.

Στην πράξη πολύ σπάνια ακολουθείται μια τέτοια διαδικασία λόγω των δυσκολιών που προκύπτουν από τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων, αλλά και από την πολυπλοκότητα της μαθηματικής ή αριθμητικής λύσης.

Έτσι, αρκείται κανείς σε επιλογή συνθηκών μέσα από τεχνικούς καταλόγους των εταιρειών παραγωγής εργαλείων, με τη βοήθεια από Handbooks υλικών με επιμέρους διορθώσεις προς τα άνω ή προς τα κάτω.

Πολύ σημαντική κρίνεται και η κληθείσα κάθε φορά εμπειρία και τεχνογνωσία του χρήστη από την πολυετή ενασχόληση με τα αντικείμενα αυτά.

Πριν διεξαχθεί φρεζάρισμα πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη τα εξής:

- Επιλέγεται από τους καταλόγους της κατασκευάστριας εταιρείας το καταλληλότερο για την εφαρμογή κονδύλι. Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν

κεντροφόρα (Center Cutting Type) και μη κεντροφόρα (Non-Center Cutting Type) κονδύλια.

- Επιλέγεται η κατάλληλη ταχύτητα κοπής και ο κατάλληλος ρυθμός πρόωσης ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ του ρυθμού αποβολής υλικού και της διάρκειας ζωής του κοπτικού εργαλείου.
- Ελέγχεται η κατάσταση και η ηλικία του κοπτικού εργαλείου.
- Επιλέγονται τα καταλληλότερα, από άποψη διαστάσεων, κονδύλια με όσο το δυνατόν γίνεται μεγαλύτερη διάμετρο, με σκοπό να μειωθεί η απόκλιση και οι καμπτικές τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτά.
- Διαλέγονται κονδύλια με υψηλή στιβαρότητα και αποφεύγεται η υπέρμετρη προβολή του κοπτικού εργαλείου από τον εργαλειοδέτη του.
- Τα κονδύλια με πολλές αυλακώσεις (Flutes), έχουν υψηλή στιβαρότητα, μειωμένο χώρο αποβλήτου και ενδείκνυνται για υψηλές ταχύτητες πρόωσης τραπέζης.
- Τα κονδύλια με λιγότερες αυλακώσεις (Flutes), έχουν μειωμένη στιβαρότητα έναντι αυτών με πολλές αυλακώσεις, παρέχουν περισσότερο χώρο για το απόβλητο και ως συνέπεια αυτού, το απόβλητο αποβάλλεται ευκολότερα από το κοπτικό εργαλείο χωρίς να μπλοκάρει την κοπή ή να συγκολλιέται πάνω του εξαιτίας της ανάπτυξης θερμότητας.

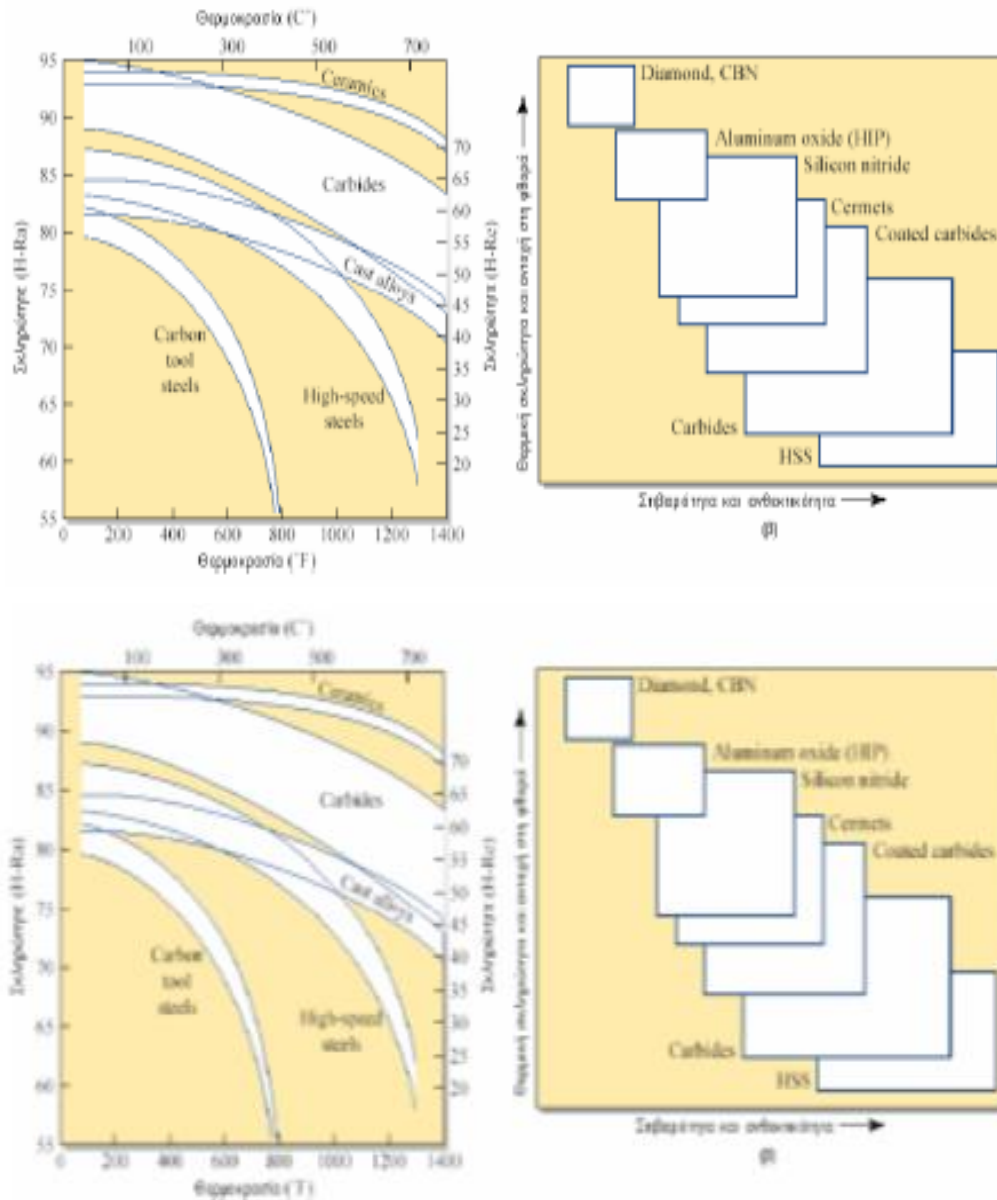
Η επιλογή της καταλληλότερης ταχύτητας κοπής και του ρυθμού πρόωσης πρέπει να γίνεται με γνώμονα τον τύπο του υλικού για το οποίο γίνεται η κατεργασία, το υλικό του κονδυλίου, την ισχύ του άξονα μετάδοσης ισχύος (Spindle) και την ποιότητα επιφανείας που επιδιώκεται.

1.26 Υλικά Κοπτικών Εργαλείων

Υπάρχουν πολλά υλικά κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Το καλύτερο εργαλείο για μια κατεργασία είναι αυτό που έχει επιλεγθεί προσεκτικά και πραγματοποιεί την κατεργασία γρήγορα, αποδοτικά και οικονομικά.

Ένα κοπτικό εργαλείο, για να παράγει ποιοτικά και οικονομικά κομμάτια, θα πρέπει να διατηρεί τη σκληρότητά του στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή, την ανθεκτικότητά του ώστε να μη θρυμματίζεται κατά την κατεργασία και την αντοχή του στη φθορά για να επιτευχθεί η επιθυμητή ζωή του εργαλείου, πριν αυτό χρειαστεί να αντικατασταθεί.

Τα κυριότερα υλικά των κοπτικών εργαλείων είναι, ο χάλυβας, τα χυτευτά κράματα, τα σκληρομέταλλα, τα κεραμικά, τα διαμάντια και οι λειαντικές σκόνες.



Πίνακας 11: Εμβέλεια ιδιοτήτων διάφορων ομάδων κοπτικών υλικών

Τα καθαρά χαλύβδινα εργαλεία (Carbon Tool Steels), έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,60% έως 1,50% και χρησιμοποιούνται σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, χαμηλές προώσεις και μικρό βάθος κοπής, όπως επίσης, για την κατεργασία μαλακών υλικών.

Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν χαμηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και αποσταθεροποιούνται στους 120°C με 200°C.

Τα ταχυχαλύβδινα (HSS, High Speed Steels), εργαλεία εκτός από τον άνθρακα, περιέχουν μεγάλο ποσοστό προσθηκών, όπως το χρώμιο, το βολφράμιο, το βανάδιο, το μολυβδαίνιο και το κοβάλτιο, τα οποία σκληραίνουν το χάλυβα και αυξάνουν την αντοχή στη θερμότητα.

Τα χυτευτά κράματα (Cast Alloys), είναι μη σιδηρούχα κράματα κοβαλτίου και χρωμίου με προσθήκη βολφραμίου και άνθρακα, με σκοπό τη δημιουργία εργαλείων κοπής με ανώτερη σκληρότητα από τα ταχυχαλύβδινα. Τα χυτευτά κράματα, παρέχουν μεγάλη αντίσταση στην τριβή και χρησιμοποιούνται στην κοπή υλικών κακής ποιότητας ή σε υλικά με σκληρές προσμίξεις.

Τα σκληρομέταλλα (Carbides), είναι προϊόντα της κonioμεταλλουργίας και συνθέτονται από καρβίδια του βολφραμίου σε συνδυασμό με καρβίδια του τιτανίου και του τανταλίου, με συνδετικό υλικό κοβαλτίου. Τα σκληρομέταλλα, διατηρούν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με τα κοπτικά εργαλεία χυτής μεταλλουργίας, τα οποία έχουν μεγάλη εξάρτηση στην θερμική κατεργασία για την απόκτηση της σκληρότητας και καταστρέφονται με την αναθέρμανση κατά την κοπή, λόγω τριβής.

Τα κεραμικά κοπτικά εργαλεία (Ceramics), είναι μη μεταλλικά υλικά και υπερτερούν στη διατήρηση της σκληρότητας σε υψηλές θερμοκρασίες, έναντι των ταχυχαλύβδινων και των σκληρομετάλλων. Όμως, είναι ψαθυρά υλικά με μικρή δυσθραυστότητα και χρησιμοποιούνται για την κατεργασία πολύ σκληρών υλικών σε υψηλές ταχύτητες κοπής.

Το διαμάντι αποτελεί υπέρσκληρο υλικό κοπτικών εργαλείων και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται μεγάλη διαστατική ακρίβεια και ελαφρά φινιρίσματα επιφανειών. Είναι η σκληρότερη γνωστή ουσία με το μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής. Όμως, το διαμάντι είναι ατόφιος άνθρακας και έχει έλξη για τον άνθρακα των σιδηρούχων μετάλλων, γι' αυτό χρησιμοποιούνται μόνο σε μη σιδηρούχα μέταλλα.

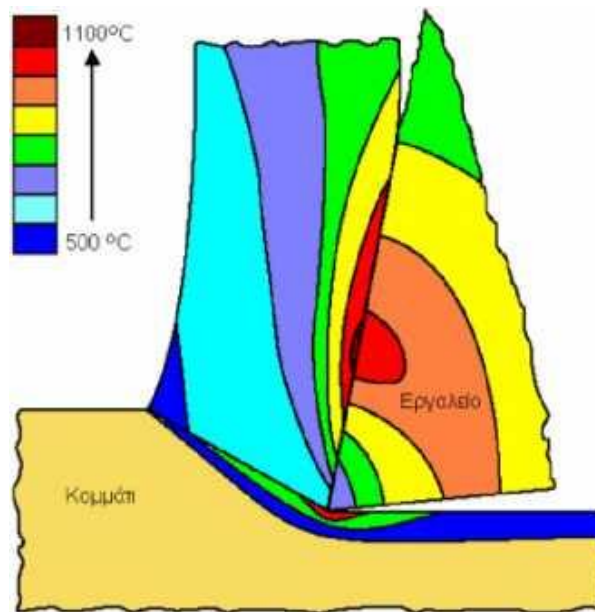
Οι λειαντικές σκόνες είναι κόκκοι λειαντικών ουσιών πάνω σε λειαντικούς τροχούς (σμυριδοτροχούς) με σκοπό τη λείανση.

Τα ταχυχαλύβδινα και τα σκληρομεταλλικά κοπτικά εργαλεία είναι αυτά που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη έκταση για τις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνεται η αντοχή στην σκληρότητα του υλικού, τόσο αυξάνεται και το κόστος του.

1.27 Φθορά Κοπτικών Εργαλείων

Η ζωή του κοπτικού εργαλείου είναι ο πιο σημαντικός οικονομικός παράγοντας στην κοπή μετάλλων και επηρεάζεται από την ταχύτητα κοπής και την ταχύτητα παραγωγής. Η μείωση της ταχύτητας κοπής αυξάνει τη ζωή του εργαλείου, όμως μειώνει την ταχύτητα παραγωγής. Ενώ αντίθετα, η αύξηση της ταχύτητας κοπής αυξάνει την ταχύτητα παραγωγής αλλά απαιτούνται περισσότερες αλλαγές των φθαρμένων κοπτικών εργαλείων, το οποίο συνεπάγεται αύξηση του κόστους.

Η φθορά στο κοπτικό εργαλείο προκαλείται από τις υψηλές θερμοκρασίες και από την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του εργαλείου, του κομματιού και του αποβλήτου. Οι θερμοκρασίες αναπτύσσονται από τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας, που καταναλώνεται στη περιοχή κοπής, σε θερμότητα λόγω της τριβής. Το απόβλητο προκαλεί τριβή στην επιφάνεια του εργαλείου και η κατεργασμένη επιφάνεια προκαλεί τριβή στο κάτω τμήμα της μύτης του εργαλείου. Οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν οξειδωση του υλικού του εργαλείου, η οποία αυξάνει τον ρυθμό της φθοράς του.

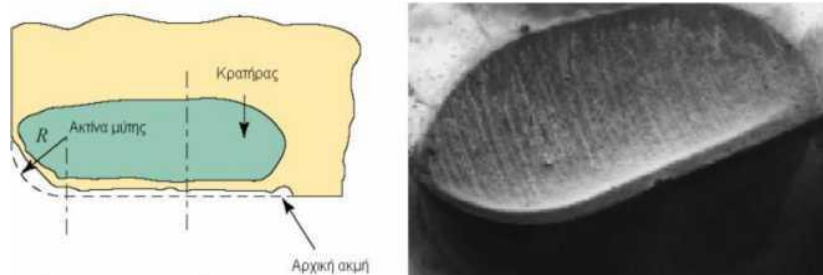


Εικόνα 30: Συνήθης κατανομή θερμότητας στην ζώνη κοπής.

Για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται ψυκτικά υγρά κατά την κοπή. Επίσης, τα υγρά κοπής βοηθούν στην απομάκρυνση του αποβλήτου από την περιοχή της κοπής. Τα υγρά κοπής συνήθως χρησιμοποιούνται σε κατεργασίες σκληρών υλικών και σε κατεργασίες με χαμηλές ταχύτητες κοπής. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών των κοπτικών εργαλείων επιτρέπει σε αυτά να εργάζονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση ψυκτικών υγρών, αλλά με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα, για να απομακρύνονται τα απόβλητα.

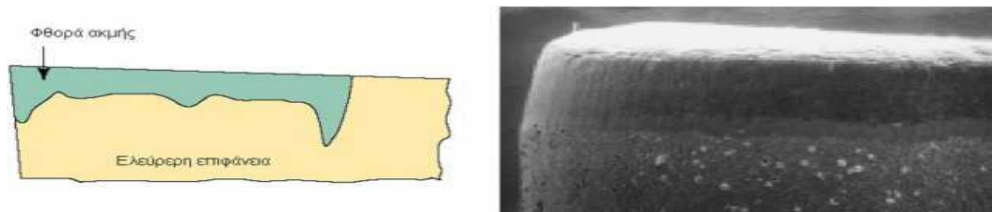
Υπάρχουν αρκετές ενδείξεις της φθοράς των κοπτικών εργαλείων κατά την κατεργασία που μπορούν να εντοπιστούν πριν την αστοχία του εργαλείου, όπως η κατανάλωση μεγαλύτερης ενέργειας, η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας και η αλλαγή της γεωμετρίας του απόβλητου.

Η τριβή του αποβλήτου πάνω στο κοπτικό εργαλείο το φθείρει, δημιουργώντας κρατήρα στην επιφάνειά του. Η φθορά δημιουργείται κάτω από υψηλή ταχύτητα κοπής και όταν κατεργάζονται σκληρά υλικά.



Εικόνα 31: Φθορά κρατήρα

Η τριβή του εργαλείου με την κατεργασμένη επιφάνεια του κομματιού φθείρει την ακμή του κοπτικού εργαλείου. Αυτή η φθορά εμφανίζεται σε όλα τα εργαλεία και δεν μπορεί να αποφευχθεί.



Εικόνα 32: Φθορά ακμής

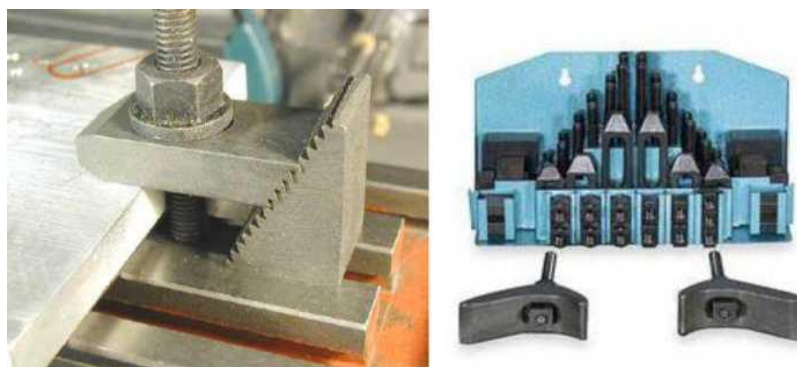
1.28 Τρόποι Συγκράτησης Ακατέργαστων Τεμαχίων

Οι τρόποι συγκράτησης ακατέργαστων τεμαχίων είναι οι εξής:

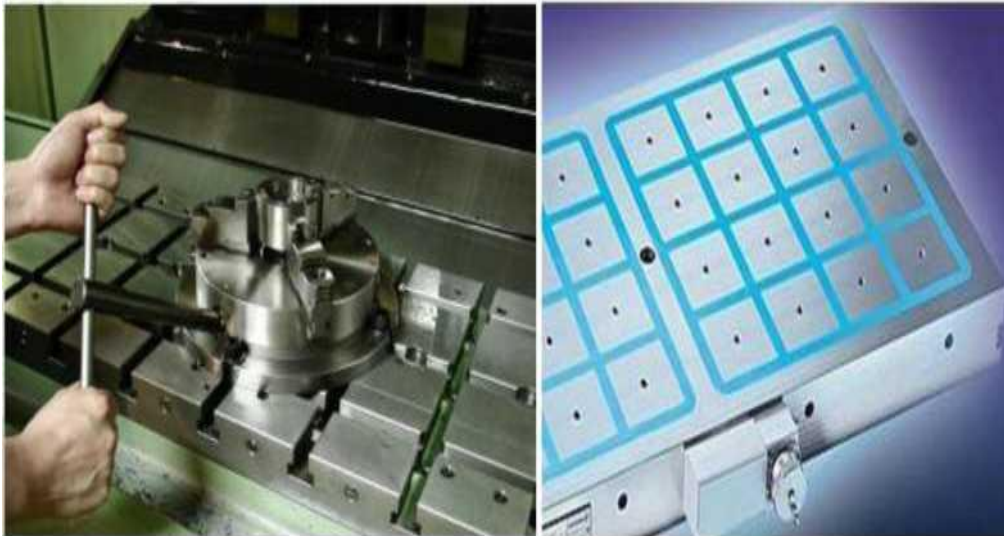
1. Στη μέγγενη
 - Με σιαγόνες που κινούνται και οι δύο ταυτόχρονα
 - Με βάση στρέψεως
 - Με σιαγόνες τύπου V για κυλινδρικά τεμάχια
2. Με κοχλίες (Clamping sets)
3. Σε επιτραπέζιο τσοκ (που προσδένεται πάνω στην τράπεζα- Chuck)
4. Ηλεκτρομαγνητικό Chuck



Εικόνα 33: Grizzly και craftsman angle vise



Εικόνα 34: Clamping sets



Εικόνα 35: Chuck τράπεζας / Ηλεκτρομαγνητικό Chuck

1.29 Προγραμματισμός

Ξεκινώντας τον προγραμματισμό της μηχανής μας θα πρέπει να είναι γνωστά:

- Πόσους άξονες κίνησης έχει η μηχανή.
- Ποιες είναι οι μέγιστες στροφές (RPM) της κύριας ατράκτου της μηχανής.
- Ποια είναι η μέγιστη ισχύς του κινητήρα κύριας ατράκτου της μηχανής.
- Πόση είναι η μέγιστη διαδρομή κάθε άξονα.
- Ποια είναι η μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της μηχανής (Rapid Rate).
- Ποια είναι η μέγιστη ταχύτητα κοπής της μηχανής (Cutting Feed rate).

Ο προγραμματισμός γίνεται με τρεις εναλλακτικούς τρόπους :

1) Συμβατικός (με το χέρι), όπου ο προγραμματιστής βασίζεται :

- Στο μηχανολογικό σχέδιο του τεμαχίου για τις απαραίτητες πληροφορίες γεωμετρίας.
- Στις γνώσεις του από την τεχνολογία της κατεργασίας ή ακόμη καλύτερα σε ένα τυπικό ή προκαθορισμένο φασεολόγιο για τον προσδιορισμό των φάσεων της κατεργασίας, την εκλογή εργαλείων, και την εκλογή συνθηκών κατεργασίας (πχ στροφών ατράκτου, πρόωσης κλπ).

2) Αλληλεπιδραστικά από το χρήστη με τη βοήθεια Η/Υ,

Όπου ο υπολογιστής έχει αποθηκευμένες τυπικές “συνιστώσες” γεωμετρικές μορφές που συναντώνται στην πράξη και τα αντίστοιχα στοιχεία για την δημιουργία κώδικα αριθμητικού ελέγχου για κάθε γεωμετρία. Ο χρήστης είναι επιφορτισμένος με την επιλογή του συνόλου των γεωμετρικών μορφών που αποτελούν το τεμάχιο που θα κατασκευασθεί και με την εισαγωγή των δεδομένων τους αλληλεπιδραστικά στο λογισμικό. Συχνά αυτή η επιλογή γεωμετρίας γίνεται σε ένα μοντέλο του τεμαχίου σε σύστημα CAD.

3) Πλήρως αυτόματα από λογισμικό

Αυτός ο τρόπος ελαχιστοποιεί την επέμβαση του χρήστη λειτουργώντας όπως στην αλληλεπιδραστικό προγραμματισμό αλλά με την πρόσθετη αυτόματη ανάλυση του τεμαχίου σε σειρά τυπικών γεωμετρικών μορφών.

Επειδή αυτό το τελευταίο δεν είναι εύκολο να γίνει στη γενική περίπτωση, ο αυτόματος προγραμματισμός είναι εφικτός σε καλά οριοθετημένες εφαρμογές όπως τόννευση, κατεργασία πρισματικών τεμαχίων με ασυνεχή μεταβολή της τρίτης διάστασης κλπ.

1.30 Είδη Συντήρησης Εργαλειομηχανών Ψηφιακής Καθοδήγησης

Οι απαιτήσεις σε συντήρηση εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : Στην προληπτική συντήρηση, που είναι μία προγραμματισμένη διαδικασία, και στην επισκευή βλαβών, που είναι σχεδόν πάντα απρογραμμάτιστη. Η προληπτική συντήρηση συνήθως γίνεται σε χρόνο που η εργαλειομηχανή δεν έχει να εκτελέσει μεγάλο αριθμό παραγγελιών, και έχει μηδενικό χρόνο αναμονής ανταλλακτικών, αφού αυτά έχουν ήδη προμηθευτεί.

Αντίθετα, οι βλάβες προκύπτουν σχεδόν πάντα σε συνθήκες παραγωγής και έχουν συχνά μικρό ή μεγάλο χρόνο αναμονής ανταλλακτικών, που προστίθεται στον καθαρό χρόνο επισκευής της βλάβης.

Παρά το γεγονός ότι οι τυχαίες βλάβες δεν μπορούν να αποφευχθούν εντελώς με την προληπτική συντήρηση, αυτή εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων λόγω βλάβης και ελαχιστοποιεί το κόστος ανταλλακτικών και λειτουργίας των εργαλειομηχανών.

Η εμπειρία και η πράξη έχει θεσπίσει κάποιους κανόνες στην προληπτική συντήρηση των εργαλειομηχανών. Αυτοί είναι :

- Δεν πρέπει να γίνεται επέμβαση σε περιοχές της μηχανής που λειτουργούν σωστά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Δεν υπάρχει λόγος να αλλάζουν ρυθμίσεις και να αποσυναρμολογούνται συσκευές, που έχουν μεγάλη αξιοπιστία, εκτός εάν το συστήνει ο κατασκευαστής.
- Κάθε φορά που οι μηχανές συντηρούνται, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή σε ενδείξεις, που υποδεικνύουν πιθανές μελλοντικές βλάβες. Αυτό πρέπει να γίνεται, ακόμα και αν το πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης του κατασκευαστή δεν προβλέπει επεμβάσεις. Έτσι, οξειδώσεις, χαλαρές συνδέσεις ξεβαμμένες επαφές, πρέπει να βάζουν σε σκέψεις για το μέλλον.
- Οι τρεις πιο βασικές λειτουργίες συντήρησης που πρέπει να γίνονται, είναι ο καθαρισμός, η λίπανση και η επιθεώρηση στις θέσεις που συνιστά ο κατασκευαστής.
- Η χρήση λιπαντικών πρέπει να είναι προσεκτική και τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται να είναι υψηλών προδιαγραφών. Υπερβολικές ποσότητες λαδιών ή γράσου πρέπει να αποφεύγονται. Η υπερβολική λίπανση μπορεί συχνά να προκαλέσει περισσότερα προβλήματα από την περιορισμένη ή μηδαμινή λίπανση.
- Η διάγνωση ηλεκτρονικών βλαβών πρέπει να γίνεται με χρήση ειδικών οργάνων, που συνιστά ο κατασκευαστής. Δεν είναι λίγες οι φορές που καίγονται ή βραχυκυκλώνουν ολόκληρες μονάδες κεντρικού ελέγχου MCU από φτηνά πολύμετρα.

Η προληπτική συντήρηση, ανάλογα με τη συχνότητα που εκτελείται, μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες.

Η πιο συχνή είναι η εβδομαδιαία συντήρηση, που συνήθως προβλέπει εκτέλεση κάποιου κύκλου κατεργασίας σε δύσκολες συνθήκες και την επίλυση κάποιων μικροπροβλημάτων, που αναφέρει ο χειριστής.

Ακόμα, γίνεται έλεγχος όλων των ανεμιστήρων και προσεκτικός καθαρισμός και λίπανση όλων των προσβάσιμων θέσεων. Ακολουθεί η μηνιαία συντήρηση που, εκτός από τα παραπάνω, προβλέπει έλεγχο των συνδέσεων και λίπανση όλων των ανεμιστήρων.

Επίσης, προβλέπει λύσιμο των μετρητικών διατάξεων των αξόνων και καθαρισμό από τυχόν σκόνες, ακαθαρσίες κ.λπ. Τέλος, η ετήσια συντήρηση προβλέπει πλήρη έλεγχο σχεδόν όλων των υποσυστημάτων των εργαλειομηχανών με αλλαγή τσιμουχών, καθαρισμό και σύσφιγξη των ηλεκτρονικών μερών και έλεγχο της τροφοδοσίας. Επίσης,

προβλέπει καθαρισμό της κονσόλας με ειδικές ηλεκτρικές σκούπες και σφίξιμο όλων των κοχλιών.

Μετά από κάθε έλεγχο πρέπει να καταγράφονται τα ανταλλακτικά που χρησιμοποιήθηκαν, και να παραγγέλνονται νέα, ώστε να υπάρχει πάντα απόθεμα στην αποθήκη. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συντήρηση. Για παράδειγμα, εάν αντικατασταθεί μία τσιμούχα που προβλέπεται κατά την ετήσια συντήρηση, δεν πρέπει αυτή να παραγγελθεί πριν την επόμενη συντήρηση, δηλαδή μετά από έναν χρόνο σχεδόν, αφού, σε περίπτωση τυχαίας βλάβης, θα υπάρχει δυσανάλογος χρόνος αναμονής για ένα τόσο φτηνό εξάρτημα.

1.31 Ασφάλεια με τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές

Γενικά, κατά την εργασία στο μηχανουργείο, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος να συμβούν ατυχήματα, τα οποία μπορούν, κάτω από κάποιες συνθήκες, να προξενήσουν σωματικές βλάβες και υλικές ζημιές. Αυτό ισχύει σε μικρότερο βαθμό, όταν χρησιμοποιούνται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, αφού οι τεχνίτες δεν πλησιάζουν τη θέση κοπής, που άλλωστε συνήθως είναι κλεισμένη σε ένα κουβούκλιο. Οι μεγάλες ταχύτητες κοπής, σε συνδυασμό με την πιθανή χρήση μεταφορικών διατάξεων και ρομπότ, μπορεί να δημιουργήσουν συνθήκες που οδηγούν σε ατυχήματα. Οι εργαζόμενοι σε τέτοιους χώρους πρέπει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη τέτοιων ατυχημάτων.

Οι συνήθεις αιτίες που προκαλούν ατυχήματα είναι:

- Επικίνδυνες ή απερίσκεπτες ενέργειες.
- Σφάλματα εργαζόμενων, λόγω απειρίας, αφαίρεσης ή κούρασης.
- Επικίνδυνο περιβάλλον εργασίας.
- Επικίνδυνη κατάσταση των μηχανημάτων, των εργαλείων ή ακόμα και των κτιριακών εγκαταστάσεων.
- Διαφορά απρόβλεπτα γεγονότα (βραχυκύκλωμα κ.λπ.).

Τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για την ασφάλεια, διακρίνονται σε ατομικά μέτρα ασφάλειας καθενός που κινείται και εργάζεται στο χώρο του μηχανουργείου αλλά και σε γενικότερα μέτρα, που αφορούν τη χρήση των μηχανημάτων του. Τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα που παίρνει κάθε εργαζόμενος, για να μην εμπλακεί σε ατυχήματα είναι:

- Τα προστατευτικά γυαλιά, τα οποία προστατεύουν τα μάτια από τα εκτοξευμένα απόβλητα, από σπινθήρες κλπ.
- Τα γάντια, που προστατεύουν τα χέρια κατά τη μεταφορά ή επεξεργασία υλικών.

- Τα υποδήματα ασφάλειας, που προφυλάσσουν τα ποδιά από τις πτώσεις βαριών αντικειμένων.

Τα βασικά μέτρα για την προστασία των εργαζόμενων, που εργάζονται σε περιστροφικά μηχανήματα και γενικά σε όλες τις εργαλειομηχανές, είτε είναι συμβατικές, είτε με ψηφιακή καθοδήγηση είναι:

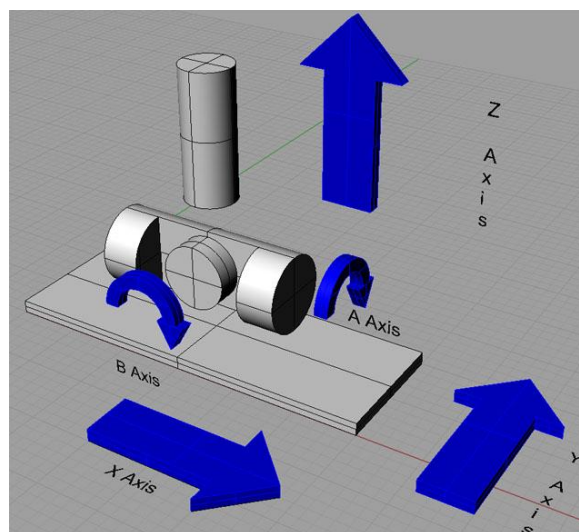
- Σωστός χειρισμός και συγκέντρωση προσοχής.
- Καλή κατάσταση εργαλειομηχανών και μηχανουργείου με ευταξία και καθαριότητα.
- Κοπτικά εργαλεία σε καλή κατάσταση.
- Σωστή ρύθμιση περιστροφικής ταχύτητας και πρόωσης.
- Αποφυγή φαρδιών ρηχών και λυμένων μακριών μαλλιών.
- Προσεκτική συγκράτηση τεμαχίων και κοπτικών εργαλείων.
- Σταμάτημα της εργαλειομηχανής, όταν επιδιώκεται μια μέτρηση, ρύθμιση, καθαρίσμα ή επισκευή.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : PRO-ENGINEER ΠΟΛΥΑΞΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν ευρέως τα συστήματα CAD, CAM, CNC για την παραγωγή εξαρτημάτων. Η εξέλιξη των πολυαξονικών κατεργασιών σε εργαλειομηχανές CNC έχει ήδη οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και την ακρίβεια για την κατεργασία σε επιφάνεια ελεύθερης μορφής. Ωστόσο, λόγω της επιπλέον κίνησης του τεμαχίου σε περισσότερους άξονες κατεργασίας δημιουργεί απρόσμενα σφάλματα κατεργασίας, όπως σμιλεύσεως του κοπτικού εργαλείου, είναι πιθανό να συμβεί σε μηχανουργικά πολύπλοκα εξαρτήματα. Επομένως, είναι αναγκαία η εκτέλεση NC προσομοίωσης πριν από την πραγματική κατεργασία για εξακρίβωση και τη διόρθωση των διαδρομών εργαλείου. Η βασική αρχή της προσομοίωσης NC είναι αφαιρώντας τον όγκο ακατέργαστου (εικονικά) που έχει σχεδιαστεί εκτελώντας τις εντολές μια μια για να γίνει επαλήθευση ότι όντως οι κινήσεις που ακολουθεί το κοπτικό είναι οι σωστές.

Τώρα υπάρχουν ήδη αρκετά προχωρημένα λογισμικά, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να απεικονίζουν τρισδιάστατα τις κατεργασίες τις οποίες επιλέγει ο χρήστης ούτως ώστε να μπορεί να δει τις κινήσεις που ακολουθεί το κοπτικό σε σχέση με το ακατέργαστο και να διορθώσει τυχόν λάθη.



Εικόνα 36: Απεικόνιση αξόνων

2.2 Πολυαξονική κατεργασία

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

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



Εικόνα 37: Πολυαξονική κατεργασία

2.3 Περιγραφή 4^{ου} άξονα

Ο τέταρτος άξονας έχει την κωδική ονομασία A όπως και με γράμματα συμβολίζονται και οι υπόλοιποι άξονες X, Ψ, Z. Ο τέταρτος άξονας στη συγκεκριμένη φρέζα HAAS VF2 είναι η περιστροφή του X άξονα όπου ο X άξονας είναι ο οριζόντιος άξονας της τράπεζας και ο οποίος κινείται δεξιόστροφα και αριστερόστροφα.

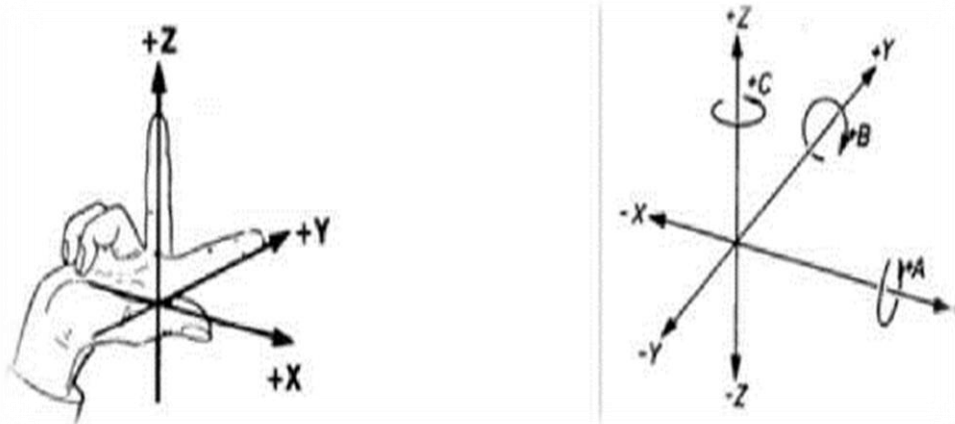


Εικόνα 38: Δέσιμο κομματιού

2.4 Απεικόνιση φοράς περιστροφής

Όπως φαίνεται στη εικόνα 39 ο αντίχειρας του δεξιού χεριού συμβολίζει τον X άξονα. Και η κατεύθυνση του αντίχειρα συμβολίζει τη κατεύθυνση κατά την οποία κινείται θετικά ο X άξονας, και βλέπουμε επίσης ότι ο 4ος άξονας ο οποίος έχει την κωδική ονομασία A, έχει τα θετικά του αριστερόστροφα δηλαδή αντίστροφα από την φορά του ρολογιού όταν η θέση του χειριστή είναι απέναντι του 4ου άξονα.

Όταν βλέπει ο χειριστής προς την ίδια κατεύθυνση που κοιτάζει και ο 4ος άξονας τότε γέρνει ωρολογιακά.



Εικόνα 39: Επεξήγηση αξόνων

2.5 Μετατόπιση 4ου άξονα

Ο 4ος άξονας μετατοπίζεται με μοίρες, δεξιόστροφα και αριστερόστροφα. Όταν του οριστεί από το λογισμικό ότι πρέπει να κινηθεί +45ο (δηλαδή θετικά) τότε αυτός κινείται αριστερόστροφα και αντίθετα από τη φορά του ρολογιού και όταν του οριστεί από το λογισμικό να κινηθεί -45, κινείται δεξιόστροφα. Όλες οι κινήσεις δίνονται μέσα από το λογισμικό και από τον χρήστη όπως αυτός τις ορίσει.

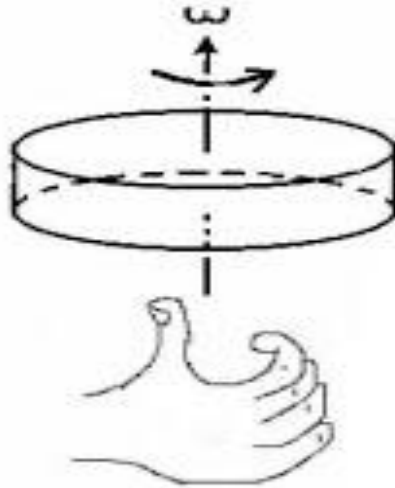
Η ταχύτητα περιστροφής ή γωνιακή ταχύτητα του 4ου άξονα υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό αφού έχει οριστεί μια συγκεκριμένη πρόωση τότε η ταχύτητα περιστροφής προκύπτει βάσει της διαμέτρου του ακατέργαστου ή των διαστάσεων εάν είναι τετράγωνο το σχήμα ή ορθογώνιο.

2.6 Γωνιακή ταχύτητα

Η γωνιακή ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος που ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής του τόξου που «σαρώνει» κάθε σημείο ενός σώματος που περιστρέφεται και μετράται σε ακτίνια το δευτερόλεπτο (rad/s). Συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα ω και μαθηματικά εκφράζεται από την σχέση:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \hat{n} ,$$

όπου \hat{n} το μοναδιαίο διάνυσμα παράλληλο προς τον άξονα περιστροφής και φορά όπως αυτή καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.



Εικόνα 40: Απεικόνιση φοράς περιστροφής-κανόνας χεριού

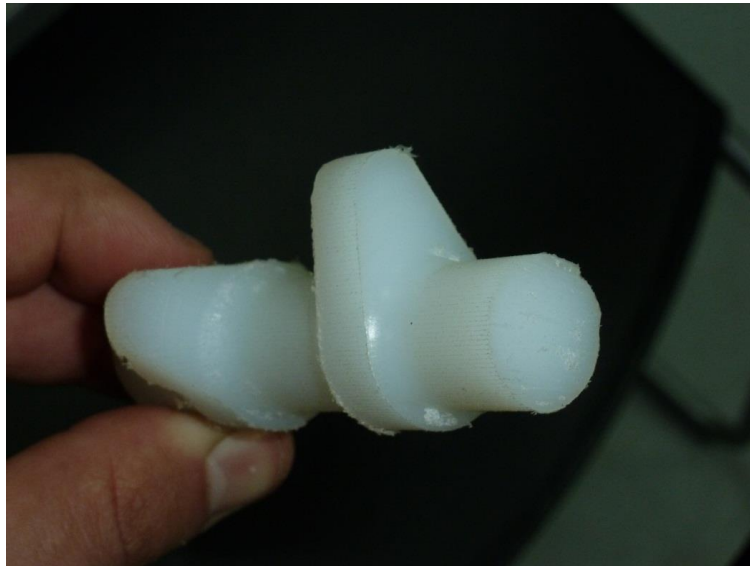
2.7 Πλεονεκτήματα και μείωση του κύκλου κατεργασίας με τον 4ο άξονα

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερου μήκους κοπτικά εργαλεία αφού το τεμάχιο έχει τη δυνατότητα να περιστραφεί σε σχέση με το κοπτικό.
- Με τη βελτιστοποίηση της γωνίας μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και της επιφάνειας του ακατέργαστου, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ένα σταθερό φορτίο και μια υψηλή ταχύτητα πρόωσης στο σημείο επαφής. Το αποτέλεσμα είναι, βελτιωμένο φινίρισμα επιφάνειας και εκτεταμένη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου.
- Κατεργασίες που χρειάζονται πολλαπλά δεσίματα στη μέγγενη της τράπεζας της φρέζας, με τον 4ο άξονα μπορούν με ένα δέσιμο να γίνουν και αυτό οφείλεται στη περιστροφή 360 του ακατέργαστου και ταυτόχρονη κατεργασία πάνω σε αυτό.



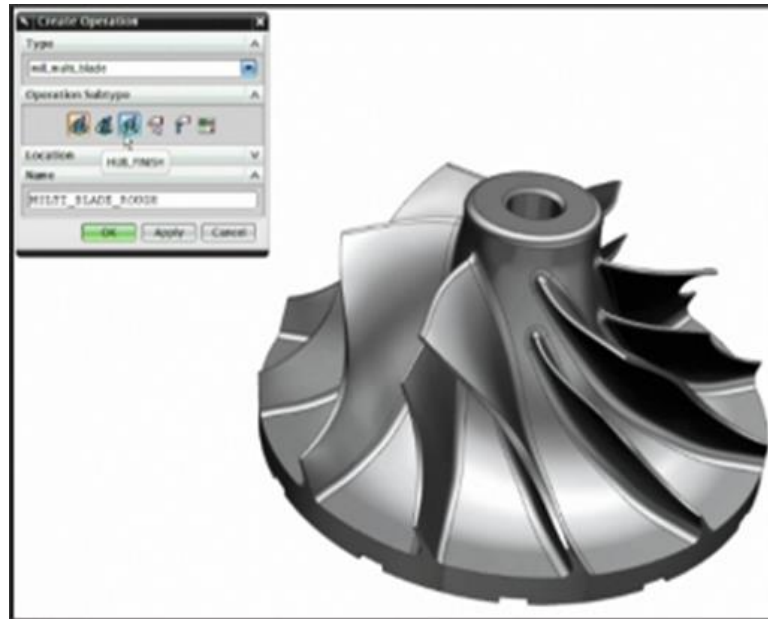
Εικόνα 41: Ακατέργαστο δεμένο στη μέγγενη

- Με τον 4ο άξονα μπορεί να κατεργαστεί με ακρίβεια οποιαδήποτε γωνία ή κοιλότητα υπάρχει πάνω στο τεμάχιο και επίσης να γίνει οποιαδήποτε χάραξη πάνω σε αυτά.

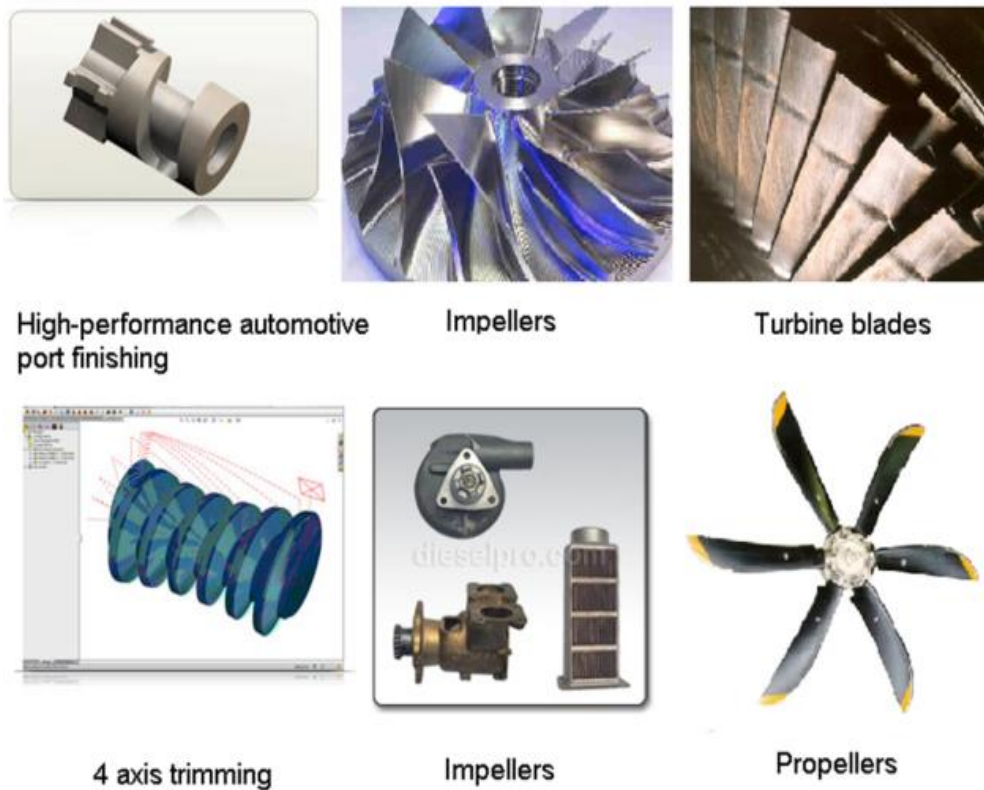


Εικόνα 42: Παράδειγμα χάραξης κοιλοτήτων σε τεμάχιο

- Μπορούν να επιτευχθέν πιο εύκολα και πιο γρήγορα συγκεκριμένες επιφάνειες με τη βοήθεια του 4ου άξονα πχ μια φτερωτή η μια προπέλα.



Εικόνα 43: Φτερωτή τούρμπο



Εικόνα 44: Τεμάχια που χρειάζονται χρήση 4ου άξονα για να κατασκευαστούν

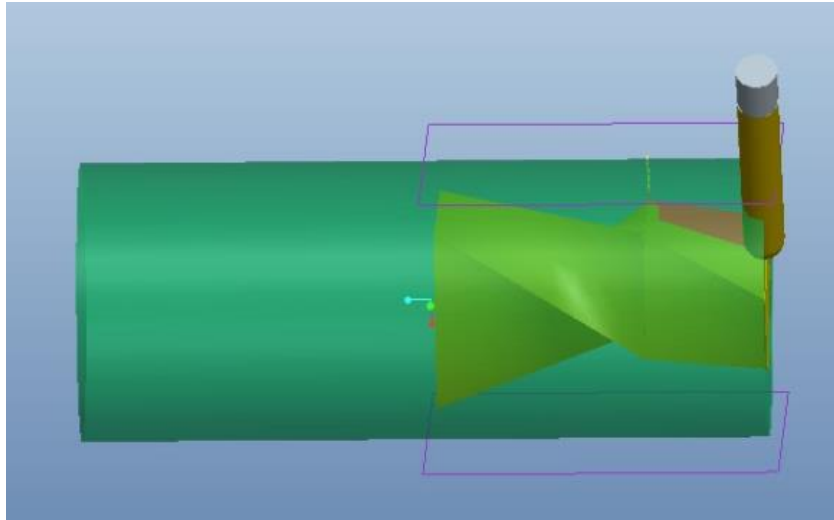
2.8 Διαφορές στην προσομοίωση και στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης σε σχέση με κατεργασίες φρεζαρίσματος που δεν απαιτούν τη χρήση 4ου άξονα (3 αξόνων).

Για να γίνει η οποιαδήποτε κατεργασία στη φρέζα πρώτα απ'όλα πρέπει να ακολουθηθούν μια σειρά από βήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τη διεκπαιραίωση οποιουδήποτε τεμαχίου.

Τα βήματα και οι διαφορές μεταξύ 3 αξόνων και με τη χρήση 4^{ου} είναι τα εξής:

1. Σχεδιασμός του τεμαχίου στο λογισμικό pro-engineer: κατά το σχεδιασμό η διαδικασία είναι η ίδια μεταξύ 3 αξόνων και 4ων αξόνων, εκτός αν εξαιρεθεί η πολυπλοκότητα του κάθε τεμαχίου που συνήθως στο 4ο αξονα σχεδιάζονται πιο πολύπλοκα τεμάχια.
2. Καθορισμός συστήματος συντεταγμένων για να οριστούν οι μετατοπίσεις του κοπτικού εργαλείου σε σχέση με το σημείο μηδέν. Στις κατεργασίες τις οποίες θα χρησιμοποιηθούν μόνο οι 3 άξονες της φρέζας ορίζεται ένα σύστημα συντεταγμένων (συνήθως σε μια από τις γωνίες του ακατέργαστου) και από αυτό εξαρτώνται οι κατεργασίες ενώ στο σύστημα 4ων αξόνων για κάθε πλευρά που πρέπει να γίνει η κατεργασία, αναλόγως την περιστροφή που θα χρειαστεί να κάνει το ακατέργαστο τεμάχιο, πρέπει να οριστεί 2ο σύστημα συντεταγμένων και σε αυτό να δηλωθούν οι μοίρες οι οποίες θα πρέπει να περιστραφεί το ακατέργαστο ούτως ώστε η επιφάνεια κατεργασίας να βρίσκεται απέναντι από τον άξονα Z. Υπάρχει η περίπτωση όμως που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μόνο σύστημα συντεταγμένων στη χρήση του 4ου άξονα νοουμένου ότι θα χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες εντολές οι οποίες θα έχουν κινήσεις κυκλικές (για το ακατέργαστο) και ταυτόχρονα αφαίρεση υλικού.
3. Προγραμματισμός κατεργασιών που είναι απαραίτητες για τη διεκπαιραίωση του τεμαχίου: Σε αυτό το βήμα η διαφορά που έχουν οι κατεργασίες με 3 άξονες σε σχέση με τη χρήση των 4ων είναι το σύστημα συντεταγμένων, στον

4ο άξονα όπως προαναφέρθηκε και πρίν πρέπει αναλόγως τη πλευρά του ακατέργαστου που είναι για κατεργασία να επιλέγεται και το ανάλογο σύστημα συντεταγμένων.



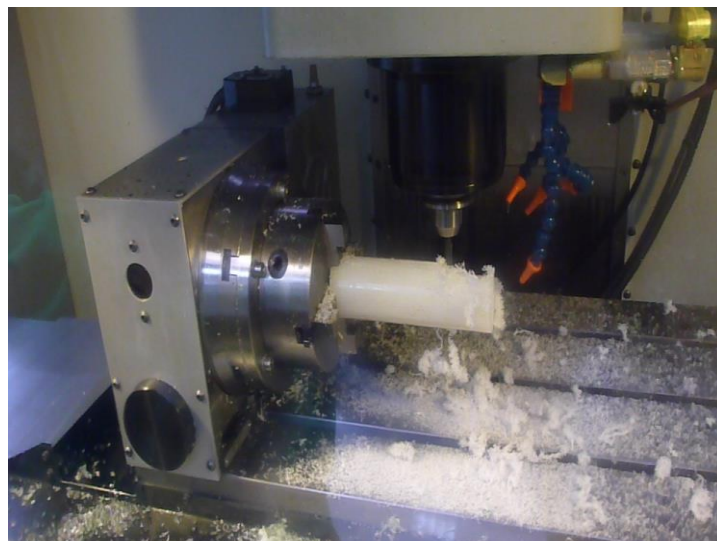
Εικόνα 45: Κατεργασία 4ου άξονα

4. Ελεγχος κατεργασιών με προσομοίωση για να ελεγκτούν όλες οι κινήσεις του κοπτικού και να αποφευχθούν οι οποιεσδήποτε ανεπιθύμητες: Εδώ δεν υπάρχει καμία διαφορά στη χρήση 3 αξόνων και 4ου. Γίνεται προσομοίωση κανονικά μέσα από το λογισμικό και έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει όλες τις κατεργασίες να εκτελούνται εικονικά.
5. Εξαγωγή προγράμματος από το λογισμικό σε usb stick και μεταφορά τους στη φρέζα: Κατά την εξαγωγή η διαδικασία είναι η ίδια ακριβώς.
6. Ορισμός σημείου μηδέν του ακατέργαστου στη φρέζα: Ο ορισμός του σημείου μηδέν στο ακατέργαστο είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή όπου έχει οριστεί το σημείο μηδέν στο λογισμικό πρέπει να οριστεί και στη φρέζα στο ίδιο σημείο



Εικόνα 46: Controller Φρέζας

7. Έλεγχος εντολών μια μια για επαλήθευση του προγράμματος: Σε αυτό το σημείο επίσης δεν υπάρχει καμιά διαφορά , γίνεται αντιγραφή το πρόγραμμα από το usb stick στη φρέζα και εκτελούνται οι εντολές μια μια για επαλήθευση του προγράμματος που έκανε εξαγωγή το λογισμικό.



Εικόνα 47: Φρέζα σε λειτουργία

Και αφού όλα τα παραπάνω είναι σωστά τότε η φρέζα εκτελεί όλες τις κατεργασίες από την αρχή μέχρι το τέλος χωρίς καμιά διακοπή και καμιά παρέμβαση από τον ανθρώπινο παράγοντα.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΛΑΝΤΖΑΣ

Για να λειτουργήσει ο 4ος άξονας έπρεπε να κατασκευαστεί μια φλάντζα η οποία θα λειτουργούσε σαν αντάπτορας, δηλαδή θα ταίριαζε δύο άλλα κομμάτια μεταξύ τους. Τα κομμάτια που θα ταίριαζε θα ήταν η βάση (που βρίσκεται πάνω στη τράπεζα της φρέζας) μαζί με το μηχανισμό συγκράτησης τεμαχίων.

Για να κατασκευαστεί η φλάντζα χρησιμοποιήθηκαν 3 άξονες και ο σχεδιασμός της έγινε στο λογισμικό pro-engineer.

3.1 Σχεδιασμός φλάντζας

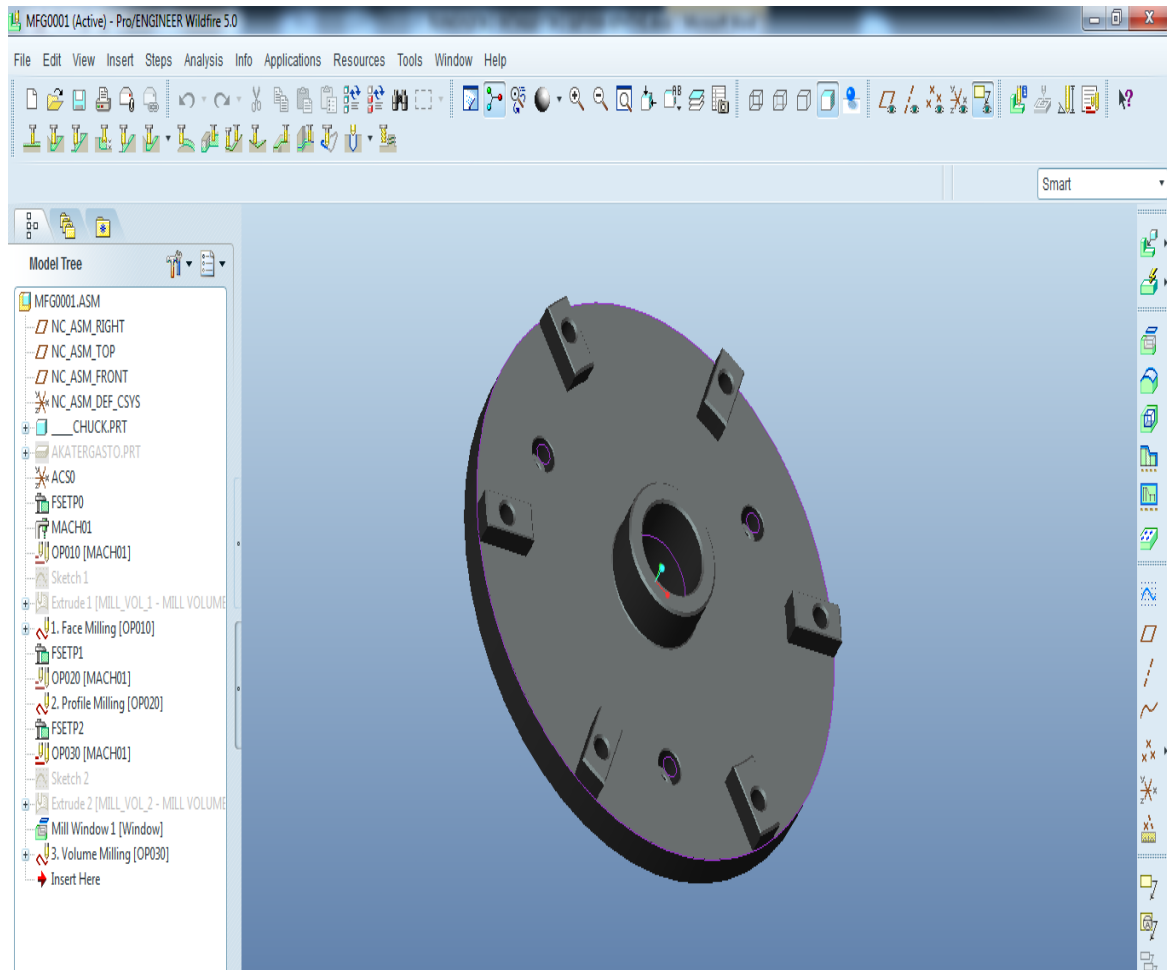
Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου τεμαχίου δεν ήταν κάτι δύσκολο γιατί με το συγκεκριμένο λογισμικό υπάρχουν πάρα πολλές ρυθμίσεις και παράμετροι και έτσι δεν χρειάστηκε κάτι συγκεκριμένα δύσκολο για να σχεδιαστεί. Ωστόσο για να σχεδιαστεί το συγκεκριμένο τεμάχιο έπρεπε να δημιουργηθεί ένας κύλινδρος στις διαστάσεις που ήταν προκαθορισμένες για να ταιριάζει στη βάση της τράπεζας της φρέζας.

Αφού είχε δημιουργηθεί ο κύλινδρος στο λογισμικό πολύ απλά με μια εντολή extrude, προστέθηκαν πάνω του οι τρύπες τα εξογκώματα και οι υπόλοιπες λεπτομέρειες που αναλύονται πιο κάτω.

Κατά το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής εντολές:

1. **EXTRUDE** Η εντολή αυτή δίνει όγκο στα διάφορα σχήματα που σχεδιάζονται (π.χ σχεδιασμός κύκλου και πατώντας την εντολή αυτή μετατρέπεται σε κύλινδρο).
2. **CHAMFE** Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για εξομάλυνση των διαφόρων γωνιών.
3. **SKETCH TOOL** Η εντολή αυτή είναι η πιο βασική αφού χωρίς αυτή ο χρήστης δεν μπορεί να ξεκινήσει.

Είναι αυτή που βάζει το χρηστή μέσα σε ένα περιβάλλον σχεδιασμού, εκεί που δημιουργούνται όλες οι γεωμετρίες οποιουδήποτε σχήματος.



Εικόνα 48: Φλάντζα σχεδιασμένη σε λογισμικό pro-engineer

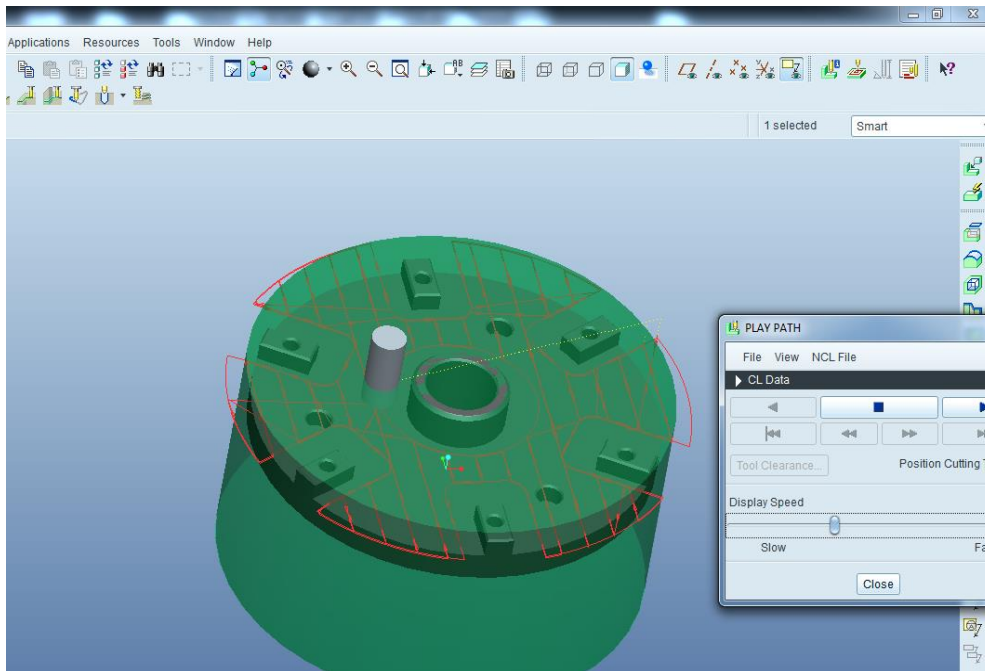
Το αποτέλεσμα απεικονίζεται στην εικόνα 48.

3.2 Εισαγωγή εντολών κατεργασίας

Σε αυτό το στάδιο έπρεπε να επιλεχθούν οι κατάλληλες εντολές κατεργασιών για να έρθει σε αποπεράτωση το τεμάχιο που στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η φλάντζα.

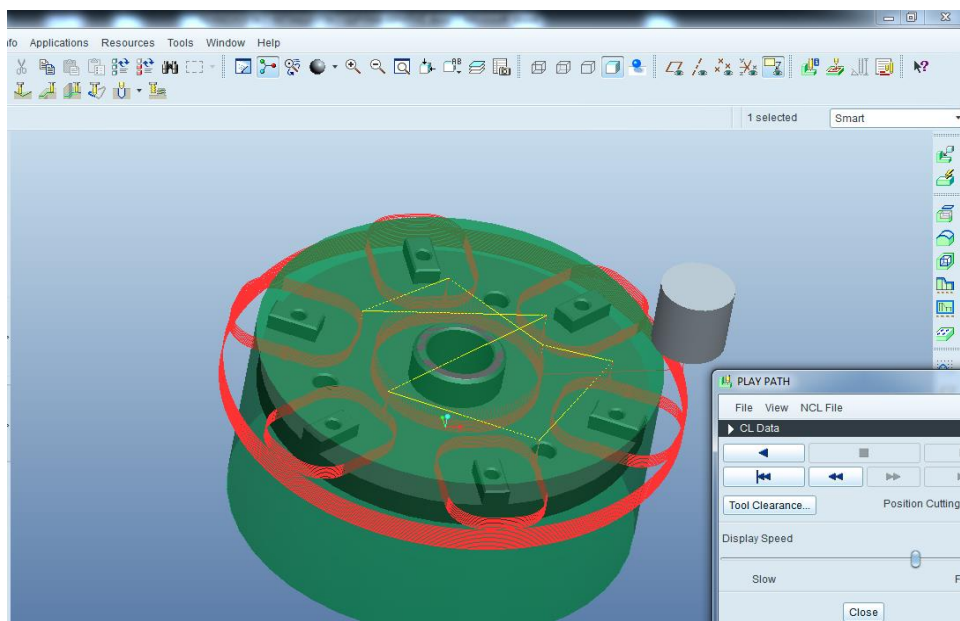
Αφού οριστεί το σύστημα συντεταγμένων στο λογισμικό, ορίζονται και οι κατεργασίες με τη κατάλληλη σειρά όπως αναφέρονται πιο κάτω.

Κατεργασία 1^η: με την εντολή αφαίρεσης όγκου (volume milling) διαμορφώθηκε η επιφάνεια της φλάντζας.



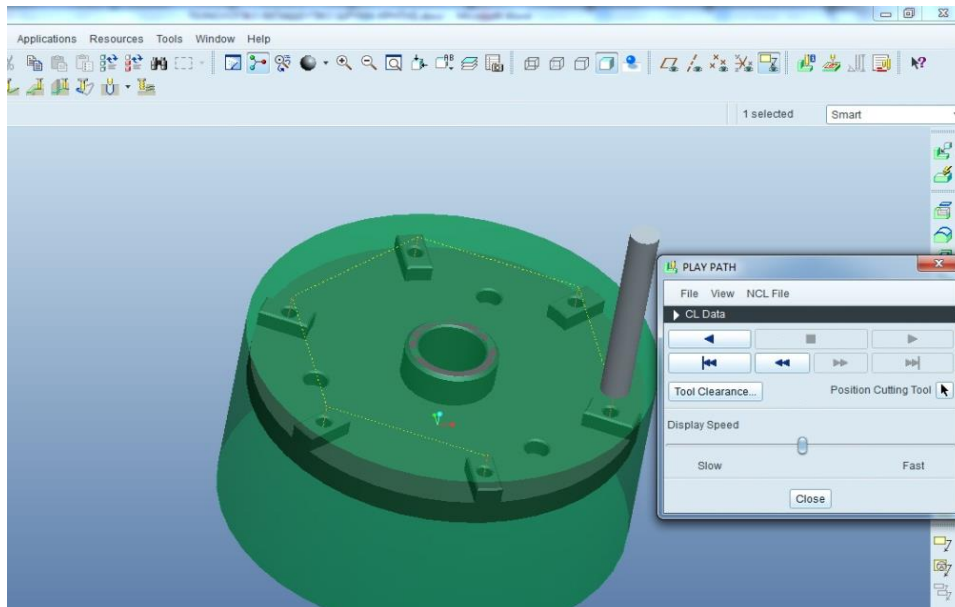
Εικόνα 49: Κατεργασία 1η-προσομοίωση στο λογισμικό

Κατεργασία 2η: κατεργασία προφίλ (profile milling) εδώ τελειοποιούνται όλες οι περιφερειακές επιφάνειες.



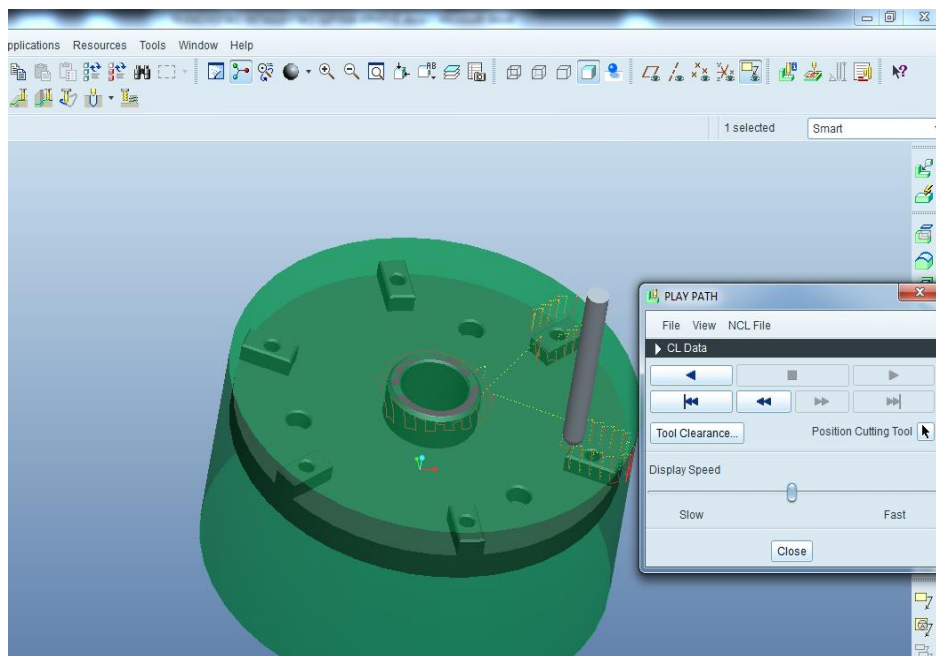
Εικόνα 50: Επεξεργασία Προφίλ (Profile Milling)

Κατεργασία 3^η: Δημιουργία οπών (hole making). Με αυτή τη κατεργασία δημιουργούνται οποιοσδήποτε οπές χρειάζεται.



Εικόνα 51: (Holemaking) προσομοίωση κατεργασίας οπών

Κατεργασία 4^η : surface milling- Εξομάλυνση γωνιών τεμαχίου



Εικόνα 52: Προσομοίωση κατεργασίας surface milling



Εικόνα 53: Controller Φρέζας

Πίνακας12: επεξήγηση διαφόρων παραμέτρων

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΣΤΡΟΦΕΣ ΑΝΑ ΛΕΠΤΟ ΤΟΥ ΚΟΠΤΙΚΟΥ	ΠΡΩΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΚΟΠΤΙΚΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΠΤΙΚΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΚΟΠΗΣ
1.VOLUME MILLING	100 RPM	40- 65mm/min	END-MILL	40mm ΤΕΤΡΑΠΤΕΡΟ	18-22 H
2.PROFILE MILLING	500 RPM	250 mm/min	BALL-MILL	20mm ΤΕΤΡΑΠΤΕΡΟ	0,45-1 H
3.HOLEMAKING	125 RPM	25mm/min	DRILL	8mm ΔΙΠΤΕΡΟ	0,10-0,15 H
4.SURFACE MILLING	600 RPM	200 mm/min	BALL-MILL	20mm ΤΕΤΡΑΠΤΕΡΟ	0,3-0,45 H

3.3 Κατεργασία τεμαχίου

Και αφού έχουν οριστεί οι εντολές κατεργασίας, αμέσως μετά γίνεται η μεταφορά των εντολών, οι οποίες έχουν γίνει εξαγωγή από το λογισμικό πάνω σε usb stick κατευθείαν στον controller της φρέζας και γίνεται η αποθήκευση αυτών με τη βοήθεια του χειριστή.

Αμέσως μετά τοποθετείται το ακατέργαστο τεμάχιο πάνω στη τράπεζα της φρέζας και γίνεται η στερέωση αυτού με τη βοήθεια των clamping kit



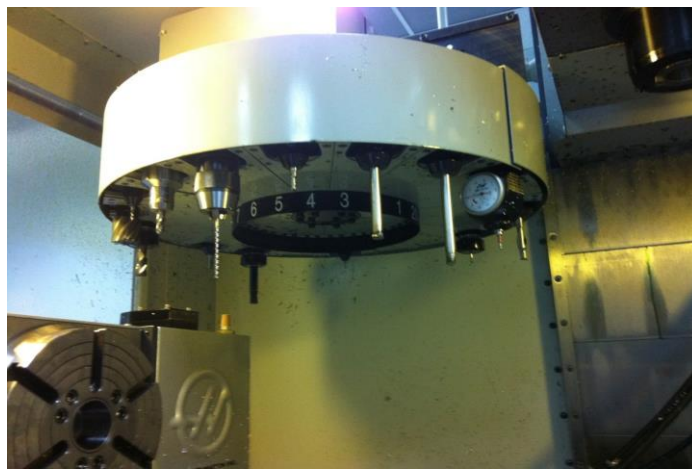
Εικόνα 54: Ακατέργαστο πριν την στερέωση του και ακατέργαστο στερεωμένο με μια κατεργασία εκτελεσμένη

Το επόμενο βήμα είναι να οριστεί το σημείο μηδέν πάνω στο ακατέργαστο. Με τη βοήθεια του ταστέρ ορίστηκε το σημείο μηδέν το οποίο έχει οριστεί και το αντίστοιχο πρώτα στο λογισμικό.



Εικόνα 55: Ορισμός σημείου μηδέν πάνω στο ακατέργαστο

Αφού έχει δεθεί το ακατέργαστο στη τράπεζα και έχει οριστεί το σημείο μηδέν τότε ο χειριστής ελέγχει αν τα κοπτικά που έχει ορίσει μέσα από το λογισμικό είναι στις θέσεις που πρέπει να είναι στην ομπρέλα, μετά ελέγχει αν τα συγκεκριμένα κοπτικά που θα εκτελέσουν τις κατεργασίες είναι μηδενισμένα, τότε επιλεγεί το πρόγραμμα που έχει περάσει από το λογισμικό στον controller της φρέζας και βάζει σε λειτουργία τη φρέζα και εκτελεί τις εντολές μία μία ούτως ώστε να μην γίνει καμία ανεπιθύμητη κίνηση του κοπτικού και να υπάρξουν απώλειες είτε από μεριά κοπτικών είτε από το ακατέργαστο δηλαδή να καταστραφεί μέρος του από μια λάθος κίνηση του κοπτικού.

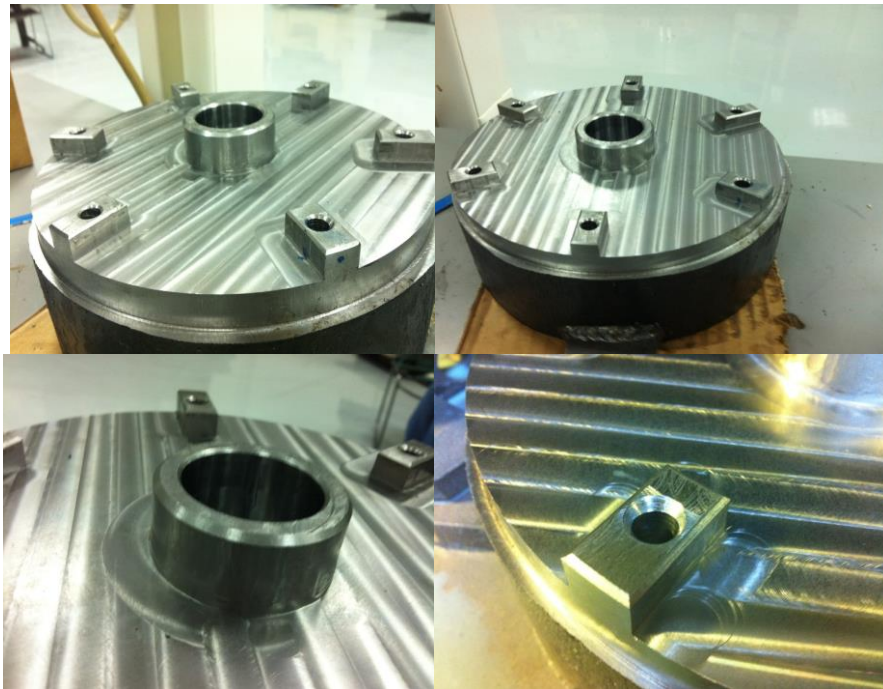


Εικόνα 56: ομπρέλα φρέζας

Και αφού έχουν γίνει τα παραπάνω βήματα τότε μπαίνει σε λειτουργία η φρέζα με τη βοήθεια του χειριστή, δουλεύει με συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής και πρόωση αφού του έχουν οριστεί μέσω του λογισμικού και με το πέρας των κατεργασιών ο χειρίστης παίρνει το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 57:Τεμάχιο μετά από κατεργασία



Εικόνα 58: Κατεργασμένο τεμάχιο σε διαφορετικές όψεις

Και τέλος αφού έχουν ολοκληρωθεί οι κατεργασίες ο χειρίστης κλείνει τη φρέζα και τότε το κατεργασμένο τεμάχιο είναι έτοιμο για χρήση.



Εικόνα 59: Φλάντζα τοποθετημένη στη φρέζα

Τώρα η μέγγενη στη φρέζα είναι έτοιμη για να δεθούν τα ακατέργαστα και να λειτουργήσει ο 4ος άξονας.

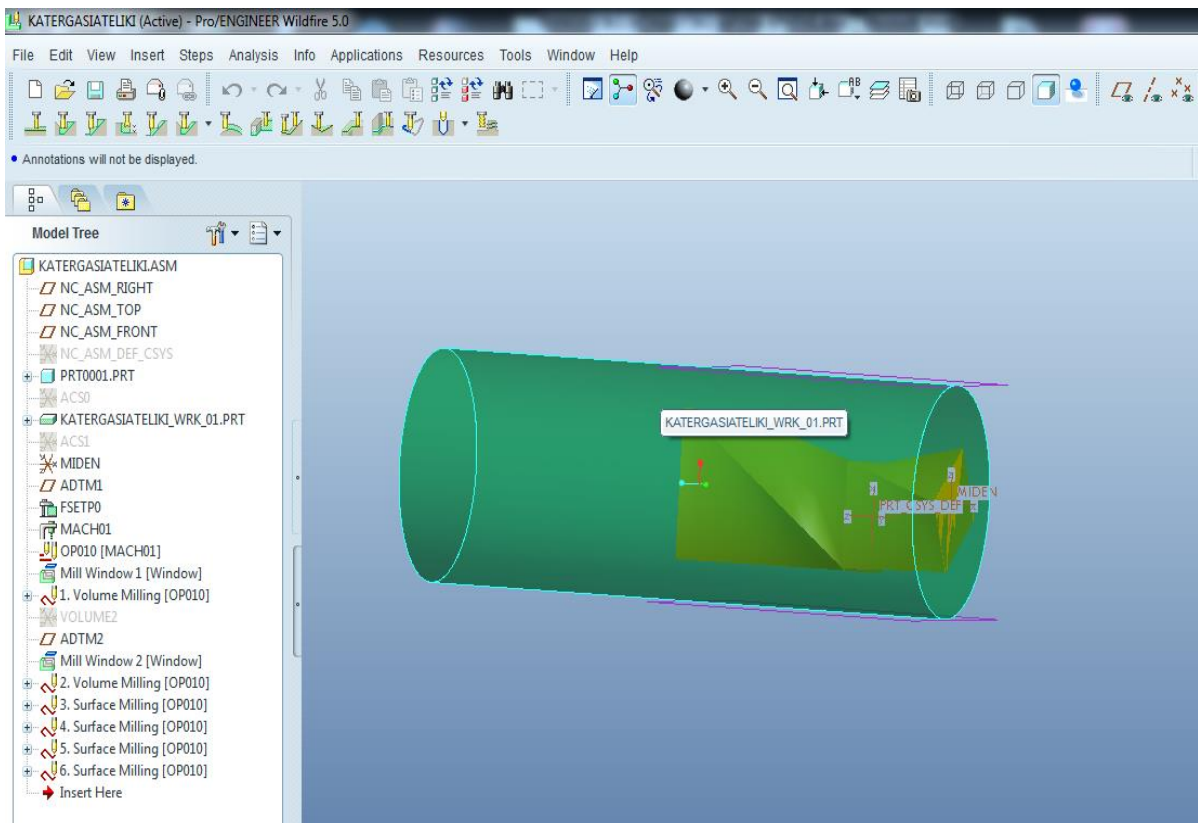
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ 4^{ΟΥ} ΑΞΟΝΑ

4.1 Περιγραφή εισαγωγής κατεργασίας για λειτουργία 4ου άξονα

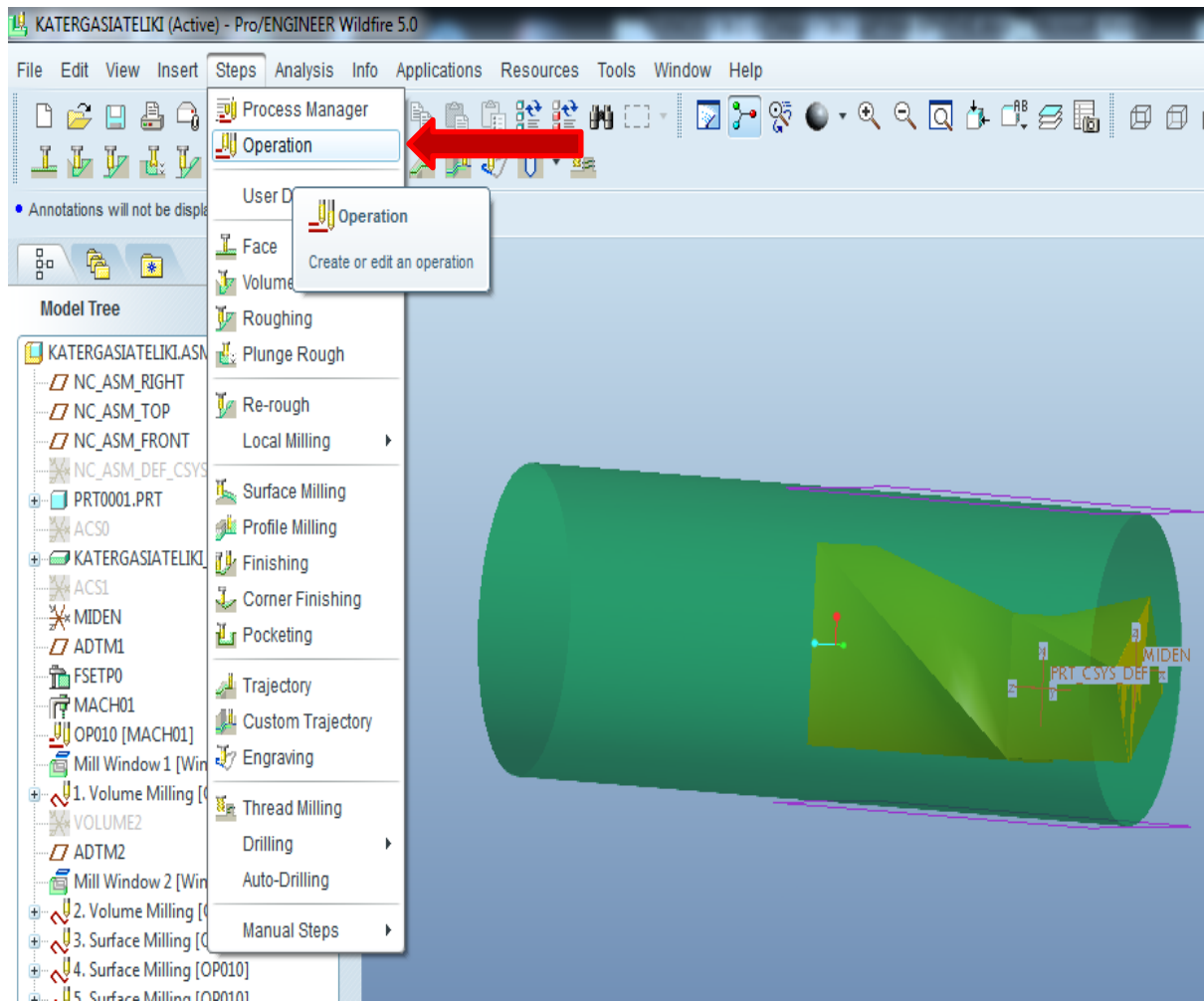
Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για να κατεργαστεί και να κατασκευάσει ένα τεμάχιο με τη χρήση του 4ου άξονα είναι περίπου τα ίδια με τους 3 άξονες αλλά αναλύοντας πιο κάτω τα βήματα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ 3ων και 4ων αξόνων όπως και τα βήματα για να μπει σωστά μια κατεργασία στη φρέζα με τη χρήση του 4ου άξονα.

Τα βήματα έχουν ως εξής:

1. Άνοιγμα του σχεδιασμένου τεμαχίου: εδώ ανοίγει ο χρήστης το τεμάχιο που έχει σχεδιάσει στο λογισμικό για να του ορίσει τις κατάλληλες κατεργασίες.



Εικόνα 60: Τεμάχιο σχεδιασμένο στο pro-engineer



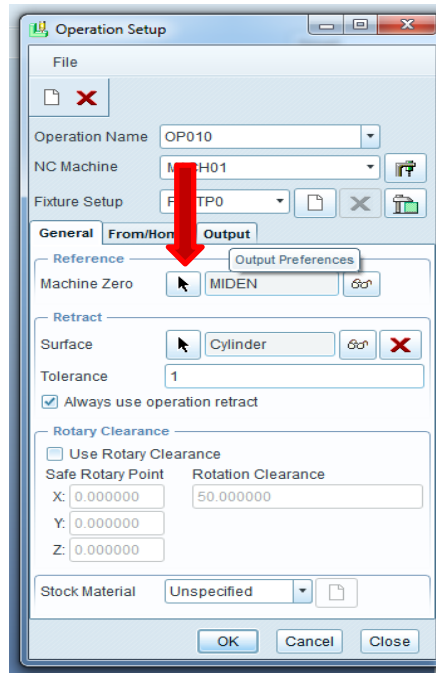
Εικόνα 61: Επιλογή νέου operation

2. Στο δεύτερο βήμα πρέπει να δημιουργηθεί ένα operation έτσι ώστε να εισαχθούν οι κατεργασίες σε αυτό, δηλαδή ένα operation μπορεί να συμπεριλαμβάνει πολλές κατεργασίες και μέσα από το operation ο χρήστης μπορεί να ορίσει κάποιες παραμέτρους οι οποίες εξηγούνται πιο κάτω. Όταν αφού ο χρήστης επιλέξει την επιλογή steps – operation μπορεί να ορίσει κάποιες παραμέτρους.

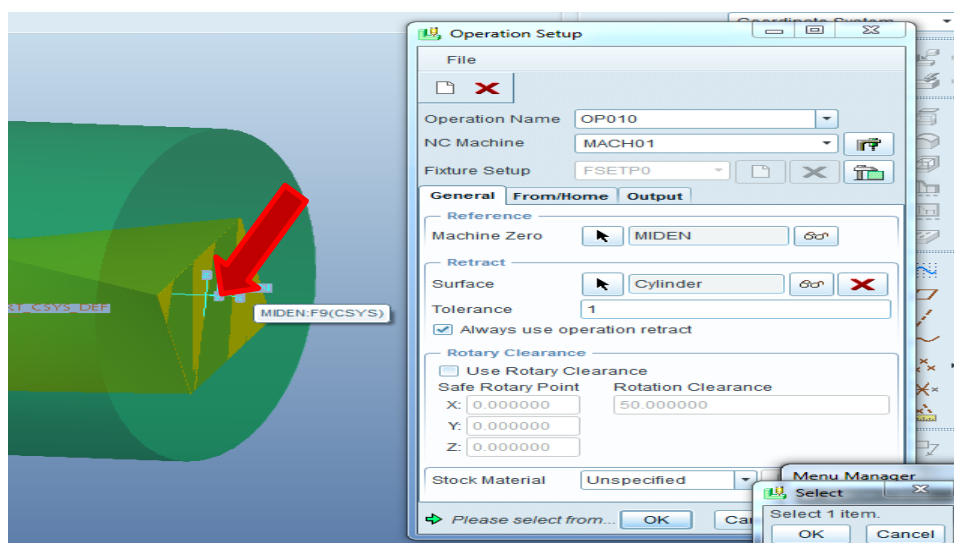
Αφού πατήσει ο χρήστης τη συγκεκριμένη επιλογή τότε του εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο επιλογών το οποίο φαίνεται στην εικόνα 62 και μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους του που μερικές από αυτές είναι το σύστημα συντεταγμένων και ο μηδενισμός του τεμαχίου

Μόλις πατήσει το τόξο ο χειριστής τότε του δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει ένα σύστημα συντεταγμένων που θέλει αυτός και μετά να πατήσει το ok. Έτσι επιλέγεται το σύστημα συντεταγμένων το οποίο δείχνει που είναι το σημείο μηδέν του ακατέργαστου και από πού θα γίνονται όλες οι μετατοπίσεις.

Εδώ πρέπει να ορίσει το σημείο μηδέν του τεμαχίου και αυτό ορίζεται σε αυτό το σημείο της διαδικασίας. Επιλέγοντας το **machine zero** (πατώντας το τόξο).



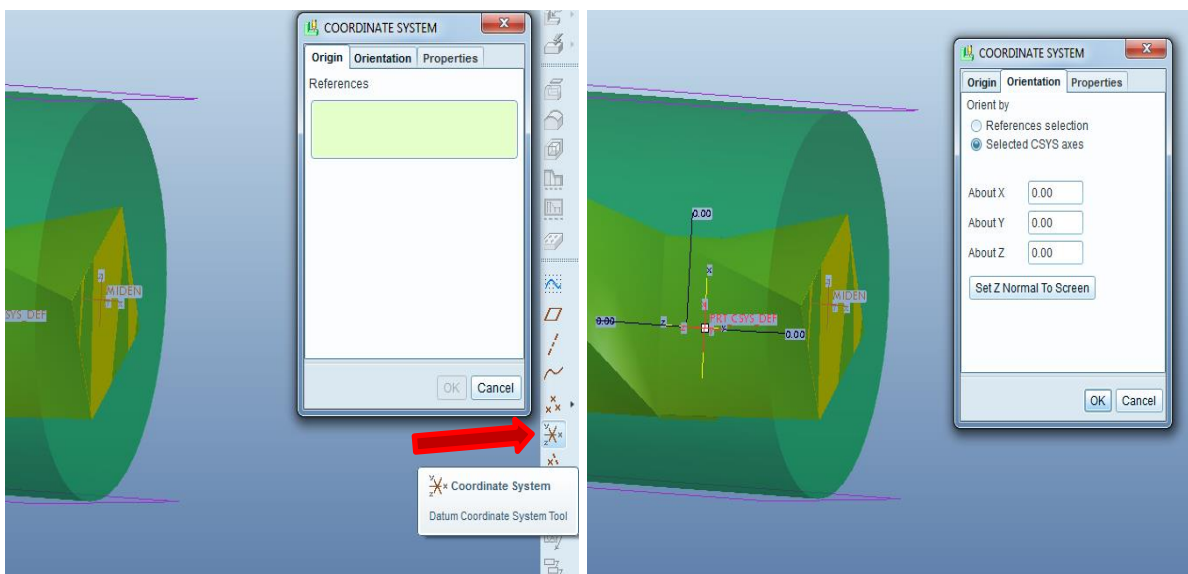
Εικόνα 62: ορισμός σημείου μηδέν



Εικόνα 63: Επιλογή συστήματος συντεταγμένων

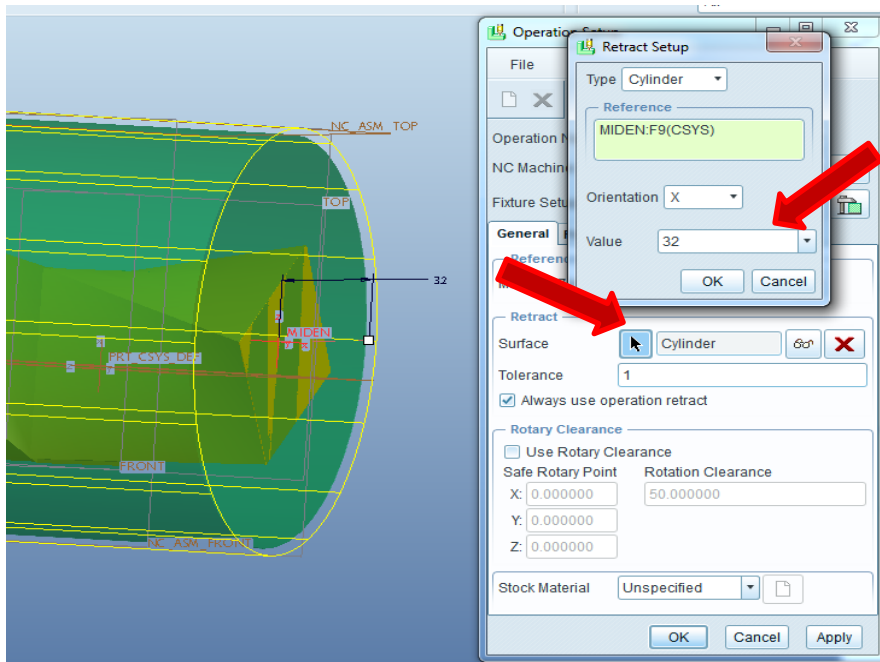
Μπορεί να μετατοπίσει το καινούργιο σύστημα συντεταγμένων αριθμητικά, δηλαδή να το μετατοπίσει ορίζοντας μια απόσταση X μεταξύ του καινούργιου και του υφιστάμενου συστήματος συντεταγμένων ή μπορεί να το περιστρέψει ορίζοντας του τις μοίρες και τον άξονα στον οποίο θέλει να γίνει η περιστροφή.

Το σύστημα συντεταγμένων τοποθετείται από το χρήστη μέσα από την επιλογή coordinate system. Επιλέγοντας αυτό το κουμπί των συντεταγμένων, το πρόγραμμα αφήνει το χρήστη να τοποθετήσει σύστημα συντεταγμένων όπου ακριβώς θέλει αυτός. Συνήθως και πιο εύκολα μπορεί ο χρήστης την ώρα που θα ενεργοποιήσει την εντολή που τον ερωτάει το λογισμικό που να βάλει το σύστημα συντεταγμένων, μπορεί να επιλέξει ένα υφιστάμενο σύστημα συντεταγμένων και να μετατοπίσει το καινούργιο με βάση αυτό που επέλεξε.



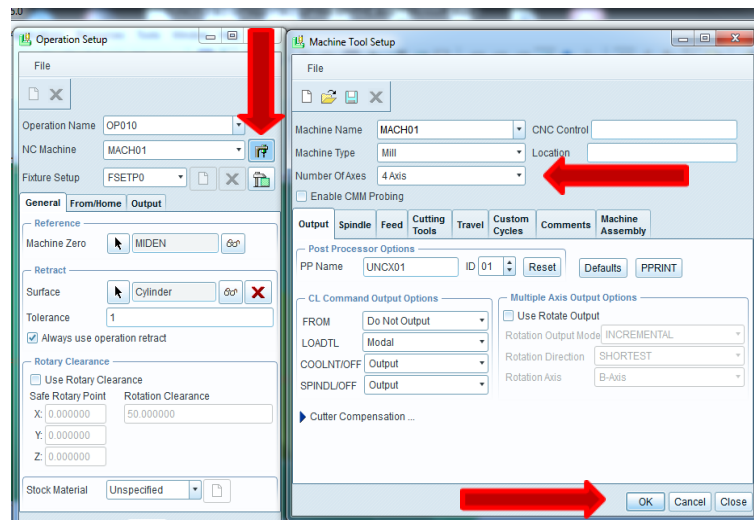
Εικόνα 64: Εισαγωγή συστήματος συντεταγμένων

Μετά τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων ορίζεται το ύψος που θέλει ο χρήστης να βρίσκεται το κοπτικό κατά τη διάρκεια περιστροφής του τεμαχίου ή την ώρα που θα αλλάξει η κατεργασία. Συνήθως ορίζεται 2 χιλιοστά πιο ψηλά από το ψηλότερο σημείο του ακατέργαστου έτσι ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε σύγκρουση του κοπτικού με το ακατέργαστο. Αυτές οι παράμετροι ορίζονται μέσα από την εντολή surface όπως φαίνεται στην εικόνα 65.



Εικόνα 65: Ορισμός ύψους κοπτικού κατά τη διάρκεια περιστροφής ή αλλαγής κατεργασίας

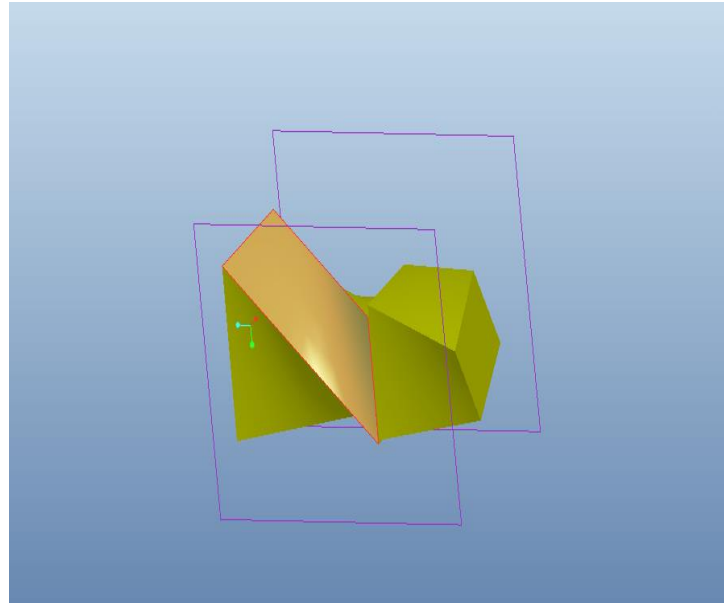
Το άλλο βασικό που πρέπει να προσέξει ο χρήστης είναι να επιλέξει τον αριθμό των αξόνων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκαν 4 άξονες. Όποτε όπως φαίνεται και από την εικόνα πιο κάτω πατώντας την επιλογή **NC machine** ανοίγει το παράθυρο **machine tool setup** και εκεί που γραφεί **number of axes** ο χρήστης επιλεγεί **4 Axis**.



Εικόνα 66: Επιλογή αριθμού αξόνων

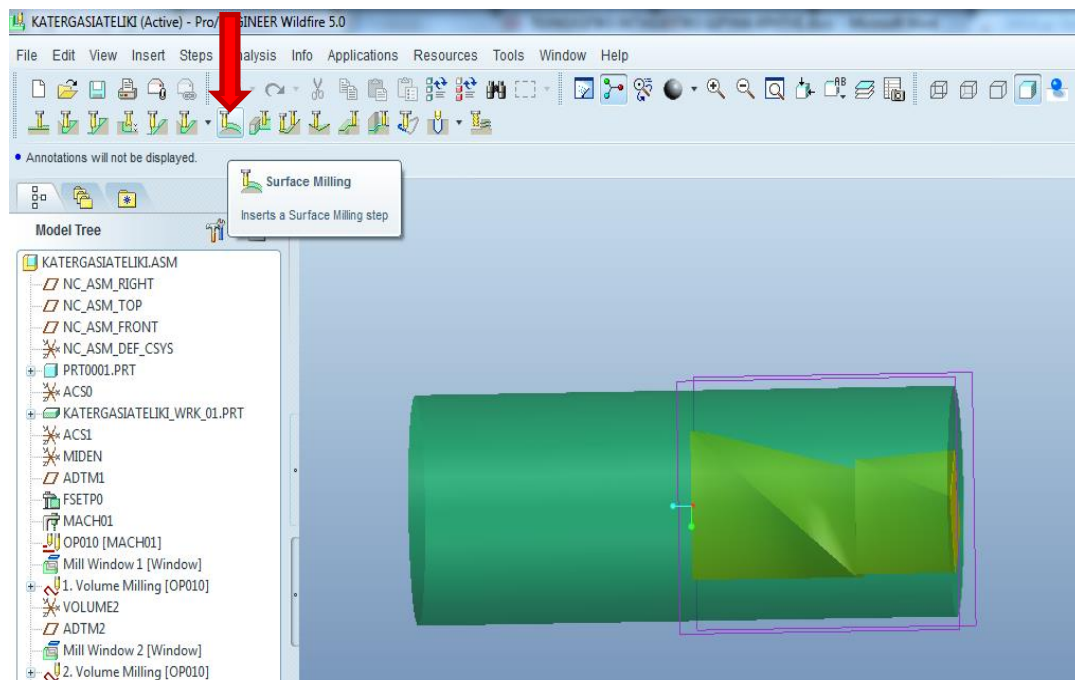
Τώρα έχει οριστεί το operation το σύστημα συντεταγμένων και κάποιες από τις βασικές ρυθμίσεις για την εκτέλεση κατεργασίας με τη χρήση του 4ου άξονα. Αφού

έχουν οριστεί τα παραπάνω τώρα ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τι κατεργασία θέλει να εκτελέσει. Στο συγκεκριμένο τεμάχιο χρειάζεται να κινηθεί το τεμάχιο περιστροφικά και ταυτόχρονα το κοπτικό οριζοντίως και καθέτως, δηλαδή αυτή η κατεργασία απαιτεί ένα συνδυασμό κινήσεων για να γίνει αυτή η επιφάνεια.



Εικόνα 67: Τεμάχιο στη τελική του μορφή σε περιβάλλον pro-engineer.

Ο χρήστης επιλέγει κατεργασία από τη γραμμή κατεργασιών όπως φαίνεται στην εικόνα 68 και επιλέγει **surface milling**.



Εικόνα 68: Επιλογή κατεργασίας από τη γραμμή κατεργασιών.

Αφού έχει επιλέξει ο χρήστης τη συγκεκριμένη κατεργασία τότε του εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο το οποίο τον ρωτάει πόσοι άξονες θα χρησιμοποιηθούν για αυτή τη κατεργασία. Και εδώ ο χρήστης επιλέγει 4 άξονες και πατάει Done.



Εικόνα 69: Επιλογή αριθμού αξόνων

Αφού πατήσει Done ο χρήστης τότε ανοίγει ένα νέο παράθυρο με διάφορες ρυθμίσεις και από εκεί ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ποιές πρέπει να επεξεργαστεί και να εισάγει τα κατάλληλα δεδομένα που χρειάζονται για τη συγκεκριμένη κατεργασία. Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τις πιο κάτω ρυθμίσεις που φαίνονται και στην εικόνα 70.



Εικόνα 70: Εισαγωγή ρυθμίσεων

TOOL: επιλογή κοπτικού

PARAMETERS: ορισμός των παραμέτρων όπως βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής.

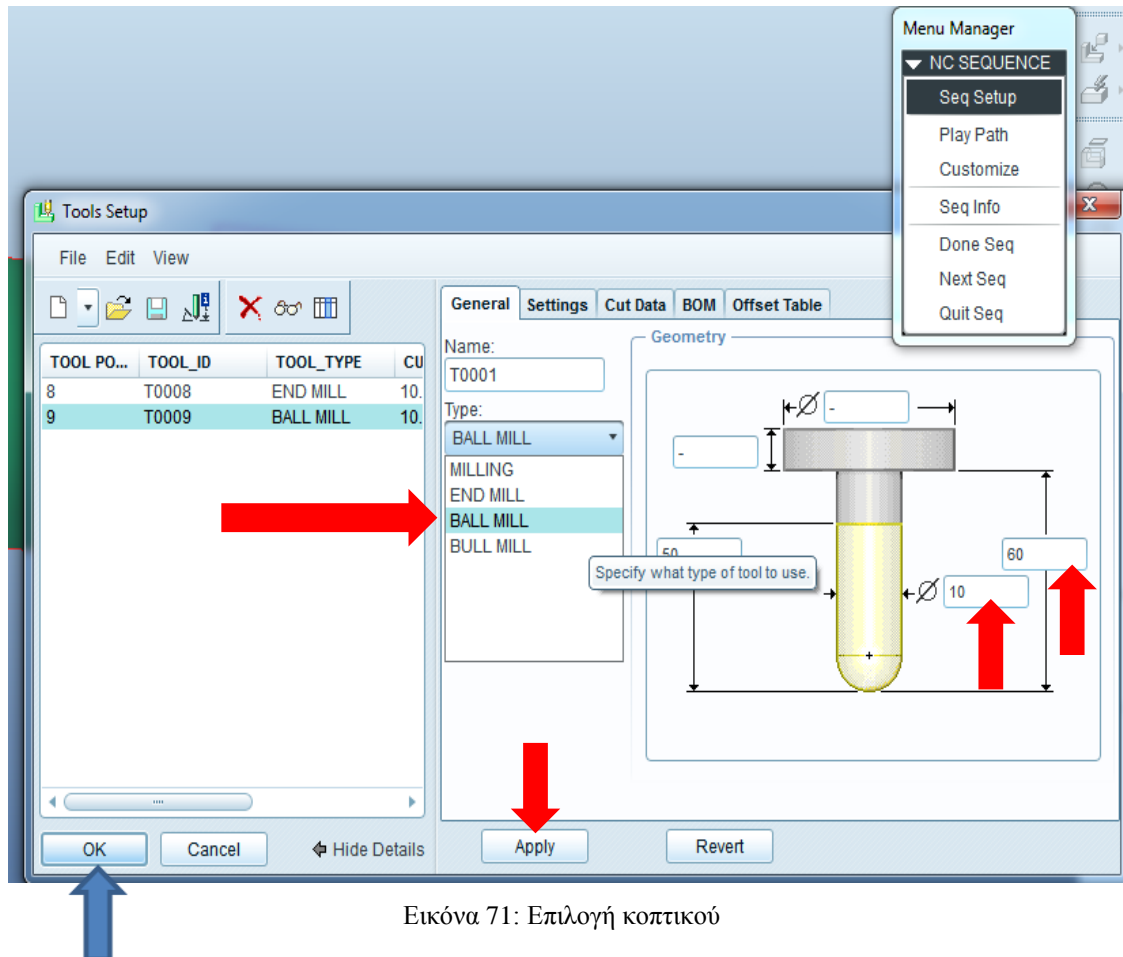
SURFACES: επιφάνειες οι οποίες θα κατεργαστούν

4 AXIS PLANE: επιλογή κάποιου επίπεδου το οποίο το κοπτικό εργαλείο θα είναι παράλληλο προς αυτό.

DEFINE CUT: προσδιορισμός αφαίρεσης υλικού

Πατάει Done ο χρήστης και τότε αρχίζει να εισάγει τις ρυθμίσεις σε αυτά που έχει επιλέξει πιο πάνω.

TOOL: επιλογή κοπτικού, επιλογή σφαιρικού κοπτικού γιατί είναι απαραίτητο για τη συγκεκριμένη κατεργασία. Επίσης επιλογή μήκους και διαμέτρου κοπτικού. Αφού οριστούν αυτά τότε ο χρήστης πατά Apply και έτσι έχει επιλέξει το κοπτικό που μόλις έχει εισάγει.



Εικόνα 71: Επιλογή κοπτικού

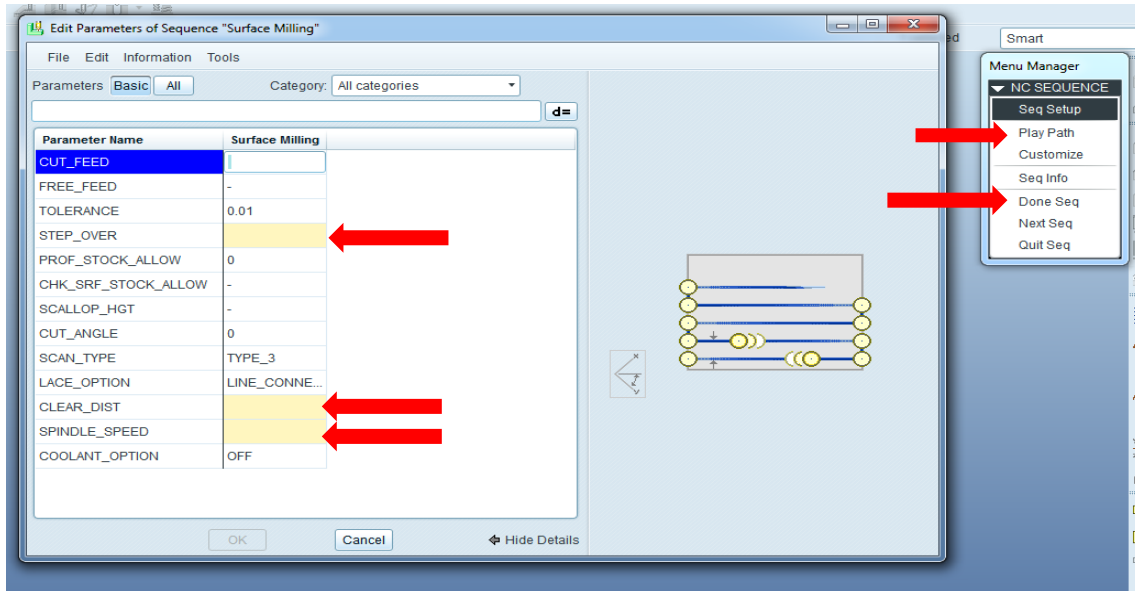
PARAMETERS: ορισμός των παραμέτρων όπως βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής.

CUT FEED: Ορισμός πρόωσης, λαμβάνοντας υπόψη το υλικό και το κοπτικό υπολογίζεται μέσα από πρόγραμμα.

STEP OVER: ορισμός οριζοντίων μετατοπίσεων κατά Ψ άξονα λαμβάνοντας υπόψη τη διάμετρο του κοπτικού.

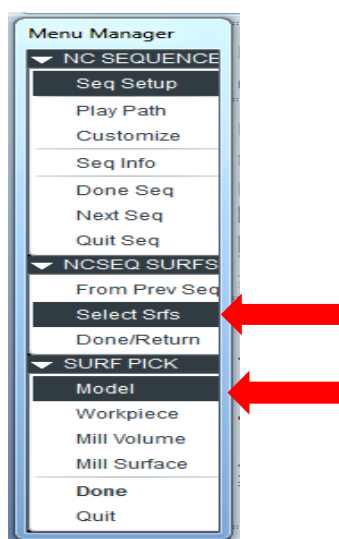
CLEAR DIST: ορισμός κάθετης απόστασης μεταξύ κοπτικού και ακατέργαστου κατά την μετακίνηση για αλλαγή κατεργασίας ή σε νεκρούς χρόνους, δηλαδή σε χρόνους που το κοπτικό δεν κατεργάζεται το τεμάχιο.

SPINDLE SPEED: ορισμός ταχύτητας περιστροφής του κοπτικού λαμβάνοντας υπόψη το υλικό, το κοπτικό (διάμετρο και υλικό), και αναλόγως τι επιφάνεια θέλει ο χρήστης, δηλαδή αν είναι λείανση πολλές στροφές ενώ αν θέλει απλά ξεχόνδρισμα λίγες στροφές.



Εικόνα 72: Εισαγωγή παραμέτρων

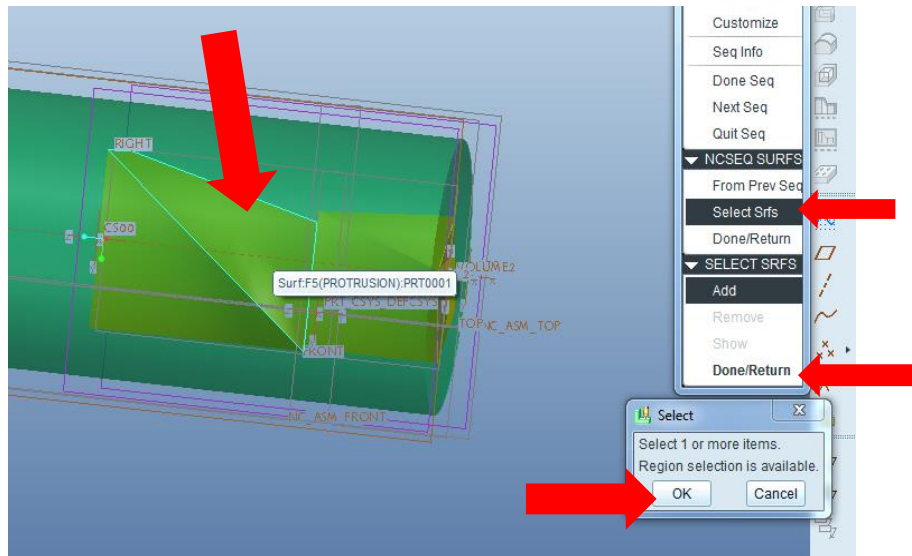
Αφού έχουν οριστεί από τον χρήστη οι σωστές τιμές στα κενά τότε επιλέγει το Done seq. Τώρα το επόμενο παράθυρο που ανοίγει στο χρήστη με επιλογές είναι αυτό που φαίνεται στη εικόνα 73.



Σε αυτό το παράθυρο επιλέγει ο χρήστης από πού θα επιλέξει τις επιφάνειες τις οποίες θα κατεργαστεί. Και επιλέγει το Model, δηλαδή επιλέγει επιφάνειες από το κατεργασμένο τεμάχιο γιατί αυτές θέλει να κατεργαστεί και να κατασκευάσει.

Εικόνα 73: Παράθυρο επιλογής επιφάνειας

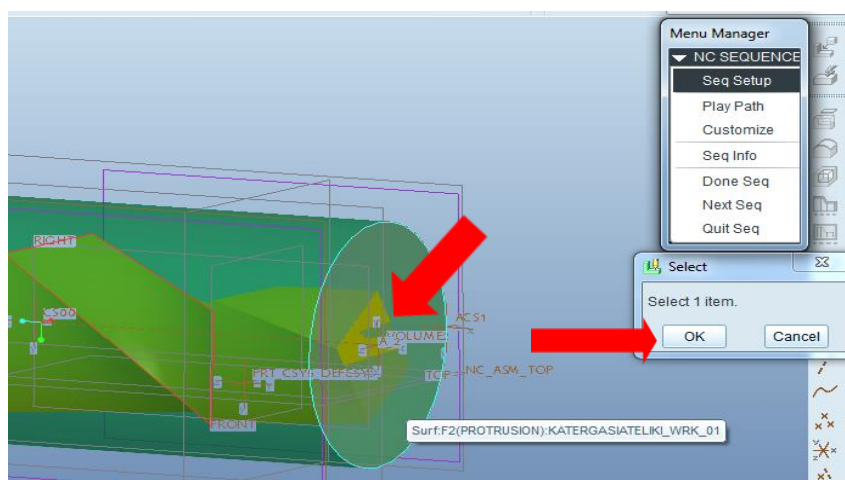
Πατώντας το κουμπί done εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο το οποίο λέει στο χρήστη να επιλέξει την επιφάνεια που θέλει να κατεργαστεί.



Εικόνα 74: Επιλογή επιφάνειας κατεργασίας

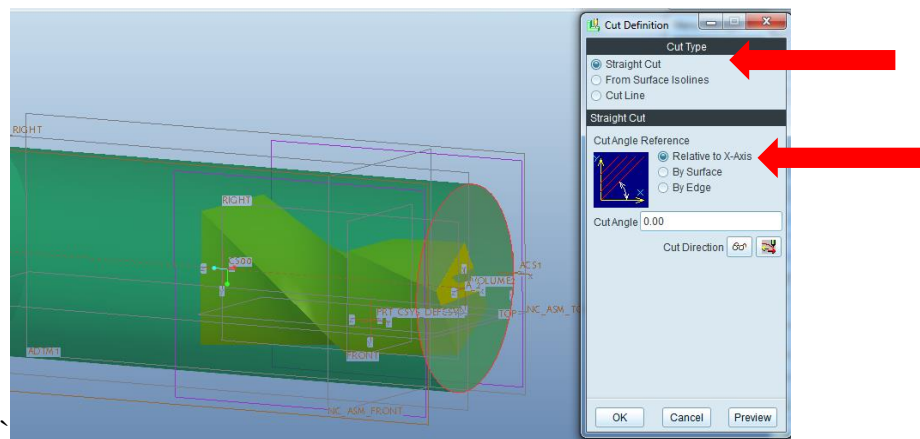
Τότε ο χρήστης επιλέγει με το αριστερό κλικ του ποντικιού την επιφάνεια που θέλει να κατεργαστεί και πατά το OK, αφού πατήσει το ok αμέσως μετά πατάει την επιλογή Done/return 2 φορές.

AXIS PLANE: Αμέσως μετά το πρόγραμμα λέει του χρήστη να επιλέξει μια επιφάνεια η οποία θα είναι παράλληλη με τον άξονα του κοπτικού και ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την επιφάνεια που φαίνεται στην εικόνα 75 και μετά το OK.



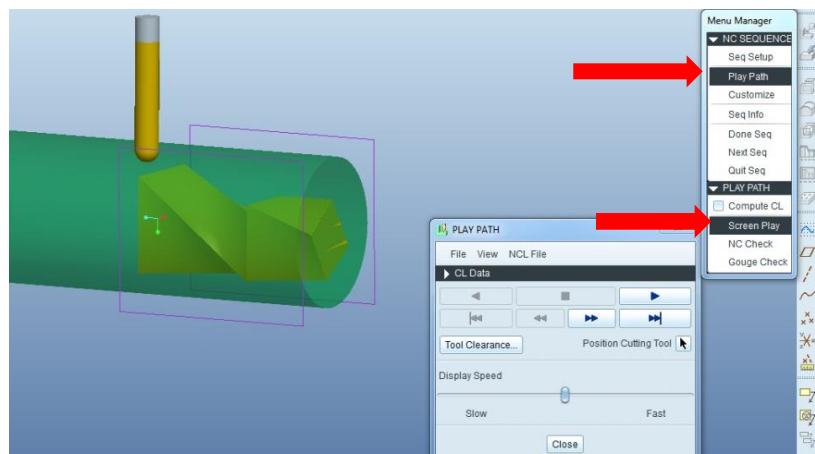
Εικόνα 75: επιλογή επιφάνειας παράλληλη με τον άξονα του κοπτικού

Και αφού έχουν γίνει τα παραπάνω η τελευταία επιλογή που εμφανίζει στο χρήστη είναι να προσδιορίσει το είδος κοπής. Εδώ ο χρήστης επιλέγει τις συγκεκριμένες επιλογές που φαίνονται στην εικόνα 76 και όπως φαίνεται επιλέγει την επιλογή Relative to X-axis δηλαδή οι κινήσεις να είναι σε σχέση με τον άξονα X γιατί αυτή η επιφάνεια θα δημιουργηθεί με τη βοήθεια του 4ου άξονα και ο 4ος άξονας είναι ο άξονας X, οπότε ο χρήστης επιλέγει τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις ούτως ώστε οι κινήσεις που θα γίνουν στη φρέζα να είναι σχετικές με τον άξονα X.



Εικόνα 76: προσδιορισμός κοπής

Τώρα η κατεργασία είναι έτοιμη για να μεταφερθεί στη φρέζα και να ξεκινήσει η πρακτική διαδικασία. Τότε ο χρήστης επιλέγει με τη σειρά, Play Path, Screen Play και βλέπει εικονικά τις κινήσεις του κοπτικού μέχρι να τελειώσει η κατεργασία. Αφού δει ο χρήστης ότι το κοπτικό κάνει τις σωστές κινήσεις τότε η κατεργασία είναι έτοιμη να μεταφερθεί στη φρέζα και να εκτελεστεί.



Εικόνα 77: απεικόνιση κατεργασία

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ:POST-PROCESSOR-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

5.1 Ιστορική αναδρομή

Οι άνθρωποι ρωτούν συχνά εάν ο post-processor είναι αυτό που πραγματικά χρειάζεται, ίσως αναρωτιούνται αν το όλο θέμα έχει διαπραχθεί στο ανυποψίαστο κοινό η χρήστη του λογισμικού από αδίστακτους οίκους λογισμικών! Στην πραγματικότητα, δεν είναι μια συνωμοσία, παρά μόνο ένα πολύ πρακτικό δημιούργημα. Τα διεθνή πρότυπα (ISO), καθώς και εθνικά πρότυπα (ANSI, ΕΠΕ) καθορίζουν τόσο τη μορφή εξόδου για συστήματα CAM και μια μορφή εισόδου για NC μηχανήματα.

Αυτές οι δύο μορφές, εξόδου και εισόδου, διαφέρουν σημαντικά. Γιατί όχι ένα πρότυπο, μια μορφή; Χρησιμοποιούν για να καθορίσει μια ενιαία μέθοδο από μια σειρά από πιθανές επιλογές, οι οποίες όλες γενικά εφαρμόζονται στην πράξη. Πρότυπα που πηγαίνουν ενάντια στη κοινή πρακτική εμφανίζονται από καιρό σε καιρό, αλλά είναι δύσκολο να δικαιολογηθούν, είναι δύσκολο να δημιουργηθούν και να επιβραδυνθούν για να γίνουν αποδεκτά. Απαιτούν επίσης μια πιο μεγάλη αφοσίωση και προσπάθεια από ό, τι οι περισσότεροι άνθρωποι είναι πρόθυμοι να εργαστούν εθελοντικά. Έτσι, όταν ο πολλαπλασιασμός των ανταγωνιστικών συστημάτων APT δικαιολογεί ένα πρότυπο για να βοηθήσει στον καθορισμό και τον έλεγχο της μορφής των εισόδων και των εξόδων του, τα πρότυπα δημιουργήθηκαν για τον καθορισμό των βασικών στοιχείων που απαιτούνται για την κατασκευή. Ομοίως, ο πολλαπλασιασμός των ελεγκτών απαιτεί επίσης κάποια ομοιομορφία, και διάφορα πρότυπα γλώσσας NC δημιουργήθηκαν για τον καθορισμό των βασικών πρακτικών της βιομηχανίας.

5.2 Post processor- περιγραφή

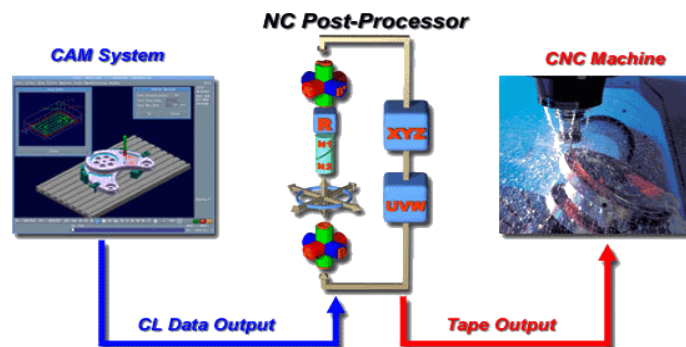
Τα περισσότερα συστήματα CAM παράγουν έναν ή περισσότερους τύπους των ουδέτερων αρχείων γλώσσας που περιέχουν οδηγίες για ένα μηχάνημα CNC. Αυτά είναι είτε σε δυαδική μορφή που ονομάζεται CL DATA ή κάποια αναγνώσιμη μορφή ASCII προσαρμοσμένη μετά την APT γλώσσα. APT είναι ένα αρκτικόλεξο για "Αυτόματα Προγραμματισμένα Εργαλεία," λογισμικό που δέχεται συμβολική

γεωμετρία και οδηγίες κατασκευής, και δημιουργεί CLDATA αρχεία που περιγράφουν τη διαδικασία κατασκευής σε απόλυτους όρους.

Στο άλλο άκρο της εξίσωσης βρίσκεται η μηχανή NC. Απαιτεί είσοδο προσαρμοσμένης γλώσσας για τον controller που χρησιμοποιεί. Το πιο σημαντικό, η μηχανή NC πρέπει να οδηγείται κατά τρόπο που να ικανοποιεί τα κριτήρια, τα οποία κατά κύριο λόγο έχουν βάση την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την παράδοση.

Μεταξύ αυτών των δύο βρίσκεται ο post processor. Ο post processor είναι λογισμικού που είναι υπεύθυνο για τη μετάφραση ουδέτερων οδηγιών από το σύστημα CAM στις ειδικές οδηγίες που απαιτούνται από τη μηχανή NC. Αυτό το λογισμικό ανταποκρίνεται στις μοναδικές απαιτήσεις και τους περιορισμούς του συστήματος CAM, NC μηχανή και περιβάλλον παραγωγής. Ως εκ τούτου, μετά την επεξεργασία είναι ένα σημαντικό μέρος του αυτοματισμού εργοστασίων, καθώς είναι κάτι που βρίσκεται στην κρίσιμη διαδρομή μεταξύ του μηχανικού σχεδιασμού και του τμήματος παραγωγής.

Το πρώτο καιρό που πρωτοπαρουσιάστηκε ο post processor θεωρήθηκε ένα εργαλείο διασύνδεσης μεταξύ των συστημάτων CAM και τις μηχανές αριθμητικού έλεγχου (NC μηχανές) – με απλά λόγια ήταν ένας απλός μεταφραστής που διαβάζει τις οδηγίες κατασκευής που εκδίδονται από ένα σύστημα CAM και τις μεταφράζει σε αριθμούς κυρίως οι οποίοι αντιπροσωπεύουν αποστάσεις και μετατοπίσεις κατά το πλείστο και μπορούν να διαβαστούν από μηχανές αριθμητικού έλεγχου δηλαδή μηχανές NC. Σήμερα ωστόσο, ο post processor έχει εξελιχθεί ώστε να περιλαμβάνει ένα δυναμικό εύρος των εργαλείων βελτιστοποίησης κώδικα τα οποία θα είναι υπεύθυνα για την έξοδο του πιο αποδοτικού πλέον και παραγωγικού κώδικα ούτως ώστε ο χρήστης να λαμβάνει τα πιο αποδοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα.



Εικόνα 78: Βήματα διαδικασίας κατεργασίας

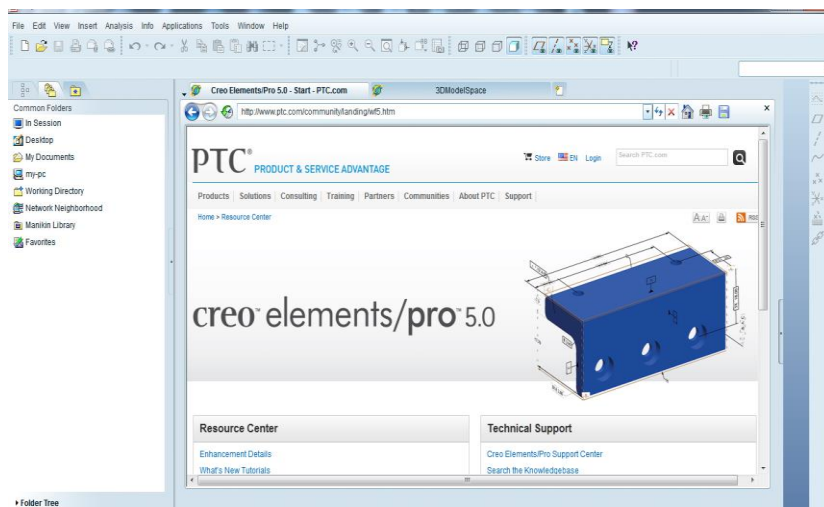
5.3 Ρυθμίσεις post-processor

Για τη λειτουργία του 4ου άξονα (περιστροφή του X) έπρεπε να προστεθούν κάποιες ρυθμίσεις ή να γίνει κάποια μετατροπή στις υπάρχουσες ρυθμίσεις.

Έπρεπε δηλαδή με κάποιες ρυθμίσεις οι οποίες θα επιλέγονταν βάση δοκιμών και με επαλήθευση του κώδικα που θα έκανε εξαγωγή το λογισμικό ο X άξονας να κάνει τις κατάλληλες περιστροφικές μετατοπίσεις έτσι ώστε οι κατεργασίες να διεκπεραιώνονται σωστά και με ακρίβεια.

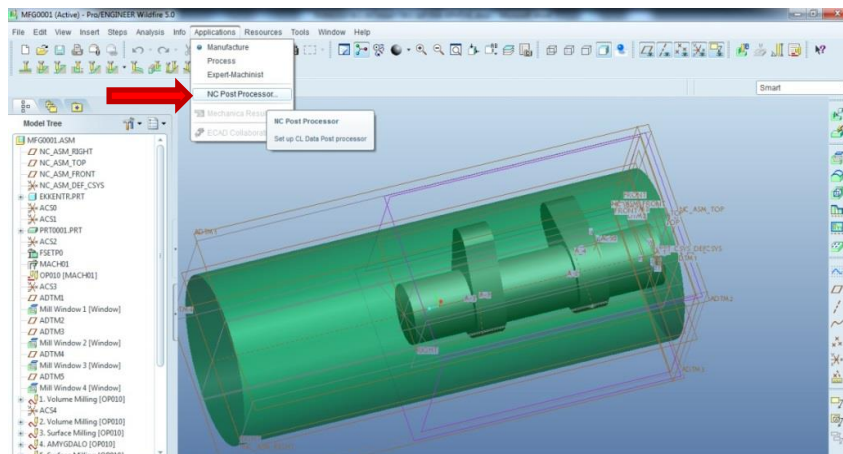
Για να αποκτήσει ο χειριστής πρόσβαση στις ρυθμίσεις του post-processor πρέπει να:

- Ανοίξει το λογισμικό pro-engineer



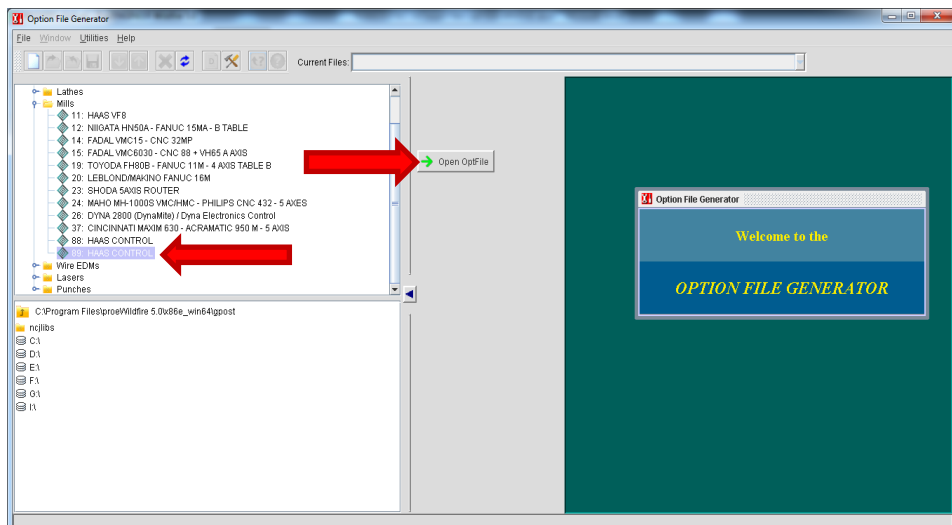
Εικόνα 79: Πρώτη επαφή λογισμικού με το χρήστη μόλις ανοίξει το πρόγραμμα

- Να ανοίξει ένα τεμάχιο το οποίο είναι έτοιμο για κατεργασία και μετά να επιλεγεί η εντολή applications και στη συνέχεια η εντολή NC Post processor.



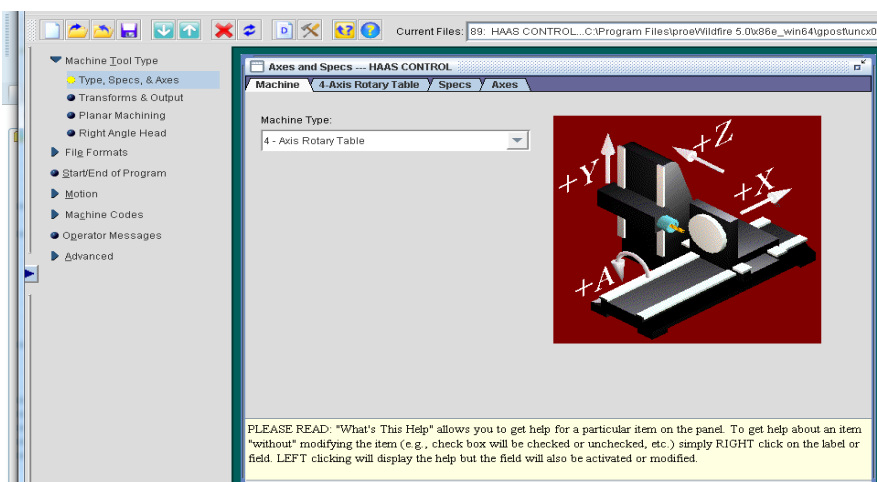
Εικόνα 80: Επιλογή εντολής για εισαγωγή του χρήστη στο περιβάλλον του post processor

- Μετά από αυτά τα βήματα το λογισμικό εισάγει το χρήστη σε αυτό το περιβάλλον που φαίνεται στην εικόνα 81, όπου από αυτό το περιβάλλον μπορεί να επιλεγεί ποιος post processor θα επεξεργαστεί. Αφού επιλεγθεί αυτός που θέλει ο χρήστης πατάει την επιλογή **open opt file**. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε ο HAAS CONTROL No 89 ο οποίος είναι ο ίδιος με τον 88 απλά έγινε ένα αντίγραφο αυτού για τις αλλαγές των ρυθμίσεων και για σύγκριση των ρυθμίσεων σε περίπτωση κάποιου λάθους σε αυτές.



Εικόνα 81: Περιβάλλον επιλογής post processor προς επεξεργασία

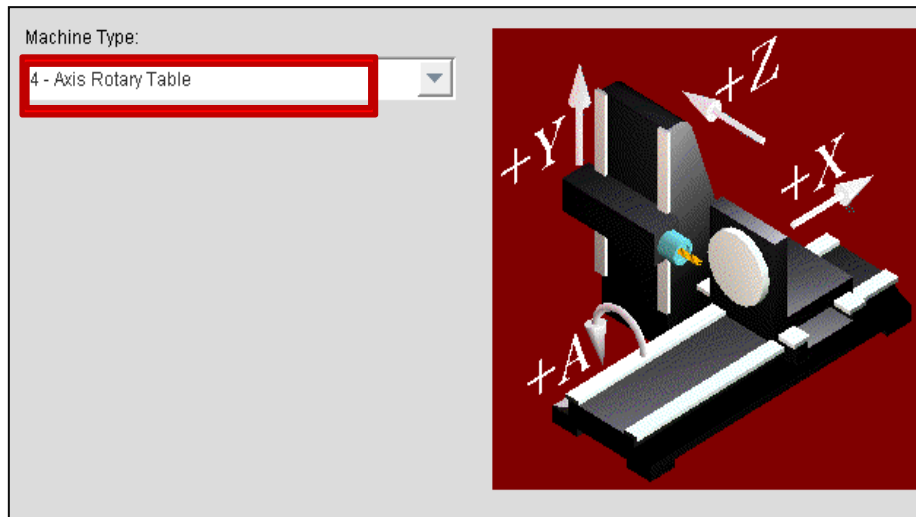
Αφού πατήσει ο χρήστης το **open opt file** τότε ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας ρυθμίσεων του post processor και αλλάζει ή προσθέτει τις οποιεσδήποτε ρυθμίσεις χρειάζεται.



Εικόνα 82: Παράθυρο επεξεργασίας ρυθμίσεων post-processor

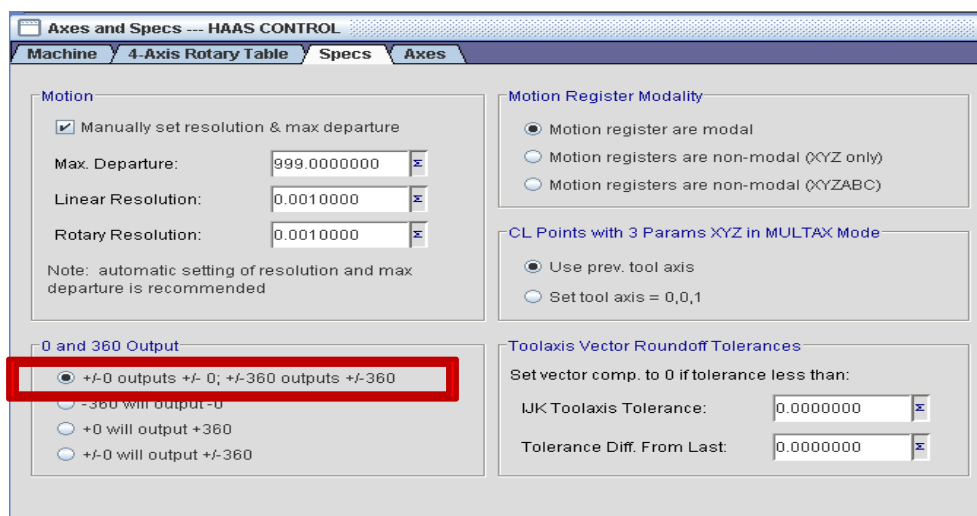
Οι ρυθμίσεις που έπρεπε να επιλεγούν ήταν οι εξής:

1. **4-axis Rotary Table:** σε αυτή τη ρύθμιση λέει βασικά ο χειριστής στο πρόγραμμα ότι πρέπει να εξάγει κώδικα και να λάβει υπόψη ότι η φρέζα η οποία θα χρησιμοποιηθεί θα είναι αξονική και θα περιστρέφεται ο X άξονας.



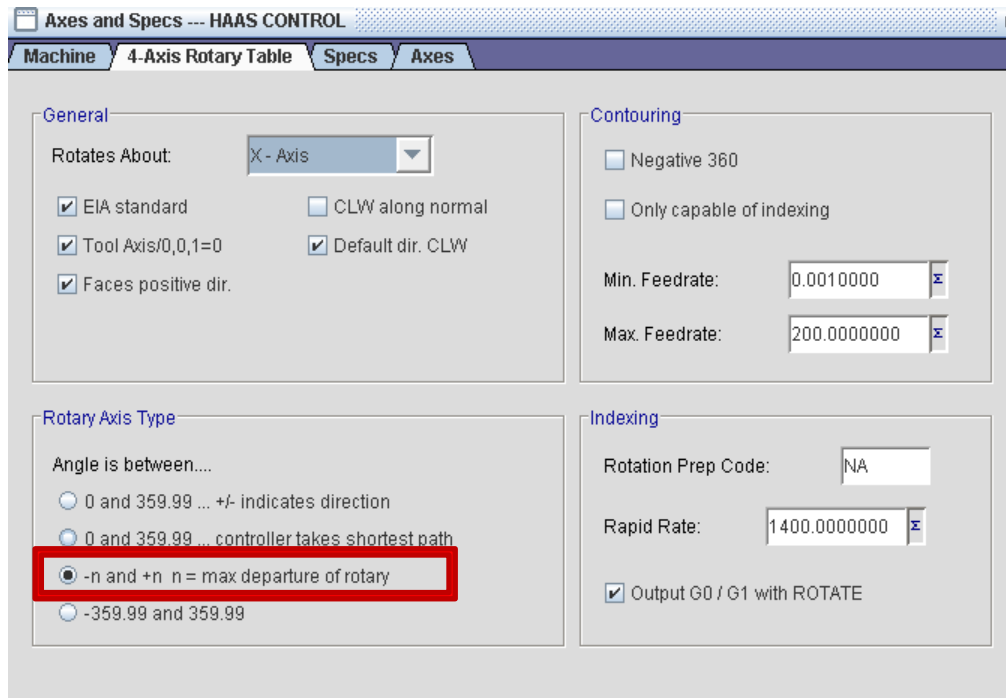
Εικόνα 83: Τύπος μηχανής-ορισμός της

2. **+/-0 outputs +/-0, +/-360 outputs +/-360:** σε αυτή τη ρύθμιση ο χειριστής ορίζει στον post processor πως ότι διαβάσει στις κατεργασίες από θέμα περιστροφής και μοίρες, αυτό θα εξάγει. Δηλαδή αν γίνει μια κίνηση -45ο, τότε στο κώδικα (που θα γίνει εξαγωγή από το λογισμικό) θα γραφεί και θα εκτελεί η φρέζα φυσικά -45ο και όχι 45ο ή και 215ο (δηλαδή να μην αφαιρέσει -45ο από 360ο για να πάει στη θέση 215 που είναι η θέση -45ο)



Εικόνα 84: Επιλογή ρύθμισης για εξαγωγή μοιρών

3. **-n and +n n= max departure of rotary:** Αυτή η ρύθμιση αφήνει το λογισμικό να εξάγει μοίρες όχι μόνο από το 0 έως το 360 αλλά από το 0 έως n όπου το n στη περίπτωση της συγκεκριμένης φρέζας είναι οι 999ο και αυτό είναι και ο μόνος περιορισμός που έχει αυτή η συγκεκριμένη φρέζα, δηλαδή η συγκεκριμένη φρέζα μετράει τις μοίρες από το 0-999ο για αυτό και επιλέγηκε η συγκεκριμένη ρύθμιση και όχι η ρύθμιση από 0-360ο γιατί σε περίπτωση που ένα τεμάχιο χρειαστεί να ξεπεράσει τις 360 μοίρες περιστροφής τότε η φρέζα θα κάνει μια περιστροφή αχρείαστη για να πάει ξανά στο σημείο μηδέν και έχει πάρα πολλές πιθανότητες να συγκρουστεί το κοπτικό εργαλείο με το ακατέργαστο τεμάχιο. Αυτό οφείλεται στο ότι η φρέζα καταλαβαίνει ότι ακόμη δεν έχουν τερματιστεί οι μοίρες της για να σταματήσει τη κατεργασία, να σηκώσει το κοπτικό πάνω έτσι ώστε να γίνει η περιστροφή χωρίς να ακουμπήσει το τεμάχιο και έτσι η σωστή ρύθμιση είναι αυτή, ποτέ μετά τις 360ο συνεχίζει κανονικά τη περιστροφή της χωρίς να επηρεαστεί το ακατέργαστο. Οπότε ο χειριστής πρέπει να προσέξει να μην υπερβεί η κάθε κατεργασία του τις 999° .



Εικόνα 85: Επιλογή της ρύθμισης για τη γωνία μετατόπισης

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Πειραματική διαδικασία

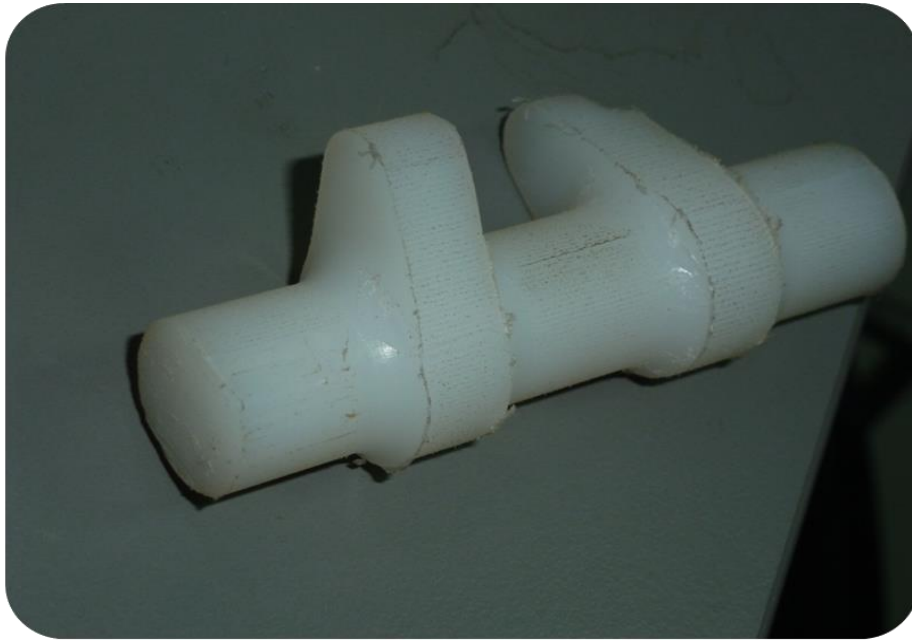
Για την αποπεράτωση της πτυχιακής εργασίας έπρεπε να κατασκευαστούν διαφορετικά τεμάχια με τη χρήση του 4ου άξονα.



Εικόνα 86: Παρέμβαση χειριστή στη φρέζα εν ώρα λειτουργίας.

6.1 Διαδικασία κατασκευής δυο διαφορετικών τεμαχίων με τη χρήση του 4ου άξονα

Το επόμενο βήμα, αφού η εργαλειομηχανή πρακτικά είναι έτοιμη να λειτουργήσει τον τέταρτο άξονα πρέπει να ακολουθηθούν μια σειρά από βήματα τα οποία ήταν απαραίτητα για να έρθει το ακατέργαστο κομμάτι στη τελική του μορφή και να έχει την σωστή γεωμετρία που θα του προσδιοριστεί μέσω του λογισμικού, του pro engineer.



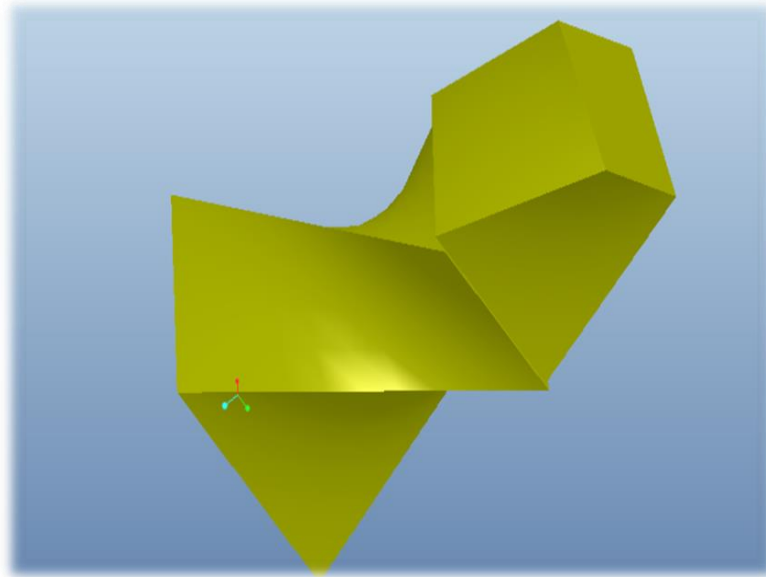
Εικόνα 87: Εκκεντροφόρος κατασκευασμένος από τη φρέζα με τέταρτο άξονα

Βήματα Διαδικασίας:

- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ:
Σκέψη, ορισμός προδιαγραφών και σχεδιασμός τεμαχίου
- CAD:
Μετάφραση της σκέψης στον υπολογιστή. Σχεδιασμός του τεμαχίου σε πρόγραμμα 3D (Τρισδιάστατης απεικόνισης).
- ΕΛΕΓΧΟΣ:
Έλεγχος των κινήσεων της μηχανής σε σχέση με το λογισμικό
- ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ:
Κατασκευή του τεμαχίου σύμφωνα με τις προδιαγραφές

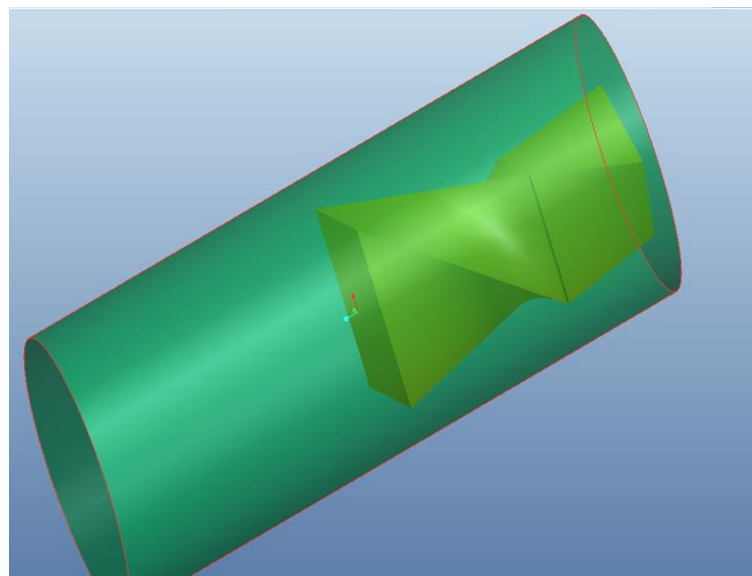
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ:

Στο σχεδιασμό έπρεπε να σχεδιαστεί κάτι το οποίο θα χρειαζόταν τον τέταρτο άξονα για να κατασκευαστεί και έτσι το πρώτο κομμάτι που κατασκευάστηκε είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα 88.



Εικόνα 88 : Τρισδιάστατη απεικόνιση τεμαχίου στο λογισμικό pro-engineer

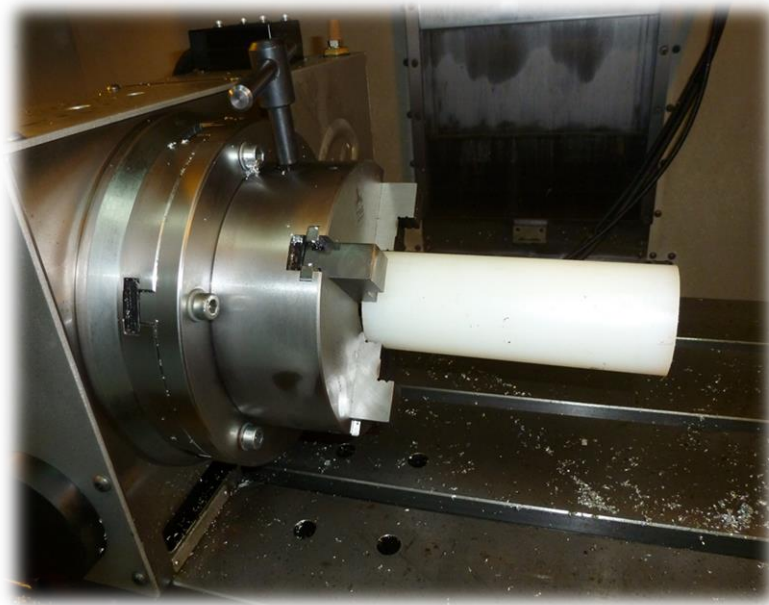
Για να κατασκευαστεί το συγκεκριμένο τεμάχιο χρησιμοποιήθηκε ένα κυλινδρικό ακατέργαστο κομμάτι και με συγκεκριμένες κατεργασίες δημιουργήθηκε αυτή τη γεωμετρία η οποία χρειάστηκε τέταρτο άξονα για να κατασκευαστεί. Δηλαδή με ένα δέσιμο του κυλινδρικού κομματιού, και τη βοήθεια του τέταρτου άξονα επιτεύχθηκε η κατεργασία όλων των πλευρών του κομματιού χωρίς να χρειαστεί να αλλάξει η θέση του ακατέργαστου πάνω στη μέγγενη και με αποτέλεσμα να έχει απώλειες στο όσον αφορά την ακρίβεια την οποία θα είχε το κατεργασμένο τεμάχιο.



Εικόνα 89: Προσομοίωση θέσης κατεργασμένου μέσα στο ακατέργαστο

CAD:

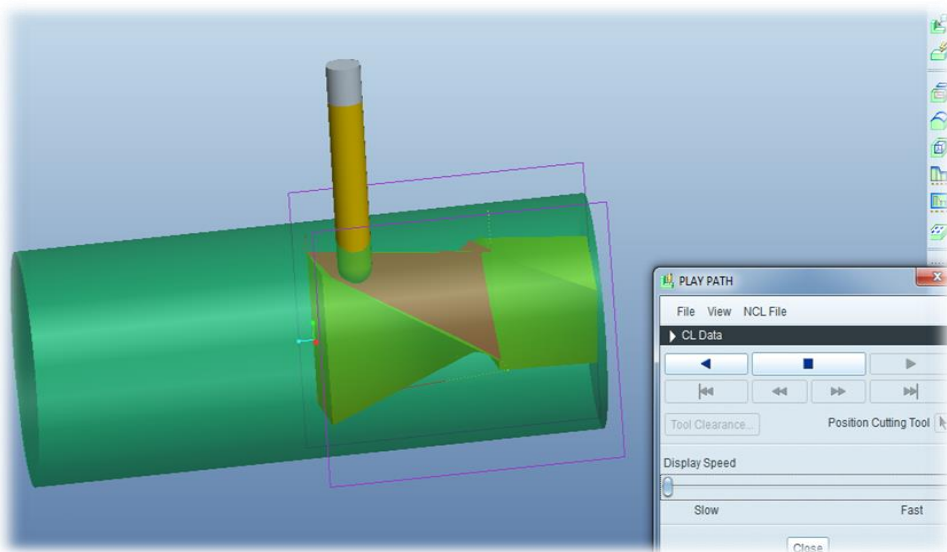
Στο δεύτερο στάδιο (computer aided design) διατυπώθηκε η ιδέα στο λογισμικό για να λειτουργήσει ο 4ος άξονας. Όπως φαίνεται στη εικόνα 89 σχεδιάστηκε κάτι το οποίο δεν μπορεί να κατασκευαστεί με τη βοήθεια μόνο των 3ων αξόνων, ή θα ήταν πολύ δύσκολο στη κατασκευή λόγω των πολλών δεσιμάτων που θα χρειαζόταν πάνω στη τράπεζα το ακατέργαστο ενώ με τον 4ο άξονα μπορούσε να κατασκευαστεί σε απίστευτα μικρό χρονικό διάστημα, με μόνο ένα δέσιμο και απίστευτη ακρίβεια.



Εικόνα 90: Δέσιμο ακατέργαστου στη μέγγενη

ΕΛΕΓΧΟΣ :

Σε αυτό το στάδιο έπρεπε να γίνει ο έλεγχος των κινήσεων που κάνει η φρέζα μας σε σχέση με τις κινήσεις που δείχνει ότι κάνει στο λογισμικό και έτσι μετά το σχεδιασμό και τον ορισμό των κατεργασιών έπρεπε να γίνει έλεγχος των εντολών μία μία για να επαληθευτεί το αποτέλεσμα. Και αφού έχουν εισαχθεί οι κατεργασίες σωστά τότε και στη προσομοίωση μπορεί να δει ο χρήστης ακριβώς την κάθε κίνηση του κοπτικού.



Εικόνα 91: Προσομοίωση κατεργασίας μέσω του λογισμικού pro engineer

Οπότε κάθε φορά που μια καινούργια κατεργασία οριζόταν στο πρόγραμμα έπρεπε αμέσως μετά να επαληθευτεί και στη πράξη, οπότε έμπαινε σε λειτουργία η φρέζα και οι εντολές εκτελούνταν μία μία με τη παρέμβαση του χειριστή βέβαια ελέγχοντας όλες τις κινήσεις του κοπτικού και με αυτό το τρόπο ήταν απόλυτα σίγουρο ότι θα εκτελούνταν σωστά οι κατεργασίες και στην πράξη.

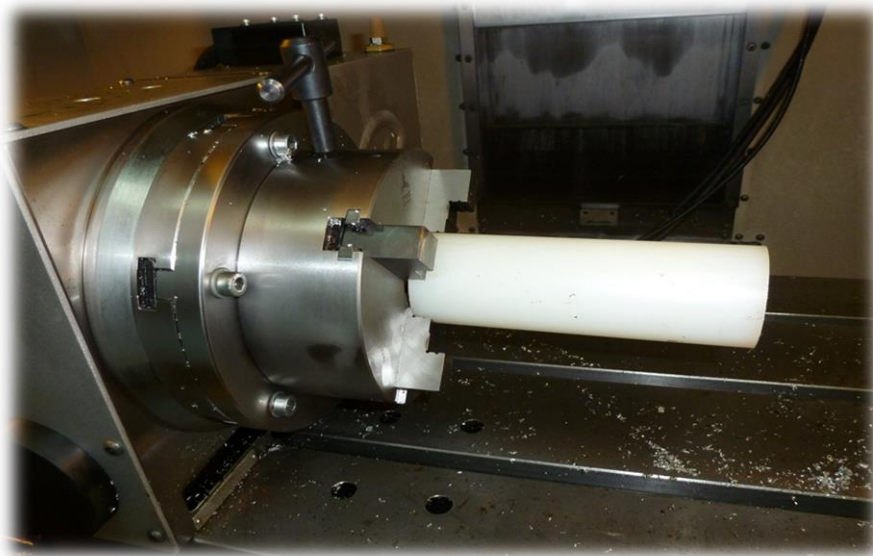


Εικόνα 92: Έλεγχος κατεργασίας ορισμένης από το λογισμικό pro engineer

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ :

Κατασκευή του τεμαχίου, ορισμός ταχυτήτων προώσεων και στροφών. Σε αυτό το στάδιο της κατεργασίας όπου είναι και το τελικό στάδιο έπρεπε να γίνουν τα εξής:

1. Να δεθεί το ακατέργαστο στη μέγγενη της φρέζας



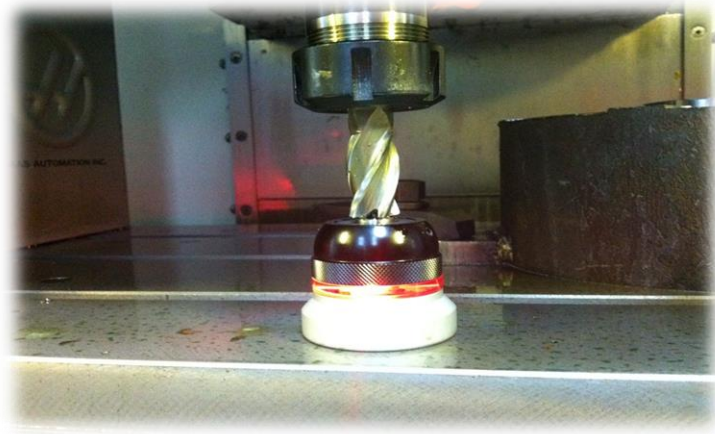
Εικόνα 93: Δέσιμο ακατέργαστου στη μέγγενη

2. Να τοποθετηθούν τα σωστά κοπτικά εργαλεία στις σωστές θέσεις μέσα στη φρέζα όπως έχουν οριστεί και στο πρόγραμμα



Εικόνα 94: Ομπρέλα φρέζας-συγκράτηση κοπτικών

3. Να μηδενιστούν τα κοπτικά που έχουν τοποθετηθεί μέσα στη φρέζα ούτως ώστε με αυτό το τρόπο να καταχωρηθεί το μήκος του κάθε κοπτικού στη μνήμη της φρέζας.



Εικόνα 95: Μηδενισμός κοπτικών

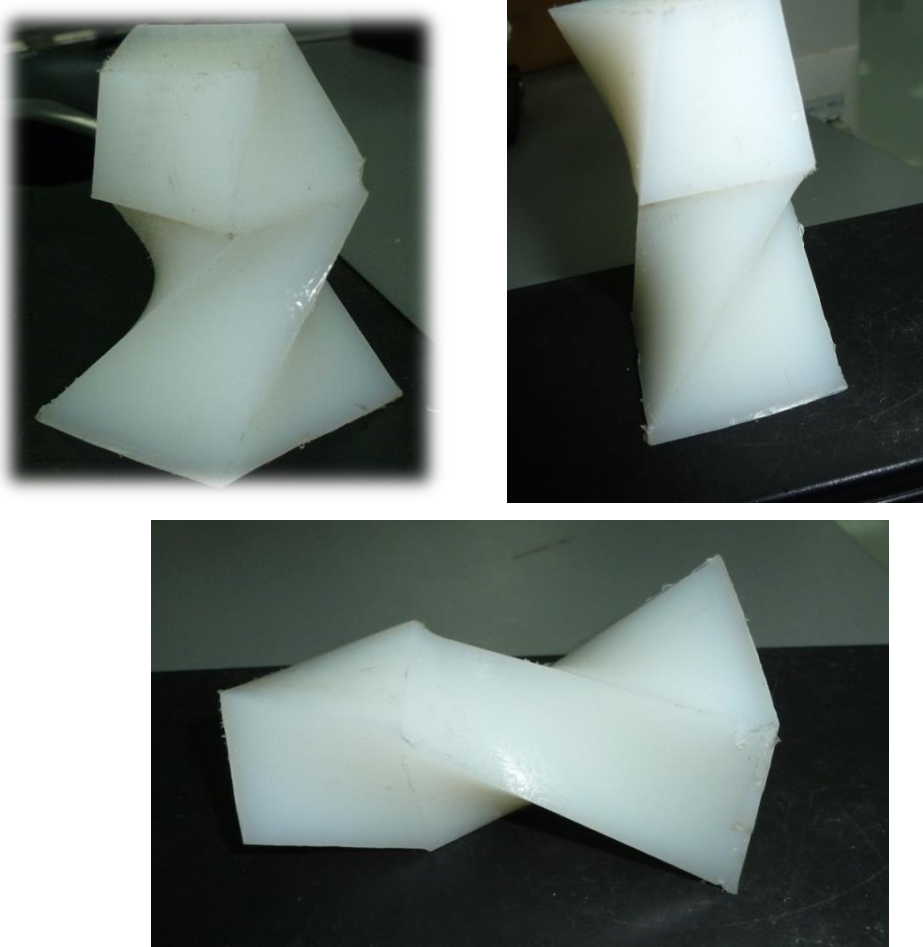
4. Να οριστεί στη φρέζα το σημείο μηδέν πάνω στο ακατέργαστο ούτως ώστε από εκεί που θα οριστεί αυτό το σημείο η μηχανή θα κάνει όλες τις μετατοπίσεις σε σχέση με αυτό το σημείο κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.



Εικόνα 96: Μηδενισμός με τη βοήθεια 3d-Taste

Και τέλος αφού έχουν πραγματοποιηθεί όλα τα προηγούμενα βήματα, εκτελούνται οι εντολές μία μία για να είναι σίγουρο ότι δεν θα κάνει καμία ανεπιθύμητη κίνηση το κοπτικό και μόλις γίνει επαλήθευση όλου το προγράμματος που έχει εξάγει το λογισμικό τότε μπαίνει σε λειτουργία η φρέζα από την αρχή μέχρι το τέλος χωρίς καμία παρέμβαση από ανθρώπινο παράγοντα κατά τη διάρκεια της κατεργασίας και έτσι με το πέρας των κατεργασιών που έχουν οριστεί από το χρήστη λαμβάνεται το

επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα με τη βοήθεια του 4ου άξονα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

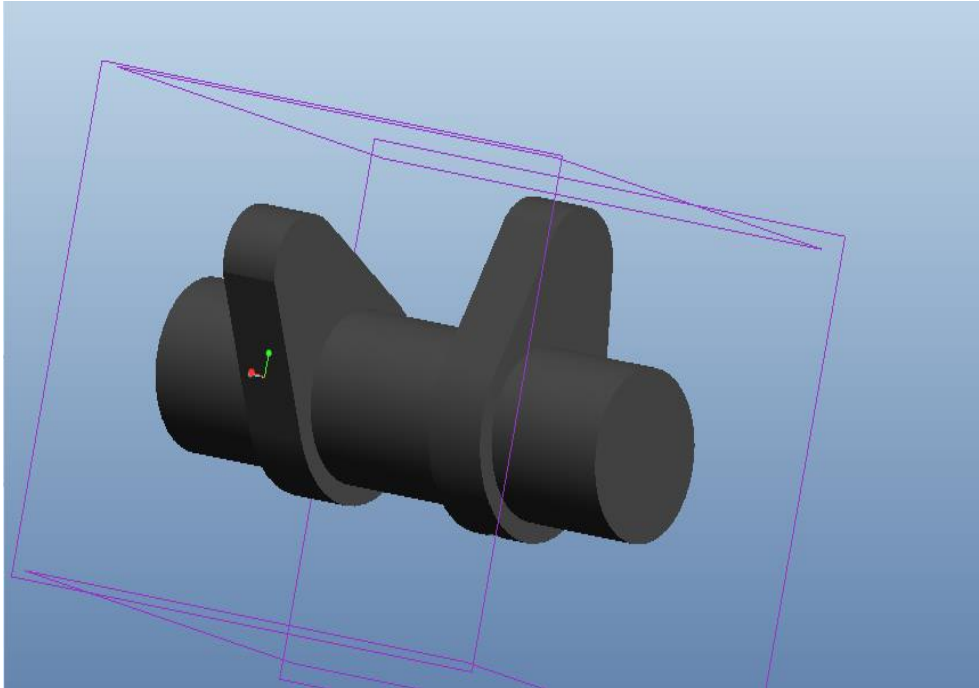


Εικόνα 97: Τεμάχιο καταγερασμένο με τη βοήθεια 4ου άξονα

Το συγκεκριμένο τεμάχιο είναι μια περίεργη γεωμετρία και έγινε με τη βοήθεια της εντολής PROTRUSION κατά το σχεδιασμό και χωρίς τη βοήθεια του 4ου άξονα δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί ή θα ήταν πάρα πολύ δύσκολο με τη χρήση 3ων αξόνων. Το συγκεκριμένο τεμάχιο δεν έχει κάποια συγκεκριμένη χρήση αλλά αποτελούσε την πρώτη ιδέα για χρήση του 4ου άξονα.

6.2 Κατασκευή 2^{ου} Τεμαχίου-εκκεντροφόρος

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ:

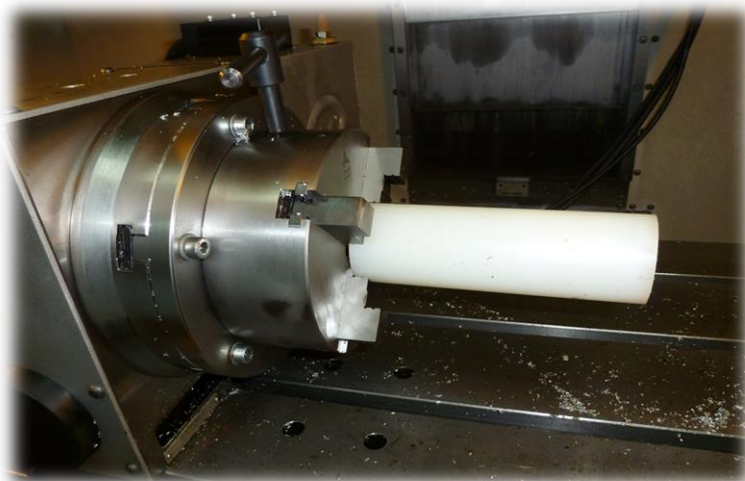


Εικόνα 98: Απεικόνιση εκκεντροφόρου στο λογισμικό

Κατά τη σχεδίαση του εκκεντροφόρου χρησιμοποιήθηκαν απλές γεωμετρίες όπως ο κύκλος και με την εντολή extrude (δίνει όγκο στις γεωμετρίες που σχεδιάζει ο χρήστης) δημιουργήθηκε ο εκκεντροφόρος που φαίνεται στην εικόνα.

CAD:

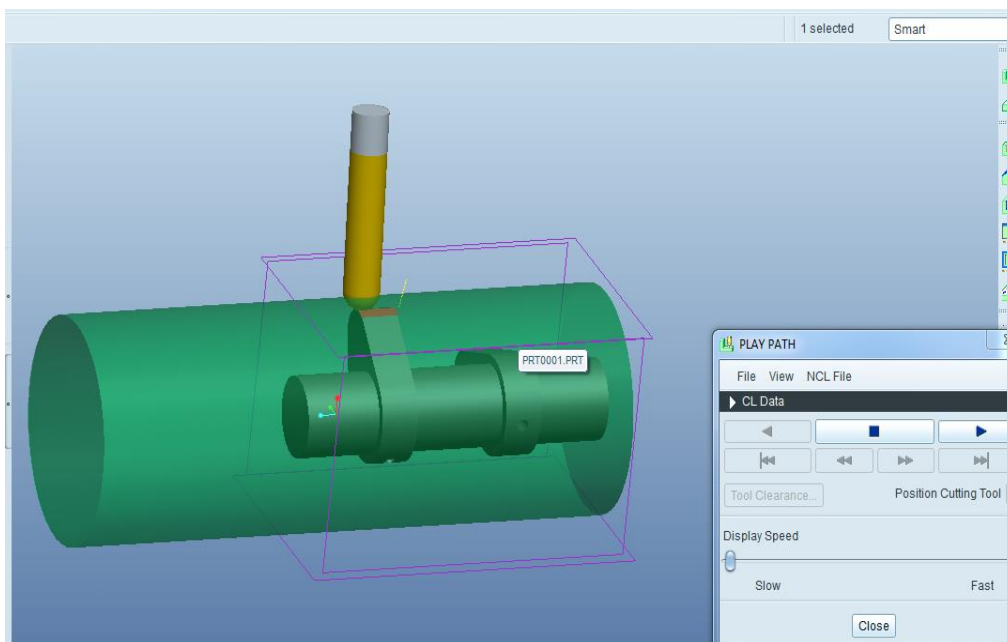
Στο δεύτερο στάδιο (computer aided design) διατυπώθηκε η ιδέα στο λογισμικό για να λειτουργήσει ο 4ος άξονας. Όπως φαίνεται στη εικόνα σχεδιάστηκε κάτι το οποίο δεν μπορεί να κατασκευαστεί με τη βοήθεια μόνο των 3ων αξόνων όπως είδατε και στο πρώτο τεμάχιο, ή θα ήταν πολύ δύσκολο στη κατασκευή λόγω των πολλών δεσιμάτων που θα χρειαζόταν πάνω στη τράπεζα το ακατέργαστο ενώ με τον 4ο άξονα μπορούσε να κατασκευαστεί σε απίστευτα μικρό χρονικό διάστημα, με μόνο ένα δέσιμο και απίστευτη ακρίβεια.



Εικόνα 99: Δέσιμο ακατέργαστου στη μέγγενη

ΕΛΕΓΧΟΣ :

Σε αυτό το στάδιο έπρεπε να γίνει ο έλεγχος των κινήσεων που κάνει η φρέζα σε σχέση με τις κινήσεις που δείχνει ότι κάνει στο λογισμικό και έτσι μετά το σχεδιασμό και τον ορισμό των κατεργασιών έπρεπε να γίνει έλεγχος των εντολών μία μία για να επαληθευτεί το αποτέλεσμα. Και αφού έχουν εισαχθεί οι κατεργασίες σωστά τότε και στη προσομοίωση μπορεί να δει ο χρήστης ακριβώς την κάθε κίνηση του κοπτικού.



Εικόνα 100: Προσομοίωση και έλεγχος κατεργασίας-κινήσεων κοπτικού

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ :

Κατασκευή του τεμαχίου, ορισμός ταχυτήτων προώσεων και στροφών. Σε αυτό το στάδιο της κατεργασίας όπου είναι και το τελικό στάδιο έπρεπε να γίνουν τα εξής:

1. Να δεθεί το ακατέργαστο στη μέγγενη της φρέζας



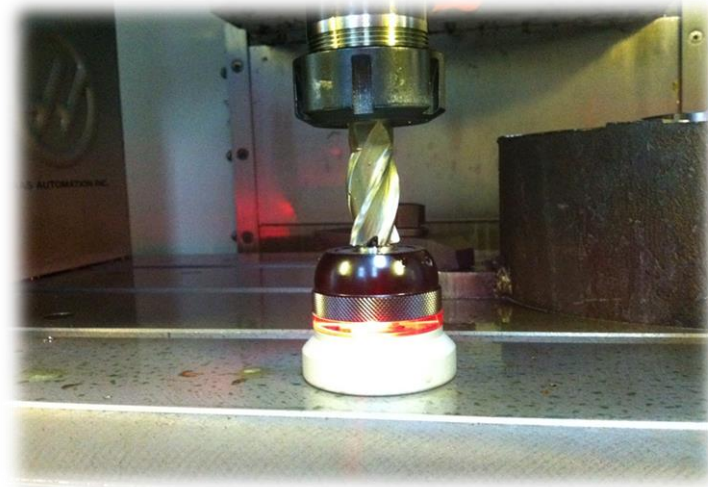
Εικόνα 101: Δέσιμο ακατέργαστου στη μέγγενη

2. Να τοποθετηθούν τα σωστά κοπτικά εργαλεία στις σωστές θέσεις μέσα στη φρέζα όπως έχουν οριστεί και στο πρόγραμμα



Εικόνα 102: Ομπρέλα φρέζας-συγκράτηση κοπτικών

3. Να μηδενιστούν τα νέα κοπτικά που έχουν τοποθετηθεί μέσα στη φρέζα ούτως ώστε με αυτό το τρόπο να καταχωρηθεί το μήκος του κάθε κοπτικού στη μνήμη της φρέζας.



Εικόνα 104: Μηδενισμός κοπτικών

4. Να οριστεί στη φρέζα το σημείο μηδέν πάνω στο ακατέργαστο ούτως ώστε από εκεί που θα οριστεί αυτό το σημείο η μηχανή θα κάνει όλες τις μετατοπίσεις σε σχέση με αυτό το σημείο κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.

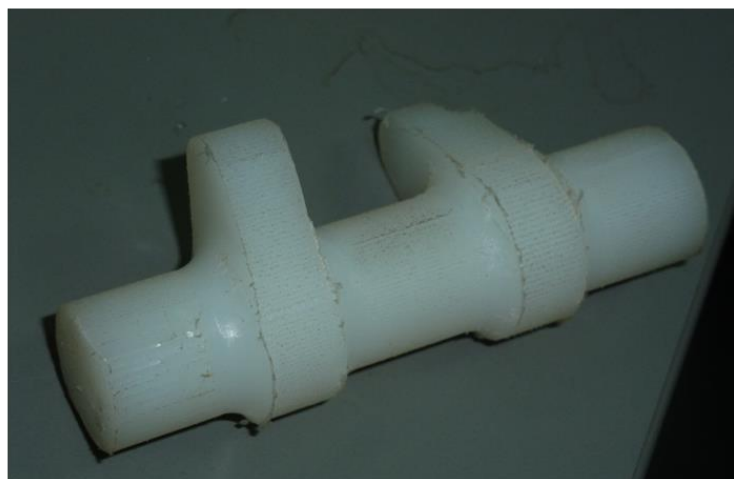
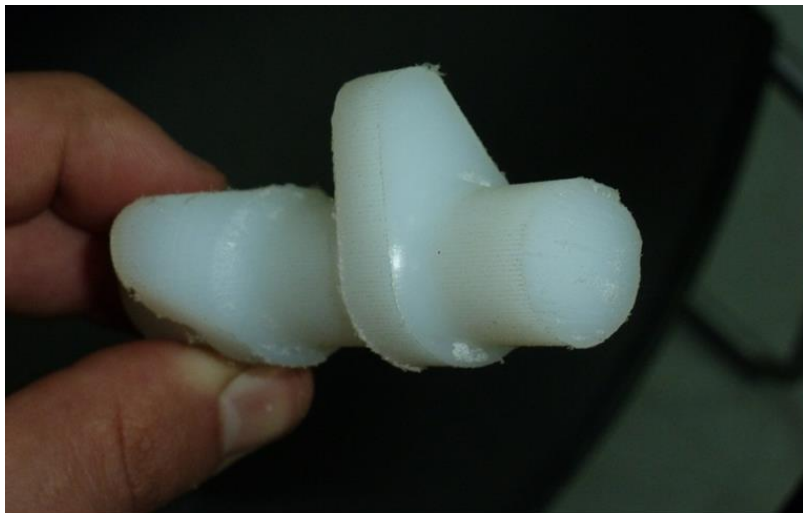


Εικόνα 105: Μηδενισμός με τη βοήθεια 3d-Taster

Και τέλος αφού έχουν πραγματοποιηθεί όλα τα προηγούμενα βήματα, εκτελούνται οι εντολές μία μία για να είναι σίγουρο ότι δεν θα κάνει καμία ανεπιθύμητη κίνηση το κοπτικό και μόλις επαληθευτεί όλο το πρόγραμμα που έχει εξάγει το λογισμικό τότε μπαίνει σε λειτουργία η φρέζα από την αρχή μέχρι το τέλος χωρίς καμία παρέμβαση

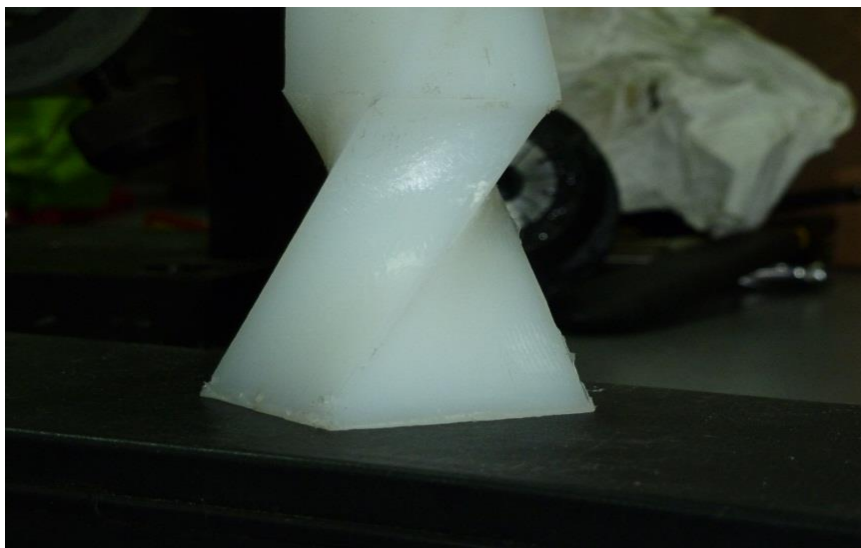
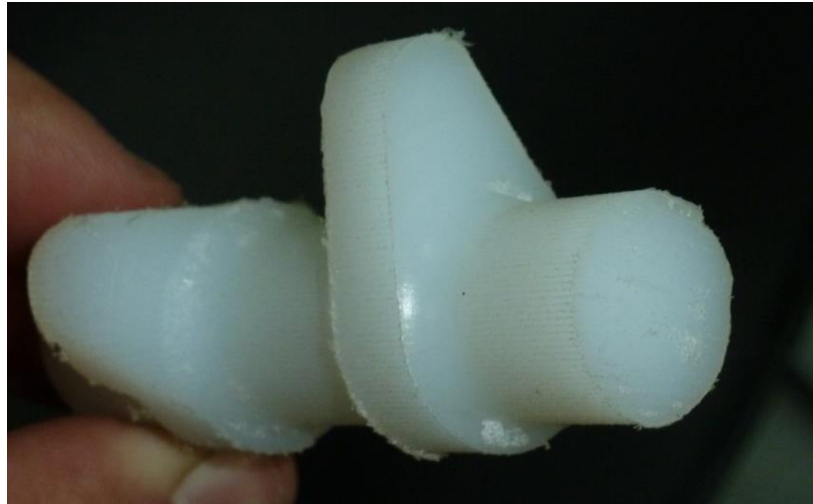
από ανθρώπινο παράγοντα κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, και έτσι με το πέρας των κατεργασιών που έχουν οριστεί από το χρήστη λαμβάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα του 4ου άξονα παρουσιάζονται στη συνέχεια. Το δεύτερο τεμάχιο είναι ένας εκκεντροφόρος που χρησιμοποιείται για μηχανάκια.

Ο συγκεκριμένος είναι από παπί 100cc. Δεν έχει ακριβώς τις διαστάσεις που έχει ο πραγματικός εκκεντροφόρος αλλά είναι ένα δείγμα για να αντιληφθεί κάποιος το πώς είναι ένας εκκεντροφόρος και πως χρησιμοποιείται. Μπορεί να το χρησιμοποιήσει δηλαδή κάποιος για εκπαιδευτικούς σκοπούς σαν μοντέλο



Εικόνα 106: Εκκεντροφόρος σε τελική μορφή

Και με το πέρας όλων των κατεργασιών γίνεται έλεγχος των διαστάσεων των τεμαχίων που κατασκευάστηκαν και αφού όντως έχουν γίνει όλα όπως προβλεπόταν να γίνουν τότε είναι σίγουρο ότι ο 4ος άξονας είναι έτοιμος για να λειτουργήσει και να κατασκευάσει τα επόμενα τεμάχια που θα χρειαστούν 4ο άξονα!



Εικόνα 107: Τελικά τεμάχια

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Γενικά

Η διαδικασία όλη έγινε για να εισαχθούν οι σωστές ρυθμίσεις ούτως ώστε να λειτουργήσει ο 4ος άξονας σωστά και με ακρίβεια. Κατά κύριο λόγο έγινε διότι δεν νοείται να υπάρχει ψηφιακά καθοδηγούμενη φρέζα με 4ο άξονα και να μην χρησιμοποιείται γιατί με τη βοήθεια του 4ου άξονα μπορούν να κατασκευαστούν πολύ πιο εξειδικευμένα τεμάχια σε σχέση με τη χρήση μόνο των 3ων αξόνων.

7.2 Κατεργασίες με τη χρήση 4ου άξονα

Είναι πολύ πιο εύκολο το να κατασκευάσεις κάποια πολύπλοκη επιφάνεια με τη χρήση του 4ου άξονα παρά μια απλή επιφάνεια με τη χρήση των 3ων αξόνων. Ο λόγος είναι ότι με μια εντολή κατεργασίας μέσα από το λογισμικό μπορείς να επιλέξεις για παράδειγμα 3 επιφάνειες πολύπλοκες και ένα σύστημα συντεταγμένων και με τη βοήθεια του 4ου άξονα θα κατασκευαστούν αυτές σε χρόνο ρεκόρ χωρίς να χρειαστεί να σκεφτεί ο χρήστης για το πώς θα δέσει το κομμάτι του ή και άλλα όπως το τι κινήσεις θα χρειαστούν για να κατασκευαστούν οι επιφάνειες χωρίς η μια κατεργασία να επηρεάσει την άλλη!

7.2.1 Κοπτικά

Τα κοπτικά είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την αποπεράτωση της οποιασδήποτε κατεργασίας και αυτό το έμαθα μέσα από την εμπειρία μου κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας γι' αυτό το πιο σημαντικό πράγμα στην ολοκλήρωση μιας κατεργασίας είναι πάντα η σωστή επιλογή υλικού του κοπτικού πχ κοπτικό καρβιδίου, ταχυχάλυβα HSS κ.α. Πολύ σημαντικά επίσης είναι ο αριθμός των πτερυγίων που έχει το κάθε κοπτικό και η ταχύτητα περιστροφής. Όλες αυτές οι παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν σωστά μέσα από κάποια προγράμματα που υπάρχουν ήδη και χρησιμοποίησα και εγώ, τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω υπολογίζονται βάση το υλικό το οποίο αποτελείται το τεμάχιο. Επίσης πολύ σημαντικό είναι να χρησιμοποιείται ψυκτικό υγρό κατά την διάρκεια της κοπής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.cnczone.com>
2. <http://www.cnchobby.gr>
3. www.youtube.com
4. <http://www.cut-tools.gr/>
5. <http://eeprogrammer.com/>
6. LEARNING PRO/ MANUFACTURING USING PRO/ CREO ELEMENTS-
MUHAMMAD MANSOOR JANJUA
7. WWW.WIKIPEDIA.COM
8. Κατασκευή πρωτότυπων με τριαξονική επιτραπέζια φρέζα-διπλωματική
εργασία Χαράλαμπος Βαρέλης
9. Σχεδιασμός και κατασκευή καλουπιού σε ψηφιακά καθοδηγούμενη
εργαλειομηχανή για χύτευση πλαστικών τεμαχίων-διπλωματική εργασία
Κοτρογιαννη Δημήτρη
10. SIMULATION OF 4 AXIS MILLING IN THE CAM SOFTWARE- Francisco
Fortes Pardo
11. <http://www.cnccookbook.com/>
12. <http://www.proetutorials.com/>
13. Κατασκευαστικά στοιχεία cnc εργαλειομηχανών –σημειώσεις μαθήματος
Ψηφιακή καθοδήγηση CAM/ ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.