

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

UNIVERSITY OF WEST ATTICA



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ

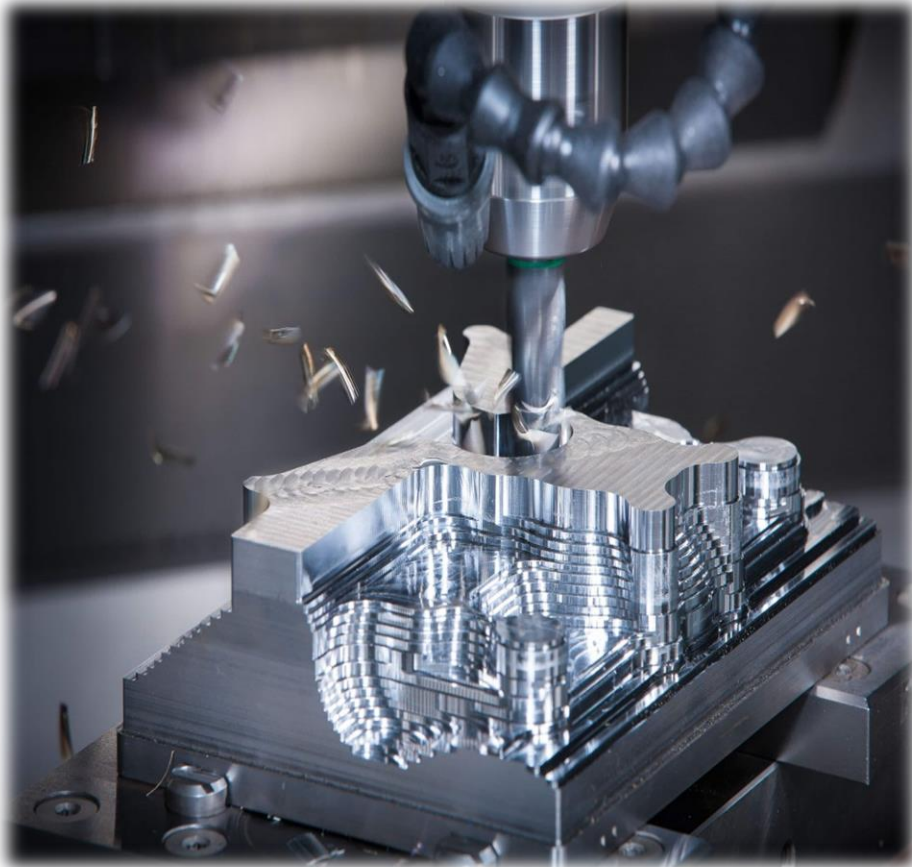
Α.Μ.: 43187

ΚΟΥΛΟΥΡΙΑΝΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Α.Μ.: 40113

**Σχεδίαση και κατασκευή μηχανολογικού
εξαρτήματος σε κέντρο κατεργασίας CNC φρέζα**

**Design and manufacturing of a mechanical part
in a CNC machining center**



ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΣΑΓΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

Σχεδίαση και κατασκευή μηχανολογικού εξαρτήματος σε κέντρο κατεργασίας CNC
φρέζα

Θεοδώρου Χρήστος Α.Μ.: 43187

Κουλουριανάκος Ιωάννης Α.Μ.: 40113

Πτυχιακή Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για το πτυχίο του

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

Επιβλέποντες Καθηγητές: Τσολάκης Αντώνιος

Σαγιάς Βασίλειος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την / Ιούλιος / 2019

Στεργίου Κωνσταντίνος

Τσολάκης Αντώνιος

Σαγιάς Βασίλειος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Θεοδώρου Χρήστος Κουλουριανάκος Ιωάννης, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους με τη βοήθειά τους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερα, εκφράζουμε την επιθυμία μας να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή της σχολής Φιλήμων Σκιπτίδη, επιβλέποντα καθηγητή, για την ανάθεση του θέματος και την άδεια του να μας παραχωρήσει μέρος της θεωρίας από το βιβλίο του.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Σαγιά Βασίλειο και τον κ. Τσολάκη Αντώνιο για την υπομονή, την άψογη συνεργασία, την κατανόηση και την συνεχή παρακολούθηση της πορείας της πτυχιακής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση τους όλο αυτό το διάστημα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αφορά το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός μηχανολογικού εξαρτήματος σε κέντρο κατεργασίας CNC φρέζα με τη χρήση προγράμματος ηλεκτρονικής σχεδίασης. Αρχικά αναφέρονται πληροφορίες όσον αναφορά τις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού και τα συστήματα αριθμητικού ελέγχου. Στη συνέχεια γίνεται μία αναφορά ειδικά για τις CNC φρεζομηχανές. Παράλληλα σημειώνονται κάποιοι ορισμοί που αφορούν τις συνθήκες κατεργασίας και οι οποίοι θα αποτελέσουν ένα βοήθημα για την κατανόηση του ορθού προγραμματισμού. Επίσης παρουσιάζεται ο αναλυτικός σχεδιασμός του δοκιμίου στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης Inventor της Autodesk όπως επίσης και το φασεολόγιο κατασκευής του δοκιμίου, μαζί με το μηχανολογικό σχέδιο και εικόνες που επεξηγούν την κάθε μία φάση κατεργασίας. Κατόπιν, παρουσιάζεται η CNC εργαλειομηχανή η οποία χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δοκιμίου της εργασίας καθώς επίσης αναφέρονται και τα κοπτικά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των φάσεων κατεργασίας στο CAM με χρήση εικόνων από το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης για κάθε ένα βήμα ξεχωριστά και η παραγωγή του G-κώδικα. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα όπως αυτά προέκυψαν, αλλά και οι δυνατότητα επεξεργασίας της παρούσας εργασίας στο μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: CAD, CAM, CNC, Φασεολόγιο, Κοπτικά εργαλεία.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to model and manufacture a mechanical component by using a CNC milling machine through a CAD/CAM system. The material removal processes, the numerical control systems and finally the CNC milling machines are presented and analyzed. Also the manufacturing parameters are presented and calculated. The 3D CAD modelling process, the process planning, the cutting tools selection and the CNC milling machine are combined to develop the CAM model of the mechanical component, thus the G-code program. Finally, discussion and conclusions are presented as well as future works.

Keywords: CAD, CAM, CNC, CAM, Process plan, Cutting tools.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	8
1.1 Κατεργασίες Αφαίρεσης Υλικού	8
1.2 Ορισμός Αριθμητικού Ελέγχου	8
1.3 Ιστορική Αναφορά	9
1.4 Εργαλειομηχανές Αριθμητικού Ελέγχου	10
1.4.1 Λειτουργία CNC	10
1.4.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα χρήσης Εργαλειομηχανών CNC.....	11
1.4.3 Προγραμματισμός Εργαλειομηχανής CNC.....	12
1.4.4 Παρουσίαση Κώδικα G και M.	13
1.4.5 Λογισμικό CAD/CAM	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	17
ΦΡΕΖΑ-CNC ΦΡΕΖΑ.....	17
2.1 Είδη Φρεζομηχανών και Βασικά Μέρη μιας Φρεζομηχανής.....	17
2.2 Κύρια Μέρη Φρεζομηχανής CNC	19
2.3 Αρχή λειτουργίας μίας CNC εργαλειομηχανής	21
2.4 Καθορισμός των Αξόνων	22
2.5 Συστήματα Συντεταγμένων	23
2.6 Φρεζάρισμα.....	25
2.7 Κατηγορίες Φρεζαρίσματος	27
2.8 Βασικά Στοιχεία Μηχανικής Κατά το Φρεζάρισμα	28
2.9 Υγρή και Ξηρή Κατεργασία.....	32
2.10 Υλικά Κοπτικών Εργαλείων	34
2.11 Φθορά Κοπτικών Εργαλείων.....	38
2.12 Κανόνες Επιλογής και Χρήσης Κοπτικών Εργαλείων	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	41
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	43
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	43
4.1 Επιλογή CNC Εργαλειομηχανής	43
4.2 Επιλογή Κοπτικών Εργαλείων	43
4.3 Σχεδιασμός Δοκιμίου στο Autodesk Inventor.....	45
4.4 Σχεδιασμός Εργασιών Κατεργασίας Δοκιμίου στο Λογισμικό CAM	55

4.4.1 Φασεολόγιο – Process Planning.....	55
4.4.2 Κατεργασία Δοκιμίου στο CAM.....	61
4.5 Παραγωγή G-Κώδικα.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	89
5.1 Συμπεράσματα Μελέτης.....	89
5.2 Future Works.....	90
5.3 Βιβλιογραφία-Ιστοσελίδες.....	91
5.4 Παράρτημα Μελέτης Κατασκευής Δοκιμίου.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1 Κατεργασίες Αφαίρεσης Υλικού

Οι κατεργασίες αφαίρεσης υλικού αποτελούν τη βασικότερη μέθοδο διαμόρφωσης μεταλλικών αντικειμένων καθώς έχουν σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες μορφοποίησης. Η διαμόρφωση πραγματοποιείται με τη βαθμιαία αφαίρεση υλικού με την βοήθεια των εργαλειομηχανών. Στην περίπτωση αυτή τα κοπτικά εργαλεία εισχωρούν στη μάζα του μετάλλου και αποσπούν κομμάτια σημαντικών διαστάσεων και αυτό τα καθιστά παραγωγικότερα και πιο αποτελεσματικά έναντι άλλων μεθόδων κατεργασίας.

Οι βασικότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού και οι εργαλειομηχανές στις οποίες γίνονται οι αντίστοιχες κατεργασίες, είναι :

Κατεργασία	Εργαλειομηχανή
Τόρνευση	Τόρνος
Φρεζάρισμα	Φρέζα
Διάτρηση	Δράπανο
Πλάνηση	Πλάνη
Λείανση	Λειαντικός τροχός

1.2 Ορισμός Αριθμητικού Ελέγχου

Αριθμητικός Έλεγχος (Numerical Control) σημαίνει ακριβώς αυτό που υπονοεί ο όρος, δηλαδή έλεγχος μέσω αριθμών. Μία εργαλειομηχανή είναι αριθμητικά ελεγχόμενη (numerically controlled), όταν περιέχει λογικά κυκλώματα που μπορούν να την <<κινήσουν>> σύμφωνα με (αριθμητικές) εντολές που δίδονται σ' αυτή δια μέσου διάτρητης ταινίας ή δισκέτας. Οι εντολές περιέχουν συντεταγμένες που ορίζουν την κίνηση του εργαλείου και πληροφορίες που ελέγχουν τα βοηθητικά συστήματα της εργαλειομηχανής, π.χ. ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου, παροχή ψυκτικού υγρού. Πιο συγκεκριμένα, ο Αριθμητικός Έλεγχος μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (Computer Numerical Control ή CNC) είναι μία υποβοηθούμενη – από Η/Υ – διαδικασία, η οποία γενικώς ελέγχει μηχανές, μέσω οδηγίων οποίες δημιουργούνται από ένα κωδικοποιητή (POST PROCESSOR) και αποθηκεύονται σε ένα σύστημα μνήμης (ταινία, δισκέτα, σκληρό δίσκο, τσιπ) για άμεση ή και για μελλοντική χρήση. (Φιλήμονος Χρ. Σκιπτιδίδη, 2000)

1.3 Ιστορική Αναφορά

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 και 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 Programs Tool) σε συσχέτισμό 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.
- **1969:**Εμφανίστηκε το πρώτο DNC (σημαίνει κατανεμημένος(DISTRIBUTED)και όχι άμεσος(DIRECT))-Standard Omni control φυσικά σε υπολογιστή IBM.
- **1970:**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 διευκόλυε τη δι' εύρεση 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 πρωτόκολλων 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 την 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), αλλά και σε μη συμβατές μηχανές κατεργασιών, όπως η ηλεκτροδιάβρωση.

1.4 Εργαλειομηχανές Αριθμητικού Ελέγχου

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

Η CNC καθοδήγηση έχει το πλεονέκτημα της συνεργασίας της με συστήματα σχεδίαση (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 ελέγχου καθοδήγησης διεξάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταχύτερα και με μικρότερο κόστος.

1.4.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα χρήσης Εργαλειομηχανών CNC

Πλεονεκτήματα χρήσης Εργαλειομηχανών CNC

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση εμφανίζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών:

1. Ακρίβεια στις διαστάσεις, στη μορφή και στη θέση
2. Η δυνατότητα συγχρόνου κινήσεως και στους τρεις άξονες της εργαλειομηχανής (X,Y,Z) επιτρέπει τη μορφοποίηση καμπύλων επιφανειών στο χώρο. Επίσης, δεν απαιτείται αναπροσανατολισμός του τεμαχίου, γεγονός που εισάγει σοβαρά σφάλματα αναπροσδέσεως.
3. Αύξηση της ακριβείας κατασκευής, γιατί η ακρίβεια δεν εξαρτάται από τη δεξιότητα του τεχνίτη ή από συστηματικά σφάλματα, που μπορούν να συμβούν στις συμβατικές εργαλειομηχανές. Μείωση των σκάρτων, περιορισμός στην έκταση του ποιοτικού ελέγχου.
4. Οι νεκροί χρόνοι, λόγω εκτέλεσης μετρήσεων και άλλων αιτιών, δεν υπάρχουν ή περιορίζονται στο ελάχιστο και ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά.
5. Δε χρειάζονται μηχανολογικά σχέδια για τεμάχια με μορφή, που μπορούν να περιγράψουνε από μαθηματικές σχέσεις, γιατί υπάρχει δυνατότητα απευθείας τροφοδότησης του συστήματος ψηφιακής καθοδήγησης της εργαλειομηχανής.
6. Γίνεται πιο εύκολος και ρεαλιστικός ο προγραμματισμός και ο έλεγχος της παραγωγής στο μηχανουργείο, γιατί ο χρόνος κατεργασίας είναι με ακρίβεια καθορισμένος.
7. Μία εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση παρουσιάζει ευελιξία στις κατεργασίες, που μπορεί να εκτελέσει. Αναγκαίο είναι το κατάλληλο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης και η δυνατότητα καθοδήγησης από την εργαλειομηχανή των αξόνων, οι οποίοι χρειάζονται.
8. Επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός ανταγωνιστικότητας, εξαιτίας της μείωσης των χρόνων. Αύξηση της παραγωγικότητας και του όγκου παραγωγής (η επιλογή συνθηκών κοπής είναι ελεγχόμενη από ειδικούς και σωστή), της ακρίβειας της κατεργασίας. Όλα αυτά επηρεάζουν το κόστος παραγωγής, το οποίο μειώνεται.

Μειονεκτήματα χρήσης Εργαλειομηχανών CNC

Ουσιαστικά οι εργαλειομηχανές Αριθμητικού Ελέγχου δεν μειονεκτούν σε τίποτα έναντι των αντίστοιχων συμβατικών. Όμως η χρήση τους απαιτεί ένα σύνολο ενεργειών από την επιχείρηση που θέλει να τις ενσωματώσει με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα αν δεν παρθούν προηγουμένως τα κατάλληλα προσαρμοστικά μέτρα. Ως τέτοια προβλήματα, που συνδέονται με την προμήθεια και λειτουργία των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, μπορεί να θεωρηθούν τα εξής:

1. Ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό στον προγραμματισμό για την κατάρτιση του κατάλληλου προγράμματος χωρίς σφάλματα στον ταχύτερο δυνατό χρόνο και με το χαμηλότερο κόστος.
2. Ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού υψηλής στάθμης, όχι μόνο για τον προγραμματισμό, αλλά και για άλλες εργασίες, όπως ρυθμίσεις της εργαλειομηχανής, προετοιμασία και έλεγχος των εργαλείων και, γενικά, συντήρηση της εργαλειομηχανής, η οποία πρέπει να γίνεται στην εντέλεια.
3. Αλλαγές στην εν γένει οργάνωση του μηχανουργείου. Η εισαγωγή εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση ασκεί επιρροή στο όλο σύστημα οργάνωσης από τη σχεδίαση του προϊόντος, στη σχεδίαση των φάσεων κατεργασίας, στην κατεργασία, στον έλεγχο ποιότητας και στην αποθήκευση.
4. Το κόστος κατασκευής εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι πολύ υψηλό σε σχέση με αυτό αντίστοιχων συμβατικών εργαλειομηχανών.

1.4.3 Προγραμματισμός Εργαλειομηχανής CNC

Ο προγραμματισμός για την κατεργασία ενός τεμαχίου σε εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση, γίνεται με τον κώδικα μηχανής. Πρόκειται για μια σειρά τυποποιημένων εντολών, που προσδιορίζουν λειτουργίες της εργαλειομηχανής, όπως κινήσεις, αλλαγές εργαλείων, ρυθμίσεις στροφών και προώσεων. Οι εντολές αυτές εκτελούνται κατά σειρά προτεραιότητας με την σειρά εγγραφής τους. Οι συνηθισμένες εντολές-κώδικες είναι οι εντολές G (εντολές κίνησης) και M (εντολές λειτουργίας). Οι εντολές αυτές συντάσσονται με συγκεκριμένο τρόπο και εντάσσονται σε ένα συνολικό πρόγραμμα καθοδήγησης.

Το πρόγραμμα καθοδήγησης αποτελείται από ξεχωριστά blocks πληροφοριών, που το κάθε ένα αρχίζει με έναν αύξοντα αριθμό αναγνώρισής του. Ο αύξων αριθμός αυτός συνοδεύεται μπροστά από τον κωδικό N. Ένα παράδειγμα σειράς blocks μπορεί να είναι:

N001 G00 X10.0 Z2.0

N002 G01 X10.0 Z22.0

Η αρχική αυτή αρίθμηση μπορεί να γίνεται ανά ένα ή και ανά 5 ή 10, και αυτό για το λόγο ότι τις περισσότερες φορές απαιτείται να τροποποιηθεί ένα πρόγραμμα ,εισάγοντας ένα νέο block ανάμεσα σε δύο άλλα. Αυτό θα ήταν αδύνατον, στην περίπτωση που τα block θα είχαν συνεχή, ανά ένα, αρίθμηση. Εκτός από τον αριθμό αναγνώρισης του block, αυτό επίσης συνήθως περιλαμβάνει :

- Κωδικό εντολής
- Απαιτούμενα δεδομένα για κάθε κωδικό

Ο κωδικός εντολής μπορεί να περιλαμβάνει εντολές G και M. Παρακάτω θα δούμε μια συνολική παρουσίαση του κώδικα G και M με όλες τις δυνατές εντολές που μπορούν να δοθούν στο σύστημα καθώς και την λειτουργία τους.

1.4.4 Παρουσίαση Κώδικα G και M.

Το σύνολο των κωδικών εντολής G και M που μπορούν να δοθούν κατά την εγγραφή κώδικα για εργαλειομηχανή CNC φρέζα είναι οι παρακάτω κωδικοί:

G-Κώδικες

G00: Ευθύγραμμη κίνηση χωρίς κοπή με τη μέγιστη πρόωση της εργαλειομηχανής.

G01: Γραμμική παρεμβολή - ευθύγραμμη κίνηση για κοπή με δοσμένη πρόωση.

G02: Κυκλική παρεμβολή με ωρολογιακή φορά.

G03: Κυκλική παρεμβολή με αντί ωρολογιακή φορά.

G04: Προγραμματισμένη χρονική καθυστέρηση.

G06: Παραβολική παρεμβολή με μεταβαλλόμενες ταχύτητες από τη μονάδα ελέγχου.

G08: Επιτάχυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα.

G09: Επιβράδυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα.

G13-G16: Επιλογή αξόνων.

G17-G19: Επιλογή επιπέδων κατεργασίας XY - ZX - YZ αντίστοιχα.

G33: Κοπή σπειρώματος με σταθερό βήμα. G34 Κοπή σπειρώματος.

G35: Κοπή σπειρώματος.

G40: Άρση της αντιστάθμισης εργαλείου.

G41: Αριστερή αντιστάθμιση.

G42: Δεξιά αντιστάθμιση.

G43: Αντιστάθμισμα θετικό.

- G44:** Αντιστάθμισμα αρνητικό.
- G50-G59:** Μετατοπίσεις προσαρμογής.
- G70:** Συντεταγμένες σε ίντσες (in).
- G71:** Συντεταγμένες σε χιλιοστά του μέτρου (mm).
- G72:** Δεξιόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων.
- G73:** Αριστερόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων. G75 Κυκλική παρεμβολή πολλών τεταρτημόριων.
- G80:** Ακύρωση κύκλων εργασιών
- G81-G89:** Κύκλοι εργασιών.
- G90:** Απόλυτες συντεταγμένες.
- G91:** Σχετικές συντεταγμένες.
- G92:** Μετατόπιση συστήματος συντεταγμένων.
- G93:** Κωδικοποίηση πρόωσης.
- G94:** Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/min.
- G95:** Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/rev.
- G96:** Σταθερή ταχύτητα κοπής με έλεγχο των στροφών της ατράκτου.
- G97:** Στροφές σε 1/λεπτό.

M-Κώδικες

- M00:** Προγραμματισμένη παύση της εργαλειομηχανής.
- M01:** Προαιρετική παύση της εργαλειομηχανής.
- M02:** Τέλος του προγράμματος.
- M03:** Δεξιόστροφη – περιστροφή της ατράκτου με φορά των δεικτών του ρολογιού.
- M04:** Αριστερόστροφη – περιστροφή της ατράκτου με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού.
- M05:** Διακοπή της περιστροφής της ατράκτου.
- M06:** Αλλαγή του κοπτικού εργαλείου.
- M07/M08:** Ενεργοποίηση της ροής του ψυκτικού υγρού (FLOOD / MIST).
- M09:** Σταμάτημα της ροής του ψυκτικού υγρού.

M13: Δεξιόστροφη – περιστροφή της ατράκτου με φορά των δεικτών του ρολογιού και ενεργοποίηση της ροής του ψυκτικού υγρού.

M14: Αριστερόστροφη – περιστροφή της ατράκτου με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού και ενεργοποίηση της ροής του ψυκτικού υγρού.

M30: Τέλος του προγράμματος και επιστροφή στην αρχή.

M70: Καθρεπτισμός ως προς τον άξονα Χ.

M71: Καθρεπτισμός ως προς τον άξονα Υ.

M80: Ακύρωση του καθρεπτισμού ως προς τον άξονα Χ.

M81: Ακύρωση του καθρεπτισμού ως προς τον άξονα Υ.

Στην παρούσα πτυχιακή κατά την σύνταξη του κώδικα προγραμματισμού της άσκησης εκτός από το κώδικα G και M χρησιμοποιούνται και κάποιοι άλλοι κώδικες οι οποίοι είναι:

N: Χαρακτηρίζει τον αύξοντα αριθμό του “block”.

X: Συντεταγμένη για την κίνηση στον άξονα Χ.

Y: Συντεταγμένη για την κίνηση στον άξονα Υ.

Z: Συντεταγμένη για την κίνηση στον άξονα Ζ.

I: Συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου παράλληλη με τον άξονα Χ.

J: Συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου παράλληλη με τον άξονα Υ.

K: Συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου παράλληλη με τον άξονα Ζ.

T: Αριθμός της θέσης του εργαλείου στον εργαλειοφόρα.

D: Διεύθυνση για καταχώρηση αντιστάθμισης της διαμέτρου του κοπτικού εργαλείου.

H: Διεύθυνση για καταχώρηση αντιστάθμισης του μήκους του κοπτικού εργαλείου.

F: α) Πρόωση σε χιλιοστά το λεπτό. Ή β) Πρόωση σε χιλιοστά ανά στροφή

S: α) Περιορισμός των στροφών της ατράκτου(μόνο σε τόρνο). Ή β) Ταχύτητα της ατράκτου(σε στροφές ανά λεπτό). Ή γ) Γραμμική ταχύτητα(μόνο για τόρνο).

(Φιλήμονος Χρ. Σκιττίδη, 2000)

1.4.5 Λογισμικό CAD/CAM

CAD-Computer Aided Design

Computer Aided Design (CAD) είναι η ψηφιακή δημιουργία 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, έχετε καλύτερη αντίληψη του μοντέλου και μπορείτε να δημιουργήσετε σχέδια παραγωγής, τρισδιάστατα σχέδια, σχέδια διαδικασιών συναρμολόγησης, φωτορεαλιστικές εικόνες και κινηματική προσομοίωση.

CAM-Computer Aided Manufacturing

Computer Aided Manufacturing είναι 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.

Το πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης συντάσσεται με τη χρήση κατάλληλων εντολών, που ορίζουν την κίνηση του κοπτικού εργαλείου στο χώρο, για την παραγωγή της γεωμετρίας του τεμαχίου. Το λογισμικό CAM παρέχει τη δυνατότητα ορισμού της διαδικασίας παραγωγής τεμαχίων, μέσω του ορισμού των παραμέτρων της κατεργασίας στο λογισμικό σε περιβάλλον εργασίας υψηλού επιπέδου (επιλογές μέσω παραθύρων, καρτελών, μπάρας εργασίας). Στη συνέχεια, οι επιλογές του χρήστη μεταφράζονται στο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης, μέσω της διαδικασίας της τελικής επεξεργασίας (post processing). Σημαντικό σημείο η σύνταξη του προγράμματος ψηφιακής καθοδήγησης, η οποία διαφέρει σε κάθε μοντέλο εργαλειομηχανής, παρόλο που οι βασικές εντολές προγραμματισμού είναι κοινές μεταξύ των μηχανών.

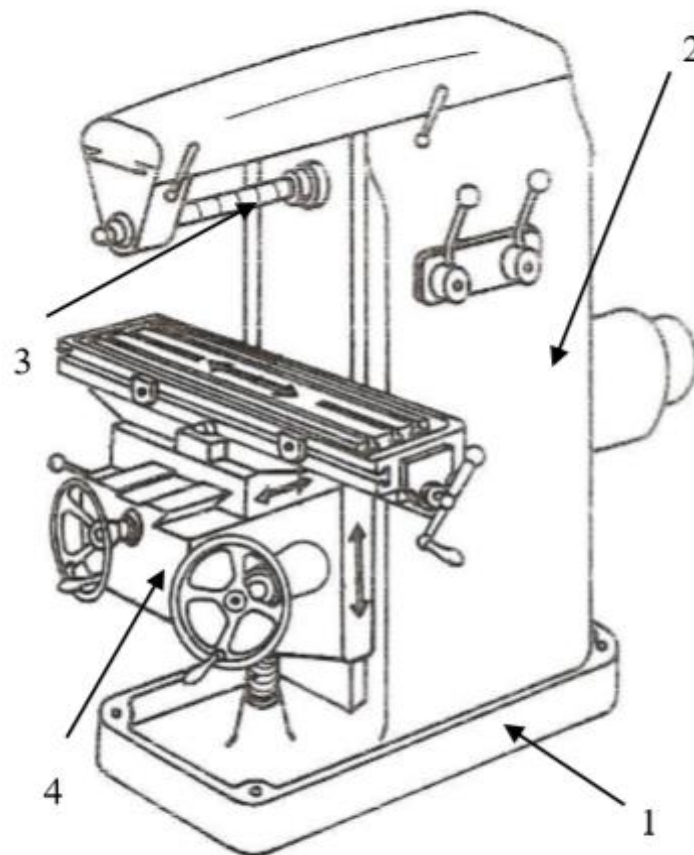
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΡΕΖΑ-CNC ΦΡΕΖΑ

2.1 Είδη Φρεζομηχανών και Βασικά Μέρη μιας Φρεζομηχανής

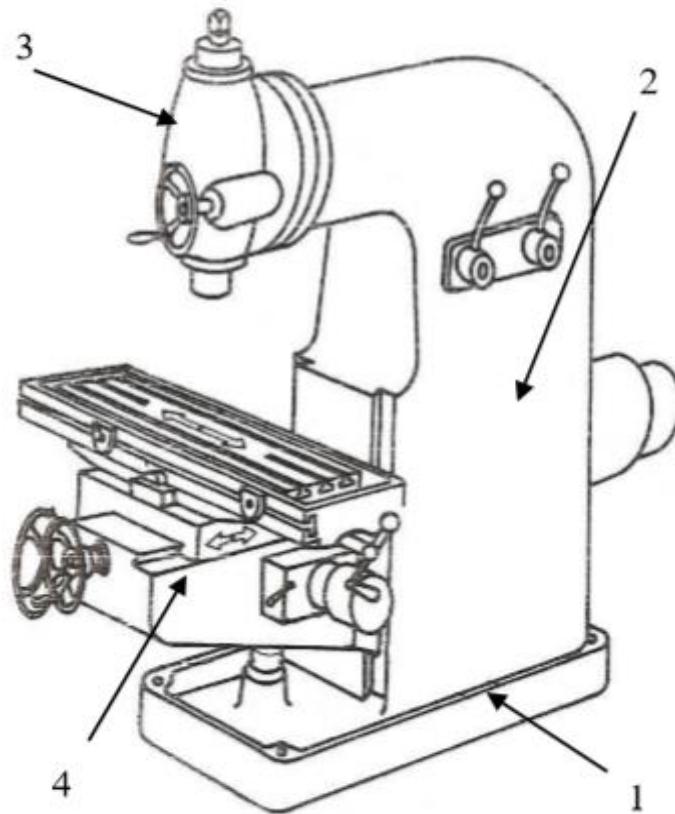
Υπάρχουν δύο είδη Φρεζομηχανών:

- Οριζόντιας Ατράκτου.
- Κατακόρυφης-Κάθετης Ατράκτου.



Εικόνα 1.0: Φρεζομηχανή οριζόντιας ατράκτου

(1):Βάση,(2):Σώμα-Κορμός,(3):Κύρια Άτρακτος,(4):Συγκρότημα Τραπεζιού



Εικόνα 1.1: Φρεζομηχανή κάθετης ατράκτου

(1):Βάση,(2):Σώμα-Κορμός,(3):Κύρια Άτρακτος,(4):Συγκρότημα Τραπεζιού

Τα Βασικά Μέρη μιας Φρεζομηχανής είναι :

- Βάση
- Σώμα(Κορμός)
- Κύρια Άτρακτος
- Συγκρότημα Τραπεζιού

Βάση: Η βάση είναι το κατώτατο μέρος της Φρεζομηχανής. Έχει τη μορφή μιας άκαμπτης πλάκας με νευρώσεις και φέρει πάνω της το σώμα της Φρεζομηχανής. Αρκετά συχνά και περισσότερο σε Φρεζομηχανής μικρών διαστάσεων η βάση είναι ενοποιημένη με το κυρίως σώμα.

Σώμα-Κορμός: Το σώμα είναι το μεγαλύτερο τμήμα της Φρεζομηχανής, καθώς στο εσωτερικό του φέρει το σύστημα μετάδοσης ισχύος προς την κύρια άτρακτο και το τραπέζι. Στο εμπρός του μέρος προσαρμόζεται το συγκρότημα του τραπεζιού, ενώ στο πίσω μέρος του βρίσκεται ο ηλεκτροκινητήρας ο οποίος είναι υπεύθυνος για την κύρια κίνηση. Στο επάνω μέρος του φέρει έναν βραχίονα υπό μορφή προβόλου στον οποίο τοποθετείτε η κύρια άτρακτος.

Κύρια Άτρακτος: Η Κύρια Άτρακτος είναι από τα σημαντικότερα μέρη μίας Φρεζομηχανής, αφού σε αυτή καταλήγουν οι στροφές από τον κινητήρα, με αποτέλεσμα να περιστρέφει το κοπτικό εργαλείο που εφαρμόζεται σε αυτή και έτσι να πραγματοποιείται η αφαίρεση του υλικού.

Συγκρότημα Τραπεζιού: Το συγκρότημα του τραπέζιου συνήθως αποτελείται από τρία μέρη. Την κονσόλα η πρόβολο με την οποία επιτυγχάνεται η κατακόρυφη κίνηση. Το φορείο για την εγκάρσια κίνηση. Το τραπέζι όπου στερεώνονται με τις ιδιοσυσκευές συγκράτησης τα προς κατεργασία τεμάχια. Η κίνηση του τραπέζιου πραγματοποιείται, είτε χειροκίνητα με τη βοήθεια μοχλών είτε αυτόματα, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ταχύτητα πρόωσης και την ολοκλήρωση της λειτουργίας της Φρεζομηχανής.

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 ευθύγραμμων αξόνων και ενός περιστροφικού. (Στεργίου, 2009) (Δημοσθένους, 2004) (Clark, 2014)

2.2 Κύρια Μέρη Φρεζομηχανής CNC

Τα Κύρια Μέρη μιας φρέζας αριθμητικού ελέγχου είναι:

- Οι άξονες της εργαλειομηχανής.
- Ο κινητήρας κύριας ατράκτου.
- Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.
- Ο Η/Υ και το λειτουργικό λογισμικό.
- Συσκευές αλλαγής εργαλείων.
- Η MCU (Machine Control Unit).

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 κίνηση τους και ο έλεγχος τους είναι αποφασιστικής σημασίας για την κατάταξη, το χαρακτηρισμό και τις δυνατότητες των επιτραπέζιων CNC φρεζομηχανών.

Ο κινητήρας κύριας απράκτου: Με αυτόν 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 την εργαλειομηχανής.

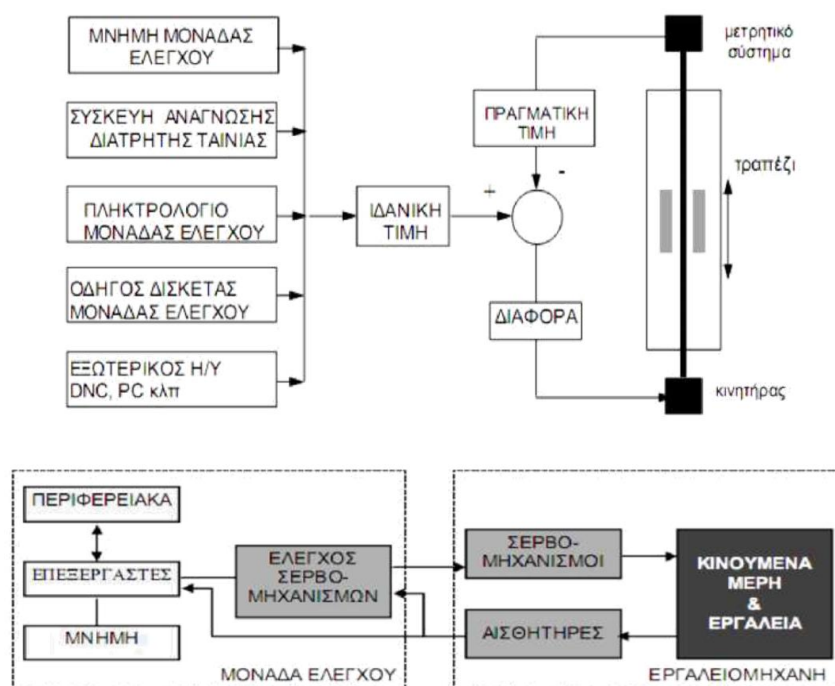
Ο Η/Υ και το λειτουργικό λογισμικό, χρησιμοποιούνται για την διαχείριση του προγράμματος κοπής στη μηχανή (με ενσωματωμένο CAM ή μέσω post-processor από εξωτερικό CAM), την εκτύπωση αρχείων και ενδεχομένως την παρακολούθηση της λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

Συσκευές αλλαγής εργαλείων, υπάρχουν δύο ειδών, η κατακόρυφη και η οριζόντια. Η συσκευή αλλαγής εργαλείων μπορεί να αποθηκεύει αρκετά πρωτοποθετημένα 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 την δυνατότητα στο χειριστή να εκτελεί μια ποικιλία εργασιών όπως είναι ο προγραμματισμός, η κατεργασία, η διάγνωση, η εποπτεία εργαλείων και μηχανής. Οι MCU ποικίλουν ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

2.3 Αρχή λειτουργίας μίας CNC εργαλειομηχανής

Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου ανάδρασης. Οι τιμές αναφοράς που προέρχονται από το πρόγραμμα συγκρίνονται με τις πραγματικές τιμές που μετρούνται 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 στην εικόνα 1.2 .



Εικόνα 1.2: 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 βρόχου των κινητήρων servo διασφαλίζει επίσης ότι δεν πρόκειται να εμφανιστεί κάποια καθυστέρηση στην κίνηση, εκτός και αν κάποιο αμετακίνητο αντικείμενο εμποδίσει την τροχιά κίνησης.

2.4 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 1.3).

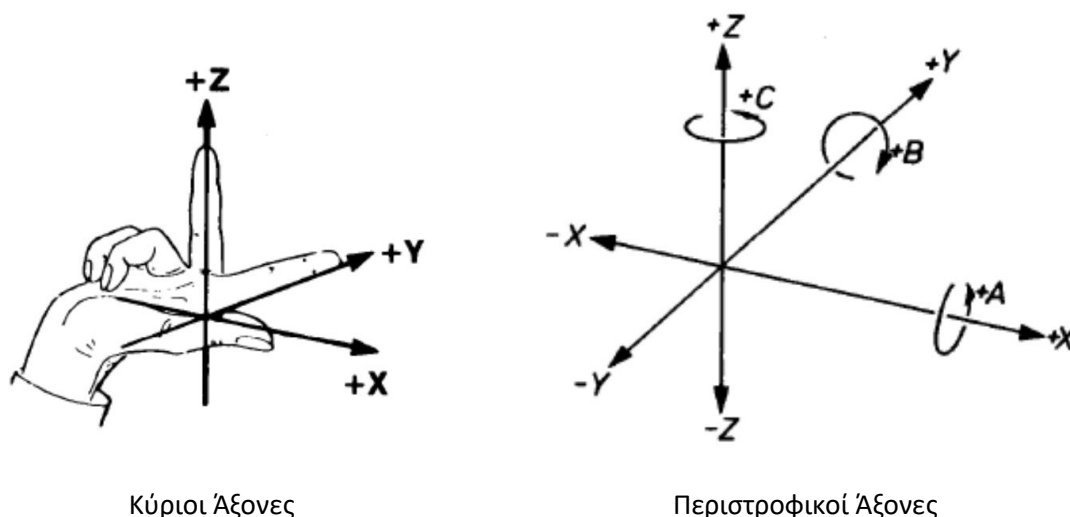
Οι γραμμικοί άξονες μιας εργαλειομηχανής είναι:

- 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.



Εικόνα 1.3: Καθορισμός κύριων και περιστροφικών 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 ατράκτου (αυτής που διαθέτει την μέγιστη ισχύ). Η άτρακτος μπορεί να περιστρέφει το εργαλείο (όπως σε δράπανα) 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 1.3 . 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 1.3.

2.5 Συστήματα Συντεταγμένων

Για να μπορέσει ο χειριστής μιας ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής να περιγράψει γεωμετρικά ένα τεμάχιο, χρησιμοποιεί τις γνωστές από τα μαθηματικά συντεταγμένες, οι οποίες αποτελούν το γεωμετρικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ του χειριστή και της ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής. Έτσι, μέσω των συντεταγμένων είναι δυνατόν να προγραμματιστούν οι κινήσεις του κοπτικού εργαλείου. Αυτός ο γεωμετρικός προγραμματισμός της μηχανής πρέπει να στηρίζεται σε σταθερές αρχικές θέσεις, που δημιουργούνται μέσω των συστημάτων συντεταγμένων. Υπάρχουν πολλοί τύποι τέτοιων συστημάτων. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως στην ψηφιακή καθοδήγηση, είναι το καρτεσιανό σύστημα και το πολικό σύστημα συντεταγμένων. Υπάρχουν βέβαια και το σφαιρικό, το κυλινδρικό και το τοροειδές σύστημα συντεταγμένων, που όμως χρησιμοποιούνται λιγότερο και σε ειδικές περιπτώσεις.

Καρτεσιανές συντεταγμένες

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

Πολικές συντεταγμένες

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

Απόλυτες και σχετικές συντεταγμένες

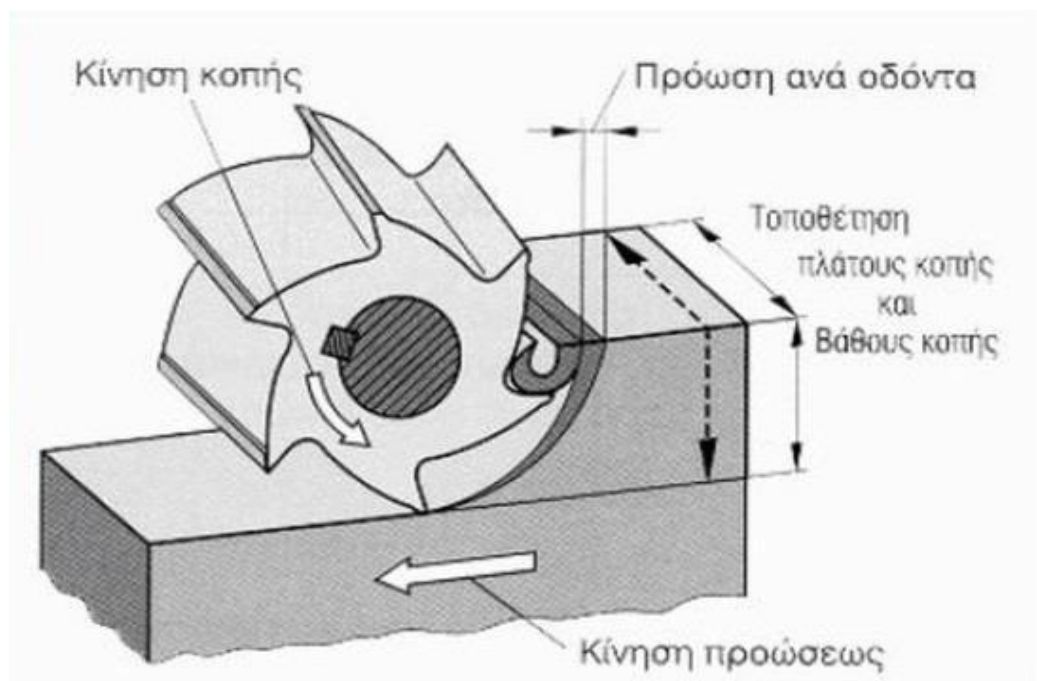
Τα γεωμετρικά δεδομένα ενός τεμαχίου, που πρόκειται να υποστεί κατεργασία, μπορεί να οριστούν με δυο τρόπους. Πρόκειται για τον απόλυτο και το σχετικό τρόπο προσδιορισμού θέσης σημείων στο επίπεδο ή στο χώρο. Και οι δυο τρόποι είναι μεταξύ τους ισότιμοι, με την έννοια ότι, οποίος από τους δυο κι αν χρησιμοποιηθεί, 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 ελέγχου και αντιγραφής, που την κάνουν σε αρκετές περιπτώσεις ελκυστική στους προγραμματιστές.

2.6 Φρεζάρισμα

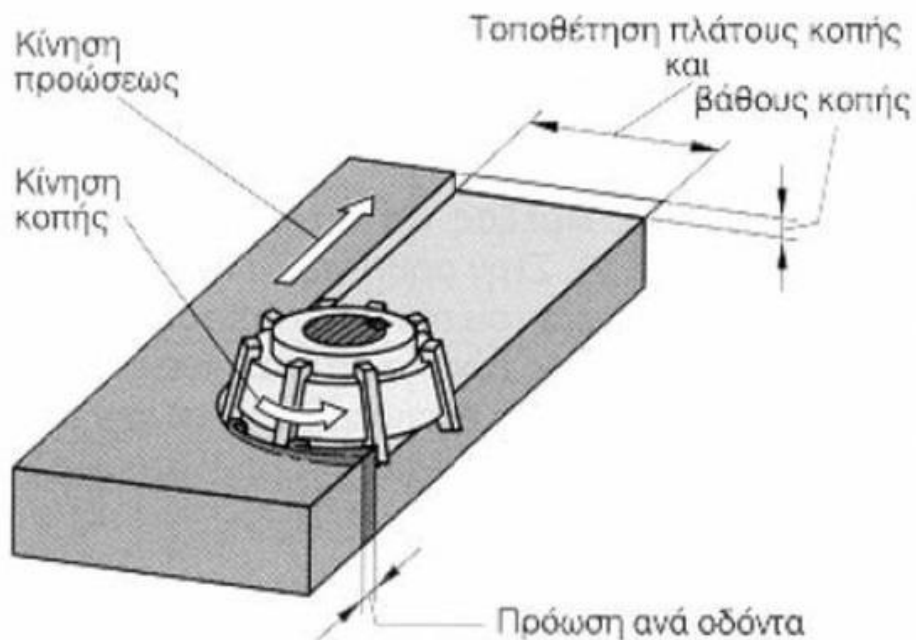
Το φρεζάρισμα είναι μια κατεργασία αφαίρεσης υλικού όπου, ανάλογα με τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής στους άξονες περιστροφής του κομματιού και του κοπτικού εργαλείου, μπορούν να παραχθούν πολύπλοκες γεωμετρίες.

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.

Το φρεζάρισμα είναι κοπή με περιστροφική κίνηση του κοπτικού εργαλείου και ανεξάρτητη κάθετη προς τον άξονα περιστροφής του εργαλείου προωθητική κίνηση του κατεργάσιμου τεμαχίου. Διακρίνονται δύο είδη φρεζαρίσματος, το περιφερειακό φρεζάρισμα, όπου το εργαλείο περιστρέφεται οριζόντια και το μετωπικό φρεζάρισμα, όπου ο άξονας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου είναι κατακόρυφος.

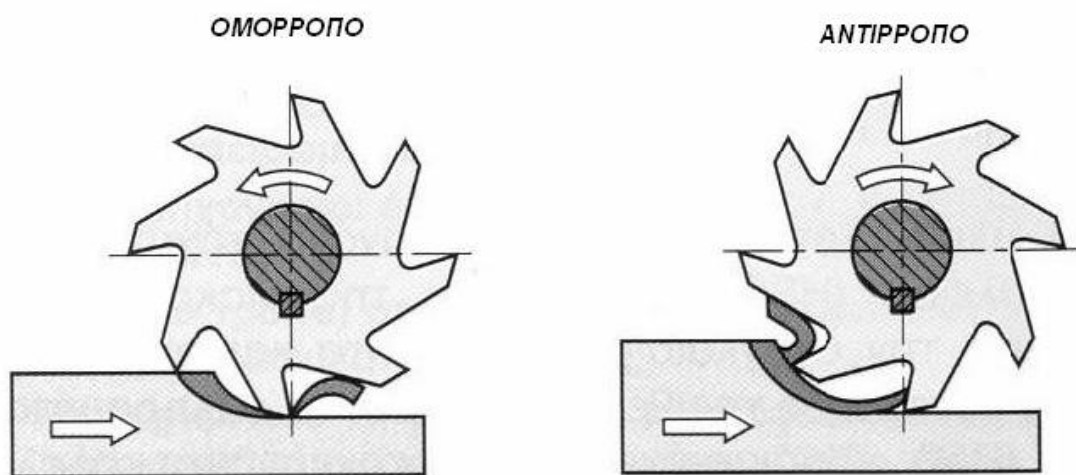


Εικόνα 1.4: Περιφερειακό φρεζάρισμα



Εικόνα 1.5: Μετωπικό φρεζάρισμα

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



Εικόνα 1.6: Ομόρροπο και αντίρροπο φρεζάρισμα

2.7 Κατηγορίες Φρεζαρίσματος

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 σκληρυσμένο 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 45ο 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 (cm³ / min).

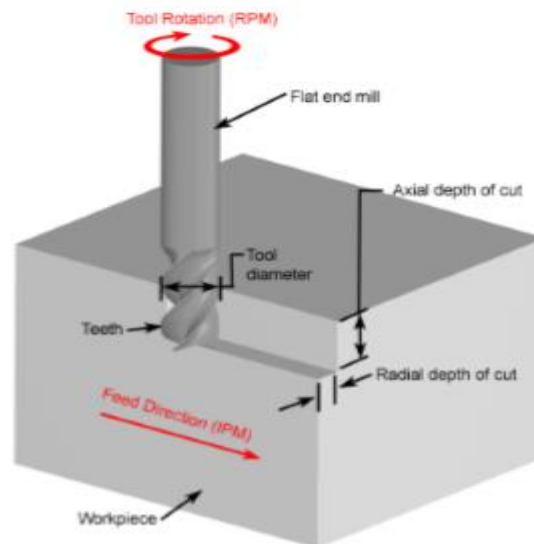
- **Φρεζάρισμα υψηλών προώσεων (High Feed Machining):** Στην εν λόγω στρατηγική φρεζαρίσματος μπορούν να επιτευχθούν υψηλές τιμές προώσεως με πλήρη σύμπλεξη της διαμέτρου του κοπτικού εργαλείου (ae) σε συνδυασμό με μικρά βάθη κοπής (ap). Με τη χρήση της τεχνολογίας HFM (High Feed Machining) επιτυγχάνεται 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 σκληρυσμένου χάλυβα, κατεργασίες τιτανίου και ανοξειδωτου 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.

2.8 Βασικά Στοιχεία Μηχανικής Κατά το Φρεζάρισμα

Τα Βασικά Στοιχεία Μηχανικής κατά το φρεζάρισμα είναι τα εξής:

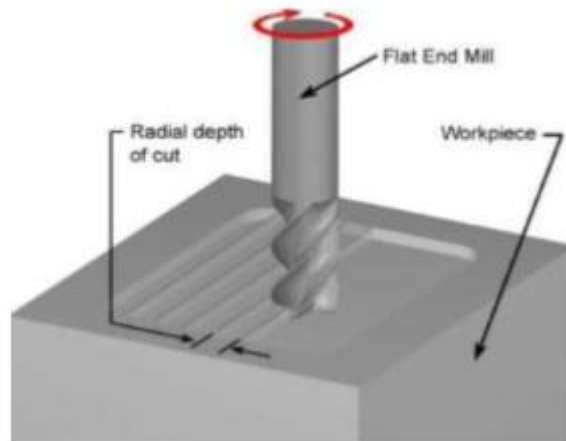
- **Πρόωση κοπής:** Είναι η απόσταση την οποία διανύει το κοπτικό εργαλείο, ή το υπό κατεργασία τεμάχιο (μετατόπιση τραπέζης εργαλειομηχανής), κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής της κυρίας ατράκτου της εργαλειομηχανής (Spindle) μαζί με εργαλειομηχανή, μετρούμενη σε ίντσες ανά περιστροφή (IPR) ή mm ανά 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) [fz], 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 μετράτε 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.



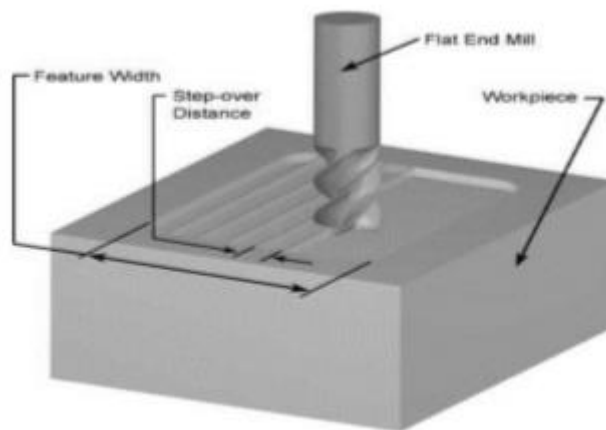
Εικόνα 1.7: Αξονικό βάθος κοπής

- **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 1.8: 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 1.9: Απόσταση διαδοχικού βηματισμού

Βασικές συνθήκες κατεργασίας μέσω των ορισμών τους. (Αγαρίου, 2016)**Ταχύτητα κοπής V (Cutting Speed)**

Η ταχύτητα κοπής στην περίπτωση του τόννου καθορίζεται από την περιστροφική ταχύτητα του άξονα N και την αρχική και τελική διάμετρο του δοκιμίου D1 + D2 αντίστοιχα και δίνεται από την μαθηματική ισότητα:

$$V = \pi * N * \frac{D1+D2}{2} = \pi * N * D_{avg}, (m / min)$$

Η ταχύτητα κοπής στην περίπτωση της φρέζας καθορίζεται από την περιστροφική ταχύτητα του άξονα N και τη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου D και δίνεται από την μαθηματική ισότητα:

$$V = \pi * N * D, (m / min)$$

Πρόωση f (Feed)

Η πρόωση (f) στην περίπτωση του τόννου, ορίζεται ως η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου ανά περιστροφή κατά μήκος της διαδρομής κοπής του σε (mm/rev). Η ταχύτητα πρόωσης (fr) είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά μήκος του δοκιμίου σε χιλιοστά ανά λεπτό (mm/min) και σχετίζεται με την πρόωση μέσω των στροφών. Δίνεται από τη μαθηματική ισότητα:

$$f_r = f * N, (mm / min)$$

Στην περίπτωση της φρέζας η πρόωση (f) αντιστοιχεί στην πρόωση ανά δόντι(ft) του κοπτικού εργαλείου και ορίζεται ως η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου ανά δόντι κατά μήκος της διαδρομής κοπής του σε (mm/tooth). Η ταχύτητα πρόωσης (fr) είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά μήκος του δοκιμίου σε χιλιοστά ανά λεπτό (mm/min) και σχετίζεται με την πρόωση μέσω των στροφών. Δίνεται από τη μαθηματική ισότητα:

$$f_r = f * N = n_t * f_t * N (mm / min)$$

Βάθος κοπής d (Depth of Cut)

Το βάθος κοπής, d, στην περίπτωση του τόννου, ορίζεται ως το πάχος του υλικού που αφαιρείται από την επιφάνεια του δοκιμίου και δίνεται από τη μαθηματική ισότητα:

$$d = \frac{D1-D2}{2}, (mm)$$

Το βάθος κοπής, d, στην περίπτωση της φρέζας, ορίζεται ως το πάχος του υλικού που αφαιρείται από την επιφάνεια του δοκιμίου και εξαρτάται από το πάχος του υλικού που μπορεί να αφαιρέσει το εκάστοτε κοπτικό εργαλείο.

2.9 Υγρή και Ξηρή Κατεργασία

Η επιλογή για Υγρή ή Ξηρή Κατεργασία, δηλαδή για χρήση ή όχι ψυκτικού και λιπαντικού υγρού κατά την κατεργασία, δεν τίθεται 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.

Υγρή:

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 19ο 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 20ου 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).

Ξηρή:

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 επιφανείας. 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.

2.10 Υλικά Κοπτικών Εργαλείων

Για την κατασκευή των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές διαμόρφωσης τεμαχίων χρησιμοποιούνται :

- Ανθρακούχοι και κραματωμένοι χάλυβες
- Χυτοκράματα
- Ταχυχάλυβες
- Σκληρομέταλλα
- Κεραμικά υλικά
- Βιομηχανικός αδάμας
- Συνθετικά υπέρσκληρα υλικά

Η χρήση των ανθρακούχων-κραματωμένων χαλύβων και χυτοκραμάτων είναι σήμερα πολύ περιορισμένη και τείνει να εκλείψει, η αναφορά τους θα γίνει κατωτέρω για λόγους ιστορικής αναδρομής και εξέλιξης στην τεχνολογία παραγωγής των κοπτικών εργαλείων.

ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

- Το πρώτο υλικό κατασκευής κοπτικών εργαλείων.
- Περιεκτικότητα σε άνθρακα: $\pi(C)=0.8\div 1.5\%$. Αύξηση της $\pi(C)$ οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής σε φθορά, αλλά καθιστά το κοπτικό εργαλείο πιο εύθραυστο σε κρούση.
- Το φθηνότερο από όλα τα υλικά κοπτικών εργαλείων.
- Χαμηλό σημείο επαναφοράς και σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες ($200\div 250^{\circ}\text{C}$) απότομη απώλεια της σκληρότητας (ακαταλληλότητα για χρήση ως ΚΕ).
- Βαφή σε νερό με απλή διαδικασία.
- Πολύ χαμηλές ταχύτητες κοπής ($8\div 10\text{ m/min}$).

ΚΡΑΜΑΤΟΥΧΟΙ ΑΝΘΡΑΚΟΧΑΛΥΒΕΣ

- Κύρια κραματικά στοιχεία: Cr, Mn, W, Mo, V σε συνολικό ποσοστό κραμάτωσης $<3\%$.
- Διατήρηση της σκληρότητας σε υψηλότερες θερμοκρασίες ($\sim 500^{\circ}\text{C}$).
- Υψηλότερες ταχύτητες κοπής (μέχρι 25 m/min).
- Βαφή σε λάδι που εξασφαλίζει μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη και κρούση.

ΧΥΤΟΚΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΕΛΛΙΤΕΣ

- Μη σιδηρούχα κράματα αποτελούμενα από Co (κυρίως), Cr, W, C.
- Αντιπροσωπευτική σύνθεση: $\pi(\text{Co})=40\div 50\%$, $\pi(\text{Cr})=27\div 32\%$, $\pi(\text{W})=14\div 29\%$, $\pi(\text{C})=2\div 4\%$.
- Δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία και κυκλοφορούν υπό τη μορφή χυτών πλακιδίων.
- Σκληρότητα μικρότερη των ταχυχαλύβων, διατήρησή της όμως σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Ευπαθή σε κρούσεις.
- Υψηλές ταχύτητες κοπής (μέχρι 60 m/min) με μέτριες προώσεις.

ΤΑΧΥΧΑΛΥΒΕΣ

- Υλικό κοπτικών εργαλείων με ευρύτατη εφαρμογή.
- Καλύπτει όλη την περιοχή των ταχυτήτων κοπής, από τις πολύ χαμηλές μέχρι και τις υψηλές τιμές ($\sim 60\text{ m/min}$).
- Από άποψης σύνθεσης διακρίνονται σε 3 κατηγορίες,
Κατηγορία Α: Με υψηλό ποσοστό W.
Κατηγορία Β: Με υψηλό ποσοστό Mo.
Κατηγορία C: Με μέση συμμετοχή W και Mo
- Συμβολή των κραματικών στοιχείων:

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

W: Σχηματίζει σύνθετα καρβίδια με τα καρβίδια του Fe, με αποτέλεσμα την εξασφάλιση της σκληρότητας σε υψηλές θερμοκρασίες.

Mo: Ομοίως

Co: Διαλύεται στο φερριτικό ιστό του χάλυβα, με συνέπεια την ανύψωση του σημείου ανακρυστάλλωσης και τη διατήρηση της σκληρότητας σε υψηλότερες θερμοκρασίες (λόγω μηχανισμού σκλήρυνσης και όχι λόγω θερμικής κατεργασίας).

V: Εμποδίζει την ανάπτυξη μεγάλου μεγέθους κόκκων στις υψηλές θερμοκρασίες (κατά τη θερμική τους κατεργασία). Ευνοεί το σχηματισμό ελεύθερων πολύ σκληρών καρβιδίων που συντελούν στην αύξηση της αντοχής σε φθορά σε όλες τις θερμοκρασίες κοπής.

- Μεγάλη αντοχή σε φθορά.
- Διατήρηση της σκληρότητας μέχρι τους 600C περίπου.
- Ικανοποιητική αντοχή σε κρούσεις και κραδασμούς.
- Μικρό σχετικά κόστος κτήσης
- Ευχερής και οικονομική επανατρόχιση.

ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΑΛΛΑ

- Διατήρηση της σκληρότητας (περίπου 850 HB) σε υψηλές θερμοκρασίες (900÷1000C), πρακτικά μη επηρεαζόμενη από την εκλυόμενη θερμότητα κοπής.
- Αντοχή σε φθορά πολλαπλάσια σε σύγκριση με τα άλλα υλικά ΚΕ.
- Μικρός συντελεστής θερμικής διαστολής και μεγάλη θερμική αγωγιμότητα.
- Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και όριο διαρροής (δηλ. είναι πολύ στιβαρά).
- Ψαθυρά υλικά με χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό.
- Ευαίσθητα σε κραδασμούς, κρούσεις και απότομες μεταβολές φορτίου και θερμοκρασίας.
- Τάση για σχηματισμό ψευδοακμής σε χαμηλές ταχύτητες (μειονέκτημα έναντι ταχυχαλύβων).
- Δεν απαιτείται η χρήση υγρών κοπής (ξηρή κοπή), αλλά, όποτε εφαρμόζεται χρήση υγρών κοπής, η παροχή τους πρέπει να είναι συνεχής και μεγάλη.
- Η τρόχισή τους γίνεται με ειδικούς μαλακούς τροχούς, ενώ η τελική λείανση με διαμαντοτροχούς.

ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

- Κατασκευάζονται με τη μέθοδο της κονιομεταλλουργίας.
- Το βασικό κοπτικό υλικό είναι σκόνη τεχνητού κορουνδίου (Al₂O₃) με συνδετικό μέσο μικρά ποσοστά πυρίμαχων οξειδίων Mg και Si.
- Η σκληρότητα τους είναι πολύ υψηλή (>90 HRC) και διατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Μεγάλη αντίσταση φθοράς και πολύ μικρή τάση διάχυσης.
- Ευαίσθητα σε καμπτική κόπωση, κρουστική φόρτιση και θερμοκρασιακές εναλλαγές.

- Κατασκευάζονται σε πλακίδια ορισμένων μορφών και συγκρατούνται σε μανέλες όπως τα σκληρομέταλλα.
- Επιτυγχάνονται ταχύτητες κοπής 2-3πλάσιες από εκείνες των σκληρομετάλλων.
- Χρησιμοποιούνται για την κοπή σχεδόν όλων των υλικών (πλην Al, Ti, Zr).
- Δεν χρησιμοποιούνται υγρά κοπής.
- Η χρήση τους σε μηχανές CNC συνεχώς διευρύνεται.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΔΑΜΑΣ

- Έχει πολύ μεγάλη σκληρότητα (περίπου 7000 HB) και μεγάλη αντοχή έναντι φθοράς (λόγω της ειδικής κρυσταλλικής δομής του). Η κόψη του παραμένει πρακτικά άφθαρτη σε συνεχή κοπή.
- Είναι ψαθυρό υλικό και συνεπώς ευαίσθητο στις κρούσεις.
- Δεν αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες κοπής (μέχρι 800 C).
- Έχει πολύ μικρό συντελεστή τριβής με τα μέταλλα.
- Δεν απαιτείται χρήση υγρού κοπής.
- Έχει το μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από οποιοδήποτε άλλο καθαρό υλικό, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού.
- Χρησιμοποιείται στις φάσεις φινιρίσματος (αποπεράτωση) σε ελαφρά μέταλλα και κράματα (Cu, Al, Ορείχαλκος), σκληρά τεχνητά υλικά και σπανιότερα στην κοπή βαμμένου χάλυβα και σκληρομετάλλων.
- Απαιτεί μικρές γωνίες αποβλήτου, βάθη κοπής και προώσεις, αλλά χρησιμοποιείται σε πολύ ευρύ πεδίο ταχυτήτων κοπής (40-3000 m/min).
- Αποδίδεται άριστη ποιότητα επιφάνειας κατεργασίας
- Έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής (πρακτικά απεριόριστη).
- Υπάρχει ανάγκη χρήσης εργαλειομηχανών στιβαρών (στατικά και δυναμικά), με μεγάλη ακρίβεια μετάθεσης και κίνησης, καθώς επίσης και ειδικής μεθόδου συγκράτησης του διαμαντιού πάνω στη μανέλα του (με συγκόλληση ή σύσφιξη).

CBN (ΚΥΒΙΚΟΣ ΒΟΡΙΟΝΙΤΡΙΗΣ)

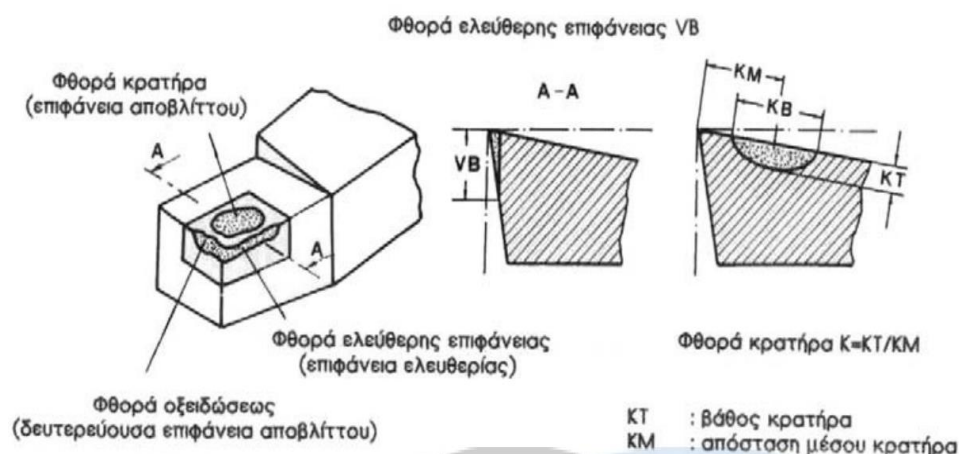
- Είναι συνθετικό υπέρσκληρο υλικό, δεύτερο κατά τάξη σκληρότητας μετά το διαμάντι. Υπερέχει όμως έναντι αυτού στο γεγονός ότι δεν οξειδώνεται στον αέρα και ότι αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Πρόκειται για αλλοτροπική μορφή του βοριονιτρίτη και παρασκευάζεται με μεθόδους υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.
- Χρησιμοποιείται στην κοπή σιδηρούχων μετάλλων με μεγάλες ταχύτητες κοπής.
- Τοποθετείται σε πλακίδια σκληρομετάλλου διαφόρων σχημάτων.
- Έχει υψηλό κόστος κτήσης (60πλάσιο εκείνου του σκληρομετάλλου).
- Στις ΗΠΑ κυκλοφορεί με την εμπορική ονομασία Borazon από την General Electric.

2.11 Φθορά Κοπτικών Εργαλείων

Το κοπτικό εργαλείο κατά την κοπή, υπόκειται όπως προαναφέρθηκε, σε υψηλές θερμοκρασίες και τάσεις. Αυτό έχει σαν συνέπεια το κοπτικό εργαλείο σταδιακά να φθείρεται και τελικά να αστοχεί, που σημαίνει πως είναι πλέον άχρηστο και πρέπει να επανατροχιστεί ή να απορριφθεί. Η φθορά που αναπτύσσεται παρουσιάζεται με τις παρακάτω μορφές:

- φθορά της ελεύθερης επιφάνεια
- φθορά κρατήρα στην επιφάνεια αποβλήτου
- απολέπιση της κόψης
- μικροθραύσεις, ρωγμές

Στην εικόνα 2.0, παρουσιάζονται οι μορφές φθοράς των κοπτικών εργαλείων καθώς και τα μεγέθη με τα οποία αυτή μετράτε. Γενικά η φθορά του κοπτικού εργαλείου επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της κατεργασίας, τις συνθήκες κοπής, την γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και το συνδυασμό υλικών εργαλείου - κατεργαζόμενου τεμαχίου.



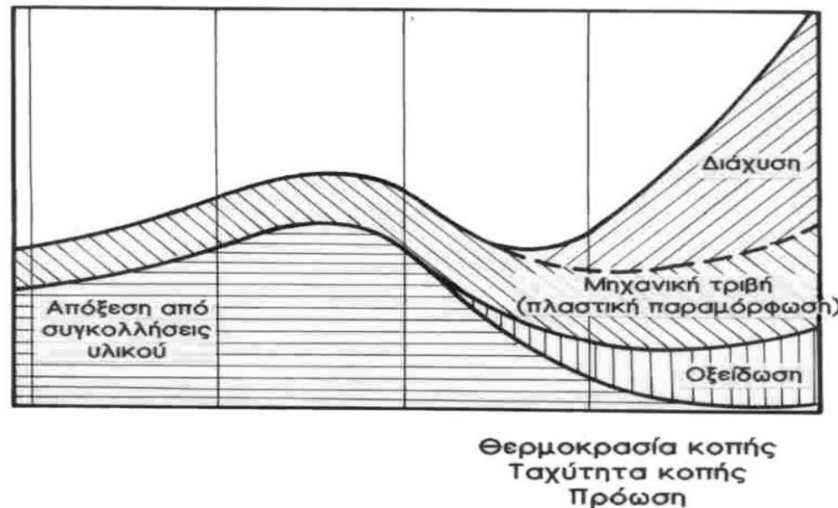
Εικόνα 2.0: Μορφές φθοράς κοπτικών εργαλείων

Οι μηχανισμοί βάσει των οποίων εξελίσσεται η φθορά στα κοπτικά εργαλεία είναι οι εξής :

- Σχηματισμός και λύση συγκολλητών δεσμών : Οι δεσμοί αυτοί δημιουργούνται λόγω της τριβής μεταξύ αποβλήτου και εργαλείου ή εργαλείου και τεμαχίου. Ο διαρκής σχηματισμός και καταστροφή των δεσμών αυτών κατά την διάρκεια της κοπής, έχει σαν συνέπεια την απόσπαση μικρών τεμαχίων από το εργαλείο προς το απόβλητο ή το τεμάχιο αντίστοιχα.
- Απόξεση : Σκληρά τεμάχια του αποβλήτου κινούμενα και συγχρόνως πιεζόμενα πάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου, την φθείρουν συνεχώς, εκτελώντας κοπή σε μικρή κλίμακα. Τα τεμάχια αυτά μπορεί να προέρχονται και από μικρά κομμάτια της ψευδόκοψης.

- Διάχυση στερεάς κατάστασης : Άτομα από το υλικό του κοπτικού εργαλείου, διαχέονται προς το απόβλητο ή το τεμάχιο, λόγω της ύπαρξης ευνοϊκών συνθηκών για διάχυση που προσφέρουν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η μεταλλική επαφή του εργαλείου με το απόβλητο ή το τεμάχιο

Συνολικά η φθορά που αναπτύσσεται στα κοπτικά εργαλεία είναι συνήθως προϊόν και των τριών προαναφερόμενων μηχανισμών. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά την κοπή, στην ενεργοποίηση των διαφόρων μηχανισμών φθοράς.



Εικόνα 2.1: Μορφές φθοράς κατά την κοπή

Έτσι ενώ σε χαμηλές ταχύτητες κοπής και προώσεις, άρα και αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, η φθορά ακολουθεί κυρίως τους μηχανισμούς της απόξεσης (μέσω της ύπαρξης της ψευδόκοψης) και της φθοράς λόγω σχηματισμού και λύσης συγκολλητών δεσμών (μέσω της τριβής εργαλείου-κατεργαζόμενου τεμαχίου), όσο αυξάνεται η ταχύτητα κοπής και η πρόωση, άρα αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες, η φθορά ακολουθεί κυρίως τον μηχανισμό της διάχυσης στερεάς κατάστασης ενώ παρουσιάζεται και οξείδωση του κοπτικού εργαλείου. Σε υψηλές θερμοκρασίες η φθορά που οφείλεται σε απόξεση είναι ελάχιστη λόγω της ελάττωσης του φαινομένου της ψευδόκοψης στις ταχύτητες αυτές.

2.12 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) καθώς και με τις προδιαγραφές ποιότητας του κατεργαζόμενου τεμαχίου (τραχύτητα επιφάνειας, ανοχές). 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:

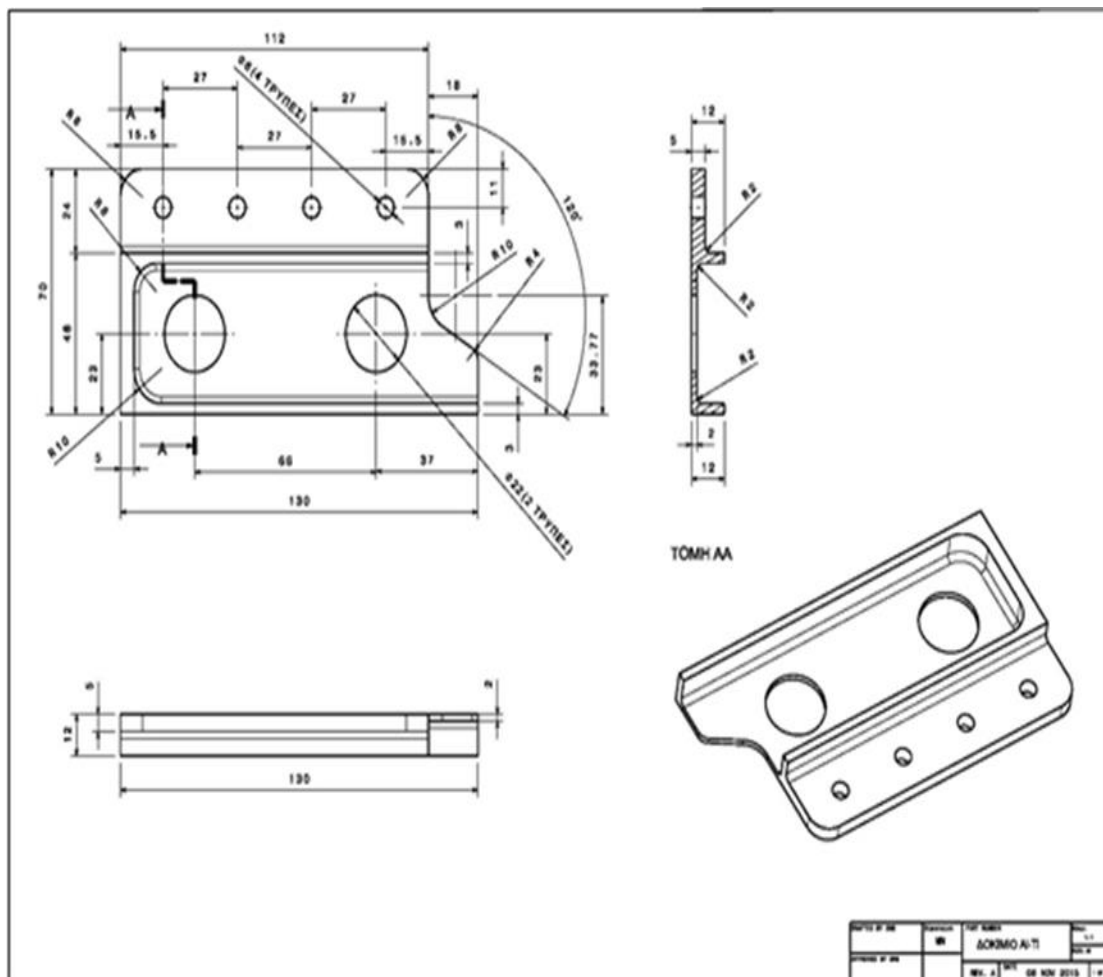
- Επιλέγεται από τους καταλόγους της κατασκευάστριας εταιρείας το καταλληλότερο για την εφαρμογή κονδύλι. Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν Κεντροφόρα (Center Cutting Type) και μη κεντροφόρα (Non-Center Cutting Type) κονδύλια.
- Επιλέγεται η κατάλληλη ταχύτητα κοπής και ο κατάλληλος ρυθμός πρόωσης ώστε 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 συγκολλείται 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η βασική ιδέα της πτυχιακής εργασίας ήταν η κατασκευή ενός μηχανολογικού εξαρτήματος σε ένα κέντρο κατεργασίας CNC Φρέζα. Αρχικά μας δόθηκε ένα κομμάτι αλουμινίου διαστάσεων 230mm x 90mm x 25mm μαζί με το ακόλουθο μηχανολογικό σχέδιο:



Εικόνα 2.2: Μηχανολογικό Σχέδιο Δοκιμίου

Επόμενο βήμα ήταν η σχεδίαση του δοκιμίου με τη χρήση του Autodesk Inventor Professional 2016 - Student Version. Αφού πραγματοποιήθηκε επιτυχώς και χωρίς κανένα πρόβλημα η σχεδίαση στο πρόγραμμα δημιουργήσαμε το φασειολόγιο(Process Planning) κατασκευής δοκιμίου ώστε να μας βοηθήσει στη συνέχεια μέσω πάλι του Autodesk Inventor να δημιουργήσουμε το CAM πρόγραμμα. Ταυτόχρονα έγινε η συνεργασία με ένα μηχανουργείο το οποίο μας έδωσε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε μια CNC φρεζομηχανή για να κατασκευαστεί στην πραγματικότητα το δοκίμιο της εργασίας. Αφού μας δόθηκαν τα στοιχεία της CNC εργαλειομηχανής και των κοπτικών εργαλείων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και ήταν κατάλληλα για την κατασκευή του εξαρτήματος μας, δημιουργήσαμε το πρόγραμμα CAM εντάσσοντας σε κάθε φάση κατεργασίας το απαιτούμενο κοπτικό εργαλείο και τις αντίστοιχες συνθήκες κατεργασίας. Επόμενο βήμα μετά την κατασκευή του προγράμματος CAM ήταν η παραγωγή του G-κώδικα μέσω του post-processor του προγράμματος.

Όλα αυτά τα στάδια της μελέτης για το σχεδιασμό και τελικά την κατασκευή του δοκιμίου περιγράφονται αναλυτικά και με τη βοήθεια χρήσης εικόνων για την ευκολότερη κατανόηση στο Κεφάλαιο 4. **Επίσης όλες οι εικόνες κατά την διάρκεια κατεργασίας του δοκιμίου μας στην εργαλειομηχανή CNC παρουσιάζονται στο παράρτημα της μελέτης κατασκευής του δοκιμίου.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στάδια για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του δοκιμίου όπως προαναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3.

4.1 Επιλογή CNC Εργαλειομηχανής

Η εργαλειομηχανή που επιλέχθηκε είναι η VM3HE της εταιρείας HAAS και βάσει του τεχνικού φυλλαδίου της, το οποίο παρατίθεται στο παράρτημα μελέτης κατασκευής δοκιμίου σελ. 92, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Τρεις άξονες κατεργασίας
2. Μέγιστης ταχύτητας περιστροφής 12.000 rpm
3. Εργαλειομηχανή διαστάσεων (4267 x 2159 x 3175 mm) με διαστάσεις κατεργασίας δοκιμίου 1016 x 660 x 635 mm
4. Αυτόματη αλλαγή κοπτικών εργαλείων με δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 30 εργαλείων

4.2 Επιλογή Κοπτικών Εργαλείων

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατεργασία του δοκιμίου ορίστηκαν με κάποια κριτήρια τα οποία και θα πρέπει να πληρούνται όλα μαζί ταυτόχρονα. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Υλικό του δοκιμίου
2. Διαστάσεις κοπτικού εργαλείου
3. Στροφές κατεργασιών
4. Φάσεις κατεργασίας

Τα κοπτικά εργαλεία θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικό σκληρότερο από του δοκιμίου. Μόνο τότε θα μπορεί να πραγματοποιηθεί κοπή και να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Διαφορετικά, το κοπτικό εργαλείο είτε θα ολισθαίνει στην επιφάνεια του δοκιμίου, είτε θα παραμορφώνεται αμέσως με την επαφή του με το δοκίμιο με αποτέλεσμα να καταστρέφεται.

Επίσης, το είδος του κοπτικού εργαλείου θα πρέπει να είναι το κατάλληλο για την εκάστοτε φάση κατεργασίας, σύμφωνα με το φασεολόγιο. Για παράδειγμα, εάν η φάση κατεργασίας απαιτεί το ξεχόνδρισμα μίας ολόκληρης επιφάνειας του δοκιμίου, τότε θα επιλεγθεί μία φρεζοκεφαλή. Το γεγονός αυτό δεν περιορίζει τη χρήση ενός κονδυλιού για την κατεργασία, αλλά ο χρόνος της κατεργασίας θα ήταν μεγαλύτερος, καθώς η διάμετρος του είναι πολύ μικρότερη από αυτή της φρεζοκεφαλής, αφαιρώντας έτσι λιγότερο υλικό σε κάθε ένα πάσσο.

Ταυτόχρονα, οι διαστάσεις των κοπτικών εργαλείων θα πρέπει να συμφωνούν με τις διαστάσεις των διαμορφώσεων σε κάθε μία φάση κατεργασίας. Δηλαδή, δεν μπορεί να επιλεγθεί κονδύλι διαμέτρου 20 χιλιοστών για τη διάνοιξη αυλάκωσης πλάτους 16 χιλιοστών. Σε αυτή την περίπτωση, η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου θα πρέπει να είναι όχι μόνο ίδια με το πλάτος της αυλάκωσης, αλλά μικρότερη για να πραγματοποιηθεί η διάνοιξη με δύο πάσσα, ώστε να επιτευχθεί η ακριβής επιθυμητή διάσταση.

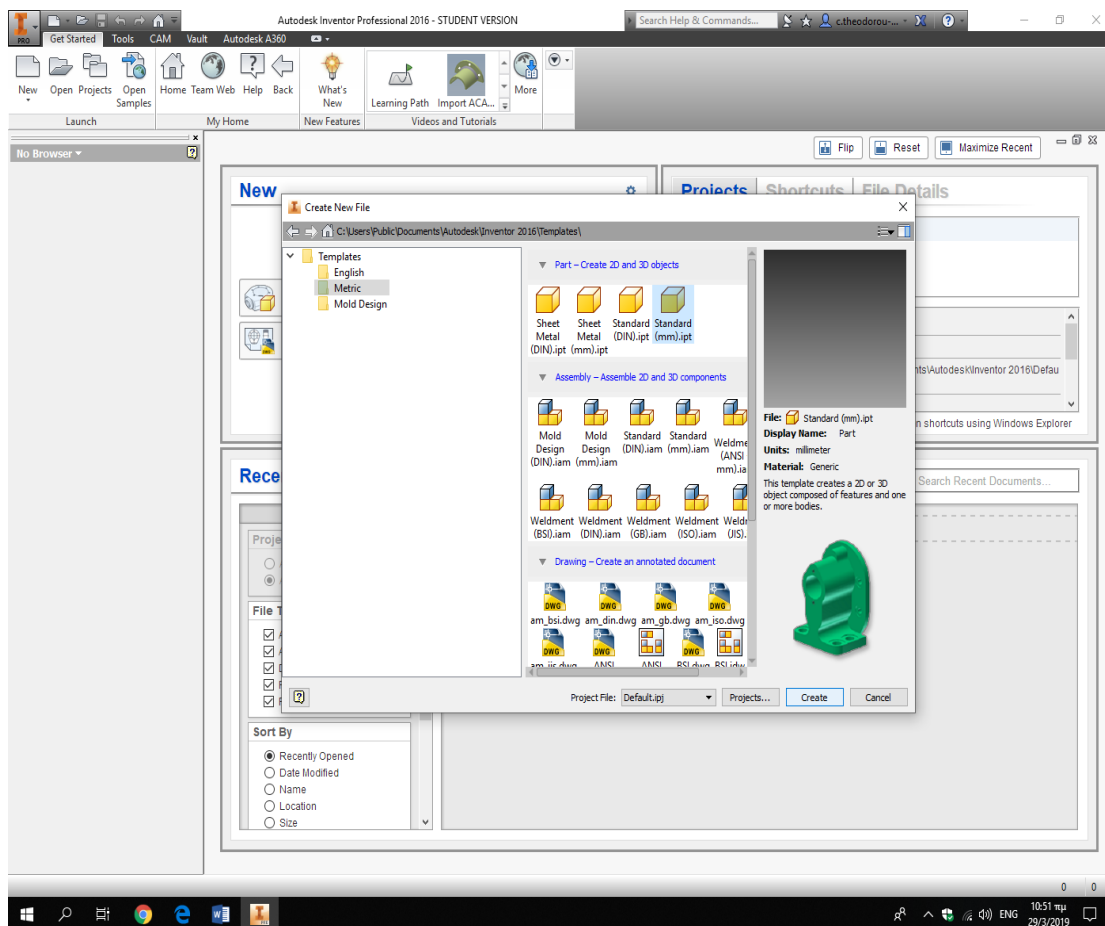
Τέλος, οι στροφές για τις κατεργασίες αποτελούν το τελευταίο και εξίσου σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των κοπτικών εργαλείων. Για τη σωστή χρήση τους αλλά και την κατεργασία του δοκιμίου θα πρέπει οι στροφές λειτουργίας των κοπτικών εργαλείων να είναι μεγαλύτερες από τις στροφές που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της κάθε κατεργασίας. Σε περίπτωση που αυτό το κριτήριο δεν πληρείται, το κοπτικό εργαλείο δεν θα είναι ικανό να πραγματοποιήσει κοπή έχοντας τα ίδια αποτελέσματα με την μη πλήρωση του πρώτου κριτηρίου. Σαφώς, οι στροφές λειτουργίας των κοπτικών εργαλείων δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το ανώτατο όριο στροφών λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

Συγκεκριμένα το κοπτικά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατεργασία του δοκιμίου (αλουμίνιο) είναι τα εξής:

1. Φρεζοκεφαλή (Face mill) $\varnothing 50$: Kennametal 50A05RS90ED14D
Πλακίδια κεφαλής: EDCT140408PDFRLDJKC410M
Στροφές: 2000 rpm
Πρόωση: 1700 mm/min
Βάθος κοπής: 3 mm
2. Φρεζοκεφαλή (Face Mill) $\varnothing 20$: Kennametal 20A02R039B20SED14
Πλακίδια κεφαλής: EDCT140408PDFRLDJKC410M
Στροφές: 5000 rpm
Πρόωση: 1600 mm/min
Βάθος κοπής: 3 mm
3. Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) $\varnothing 6$: Kennametal 4CH0600DD013A KC633M
Στροφές: 10000 rpm
Πρόωση: 3000 mm/min
Βάθος κοπής: 1 mm
4. Κονδύλι καρβιδίου Δίπτερο (Ball Nose) $\varnothing 3$: Kennametal 2BN0300DD007A KC633M
Στροφές: 10000 rpm
Πρόωση: 3000 mm/min
Βάθος κοπής: 0.5 mm
5. Τρυπάνι $\varnothing 6$: HSS Sutton D1790600
Στροφές: 1600 rpm
Πρόωση: 160 mm/min

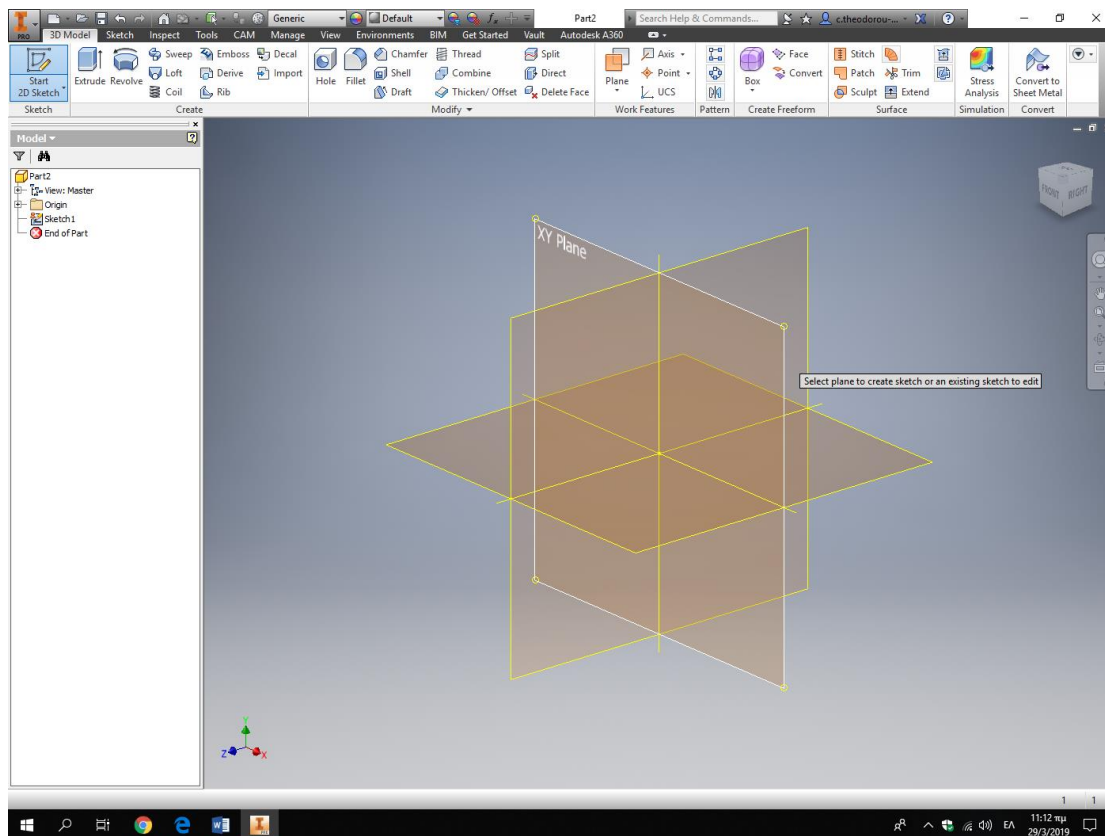
4.3 Σχεδιασμός Δοκιμίου στο Autodesk Inventor

1. Για να ξεκινήσουμε το project επιλέγουμε τη καρτέλα new, διαλέγουμε το φάκελο Templates > Metric για να επιλέξουμε το Standard(mm).ipt και τέλος πατάμε το create για τη δημιουργία του σχεδίου μας.



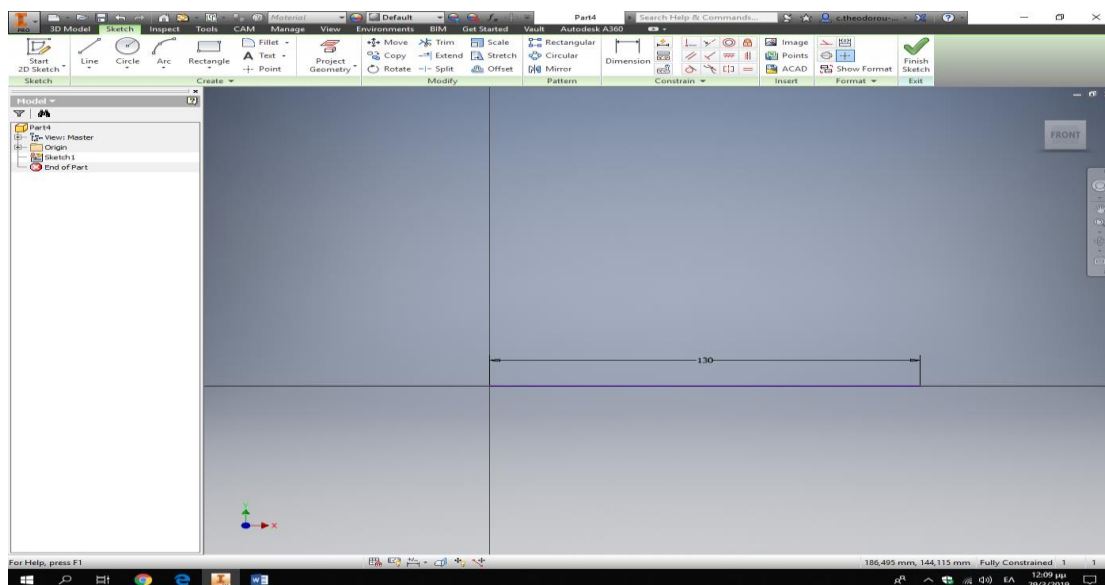
Εικόνα 2.3: Δημιουργία Αρχείου

2. Πατάμε πάνω στη καρτέλα Start 2D Sketch προκειμένου να δημιουργηθεί το δισδιάστατο σχέδιο.
3. Μόλις εμφανιστεί το σχέδιο επιλέγουμε το XY plane για να δημιουργήσουμε το σχέδιο της ρόδας σε δύο διαστάσεις .



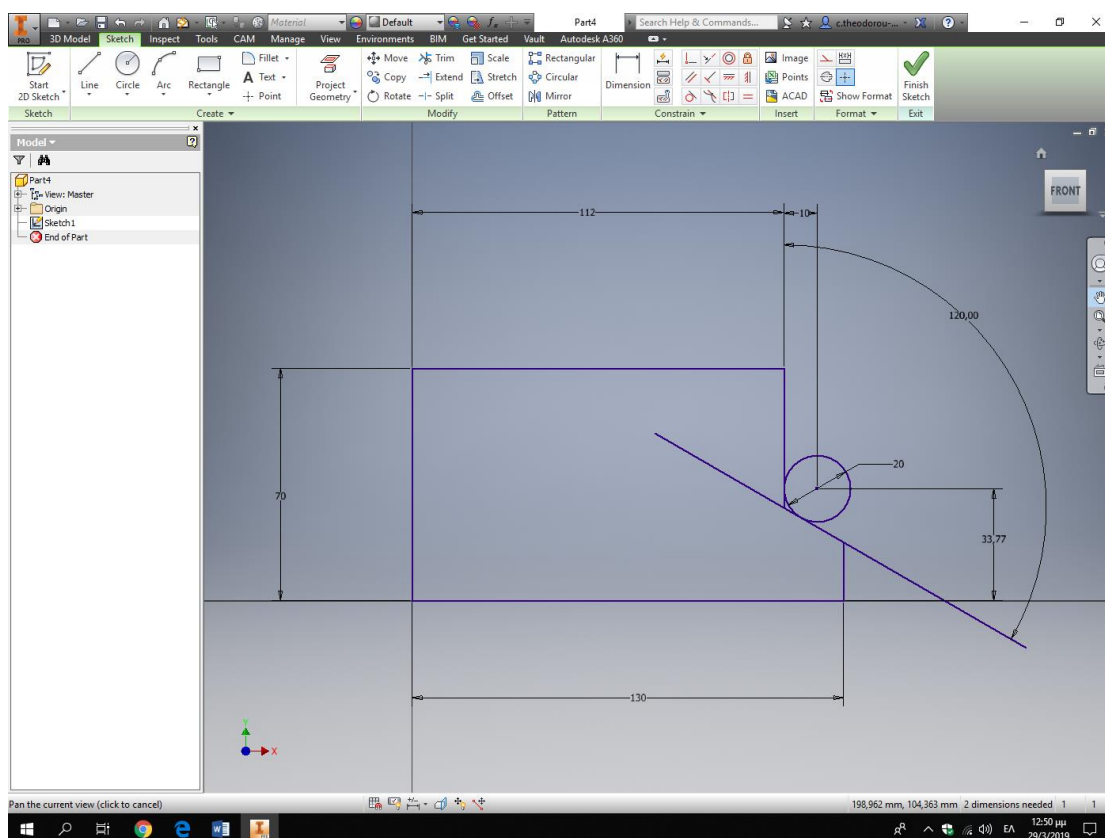
Εικόνα 2.4: XY Plane

4. Έπειτα επιλέγουμε το εικονίδιο line για να δημιουργήσουμε το σχέδιο του δοκιμίου. Ξεκινάμε από την αρχή των αξόνων για την δημιουργία της πλευράς του δοκιμίου των 130 χιλιοστών μέσα από το πληκτρολόγιο. Όταν δώσουμε την διάσταση τότε πατάμε το enter και είναι έτοιμη η πρώτη κάτω πλευρά του δοκιμίου.



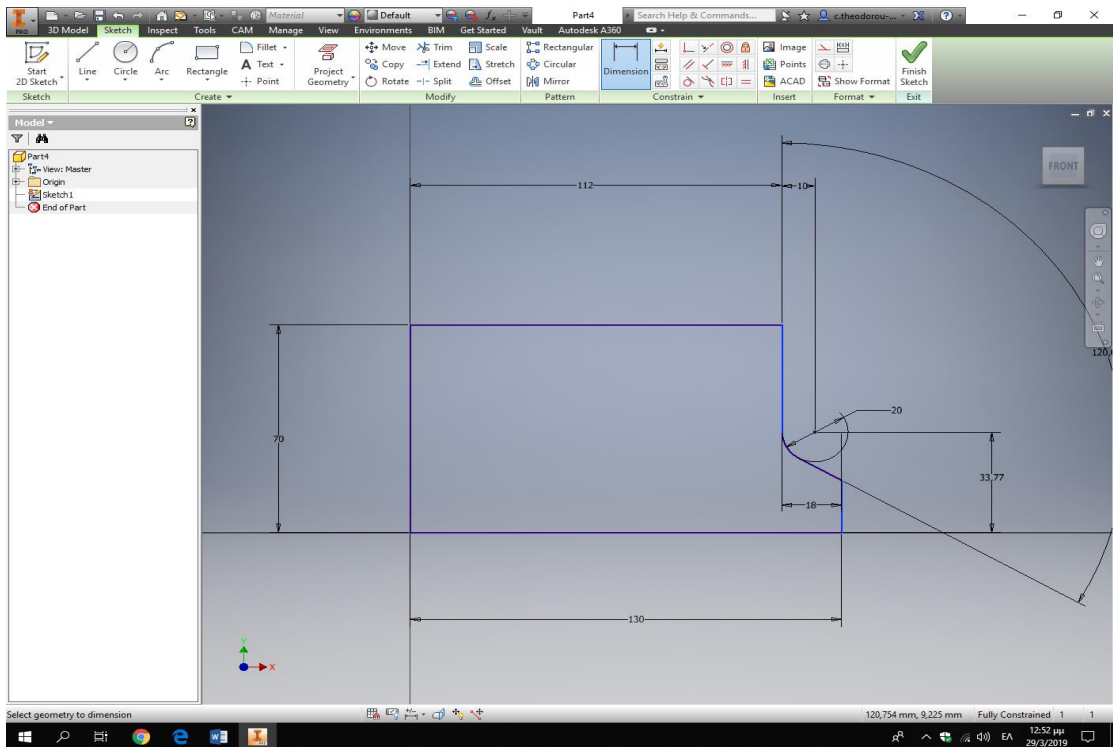
Εικόνα 2.5: Δημιουργία πλευράς 130mm

5. Στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο σχεδιάζουμε και δίνουμε διαστάσεις στις άλλες δυο πλευρές των 70 χιλιοστών και 112 χιλιοστών.
6. Μετά για να συνεχίσουμε και να ολοκληρώσουμε το περίγραμμα του σχεδίου μας επιλέγουμε το εικονίδιο Circle και δημιουργούμε έναν κύκλο διαμέτρου 20 χιλιοστών στον οποίο δίνουμε και τις κατάλληλες αποστάσεις από τις πλευρές βάση του σχεδίου μας. Αμέσως μετά δημιουργούμε μια τυχαία μέσα στο σχέδιο γραμμή και πατάμε την επιλογή Tangent όπου θα δημιουργήσουμε την εφαπτομένη της γραμμής με τον κύκλο, με αποτέλεσμα να δημιουργήσουμε την γωνία των 120 μοιρών και στη συνέχεια τις υπόλοιπες πλευρές του σχεδίου.



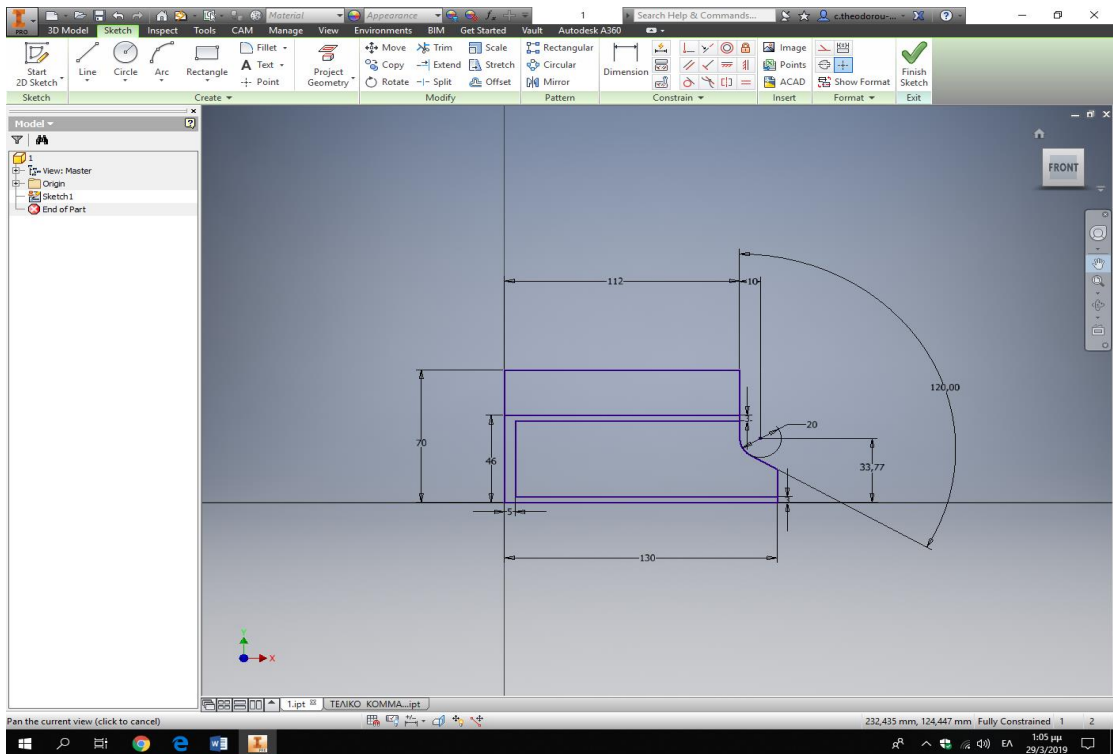
Εικόνα 2.6: Τρόπος δημιουργίας της γωνίας των 120 μοιρών

7. Έχοντας δημιουργήσει τις υπόλοιπες πλευρές καθώς και την γωνία των 120 μοιρών με αυτόν τον τρόπο, επιλέγουμε τώρα την επιλογή Trim και σβήνουμε ότι δεν χρειαζόμαστε.



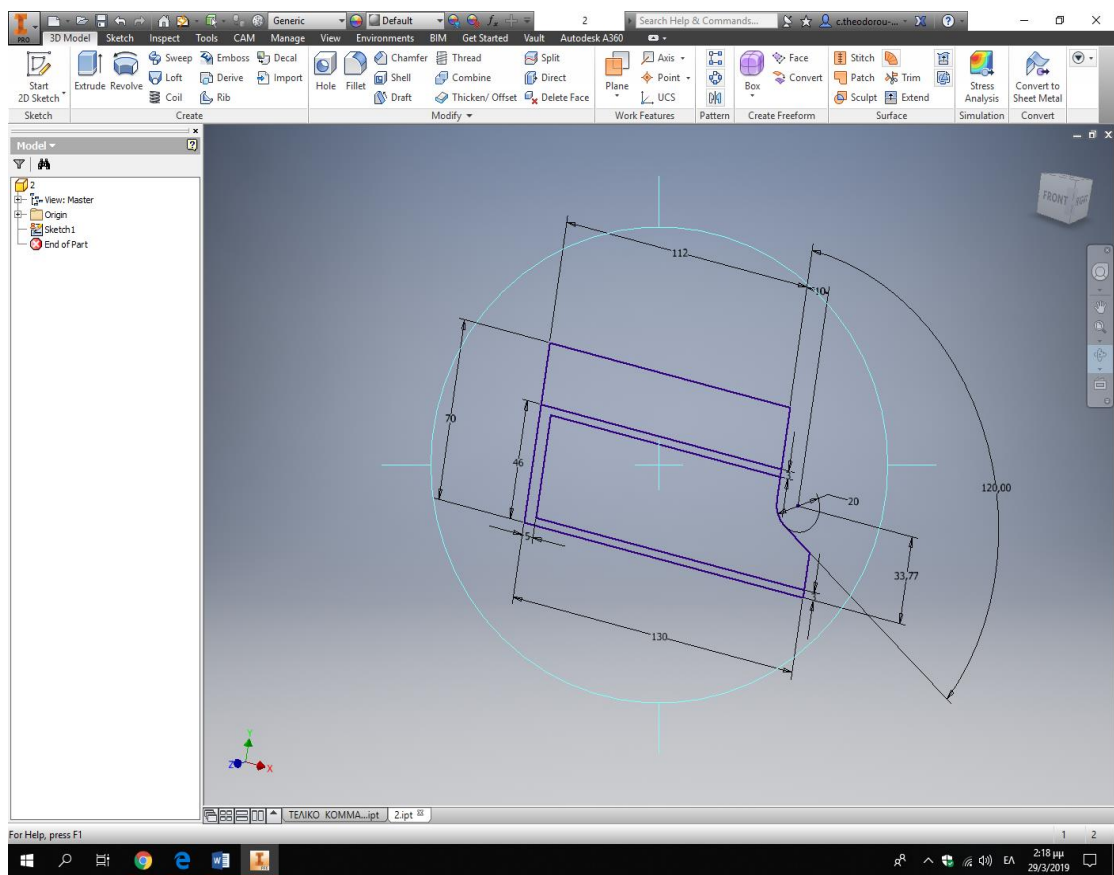
Εικόνα 2.7: Τελική μορφή μετά την επιλογή του Trim

8. Επόμενο βήμα μας είναι η σχεδίαση των εσωτερικών διαστάσεων του δοκιμίου ακριβώς με τα ίδια βήματα που έχουν προαναφερθεί.



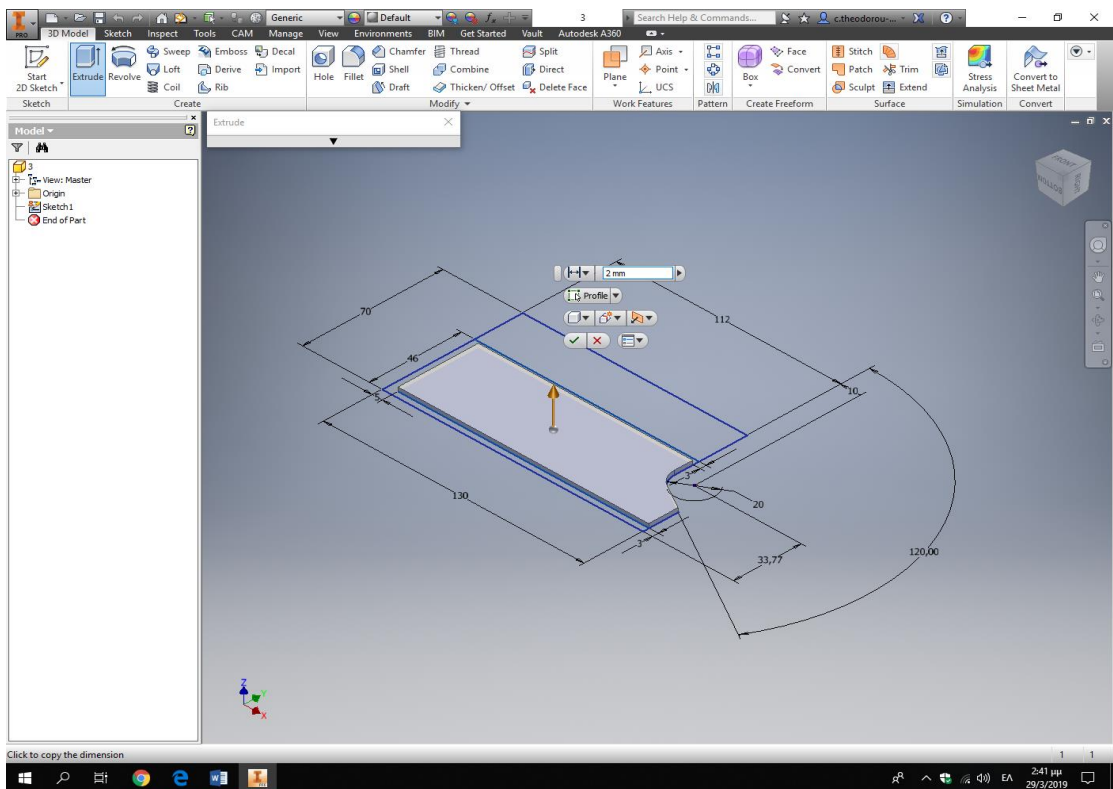
Εικόνα 2.8: Τελικό Σχέδιο 2D

9. Πλέον έχοντας ολοκληρώσει το σχέδιο μας πατάμε την επιλογή Finish Sketch.

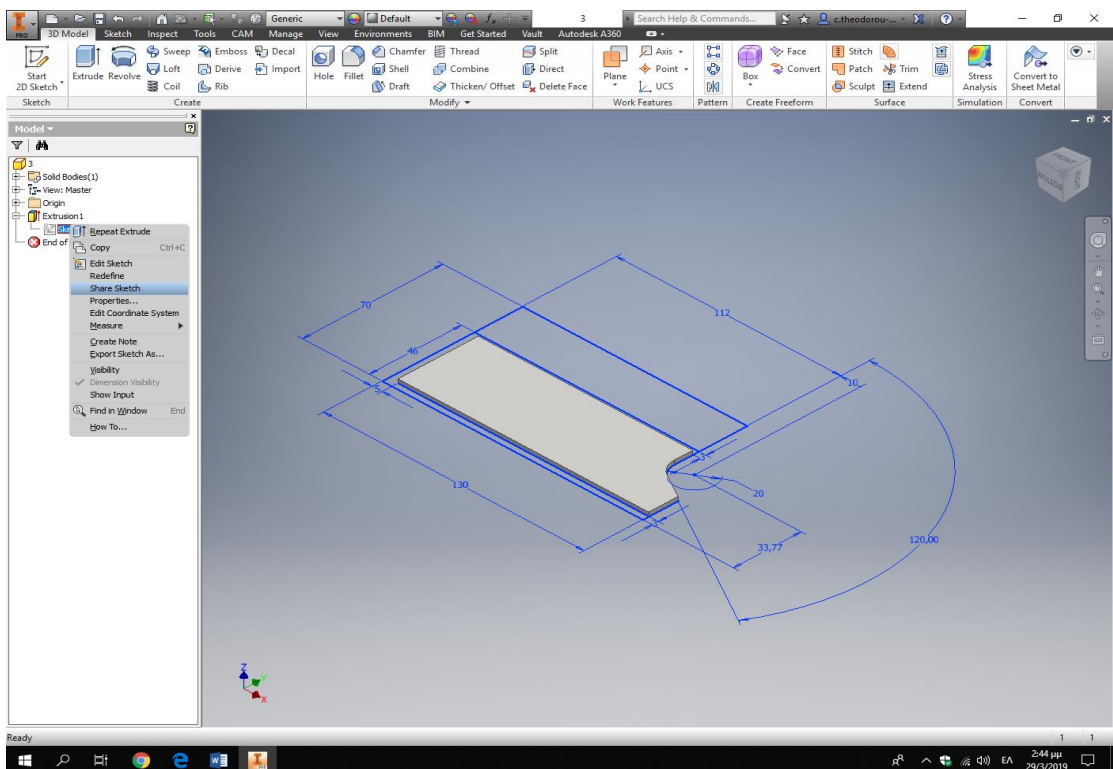


Εικόνα 2.9: Επιστροφή για την σχεδίαση 3D

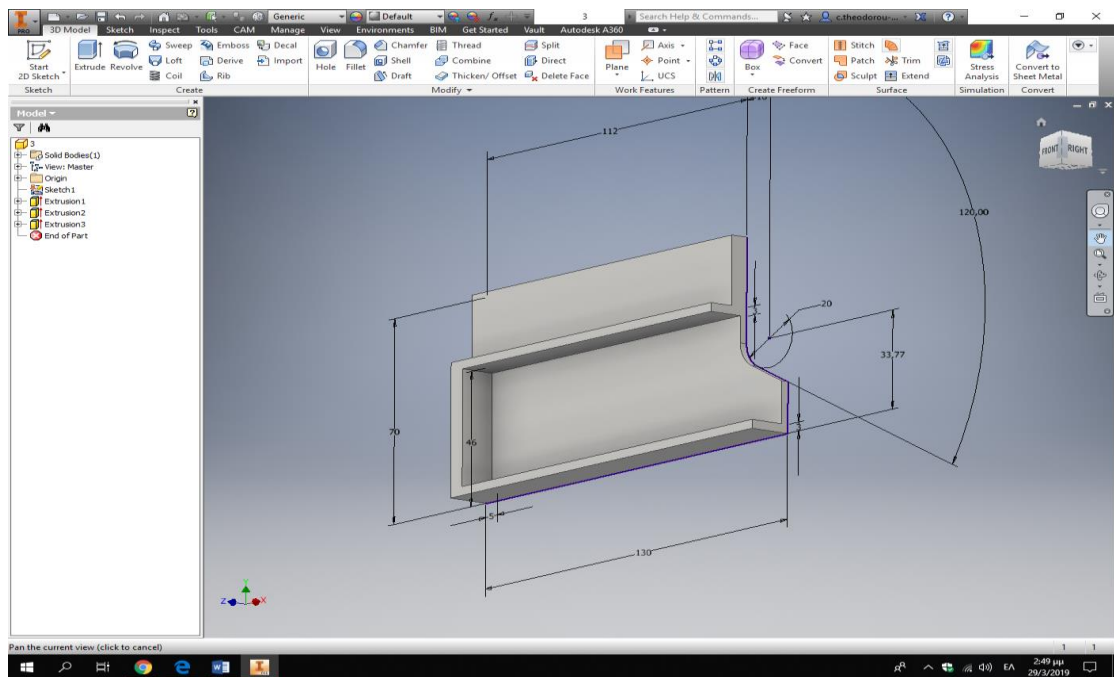
10. Για να δώσουμε και τρίτη διάσταση στο σχήμα μας πρώτα επιλέγουμε το Extrude > Profile, μετά επιλέγουμε την επιφάνεια που θέλουμε δίνοντας το ζητούμενο ύψος και πατάμε OK. Στην περίπτωση μας έχουμε τρεις (3) διαφορετικές επιφάνειες. Μετά το πρώτο Extrude κάνουμε δεξί κλικ στο Sketch 1 και πατάμε την επιλογή Share Sketch για να μπορέσουμε να κάνουμε Extrude και στις άλλες επιφάνειες.



Εικόνα 3: Extrude στην πρώτη επιφάνεια του δοκιμίου

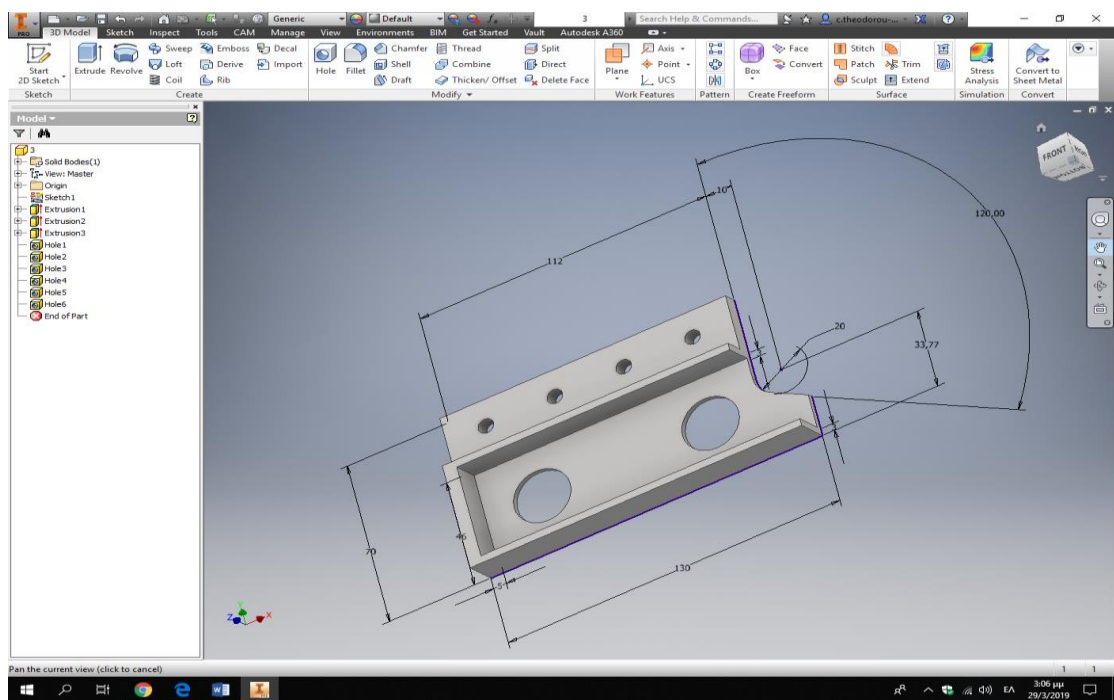


Εικόνα 3.1: Share Sketch



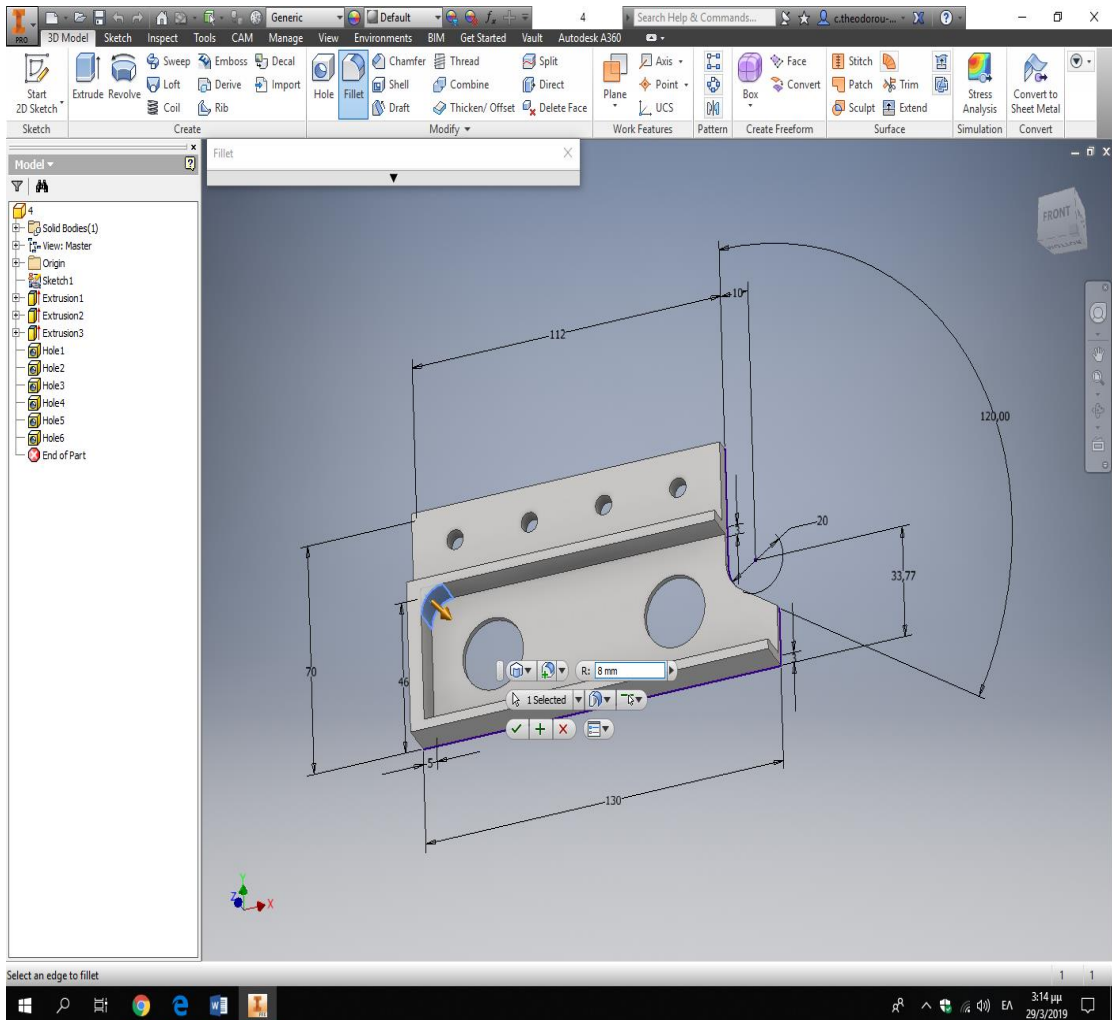
Εικόνα 3.2: Extrude σε όλες τις επιφάνειες

11. Στη συνέχεια για να δημιουργήσουμε τις οπές κάνουμε κλικ στην επιλογή Hole > Linear > Termination > Through All και μετά στην επιλογή Reference 1 και 2 αντίστοιχα βάζουμε τις κατάλληλες διαστάσεις βάση του μηχανολογικού σχεδίου. Επίσης τοποθετούμε την διάσταση των 6 χιλιοστών για τις πάνω τέσσερις (4) οπές και 22 χιλιοστών για τις άλλες δύο (2) οπές αντίστοιχα στο επόμενο βήμα.



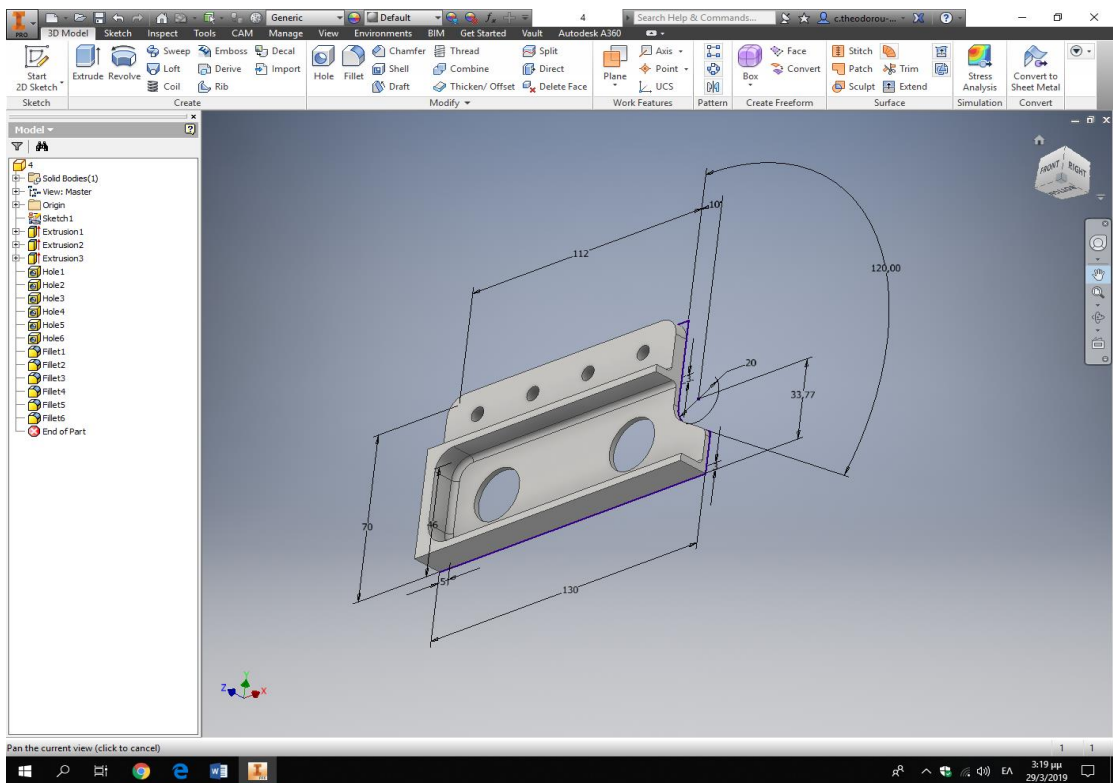
Εικόνα 3.3: Άνοιγμα όλων των οπών

12. Επόμενο βήμα είναι να δημιουργήσουμε τα ράδια κάνοντας κλικ στην επιλογή Fillet. Πατώντας την επιλογή αυτή επιλέγουμε τι νούμερο θέλουμε και μετά την επιφάνεια που θέλουμε.

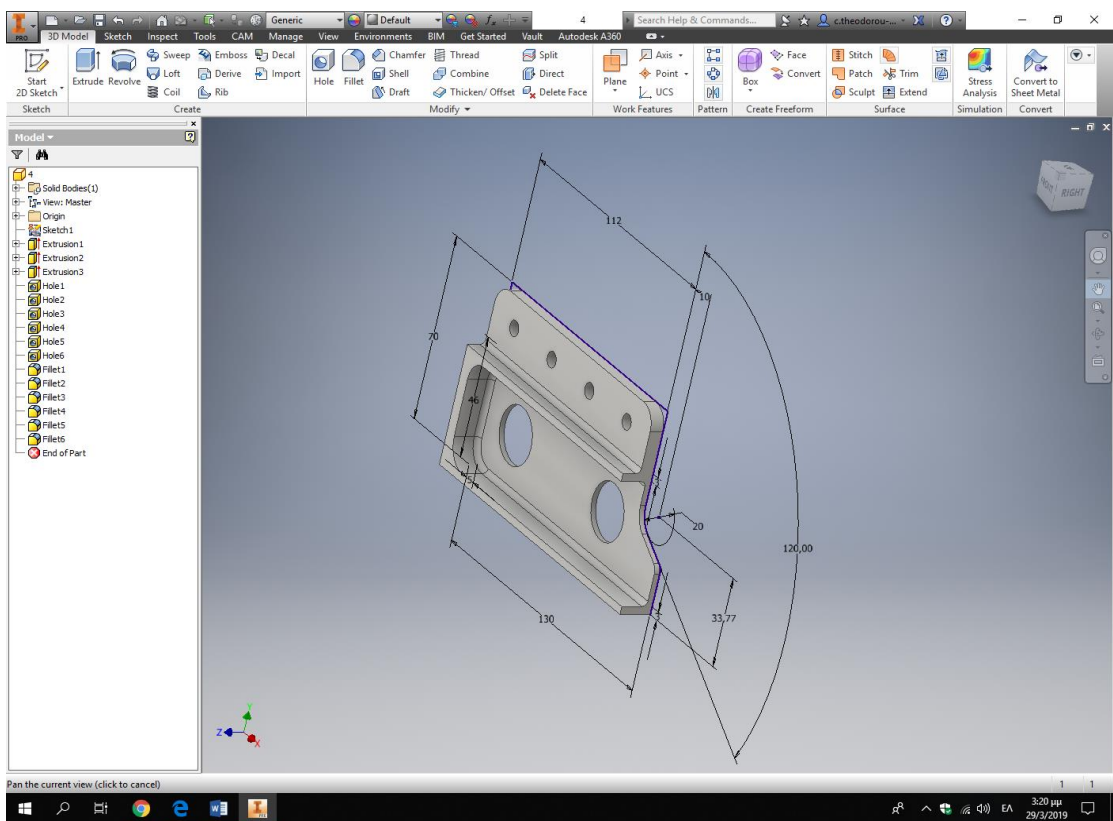


Εικόνα 3.4: Fillet γωνιών

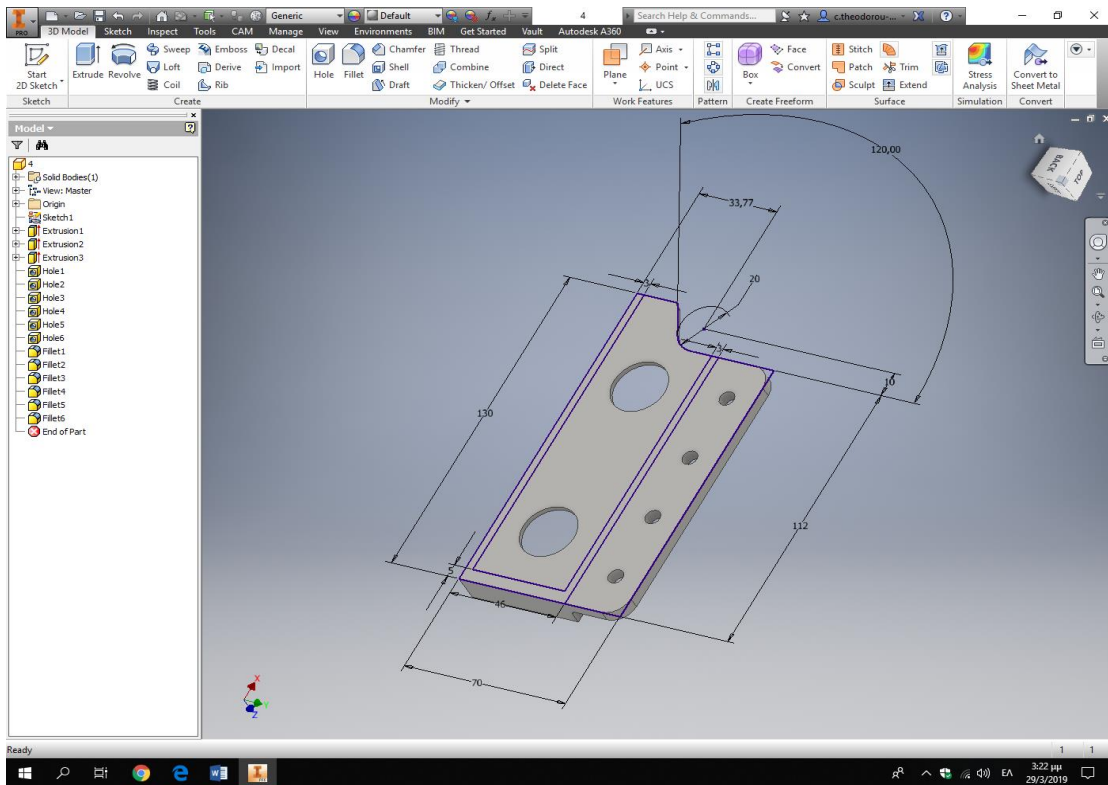
13. Το σχέδιο που δημιουργήθηκε είναι το εξής:



Εικόνα 3.5: Τελικό 3D σχέδιο δοκιμίου

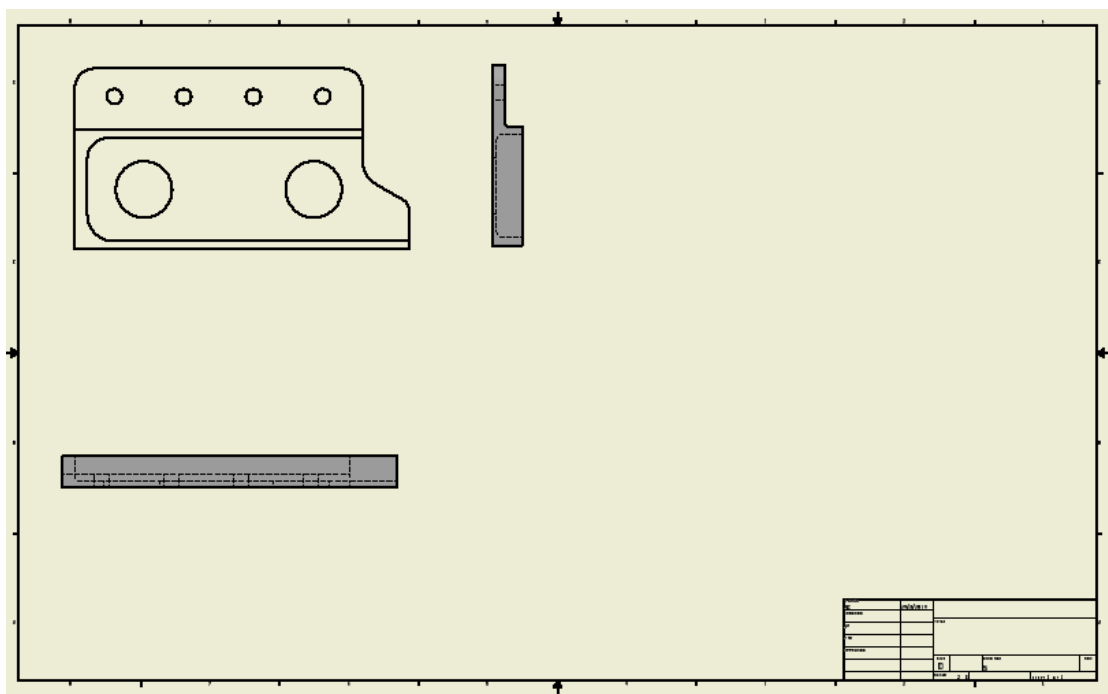


Εικόνα 3.6: Τελικό 3D σχέδιο δοκιμίου



Εικόνα 3.7: Τελικό 3D σχέδιο δοκιμίου

Παραπάνω είδαμε πως μπορούμε να σχεδιάσουμε και δημιουργήσουμε ένα οποιοδήποτε δοκίμιο με τη βοήθεια του προγράμματος Autodesk Inventor.



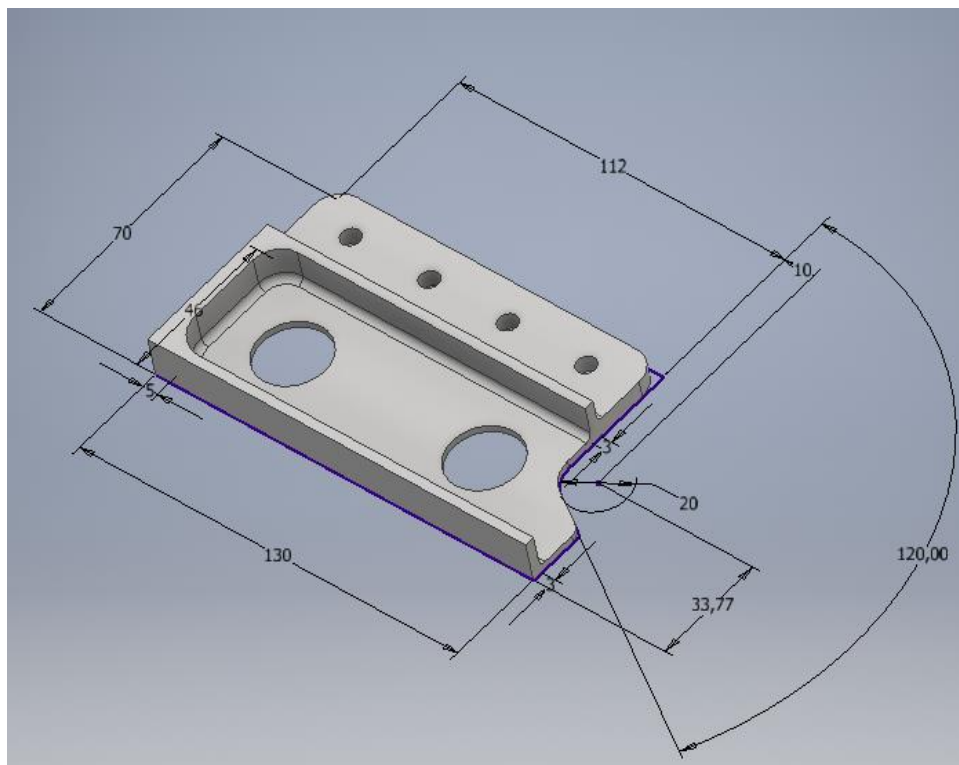
Εικόνα 3.8: Τελικό σχέδιο δοκιμίου

4.4 Σχεδιασμός Εργασιών Κατεργασίας Δοκιμίου στο Λογισμικό CAM

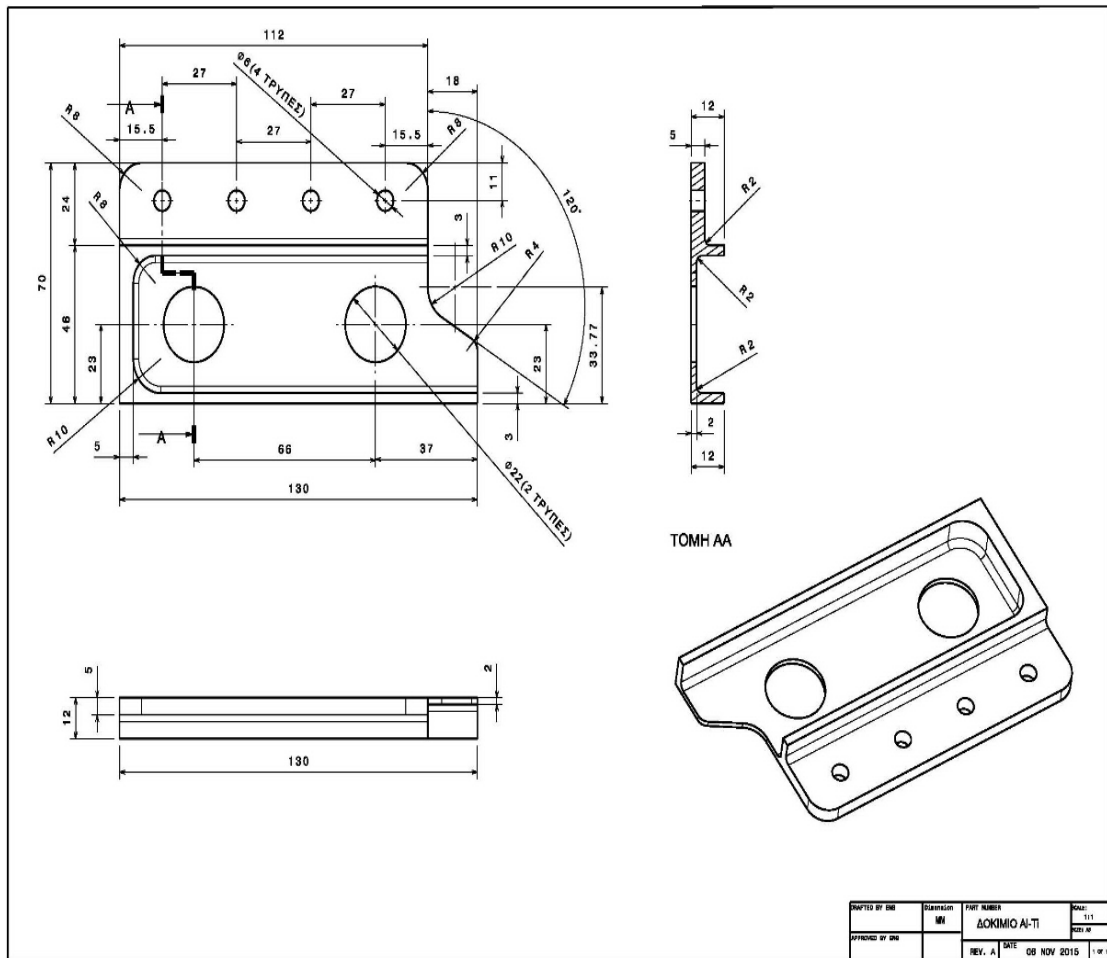
Στο σημείο αυτό αναλύονται ένα προς ένα τα βήματα του φασεολογίου για την κατασκευή του δοκιμίου.

4.4.1 Φασεολόγιο – Process Planning

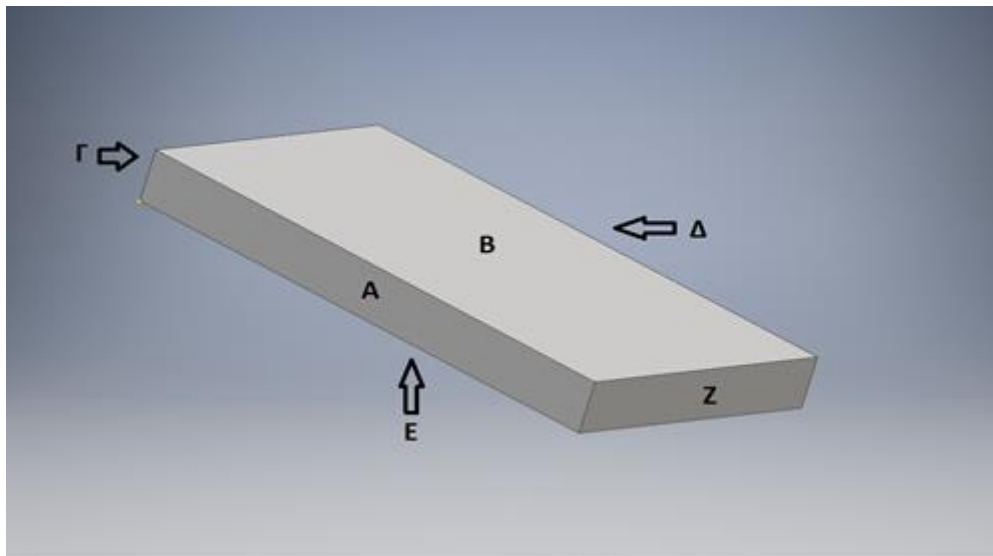
Όνομα δοκιμίου	Part-01
Τύπος υλικού	AL 2024-T3
Διαστάσεις πρώτης ύλης	230 mm X 90 mm X 25 mm
Βάρος υλικού πριν την κατεργασία	2.67 Kgs
Βάρος υλικού μετά την κατεργασία	0.93 Kgs
Αριθμός φάσεων κατεργασίας	7
Εργαλειομηχανή	HAAS-VM3HE
Απαιτούμενα εργαλεία συγκράτησης	<ul style="list-style-type: none"> • 1 μέγγενη με κοινά μάγουλα (με πατούρα) • 4 σφιγκτήρες (φουρκέτες) για σύσφιξη της μέγγενης στην τράπεζα της εργαλειομηχανής • 4 βίδες Allen για σύσφιξη της μέγγενης στους σφιγκτήρες



Εικόνα 3.9: 3D απεικόνιση δοκιμίου



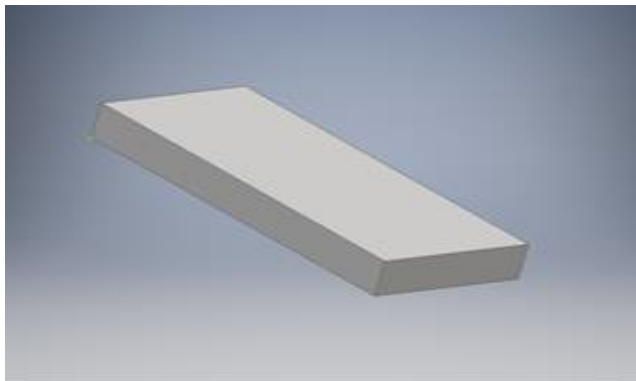
Εικόνα 4.0: Μηχανολογικό σχέδιο εργασίας



Εικόνα 4.1: Καθορισμός επιφανειών πρώτης ύλης

Φάση Κατεργασίας-1

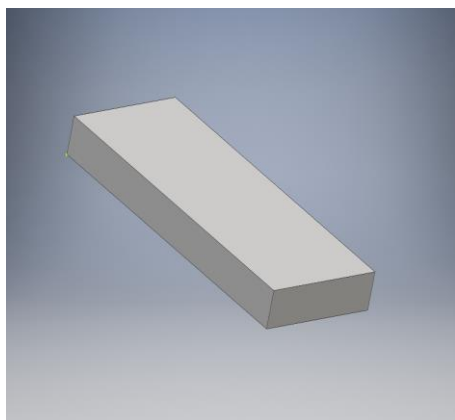
1. Κατεργασία της Β επιφάνειας του δοκιμίου
2. Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν την κατεργασία: 230 mm x 90 mm x 24 mm
3. Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά την κατεργασία: 230 mm x 90 mm x 18 mm



Εικόνα 4.2: Πρώτη ύλη μετά την κατεργασία

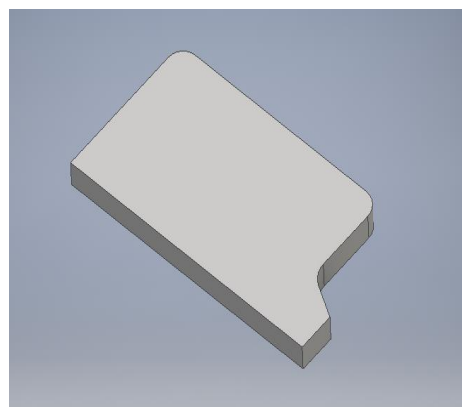
Φάση Κατεργασίας-2

1. Διαμόρφωση περιμετρικής επιφάνειας δοκιμίου των πλευρών Α-Δ-Z-E
2. Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν την κατεργασία: 230 mm x 90 mm x 18 mm
3. Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά την κατεργασία: 130 mm x 70 mm x 18 mm



Εικόνα 4.3

Εικόνα 4.3: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

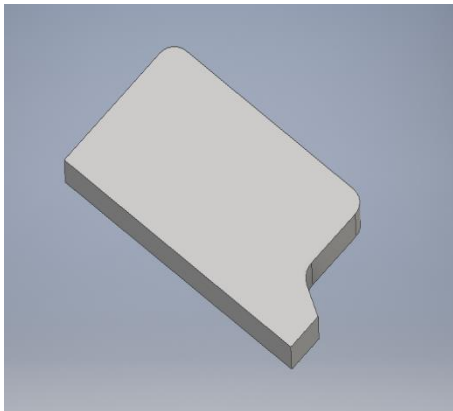


Εικόνα 4.4

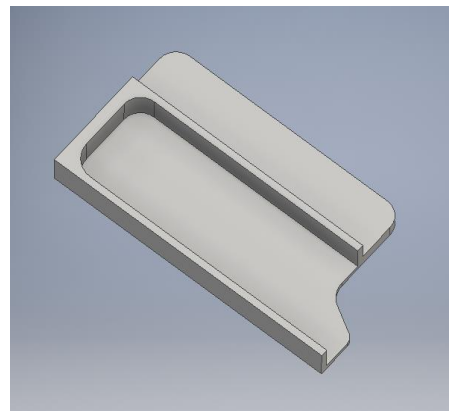
Εικόνα 4.4: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Φάση Κατεργασίας-3

Διάνοιξη αυλακιών στην επιφάνεια Β



Εικόνα 4.5



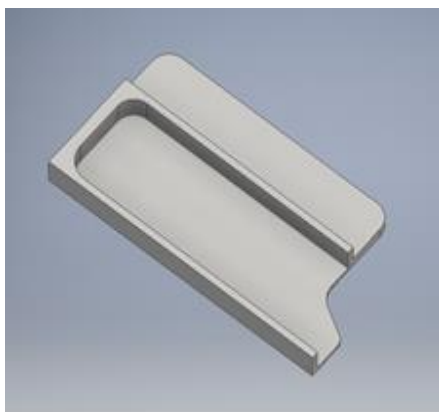
Εικόνα 4.6

Εικόνα 4.5: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

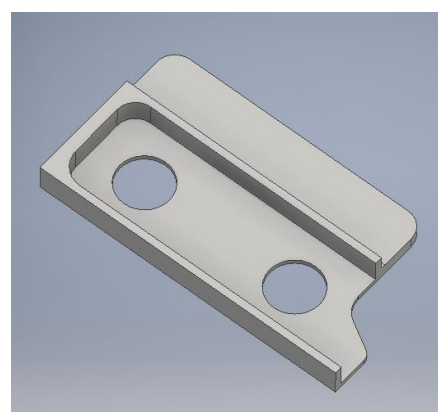
Εικόνα 4.6: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Φάση Κατεργασίας-4

Διάνοιξη 2 οπών στην επιφάνεια Β



Εικόνα 4.7



Εικόνα 4.8

Εικόνα 4.7: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

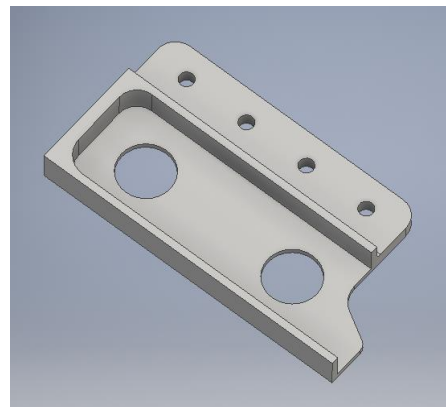
Εικόνα 4.8: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Φάση Κατεργασίας-5

Διάνοιξη 4 οπών στην επιφάνεια Β



Εικόνα 4.9



Εικόνα 5.0

Εικόνα 4.9: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

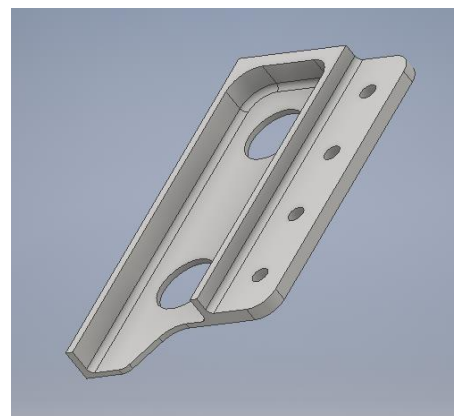
Εικόνα 5.0: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Φάση Κατεργασίας-6

Διαμόρφωση γωνιών R2



Εικόνα 5.1



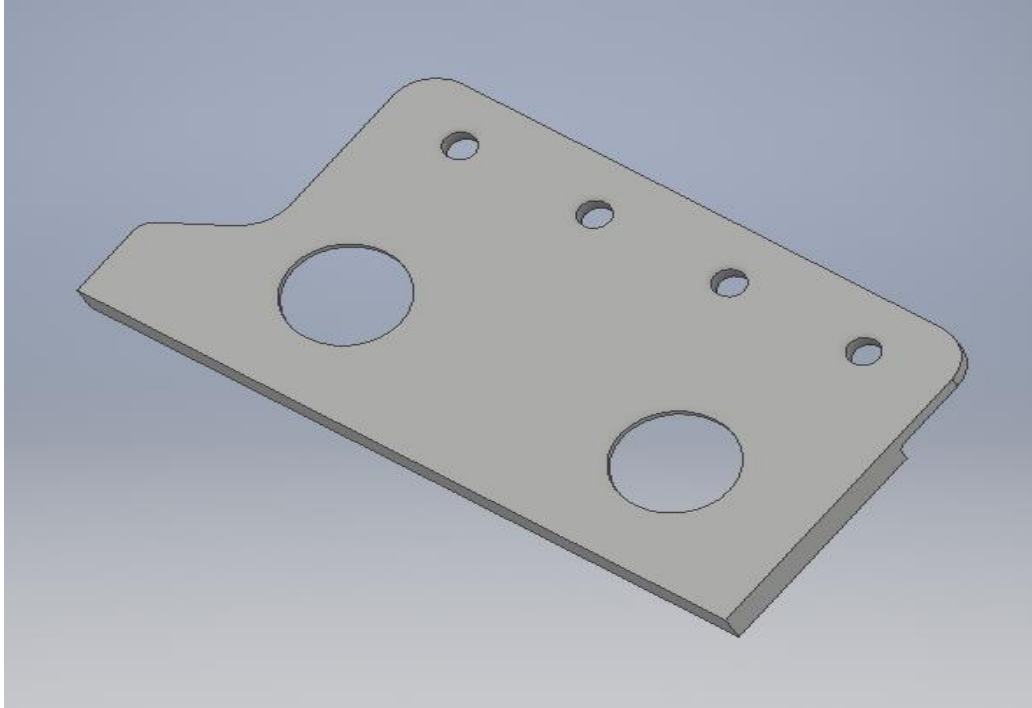
Εικόνα 5.2

Εικόνα 5.1: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

Εικόνα 5.2: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Φάση Κατεργασίας-7

1. Κατεργασία της Ε επιφάνειας του δοκιμίου
2. Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν την κατεργασία: 130 mm x 70 mm x 18 mm
3. Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά την κατεργασία: 130 mm x 70 mm x 12 mm



Εικόνα 5.3: Δοκίμιο μετά την κατεργασία της Ε επιφάνειας

4.4.2 Κατεργασία Δοκιμίου στο CAM

Στο σημείο αυτό αναλύονται ένα προς ένα τα βήματα για την κατασκευή του δοκιμίου με τα κοπτικά εργαλεία που επιλέχθηκαν.

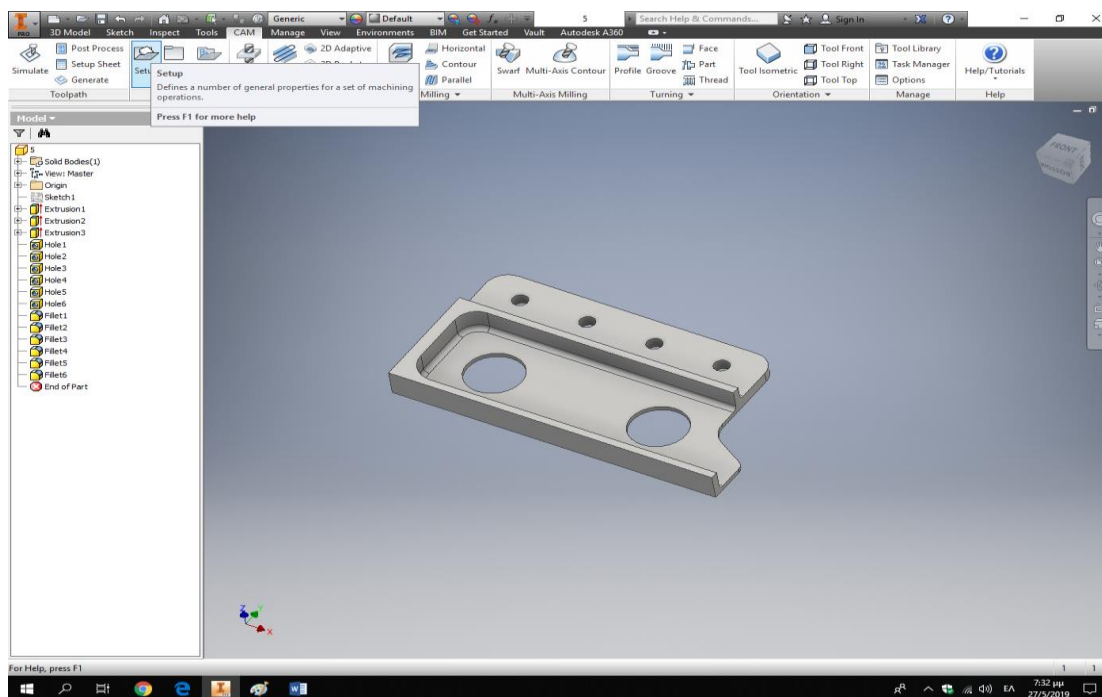
Τυπολόγιο φρέζας:

- Ταχύτητα κοπής: $Vc = (\pi * D * n) / 1000 [m/min]$
- Στροφές άξονα: $n = (1000 * Vc) / (\pi * D) [rev/min]$
- Ταχύτητα πρόωσης: $pn = z * pz * n [mm/min]$
- Πρόωση ανά δόντι: $pz = pn / (z * n) [mm \text{ δόντι}]$

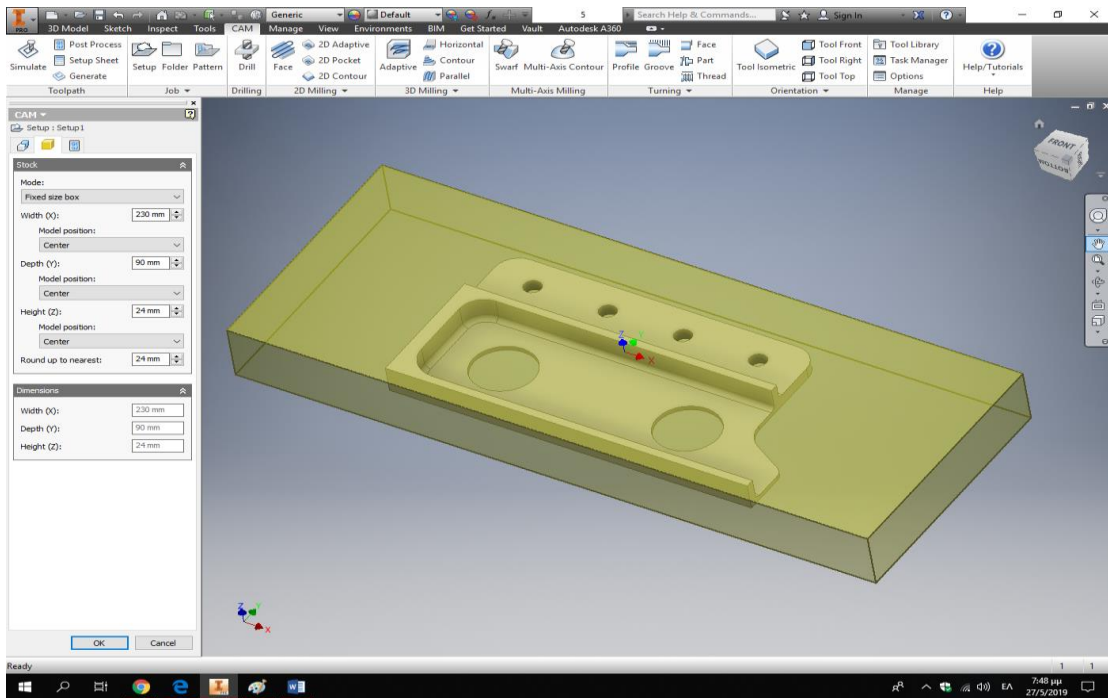
Φάση Κατεργασίας-1

Σκοπός	Διαμόρφωση του δοκιμίου στις επιθυμητές διαστάσεις και επίτευξη της καθετότητας των πλευρών μεταξύ τους	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Φρεζοκεφαλή (Face Mill) Ø50 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2000 rpm	f= 1700 mm/tooth
	a= 3 mm	Vc= 314 m/min

- Αρχικά γίνεται μετάβαση στην καρτέλα CAM και για τον ορισμό του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων επιλέγεται η εντολή Setup. Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του Relative size box ώστε να μπορούν να δοθούν διαστάσεις σε κάθε πλευρά του όγκου ξεχωριστά.

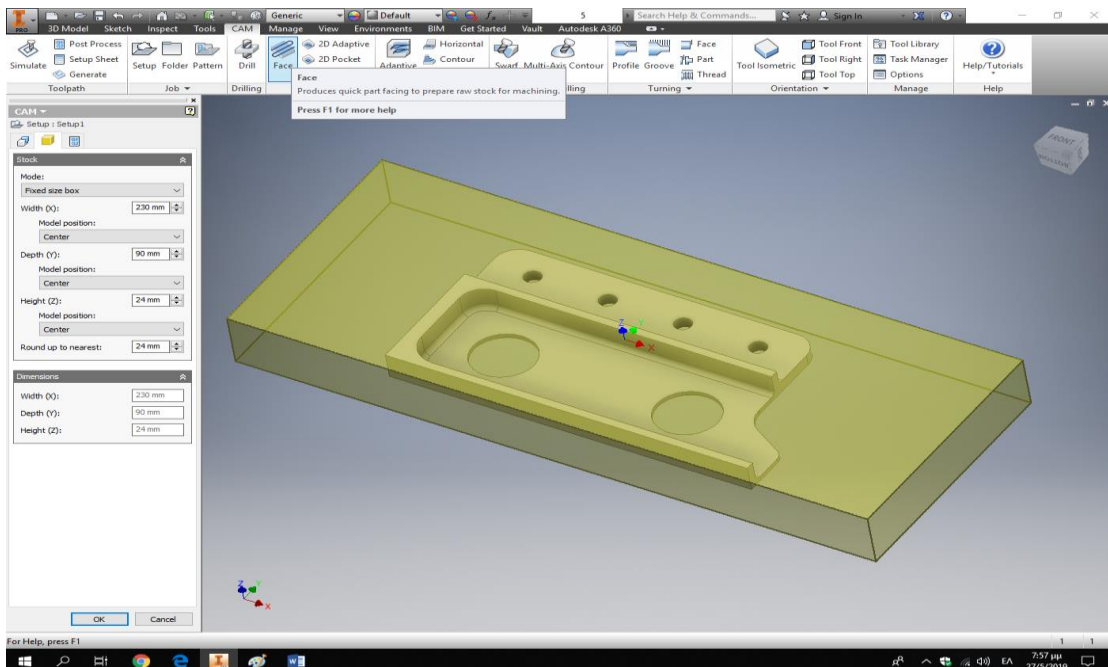


Εικόνα 5.4: Γραφικό περιβάλλον προγράμματος



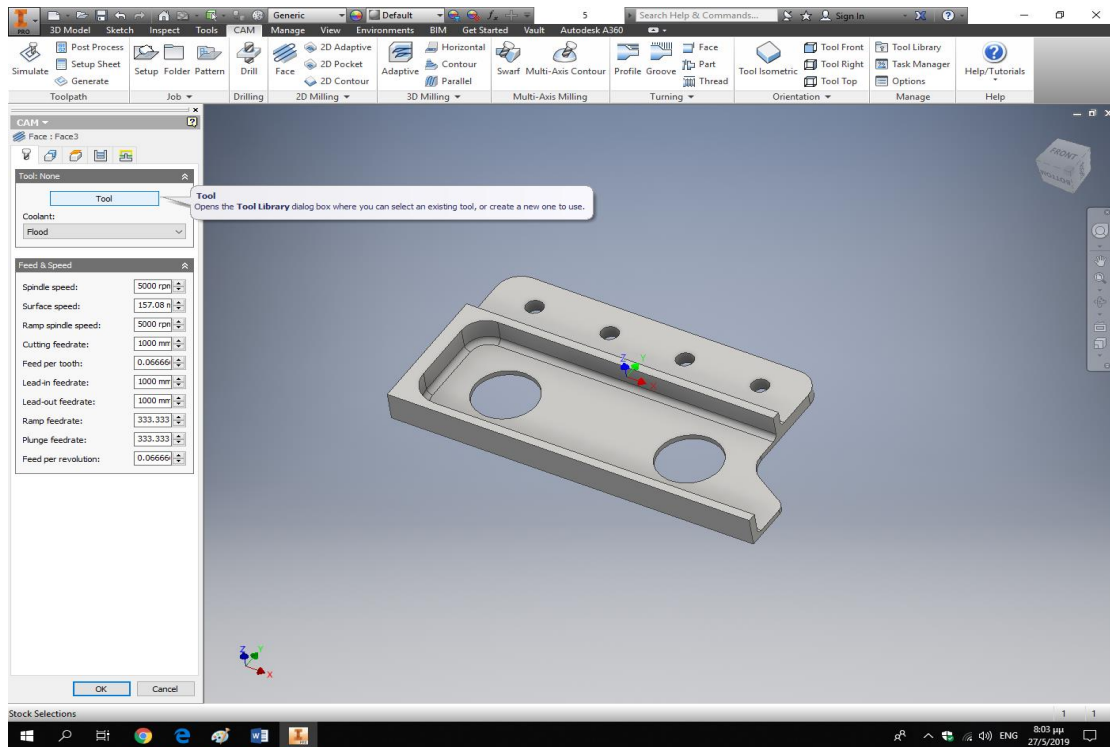
Εικόνα 5.5: Stock Mode

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Face για την επίπεδη κατεργασία της επιφάνειας B.



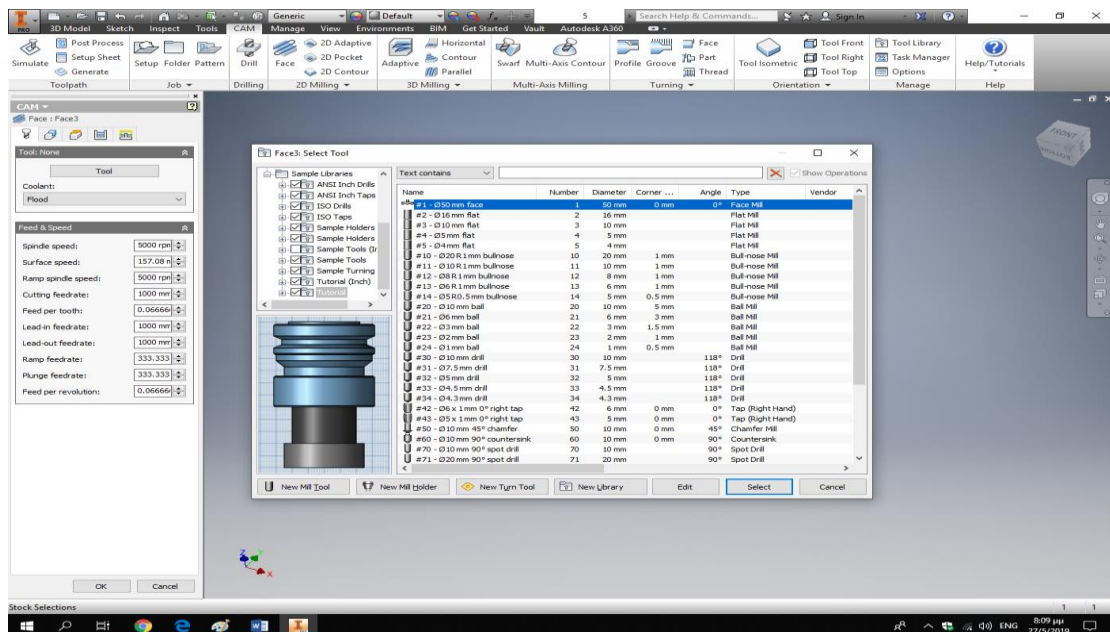
Εικόνα 5.6: Επιλογή εντολής Face

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής Face, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.



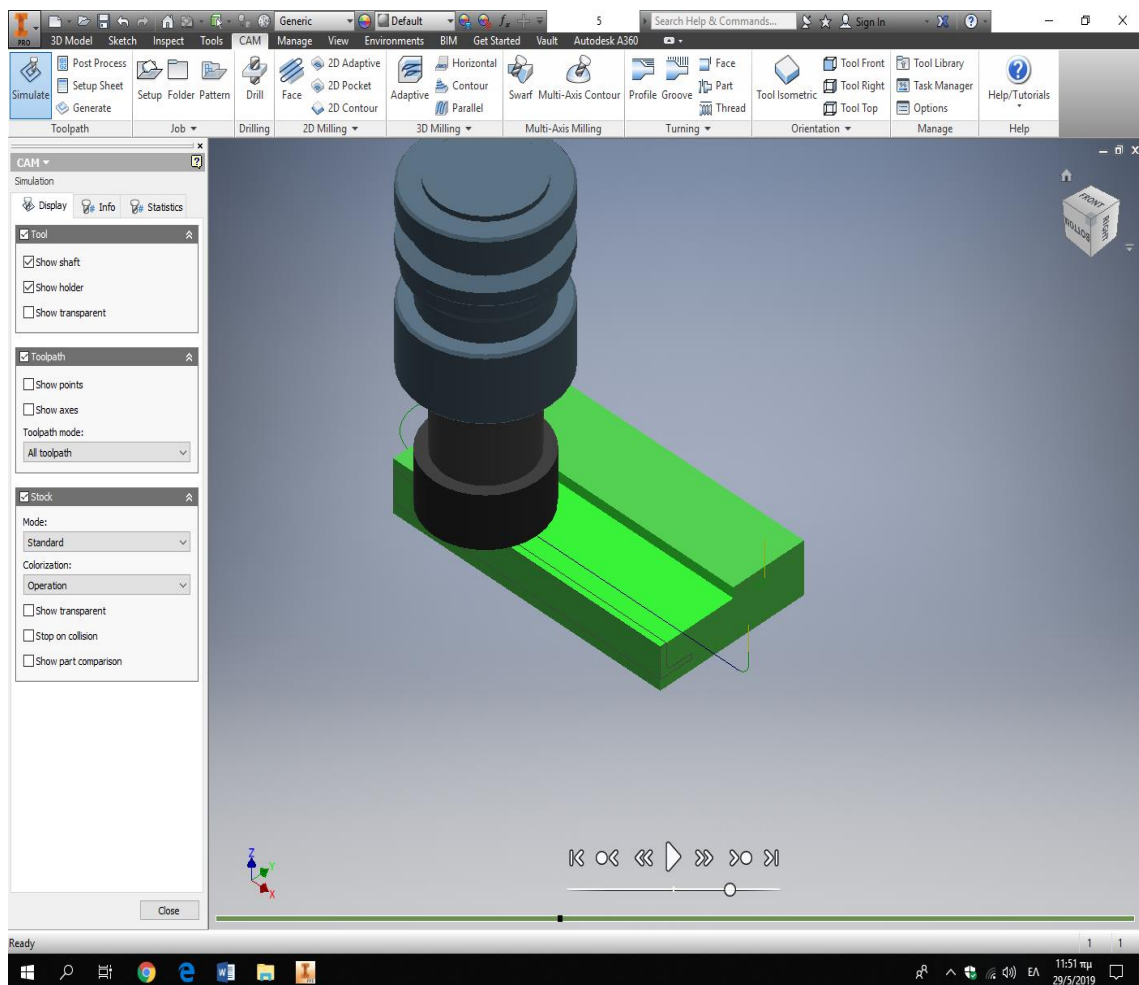
Εικόνα 5.7: Επιλογή εντολής Face

- Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας η φρεζοκεφαλή #1.



Εικόνα 5.8: Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

- Αμέσως μετά ρυθμίζουμε στην πρώτη καρτέλα τις κατάλληλες πληροφορίες όπως η ταχύτητα κοπής και η πρόωση του κοπτικού μας εργαλείου. Στο τέλος πατάμε την επιλογή ok και στη συνέχεια την επιλογή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

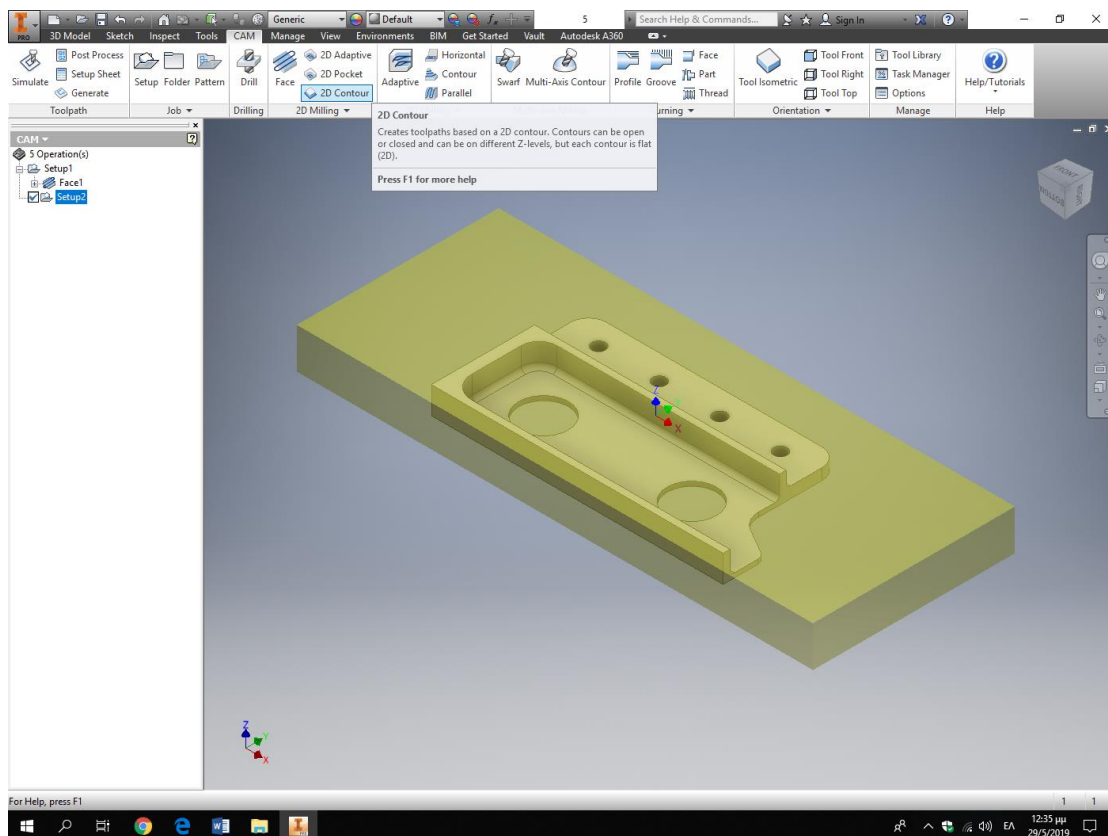


Εικόνα 5.9: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-2

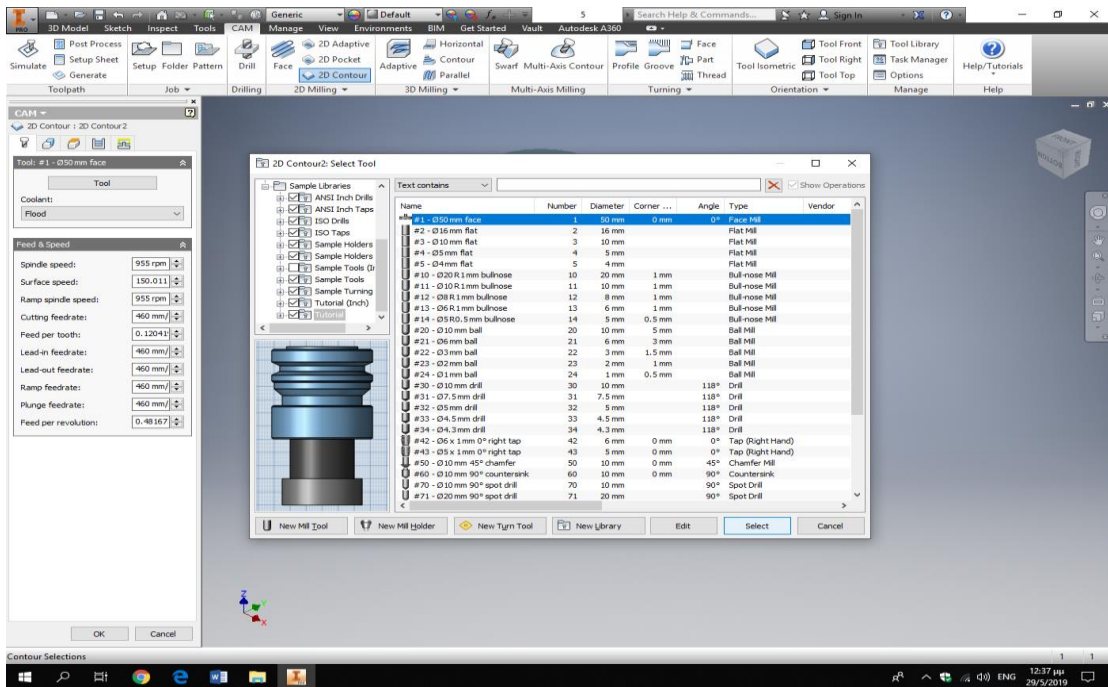
Σκοπός	Διαμόρφωση περιμετρικής επιφάνειας δοκιμίου των πλευρών A-Δ-Z-E	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Φρεζοκεφαλή (Face Mill) $\varnothing 50$ mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2000 rpm	f= 1700 mm/tooth
	a= 3 mm	Vc= 314 m/min

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Contour για τη Διαμόρφωση της περιμετρικής επιφάνειας δοκιμίου των πλευρών A-Δ-Z-E.



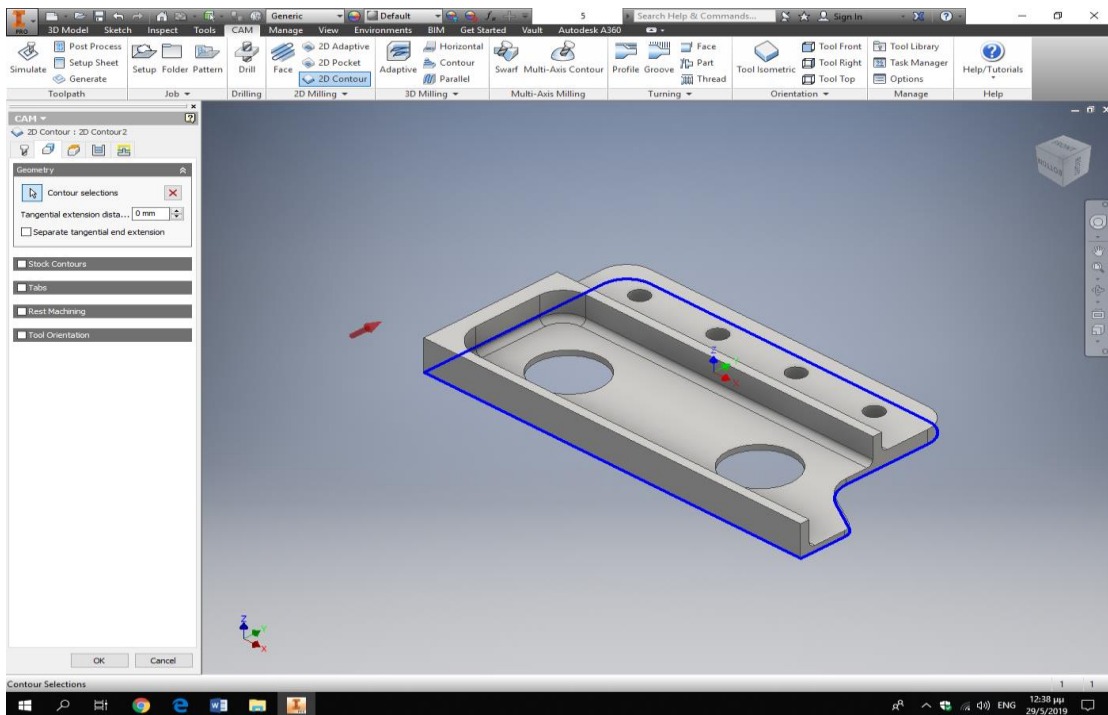
Εικόνα 6.0: Επιλογή εντολής 2D contour

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D contour, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε το κοπτικό #1 όπως στην προηγούμενη κατεργασία και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



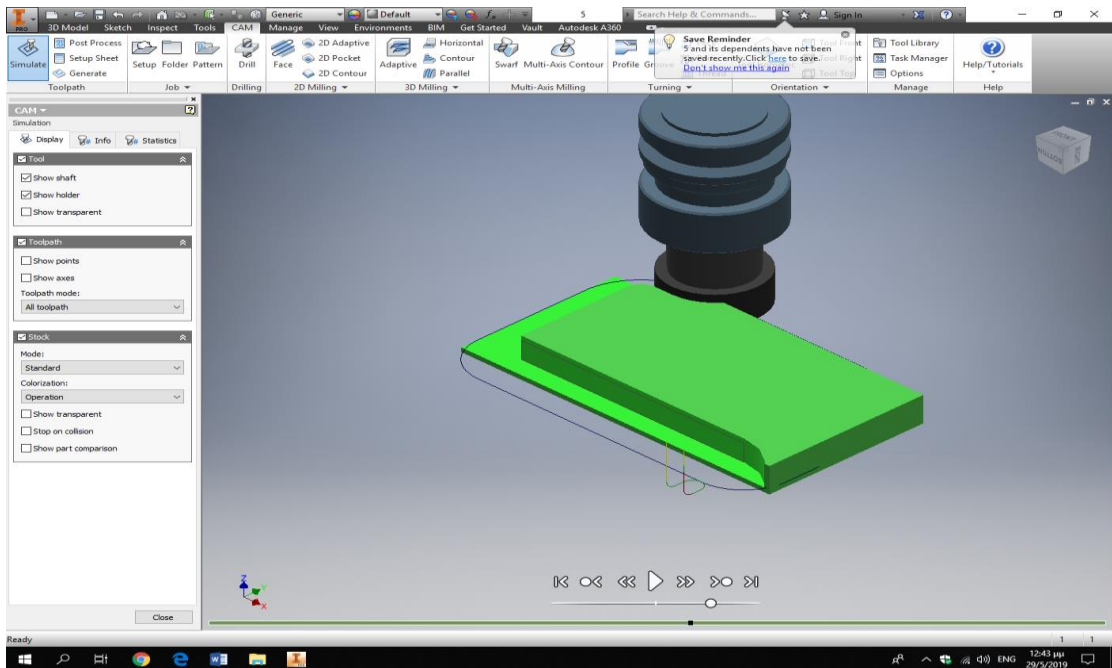
Εικόνα 6.1: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Rocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

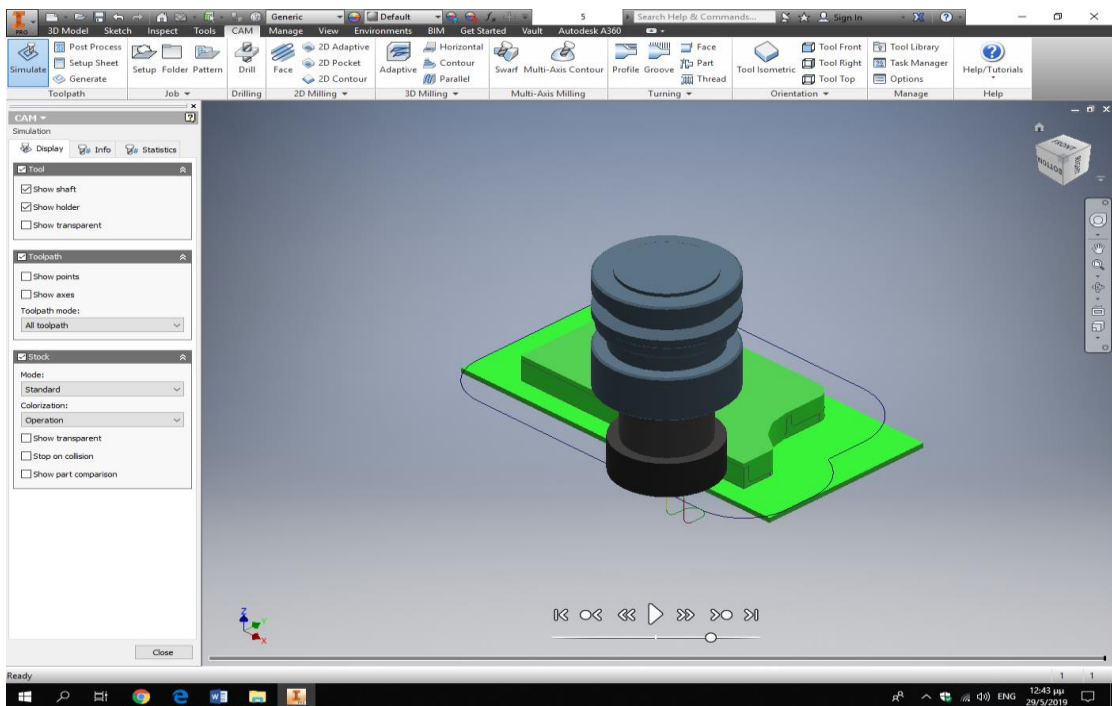


Εικόνα 6.2: Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 6.3: Προσομοίωση κατεργασίας

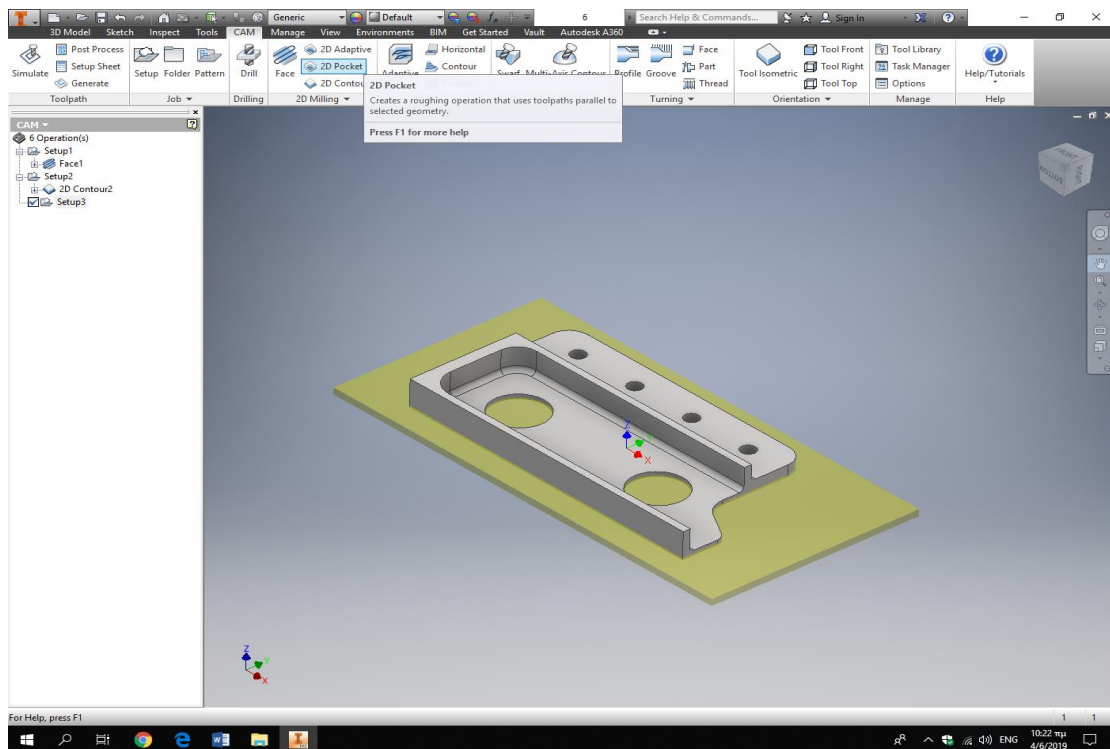


Εικόνα 6.4: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-3

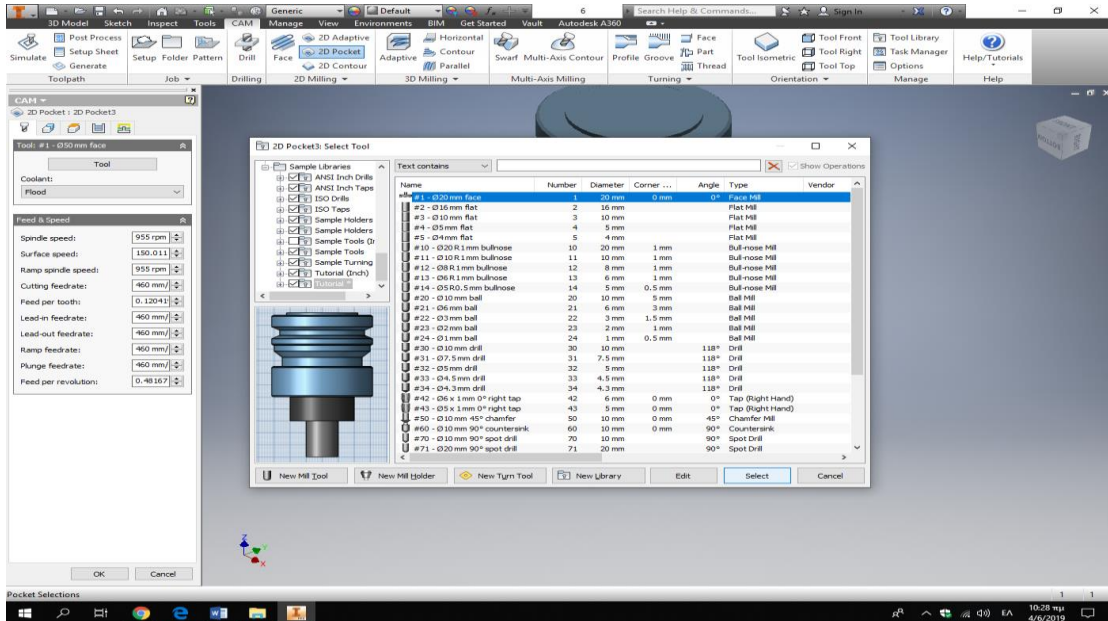
Σκοπός	Διάνοιξη αυλακιών στην επιφάνεια B	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Φρεζοκεφαλή (Face Mill) $\varnothing 20$ mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 5000 rpm	f= 1600 mm/tooth
	a= 3 mm	Vc= 314 m/min

- Έπειτα, γίνεται πάλι μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Pocket για τη διάνοιξη των αυλακιών στην επιφάνεια B.



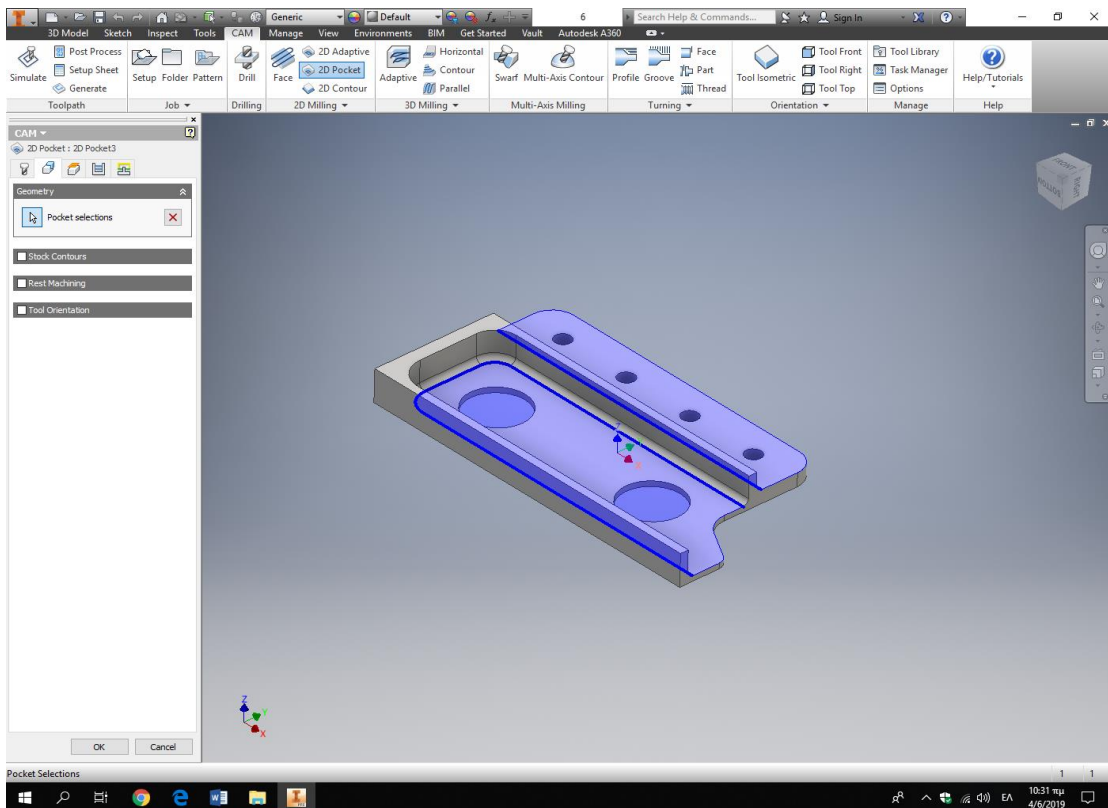
Εικόνα 6.5: Επιλογή εντολής 2D pocket

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D pocket, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε κοπτικό face mill $\varnothing 20$ και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



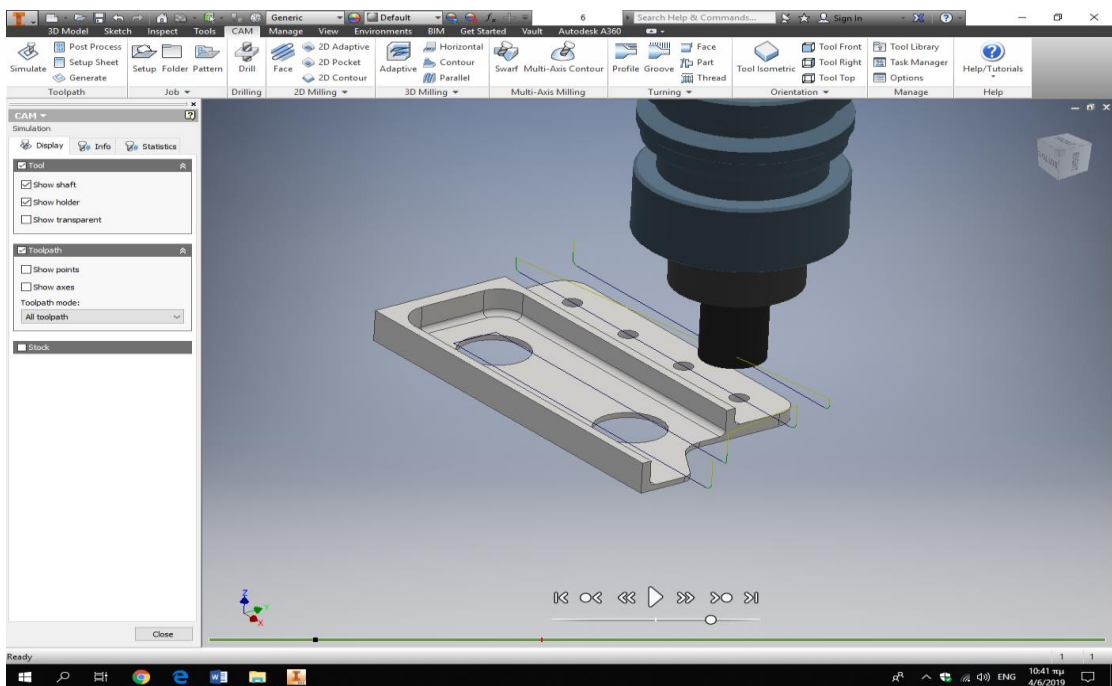
Εικόνα 6.6: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

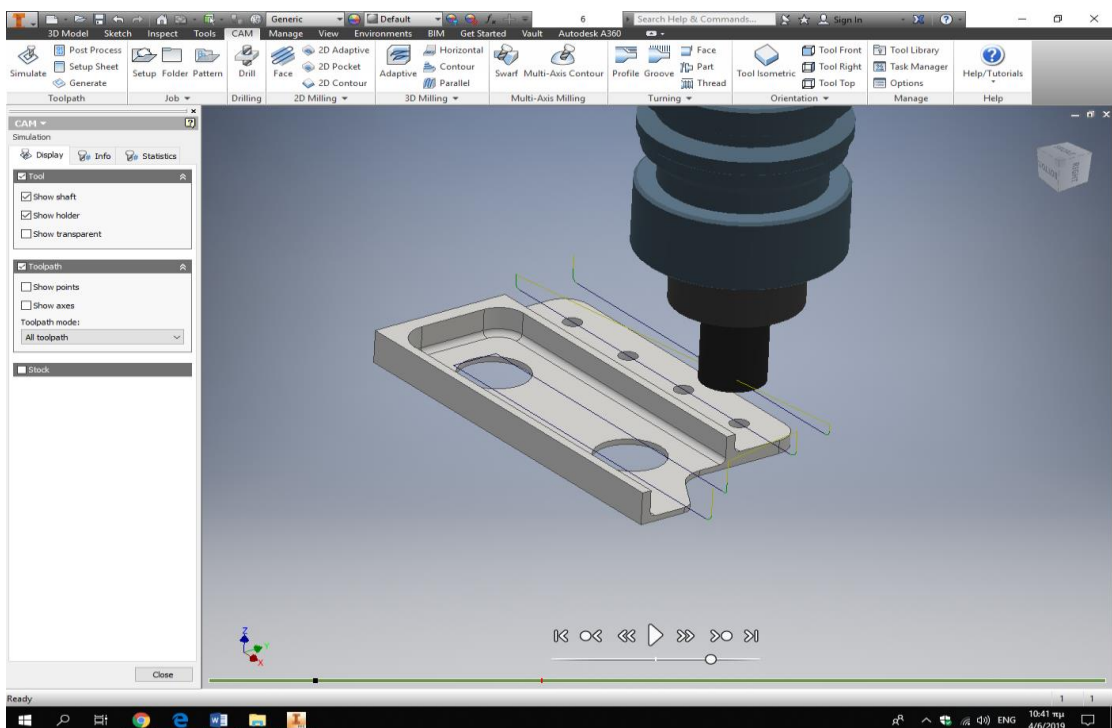


Εικόνα 6.7: Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 6.8: Προσομοίωση κατεργασίας

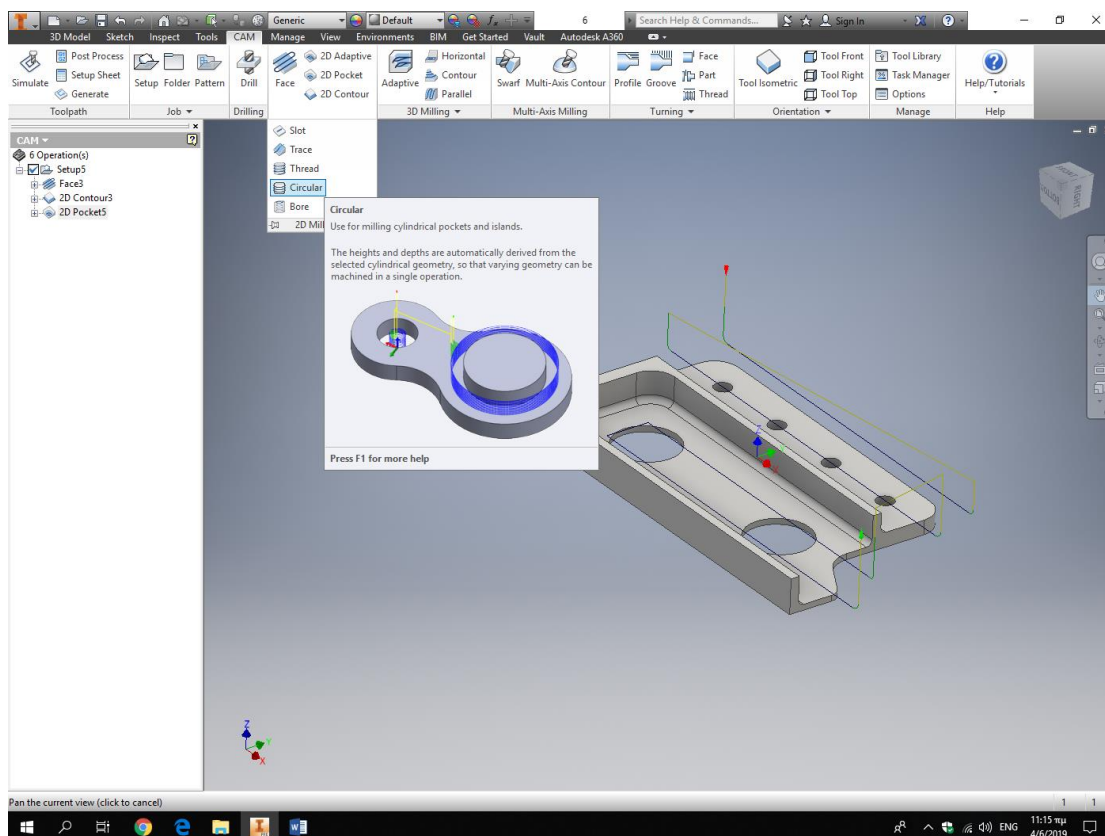


Εικόνα 6.9: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-4

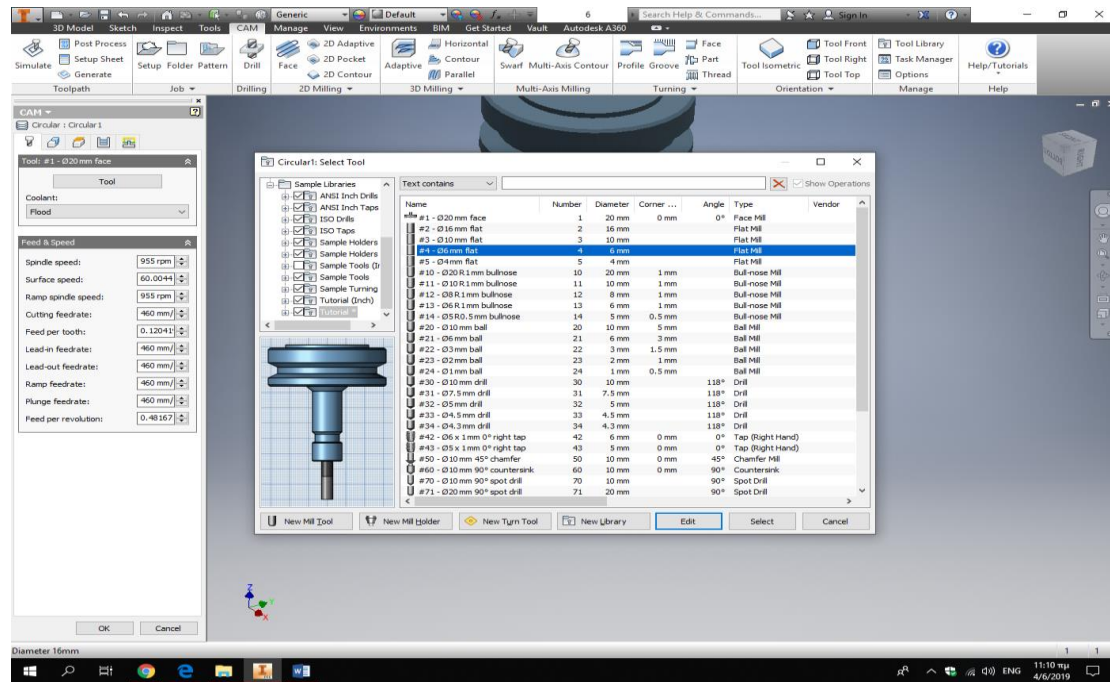
Σκοπός	Διάνοιξη 2 οπών στην επιφάνεια Β	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) $\varnothing 6$	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 10000 rpm	f= 3000 mm/tooth
	a= 1 mm	Vc= 188,4m/min

- Σε αυτή τη φάση κατεργασίας γίνεται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή circular για τη διάνοιξη 2 οπών στην επιφάνεια Β.



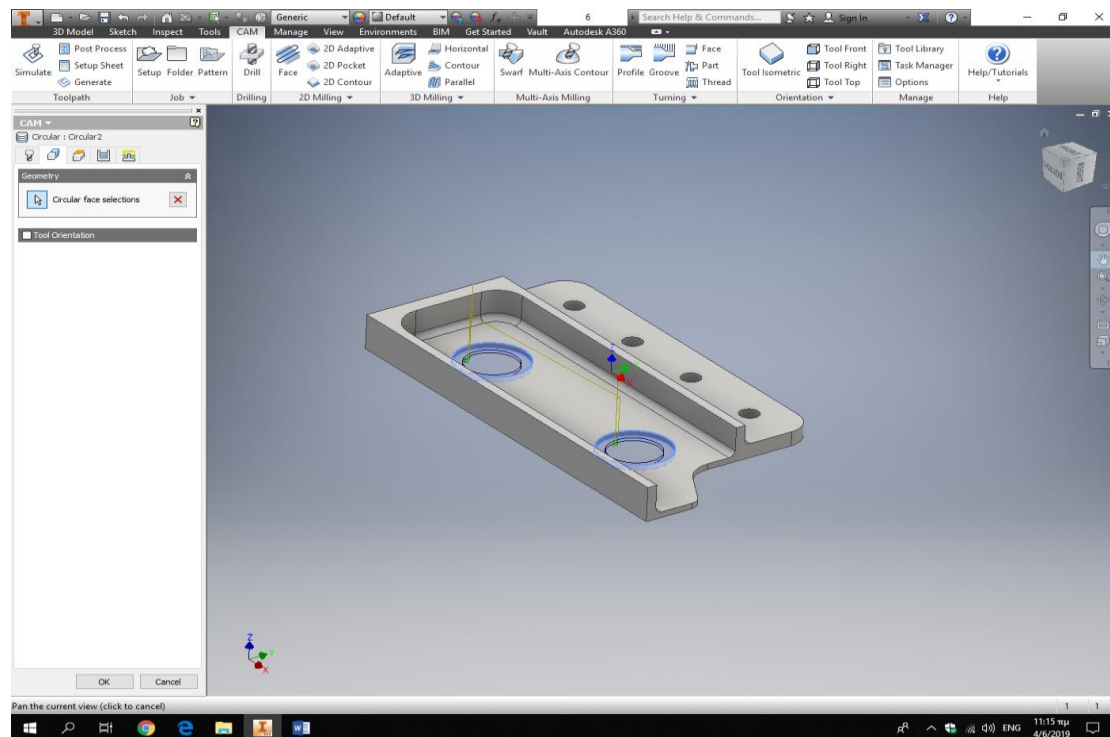
Εικόνα 7.0: Επιλογή εντολής circular

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής circular, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε κοπτικό flat mill $\varnothing 6$ και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



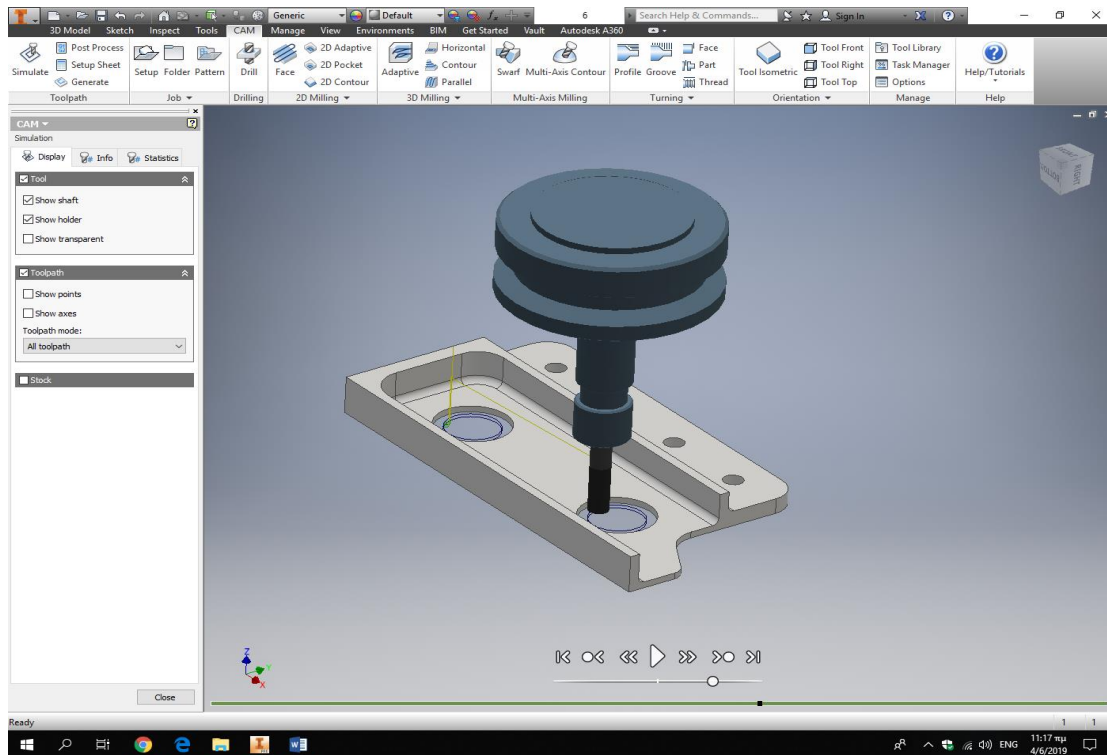
Εικόνα 7.1: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

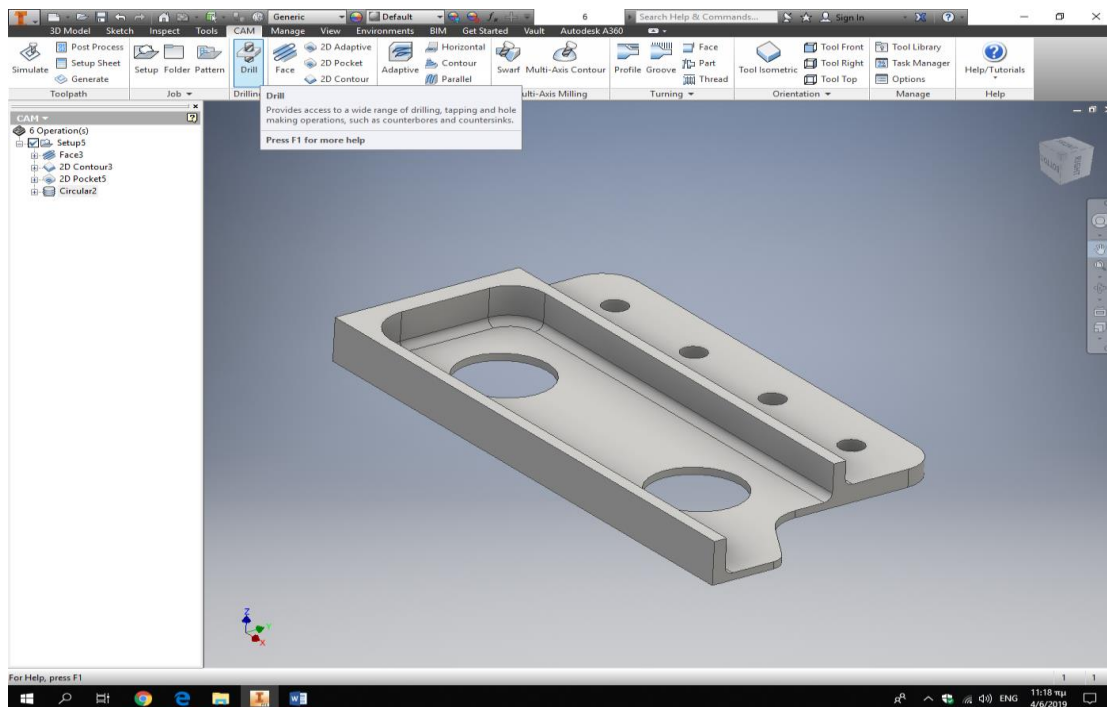


Εικόνα 7.2: Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 7.3: Προσομοίωση κατεργασίας

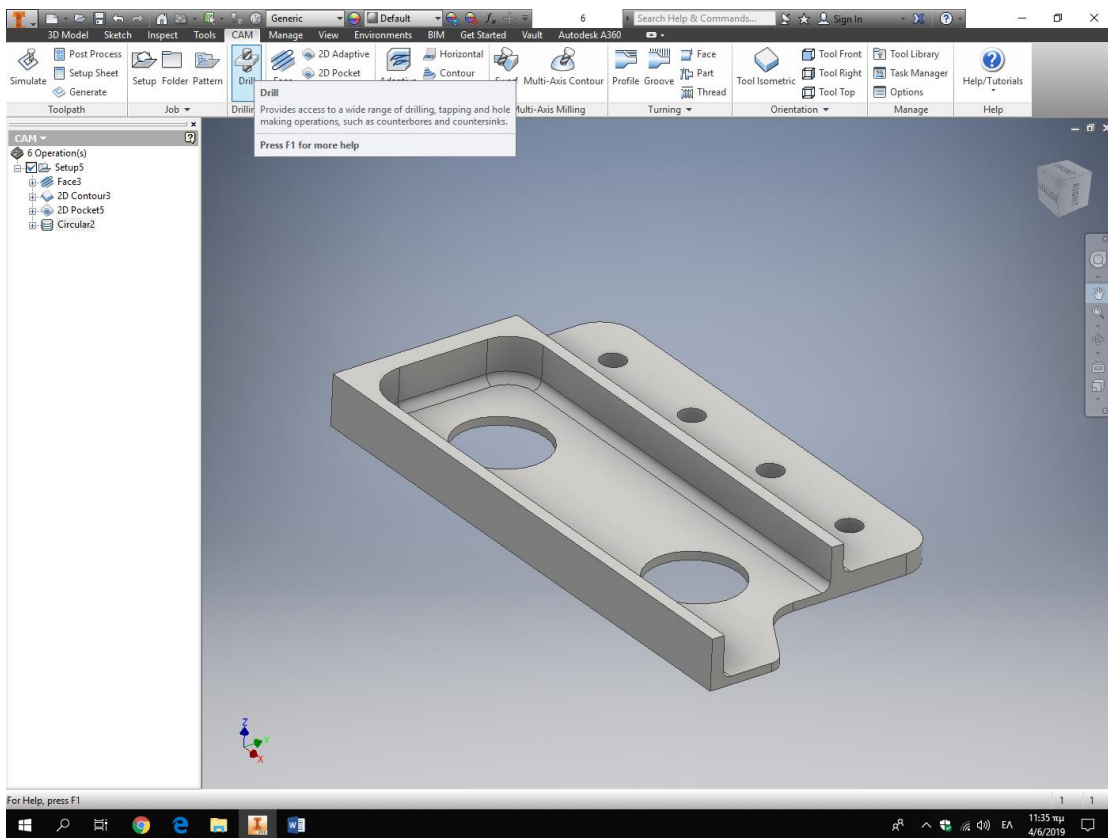


Εικόνα 7.4: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-5

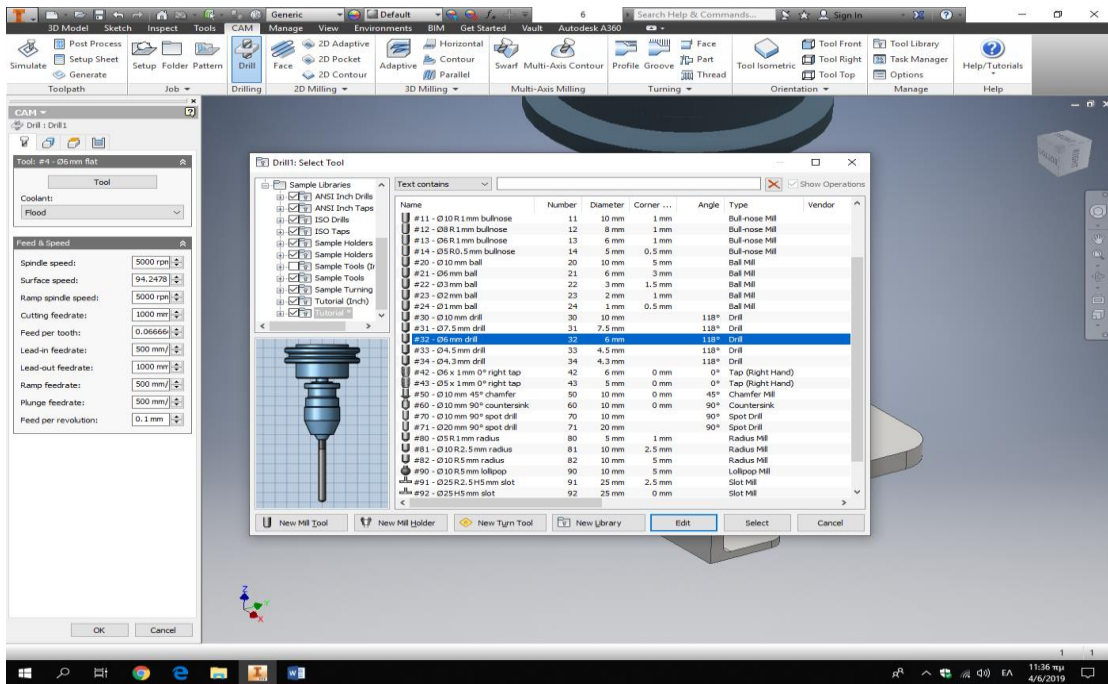
Σκοπός	Διάνοιξη 4 οπών στην επιφάνεια B	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Τρυπάνι (Drill) $\varnothing 6$	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 1600 rpm	f= 160 mm/tooth
	-	Vc= 30,144 m/min

- Σε αυτή τη φάση κατεργασίας γίνεται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή drill για τη διάνοιξη 4 οπών στην επιφάνεια B.



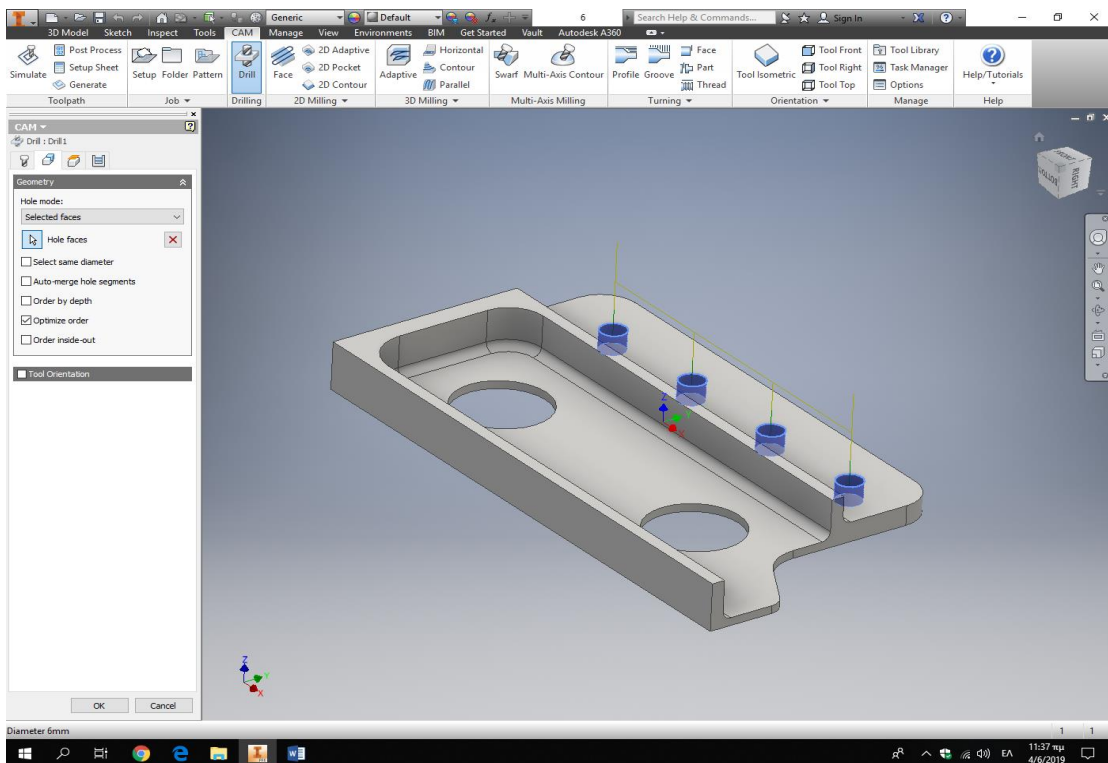
Εικόνα 7.5: Επιλογή εντολής drill

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής drill, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε κοπτικό drill $\varnothing 6$ και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



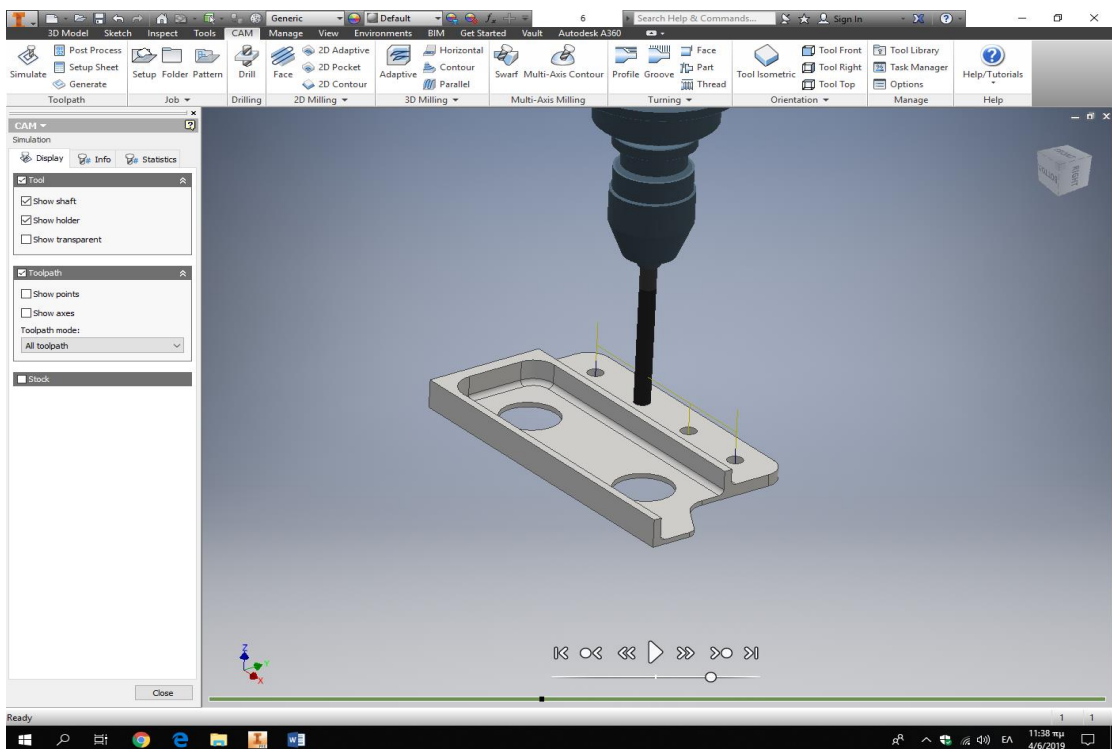
Εικόνα 7.6: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Rocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

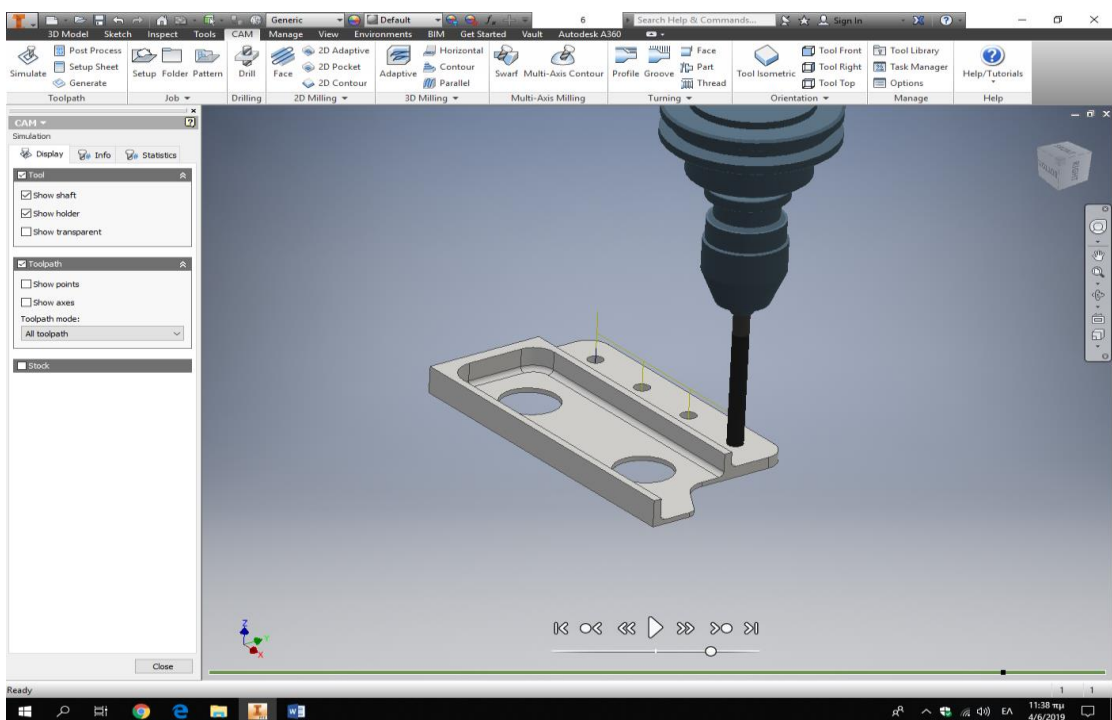


Εικόνα 7.7: Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 7.8: Προσομοίωση κατεργασίας

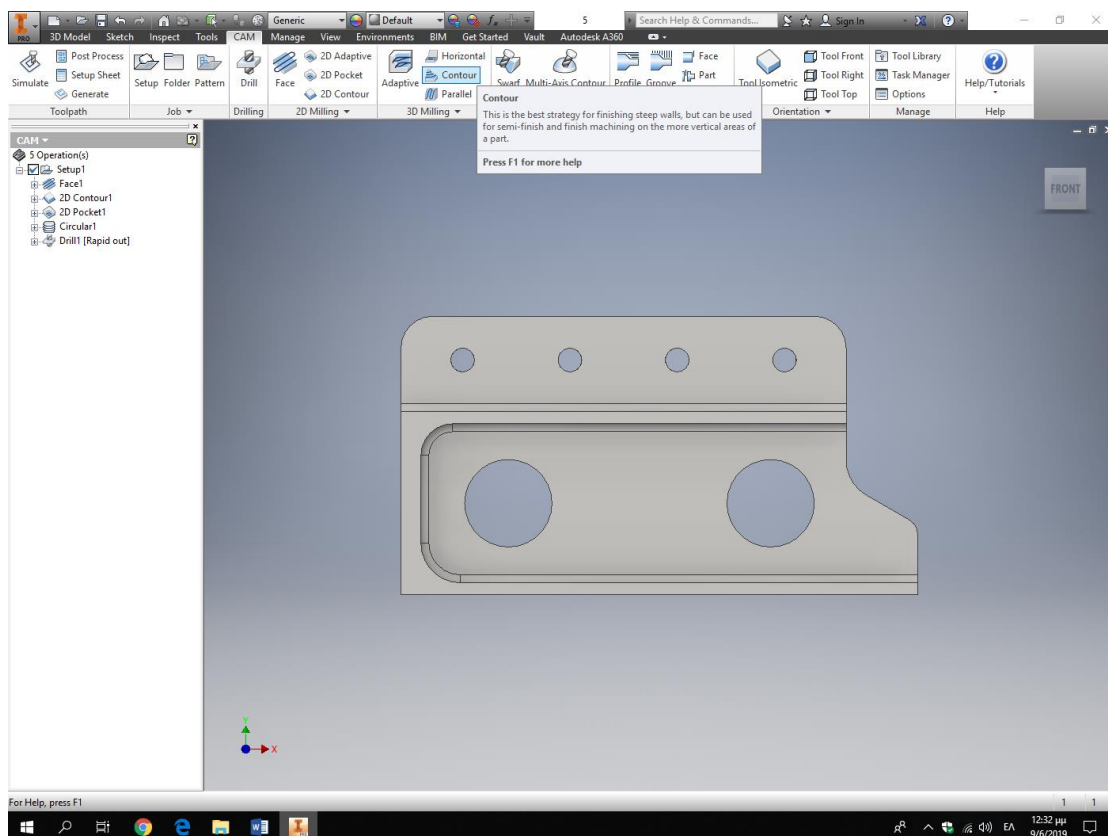


Εικόνα 7.9: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-6

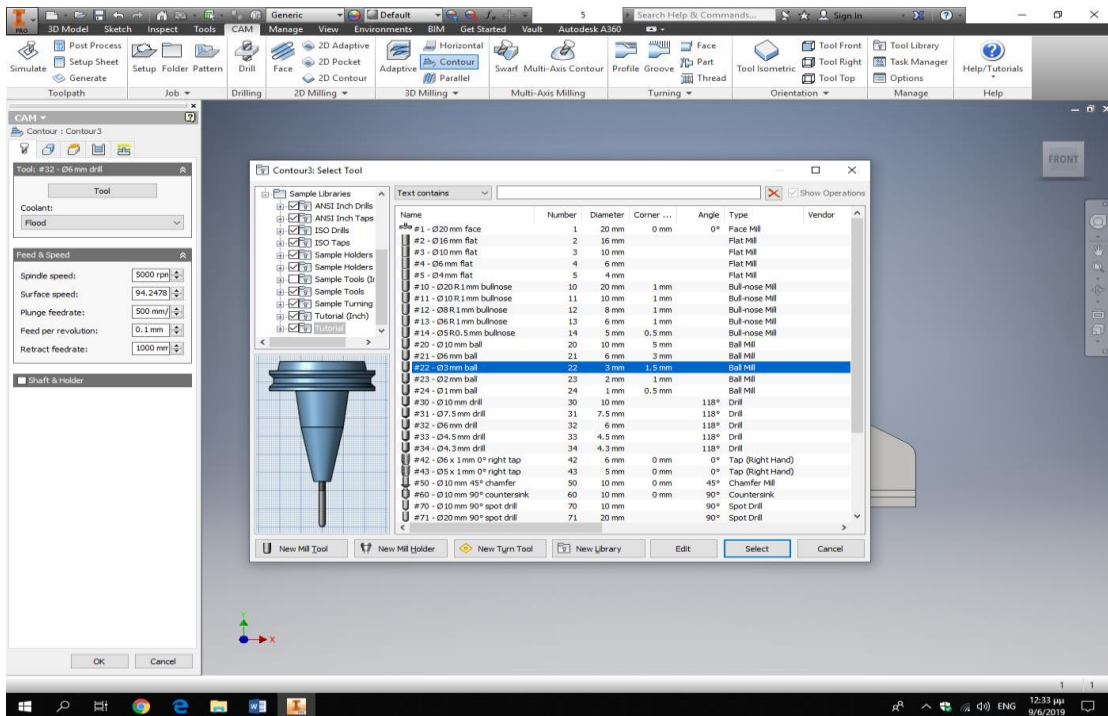
Σκοπός	Διαμόρφωση γωνιών R2.	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι καρβιδίου Δίπτερο (Ball Nose) $\varnothing 3$	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 10000 rpm	f= 3000 mm/tooth
	a= 0.5 mm	Vc= 94,2 m/min

- Σε αυτή τη φάση κατεργασίας γίνεται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η contour για τη διαμόρφωση των γωνιών R2.



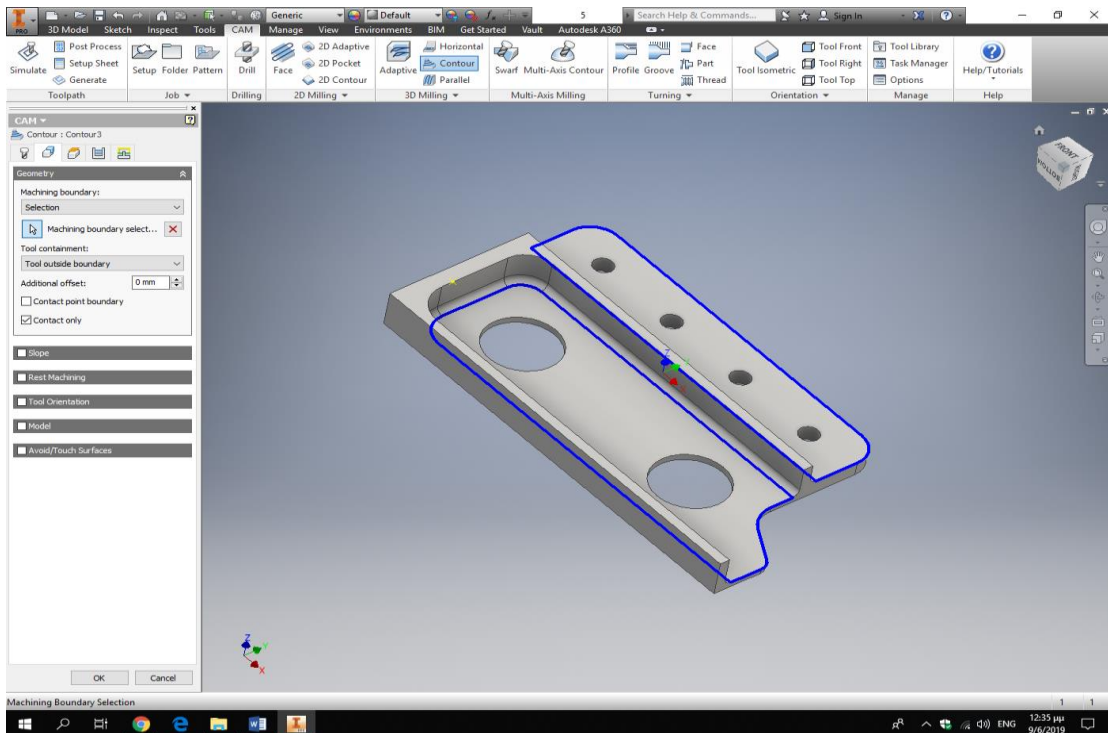
Εικόνα 8.0: Επιλογή εντολής face

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής contour, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε κοπτικό ball nose $\varnothing 3$ και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



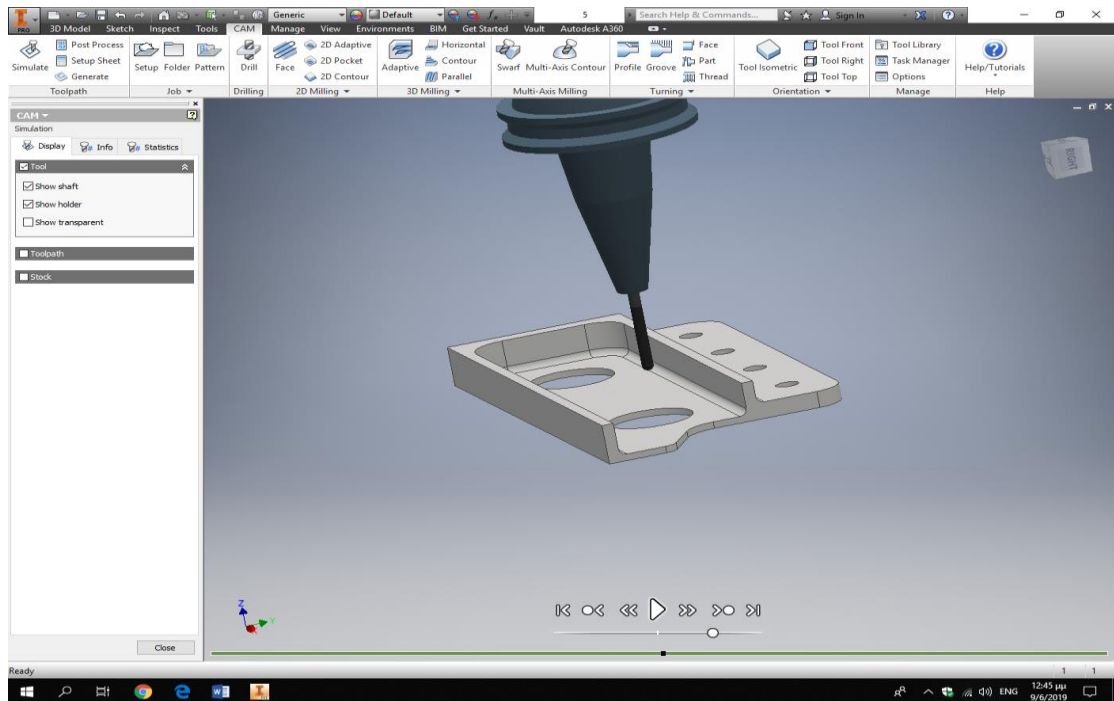
Εικόνα 8.1: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Rocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

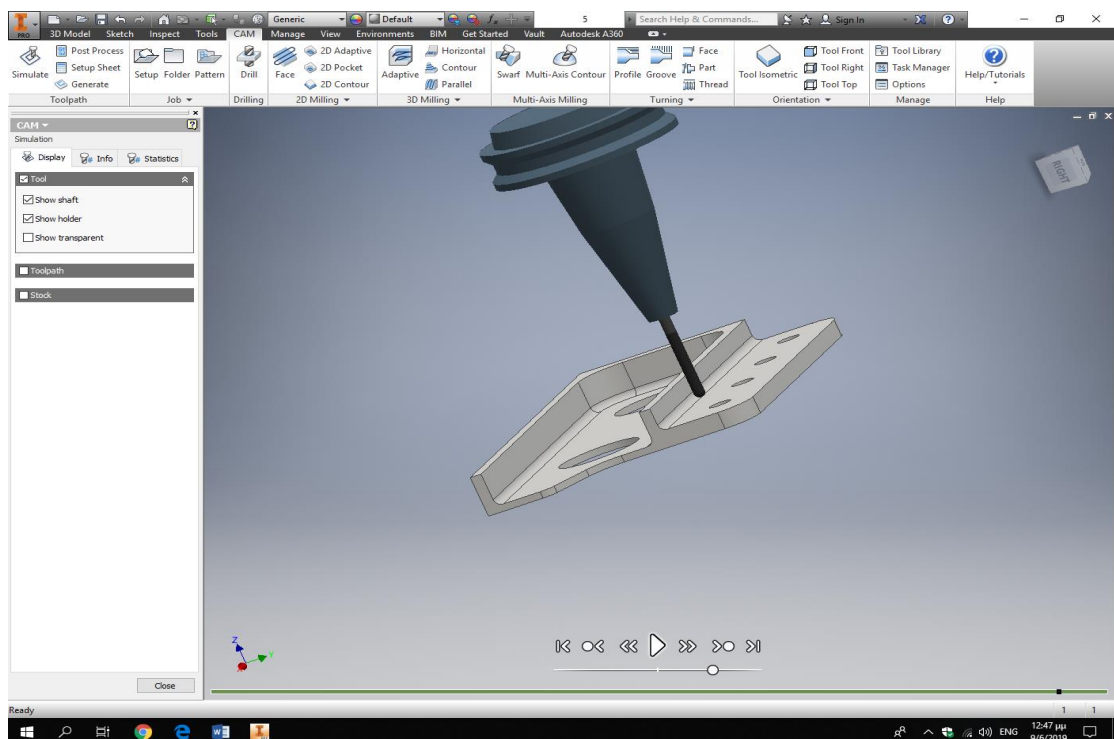


Εικόνα 8.2: Επιλογή επιφανειών κατεργασίας

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 8.3: Προσομοίωση κατεργασίας

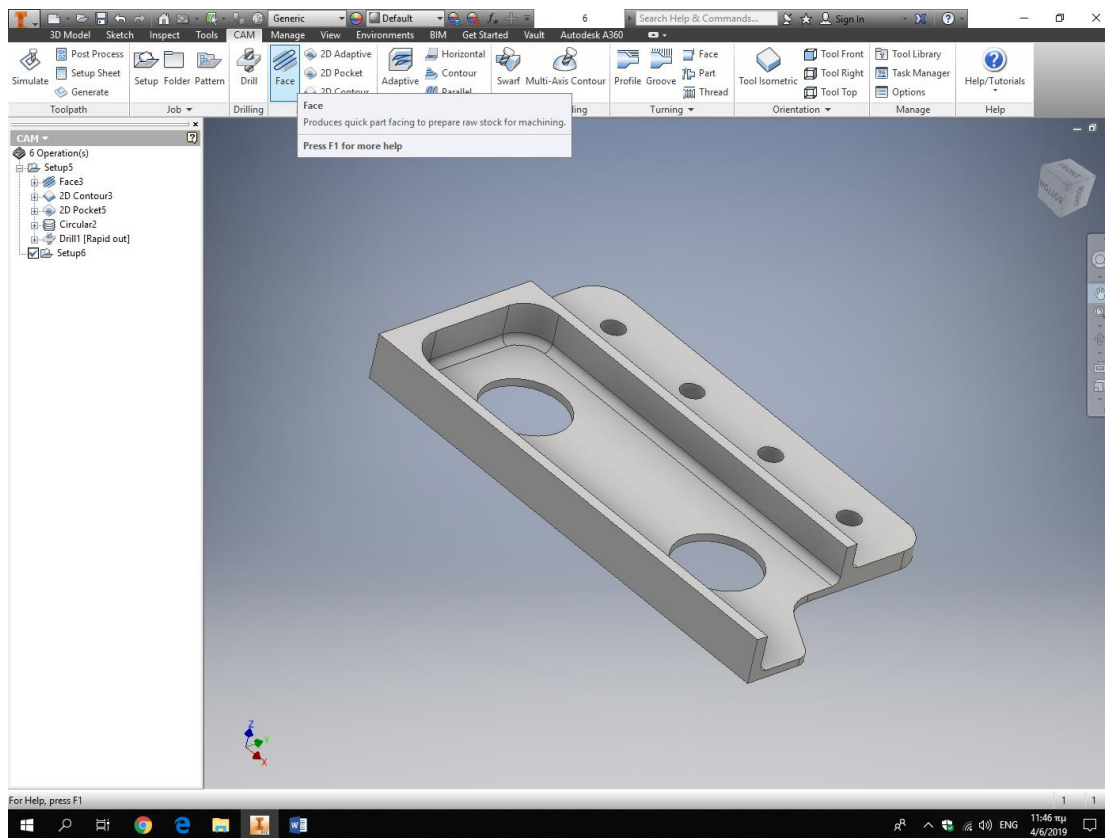


Εικόνα 8.4: Προσομοίωση κατεργασίας

Φάση Κατεργασίας-7

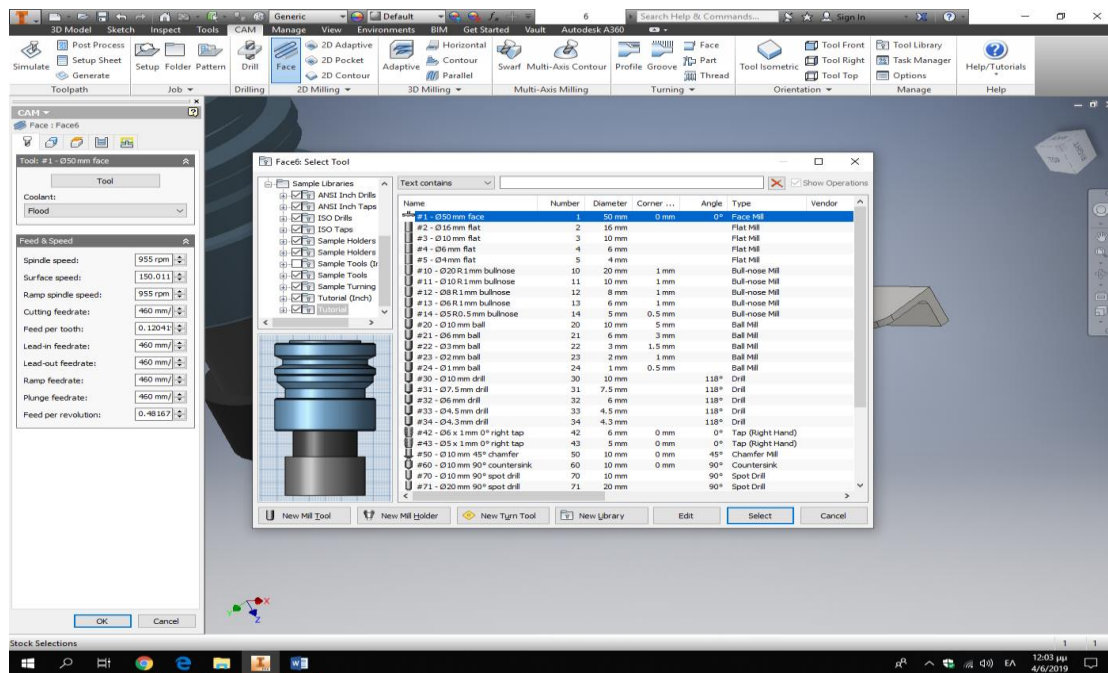
Σκοπός	Κατεργασία της Ε επιφάνειας του δοκιμίου.	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Φρεζοκεφαλή (Face Mill) $\varnothing 50$ mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2000 rpm	f= 1700 mm/tooth
	a= 3 mm	Vc= 314 m/min

- Σε αυτή τη φάση κατεργασίας γίνεται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή face για τη κατεργασία της Ε επιφάνειας του δοκιμίου.



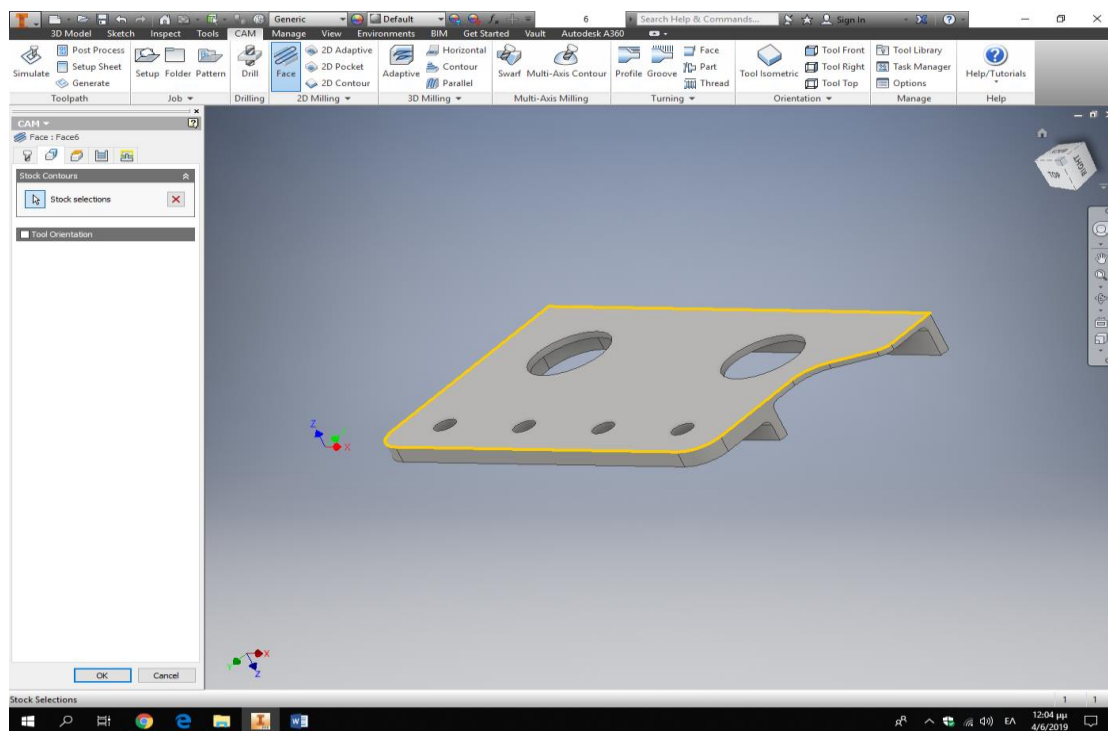
Εικόνα 8.5: Επιλογή εντολής face

- Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής face, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων όπου επιλέγουμε κοπτικό face mill $\varnothing 50$ και πληκτρολογούμε την ταχύτητα κοπής, το βάθος κοπής και την ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου.



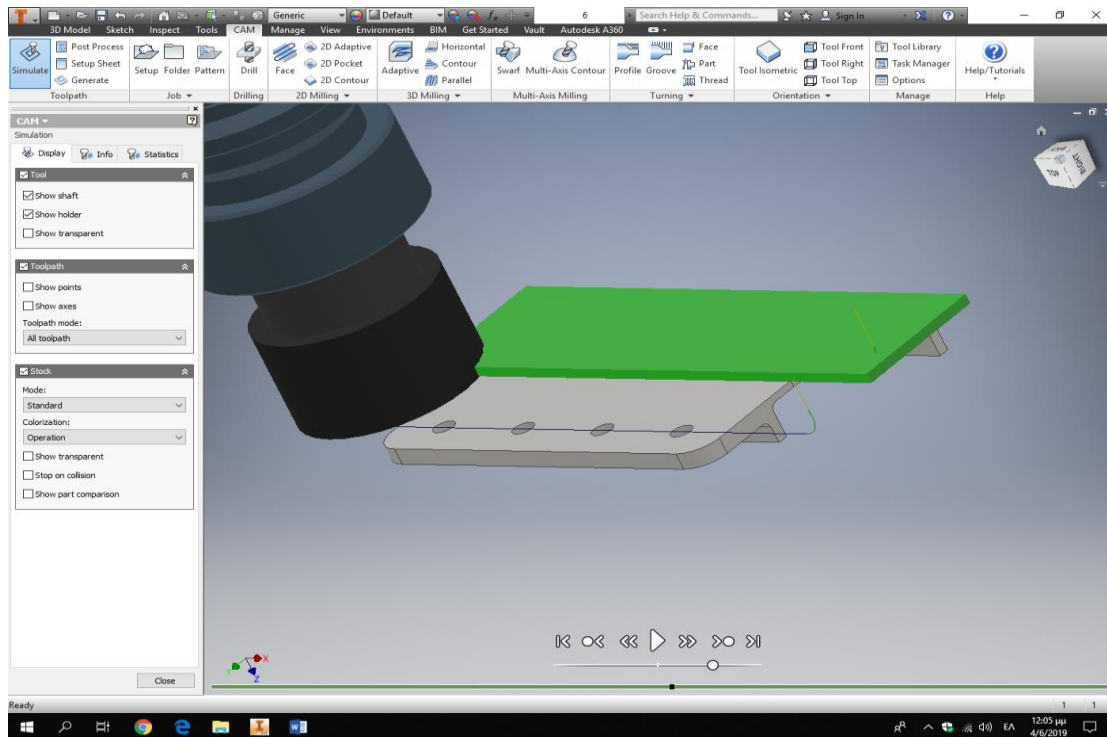
Εικόνα 8.6: Επιλογή κοπτικού εργαλείου

- Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Rocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.

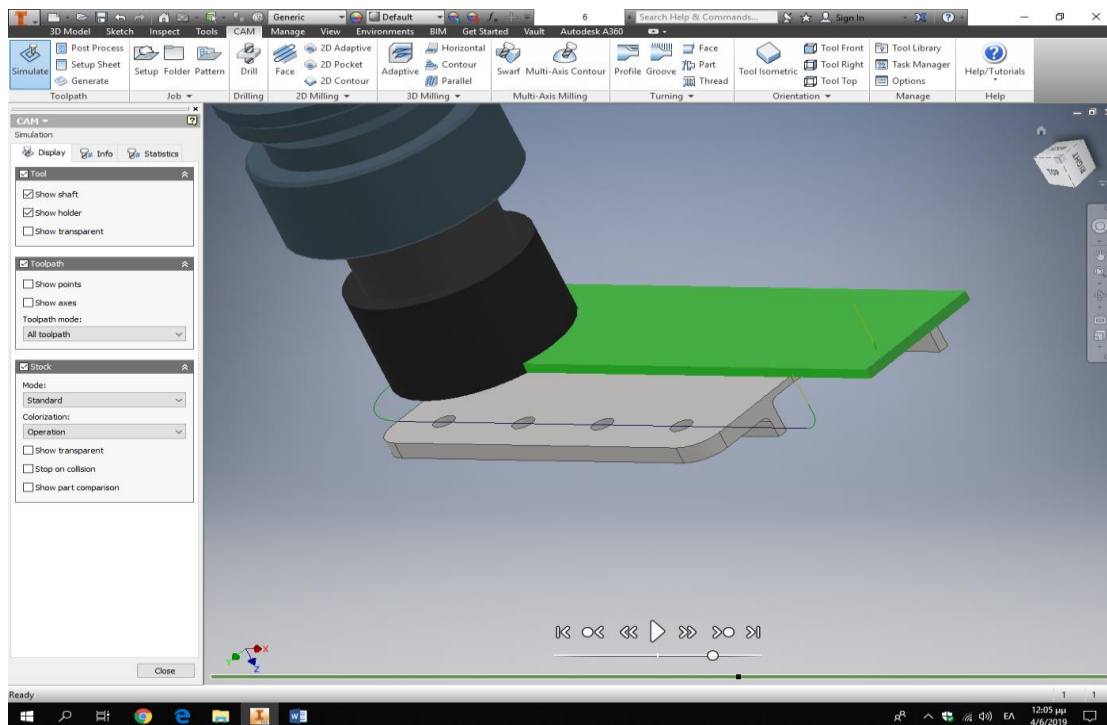


Εικόνα 8.7: Επιλογή επιφάνειας κατεργασίας

- Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 8.8: Προσομοίωση κατεργασίας

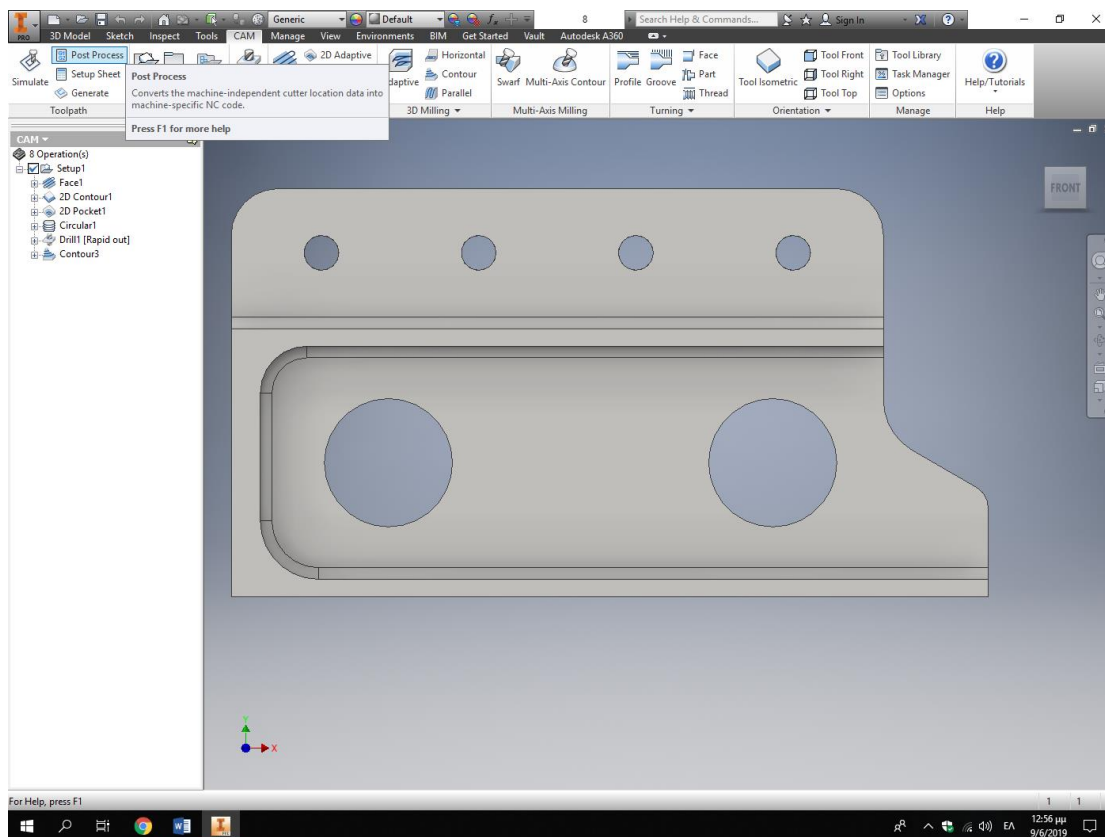


Εικόνα 8.9: Προσομοίωση κατεργασίας

4.5 Παραγωγή G-Κώδικα

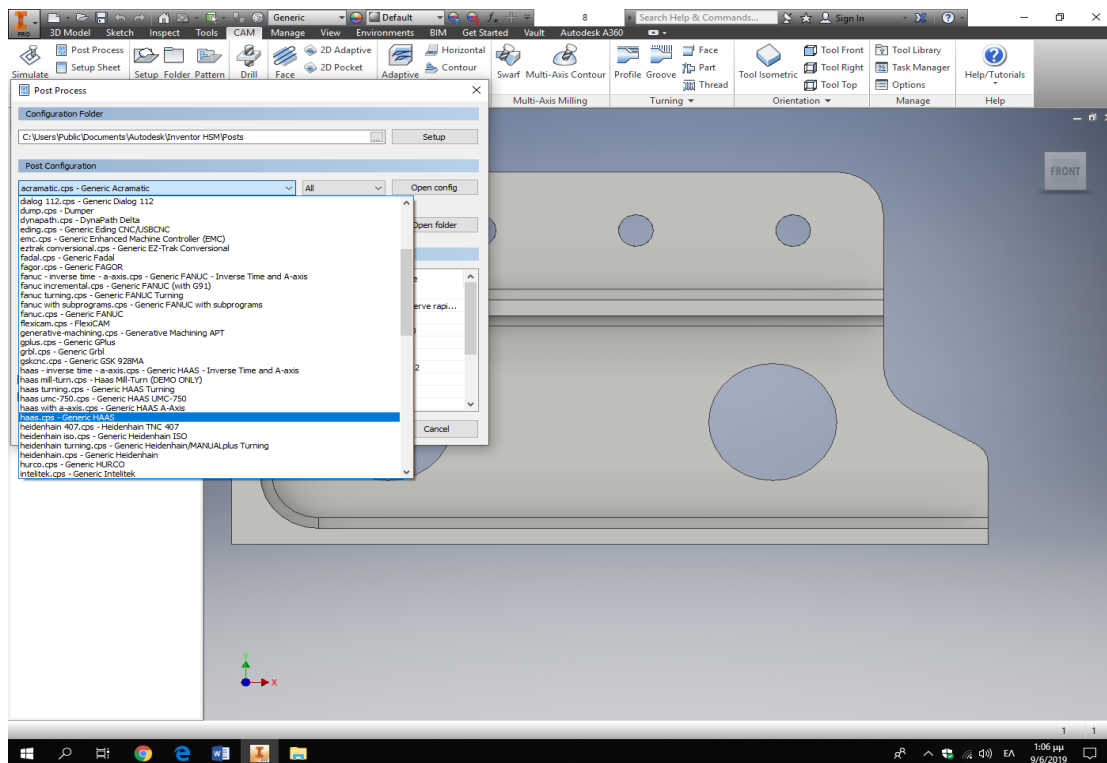
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά στην παραγωγή του κώδικα G όπως αυτός προκύπτει από την κατεργασία του δοκιμίου.

- Στην καρτέλα του CAM αριστερά στην οθόνη επιλέγεται η εντολή Post Process με σκοπό την παραγωγή του G κώδικα.



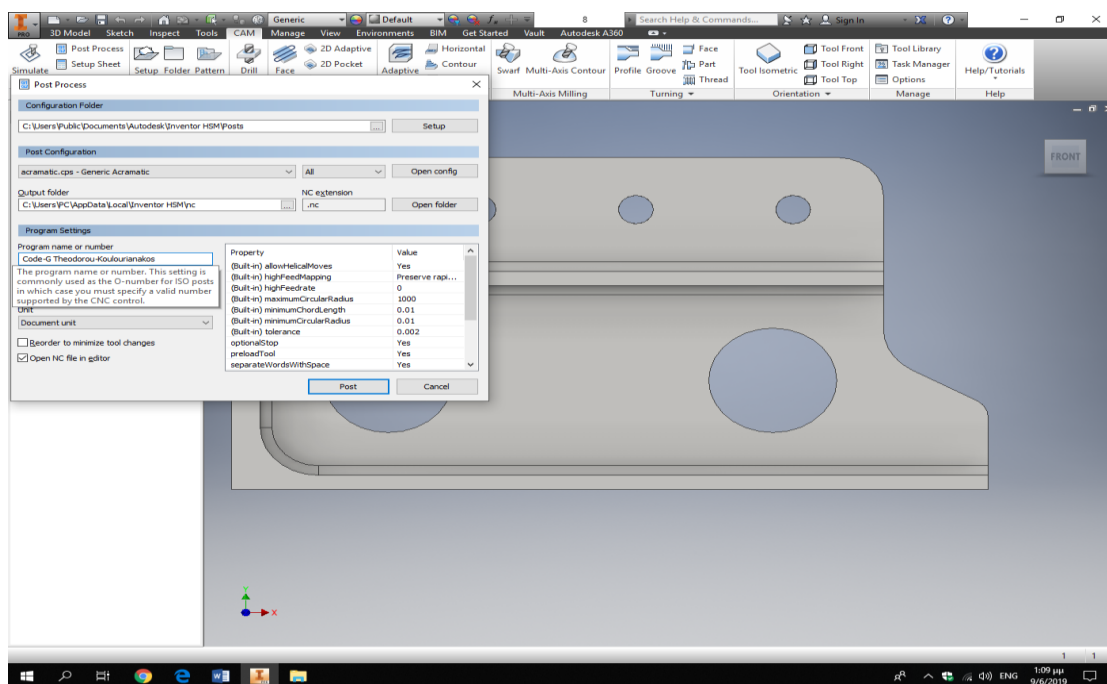
Εικόνα 9.0: Άνοιγμα παραθύρου Post Process

- Στο αναδυόμενο παράθυρο έπειτα από αναζήτηση επιλέγεται ο κατάλληλος για την εκάστοτε εργαλειομηχανή μετ' επεξεργαστής. Στην παρούσα εργασία και για την εργαλειομηχανή που έχει επιλεγθεί, αυτός είναι ο has.cps – Generic HAAS. Σημειώνεται πως είναι συμβατός με την εργαλειομηχανή.



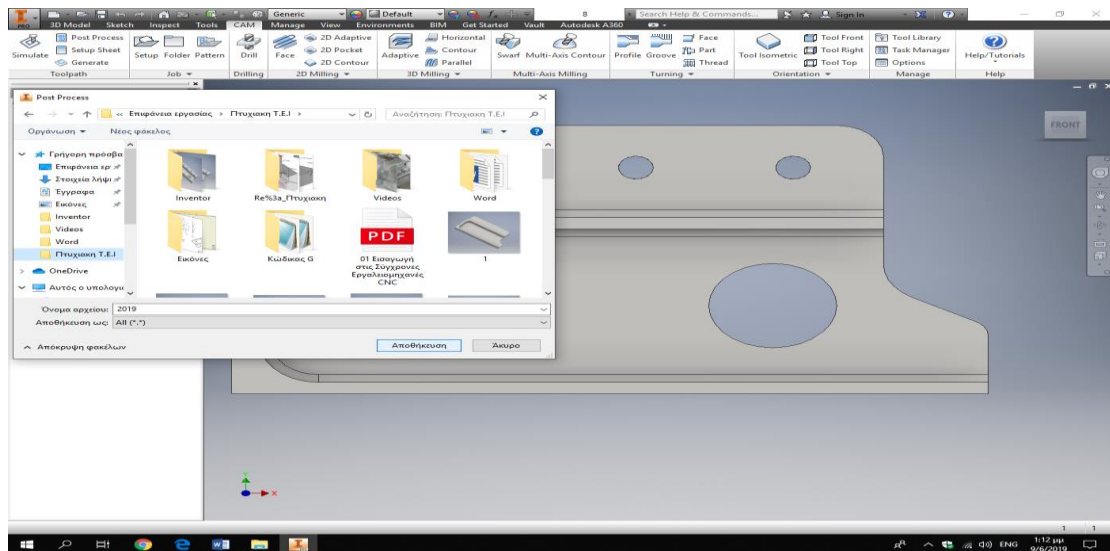
Εικόνα 9.1: Επιλογή post processor

- Στη συνέχεια, αφού δοθεί ένα όνομα στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Open folder για να αποθηκευτεί ο G κώδικας σε αρχείο ώστε να μπορεί να εισαχθεί στον υπολογιστή της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 9.2: Ονομασία προγράμματος

- Τέλος, με την εντολή Αποθήκευση αποθηκεύεται το πρόγραμμα.



Εικόνα 9.3: Αποθήκευση G-κώδικα

- Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα τμήμα του κώδικα G που αντιστοιχεί στην πέμπτη φάση κατεργασίας του δοκιμίου, όπου γίνεται η διάνοιξη της πρώτης οπής στην επιφάνεια B του δοκιμίου.

```

289
290 (Drill1)
291 N1425 M9
292 N1430 M1
293 N1435 T32 M6
294 N1440 S1600 M3
295 N1445 M8
296 N1460 G0 X-49.5 Y24.
297 N1465 G43 Z15. H32
298 N1470 T22
299 N1480 G0 Z5.
300 N1485 G98 G81 X-49.5 Y24. Z-16. R-6. F160.
301 N1490 X-22.5
302 N1495 X4.5
303 N1500 X31.5
304 N1505 G80
305 N1510 G0 Z15.
306 N1515 M5
307 N1520 G53 G0 Z0.
308

```

Εικόνα 9.4: G-κώδικας πέμπτης φάσης κατεργασίας για την πρώτη οπή

- Η θεωρία του κώδικα G έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1 στην ενότητα 1.4.3 σελ.10. Πιο λεπτομερώς ο κώδικας G σημαίνει "γεωμετρικός κώδικας" και ακολουθεί κάποια παραλλαγή του αλφαριθμητικού προτύπου:

N## G## X## Y## Z## F## S## T## M##

N: Αριθμός σειράς

G: Κίνηση

X: Οριζόντια θέση

Y: Κάθετη θέση

Z: Βάθος

F: Πρόωση

S: Ταχύτητα Περιστροφής

T: Επιλογή Κοπτικού

M: Διάφοροι Κώδικες

I and J:

R: Ακτίνα τόξου

- Οι αλφαριθμητικοί κωδικοί χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό, καθώς είναι ένας απλός τρόπος:

G##: Καθορίζεις την κίνηση και τη λειτουργία

X## Y## Z##: Δηλώνεις μια θέση

F## S##: Ορίζεις μια τιμή

T##: Επιλέγεις ένα εργαλείο

M##: Ενεργοποιείς και απενεργοποιείς κάτι όπως η ψύξη

Π.χ. → G01 X1 Y1 F20 T01 M03 S500

Έχουμε μια κίνηση γραμμική (G01) στη δεδομένη θέση XY με πρόωση 20. Χρησιμοποιού το εργαλείο 1, δεξιόστροφη περιστροφή του άξονα και η ταχύτητα της ατράκτου είναι 500.

- Οπότε στην πέμπτη φάση κατεργασίας για την πρώτη οπή έχουμε τον εξής κώδικα:

(Drill1)

N1425 M9

N1430 M1

N1435 T32 M6

N1440 S5000 M3

N1445 M8

N1460 G0 X-49.5 Y24.

N1465 G43 Z15. H32

N1470 T22

N1480 G0 Z5.

N1485 G98 G81 X-49.5 Y24. Z-16. R-6. F500.

N1490 X-22.5

N1495 X4.5

N1500 X31.5

N1505 G80

N1510 G0 Z15.

N1515 M5

N1520 G53 G0 Z0.

N1425: Παύση παροχής ψυκτικού υγρού.

N1430: Προαιρετική παύση.

N1435: Αυτόματη αλλαγή εργαλείου και επιλογή κοπτικού της θέσης 32 .

N1440: Περιστροφή της ατράκτου δεξιόστροφα με τα ταχύτητα 5000 rpm.

N1445: Παροχή ψυκτικού.

N1450: Γρήγορη τοποθέτηση στη θέση XY.

N1455: Αρνητική αντιστάθμιση ύψους εργαλείου(Παίρνει μία διεύθυνση, συνήθως H, ώστε να καλέσει τον καταχωρητή απόκλισης μήκους του εργαλείου.) στο σημείο Z.Η εντολή H καθορίζει την απόκλιση μήκους του εργαλείου.

N1460: Επιλογή κοπτικού θέσης 22.

N1465: Γρήγορη τοποθέτηση στη θέση Z.

N1470: Πρόωση ανά λεπτό 500 mm/min με απλό κύκλο διάτρησης στο σημείο XYZ.Το R Καθορίζει το μέγεθος της ακτίνας του τόξου ή καθορίζει το ύψος επιστροφής (retract) σε κύκλους εργασιών φρεζαρίσματος.

N1475: Τοποθέτηση στη θέση X.

N1480: Τοποθέτηση στη θέση X.

N1485: Τοποθέτηση στη θέση X.

N1490: Ακύρωση τυποποιημένου κύκλου (Ακυρώνει όλους τους κύκλους όπως G73, G81, G83.Ο άξονας Z επιστρέφει είτε στην αρχική στάθμη Z ή τη στάθμη R όπως έχει προγραμματιστεί.).

N1495: Γρήγορη τοποθέτηση στη θέση Z.

N1500: Παύση της περιστροφής της ατράκτου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

N1505: Σύστημα συντεταγμένων της μηχανής(Παίρνει τις απόλυτες συντεταγμένες (X, Y, Z, A, B, C) με αναφορά στο μηδενικό σημείο της μηχανής και όχι ως προς το μηδενικό σημείο του προγράμματος. Μπορεί να είναι χρήσιμη για αλλαγές εργαλείων.).



Εικόνα 9.5: Τελική μορφή δοκιμίου μετά την κατεργασία στη CNC φρέζα



Εικόνα 9.6: Τελική μορφή δοκιμίου μετά την κατεργασία στη CNC φρέζα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Συμπεράσματα Μελέτης

Παρακάτω αναλύονται τα βασικότερα συμπεράσματα που έχουνε προκύψει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της:

- Ο τρισδιάστατος μοντελοποιητής που χρησιμοποιήθηκε (Autodesk Inventor) είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την δημιουργία πολλαπλών σχεδίων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε από επαγγελματίες για τη δημιουργία πολύπλοκων σχεδίων, είτε από ερασιτέχνες για απλή εκμάθηση και για δημιουργία απλών σχεδίων όπως παρουσιάστηκε στην πτυχιακή εργασία.
- Επιπλέον, παρατηρούμε ότι το πρόγραμμα εμφανίζει πολλές δυνατότητες χειρισμού και πολλές λειτουργίες σχεδίασης καλύπτοντας έτσι όλη τη γεωμετρική σχεδίαση των σχημάτων. Μία σημαντική δυνατότητα χειρισμού είναι ότι οτιδήποτε σχεδιάσουμε μπορούμε άμεσα να το διορθώσουμε σε περίπτωση δημιουργηθεί κάποιο λάθος με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων από υλικά που θα χρησιμοποιούσαμε.
- Το Autodesk Inventor είναι ένα πρόγραμμα που συνεχώς ανανεώνεται με καινούργιες εκδόσεις, με πληθώρα ενημερώσεων των λειτουργιών του και περισσότερες βελτιώσεις που προσφέρουν ταχύτερη απόδοση.
- Ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι πλέον στις μεγάλες αλλά και στις μικρές βιομηχανίες υπάρχει ανάγκη για γρήγορη και βέλτιστη κοπή μετάλλων με τη χρήση εργαλειομηχανών CNC με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό στην σχεδίαση και τον προγραμματισμό αυτών. Έτσι τα μαθήματα προγραμματισμού CNC και σχεδιασμού με συστήματα CAD στο εκπαιδευτικό μας ίδρυμα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη στην μετέπειτα επαγγελματική μας πορεία.
- Στην εργασία αυτή αναδείχθηκε όλη η διαδικασία από τη μελέτη μέχρι και την κατασκευή ενός δοκιμίου με σκοπό την κατάρτιση γνώσεων και την εξοικείωση του αναγνώστη με το πρόγραμμα σχεδίασης της Autodesk. Πιο συγκεκριμένα αναδείχθηκε το πώς γίνεται αρχικά μια μελέτη ενός μηχανολογικού σχεδίου, η σχεδίαση του βήμα προς βήμα μέσα στο πρόγραμμα σχεδίασης, η δημιουργία του φασεολογίου, η κατασκευή του προγράμματος CAM και τελικά η παραγωγή του G-κώδικα.
- Τα κοπτικά εργαλεία 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 εργαλείου. Επίσης πολύ σημαντικό κριτήριο είναι ο αριθμός των πτερυγίων του, η ταχύτητα περιστροφής του και η χρησιμοποίηση ψυκτικού υγρού κατά την διάρκεια κοπής.

- Εν κατακλείδι, κατά την κατασκευή του δοκιμίου στην CNC φρέζα αντιληφθήκαμε πόσο πολύ σημαντικό είναι να τηρείς τους κανόνες προστασίας για την αποφυγή πολλών κινδύνων όπως κοπή από κάποιο αιχμηρό μεταλλικό αντικείμενο στον χώρο του μηχανουργείου.

5.2 Future Works

Με το πέρας της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δίνονται κάποιες δυνατότητες για περαιτέρω επεξεργασία της.

- Μία πρόταση είναι να επιλεγθούν διαφορετικά κοπτικά εργαλεία με διαφορετικές συνθήκες κατεργασίας και να υπολογιστεί ο ταχύτερος χρόνος κατεργασίας του δοκιμίου. Επίσης για την επίτευξη αυτού μπορεί να γίνει παρέμβαση στην πορεία του κοπτικού εργαλείου αλλάζοντας τον κώδικα όσο είναι εφικτό.
- Επίσης, μια άλλη σκέψη για μελλοντική επεξεργασία της εργασίας είναι η παραγωγή του κώδικα-G από τον σπουδαστή και όχι μέσω του προγράμματος. Βέβαια αυτό απαιτεί καλές γνώσεις στον προγραμματισμό και σίγουρα επίβλεψη από κάποιον προγραμματιστή CNC για αποφυγή σφαλμάτων τόσο για την εργαλειομηχανή όσο και για το αποτέλεσμα του δοκιμίου.
- Μία άλλη πρόταση για βελτιστοποίηση της εργασίας είναι ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός του δοκιμίου να γίνει και με διαφορετικά προγράμματα CAD/CAM ώστε να παραχθούν διαφορετικοί κώδικες και να γίνει μια σύγκριση χρόνων κατεργασίας και να γίνει εύρεση των διαφορών τους.
- Τέλος, η παρούσα εργασία μπορεί να αναλυθεί ακόμη περισσότερο σε θεωρητικό επίπεδο και πρακτικό καθαρά για εκπαιδευτικό σκοπό ώστε να παρουσιάζεται η όλη διαδικασία που ακολουθείτε για τη μελέτη και τη κατασκευή ενός εξαρτήματος σε μια CNC εργαλειομηχανή.

5.3 Βιβλιογραφία-Ιστοσελίδες

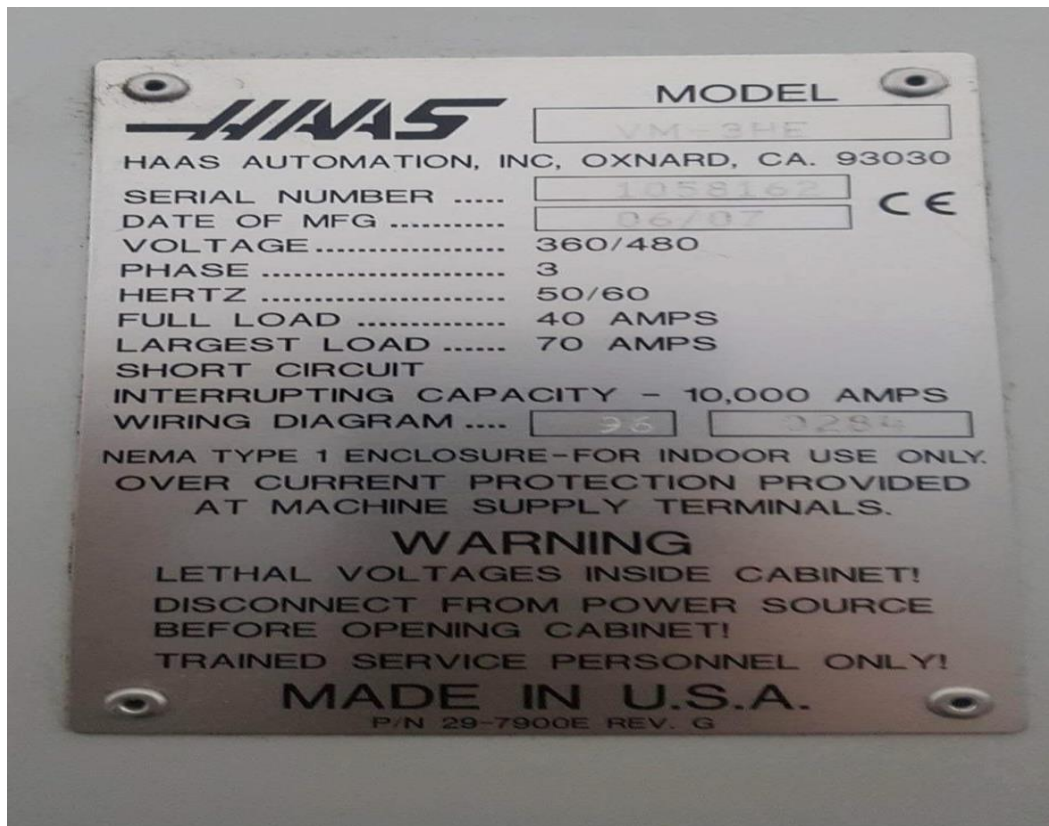
- Δημοσθένους, Α. Κ. Μ. & Γ. Α., 2004. Μηχανουργική Τεχνολογία-Διαμόρφωση Με Αποβολή Υλικού-Χύτευση-Συγκόλληση Και Πλαστική Παραμόρφωση. Δεύτερη Έκδοση ed. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.
- Clark, D. A., 2014. Crowood Metalworking Guides - Milling. First Edition ed. Ramsbury, Marlborough: The Crowood Press Ltd..
- Στεργίου, Κ. Ι. Σ. & Ι. Κ., 2009. Τεχνολογία Κατεργασίας Μετάλλων. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε..
- Αγαρίου, D. A. S. & J. S., 2016. Metal Cutting Theory And Practice. Third Edition ed. s.l.:CRC Press.
- Φιλήμονος Χρ. Σκιττίδη «Βασικές αρχές αριθμητικού έλεγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC» Τόμος Α' Σύγχρονη Εκδοτική Αθήνα, 2000
- Φιλήμονος Χρ. Σκιττίδη «Βασικές αρχές αριθμητικού έλεγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC» Τόμος Δ' Σύγχρονη Εκδοτική Αθήνα, 2003
- Σκιττίδη Φ., (2004), CIM, Αθήνα, Σύγχρονη Εκδοτική
- Τσελές Δημ.,(2003), C AD - CAM, TEI Πειραιάς, Σύγχρονη Εκδοτική
- Μελέτιος Δ. Βούλγαρης «Μηχανολογικό Σχέδιο» Σύγχρονη Εκδοτική Αθήνα, 2009 4. Inventor 2017 Guided Tutorials <https://knowledge.autodesk.com/>
- Σκιττίδης, Δ. Φ. Χ., 2000. Βασικές Αρχές Αριθμητικού Ελέγχου και Προγραμματισμός Εργαλειομηχανών CNC. Πρώτη Έκδοση ed. Αθήνα:
- Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε.. Στεργίου, Κ. Ι. Σ. & Ι. Κ., 2009. Τεχνολογία Κατεργασίας Μετάλλων. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε..
- Basics of CNC Programming, Yadav, Om Prakash, Ram, Mangey, Negi, Pawan
- Lee, K. (1999). Principles of CAD/CAM/CAE Systems. Addison-Wesley.
- Γεωργακάου, Μ., Οικονομάκος, Χρ., Στεφανάτου, Στ. (2010), Σχεδίαση με χρήση υπολογιστή (CAD) και δίκτυα παραγωγής (CAM), Τμήμα Αυτοματισμού, ΑΤΕΙ Χαλκίδας.
- Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Εκδόσεις Κριτική
- Sen, M., 2006. Basic Mechanical Engineering. First Edition ed. Baheriya: Laxmi Publications (P) Ltd..
- <https://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC/SHMEIWSEIS/3-1-CUT.pdf> (Κατεργασίες αφαίρεσης υλικού)
- <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH124/01%20%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B9%CF%82%20%CE%A3%CF%8D%CE%B3%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B5%CF%82%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AD%CF%82%20CNC.pdf>(Ιστορική αναφορά)
- <https://slideplayer.gr/slide/14225574/> (Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα CNC)
- <http://artemis.library.tuc.gr/DT2013-0350/DT2013-0350.pdf>(Καθορισμός Αξόνων)
- <http://www.cam.tuc.gr/anagnwsthrio/cnc/theoria/sistimatasintetagmenwn.html> (Συστήματα Συντεταγμένων)

- <http://courseware.mech.ntua.gr/ml26076/mathimata/Koptika%20Ergalia.pdf> (Υλικά Κοπτικών Εργαλείων)
- <https://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC/SHMEIWSEIS/3-1-CUT.pdf>(Φθορά Κοπτικών Εργαλείων)
- <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=322> (Φρεζάρισμα)
- <http://courseware.mech.ntua.gr/ml26076/mathimata/2006Fresarisma.pdf>(Είδη Φρεζαρίσματος)
- https://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/3117/kantzavelos_k_cutting.pdf?sequence=3 (Υγρή-Ξηρή Κατεργασία)
- <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>
- <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=70>
- www.autodesk.com
- <https://www.youtube.com/user/AutodeskCAM>
- <https://www.haascnc.com/index.html>
- <https://www.kennametal.com/en/home.html>
- <https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2016/09/Kennametal-GOmill-GOdrill-GOtap-catalog-inch-and-metric.pdf>
- <https://www.k2esa.com.au/wp-content/uploads/2019/03/Kennametal-Milling-.pdf>
- <https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2016/09/Kennametal-Innovations-Catalog-2017-Metric.pdf>
- https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/suttontools/Brochure+and+Catalogue/Catalogues/Sutton%20Tools/499980019_Industrial%20Catalogue/499980019_HSS%20Drills.pdf

5.4 Παράρτημα Μελέτης Κατασκευής Δοκιμίου



Εικόνα 9.7: CNC-Φρέζα HAAS VM-3



Εικόνα 9.8: CNC-Φρέζα HAAS VM-3

Τεχνικά Φυλλάδια Εργαλειομηχανής

VM-3

Starting Price: 84.995 €
SALE 63.746,25 €

40 TAPER	3 AXIS	12k RPM	30+1 TOOL CAPACITY
-------------	-----------	------------	-----------------------

OVERVIEW
SPECS
GALLERY
SEND INFO

COMPARE MACHINES
BUILD & PRICE

The Haas VM Series machines are high-performance VMCs that provide the accuracy, rigidity, and thermal stability required for mold making, tool & die work, and other high-precision industries. Each machine features a generous work cube, a multi-fixturing table, and a 12,000-rpm inline direct-drive spindle. Standard features include the Haas high-speed control with full look-ahead, a side-mount tool changer, a programmable coolant nozzle, an automatic air gun, and much more.

- ✓ Inline direct-drive spindle
- ✓ Side-mount tool changer
- ✓ Multi-fixturing table
- ✓ High-speed machining software
- ✓ Made in the USA

Εικόνα 9.9: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

STANDARD FEATURES

SPINDLES	12,000-rpm Spindle
TOOL CHANGERS	30+1 Side-Mount
CHIP & COOLANT MANAGEMENT	Programmable Coolant Nozzle Automatic Air Gun Window Air Blast Chip Auger 55-Gallon Coolant Tank
THE HAAS CONTROL	Media Display M-Code; M130 HaasConnect: Remote monitoring Early Power-Failure Detection Module Ethernet Interface WiFi Connection for the Haas Control Remote Jog Handle with Color LCD Rigid Tapping User-Definable Macros Coordinate Rotation and Scaling High-Speed Machining Standard Program Memory, 1 GB
PRODUCT OPTIONS	Table Auxiliary Air Supply

Εικόνα 10.0: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

TRAVELS	S.A.E	METRIC
X Axis	40.0 in	1016 mm
Y Axis	26.0 in	660 mm
Z Axis	25.0 in	635 mm
Spindle Nose to Table (~ max)	29.2 in	742 mm
Spindle Nose to Table (~ min)	4.2 in	107 mm

SPINDLE	S.A.E	METRIC
Max Rating	30.0 hp	22.4 kW
Max Speed	12000 rpm	12000 rpm
Max Torque	90 ft-lbf @ 2000 rpm	122 Nm @ 2000 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Taper	CT or BT 40	CT or BT 40
Bearing Lubrication	Air / Oil Injection	Air / Oil Injection
Cooling	Liquid Cooled	Liquid Cooled

Εικόνα 10.1: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

TABLE	S.A.E	METRIC
Length	54.0 in	1372 mm
Width	24.0 in	610 mm
T-Slot Width	0.630 in	16 mm
T-Slot Center Distance	3.94 in	100 mm
Number of Std T-Slots	13 in Y and 6 in X	13 in Y and 6 in X
Max Weight on Table (evenly distributed)	4000 lb	1814 kg

FEEDRATES	S.A.E	METRIC
Max Cutting	500 ipm	12.7 m/min
Rapids on X	710 ipm	18.0 m/min
Rapids on Y	710 ipm	18.0 m/min
Rapids on Z	710 ipm	18.0 m/min

AXIS MOTORS	S.A.E	METRIC
Max Thrust X	4100 lbf	18238 N
Max Thrust Y	4100 lbf	18238 N
Max Thrust Z	4100 lbf	18238 N

Εικόνα 10.2: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

TOOL CHANGER	S.A.E	METRIC
Type	SMTC	SMTC
Capacity	30+1	30+1
Max Tool Diameter (full)	2.5 in	64 mm
Max Tool Diameter (adjacent empty)	5.0 in	127 mm
Max Tool Length (from gage line)	13 in	330 mm
Max Tool Weight	12 lb	5.4 kg
Tool-to-Tool (avg)	2.8 s	2.8 s
Chip-to-Chip (avg)	3.6 s	3.6 s

GENERAL	S.A.E	METRIC
Coolant Capacity	55 gal	208 L

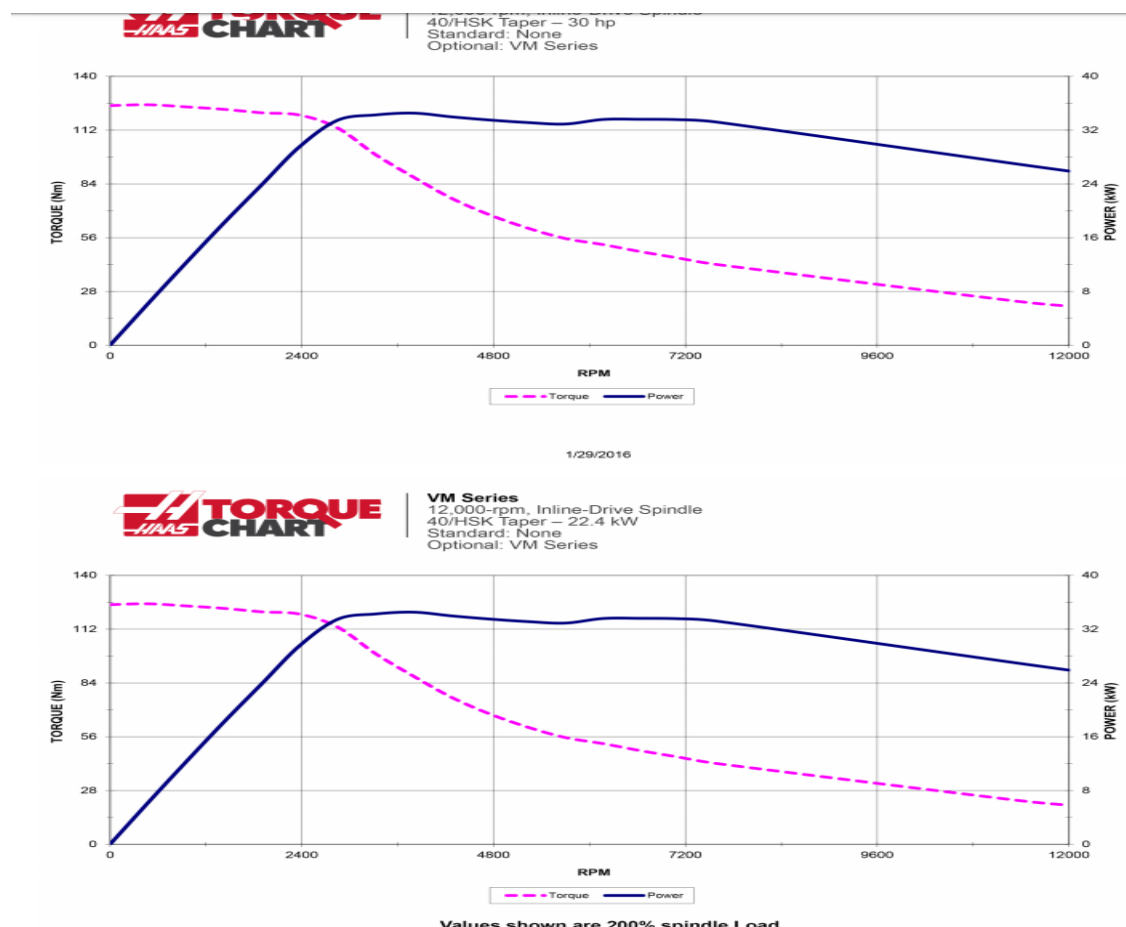
AIR REQUIREMENTS	S.A.E	METRIC
Air Required	4 scfm @ 100 psi	113 L/min @ 6.9 bar
Inline Air Hose	3/8 in	3/8 in
Coupler (Air)	3/8 in	3/8 in
Air Pressure Min	80 psi	5.5 bar

Εικόνα 10.3: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

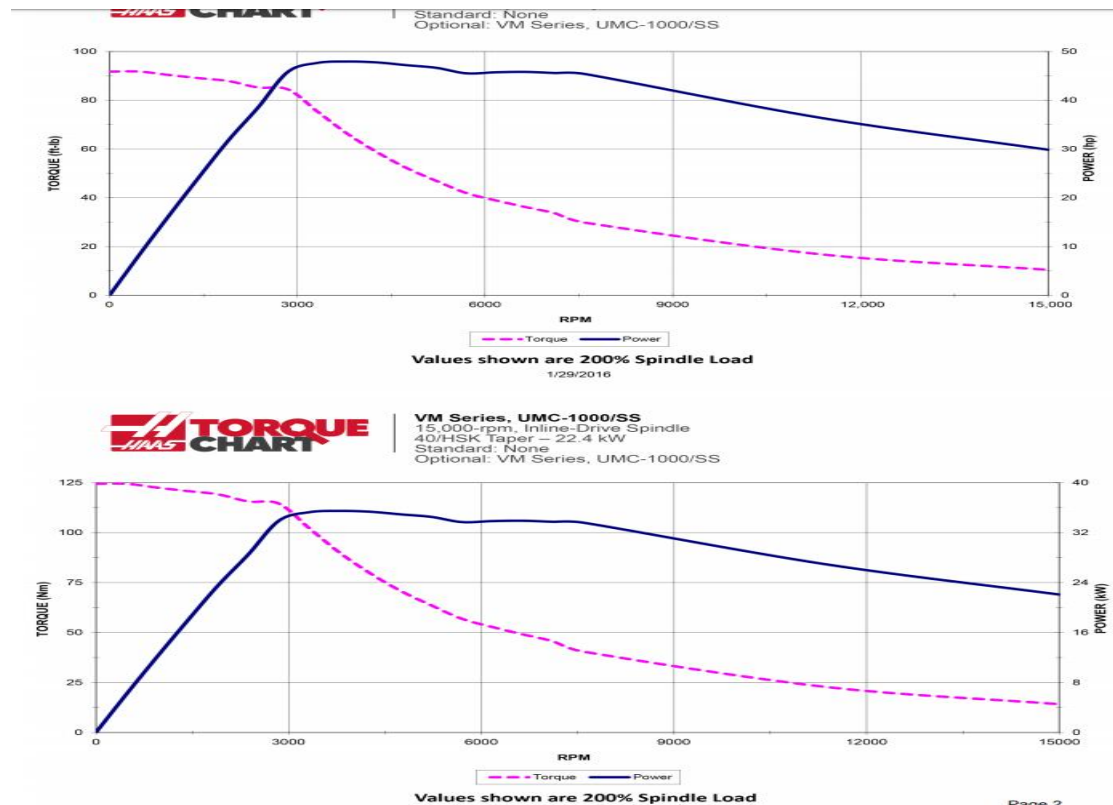
DIMENSIONS - SHIPPING	S.A.E	METRIC
Domestic Pallet	156 in x 102 in x 125 in	397 cm x 260 cm x 318 cm
Export Pallet	164 in x 92 in x 101 in	417 cm x 233 cm x 257 cm
Weight	15300 lb	6940.0 kg
Domestic Pallet w/50+1 SMTC	156 in 102 in 125 in	397 cm 260 cm 318 cm
Export Pallet w/50+1 SMTC	164 in 92 in 101 in	417 cm 233 cm 257 cm
Weight w/50+1 SMTC	15600 lb	7077 kg

ELECTRICAL SPECIFICATION	S.A.E	METRIC
Spindle Speed	12000 rpm	12000 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Spindle Power	30.0 hp	22.4 kW
Input AC Voltage (3 Phase) - Low	220 VAC	220 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - Low	70 A	70 A
Input AC Voltage (3 Phase) - High	440 VAC	440 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - High	35 A	35 A

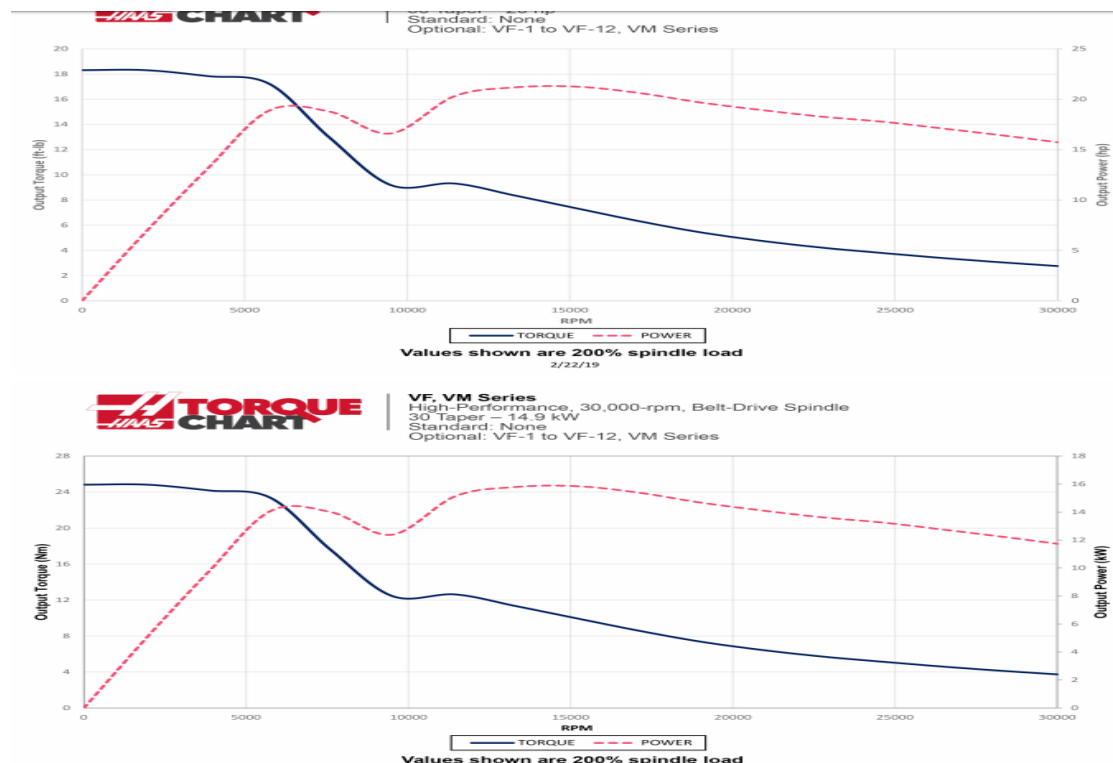
Εικόνα 10.4: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3



Εικόνα 10.5: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3



Εικόνα 10.6: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3



Εικόνα 10.7: Τεχνικό φυλλάδιο HAAS VM-3

Τεχνικά Φυλλάδια Κοπτικών Εργαλείων

Kennametal 50A05RS90ED14D

Πλακίδια κεφαλής: EDCT140408PDFRLDJKC410M

ADDITIONAL INFORMATION

SKU	2623941
Manufacturer	Kennametal
Tool Group	Mill 1-14, Indexable Shell Mills
Mill Type	Shell Mill
D1 - mm	50.00
D - mm	22.00
D6 - mm	45.00
L - mm	40.00
Ap1 max	14.30
Z - mm	5.00
Max Ramp Angle°	3.80
KG	0.30
Max RPM	25,000.00
Platform	Mill 1-14

Εικόνα 10.8: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø50

PRODUCT USAGE /

Insert Selection		Inserts		Tool Body		Speeds & Feeds		Grades		Spare Parts		Application Data											
Recommended Starting Speeds [m/min]																							
Material Group		KC410M			KC422M			KC520M			KC522M			KC725M			KCK15			KCPM20			
P	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	330	285	270	260	230	215	-	-	-	550	485	450	45
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	240	200	220	190	160	-	-	-	340	310	275	28
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255	215	175	200	170	140	-	-	-	310	275	255	25
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	225	185	150	180	150	120	-	-	-	230	215	190	19
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	170	150	150	135	120	-	-	-	275	250	230	26
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	125	100	130	100	80	-	-	-	190	170	145	16
M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205	180	165	170	150	135	-	-	-	225	200	175	20
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	160	130	155	130	110	-	-	-	205	175	160	18
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140	120	95	115	100	80	-	-	-	160	145	125	14
K	1	-	-	-	-	-	-	270	245	215	230	205	185	-	-	-	420	385	340	360	325	295	29
	2	-	-	-	-	-	-	210	190	175	180	160	150	-	-	-	335	295	275	285	255	235	23
	3	-	-	-	-	-	-	175	160	145	150	135	120	-	-	-	280	250	230	240	215	200	19
N	1-2	1215	1080	995	1075	945	875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	1080	995	915	945	875	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	40	25	45	35	25	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	50	35	60	45	30	-	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	90	70	-	-	-	-	-	-	140	115	95	-

Εικόνα 10.9: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø50

Recommended Starting Feeds [mm]																
Insert Geometry	Recommended Starting Feed per Tooth (Fz) in Relation to % of Radial Engagement (ae)															Insert Geometry
	5%			10%			20%			30%			40-100%			
F.LDJ	0,12	0,46	0,82	0,08	0,33	0,59	0,06	0,25	0,44	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	F.LDJ
E.LDJ	0,12	0,47	0,82	0,08	0,34	0,59	0,06	0,26	0,44	0,06	0,22	0,39	0,05	0,20	0,35	E.LDJ
E.LD	0,12	0,46	0,81	0,09	0,33	0,58	0,07	0,25	0,43	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	E.LD
E.GD	0,17	0,52	0,89	0,12	0,38	0,64	0,09	0,28	0,48	0,08	0,24	0,42	0,07	0,22	0,38	E.GD
S.GE	0,23	0,51	0,89	0,17	0,37	0,64	0,13	0,27	0,48	0,11	0,24	0,42	0,10	0,22	0,38	S.GE
S.GD	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	S.GD
S.GD2	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	S.GD2
E.HD	0,23	0,59	0,95	0,17	0,43	0,68	0,13	0,32	0,51	0,11	0,28	0,44	0,10	0,25	0,41	E.HD
E.HD2	0,21	0,59	0,95	0,15	0,43	0,68	0,11	0,32	0,51	0,10	0,28	0,44	0,09	0,25	0,41	E.HD2
Light Machining			General Purpose						Heavy Machining							

Εικόνα 11.0: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø50

Φρεζοκεφαλή (Face Mill) Φ20: Kennametal 20A02R039B20SED14

Πλακίδια κεφαλής: EDCT140408PDFRLDJKC410M

ADDITIONAL INFORMATION

SKU	2622232
Manufacturer	Kennametal
Tool Group	Mill 1-14, End Mills, Weldon
Mill Type	End Mill
D1 - mm	20.00
D - mm	20.00
L - mm	90.00
L2 - mm	39.00
Ap1 max	14.70
Z - mm	2.00
Max Ramp Angle°	16.80
KG	0.17
Max RPM	47,500.00
Platform	Mill 1-14

Εικόνα 11.1: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

PRODUCT USAGE /

Insert Selection		Inserts		Tool Body		Speeds & Feeds		Grades		Spare Parts		Application Data											
Recommended Starting Speeds [m/min]																							
Material Group		KC410M			KC422M			KC520M			KC522M			KC725M			KCK15			KCPM20			
P	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	330	285	270	260	230	215	-	-	-	550	485	450	45
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	240	200	220	190	160	-	-	-	340	310	275	28
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255	215	175	200	170	140	-	-	-	310	275	255	25
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	225	185	150	180	150	120	-	-	-	230	215	190	19
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	170	150	150	135	120	-	-	-	275	250	230	26
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	125	100	130	100	80	-	-	-	190	170	145	16
M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205	180	165	170	150	135	-	-	-	225	200	175	20
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	160	130	155	130	110	-	-	-	205	175	160	18
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140	120	95	115	100	80	-	-	-	160	145	125	14
K	1	-	-	-	-	-	-	270	245	215	230	205	185	-	-	-	420	385	340	360	325	295	29
	2	-	-	-	-	-	-	210	190	175	180	160	150	-	-	-	335	295	275	285	255	235	23
	3	-	-	-	-	-	-	175	160	145	150	135	120	-	-	-	280	250	230	240	215	200	19
N	1-2	1215	1080	995	1075	945	875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	1080	995	915	945	875	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	40	25	45	35	25	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	50	35	60	45	30	-	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	90	70	-	-	-	-	-	-	140	115	95	-

Εικόνα 11.2: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Speeds [m/min]																							
Material Group		KC410M			KC422M			KC520M			KC522M			KC725M			KCK15			KCPM20			
P	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	330	285	270	260	230	215	-	-	-	550	485	450	45
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	240	200	220	190	160	-	-	-	340	310	275	28
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255	215	175	200	170	140	-	-	-	310	275	255	25
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	225	185	150	180	150	120	-	-	-	230	215	190	19
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	170	150	150	135	120	-	-	-	275	250	230	26
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165	125	100	130	100	80	-	-	-	190	170	145	16
M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205	180	165	170	150	135	-	-	-	225	200	175	20
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	160	130	155	130	110	-	-	-	205	175	160	18
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140	120	95	115	100	80	-	-	-	160	145	125	14
K	1	-	-	-	-	-	-	270	245	215	230	205	185	-	-	-	420	385	340	360	325	295	29
	2	-	-	-	-	-	-	210	190	175	180	160	150	-	-	-	335	295	275	285	255	235	23
	3	-	-	-	-	-	-	175	160	145	150	135	120	-	-	-	280	250	230	240	215	200	19
N	1-2	1215	1080	995	1075	945	875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	1080	995	915	945	875	760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	35	25	35	30	25	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	40	25	45	35	25	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	50	35	60	45	30	-	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	90	70	-	-	-	-	-	-	140	115	95	-

Εικόνα 11.3: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Feeds [mm]

Insert Geometry	Recommended Starting Feed per Tooth (Fz) in Relation to % of Radial Engagement (ae)															Insert Geometry
	5%			10%			20%			30%			40-100%			
.F.LDJ	0,12	0,46	0,82	0,08	0,33	0,59	0,06	0,25	0,44	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	.F.LDJ
.E.LDJ	0,12	0,47	0,82	0,08	0,34	0,59	0,06	0,26	0,44	0,06	0,22	0,39	0,05	0,20	0,35	.E.LDJ
.E.LD	0,12	0,46	0,81	0,09	0,33	0,58	0,07	0,25	0,43	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	.E.LD
.E.GD	0,17	0,52	0,89	0,12	0,38	0,64	0,09	0,28	0,48	0,08	0,24	0,42	0,07	0,22	0,38	.E.GD
.S.GE	0,23	0,51	0,89	0,17	0,37	0,64	0,13	0,27	0,48	0,11	0,24	0,42	0,10	0,22	0,38	.S.GE
.S.GD	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	.S.GD
.S.GD2	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	.S.GD2
.E.HD	0,23	0,59	0,95	0,17	0,43	0,68	0,13	0,32	0,51	0,11	0,28	0,44	0,10	0,25	0,41	.E.HD
.E.HD2	0,21	0,59	0,95	0,15	0,43	0,68	0,11	0,32	0,51	0,10	0,28	0,44	0,09	0,25	0,41	.E.HD2
Light Machining			General Purpose						Heavy Machining							

Εικόνα 11.4: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Feeds [mm]

Insert Geometry	Recommended Starting Feed per Tooth (Fz) in Relation to % of Radial Engagement (ae)															Insert Geometry
	5%			10%			20%			30%			40-100%			
.F.LDJ	0,12	0,46	0,82	0,08	0,33	0,59	0,06	0,25	0,44	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	.F.LDJ
.E.LDJ	0,12	0,47	0,82	0,08	0,34	0,59	0,06	0,26	0,44	0,06	0,22	0,39	0,05	0,20	0,35	.E.LDJ
.E.LD	0,12	0,46	0,81	0,09	0,33	0,58	0,07	0,25	0,43	0,06	0,22	0,38	0,05	0,20	0,35	.E.LD
.E.GD	0,17	0,52	0,89	0,12	0,38	0,64	0,09	0,28	0,48	0,08	0,24	0,42	0,07	0,22	0,38	.E.GD
.S.GE	0,23	0,51	0,89	0,17	0,37	0,64	0,13	0,27	0,48	0,11	0,24	0,42	0,10	0,22	0,38	.S.GE
.S.GD	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	.S.GD
.S.GD2	0,23	0,50	0,88	0,17	0,36	0,63	0,13	0,27	0,47	0,11	0,24	0,41	0,10	0,22	0,38	.S.GD2
.E.HD	0,23	0,59	0,95	0,17	0,43	0,68	0,13	0,32	0,51	0,11	0,28	0,44	0,10	0,25	0,41	.E.HD
.E.HD2	0,21	0,59	0,95	0,15	0,43	0,68	0,11	0,32	0,51	0,10	0,28	0,44	0,09	0,25	0,41	.E.HD2
Light Machining			General Purpose						Heavy Machining							

Εικόνα 11.5: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Speeds and Feeds [SFM]

Material Group		KC410M		KC422M		KC520M		KC522M		KC725M		KCK15		KCPM20						
P	1	-	-	-	-	-	-	-	1080	940	880	860	750	700	-	-	-	1810	1590	
	2	-	-	-	-	-	-	-	900	790	660	720	630	530	-	-	-	1120	1010	
	3	-	-	-	-	-	-	-	830	700	580	660	560	460	-	-	-	1010	910	
	4	-	-	-	-	-	-	-	740	610	490	590	490	390	-	-	-	760	700	
	5	-	-	-	-	-	-	-	610	550	490	490	440	390	-	-	-	910	820	
	6	-	-	-	-	-	-	-	540	410	330	430	330	260	-	-	-	630	550	
M	1	-	-	-	-	-	-	-	670	590	540	560	490	450	-	-	-	730	655	
	2	-	-	-	-	-	-	-	610	520	430	510	430	360	-	-	-	670	580	
	3	-	-	-	-	-	-	-	460	400	310	380	330	260	-	-	-	530	475	
K	1	-	-	-	-	-	880	800	710	750	680	600	-	-	-	1380	1255	1115	1180	1070
	2	-	-	-	-	-	690	620	580	590	530	490	-	-	-	1095	975	910	940	840
	3	-	-	-	-	-	580	520	470	490	440	400	-	-	-	920	815	750	790	700
N	1-2	3990	3550	3270	3520	3100	2870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	3550	3270	3000	3100	2870	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1	-	-	-	-	-	-	-	130	120	90	115	100	80	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	130	120	90	115	100	80	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	170	130	90	150	115	80	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	230	170	120	200	150	100	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	-	-	-	-	390	300	230	-	-	-	-	-	-	-	460	380

Εικόνα 11.6: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Speeds and Feeds [SFM]

Material Group		KC410M		KC422M		KC520M		KC522M		KC725M		KCK15		KCPM20						
P	1	-	-	-	-	-	-	-	1080	940	880	860	750	700	-	-	-	1810	1590	
	2	-	-	-	-	-	-	-	900	790	660	720	630	530	-	-	-	1120	1010	
	3	-	-	-	-	-	-	-	830	700	580	660	560	460	-	-	-	1010	910	
	4	-	-	-	-	-	-	-	740	610	490	590	490	390	-	-	-	760	700	
	5	-	-	-	-	-	-	-	610	550	490	490	440	390	-	-	-	910	820	
	6	-	-	-	-	-	-	-	540	410	330	430	330	260	-	-	-	630	550	
M	1	-	-	-	-	-	-	-	670	590	540	560	490	450	-	-	-	730	655	
	2	-	-	-	-	-	-	-	610	520	430	510	430	360	-	-	-	670	580	
	3	-	-	-	-	-	-	-	460	400	310	380	330	260	-	-	-	530	475	
K	1	-	-	-	-	-	880	800	710	750	680	600	-	-	-	1380	1255	1115	1180	1070
	2	-	-	-	-	-	690	620	580	590	530	490	-	-	-	1095	975	910	940	840
	3	-	-	-	-	-	580	520	470	490	440	400	-	-	-	920	815	750	790	700
N	1-2	3990	3550	3270	3520	3100	2870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	3580	3270	3000	3100	2870	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1	-	-	-	-	-	-	-	130	120	90	115	100	80	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	130	120	90	115	100	80	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	170	130	90	150	115	80	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	230	170	120	200	150	100	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	-	-	-	-	390	300	230	-	-	-	-	-	-	-	460	380

Εικόνα 11.7: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Recommended Starting Feeds [IPT]																
Insert Geometry	Recommended Starting Feed per Tooth (Fz) in Relation to % of Radial Engagement (ae)														Insert Geometry	
	5%			10%			20%			30%			40-100%			
F.LDJ	.005	.013	.023	.003	.009	.017	.003	.007	.013	.002	.006	.011	.002	.006	.010	F.LDJ
E.LDJ	.005	.017	.028	.003	.012	.020	.003	.009	.015	.002	.008	.013	.002	.007	.012	E.LDJ
E.LD	.005	.016	.028	.004	.012	.020	.003	.009	.015	.002	.008	.013	.002	.007	.012	E.LD
E.GD	.007	.019	.032	.005	.013	.023	.004	.010	.017	.003	.009	.015	.003	.008	.014	E.GD
S.GE	.009	.020	.032	.007	.014	.023	.005	.011	.017	.004	.009	.015	.004	.009	.014	S.GE
S.GD	.009	.020	.032	.007	.014	.023	.005	.011	.017	.004	.009	.015	.004	.009	.014	S.GD
S.GD2	.009	.020	.032	.007	.014	.023	.005	.011	.017	.004	.009	.015	.004	.009	.014	S.GD2
E.HD	.009	.023	.037	.007	.017	.027	.005	.013	.020	.004	.011	.017	.004	.010	.016	E.HD
E.HD2	.008	.023	.037	.006	.017	.027	.004	.013	.020	.004	.011	.017	.004	.010	.016	E.HD2
Light Machining			General Purpose						Heavy Machining							

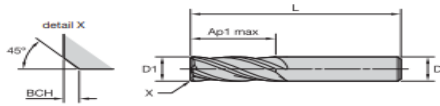
Recommended Starting Feeds [IPT]																
Insert Geometry	Recommended Starting Feed per Tooth (Fz) in Relation to % of Radial Engagement (ae)														Insert Geometry	
	5%			10%			20%			30%			40-100%			
F.LDJ	.005	.019	.033	.003	.013	.023	.003	.010	.018	.002	.009	.015	.002	.008	.014	F.LDJ
E.LDJ	.005	.019	.033	.003	.014	.024	.003	.010	.018	.002	.009	.015	.002	.008	.014	E.LDJ
E.LD	.005	.018	.032	.004	.013	.023	.003	.010	.017	.002	.009	.015	.002	.008	.014	E.LD
E.GD	.007	.020	.035	.005	.015	.025	.004	.011	.019	.003	.010	.016	.003	.009	.015	E.GD
S.GE	.009	.020	.035	.007	.014	.025	.005	.011	.019	.004	.009	.017	.004	.009	.015	S.GE
S.GD	.009	.020	.035	.007	.014	.025	.005	.011	.019	.004	.009	.016	.004	.009	.015	S.GD
S.GD2	.009	.020	.035	.007	.014	.025	.005	.011	.019	.004	.009	.016	.004	.009	.015	S.GD2
E.HD	.009	.023	.037	.007	.017	.027	.005	.013	.020	.004	.011	.017	.004	.010	.016	E.HD
E.HD2	.008	.023	.037	.006	.017	.027	.004	.013	.020	.004	.011	.017	.004	.010	.016	E.HD2

Εικόνα 11.8: Φρεζοκεφαλή (Face mill) Ø20

Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) Φ6: Kennametal 4CH0600DD013A

KC633M

• Centre cutting.



D1	tolerance e8	D	tolerance h6 + / -
≤ 3	-0,014/-0,028	≤ 3	0/0,006
> 3-6	-0,020/-0,038	> 3-6	0/0,008
> 6-10	-0,025/-0,047	> 6-10	0/0,009
> 10-18	-0,032/-0,059	> 10-18	0/0,011
> 18-30	-0,040/-0,073	> 18-30	0/0,013

■ 4CH..DD • 4 Flute • Metric



● first choice
○ alternate choice

KC633M	D1	D	length of cut Ap1 max	length L	BCH
4CH0400DD011A	4,0	4	11,00	50	0,10
4CH0500DD013A	5,0	5	13,00	50	0,10
4CH0600DD013A	6,0	6	13,00	57	0,10
4CH0800DD019A	8,0	8	19,00	63	0,20
4CH1000DD022A	10,0	10	22,00	72	0,20
4CH1200DD026A	12,0	12	26,00	83	0,30
4CH1400DD026A	14,0	14	26,00	83	0,30
4CH1600DD032A	16,0	16	32,00	92	0,30
4CH1800DD032A	18,0	18	32,00	92	0,30
4CH2000DD038A	20,0	20	38,00	104	0,30

NOTE: For application data, please see page 30.

Εικόνα 11.9: Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) Ø6

■ G0mill GP • 4CH..DL-DD-ML-MX • 4 Flute • Long • Extra Long

Material Group	Side Milling (A)		Cutting Speed – vc m/min		Recommended feed per tooth (fz = mm/th) for side milling (A).													
	A		min		max		D1 – Diameter											
	ap	ae	min	max	mm	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0		
P	0	Ap1 max	0,1 x D	150	–	200	fz	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	1	Ap1 max	0,1 x D	150	–	200	fz	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	2	Ap1 max	0,1 x D	140	–	190	fz	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	3	Ap1 max	0,1 x D	120	–	160	fz	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
M	4	Ap1 max	0,1 x D	90	–	150	fz	0,016	0,021	0,027	0,033	0,045	0,054	0,062	0,070	0,077	0,083	0,088
	1	Ap1 max	0,1 x D	90	–	115	fz	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
K	2	Ap1 max	0,1 x D	60	–	80	fz	0,014	0,019	0,024	0,029	0,040	0,048	0,056	0,063	0,070	0,076	0,081
	1	Ap1 max	0,1 x D	120	–	150	fz	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
N	2	Ap1 max	0,1 x D	110	–	140	fz	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
	1	Ap1 max	0,1 x D	250	–	1000	fz	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200
	2	Ap1 max	0,1 x D	250	–	750	fz	0,024	0,032	0,040	0,048	0,064	0,080	0,096	0,112	0,128	0,144	0,160
4	Ap1 max	0,1 x D	250	–	750	fz	0,027	0,036	0,045	0,054	0,072	0,090	0,108	0,126	0,144	0,162	0,180	

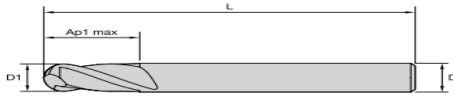
NOTE: Lower value of cutting speed is used for high stock removal applications or for higher hardness (machinability) within group.
Higher value of cutting speed is used for finishing applications or for lower hardness (machinability) within group.
Above parameters are based on ideal conditions. For smaller taper machining centres, please adjust parameters accordingly on >12mm diameter.

Εικόνα 12.0: Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) Ø6

Κονδύλι καρβιδίου Δίπτερο (Ball Nose) Φ3: Kennametal 2BN0300DD007A

KC633M

• Centre cutting.



End Mill Tolerances			
D1	tolerance e8	D	tolerance h6 + / -
≤ 3	-0,014/-0,028	≤ 3	0/0,006
> 3-6	-0,020/-0,038	> 3-6	0/0,008
> 6-10	-0,025/-0,047	> 6-10	0/0,009
> 10-18	-0,032/-0,059	> 10-18	0/0,011
> 18-30	-0,040/-0,073	> 18-30	0/0,013

■ 2BN..DD • 2 Flute • Ball Nose • Metric



● first choice
○ alternate choice

KC633M	D1	D	length of cut Ap1 max	length L
2BN0200DD007A	2,0	2	7,00	50
2BN0300DD007A	3,0	3	7,00	50
2BN0400DD008A	4,0	4	8,00	50
2BN0500DD010A	5,0	5	10,00	50
2BN0600DD010A	6,0	6	10,00	57
2BN0800DD016A	8,0	8	16,00	63
2BN1000DD019A	10,0	10	19,00	72
2BN1200DD022A	12,0	12	22,00	83
2BN1400DD022A	14,0	14	22,00	83
2BN1600DD026A	16,0	16	26,00	92
2BN2000DD032A	20,0	20	32,00	104

NOTE: For application data, please see page 13.

Εικόνα 12.1: Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) Ø6

■ GOMill GP • 2BN..DL-DD-ML-MX • 2 Flute • Ball Nose • Long • Extra Long

Material Group	ap		ae		min	max	mm	D1 – Diameter											
	ap	ae	min	max				2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
	P	0	Ap1 max	0,1 x D	150	-	200	fz	0,014	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108
	1	Ap1 max	0,1 x D	150	-	200	fz	0,014	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	2	Ap1 max	0,1 x D	140	-	190	fz	0,014	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	3	Ap1 max	0,1 x D	120	-	160	fz	0,011	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
	4	Ap1 max	0,1 x D	90	-	150	fz	0,010	0,016	0,021	0,027	0,033	0,045	0,054	0,062	0,070	0,077	0,083	0,088
M	1	Ap1 max	0,1 x D	90	-	115	fz	0,011	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
	2	Ap1 max	0,1 x D	60	-	80	fz	0,009	0,014	0,019	0,024	0,029	0,040	0,048	0,056	0,063	0,070	0,076	0,081
K	1	Ap1 max	0,1 x D	120	-	150	fz	0,014	0,021	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114
	2	Ap1 max	0,1 x D	110	-	140	fz	0,011	0,017	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101
N	1	Ap1 max	0,1 x D	250	-	1000	fz	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200
	2	Ap1 max	0,1 x D	250	-	750	fz	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,064	0,080	0,096	0,112	0,128	0,144	0,160
	3	Ap1 max	0,1 x D	250	-	750	fz	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054	0,072	0,090	0,108	0,126	0,144	0,162	0,180

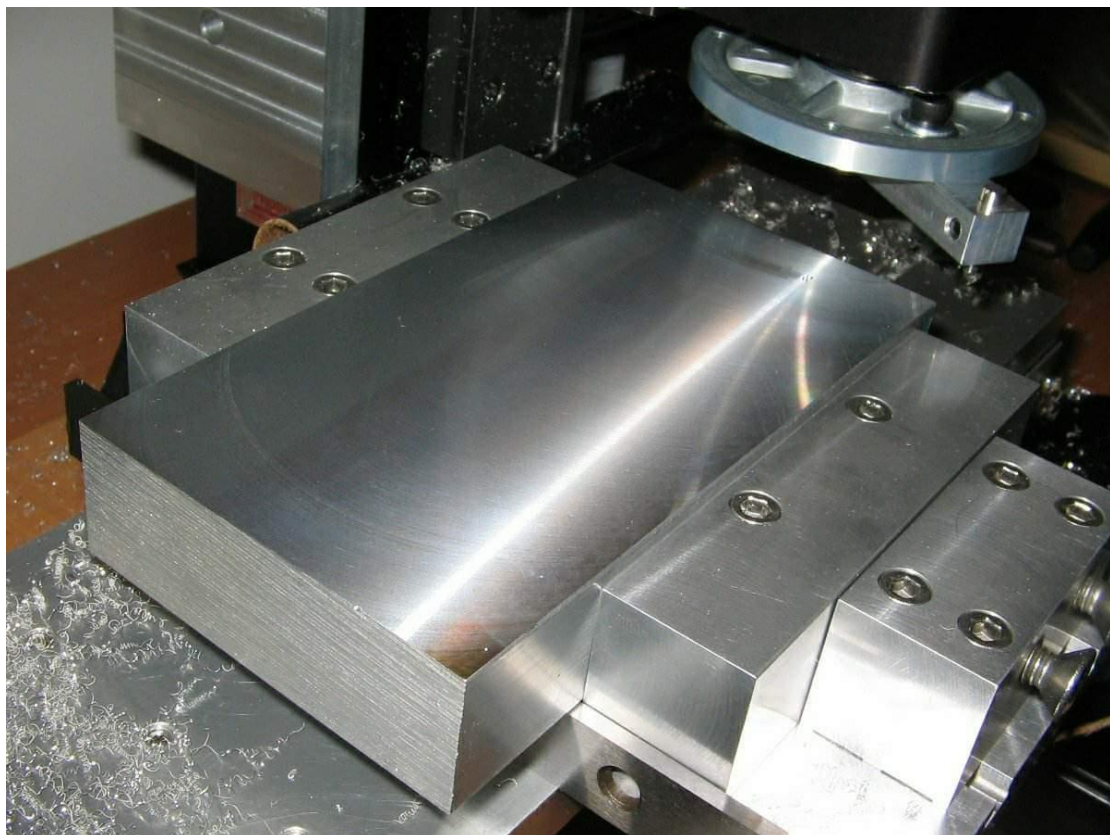
NOTE: Lower value of cutting speed is used for high stock removal applications or for higher hardness (machinability) within group.
Higher value of cutting speed is used for finishing applications or for lower hardness (machinability) within group.
Above parameters are based on ideal conditions. For smaller taper machining centres, please adjust parameters accordingly on >12mm diameter.

Εικόνα 12.2: Κονδύλι καρβιδίου τετράπτερο (End mill) Ø6

Technical Specifications	
Type	General Purpose
Material	HSS
Imperial/Metric	Metric
Drill Size	6 mm
Flute Length	57 mm
Overall Length	93 mm
Point Angle	118°
Point Form	Form C
Standard	DIN338
Finish	TiAIN
Application	Suitable for machine and hand held drilling.
Feature	Web thinned point for easier penetration. Split point for easier penetration.

Εικόνα 12.4: Τρυπάνι $\varnothing 6$

Εικόνες κατά την κατεργασία στην εργαλειομηχανή CNC

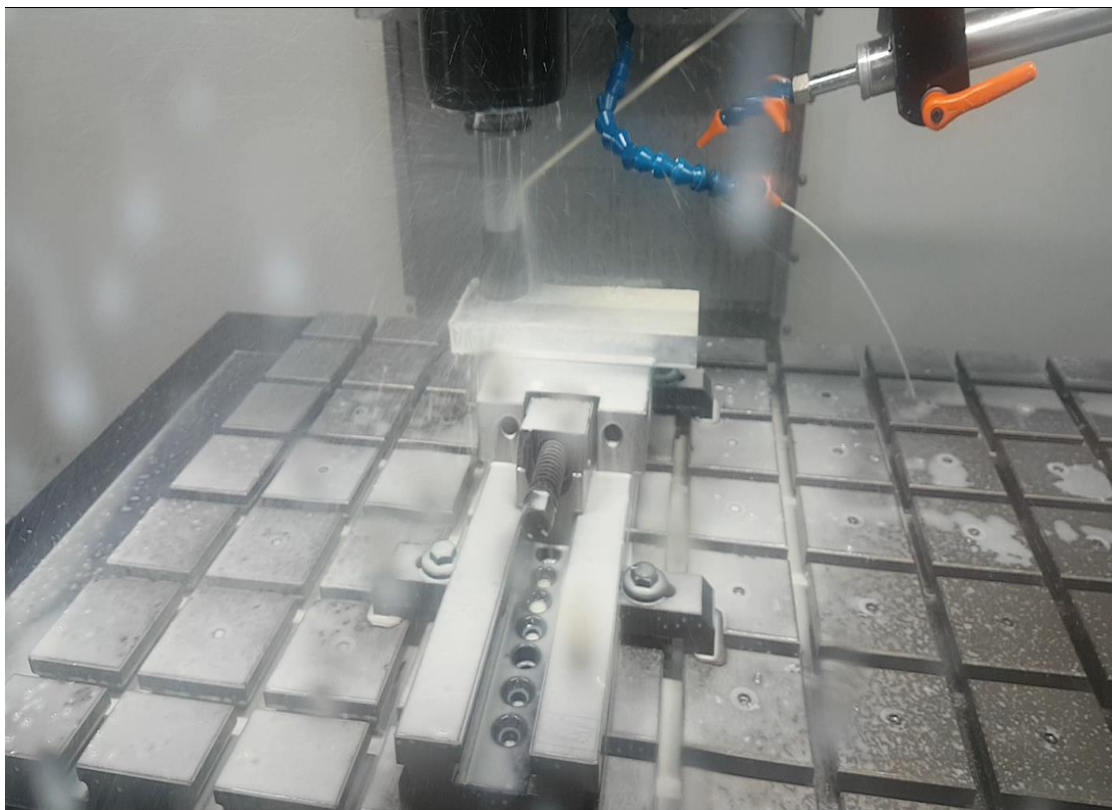


Εικόνα 12.5: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

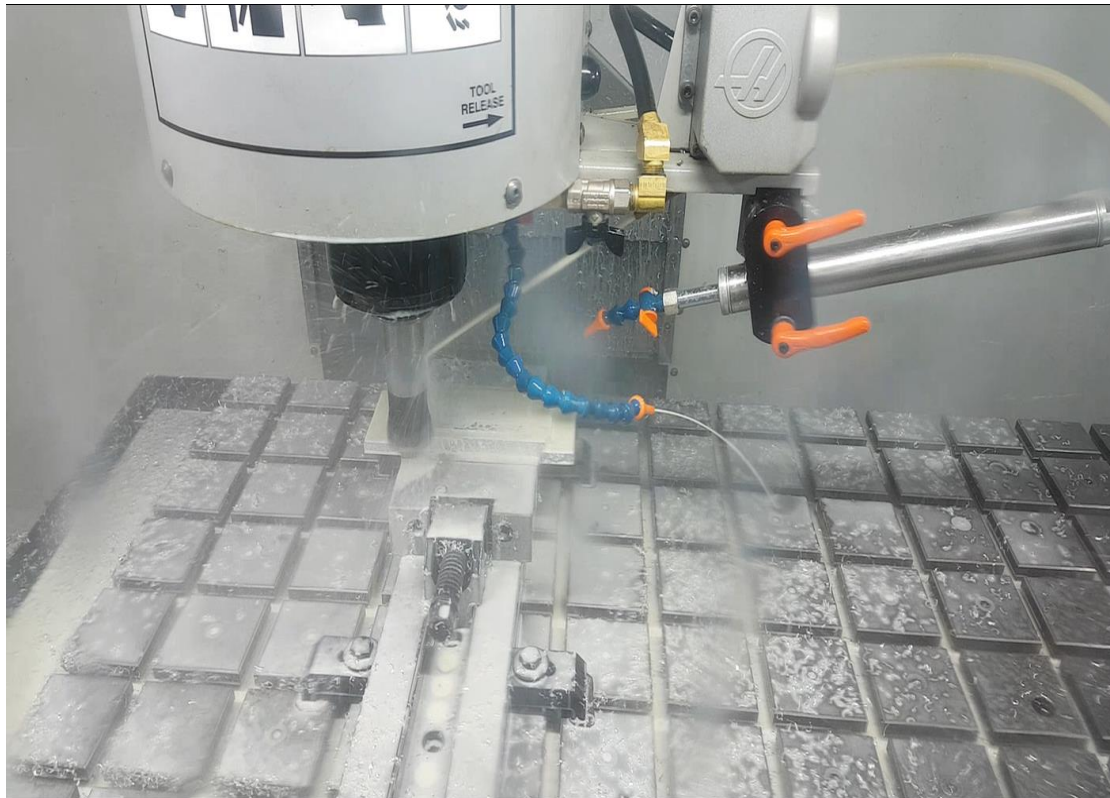


Εικόνα 12.6: Πρώτη φάση κατεργασίας

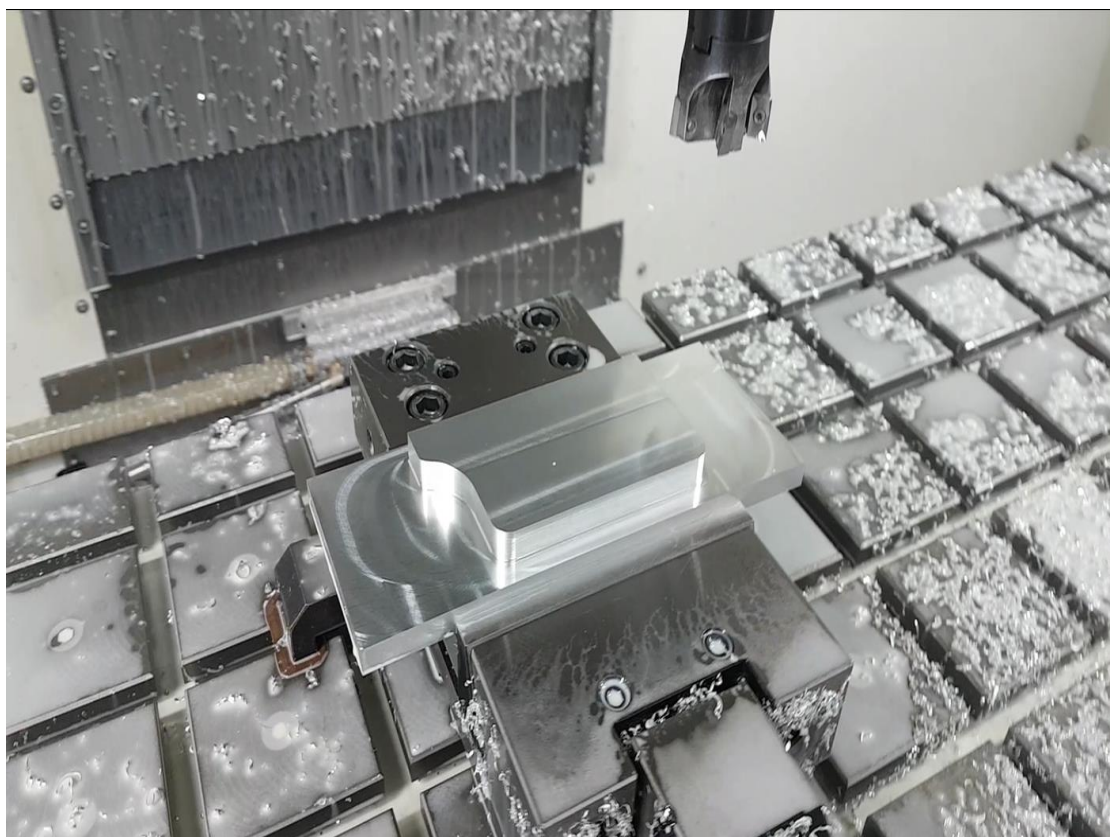


Εικόνα 12.7: Πρώτη φάση κατεργασίας

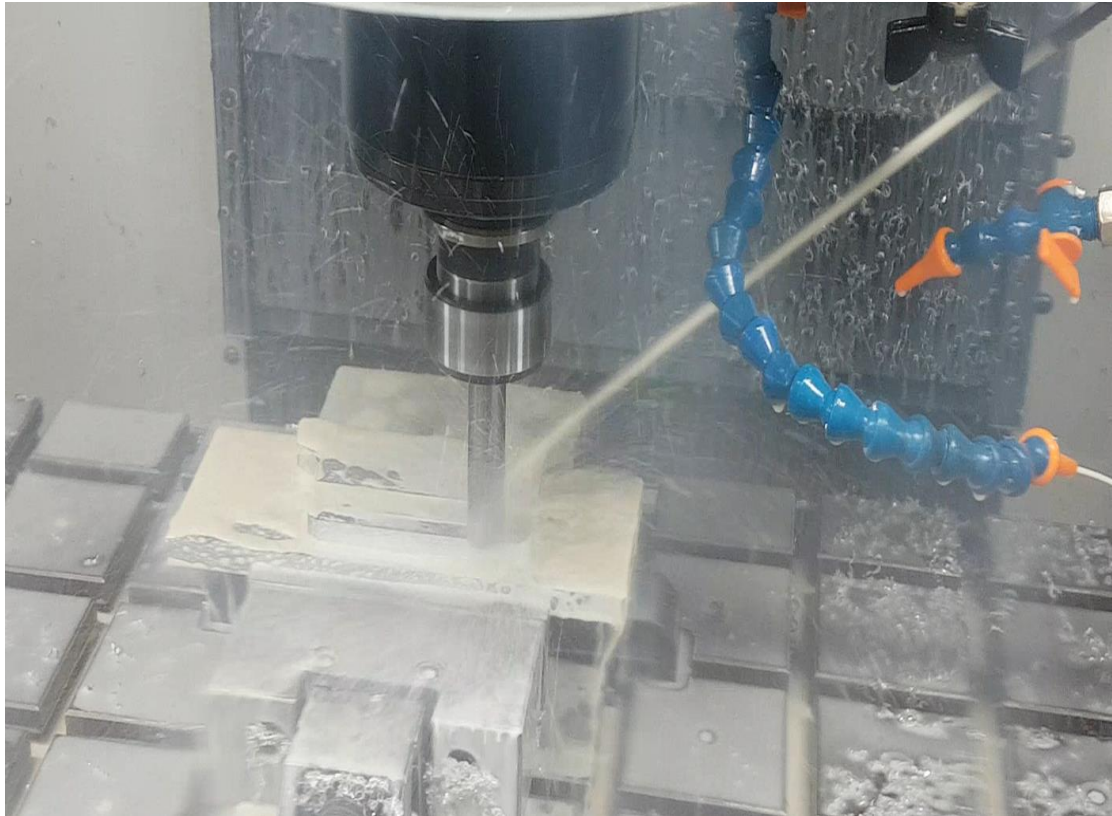
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



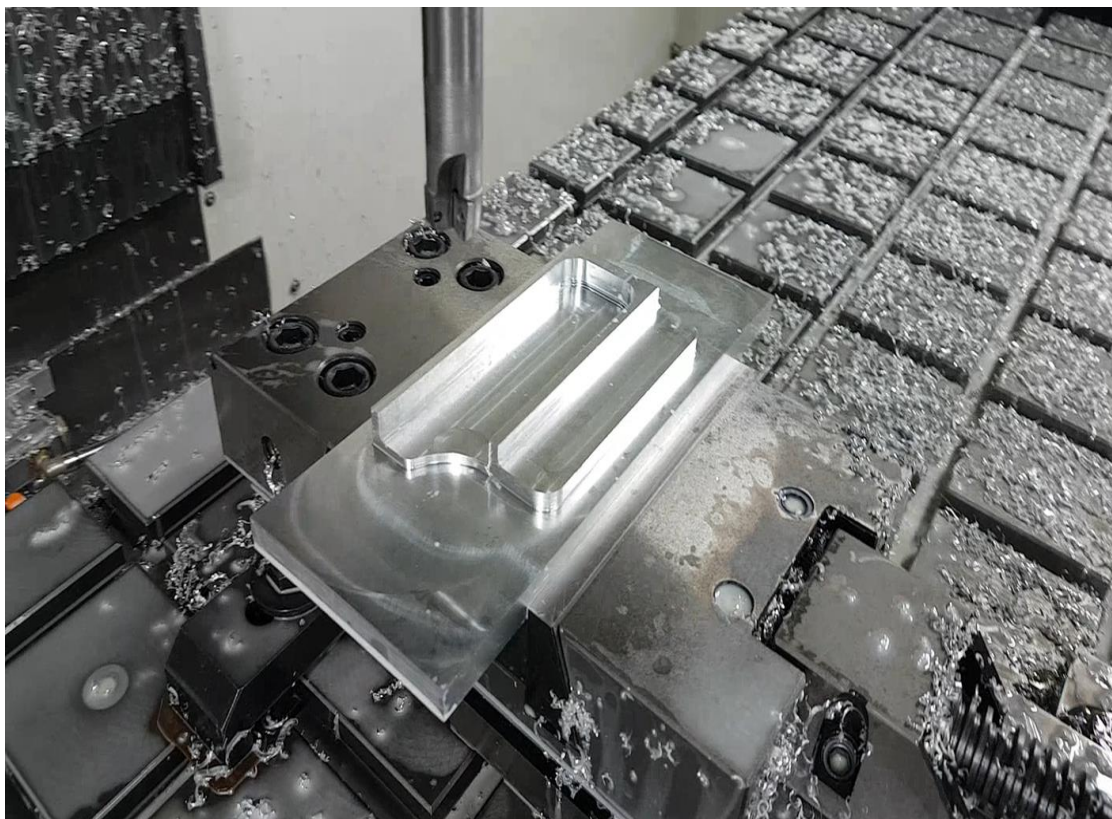
Εικόνα 12.8: Δεύτερη φάση κατεργασίας



Εικόνα 12.9: Δεύτερη φάση κατεργασίας



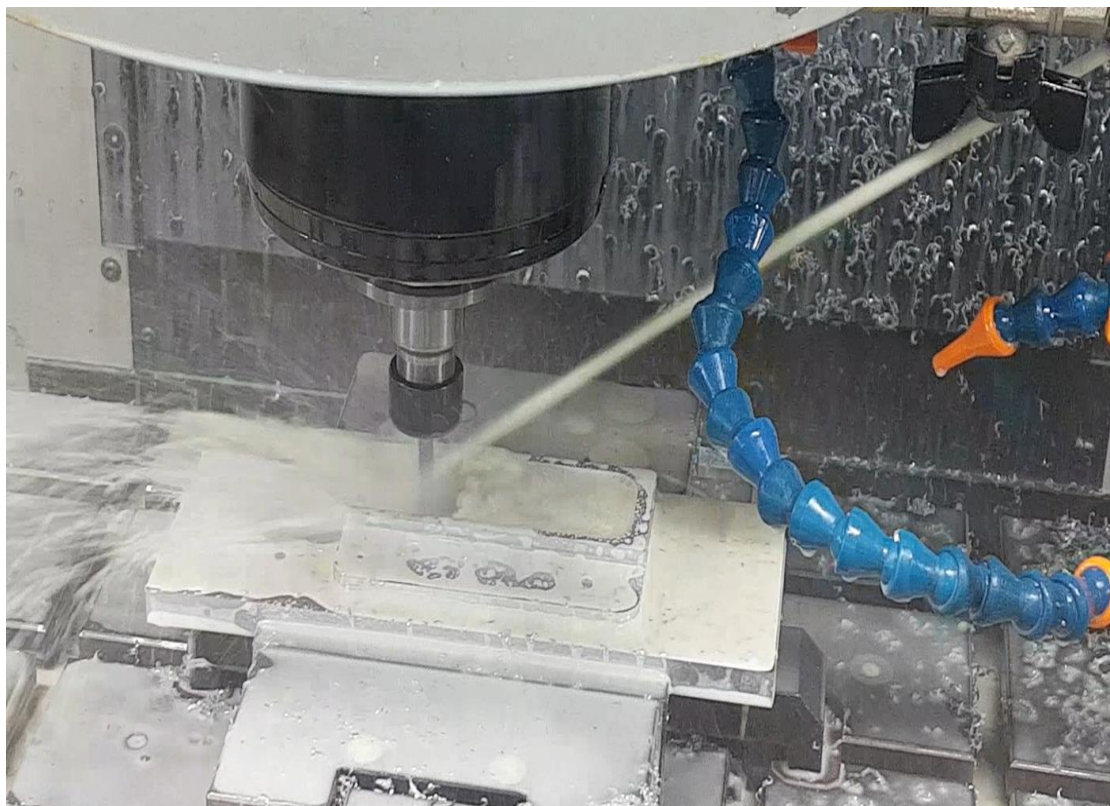
Εικόνα 13.0: Τρίτη φάση κατεργασίας



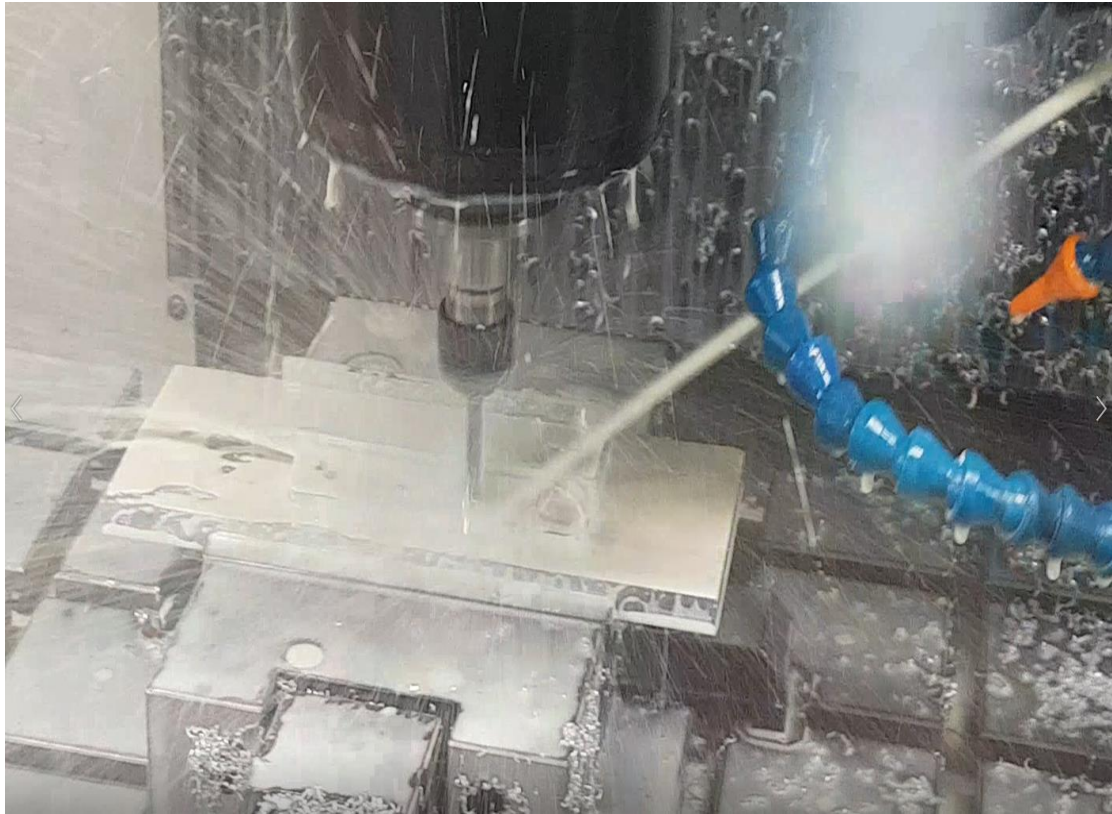
Εικόνα 13.1: Τρίτη φάση κατεργασίας



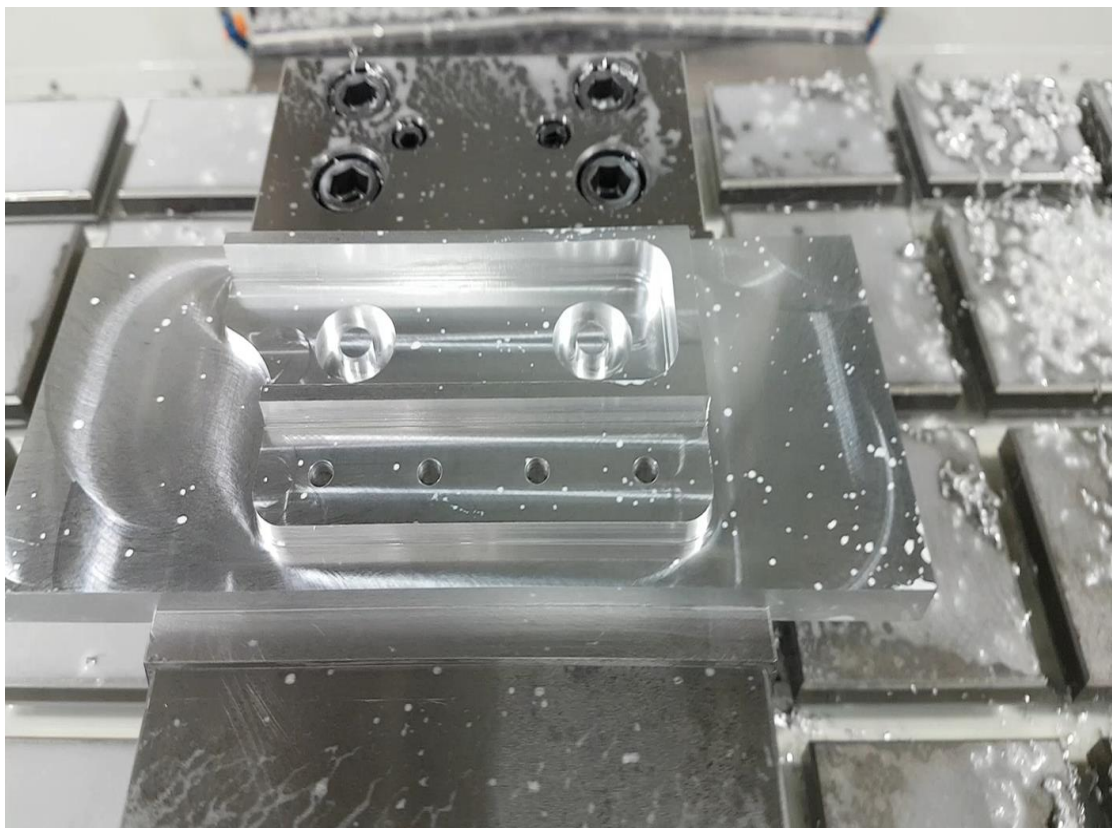
Εικόνα 13.2: Τέταρτη φάση κατεργασίας



Εικόνα 13.3: Τέταρτη φάση κατεργασίας



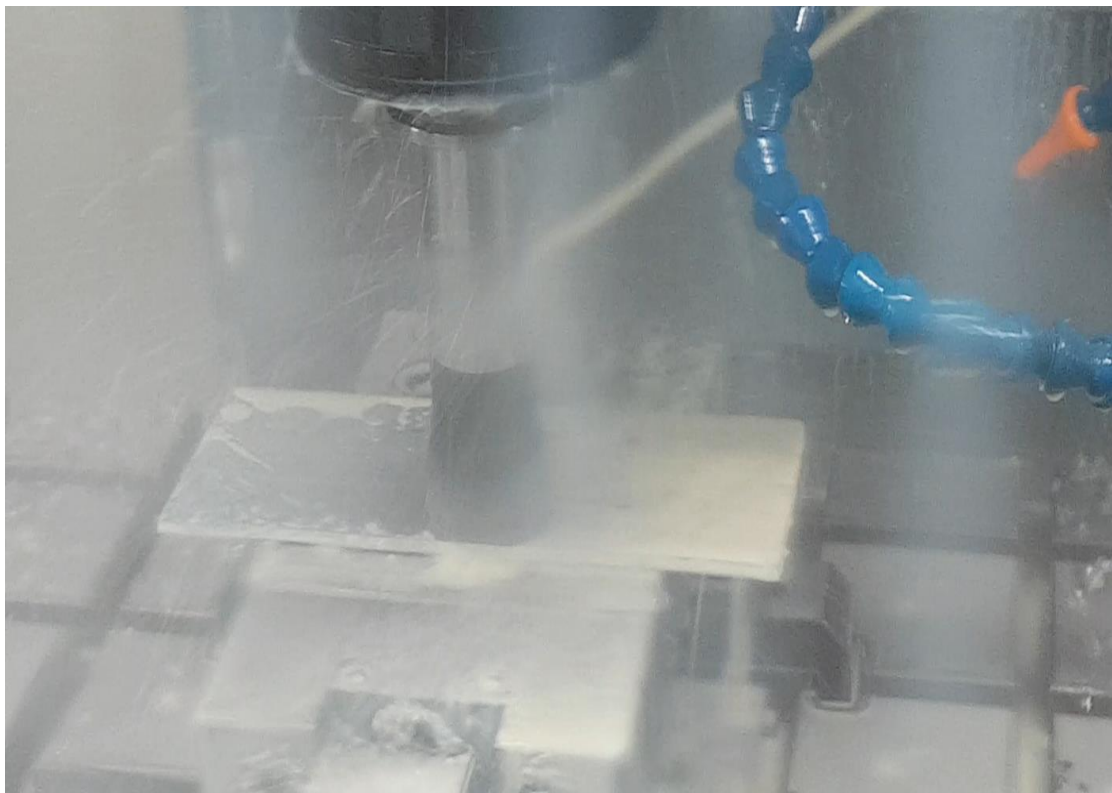
Εικόνα 13.4: Πέμπτη φάση κατεργασίας



Εικόνα 13.5: Πέμπτη φάση κατεργασίας

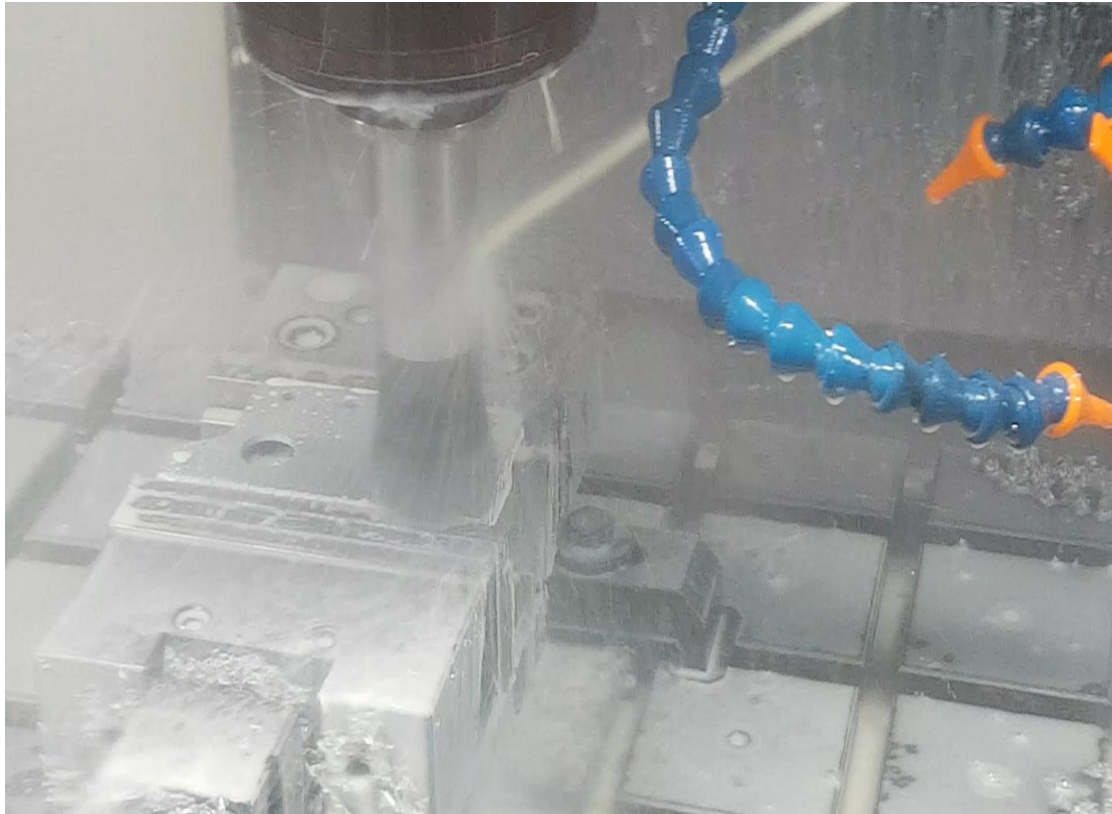


Εικόνα 13.6: Έκτη φάση κατεργασίας

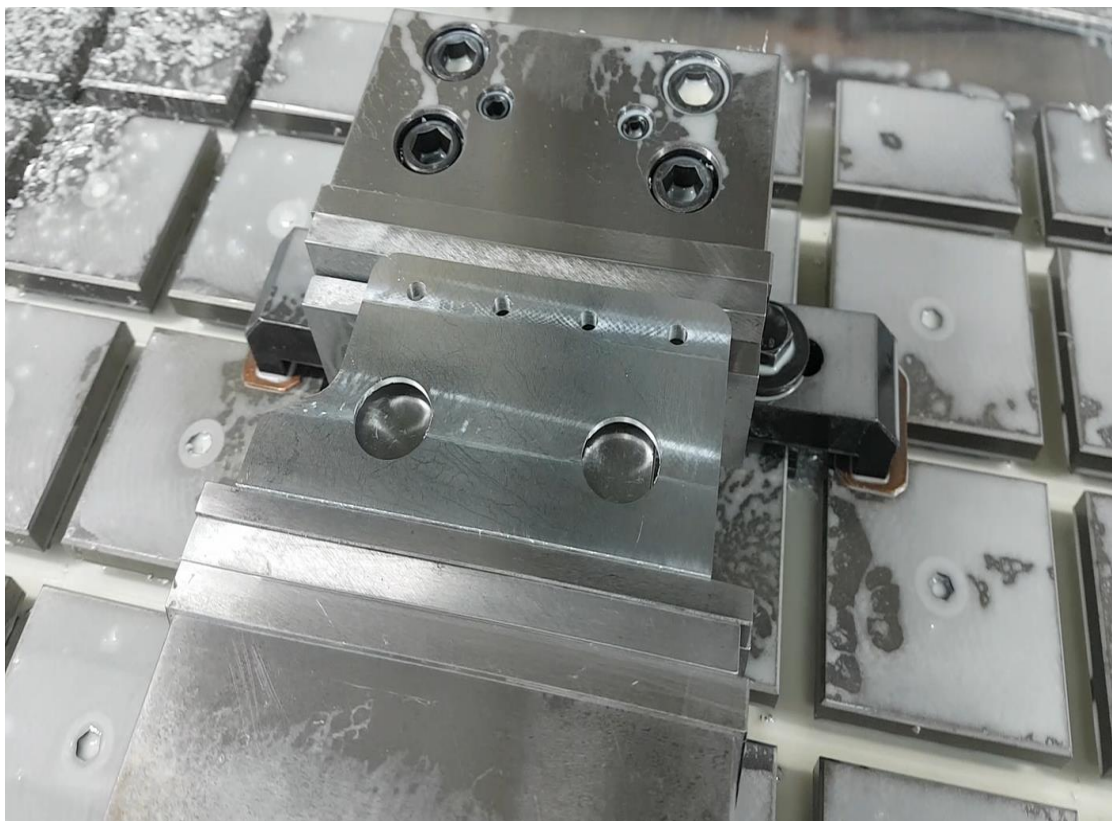


Εικόνα 13.7: Έβδομη φάση κατεργασίας

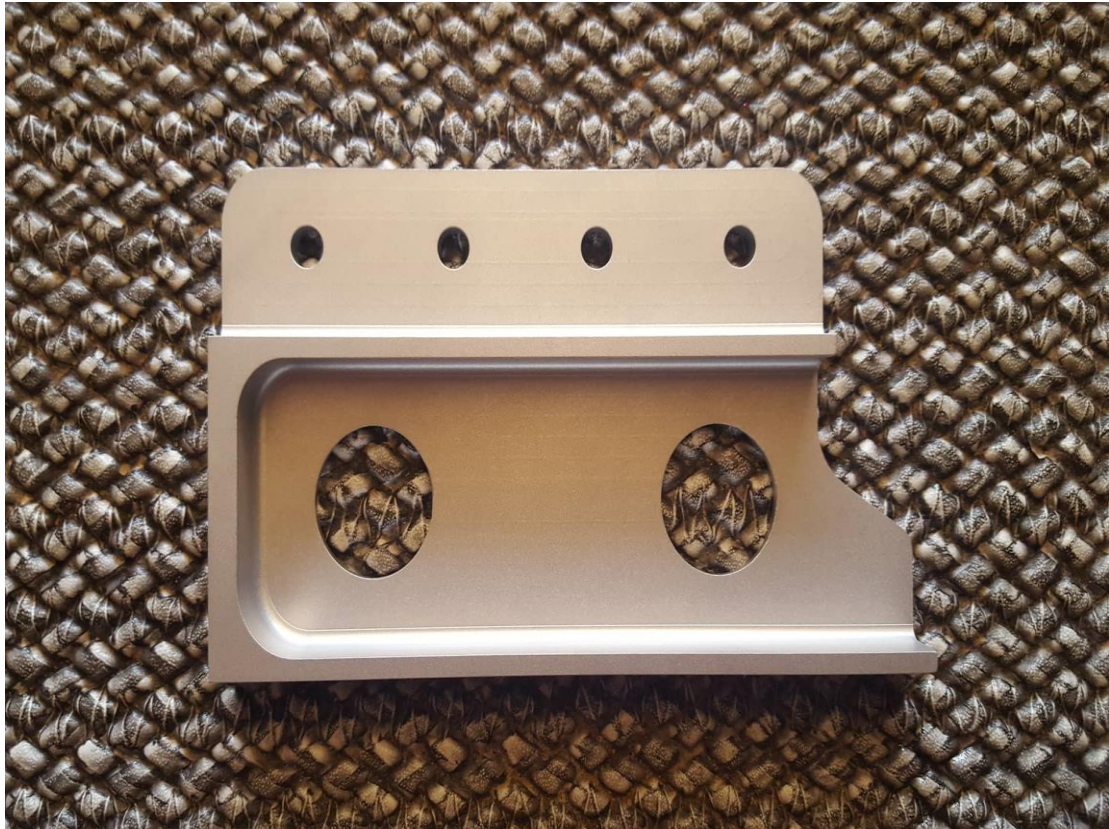
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



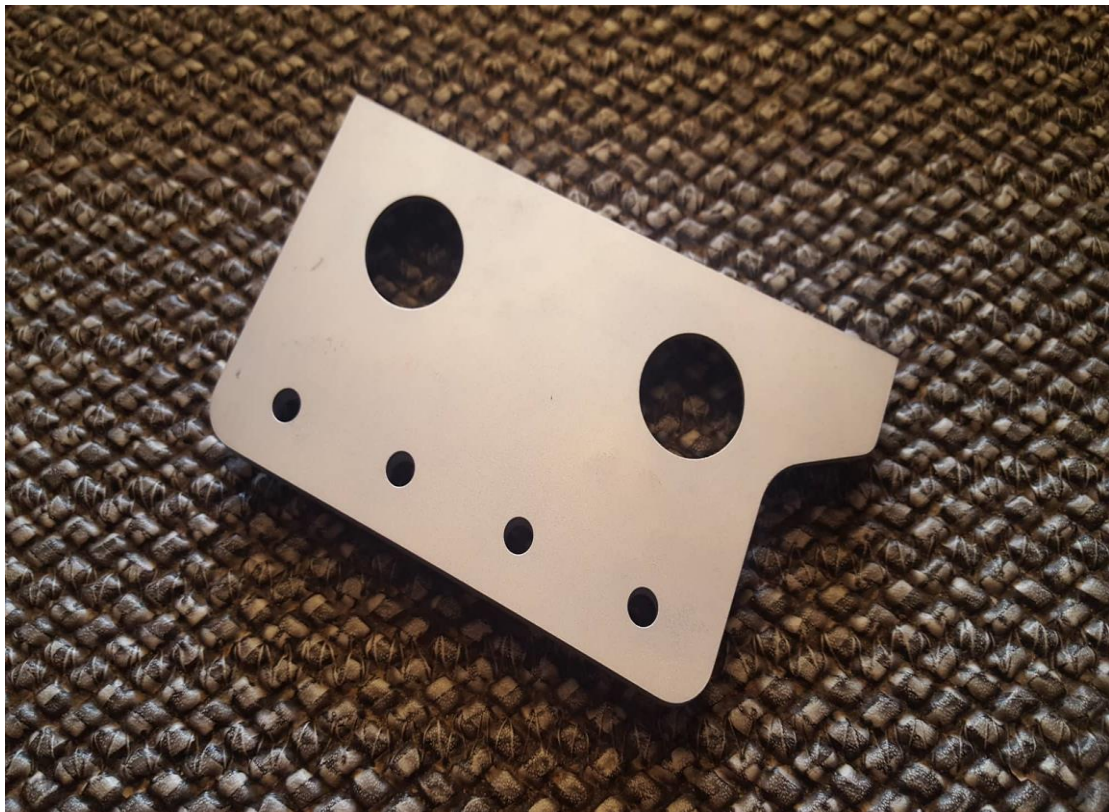
Εικόνα 13.8: Έβδομη φάση κατεργασίας



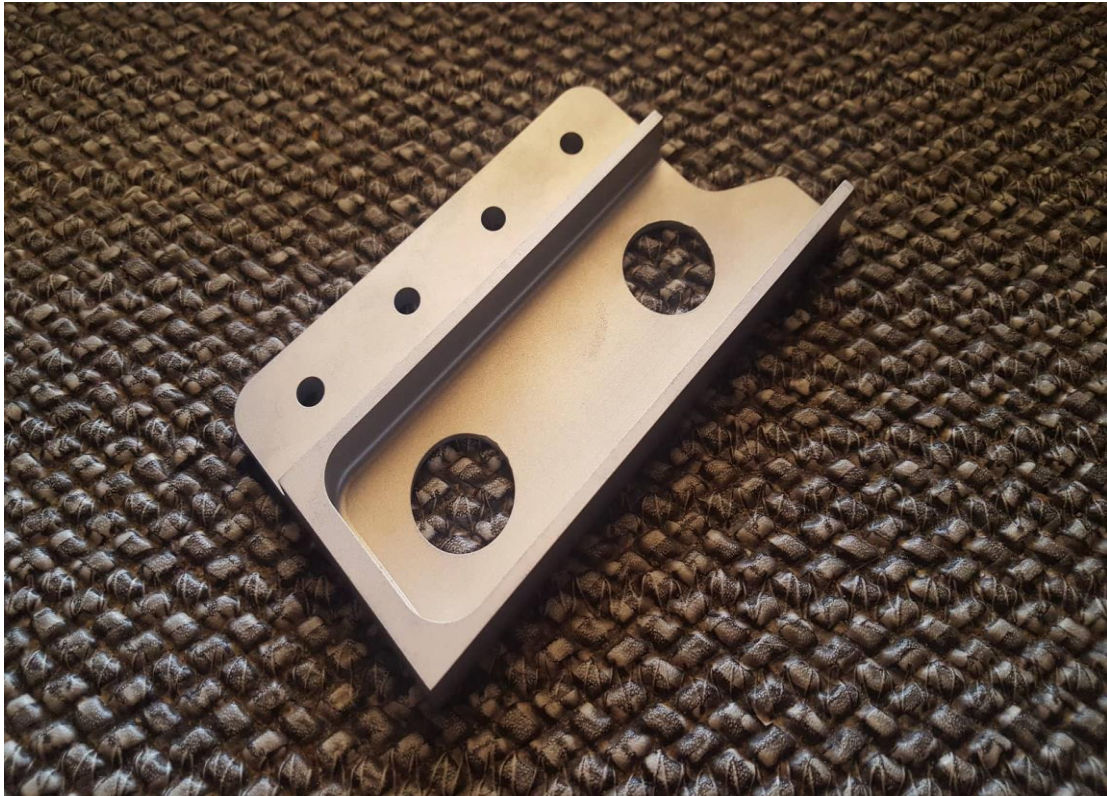
Εικόνα 13.9: Έβδομη φάση κατεργασίας



Εικόνα 14.0: Τελική Μορφή Δοκιμίου



Εικόνα 14.1: Τελική Μορφή Δοκιμίου



Εικόνα 14.2: Τελική Μορφή Δοκιμίου



Εικόνα 14.3: Τελική Μορφή Δοκιμίου



Εικόνα 14.4: Τελική Μορφή Δοκιμίου



Εικόνα 14.5: Τελική Μορφή Δοκιμίου

