



ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ - ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε

Πτυχιακή εργασία :

**«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με
χρήση του λογισμικού Vericut»**



Σπουδαστής :

Καρυωτάκης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής :

Δρ. Πετούσης Μάρκος

Ηράκλειο 2014

Επί πτυχίο φοιτητής τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε

Καρυωτάκης Γεώργιος

A.M. : 5175

Πτυχιακή εργασία :

**«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με
χρήση του λογισμικού Vericut»**

Επιβλέπων : Δρ. Πετούσης Μάρκος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ,

την οικογένεια μου και ιδιαίτερα την γυναίκα μου, τον κύριο Πετούση Μάρκο επιβλέπων καθηγητή αυτής της πτυχιακής εργασίας, για την επίβλεψη και την καθοδήγηση του, τέλος ευχαριστώ τους Καθηγητές του τμήματος που με στήριξαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα στην αποπεράτωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Περίληψη	σελ.5
1. Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγικά στοιχεία για τις εργαλειομηχανές με Ψηφιακή καθοδήγηση.....	σελ.6
1.1 Συμβατικές και Ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές.....	σελ. 6
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα CNC εργαλειομηχανών.....	σελ. 9
1.3 Περιγραφή των αξόνων κατεργασίας.....	σελ.12
1.4 Σύστημα συντεταγμένων	σελ.14
1.5 Χαρακτηριστικά σημεία στις CNC εργαλειομηχανές.....	σελ.17
1.6 Πολυαξονικές κατεργασίες.....	σελ.19
2. Κεφάλαιο 2ο : Η σχεδίαση και κατασκευή των τεμαχίων και η αναγκαιότητα δημιουργία τους.....	σελ.21
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τα πλαστικά και πολυμερή υλικά.....	σελ.21
2.2 Η τεχνική της μορφοποίησης των πολυμερών με τη μέθοδο της εκβολής ή συνεκβολής με τη χρήση μονού ή διπλού κοχλία.....	σελ.21
2.3 Η λειτουργία των μονοκόχλιων και δικόχλιων εκβολέων.....	σελ.22
2.4 Η χρήση μηχανής πλαστικού (Extruder) στην περίπτωση μας με μεταλλικό εκβολέα διαιρούμενου άξονα.....	σελ.27
3. Κεφάλαιο 3ο : Τα συστήματα CAD – CAM και η περιγραφή σχεδίασης των τριών τεμαχιδίων με το πρόγραμμα Pro engineering Creo Parametric 1.0.....	σελ.30
3.1 Εισαγωγικά στοιχεία στα συστήματα σχεδίασης CAD.....	σελ.30
3.2 Ορισμός μονάδων S.I. στο πρόγραμμα σχεδίασης.....	σελ.32
3.3 Περιγραφή σχεδίασης στο κομμάτι 1.....	σελ.34
3.4 Περιγραφή σχεδίασης στο κομμάτι 2.....	σελ.37
3.5 Περιγραφή σχεδίασης στο κομμάτι 3.....	σελ.40
3.6 Πρόγραμμα CAM – διαδικασία εξαγωγής του G κώδικα για την Εργαλειομηχανή CNC HAAS VF-2.....	σελ.41
3.7 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών κοπής.....	σελ.69

4.	Κεφάλαιο 4ο : Πολυαξονικές κατεργασίες - Κατασκευή τεμαχιδίων	
4.1	Μηδενισμός κοπτικού εργαλείου.....σελ.70	
4.2	Εκκίνηση της εργαλειομηχανής, ορισμός σημείου μηδέν στο ακατέργαστο.....σελ.72	
4.3	Διαδικασία κοπής τεμαχιδίων.....σελ.78	
4.4	Φάσεις κατά την κοπή τεμαχιδίων.....σελ.80	
5	Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα – Δυσκολίες της πτυχιακής.....σελ.84	
6	Κεφάλαιο 6 ^ο : Βιβλιογραφία Πτυχιακής εργασίας.....σελ.89	

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή τριών μεταλλικών τεμαχιδίων, τα οποία αποτελούν τμήματα κοχλίων επεξεργασίας πλαστικού υλικού. Τα μεταλλικά αυτά τεμαχίδια θα αναπαραχθούν με σκοπό να χρησιμοποιηθούν ως ανταλλακτικά. Τα μεταλλικά τεμαχίδια αυτά που θα κατασκευαστούν είναι τμήματα από άξονες κοχλίων συνεκβολής και μορφοποίησης πλαστικού υλικού κατά τη διάρκεια επεξεργασίας και παραγωγής του στο εργοστάσιο.

Η κατασκευή και κοπή των μεταλλικών τεμαχιδίων θα γίνει στην εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος του Τ.Ε.Ι Κρήτης μοντέλο CNC HAAS VF-2. Για να γίνει η κατασκευή των τριών τεμαχιδίων θα πρέπει αρχικά να γίνει ο σχεδιασμός τους στο τρισδιάστατο παραμετρικό σχεδιαστικό λογισμικό PTC Pro Engineer CREO Parametric 1.0. Μέσω του προγράμματος αυτού θα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός των τριών τεμαχιδίων και θα προσομοιωθούν όλες οι κατεργασίες κοπής του ακατέργαστου υλικού ενώ παράλληλα θα παραχθεί ο κώδικας G που είναι χρήσιμος για την επικοινωνία του λογισμικού με τον ελεγκτή της C.N.C. φρέζας.

Τέλος θα δοκιμαστούν τα κομμάτια, ώστε να διαπιστωθεί εάν μπορούν από θέμα μηχανικής αξιοπιστίας και αντοχής να χρησιμοποιηθούν πρακτικά ως χρηστικά ανταλλακτικά στη μηχανή από όπου πάρθηκαν.

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγικά στοιχεία για τις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση

1.1. Συμβατικές και ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές

Η τεχνολογία που έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο σύστημα παραγωγής κατά τις τελευταίες δεκαετίες είναι η τεχνολογία των υπολογιστών. Για κάθε σημαντική τεχνολογική ανάπτυξη ή βιομηχανική σχεδίαση ή κατασκευή, τώρα πια έχουν αντικατασταθεί οι παλιές παραδοσιακές μέθοδοι με την χρήση των πιο αξιόπιστων και πιο γρήγορων μεθόδων των υπολογιστικά καθοδηγούμενων (Computer Aided), έτσι ώστε γρήγορα, ακριβή σχέδια και προϊόντα μπορούν να ληφθούν σωστά σε ελάχιστο χρόνο. Εθνικός και διεθνής ανταγωνισμός στον τομέα της μεταποίησης προκαλεί βιομηχανικούς ηγέτες να εξετάσουν νέες στρατηγικές για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί και να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων τους. Η εξέλιξη στη τεχνολογία των υπολογιστών έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κατασκευαστική βιομηχανία από το σχεδιασμό μέχρι την παράγωγη και το μάρκετινγκ.

Οι κυβερνήσεις όλων των βιομηχανικών χωρών δίνουν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη στους τομείς της μεταποιητικής βιομηχανίας. Η επιτάχυνση της βιομηχανικής ανάπτυξης κάθε έθνους εξαρτάται από την μέγιστη αξιοποίηση των βιομηχανικών υπολογιστικά καθοδηγούμενων συστημάτων. (Computer Aided Engineering/CAE).

Ο τομέας των κατασκευών είναι ένας από τους τομείς της βιομηχανίας που ευεργετήθηκαν ιδιαίτερα από την εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας και της επιστήμης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ειδικότερα, η αξιοποίηση της εξέλιξης αυτής στο χώρο των μηχανουργικών κατεργασιών, οδήγησε στην εμφάνιση των εργαλειομηχανών C.N.C. Οι νέες αυτές εργαλειομηχανές, με τις δυνατότητες που διαθέτουν, εγκαινίασαν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών τα κυριότερα χαρακτηριστικά του οποίου είναι η υψηλή ακρίβεια κατεργασίας, η αυξημένη παραγωγικότητα και η δυνατότητα πολύπλοκων κατασκευών. Θεμελιακό στοιχείο της λειτουργίας των εργαλειομηχανών C.N.C. είναι το πρόγραμμα κατεργασίας. Όλες οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την κατεργασία ενός συγκεκριμένου τεμαχίου - οδήγηση κοπτικού εργαλείου, συνθήκες κοπής κλπ- συντάσσονται με καθορισμένους κανόνες που υπαγορεύονται από το αντίστοιχο σύστημα ελέγχου της εργαλειομηχανής και αποτελούν στο σύνολο τους το περιεχόμενο του προγράμματος κατεργασίας.

Η σωστή σύνταξη του προγράμματος κατεργασίας, η χρήση όλων των δυνατοτήτων προγραμματισμού έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η διαμόρφωση έξυπνων προγραμμάτων, αλλά και η ανάπτυξη προγραμμάτων που να στοχεύουν στην πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των εργαλειομηχανών C.N.C, απαιτούν καλά καταρτισμένο και έμπειρο προσωπικό.

Η έννοια αριθμητικός έλεγχος (Numerical Control ή NC) ταυτίζεται σχεδόν με τις μηχανουργικές κατεργασίες και τις εργαλειομηχανές. Ο αριθμητικός έλεγχος δίδει τη δυνατότητα στο χειριστή να «επικοινωνεί» με την εργαλειομηχανή και να την «καθοδηγεί» μέσω ενός κώδικα, δηλαδή μιας ακολουθίας γραμμάτων και αριθμών. Ο κώδικας αυτός αντικαθιστά, σε μεγάλο ποσοστό, τις επιμέρους χειρωνακτικές εργασίες του χειριστή, οι οποίες πλέον εκτελούνται αυτόματα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα συνεχών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής (Machine Control Unit, MCU), που βρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και ελέγχει τις λειτουργίες της. Οι εργαλειομηχανές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτό λέγονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (NC).

Εάν ανάμεσα στο χειριστή και στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής NC παρεμβάλλεται, για λόγους ευκολότερου και πιο αποδοτικού χειρισμού, ηλεκτρονικός υπολογιστής, η μηχανή ονομάζεται ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Με τον τρόπο αυτό, η λειτουργία της εργαλειομηχανής αυτοματοποιείται περισσότερο, ενώ ο έλεγχός της μπορεί να γίνεται πλέον και από απόσταση (remote control). Τέτοιες σύγχρονες εργαλειομηχανές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα για μηχανουργικές κατεργασίες φρέζας.



Εικόνα 1 : Εργαλειομηχανή - Φρέζα CNC HAAS VF-2

Η CNC καθοδήγηση έχει το πλεονέκτημα της συνεργασίας της με συστήματα σχεδίασης (Computer Aided Design, CAD) και συστήματα κατεργασιών (Computer Aided Manufacturing, CAM) με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ δίδεται η δυνατότητα ένταξής της σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστές (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.

Όλες οι διαδικασίες καθοδήγησης και ελέγχου των εργαλειομηχανών NC και CNC από το χειριστή τους είναι μονόδρομες. Ο τεχνικός NC ή CNC καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (πρόωση, βάθη κοπής, ταχύτητα κοπής, κ.λπ.), ελέγχει τη χρήση ή όχι του υγρού κοπής, διαχειρίζεται τα κοπτικά εργαλεία, κ.λπ.. Για όλα αυτά, συντάσσει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού (κώδικας), μεταφέρει τον κώδικα στη μονάδα ελέγχου και ενεργοποιεί την εκτέλεση του προγράμματος. Κανένας δεν μπορεί να ισχυρισθεί ότι αυτή η αλληλουχία δεν είναι αυτοματοποιημένη. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας και, ιδιαίτερα, η ανάπτυξη των αισθητήρων (sensors) και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ), επιτρέπει στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών να πάνε ένα βήμα παραπέρα. Στο σχεδιασμό δηλαδή “σκεπτόμενων” διατάξεων, που, ανάλογα με την εξέλιξη της μηχανουργικής κατεργασίας, παίρνουν αποφάσεις και επεμβαίνουν στο πρόγραμμα καθοδήγησης. Οι μηχανές αυτές χαρακτηρίζονται άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Numerical Control - DNC). Εάν, λοιπόν, σε μία τυπική περίπτωση τόνευσης με NC ή CNC τόρνο, επιλεγεί, κατά λάθος, και προγραμματισθεί απαράδεκτη πρόωση κοπής, ο χειριστής πρέπει να διαβάσει την αντίστοιχη ένδειξη στον πίνακα ελέγχου της εργαλειομηχανής, να σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και, αφού το διορθώσει, να το ενεργοποιήσει ξανά.

Οι DNC εργαλειομηχανές είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του οποίου λαμβάνουν εντολές για εκτέλεση εργασιών, αλλά και αντλούν πληροφορίες από σχετικές βάσεις πληροφοριών. Στις DNC εργαλειομηχανές μπορεί να ελέγχεται αυτόματα η ταχύτητα κοπής, η χρήση ψυκτικού υγρού, η φθορά των κοπτικών εργαλείων, κ.λπ.. Ιδιαίτερα για τη φθορά των κοπτικών εργαλείων, πολλές ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές διαθέτουν ειδικές μετρητικές διατάξεις στις οποίες μετρώνται τα κοπτικά εργαλεία, σε τακτά χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας. Στην περίπτωση που, για το

εξεταζόμενο κοπτικό εργαλείο, διαπιστωθεί μεγάλη απόκλιση από τις προβλεπόμενες διαστάσεις, η κατεργασία συνεχίζεται αυτόματα με νέο (όμοιο) κοπτικό εργαλείο (sister tool). Είναι εύκολο να καταλάβει κανείς, γιατί οι παραδοσιακές εργαλειομηχανές χαρακτηρίζονται σήμερα συμβατικές. Η χρήση των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, επιφέρει μεν εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγικότητας, αλλά απαιτεί εξειδικευμένους χειριστές. Η σταδιακή, μάλιστα, διάχυση εργαλειομηχανών αυτής της τεχνολογίας στα ελληνικά μηχανουργεία, απαιτεί ολοένα και περισσότερο χειριστές που απέχουν πολύ από την παραδοσιακή μορφή του μηχανουργού.

1.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα CNC εργαλειομηχανών

Πρακτικά, σε κάθε περίπτωση μηχανουργικής κατεργασίας μόνο η κινηματική αρχή παραμένει κοινή και για τους δύο τύπους εργαλειομηχανών. Αυτό σημαίνει ότι στην τόννευση, τόσο σε συμβατικές όσο και σε NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές, το τεμάχιο περιστρέφεται και το κοπτικό εργαλείο κινείται γραμμικά σε δύο άξονες που είναι κάθετοι μεταξύ τους. Επίσης, στο φρεζάρισμα, το εργαλείο και στις δύο περιπτώσεις περιστρέφεται, ενώ το τεμάχιο μετακινείται γραμμικά ή στρέφεται σε σχέση με την άτρακτο της εργαλειομηχανής. Οι βασικότερες διαφορές των συμβατικών από τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές είναι :

- Η φιλοσοφία λειτουργίας. Στις παραδοσιακές εργαλειομηχανές ο τεχνίτης-χειριστής, με βάση τα τεχνικά σχέδια, τοποθετεί το τεμάχιο στη μηχανή, τη ρυθμίζει, τη θέτει σε λειτουργία και, τέλος, ελέγχει το αποτέλεσμα. Στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, το πρόγραμμα εργασίας μεταβιβάζεται στη μηχανή συνήθως μέσω συνδεδεμένου ηλεκτρονικού υπολογιστή ή, στη χειρότερη περίπτωση, πληκτρολογείται κατευθείαν στην οθόνη της ίδιας της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο προγραμματιστής-χειριστής μπορεί να ελέγχει διαδοχικά το πρόγραμμά του, μέσω κοπής στο κενό (χωρίς δηλαδή τεμάχιο κατεργασίας, ενώ η εργαλειομηχανή πραγματοποιεί τις προγραμματισμένες κινήσεις της) ή με τη βοήθεια προσομοιωτών (στην ίδια την οθόνη της εργαλειομηχανής ή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή), μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες λαθών και ο χρόνος προετοιμασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης, η χρήση των NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών συμβάλλει στη συντονισμένη συνεργασία ανάμεσα σε τομείς της επιχείρησης (σχεδιασμός - προγραμματισμός - παραγωγή - ποιοτικός έλεγχος - διάθεση προϊόντων).
- Η ακρίβεια και η ποιότητα κατασκευής τους. Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές μπορούν να εκτελέσουν απλές και σύνθετες κατεργασίες, με πολύ

μεγάλη ακρίβεια. Ακριβώς για το λόγο αυτό, η ποιότητα κατασκευής τους και η ακρίβεια συναρμολόγησης των εξαρτημάτων τους δεν θυμίζει σε τίποτα αυτή των συμβατικών μηχανών. Ακόμα και εξαρτήματα των μηχανών αυτών που έχουν μικρή συμμετοχή στη μηχανουργική κατεργασία, κατασκευάζονται με πολύ υψηλότερες προδιαγραφές, σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές.

- Η στιβαρότητα και η αντοχή τους. Οι μεγάλες ταχύτητες και δυνάμεις κοπής που αναπτύσσονται στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, απαιτούν αυξημένη ακαμψία και δυνατότητα απόσβεσης των ταλαντώσεων, που μπορεί να δημιουργηθούν. Μάλιστα, εάν αναλογιστεί κανείς την ακρίβεια κατεργασίας που απαιτείται, οι ανάγκες αυτές γίνονται πιο επιτακτικές. Για τους λόγους αυτούς, η μελέτη της δυναμικής των NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών αποτελεί πρώτη προτεραιότητα. Σε αρκετές μάλιστα περιπτώσεις, τα δομικά τους στοιχεία κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά, αντί από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα.

- Τα υποσυστήματα τους. Είναι προφανές ότι ακόμα και η απλούστερη ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή περιέχει και καθοδηγείται από σύνθετα ηλεκτρονικά κυκλώματα, ενώ οι συμβατικές έχουν μόνο ένα σχετικά απλό ηλεκτρικό δίκτυο παροχής ισχύος. Η ρύθμιση επίσης της ταχύτητας κοπής και της πρόωσης, δε γίνεται πια με μηχανικό τρόπο αλλαγής γραναζιών, αλλά γίνεται αυτόματα μέσω του προγράμματος κατεργασίας. Ακόμα και το δέσιμο των κοπτικών εργαλείων και, μερικές φορές, η τροφοδοσία σε υλικό κατεργασίας γίνονται αυτόματα στις ψηφιακές εργαλειομηχανές. Ήδη έχει διαφανεί από τις προηγούμενες παραγράφους η υπεροχή των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συμβατικές. Αξίζει όμως να παρουσιαστούν συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της σύγχρονης αυτής τεχνολογίας, του αριθμητικού ελέγχου των εργαλειομηχανών :

- Η παραγωγή τεμαχίων σύνθετης γεωμετρίας με υψηλή διαστατική ακρίβεια και ποιότητα μορφής. Η σύγχρονη κίνηση σε πολλούς άξονες επιτρέπει την κατεργασία σύνθετων επιφανειών στο χώρο. Σε πολλές περιπτώσεις, δεν απαιτούνται κατασκευαστικά σχέδια για τεμάχια με μορφή, που μπορεί να περιγραφεί από μαθηματικές σχέσεις.

- Η αυτοματοποιημένη παραγωγή αυξάνει τη χωρίς λάθη παραγωγή και αναπαραγωγή των τεμαχίων. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται το ποσοστό των ελαττωματικών κομματιών και περιορίζεται η διάρκεια του ελέγχου ποιότητας. Βελτιώνεται, λοιπόν, η επαναληψιμότητα της κατεργασίας, αφού ο τεχνίτης δεν καθοδηγεί, αλλά επιβλέπει και ελέγχει τη μηχανή. Αντίθετα, στις συμβατικές εργαλειομηχανές, εισέρχονται πολλά λάθη του χειριστή λόγω απειρίας, έλλειψης προσοχής ή και κόπωσης. Είναι χαρακτηριστική η φράση “μην αγοράζετε τίποτε που

έχει κατασκευαστεί Δευτέρα και Παρασκευή”, αφού οι εργαζόμενοι, τις μέρες αυτές, είτε προσαρμόζονται στην εργασία τους μετά το Σαββατοκύριακο, είτε προετοιμάζονται γι’ αυτό. Τέτοια φαινόμενα ελαχιστοποιούνται με χρήση NC, CNC και DNC εργαλειομηχανών.

- Η ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων (των χρόνων δηλαδή που η μηχανή δεν κόβει). Πρόκειται για τους χρόνους σχεδίασης και κατασκευής συσκευών πρόσδεσης, ρύθμισης της μηχανής, δεσίματος και λυσίματος των τεμαχίων, αλλαγής κοπτικών εργαλείων κ.λπ. Επίσης, ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων και προώσεων κοπής. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει σαφής έλεγχος και προγραμματισμός της παραγωγής, αφού ο συνολικός χρόνος κατεργασίας είναι καθορισμένος με ακρίβεια.
- Η ευκολία προγραμματισμού της μηχανής, που οφείλεται στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, επιφέρει μεγάλη ευελιξία στις κατεργασίες που εκτελούνται. Επειδή το πρόγραμμα καθοδήγησης για κάθε κομμάτι αποθηκεύεται σε ηλεκτρονική μορφή, είναι πολύ εύκολη η παραγωγή παραλλαγών ενός προϊόντος, που έχει ήδη κατασκευαστεί. Μάλιστα, απαιτούνται λιγότερες ιδιοσυσκευές συγκράτησης, αφού, λόγω της ευελιξίας των μη συμβατικών εργαλειομηχανών, χρειάζονται λιγότερα δεσίματα, για να γίνουν οι ίδιες κατεργασίες. Επίσης, μειώνεται το κόστος κατασκευής και αποθήκευσης των ιδιοσυσκευών συγκράτησης, που για μεγάλα μηχανουργεία είναι ιδιαίτερα υψηλό.
- Η σημαντική βελτίωση της ασφάλειας εργασίας, αφού ο χειριστής, κατά τη διάρκεια της κοπής, είναι σε αρκετή απόσταση από το κοπτικό εργαλείο. Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, το σώμα, αλλά κυρίως τα χέρια και τα μάτια του χειριστή, είναι πολύ κοντά στη θέση κοπής. Ο χειριστής πρέπει να είναι συνεχώς σε εγρήγορση, κάτι που τον κουράζει και πνευματικά εκτός από σωματικά.
- Η αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και, κατά συνέπεια, της ανταγωνιστικότητας μιας επιχείρησης. Σε αυτό συμβάλλουν η μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής και η δυνατότητα βελτιστοποίησης της κατεργασίας. Έτσι, η μείωση των νεκρών χρόνων και οι μικρότερες ανάγκες σε προσωπικό, μειώνουν το λειτουργικό κόστος του μηχανουργείου.

Στην πορεία όμως, η ψηφιακή εργαλειομηχανή αποσβένεται περίπου στο 1/3 του χρόνου μιας συμβατικής, ενώ φτάνει σε μεγαλύτερη απόδοση (κέρδος) πολύ γρηγορότερα. Αυτό συμβαίνει, επειδή ένας τεχνίτης μπορεί να επιβλέπει και να εξυπηρετεί ακόμα και δύο ή τρεις ψηφιακές εργαλειομηχανές.

Επίσης το κόστος ανά τεμάχιο είναι πια μικρότερο, ενώ η διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων είναι η καλύτερη δυνατή, αφού οι χρόνοι κοπής και οι βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας είναι γνωστά.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών εμφανίζονται κυρίως σε μικρά μηχανουργεία, λόγω της δυσκολίας τους να υιοθετήσουν νέες παραγωγικές δομές. Αυτά είναι :

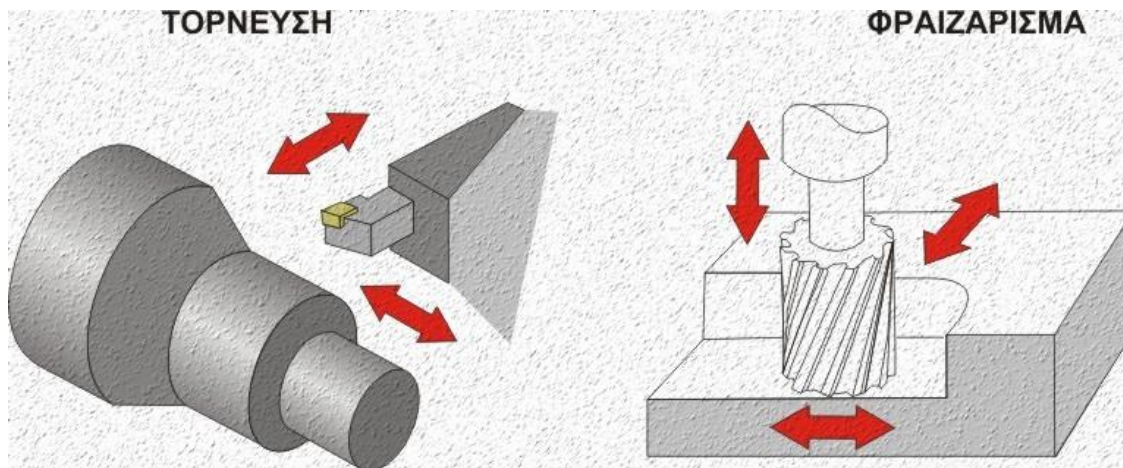
- Το μεγάλο κόστος αγοράς τους, που στην καλύτερη περίπτωση είναι πέντε φορές μεγαλύτερο από της αντίστοιχης συμβατικής εργαλειομηχανής. Βέβαια, όπως ήδη περιγράφηκε, σε περίπτωση μεγάλων παρτίδων παραγωγής ή όγκου εργασίας, η απόσβεση του κόστους αυτού γίνεται πολύ γρήγορα. Τα μικρά όμως μηχανουργεία, που ασχολούνται με απλές κατασκευές και εργασίες επισκευής, έχουν αντικειμενική δυσκολία να επενδύσουν μεγάλα ποσά σε σύγχρονες εργαλειομηχανές.
- Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές απαιτούν εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό, για να τις προγραμματίζει, να τις ρυθμίζει και να τις συντηρεί. Μάλιστα αυτή η εκπαίδευση είναι μακροχρόνια και διαρκής. Οι χειριστές τέτοιων εργαλειομηχανών έχουν μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα αλλά είναι και υψηλότερα αμειβόμενοι από τους τεχνίτες συμβατικών εργαλειομηχανών.

1.3. Περιγραφή των αξόνων κατεργασίας

Για να γίνει κατανοητή η έννοια του άξονα κατεργασίας, είναι ευκολότερο να υποθεθεί ότι όλες οι κινήσεις μιας κατεργασίας με ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή γίνονται από το κοπτικό εργαλείο. Αυτό, βέβαια, δεν είναι αλήθεια, μια και στη φρέζα, για παράδειγμα, τις περισσότερες κινήσεις τις εκτελεί το τραπέζι. Κάθε κίνηση, λοιπόν, του εργαλείου σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση, που ελέγχεται και καθοδηγείται, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε άλλη σε διαφορετική κατεύθυνση και που μπορεί να εκτελείται ταυτόχρονα, ονομάζεται άξονας κατεργασίας. Προφανώς αυτές οι κατευθύνσεις κατεργασίας δεν είναι αυθαίρετες, αλλά είναι οι γνωστές από τις συμβατικές μηχανές. Έτσι για παράδειγμα :

- Στην τόννευση με ψηφιακή καθοδήγηση, άξονες κατεργασίας είναι οι κινήσεις, που εκτελεί το εργαλείο κάθετα και παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Στους συμβατικούς τόννους, για παράδειγμα, η κατεργασία κωνικών και σφαιρικών επιφανειών απαιτεί είτε ρύθμιση της εργαλειομηχανής, είτε ταυτόχρονη περιστροφή των χειρομοχλών από τον τεχνίτη. Στην ψηφιακή καθοδήγηση, η κάθε μία από τις δύο κινήσεις ελέγχεται ξεχωριστά και μάλιστα με μεγάλη ακρίβεια, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μία τέλεια κωνική ή σφαιρική επιφάνεια.

- Αντίστοιχα στο φρεζάρισμα με ψηφιακή καθοδήγηση, οι βασικές κινήσεις που εκτελεί ένα εργαλείο ως προς το κατεργαζόμενο κομμάτι, είναι η κάθετη, η διαμήκης και η εγκάρσια. Αυτές οι κινήσεις στις συμβατικές εργαλειομηχανές καθοδηγούνται από τον τεχνίτη μία-μία και ποτέ ταυτόχρονα. Για το λόγο αυτό, στις συμβατικές μηχανές, οι κινήσεις αυτές δεν μπορεί να θεωρηθούν άξονες κατεργασίας, σύμφωνα με τον ορισμό στην αρχή της παραγράφου. Αντίθετα, στις φρέζες με ψηφιακή καθοδήγηση, τουλάχιστον δύο από αυτές τις κινήσεις, δηλαδή η διαμήκης και η εγκάρσια ως προς το τεμάχιο, μπορούν να εκτελεστούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη αλλά και ταυτόχρονα. Στα κέντρα κατεργασίας, εκτός από τις παραπάνω γραμμικές κινήσεις, είναι δυνατές και περιστροφικές κινήσεις. Γι' αυτό το λόγο, συχνά χρησιμοποιείται ο διαχωρισμός μεταξύ των γραμμικών και των περιστροφικών βαθμών ελευθερίας. Οι άξονες που περιγράφηκαν παραπάνω για τόννευση και φρεζάρισμα, φαίνονται στην επόμενη Εικόνα 2.



Εικόνα 2 : Άξονες κατεργασίας σε τόννευση και φρεζάρισμα

Ανάλογα με τους άξονες κατεργασίας μίας μηχανής, αυτή παίρνει ένα αντίστοιχο όνομα. Έτσι, όλοι οι τόρνοι ψηφιακής καθοδήγησης είναι τουλάχιστον 2 αξόνων (διαξονικοί). Μία φρέζα, στην οποία κινείται ταυτόχρονα το τραπέζι στους δύο οριζόντιους άξονες, αλλά όχι και στον κατακόρυφο άξονα, λέγεται φρέζα 2 ½ αξόνων. Αν η καθοδήγηση επιτρέπει την ταυτόχρονη κίνηση και στον κατακόρυφο άξονα, η φρέζα είναι 3 αξόνων (τριαξονική). Τέλος, ανάλογα τις δυνατότητες περιστροφής του τραπεζιού και της προβοσκίδας με το κοπτικό εργαλείο, μπορεί μια φρέζα να είναι 4, 5 ή 6 αξόνων. Οι περισσότερες φρέζες όμως είναι τριαξονικές, ενώ περισσότερους άξονες διαθέτουν τα κέντρα κατεργασίας που είναι συνήθως τετραξονικά ή πενταξονικά. Οι δυνατότητες κίνησης και κατεργασίας όλων αυτών των μηχανών θα περιγραφούν πολύ αναλυτικότερα σε επόμενα κεφάλαια, όπου θα εξηγηθεί και πώς ελέγχονται οι ταυτόχρονες, αλλά ανεξάρτητες μεταξύ τους κινήσεις.

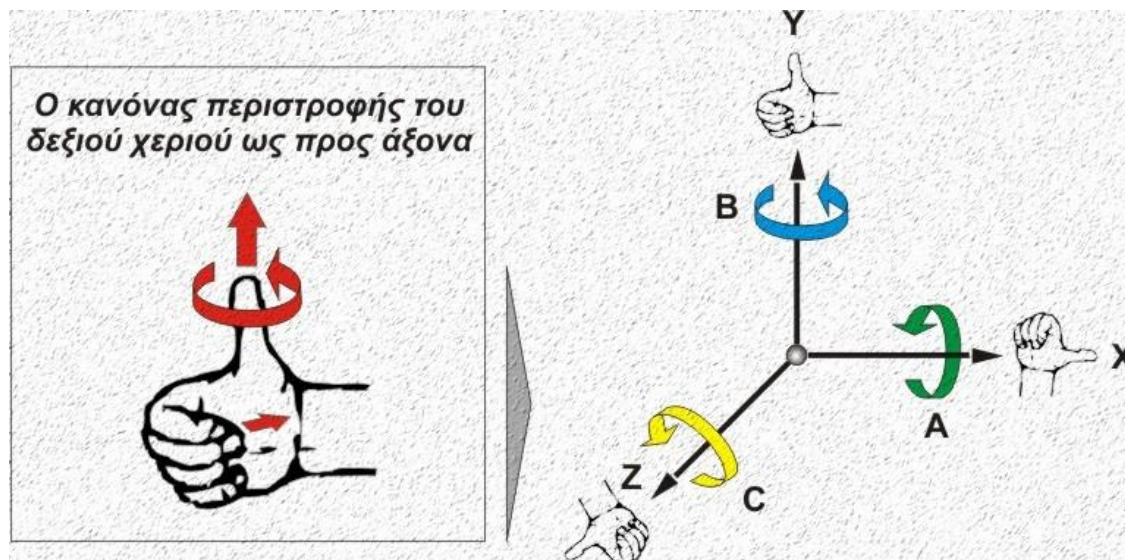
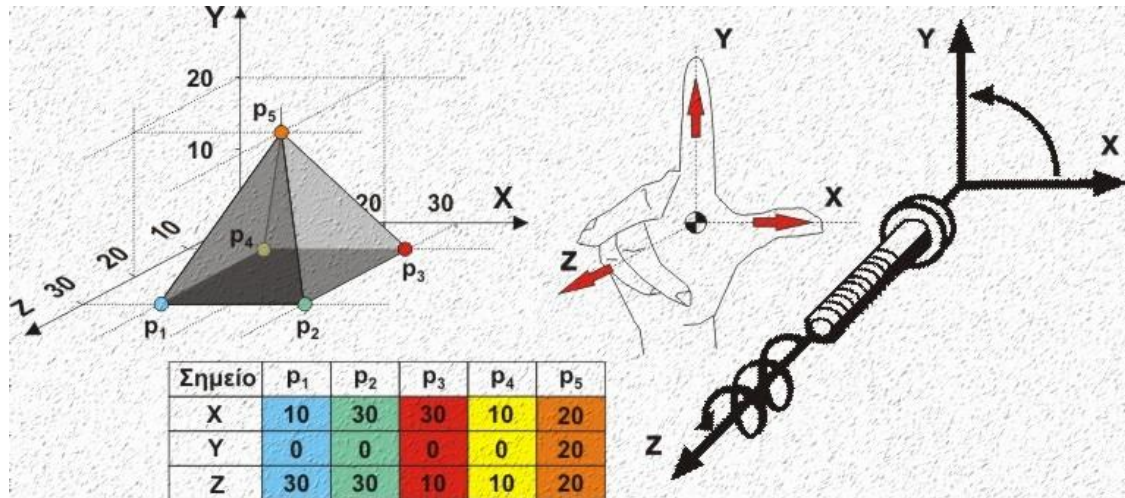
Για να μπορέσει ο χειριστής μιας ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής να περιγράψει γεωμετρικά ένα τεμάχιο, χρησιμοποιεί τις γνωστές από τα μαθηματικά συντεταγμένες, οι οποίες αποτελούν το γεωμετρικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ του χειριστή και της ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής. Έτσι, μέσω των 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.

1.4. Σύστημα συντεταγμένων

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. Σε ένα τέτοιο σύστημα, ο άξονας X ή άξονας των τετμημένων ορίζεται από τον αντίχειρα του δεξιού χεριού, ενώ ο άξονας Y ή άξονας των τεταγμένων ορίζεται από το δείκτη, όταν τα δύο αυτά δάκτυλα τοποθετηθούν σε κοινή ευθεία. Για να περιγραφεί η θέση ενός σημείου στο επίπεδο, όταν έχει ορισθεί ένα σύστημα συντεταγμένων, είναι απαραίτητες τόσο η τετμημένη X , όσο και η τεταγμένη Y .

Το σύστημα συντεταγμένων X - Y - Z ονομάζεται καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο χώρο. Στην περίπτωση αυτή, αντίστοιχα με τις προηγούμενες, απαιτείται μία τριάδα συντεταγμένων, για να περιγραφεί μονοσήμαντα η θέση ενός σημείου στο χώρο. Οι θετικές κατευθύνσεις των αξόνων ορίζονται με μεγάλη ευκολία, χρησιμοποιώντας τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Η θετική κατεύθυνση του άξονα Z ορίζεται από την κατεύθυνση, που δείχνει το μεσαίο δάκτυλο του δεξιού χεριού. Το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται με αυτόν τον τρόπο, ονομάζεται δεξιόστροφο. Οι θετικές κατευθύνσεις των αξόνων, σε ένα δεξιόστροφο σύστημα, επαληθεύονται και με τη μέθοδο του δεξιόστροφου κοχλίας. Έτσι, ένα καρτεσιανό σύστημα είναι δεξιόστροφο, όταν δεξιόστροφος κοχλίας, που τοποθετείται ομοαξονικά με τον άξονα Z και περιστρέφεται κατά τη φορά από X προς Y στο μικρό τεταρτημόριο, μετατοπίζεται προς τα θετικά του άξονα Z . Στο σχήμα φαίνεται και ο κανόνας του δεξιόστροφου κοχλίας και παρουσιάζεται η

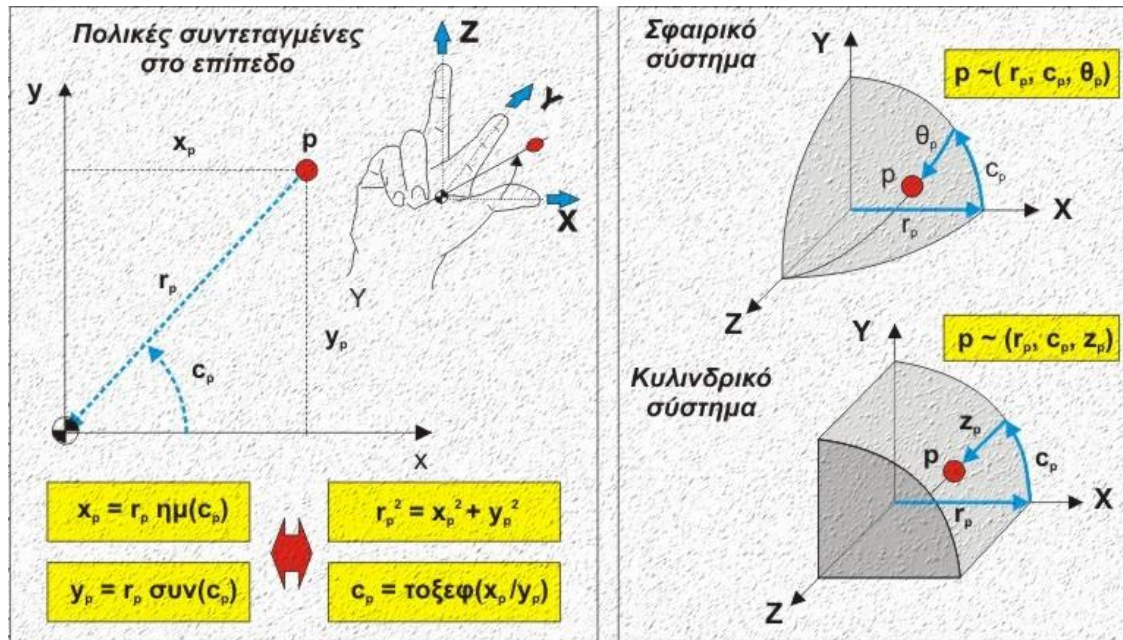
περιγραφή στο χώρο των πέντε κορυφών μιας πεντάεδρης πυραμίδας, που έχει τη βάση της στο επίπεδο X-Z.



Εικόνα 3 : Ο κανόνας περιστροφής του δεξιού χεριού ως προς τον άξονα

- 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. Οι πολικές συντεταγμένες ενός σημείου p ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων X-Y, ορίζονται με μια απόσταση rp και μια γωνία cp , όπως φαίνεται αριστερά στην επόμενη Εικόνα 4α. Οι θετικές κατευθύνσεις ορίζονται από τον κανόνα του δεξιού χεριού, όπως και στην περίπτωση των καρτεσιανών συντεταγμένων.



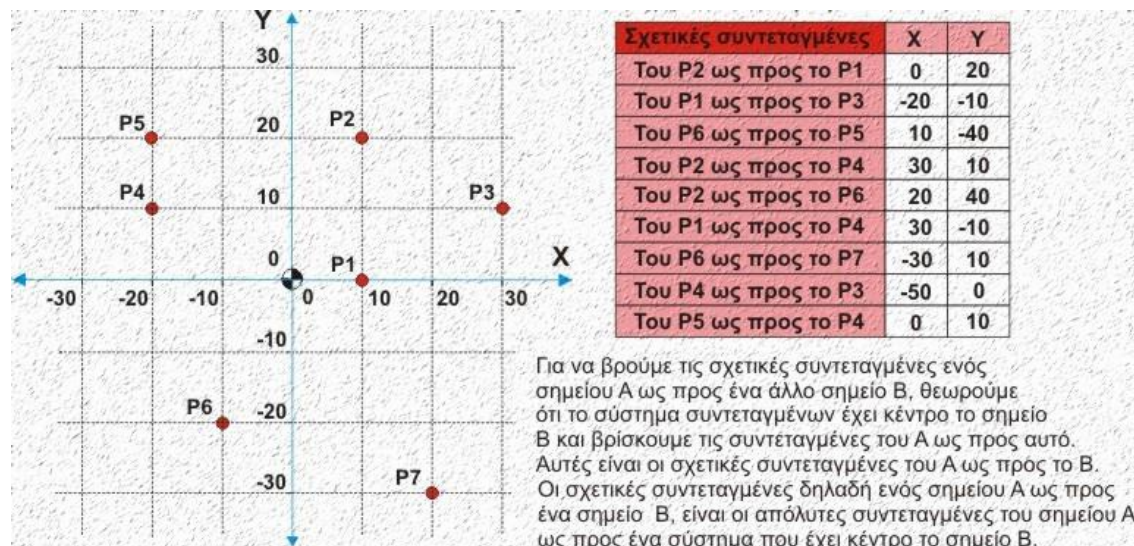
Εικόνα 4 α : Πολικές συντεταγμένες

Η απόσταση του σημείου από το κέντρο του συστήματος συντεταγμένων (που σαν απόσταση, είναι πάντα θετική) και η θετική γωνία που σχηματίζεται από τον άξονα X και την ευθεία, που ενώνει το σημείο με το κέντρο του συστήματος, προσδιορίζουν τη θέση κάθε σημείου. Οι πολικές συντεταγμένες έχουν μονοσήμαντη τριγωνομετρική σχέση με τις καρτεσιανές, που φαίνονται επίσης αριστερά στο σχήμα.

- Απόλυτες και σχετικές συντεταγμένες

Τα γεωμετρικά δεδομένα ενός τεμαχίου, που πρόκειται να υποστεί κατεργασία, μπορούν να οριστούν με δύο τρόπους, άσχετα αν χρησιμοποιούνται καρτεσιανές ή πολικές συντεταγμένες. Πρόκειται για τον απόλυτο και το σχετικό τρόπο προσδιορισμού θέσης σημείων στο επίπεδο ή στο χώρο. Και οι δύο τρόποι είναι μεταξύ τους ισότιμοι, με την έννοια ότι, όποιος από τους δύο 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 (την 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 όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Για να μεταφερθεί δηλαδή

στη νέα θέση το κοπτικό εργαλείο, πρέπει η κίνηση να γίνει σε σχέση με τη θέση που αυτό βρισκόταν 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.



Εικόνα 4 β : Σχετικές συντεταγμένες

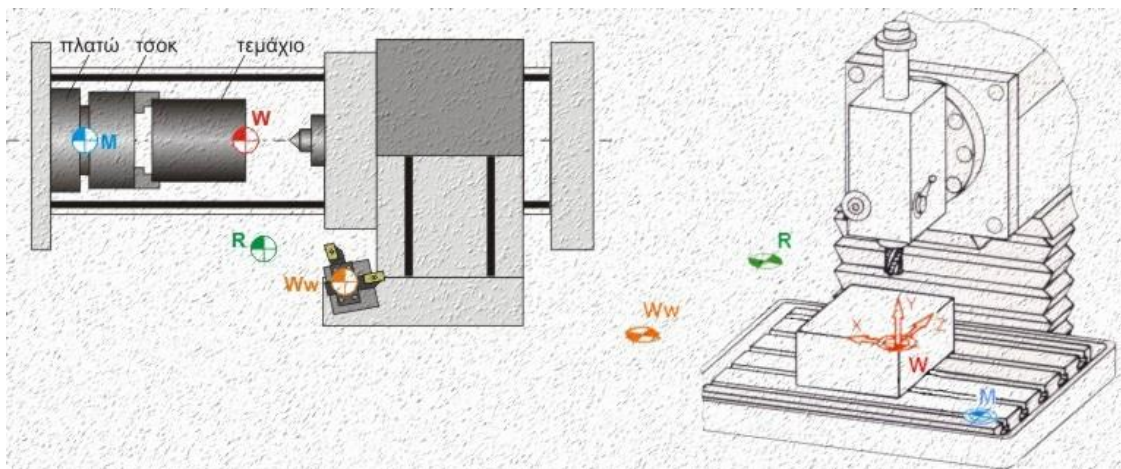
1.5. Χαρακτηριστικά σημεία στις CNC εργαλειομηχανές

Σε κάθε εργαλειομηχανή και κατεργασία ψηφιακής καθοδήγησης, ορίζονται χαρακτηριστικά σημεία, ενώ όλες οι διαστάσεις των τεμαχίων που πρόκειται να κατεργαστούν, προγραμματίζονται σε σχέση με αυτά. Τα μηδενικά σημεία είναι, λοιπόν, αρχές συστημάτων συντεταγμένων. Η χρήση αυτών των σημείων επιτρέπει τη μονοσήμαντη επικοινωνία του προγραμματιστή με την εργαλειομηχανή. Για το λόγο αυτό, η γνώση, η κατανόηση και η χρήση των σημείων αυτών είναι από τις πιο βασικές παραμέτρους στον αριθμητικό έλεγχο των εργαλειομηχανών.

Το μηδενικό σημείο M μιας εργαλειομηχανής είναι ένα και μοναδικό, καθορίζεται από τον κατασκευαστή της και η θέση του βρίσκεται καταχωρημένη στη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Το σημείο αυτό καθορίζει την αρχή του συστήματος συντεταγμένων της μηχανής, που και αυτό είναι ένα και μοναδικό και δεν μπορεί να μεταφερθεί αλλού. Συνήθως, όταν η μηχανή τίθεται σε λειτουργία, όλοι οι άξονες κατεργασίας μετακινούνται αυτόματα προς αυτό. Μάλιστα, στις σύγχρονες εργαλειομηχανές, η κίνηση αυτή πραγματοποιείται με τέτοια σειρά, ώστε να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις (λογική τοποθέτησης - positioning logic). Για

παράδειγμα, σε ένα κέντρο κατεργασίας σε κατακόρυφη θέση, η οριζόντια μετακίνηση της τράπεζας θα γίνει, αφού πρώτα αυτή κατεβεί στην πιο χαμηλή θέση της, ώστε να αποφύγει πιθανή σύγκρουση μιας μέγγενης δεμένης στο τραπέζι με ένα αφημένο στο τσοκ κοπτικό εργαλείο. Ανάλογα συμπεριφέρεται το κέντρο κατεργασίας και στην οριζόντια θέση.

Η θέση, λοιπόν, του μηδενικού σημείου σε τόρνους είναι συνήθως στη θέση που τέμνεται ο άξονας της ατράκτου με τη μετωπική επιφάνεια του πλατώ, όπως φαίνεται στο επόμενο σ (σημείο M). Αντίστοιχα, για φρέζες και κέντρα κατεργασίας, η θέση του μηδενικού σημείου βρίσκεται στην άκρη της περιοχής κινήσεως του κάθε άξονα, όπως φαίνεται επίσης στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5 : Μηδενικό σημείο

Πολλές φορές, η χρήση των μηδενικών σημείων της μηχανής δεν είναι βολική για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης κατεργασίας. Τυπικές περιπτώσεις τέτοιων δυσκολιών είναι :

- Σε εργαλειομηχανές μεγάλου ή πολύ μεγάλου μεγέθους, η μεταφορά του κοπτικού εργαλείου στο μηδενικό σημείο της μηχανής απαιτεί απaráδεκτα μεγάλο χρόνο.
- Όταν το κατεργαζόμενο τεμάχιο ή η ιδιοσυσκευή συγκράτησης του έχει τέτοια διαμόρφωση που να μην επιτρέπει τη μετάβαση στο μηδενικό σημείο της εργαλειομηχανής.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να επιλεγεί ένα πιο κατάλληλο σημείο, το οποίο θα παίζει το ρόλο του μηδενικού σημείου της μηχανής, για τη συγκεκριμένη περίπτωση κατεργασίας. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο αναφοράς της εργαλειομηχανής και συμβολίζεται με R. Σε αυτήν την περίπτωση, η επαναφορά, από το χειριστή, της μηχανής στο μηδενικό σημείο της εργαλειομηχανής θα οδηγήσει το κοπτικό εργαλείο στο σημείο αναφοράς της. Αυτό θα γίνεται, μέχρι ο χειριστής να ακυρώσει την

ύπαρξη αυτού του σημείου. Στο προηγούμενο σχήμα φαίνονται τα αντίστοιχα σημεία R για τόνους και φρέζες με ψηφιακή καθοδήγηση.

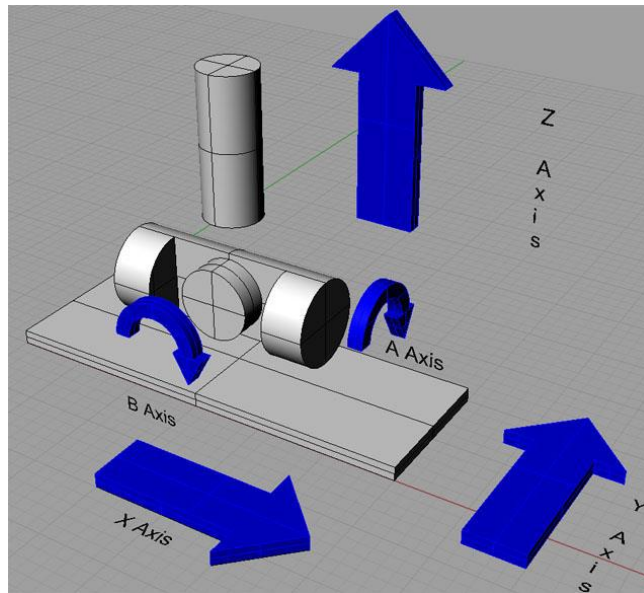
Άλλο τυπικό σημείο, το οποίο συναντάται στην περίπτωση εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση και φαίνεται στα δύο προαναφερόμενα σχήματα, είναι το σημείο αλλαγής του κοπτικού εργαλείου, που συμβολίζεται με Ww. Στην περίπτωση αυτόματης αλλαγής του εργαλείου, η θέση αυτή είναι προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή και βρίσκεται κοντά στο σύστημα ή τα συστήματα αλλαγής, που έχει η εργαλειομηχανή. Στην περίπτωση που η αλλαγή του εργαλείου γίνεται από το χειριστή της εργαλειομηχανής χειροκίνητα, η θέση αλλαγής ορίζεται σε κάποια απόσταση από το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ώστε να του αφήσει διαθέσιμο χώρο. Η απόσταση αυτή πρέπει να είναι αρκετή, ώστε ο τεχνίτης να έχει χώρο αλλαγής, αλλά όχι πολύ μεγάλη, ώστε να απαιτεί πολύ χρόνο μετακίνησης από το τεμάχιο στο σημείο αλλαγής. Επίσης, πρέπει να ορισθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε κατά τη μετάβαση σε αυτή να μην υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Το μηδενικό σημείο του προγράμματος, που συμβολίζεται με P, ορίζει τη θέση, που πρέπει να έχει το εργαλείο κατά την εκκίνηση του προγράμματος, δηλαδή την αρχή της κατεργασίας. Χρησιμοποιείται κυρίως, για να ορίσει τη θέση, που πρέπει να έχει το κοπτικό εργαλείο, όταν δένεται ένα νέο τεμάχιο.

Τέλος, το μηδενικό σημείο W του κατεργαζόμενου τεμαχίου είναι η αρχή του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου και ίσως το σημαντικότερο από όλα τα προαναφερόμενα σημεία, μια και ο σωστός καθορισμός του έχει άμεση επίδραση στη διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής του προϊόντος. Η θέση αυτού του σημείου καθορίζεται από το χειριστή της μηχανής, ανάλογα με τη μορφή του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Η επιλογή του μηδενικού σημείου του τεμαχίου έχει πολύ μεγάλη σημασία, όπως αναφέρθηκε, αφού η εκλογή κατάλληλης θέσης μπορεί να απλοποιήσει πάρα πολύ τον προγραμματισμό των κινήσεων, δηλαδή την καθοδήγηση του εργαλείου.

1.6 Πολυαξονικές κατεργασίες

Οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν ευρέως τα συστήματα CAD, CAM, CNC για την παραγωγή εξαρτημάτων. Η εξέλιξη των πολυαξονικών κατεργασιών σε εργαλειομηχανές CNC έχει ήδη οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και την ακρίβεια για την κατεργασία σε επιφάνεια ελεύθερης μορφής. Ωστόσο, λόγω της επιπλέον κίνησης του τεμαχίου σε περισσότερους άξονες κατεργασίας δημιουργεί απρόσμενα σφάλματα κατεργασίας, όπως σμιλεύσεως του κοπτικού εργαλείου, είναι πιθανό να συμβεί σε μηχανουργικά πολύπλοκα

εξαρτήματα. Επομένως, είναι αναγκαία η εκτέλεση NC προσομοίωσης πριν από την πραγματική κατεργασία για εξακρίβωση και τη διόρθωση των διαδρομών εργαλείου.



Εικόνα 6 : Άξονες πολυαξονικής κατεργασίας

Οι πολυαξονικές κατεργασίες των υλικών επιτυγχάνουν την κατασκευή σύνθετων μεταλλικών μορφών χωρίς νεκρούς χρόνους κοπής βελτιώνοντας την παραγωγικότητα των κατασκευαστικών συστημάτων. Κατά την πολυαξονική κατεργασία διάφορες φάσεις φρεζαρίσματος και τορναρίσματος και διάφοροι τύποι κοπής, όπως σφηνοειδή και ελικοειδής κοπή μπορούν να γίνουν με τη χρησιμοποίηση ενός και μόνου μηχανήματος που θα κατεργάζεται ένα τεμάχιο τοποθετημένο σε μια αρχική θέση κατεργασίας. Στις πολυαξονικές κατεργασίες είναι πιο εύκολο να προγραμματιστεί κάθε μια συγκεκριμένη φάση χωριστά χρησιμοποιώντας τους X, Y, Z χωρίς να ληφθεί υπ' όψη η γωνία κοπής. Αυτό επιτυγχάνεται με την λειτουργία «Μετατόπιση Αρχής Προγράμματος» η οποία σε κάθε φάση μετατρέπει το σύστημα συντεταγμένων ανάλογα με την επιθυμητή γωνία κοπής.

Κεφάλαιο 2^ο : Περιγραφή του προβλήματος μας – η κοπή, κατασκευή των τεμαχιδίων και η χρησιμότητά τους.

Τα τεμαχίδια που πρόκειται να κατασκευαστούν στην εργαλειομηχανή CNC HAAS VF-2 αποτελούν τμήματα μεταλλικών κοχλίων – μαλακτῆρων που επιτυγχάνουν βασικές μορφοποιήσεις σε πλαστικά υλικά που παράγονται σε βιομηχανική κλίμακα. Εδώ σκόπιμα σε αυτό το κεφάλαιο ορίζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία για τη μορφοποίηση των πλαστικών και πολυμερών υλικών και των μηχανών ανάμιξης και μορφοποίησης τους που συνήθως χρησιμοποιούνται.

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τα πλαστικά και πολυμερή

Ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των πλαστικών είναι η ευκολία με την οποία κατεργάζονται και μορφοποιούνται προς τελικά προϊόντα. Σε ορισμένες περιπτώσεις παράγονται αρχικά ημι- έτοιμα προϊόντα, όπως οι δοκοί και φύλλα, τα οποία στη συνέχεια μορφοποιούνται χρησιμοποιώντας τις συνήθεις μηχανουργικές τεχνικές. Τα βασικά στάδια της κατεργασίας των πολυμερών είναι η θέρμανση, η μορφοποίηση και τέλος η ψύξη, μπορεί να είναι συνεχῆ ή ένας επαναλαμβανόμενος κύκλος σταδίων. Πρέπει να τονιστεί ότι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, το υλικό το οποίο μορφοποιείται, είναι ένα μείγμα του βασικού πολυμερούς με διάφορα πρόσθετα σε ποικίλη αναλογία.

Τα υλικά αυτά προστίθενται στο πολυμερές για δυο κύριους λόγους: για να διευκολύνουν την κατεργασία του πολυμερούς και να προσδώσουν στο τελικό προϊόν τις επιθυμητές ιδιότητες. Τυπικά πρόσθετα είναι οι πλαστικοποιητές, τα λιπαντικά, οι σταθεροποιητές έναντι θερμοξειδωσης, τα βοηθητικά κατεργασίας, οι χρωστικές, τα ενισχυτικά αντοχής σε κρούση και τα πληρωτικά. Υπάρχει ένα πλήθος μεθόδων κατεργασίας, οι οποίες είναι κατάλληλες για τα πολυμερή. Στο πλείστο των περιπτώσεων η επιλογή της μεθόδου στηρίζεται πέρα από τα οικονομικά κριτήρια στη γεωμετρία του τελικού προϊόντος και στη φύση του πολυμερούς, ιδιαίτερα, στο εάν είναι θερμοπλαστικό ή θερμοσκληρυνόμενο.

2.2 Η τεχνική της μορφοποίησης των πλαστικών με τη μέθοδο της εκβολής ή συνεκβολής με τη χρήση μονού ή διπλού κοχλία

Σε ένα πλήθος εφαρμογών, οι ιδιότητες των πολυμερών τροποποιούνται με την ενσωμάτωση στη μάζα τους ενός αριθμού προσθέτων. Η διεργασία αυτής της ενσωμάτωσης χαρακτηρίζεται ως ανάμιξη.

Η εκβολή είναι τεχνική μορφοποίησης που εφαρμόζεται εκτεταμένα για την παραγωγή συνεχών μορφών από πολυμερή, όπως ράβδοι, σωλήνες, φύλλα, ίνες ή ακόμη, προϊόντα συνεχούς μήκους με διάφορες διατομές (προφίλ). Η μέθοδος εφαρμόζεται κύρια για τη μορφοποίηση των θερμοπλαστικών, παράλληλα όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και θερμοσκληρυνόμενα ή ελαστομερή υλικά ως πρώτες ύλες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η εκβολή, ως διεργασία, μπορεί να εφαρμοστεί και για την ανάμιξη πολυμερών –προσθέτων, ιδιαίτερα, όταν η αντίστοιχη εγκατάσταση είναι ειδικά σχεδιασμένη ώστε να εκτελεί και τη λειτουργία της ανάμιξης.

Κυριότερα είδη μορφοποίησης με εκβολή ειδικότερα για το ΡΕ υψηλής πυκνότητας είναι :

1. Παραγωγή ινών με εμβολή.
2. Μορφοποίηση με εμφύσηση.
3. Παραγωγή φιλμ με εμφύσηση.
4. Παραγωγή προφίλ.
5. Διεργασίες επικάλυψης με εκβολή.
6. Συνεκβολή.

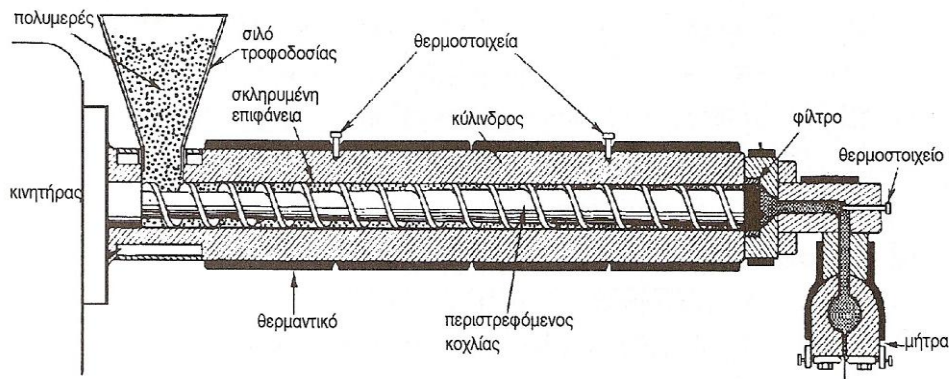
2.3 Η λειτουργία των μονοκόχλιων και δικόχλιων εκβολέων

- **Η λειτουργία του μονοκόχλιου εκβολέα**

Ο μονοκόχλιος εκβολέας είναι μια διάταξη τήξης, ανάμιξης και προώθησης πολυμερούς μέσω μιας μήτρας μορφοποίησης, χρησιμοποιώντας έναν περιστρεφόμενο κοχλία μέσα σε ένα κύλινδρο.

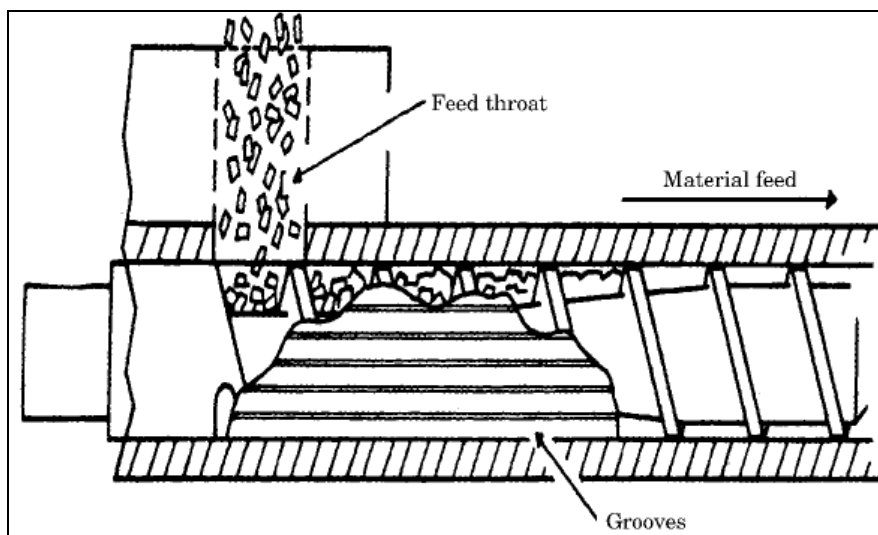
Σε ένα μονοκόχλιο εκβολέα διακρίνονται τα εξής μέρη :

1. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης
2. Το σύστημα μεταφοράς θερμότητας και έλεγχου θερμοκρασίας
3. Το κύριο σώμα .
4. Την μήτρα εκβολής



Εικόνα 1 . Σχηματική παράσταση μονοκόχλιου εκβολέα.

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης αποτελείται από ένα ηλεκτροκινητήρα οδήγησης και ένα μειωτήρα ή κιβώτιο ταχυτήτων για έλεγχο στροφών κοχλίας. Ο ηλεκτροκινητήρας οδήγησης πρέπει να είναι ικανός να στρέφει τον κοχλίας, να ελαχιστοποιεί αν δυνατόν τις αυξομειώσεις στην ταχύτητα σε αυτόν επίσης να δίνει τη δυνατότητα έλεγχου της ταχύτητας σε ένα συγκεκριμένο εύρος (συνήθως 50-150 r/min) και να διατηρεί τη ροπή στρέψης σταθερή.



Εικόνα 2. Εκβολέας με εσωτερική αυλάκωση

Ο κοχλίας με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα περιστρέφεται αξονικά μέσα στο κύλινδρο προωθώντας το πλαστικό προϊόν που είναι σε μορφή κόκκων ή σκόνης και τροφοδοτείται από τη χοάνη τροφοδοσίας, το οποίο είναι ξεχωριστό τμήμα του κυλίνδρου. Ανάλογα με τη φύση και τη κοκκομετρία του τροφοδοτούμενου πλαστικού υπάρχουν διαφορετικοί τύποι χοανών τροφοδοσίας, γεωμετρίας κωνικού, πυραμοειδούς. Επιπλέον για διευκόλυνση της ξηρής ροής του υλικού χωρίς ασυνέχειες στη τροφοδοσία υπάρχουν χοάνες που έχουν ενσωματωμένους μυλίσκους γραμμικούς, σπειροειδείς (Εικόνα 2).

Μερικοί δε κατασκευαστές για την αποφυγή ύπαρξης μπλοκαρίσματος ειδικά στη βάση χράνης έχουν ενσωματώσει σύστημα περιοδικών δονήσεων.

• **Ο δικόχλιος κοχλίας ή δικόχλιος εκβολέας**

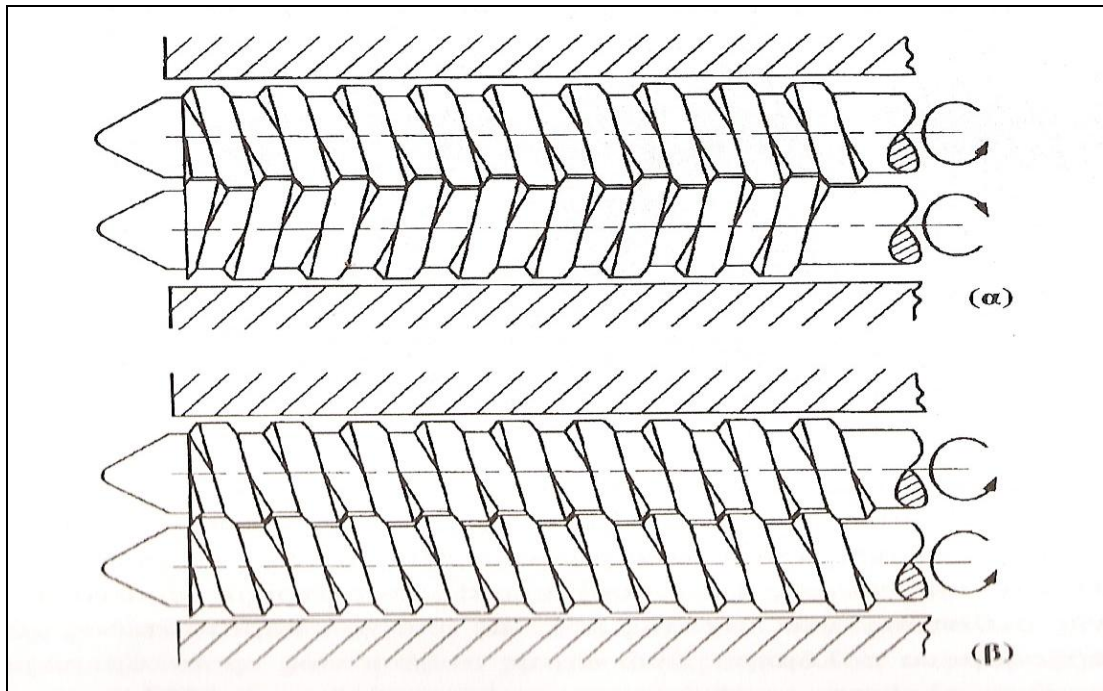
Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, ο μονοκόχλιος εκβολέας είναι ανεπαρκής. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια διαρκώς αυξανόμενη χρήση μιας άλλης κατηγορίας εκβολέων, των εκβολέων δίδυμου κοχλία (twin screw extruder) ή, απλούστερα, των διπλοκόχλιων εκβολέων. Στους εκβολείς αυτούς περιστρέφονται δυο παράλληλοι κοχλίες μέσα σε κατάλληλα σχεδιασμένο κύλινδρο. Στην Εικόνα 3 φαίνονται οι διάφοροι τύποι εκβολέων διπλού κοχλία σύμφωνα με τους ποικίλους τύπους διαμόρφωσης των κοχλιών.

SCREW ENGAGEMENT		SYSTEM	COUNTER-ROTATING	CO-ROTATING
INTERMESHING	FULLY INTERMESHING	LENGTHWISE AND CROSSWISE CLOSED		THEORETICALLY NOT POSSIBLE
		LENGTHWISE OPEN AND CROSSWISE CLOSED	THEORETICALLY NOT POSSIBLE	SCREWS
		LENGTHWISE AND CROSSWISE OPEN	THEORETICALLY POSSIBLE BUT PRACTICALLY NOT REALIZED	KNEADING DISKS
	PARTIALLY INTERMESHING	LENGTHWISE OPEN AND CROSSWISE CLOSED		THEORETICALLY NOT POSSIBLE
		LENGTHWISE AND CROSSWISE OPEN		
NOT INTERMESHING	NOT INTERMESHING	LENGTHWISE AND CROSSWISE OPEN		

Εικόνα 3 : Τύποι εκβολέων διπλού κοχλία.

Οι διπλοκόχλιοι εκβολείς είναι πολύ πιο ευέλικτες μηχανές σε σχέση με τους μονοκόχλιους καθώς παρουσιάζονται μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως:

1. Αυξημένη παροχή σε χαμηλό αριθμό στροφών.
2. Βελτιωμένο έλεγχο της εξώθησης του υλικού για ευρεία περιοχή συνθηκών λειτουργίας.
3. Μειωμένη απώλεια ενέργειας λόγω ιξώδους θερμότητας.
4. Ικανότητα κατεργασίας δύσκολων να τροφοδοτηθούν υλικών.
5. Αυξημένη αποτελεσματικότητα στην ανάμειξη.
6. Χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ.



Εικόνα 4 : Ετερόστροφοι (α) και ομόστροφοι (β) δίδυμοι κοχλίες.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διπλοκόχλιων εκβολέων. Η πρώτη διαφοροποίηση γίνεται από το αν οι κοχλίες περιστρέφονται κατά την ίδια φορά ή την αντίθετη φορά, όποτε διακρίνονται σε ομόστροφους (co-rotating) και σε ετερόστροφους (counter-rotating) αντίστοιχα (Εικόνα 4).

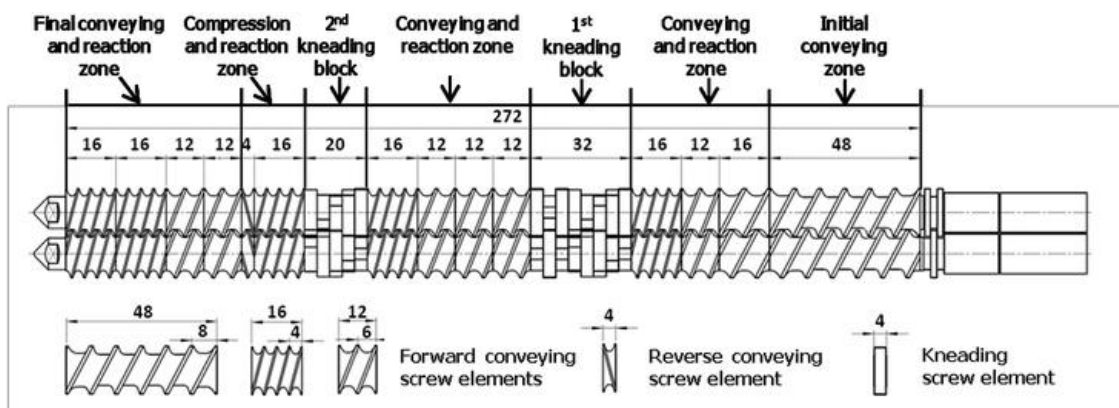
Η δεύτερη διαφοροποίηση γίνεται με βάση το αν οι σπείρες του ενός κοχλίου εφάπτονται με τις σπείρες του άλλου κοχλίου ή οι σπείρες του ενός κοχλίου εισχωρούν στην εγκύφη (την αύλακα) του άλλου κοχλίου, όποτε διακρίνονται σε εφάπτομενους (non - intermeshing) κοχλίες ή συμπλεκόμενους (intermeshing) κοχλίες αντίστοιχα. Στην περίπτωση των συμπλεκόμενων κοχλίων υπάρχει η δυνατότητα να καταλαμβάνεται το πλείστο της εγκύφης από την εισχωρούσα σπείρα ή μέρος αυτής, όποτε διακρίνονται οι κοχλίες σε συζεύκτους (conjugated) και ασυζεύκτους (non-conjugated), αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι τους ασυζεύκτους κοχλίες υπάρχει περισσότερος χώρος για το κατεργαζόμενο πολυμερές ενώ στους συζεύκτους το πολυμερές περιορίζεται, κατά το πλείστον, στο διάκενο μεταξύ κοχλίων και κυλίνδρου.

Μια άλλη διάκριση των διπλοκόχλιων εκβολέων γίνεται με βάση το αν οι κοχλίες είναι ενιαίοι ή τμηματικοί (segmented). Ο ενιαίος κοχλίας είναι ένα σώμα ενώ ο τμηματικός αποτελείται από διάφορα ανεξάρτητα τμήματα, τα οποία συναρμολογούνται πάνω σε άξονες, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 5.



Εικόνα 5 : Διάφοροι τύποι από μεταλλικούς εκβολείς μηχανών extruder

Στους ενιαίους κοχλίες η διάταξη των σπείρων είναι δεδομένη από τον κατασκευαστή. Αντίθετα, στους τμηματικούς κοχλίες ο χειριστής μπορεί να επιλέξει ανά πάσα στιγμή την σειρά τοποθέτησης των διάφορων τμημάτων Εικόνα 6 κατά μήκος του κοχλία, επομένως και την διάταξη των σπείρων.



Εικόνα 6 : Τεμάχια σε συγκεκριμένη διάταξη πάνω στον άξονα.

Στους ενιαίους εκβολείς ο κύλινδρος είναι επίσης ενιαίος ενώ στους τμηματικούς ο κύλινδρος είναι διαχωριζόμενος σε διάφορα τμήματα. Είναι προφανές στον τμηματικό εκβολέα παρουσιάζεται πολύ ευελιξία.

2.4 Η χρήση μηχανής πλαστικού (Extruder) στη περίπτωση μας με μεταλλικό εκβολέα διαιρούμενου άξονα.

Στα περισσότερα εργοστάσια χρησιμοποιούνται extruder (μηχανές πλαστικού) με «μασίφ», δηλαδή ενιαίους άξονες, στο εσωτερικό τους (Εικόνα 7). Αυτές συνήθως οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν έτοιμες ή κατά παραγγελία πρώτες ύλες, για τις ανάγκες των προϊόντων τους. Σε αυτή τη περίπτωση, οι άξονες των μηχανών αυτών (μασίφ) δεν φθείρονται τόσο ώστε να χρειαστούν αντικατάσταση και είναι ατέρμονες κοχλίες μεταφοράς με διαβάθμιση στο βήμα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή μεταβολή θερμοκρασίας και πίεσης.



Εικόνα 7 : Μασίφ μεταλλικοί κοχλίες ή εκβολείς

Στη συγκεκριμένη βιομηχανία πλαστικού, για την οποία θα κατασκευαστούν τα παρακάτω τεμαχίδια, υπάρχουν μηχανές πλαστικού (extruder) στον οποίων στο εσωτερικό βρίσκονται διαιρούμενοι άξονες.

Στην εν λόγω βιομηχανία, είναι χρήσιμο οι άξονες να είναι διαιρούμενοι, γιατί γίνεται παραγωγή πρώτων υλών. Ανάλογα με την πρώτη ύλη που θα παραγγείλει ο πελάτης στην βιομηχανία αυτή και τις ιδιότητες που θα θέλει να έχουν, γίνεται και η ανάλογη τοποθέτηση αξόνων μέσα στο φούρνο της μηχανής (Εικόνα 9). Για το λόγο αυτό, υπάρχουν και κατασκευάζονται τα παρακάτω τεμάχια σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, που εξυπηρετούν τη μάλαξη και τη μεταφορά του πλαστικού μέσα στην μηχανή επεξεργασίας των κόκκων του πλαστικού υλικού. Λόγω της μικρής διατομής των υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων, επέρχεται μια φυσιολογική φθορά στα κομμάτια των αξόνων που δεν τους επιτρέπει να κρατήσουν σταθερά τα μεγέθη της μηχανής.

Δηλαδή, αν τοποθετηθούν στη μηχανή τα καινούρια κομμάτια θα παραχθεί ένα συγκεκριμένο προϊόν με κάποια τεχνικά δεδομένα, όπως είναι η θερμοκρασία φούρνου, η θερμοκρασία κεφαλής, η θερμοκρασία τήγματος, η πίεση τήγματος, η ταχύτητα περιστροφής αξόνων καθώς και η παροχή τροφοδοσίας. Λόγω της φθοράς αυτής γίνεται αναγκαία η αλλαγή των κομματιών από ένα σημείο και μετά, γιατί με τις συγκεκριμένες τιμές που παραγόταν ένα προϊόν θα παραχθεί τώρα ένα μη θεμιτό με διαφορετικές ιδιότητες.

Στις συγκεκριμένες μηχανές (Εικόνα 9) για τις οποίες τα κομμάτια κατασκευάζονται τοποθετούνται άξονες με 12αρι καρέ (12mm) και 12 δόντια. Το μήκος του άξονα εξαρτάται από την μηχανή και κυμαίνεται από ένα μέτρο έως και δύομηση.



Εικόνα 8 : Τεμαχίδια τοποθετημένα σε κοχλία ή εκβολέα.



Εικόνα 9 : Ολοκληρωμένο σύστημα για την παραγωγή masterbatches.

Γενικότερα οι περιστρεφόμενοι κοχλίες ή και εκβολείς μονοκόχλιοι ή δικόχλιοι χρησιμοποιούνται σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας για την παραγωγή, την παρασκευή ή και μεταποίηση υλικών υψηλού ιξώδους. Βρίσκουν μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών ειδικά στα πλαστικά, καουτσούκ και βιομηχανίες τροφίμων (ζύμες). Αυτές οι περιστροφικές δικόχλιες μηχανές έχουν συνήθως τυποποιημένες διαμορφώσεις και επομένως είναι αρκετά ευέλικτες για την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες ιδιότητες των υλικών.

Κεφάλαιο 3^ο : Τα συστήματα CAD - CAM και η περιγραφή σχεδίασης των τριών τεμαχίων με το πρόγραμμα σχεδίασης Pro engineering Creo Parametric 1.0

3.1 Εισαγωγικά στοιχεία στα συστήματα σχεδίασης CAD

Το 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 αντικείμενου, 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 παράγωγη. 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. Τα σύγχρονα συστήματα σχεδίασης με χρήση Η/Υ στηρίζονται στη χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι απαραίτητη για την παρουσίαση, την ανάλυση της συμπεριφοράς του αντικειμένου και για την παραγωγή του. Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης βασίζονται στα στερεά μοντέλα, ή στα μοντέλα επιφανειών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την χρήση του μοντέλου είναι η μονοδιάστατη απεικόνιση του πραγματικού αντικείμενου από το μοντέλο, σε όλες τις φάσεις χρησιμοποίησής του.

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη κάθετων εφαρμογών αξιολόγησης, ανάλυσης, παραγωγής και τεκμηρίωσης του αντικειμένου και του τελικού προϊόντος. Τα πρώτα συστήματα σχεδίασης ήταν συστήματα δύο διαστάσεων-2D τα οποία ήταν κατάλληλα μόνο για σχεδίαση. Στο σύστημα των δύο διαστάσεων ο χρήστης σχεδιάζει τις όψεις του αντικειμένου, όπως θα τις σχεδίαζε και σε ένα φύλλο χαρτί. Συχνά ακόμα και σε σύστημα τριών διαστάσεων με μοντέλα ακμών, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να αγνοήσει την τρίτη διάσταση και να σχεδιάσει τις διάφορες όψεις αυτόνομα. Το τρισδιάστατο μοντέλο υφίσταται μόνο στη σκέψη του σχεδιαστή και όχι στην βάση δεδομένων που καταχωρείται για το μοντέλο. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τρεις μεθοδολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης

- Μοντέλα ακμών ή σύρματος - wire frame models
- Μοντέλα επιφανειών - surface models
- Μοντέλα στερεών - solid models

Τα πρώτα συστήματα ήταν μοντέλα ακμών. Σήμερα τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσο στάδιο για τη δημιουργία κύρια του μοντέλου των επιφανειών. Η επιλογή της μεθόδου μοντελοποίησης είναι συνάρτηση της εφαρμογής.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, ο χρήστης δεν "βλέπει" τον τρόπο της μαθηματικής μοντελοποίησης, απλά χρησιμοποιεί τα εργαλεία του συστήματος για τη δημιουργία των στοιχείων που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία της γεωμετρίας του μοντέλου. Τα εργαλεία αυτά ποικίλουν ανάλογα με το είδος, δηλ. μοντέλο ακμών, επιφανειών ή στερεών. Η πολυπλοκότητα του μοντέλου αυξάνει ανάλογα με το σύστημα μοντελοποίησης. Τα πιο απλά είναι τα μοντέλα ακμών, μετά είναι τα μοντέλα επιφανειών και τέλος τα μοντέλα στερεών. Η πληρότητα της απεικόνισης επίσης είναι ανάλογη με τη μέθοδο. Τα πιο έγκυρα είναι τα μοντέλα στερεών, έπονται τα μοντέλα επιφανειών και τέλος είναι τα μοντέλα ακμών.

Η διαφορά στην πληρότητα μεταξύ των τριών συστημάτων φαίνεται στο σχέδιο παρακάτω. Στο σχήμα αυτό το αντικείμενο, το κουτί μόνο, έχει μοντελοποιηθεί και με τους τρεις διαφορετικούς τρόπους. Τέμνεται το μοντέλο με το επίπεδο και προβάλλεται το αποτέλεσμα.

Το κάθε μοντέλο δίνει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Στο μοντέλο των ακμών το αποτέλεσμα είναι τρία σημεία, στο μοντέλο επιφανειών το αποτέλεσμα είναι το περίγραμμα της τομής, ενώ στο στερεό μοντέλο το αποτέλεσμα είναι και η γραμμοσκίαση της τομής.

Παρ' όλο που ο χρήστης δεν ανατρέχει συνήθως στην μαθηματική αναπαράσταση της τρισδιάστατης απεικόνισης, η γνώση της είναι απαραίτητη γιατί παρέχει στο χρήστη:

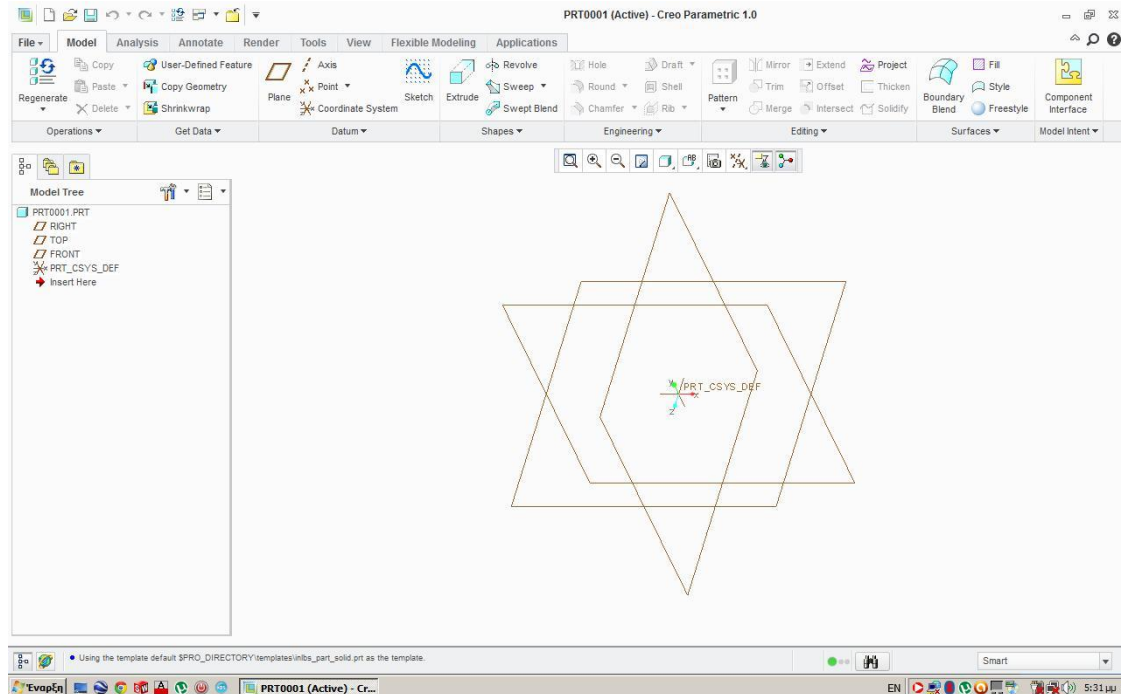
- Γνώση της ορολογίας του CAD/CAM καθώς επίσης και καλύτερη κατανόηση της τεκμηρίωσης των συστημάτων.
- Δυνατότητα να αποφασίσει πιο σωστά ως προς το είδος των χρησιμοποιούμενων στοιχείων για την ακριβή παραγωγή του μοντέλου του αντικειμένου, όπως κλίση, καμπυλότητα, κλπ. Κατά τη σχεδίαση του κοχλία μεταφοράς στο πρόγραμμα σχεδίασης γίνονται τα βήματα που περιγράφονται παρακάτω.

3.2 Ορισμός μονάδων S.I στο προγράμμα σχεδίασης.

Ανοίγεται το Pro engineering Creo Parametric 1.0 και μέσω του μενού

File → New → Part → Solid → Δίνεται όνομα στο σχέδιο στη μπάρα Name → OK

Το λογισμικό έχει μεταφέρεται στο περιβάλλον σχεδίασης

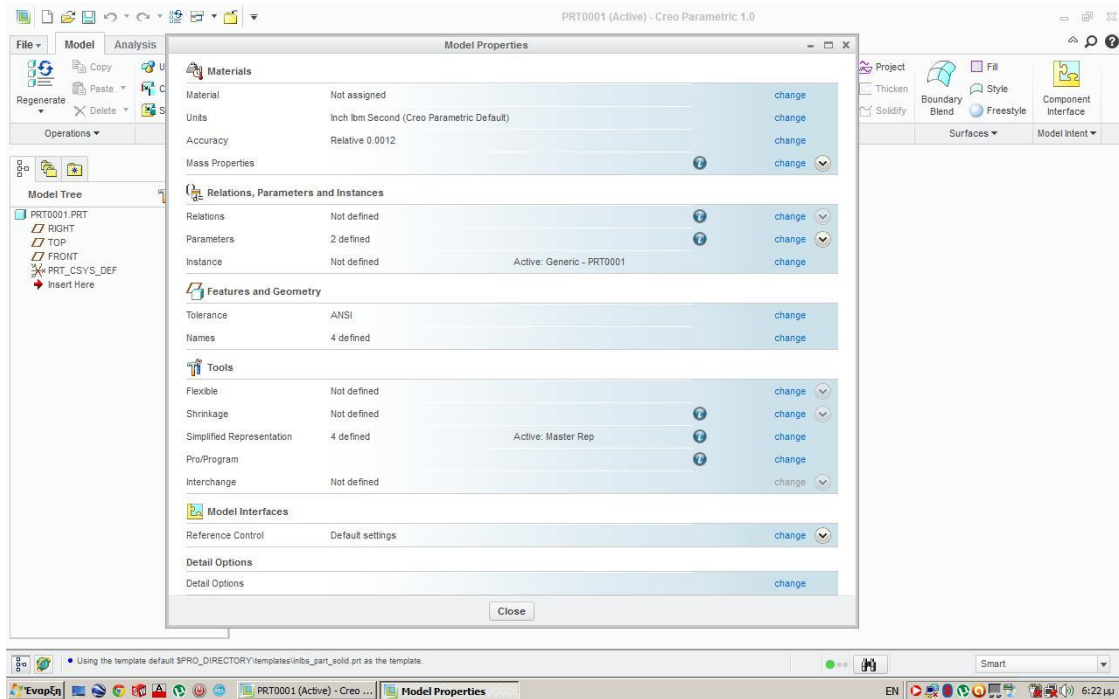


**Εικόνα 1 : Αρχικό περιβάλλον σχεδίασης στο λογισμικό Pro engineering
Creo Parametric 1.0**

Βασική παρατήρηση πριν γίνει η σχεδίαση οποιαδήποτε αντικείμενου είναι η αλλαγή (ή επιβεβαίωση) των μονάδων από **Inch Ibm Second** σε **mm Kg second**

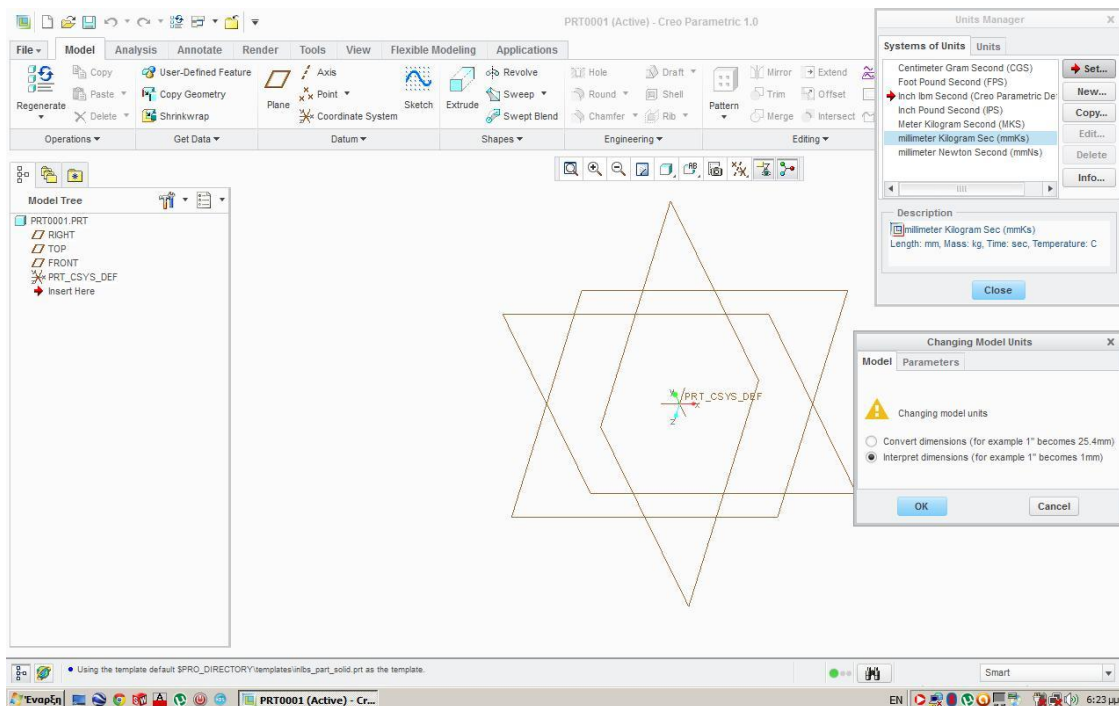
Από το Μενού File → Prepare → Model Properties → Units change (Εικόνα 2)
→ Milimeter Kilogram second → Set και στο επόμενο παράθυρο διαλόγου που θα ανοίξει → επιλέγεται η κουκκίδα όπως στην Εικόνα 3 και έπειτα **OK**.

Πτυχιακή Εργασία – Καρωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



Εικόνα 2 : Μετατροπή των μονάδων στο λογισμικό σχεδίασης

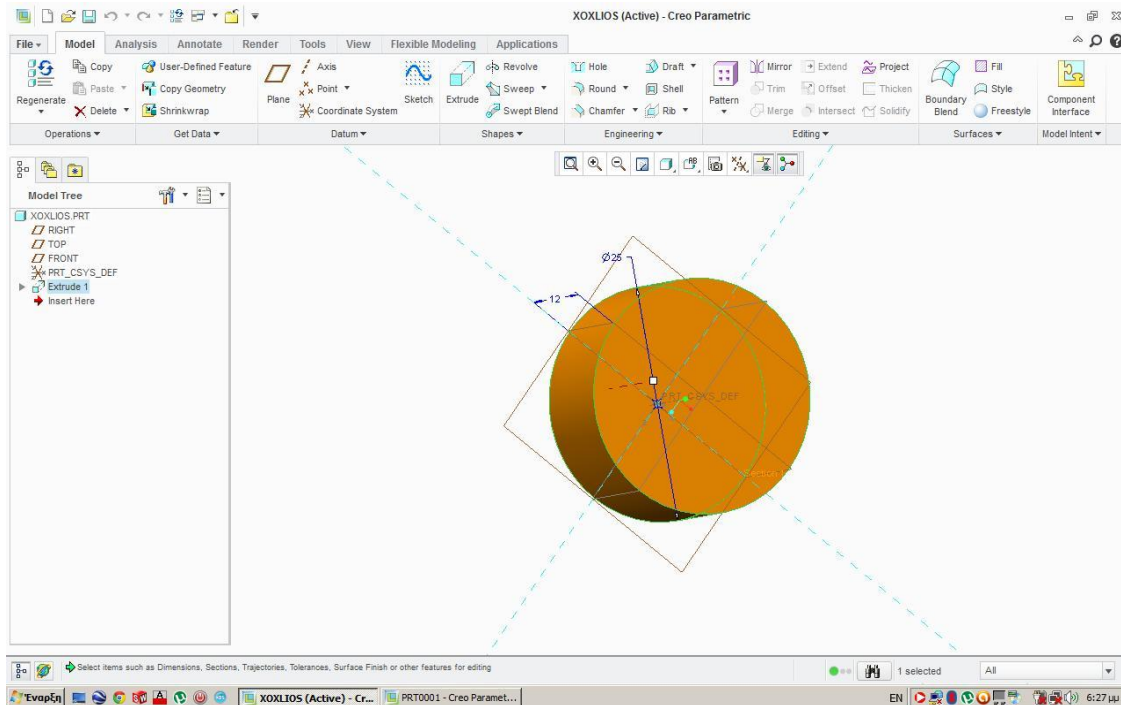
Το λογισμικό βρίσκεται στο σωστό (σε θέμα μονάδων) περιβάλλον σχεδίασης.



Εικόνα 3 : Εφαρμογή του σωστού περιβάλλοντος σχεδίασης

3.3 Περιγραφή σχεδίασης στο Κομμάτι 1

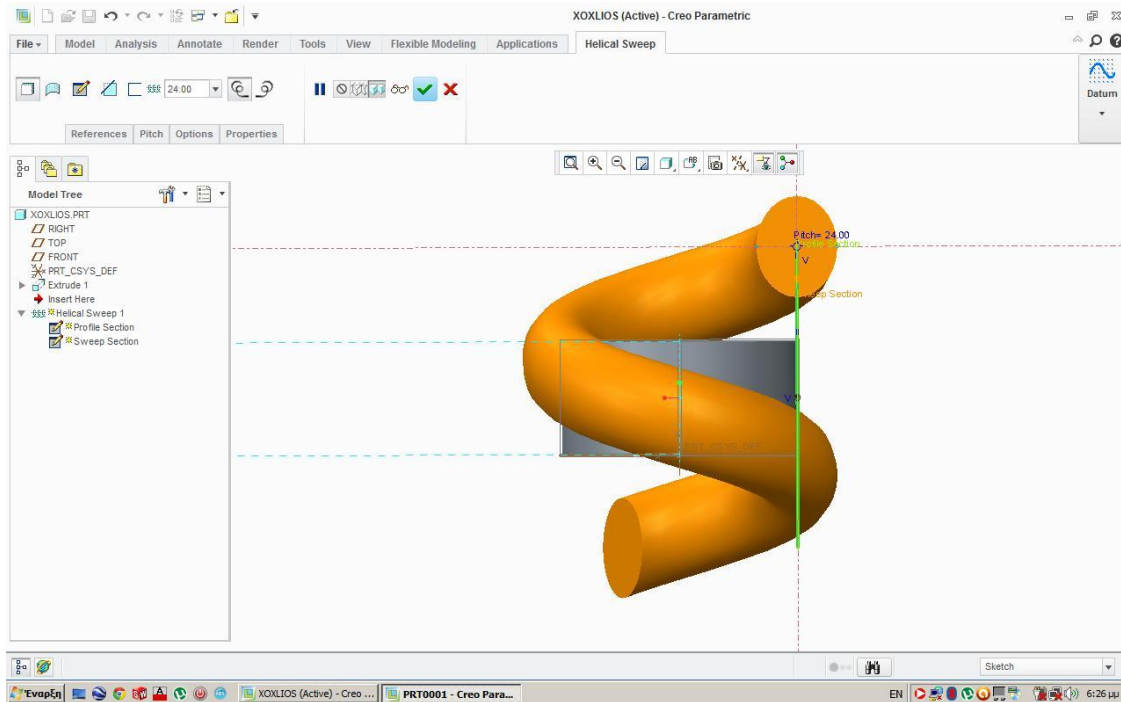
Αρχικά δημιουργείται ένας κύλινδρος διαμέτρου 25 mm ύψους 12 mm Εικόνα 4



Εικόνα 4 : Σχεδιασμός στερεού κύλινδρου

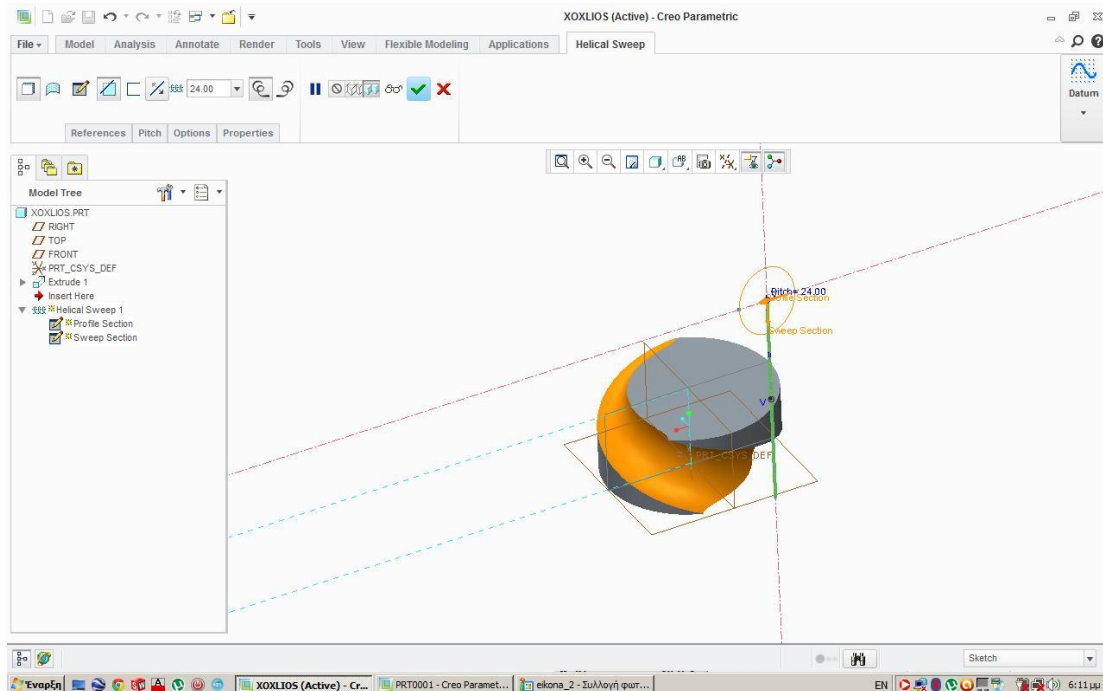
Επειδή το κομμάτι που θα προκύψει ουσιαστικά είναι τμήμα σπειρώματος με δύο αρχές σχεδιάζεται στο συμπαγές κύλινδρο το προφίλ του σπειρώματος μια έλλειψη με μικρή διάμετρο 4.25 mm μεγάλη 10.65mm οι οποίες προκύπτουν από μέτρηση του πρωτοτύπου τεμαχίου.

Μετά τη σχεδίαση του προφίλ του σπειρώματος και δίνοντας βήμα διπλάσιο του ύψους του κομματιού προκύπτει η Εικόνα 5 παρακάτω.



Εικόνα 5 : Σχεδιασμός εξωτερικού σπειρώματος στο κύλινδρο

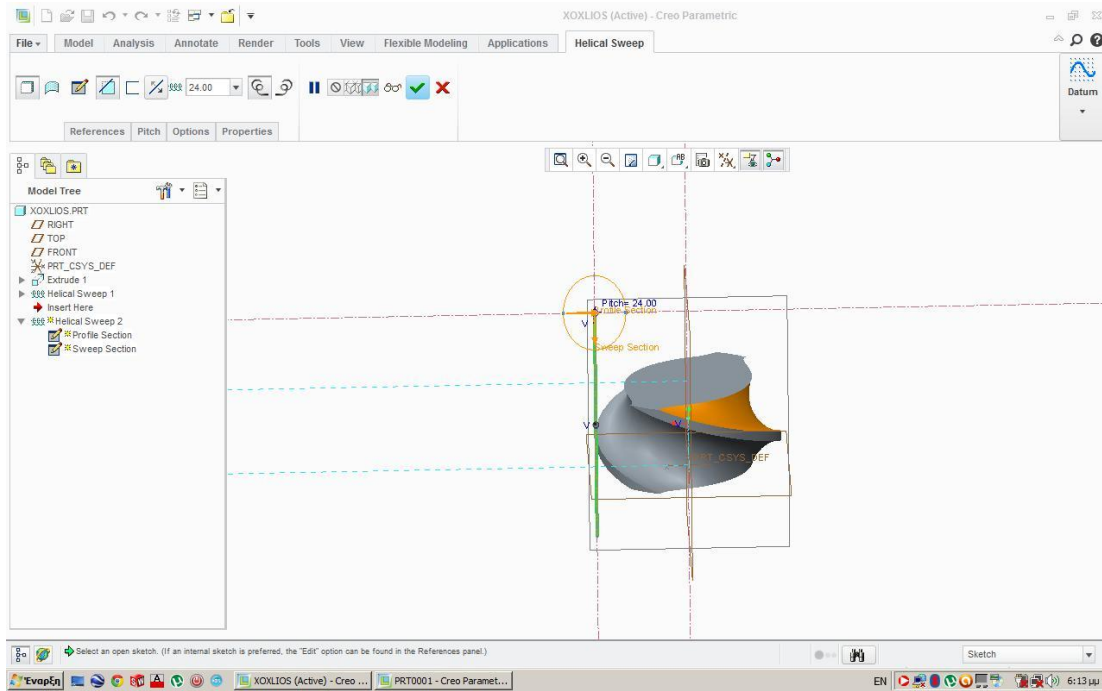
Αφαιρώντας τον όγκο που δημιουργήθηκε προκύπτει το επιθυμητό αποτέλεσμα Εικόνα 6.



Εικόνα 6 : Εξωτερικό αυλάκι κυλίνδρου

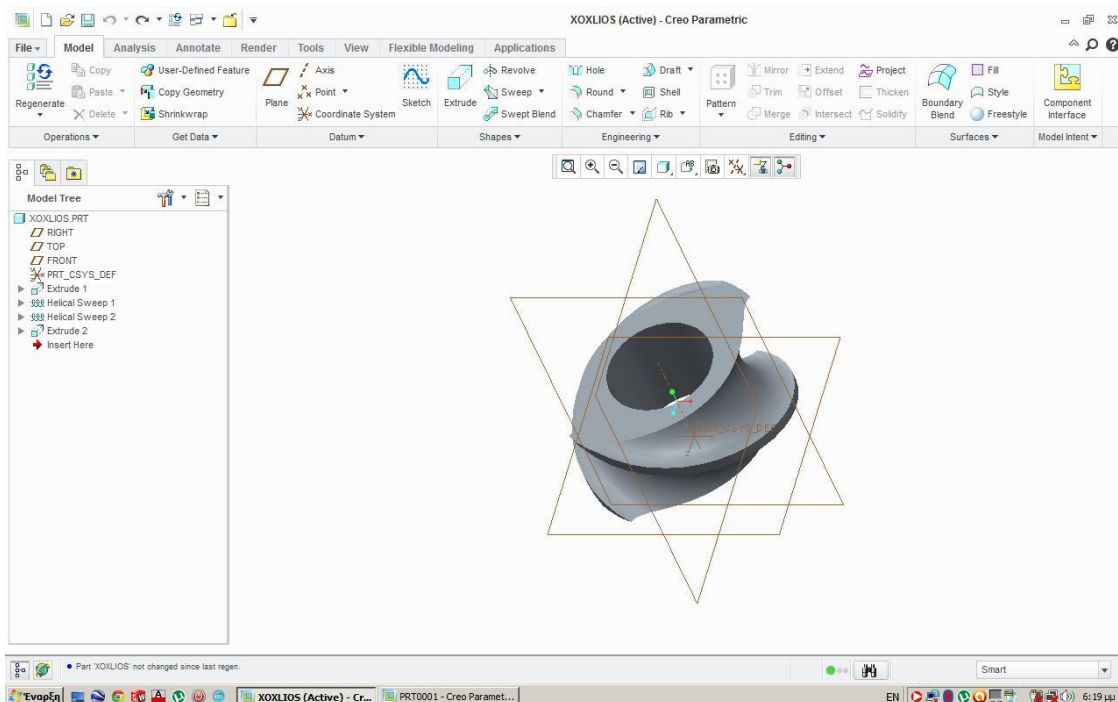
Κάνοντας το ίδιο αντιδιαμετρικά του κύκλου προκύπτει η Εικόνα 7.

Πτυχιακή Εργασία – Καρυωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



Εικόνα 7 : Σχεδίαση αύλακας στην αντιδιαμετρική πλευρά του κυλίνδρου

Τέλος αφαιρείται από το κέντρο του κομματιού μας κυκλικός όγκος διαμέτρου 12mm οπότε προκύπτει η παρακάτω Εικόνα 8.

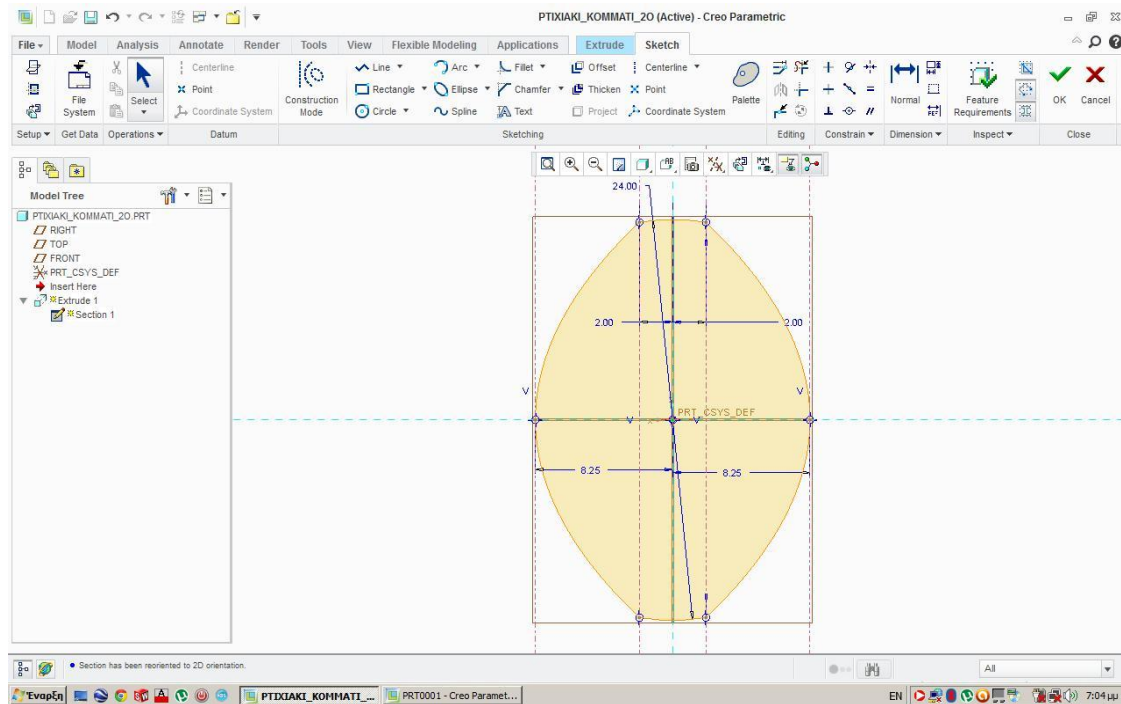


Εικόνα 8 : Τελική όψη του 1^{ου} τεμαχίου κατά τη φάση της σχεδίασης του.

3.4 Περιγραφή σχεδίασης στο Κομμάτι 2

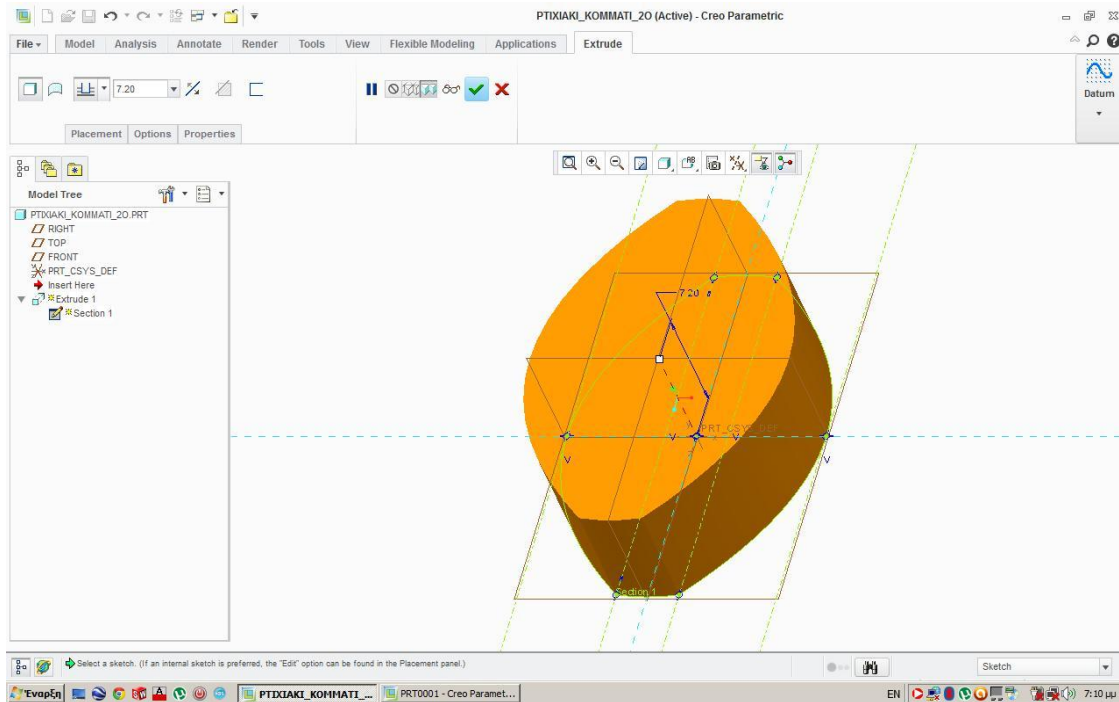
Το κομμάτι αυτό σε συνδυασμό με τα όμοια του που τοποθετούνται συνεχόμενα αλλά με διαφορετικές γωνίες δημιουργούν έναν μαλακτήρα πλαστικού υλικού που κινείται περιστροφικά και αναμινύει πλαστικό υλικό σε λιωμένη μορφή. Για να σχεδιαστεί αυτό το τεμαχίδιο ακολουθείται η εξής διαδικασία :

Αρχικά δημιουργείται ένας κύλινδρος διαμέτρου 24 mm και δύο ελλείψεις, οι οποίες κόβουν τον κύκλο όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.



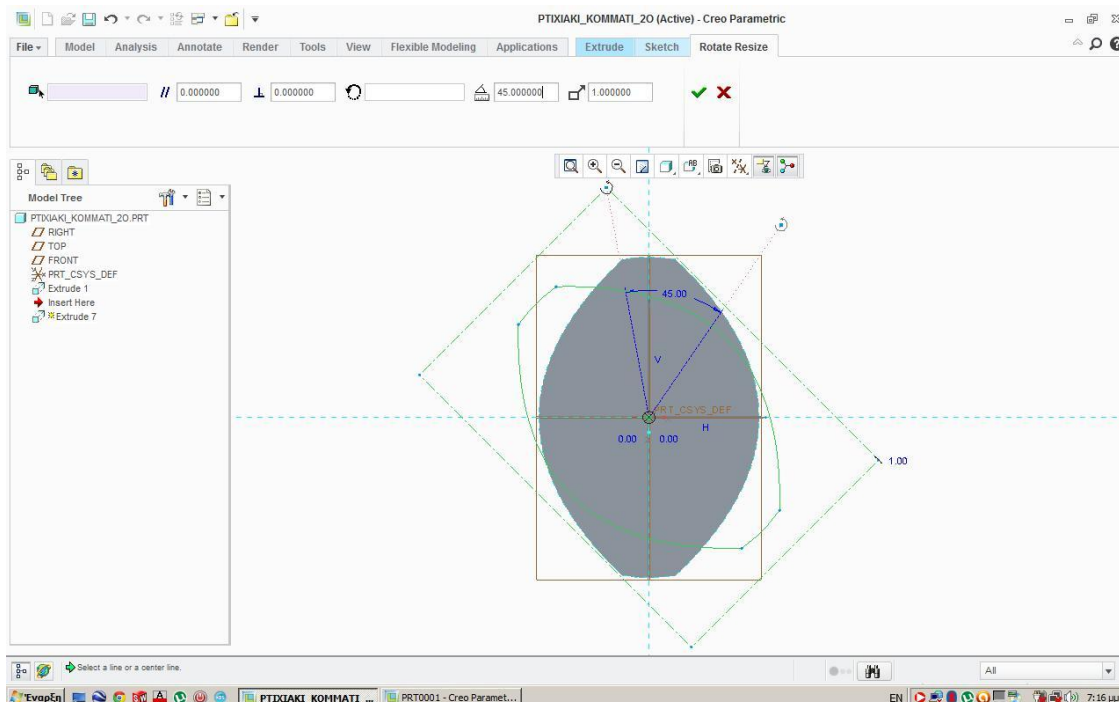
Εικόνα 9 : Σχεδίαση του κομματιού με δύο βοηθητικές ελλείψεις

Το ύψος του όγκου είναι 7.20 mm και φαίνεται στην Εικόνα 10.



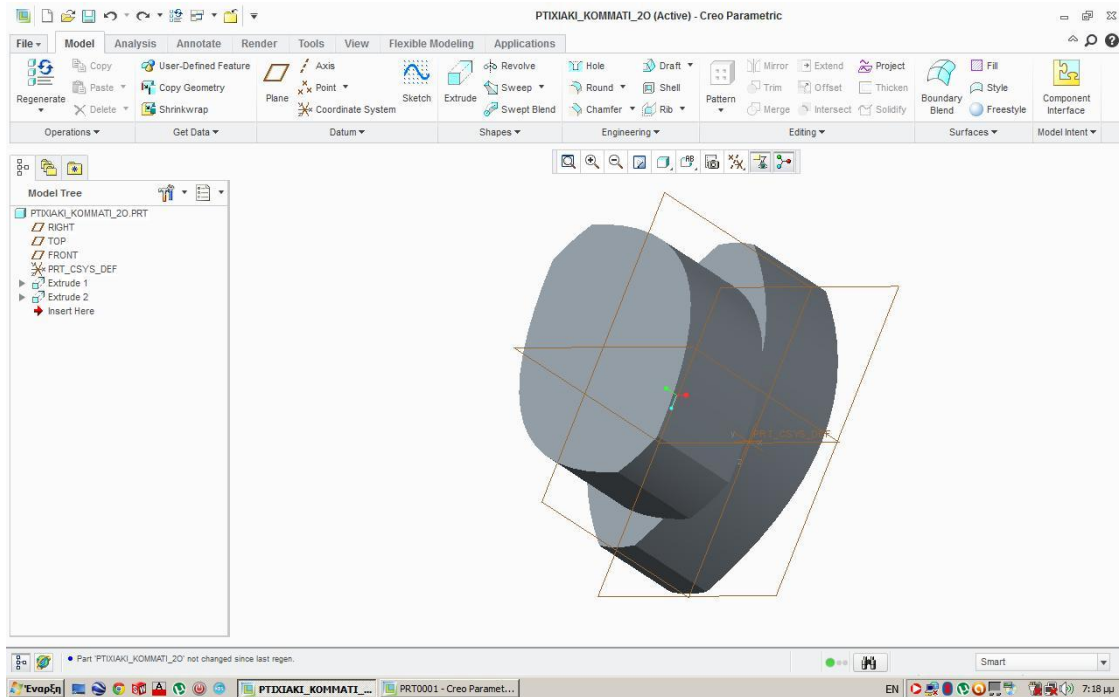
Εικόνα 10 : Αρχικός όγκος με ύψος 7,20 mm.

Το τελικό κομμάτι που θα προκύψει αποτελείται από πέντε επιμέρους όγκους όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 13, οι οποίοι βρίσκονται σε επαφή και σε διάταξη περιστροφής ο ένας με τον κάθε επόμενο του 45° μοίρες όπως φαίνεται στις εικόνες Εικόνα 11, Εικόνα 12.



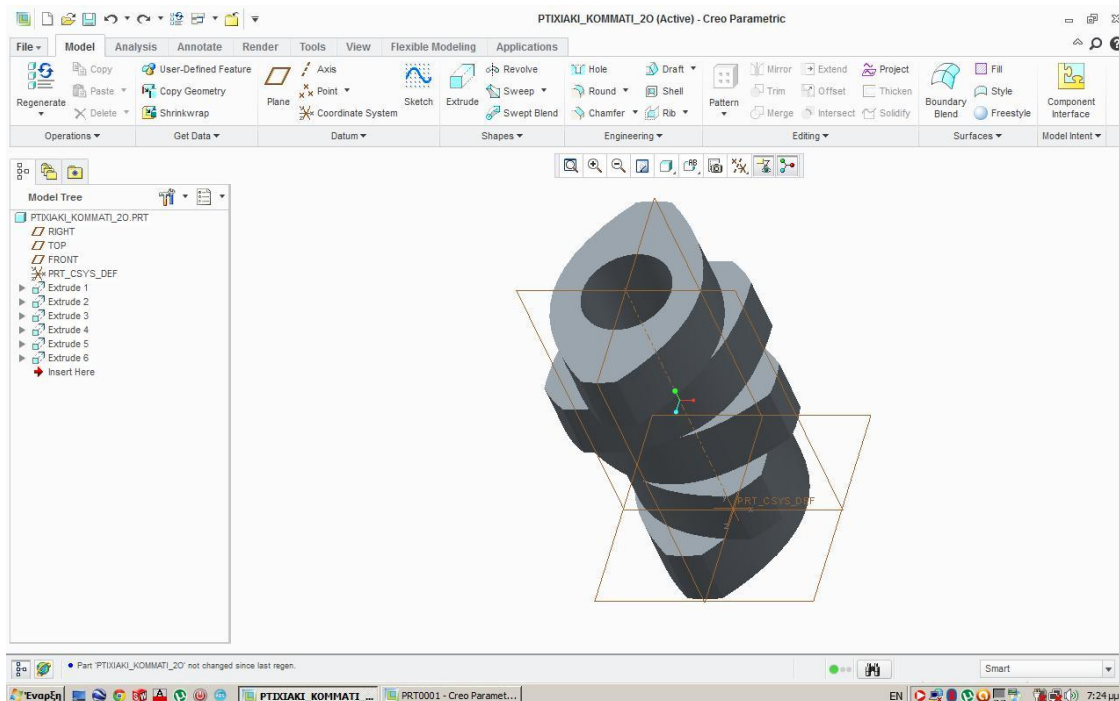
Εικόνα 11 : Περιστροφή 45° σε δύο διαστάσεις.

Πτυχιακή Εργασία – Καρυωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



Εικόνα 12 : Απεικόνιση όγκου δύο τεμαχιδίων σε σειρά με περιστροφή 45⁰

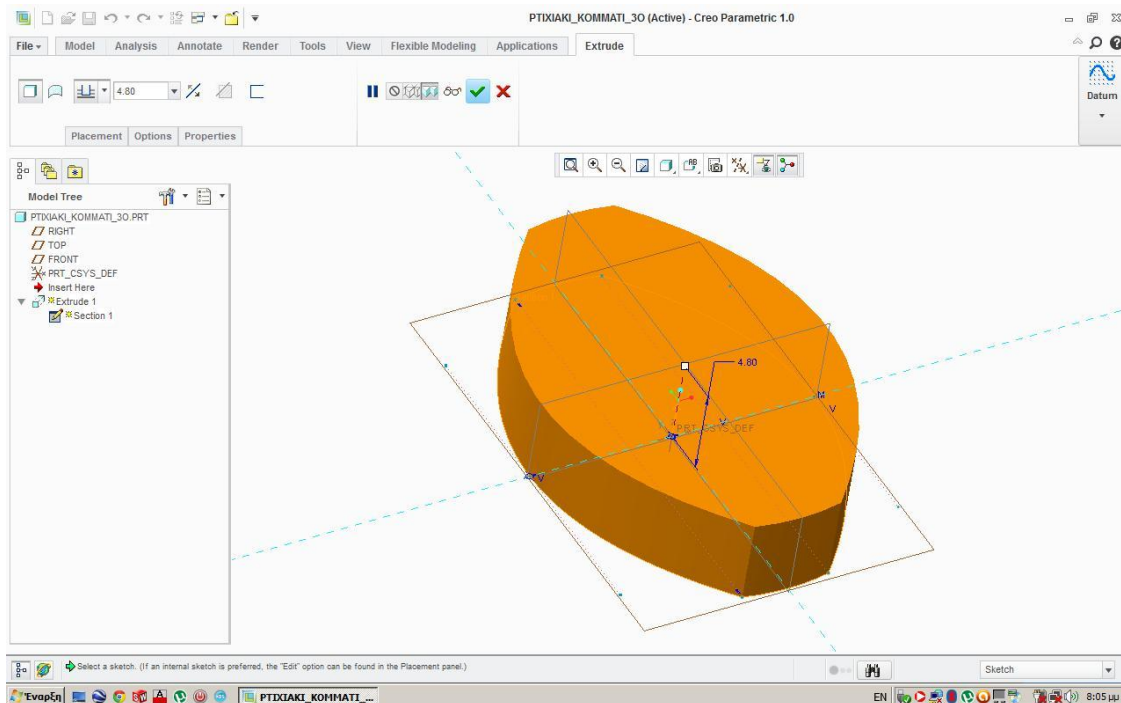
Τέλος με την προσθήκη των υπόλοιπων όγκων και την αφαίρεση από το κέντρο τους κυκλικού όγκου διαμέτρου 12mm προκύπτει το συνολικό κομμάτι με ύψος 36,00 mm η παρακάτω (Εικόνα 13):



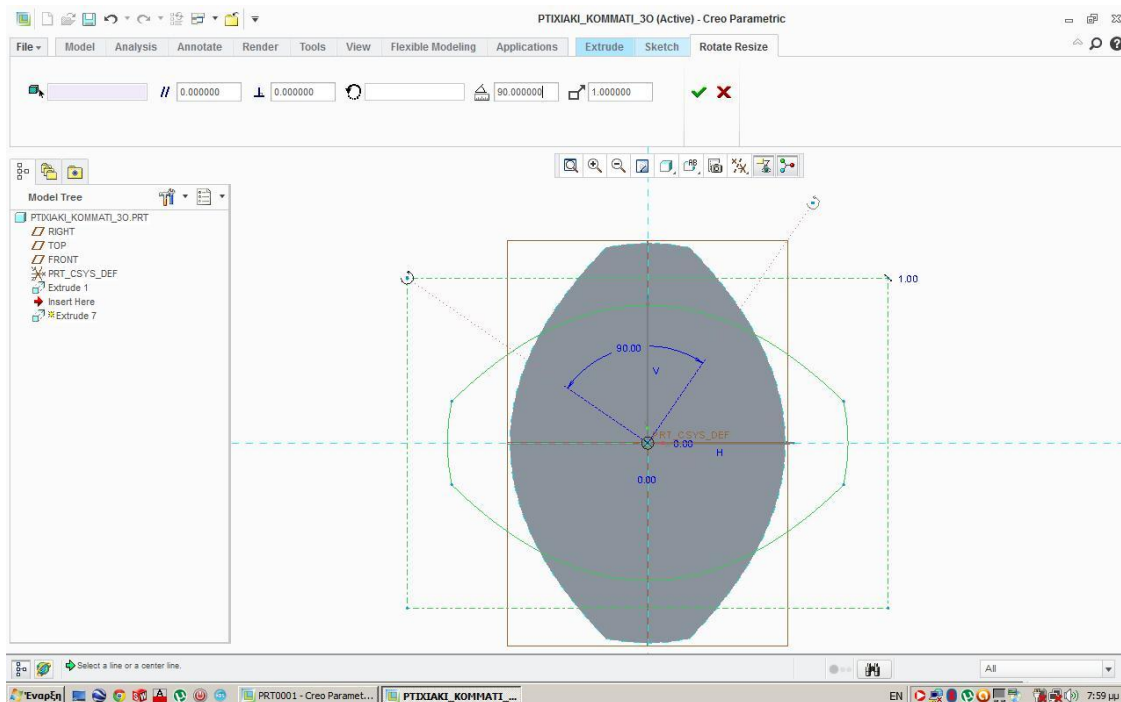
Εικόνα 13 : Το 2ο κομμάτι όπως προκύπτει από την ένωση των επιμέρους τεμαχίων με διάταξη μεταξύ τους ανά 45⁰

3.5 Περιγραφή σχεδίασης στο Κομμάτι 3

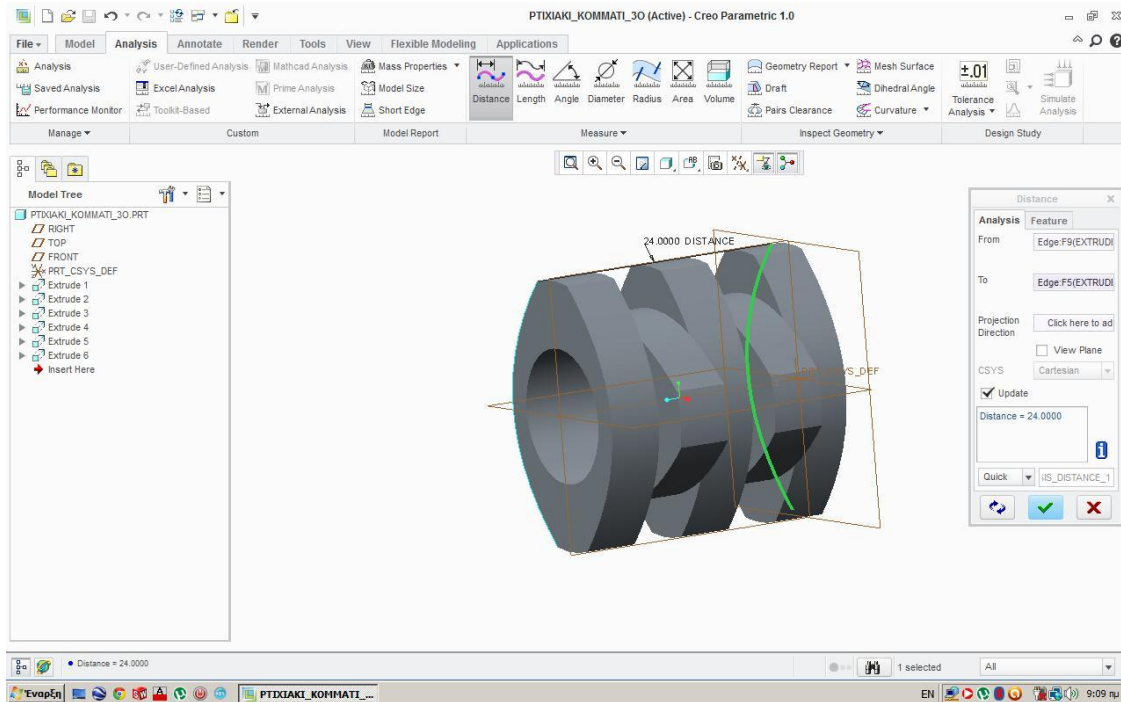
Το 3ο κομμάτι προκύπτει από πέντε επιμέρους όγκους όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 16, όπου τα επιμέρους τεμάχια βρίσκονται σε επαφή και σε διάταξη περιστροφής το ένα με το άλλο και σε γωνία 90^0 μοίρες.



Εικόνα 14 : Αρχικός όγκος με ύψος 4,80mm.



Εικόνα 15 : Περιστροφή 90^0 σε δύο διαστάσεις

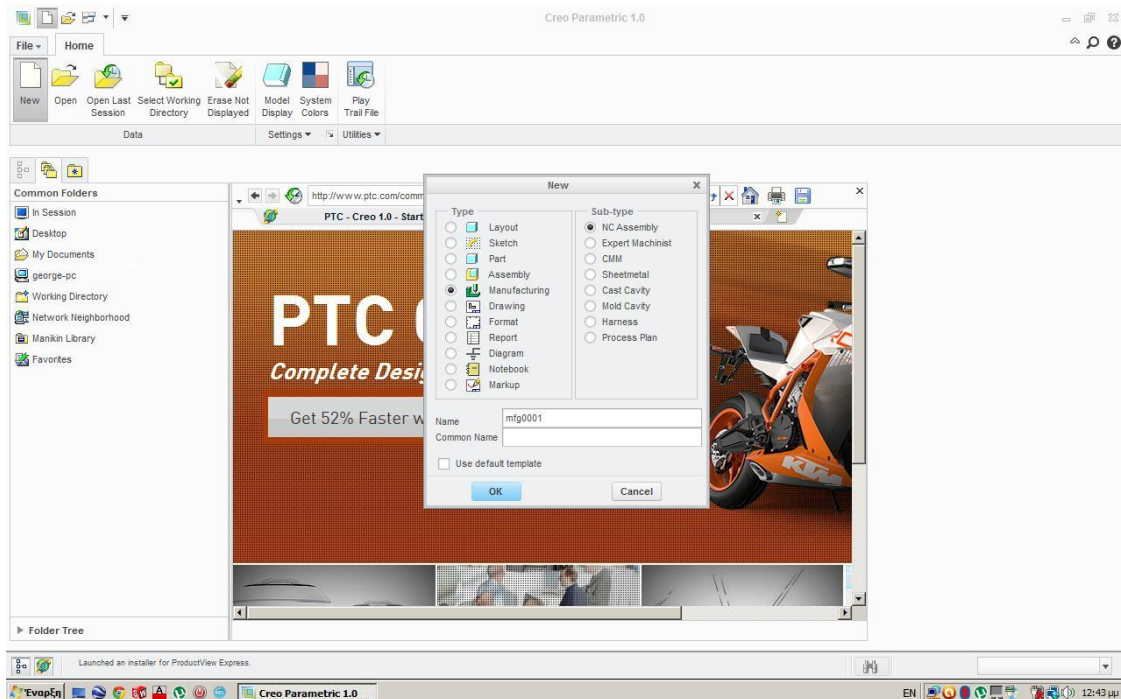


Εικόνα 16 : Τα τεμάχια σε τελική διάταξη – ενωμένα.

3.6 Πρόγραμμα CAM - Διαδικασία εξαγωγής του G κώδικα για την εργαλειομηχανή CNC HAAS VF-2.

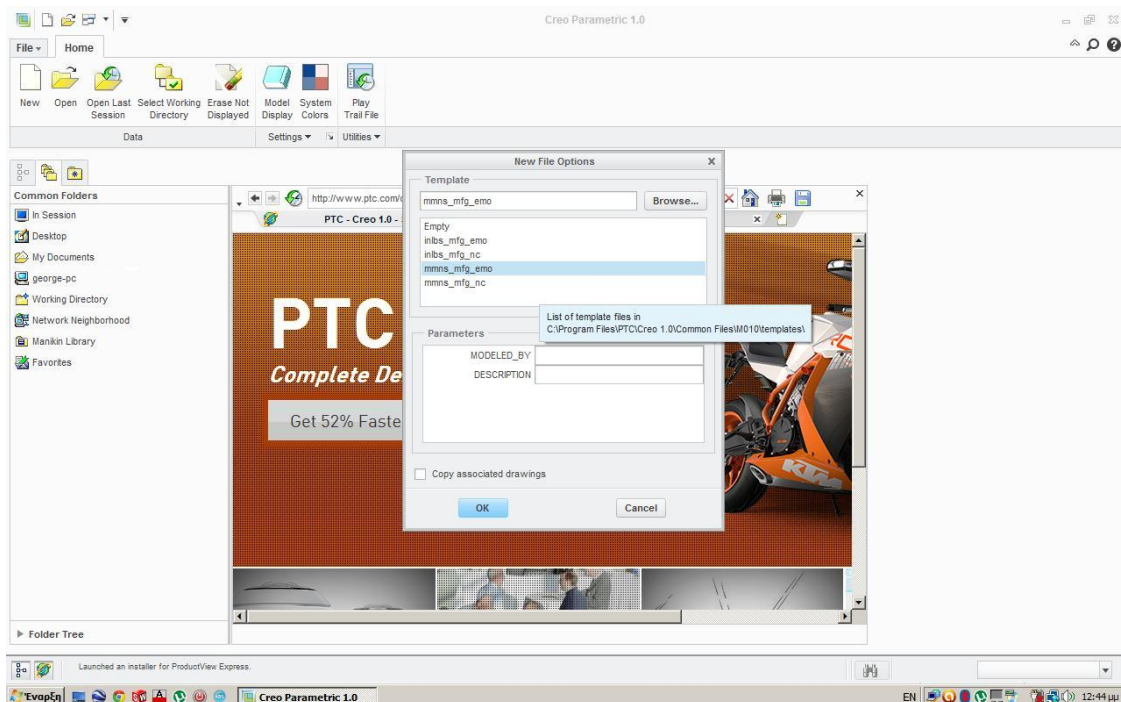
Τελειώνοντας με το κομμάτι του CAD, η διαδικασία προχωράει στο κομμάτι του CAM παραμένοντας στο ίδιο λογισμικό ανοίγεται μια νέα καρτέλα στην οποία επιλέγεται το εικονίδιο «Manufacturing» και απενεργοποιείται η επιλογή «Use default template» όπως φαίνεται στην Εικόνα 17.

Πτυχιακή Εργασία – Καρυωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



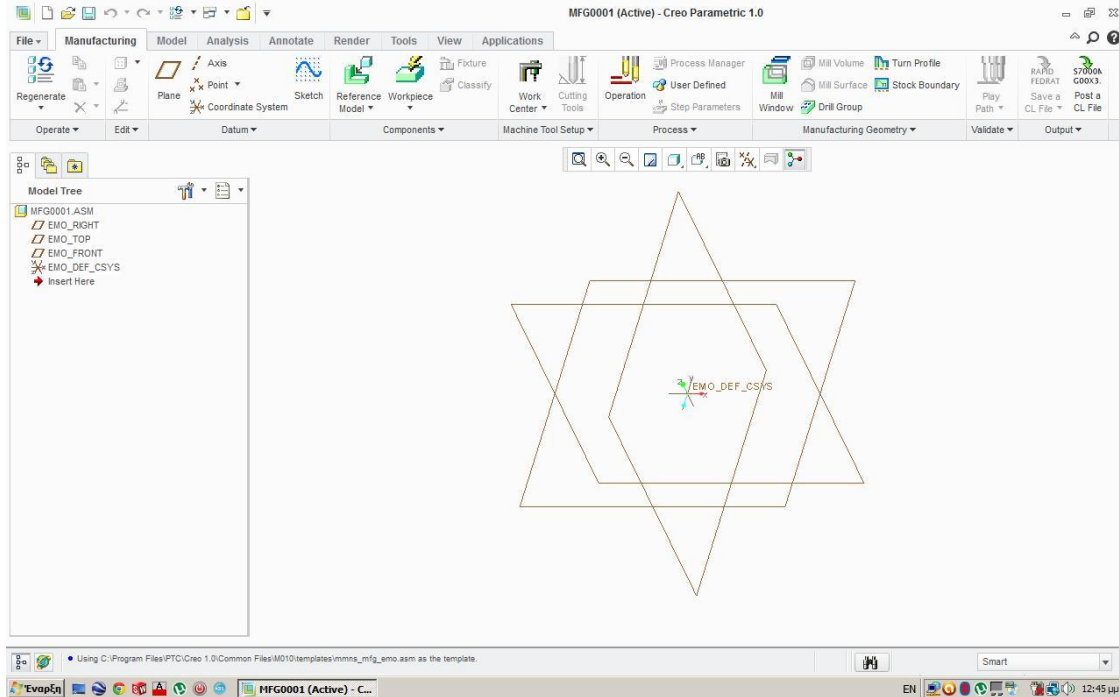
Εικόνα 17: Επιλογή καρτέλας για την εξαγωγή του G κώδικα

Η παρακάτω καρτέλα ανοίγεται αυτόματα με την επιλογή “OK” της προηγούμενης μπάρας εργαλείων και δίνει τη δυνατότητα να οριστεί μετρητικό σύστημα ανάμεσα στο κατεργασμένο και ακατέργαστο κομμάτι. Έτσι, επιλέγεται η μπάρα “mmns_mfg_emo” και επιλέγεται “OK” όπως φαίνεται στην Εικόνα 17α.



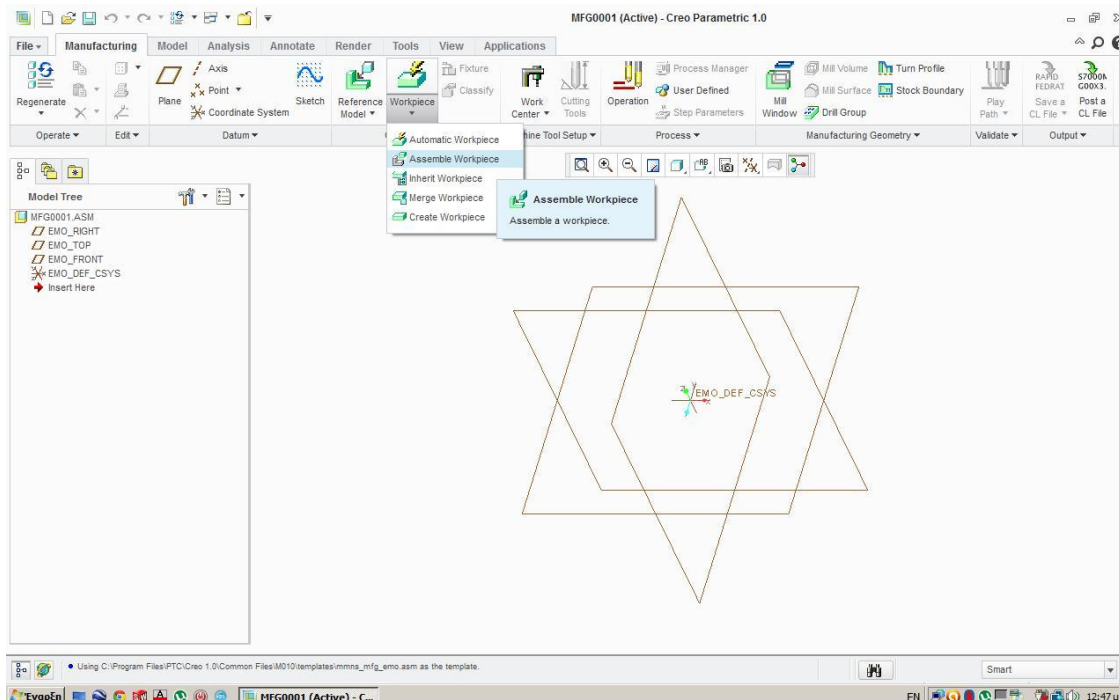
Εικόνα 17α: Επιλογή του κοινού μετρητικού συστήματος σε mm.

Το λογισμικό μεταφέρθηκε στο αρχικό του περιβάλλον Εικόνα 18.



Εικόνα 18: Αρχικό περιβάλλον λογισμικού για να οριστούν οι κατεργασίες.

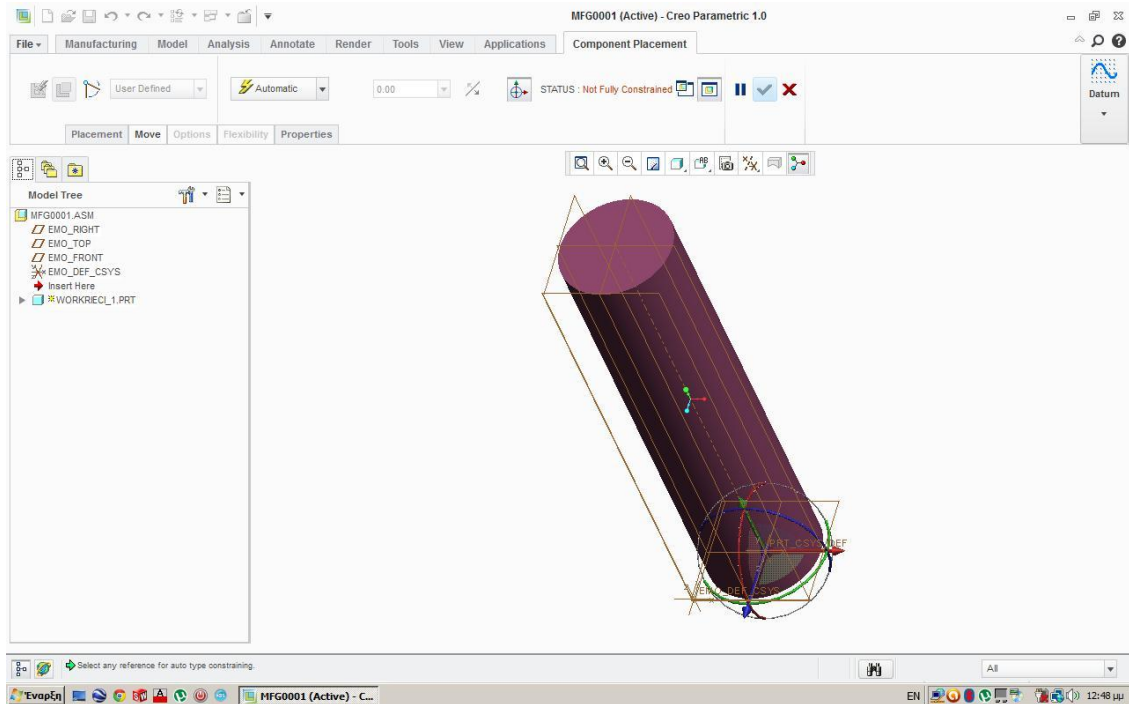
Εισάγεται στο λογισμικό το ακατέργαστο κομμάτι μέσω του κουμπιού Workpiece → Assemble Workpiece .



Εικόνα 19 : Εισαγωγή ακατέργαστου κομματιού

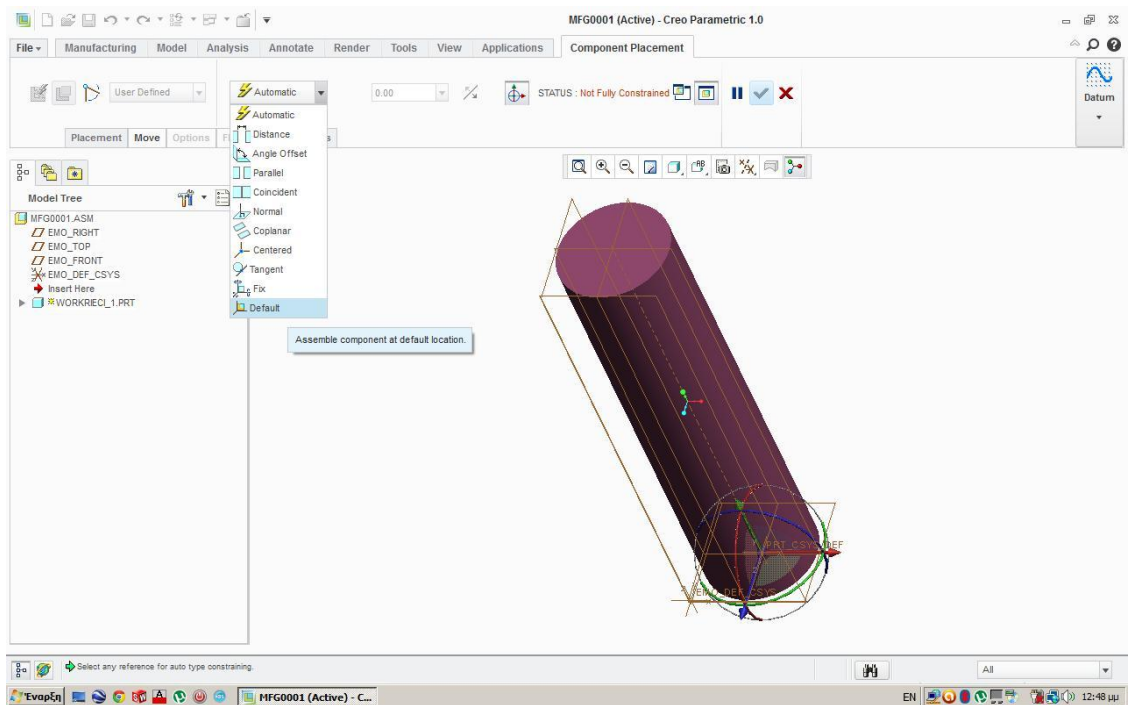
Έχει γίνει εισαγωγή του ακατέργαστου κομματιού χωρίς όμως να έχει οριστεί η θέση του στο χώρο. Εικόνα 20.

Πτυχιακή Εργασία – Καρυωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



Εικόνα 20 : Όγκος ακατέργαστου κομματιού χωρίς χωροθέτηση.

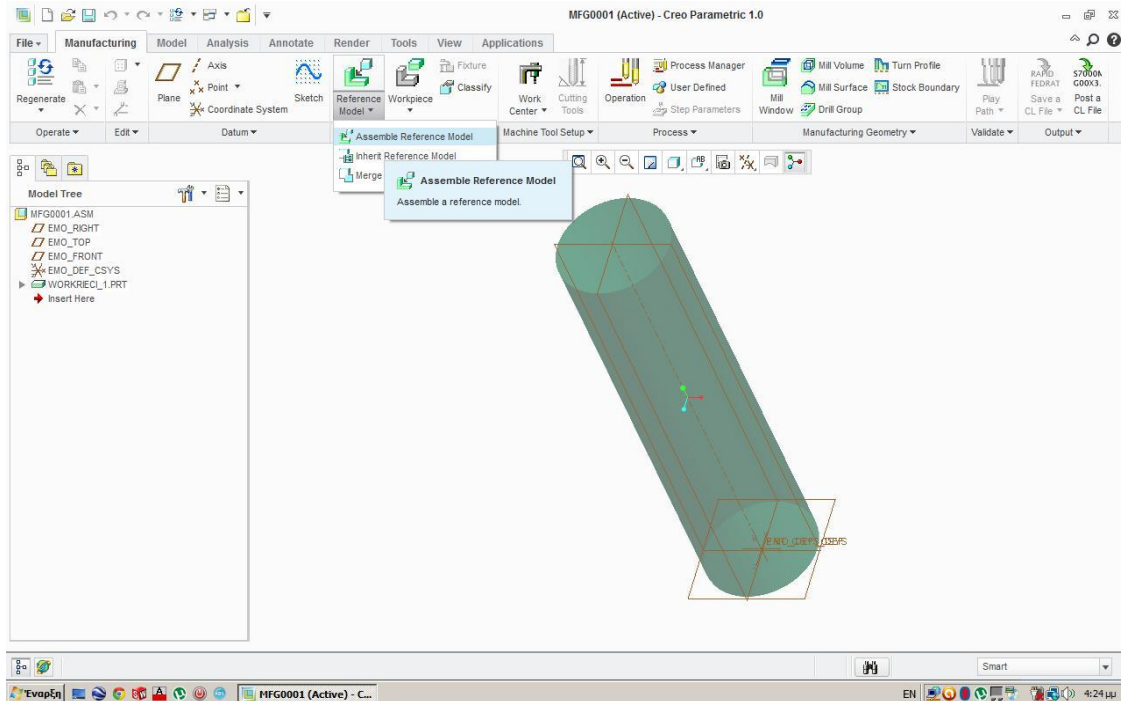
Μέσω της μπάρας Automatic επιλέγεται η εντολή “Default” για να τοποθετηθεί το ακατέργαστο κομμάτι στην αρχική του θέση σύμφωνα με το πρόγραμμα.



Εικόνα 21 : Αρχική θέση ακατέργαστου κομματιού.

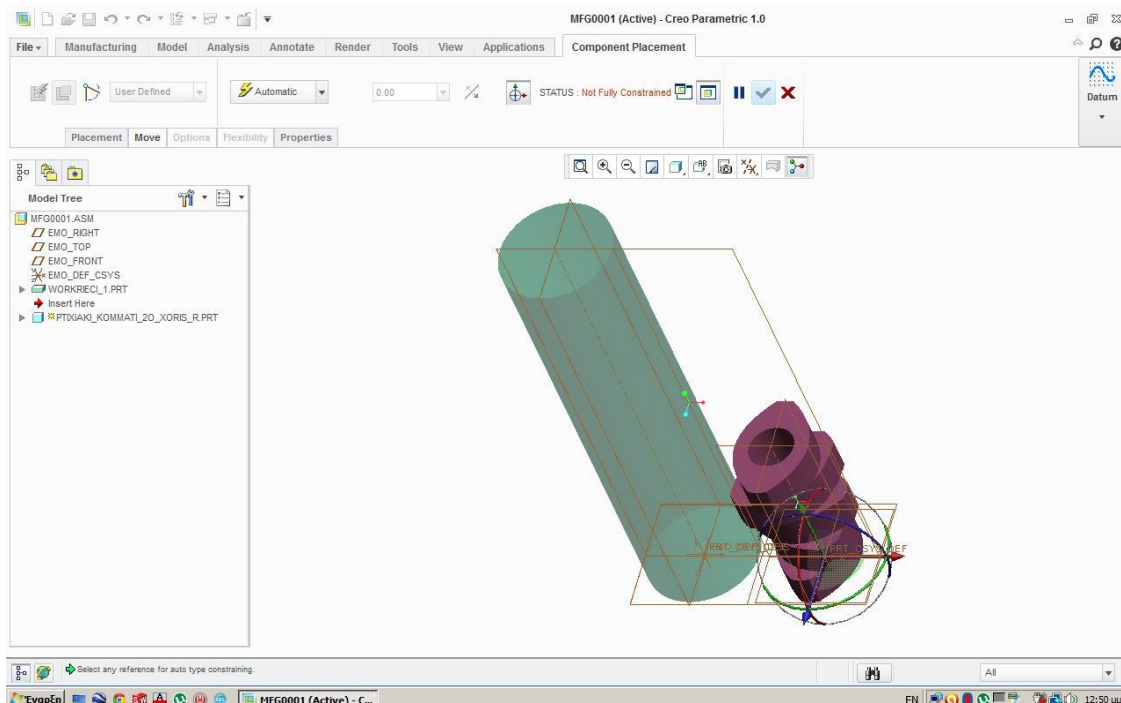
Αφού έχει πάρει το ακατέργαστο αρχική θέση πρέπει να εισαχθεί και το τελικό κομμάτι που θα διαμορφωθεί. Επιλέγεται από το κουμπί Reference model → Assemble Reference model.

Πτυχιακή Εργασία – Καρωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



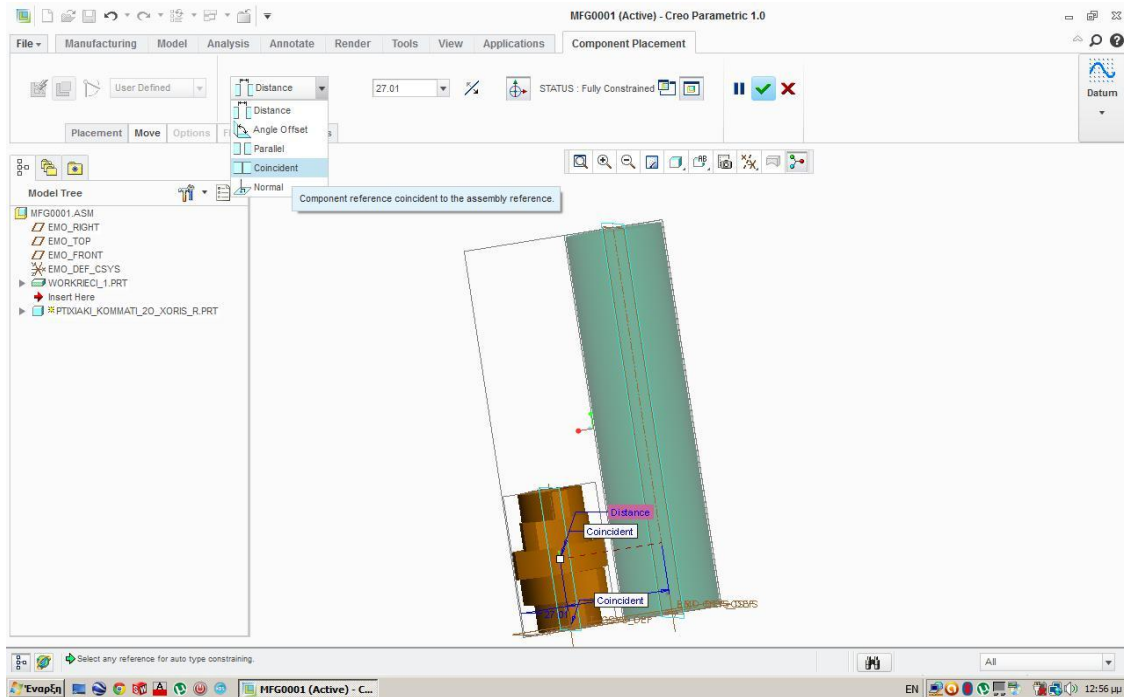
Εικόνα 22 : Επιλογή τελικού κομματιού

Το τελικό κομμάτι εισήχθηκε στο περιβάλλον εργασίας με σκοπό να τοποθετηθεί - χωνευτεί μέσα στο ακατέργαστο.



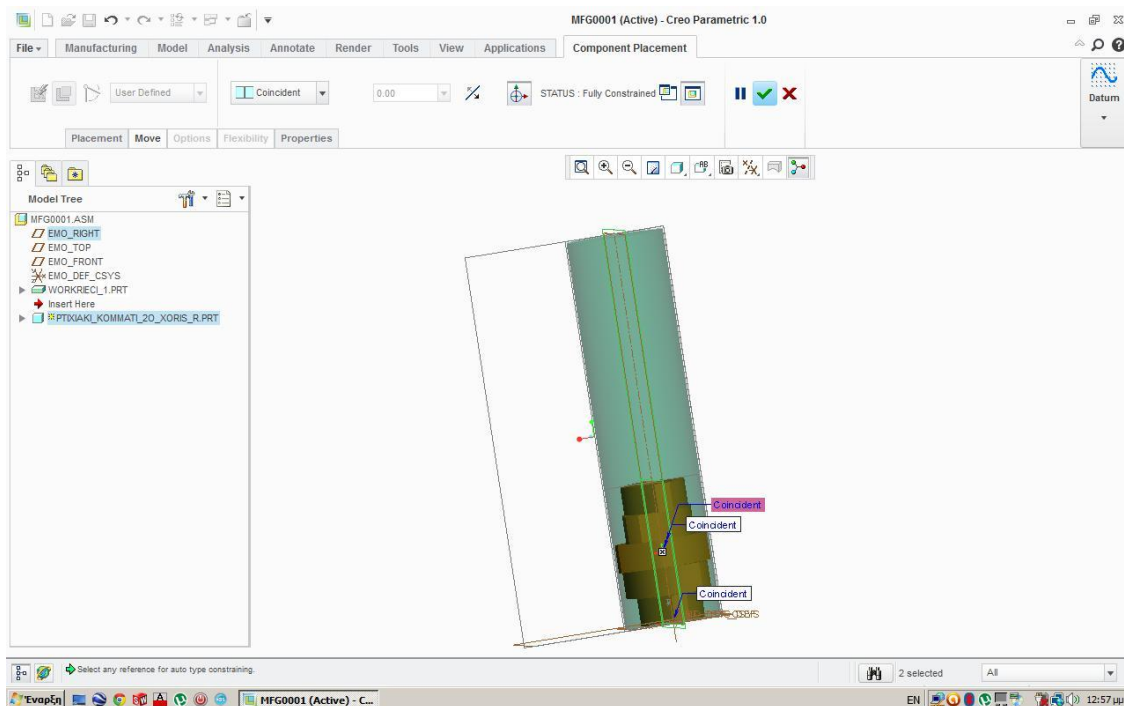
Εικόνα 23 : Εμφάνιση τελικού κομματιού στο περιβάλλον εργασίας.

Το κομμάτι τοποθετείται μέσα στο ακατέργαστο επιλέγοντας τα επίπεδα του να ταυτιστούν με εκείνα του ακατέργαστου.



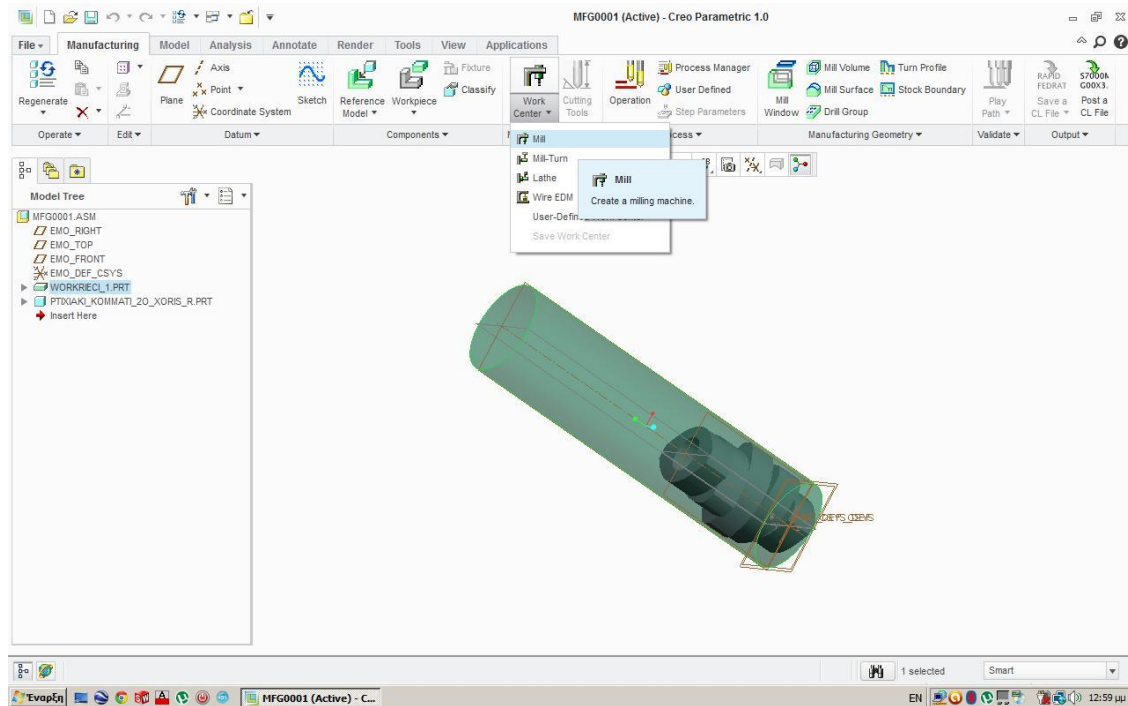
Εικόνα 24: Επιλογή επιπέδων για την συγχώνευση των κομματιών

Τα κομμάτια έχουν τοποθετηθεί το ένα μέσα στο άλλο και τα επίπεδα μεταξύ τους βρίσκονται σε κατάσταση «Coincident»



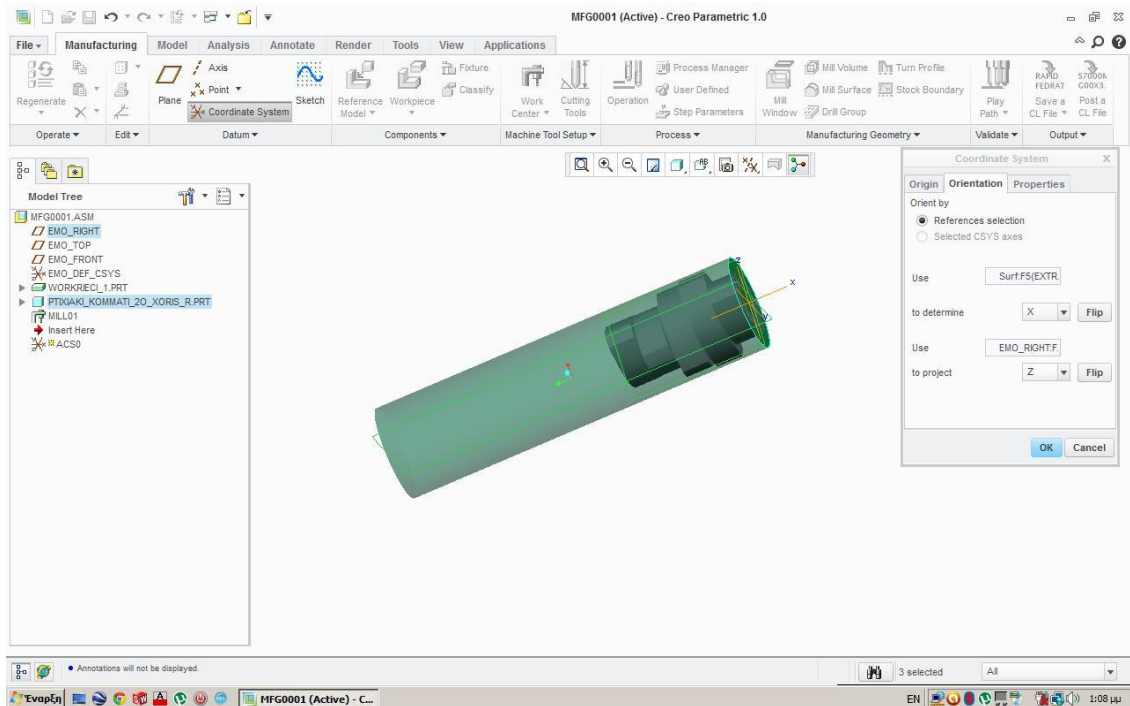
Εικόνα 25 : Κομμάτια συγχωνευμένα

Πρέπει να οριστεί ο τύπος της εργαλειομηχανής που θα χρησιμοποιηθεί για αυτή την κατεργασία. Θα επιλεγεί το κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος, επιλέγοντας το κουμπί Work center → Mill Εικόνα 26.



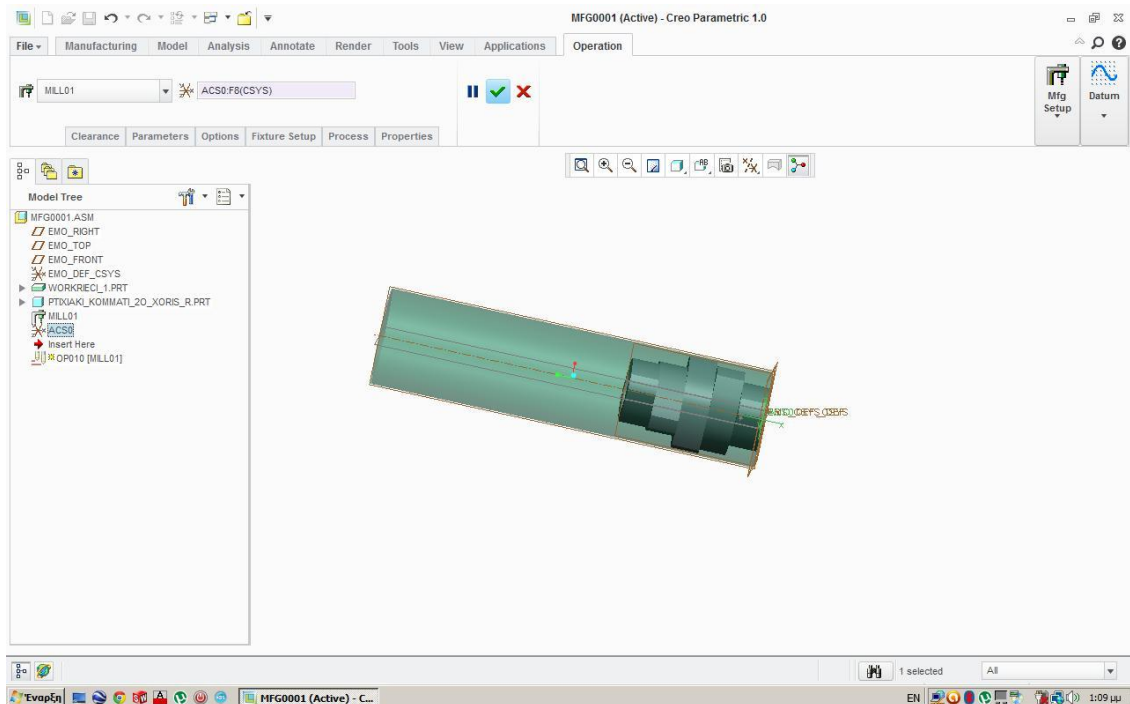
Εικόνα 26 : Επιλογή τύπου εργαλειομηχανής

Είναι αναγκαίο να οριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο θα δημιουργηθεί πατώντας την επιλογή «coordinate system» -από την τρίτη παλέτα της καρτέλας Mill- και επιλέγοντας τα τρία επίπεδα του ακατέργαστου κομματιού. Το σύστημα συντεταγμένων τοποθετείται σε σημείο τέτοιο ώστε να μπορεί να γίνει μηδενισμός στο κομμάτι από το χειριστή Εικόνα 27.



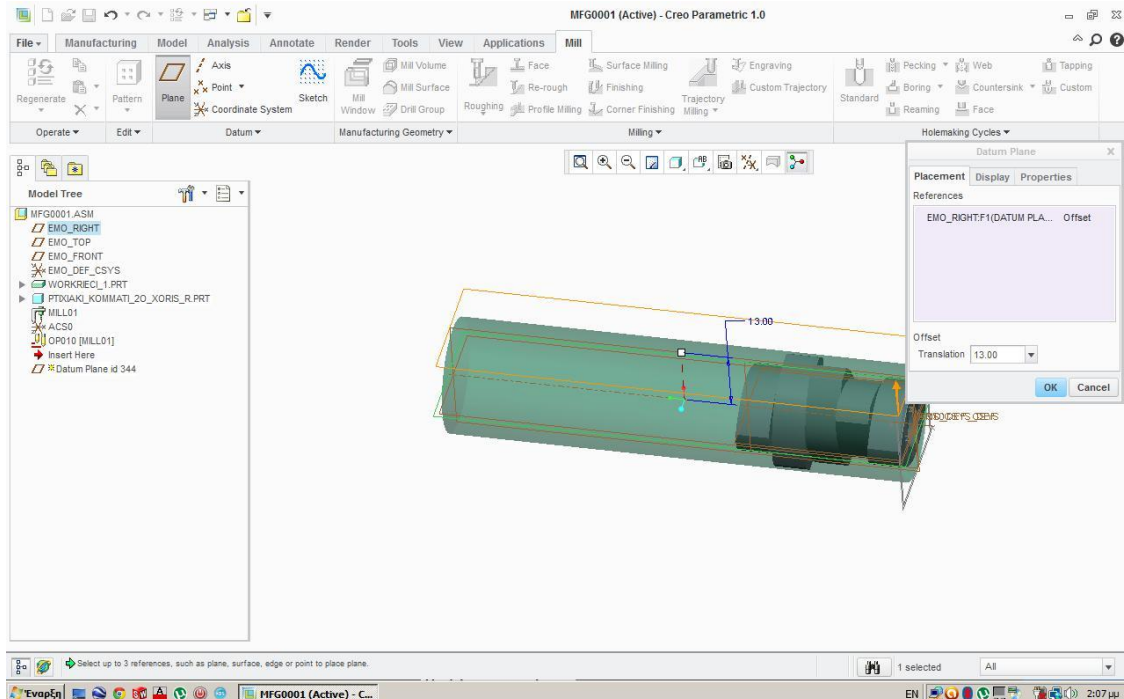
Εικόνα 27 : Ορισμός συστήματος συντεταγμένων.

Μετέπειτα θα πρέπει να οριστεί ένα “operation” εκτελώντας την αντίστοιχη εντολή από την αρχική καρτέλα. Με τον όρο αυτό το λογισμικό αναφέρεται σε κάθε ξεχωριστό «δέσιμο» του κομματιού στη μηχανή. Επιλέγεται το σύστημα συντεταγμένων που ορίστηκε στο προηγούμενο βήμα (Εικόνα 28).



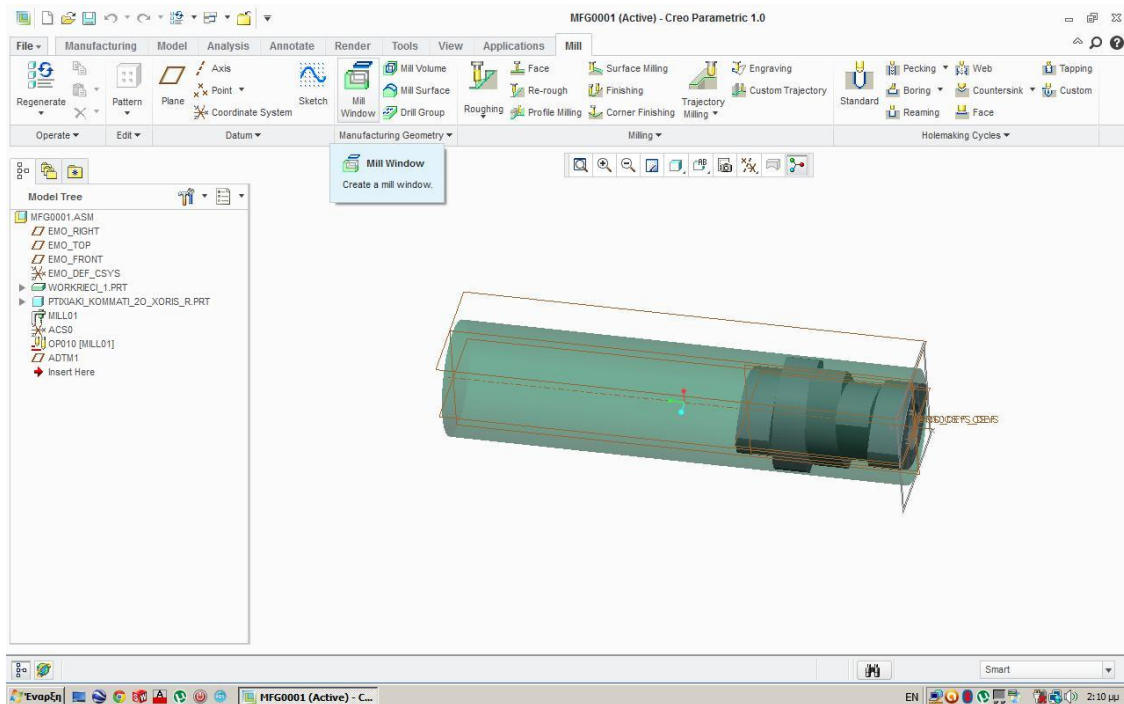
Εικόνα 28 : Ορισμός operation.

Στη συνέχεια δημιουργείται ένα νέο επίπεδο xy και μετατοπισμένο παράλληλα προς τα θετικά του άξονα z, Εικόνα 29.



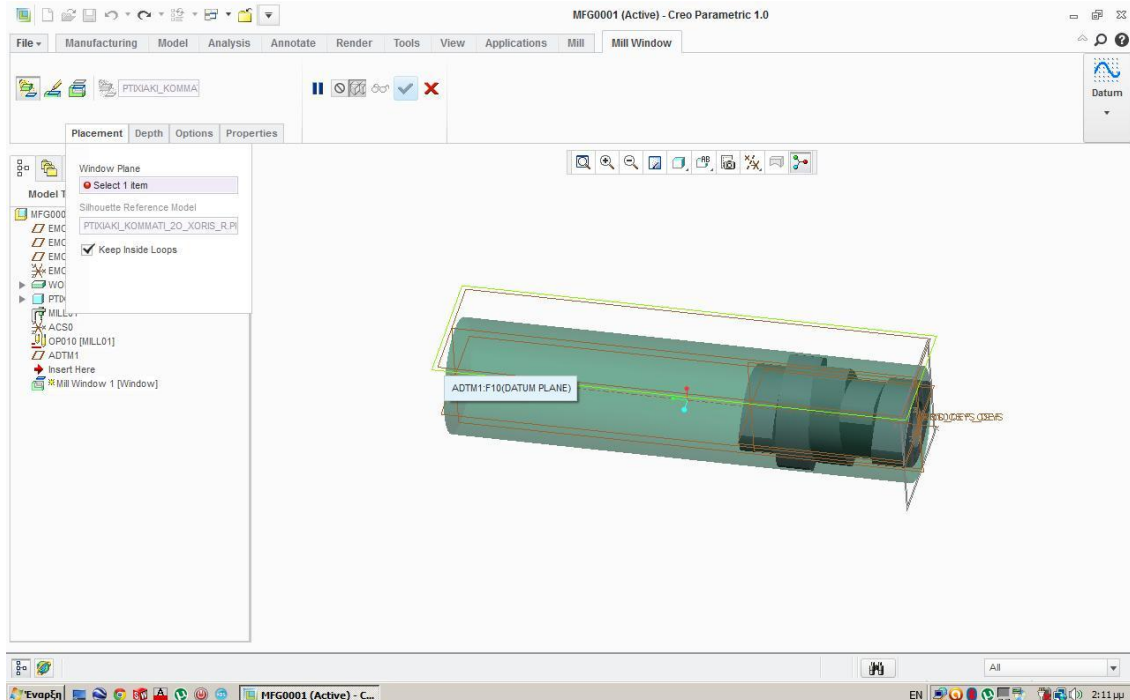
Εικόνα 29 : Δημιουργία επιπέδου.

Επιλέγεται η καρτέλα «Mill» όπου θα οριστούν από εδώ και πέρα όλες οι κατεργασίες. Η αρχή γίνεται με την επιλογή «Mill Window», Εικόνα 30.



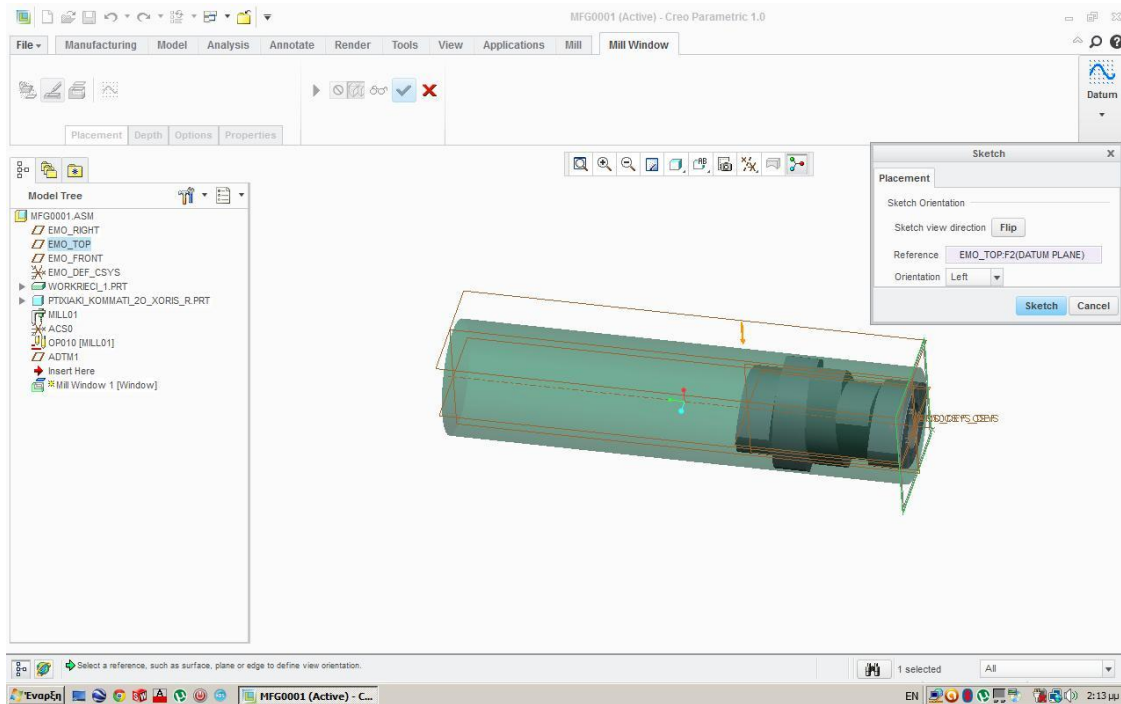
Εικόνα 30 : Επιλογή για δημιουργία Mill Window.

Στην καρτέλα «placement» και στην μπάρα «Window plane» επιλέγεται το επίπεδο που δημιουργήθηκε 2 βήματα πριν, Εικόνα 31. Το λογισμικό σχεδιάζει αυτόματα ένα πιθανό Mill Window σκιαγραφώντας το τελικό κομμάτι στο επίπεδο που δημιουργήθηκε προηγουμένως.



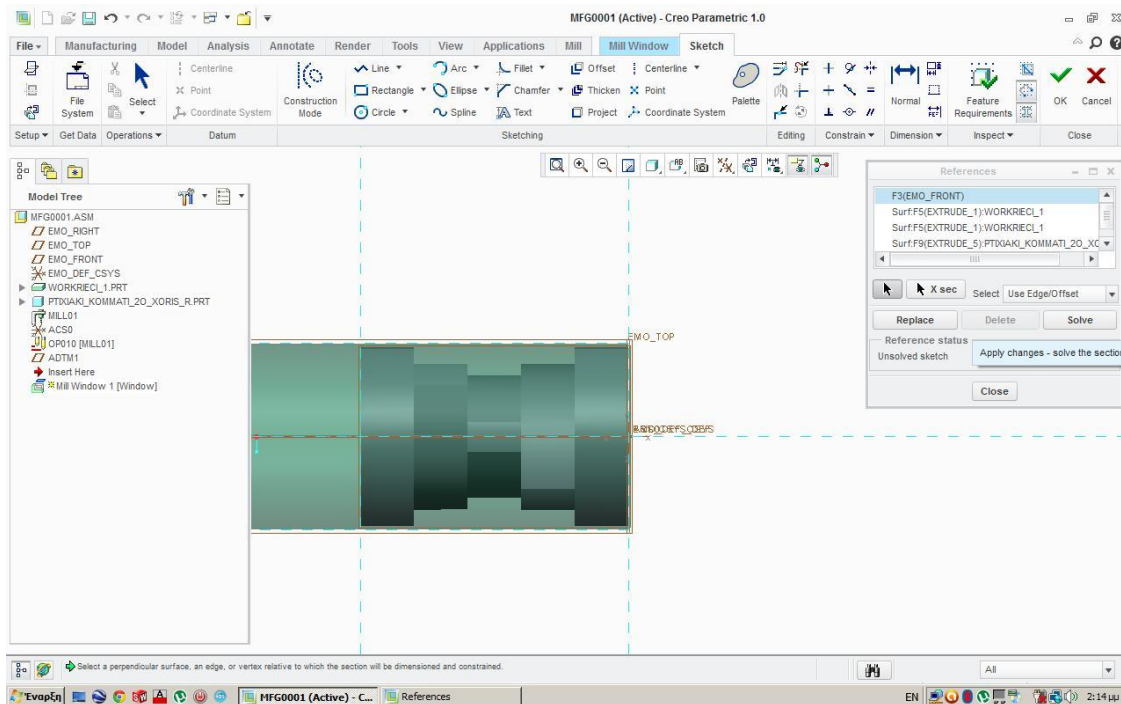
Εικόνα 31 : Επιλογή επιπέδου.

Θα προτιμηθεί η σχεδίαση ενός Mill Window από το σχεδιαστή, επιλέγοντας το δεύτερο εικονίδιο πάνω αριστερά (Sketch window type) και στη συνέχεια το τελευταίο της ίδιας σειράς (Define an Internal Sketch). Τέλος στη καρτέλα Sketch που εμφανίζεται έχει προεπιλεχθεί ένα επίπεδο και μεταφέρεται το λογισμικό στο περιβάλλον σχεδίασης πατώντας την επιλογή Sketch Εικόνα 32.



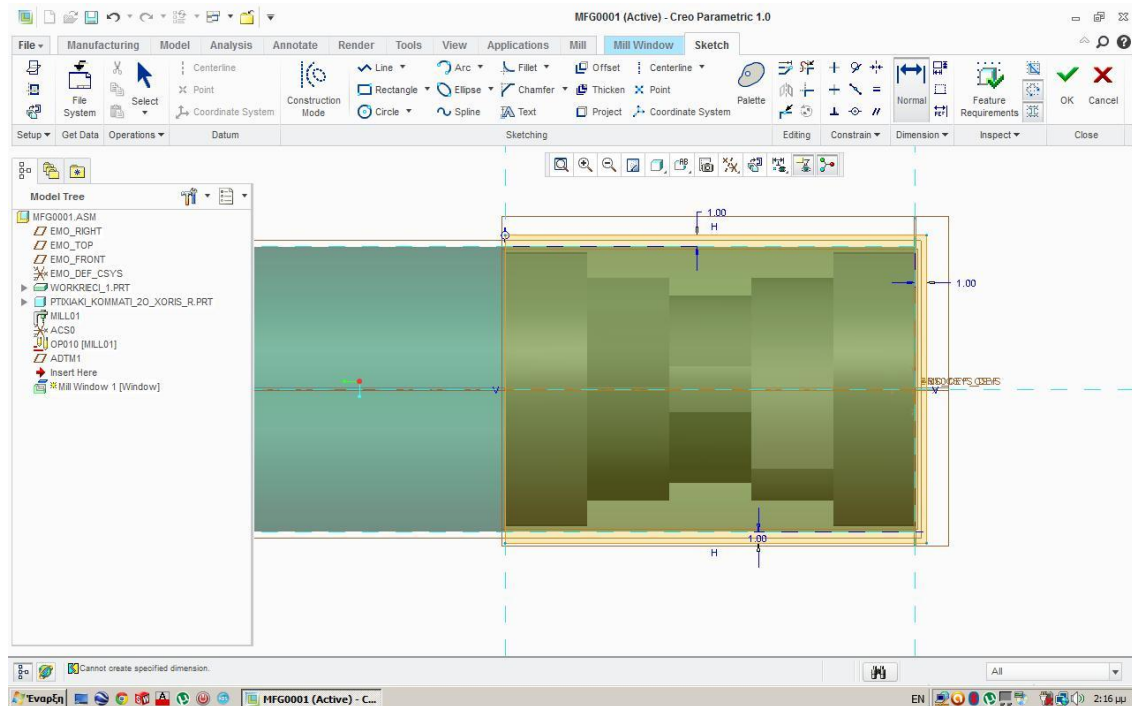
Εικόνα 32 : Επιλογή βοηθητικού επιπέδου.

Για να γίνει η σχεδίαση σε αυτό το επίπεδο θα πρέπει να οριστούν κάποιες βοηθητικές γραμμές. Αυτό γίνεται αν επιλεχθεί το εικονίδιο «References» που βρίσκεται δεύτερο στην πρώτη παλέτα της καρτέλας Sketch. Εδώ, επιλέγονται οι γραμμές που θα βοηθήσουν στην σχεδίαση του Mill Window Εικόνα 33.



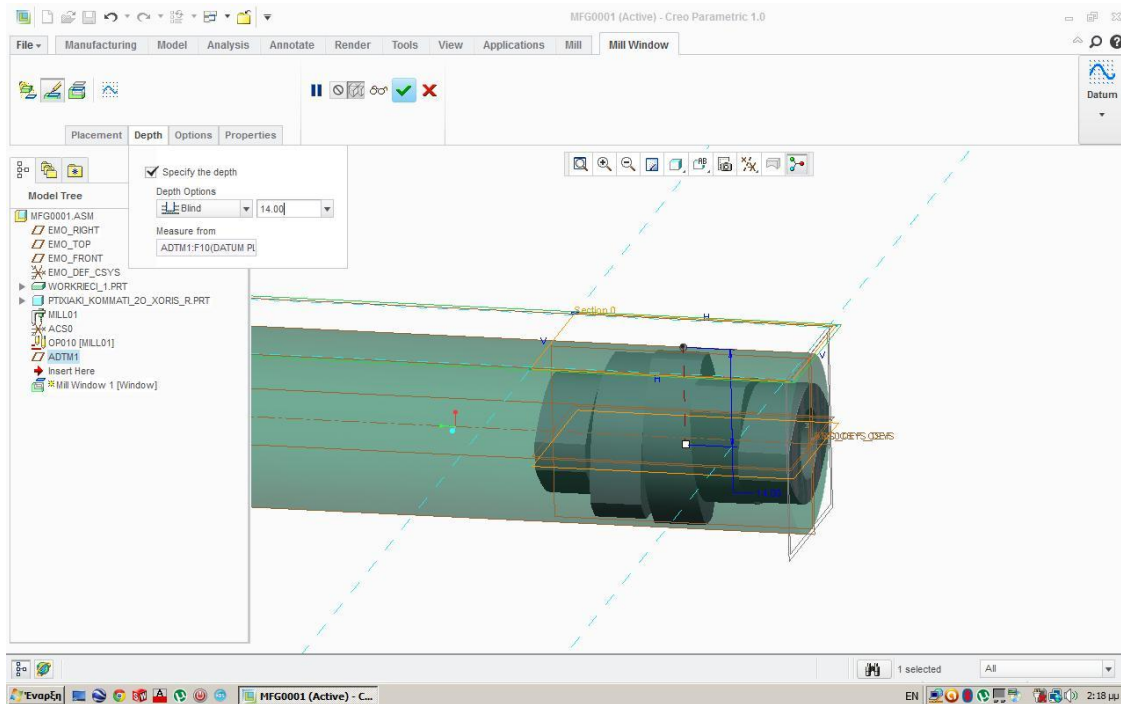
Εικόνα 33 : Επιλογή βοηθητικών γραμμών.

Για να είναι βέβαιο ότι το κομμάτι θα κοπεί όλο και δεν θα υπάρχουν περιφερειακά υπολείμματα, το παράθυρο σχεδιάζεται λίγο μεγαλύτερο από το τελικό κομμάτι
Εικόνα 34.



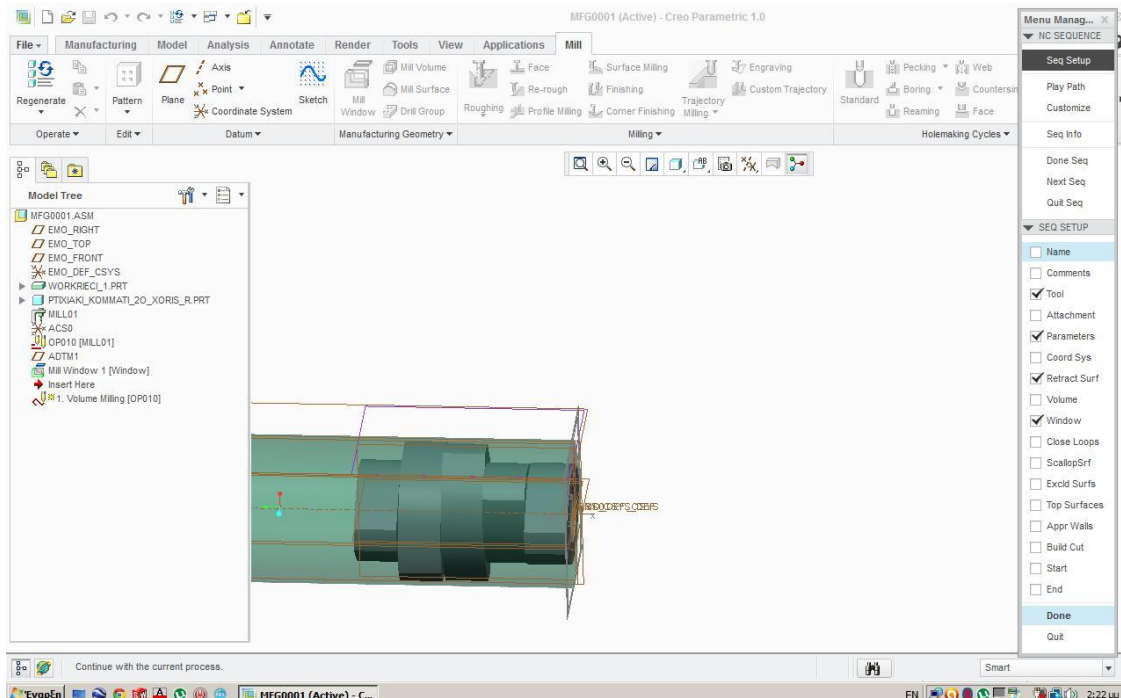
Εικόνα 34 : Σχεδίαση Mill Window.

Βγαίνοντας από το Sketch το λογισμικό επιστρέφει στο προηγούμενο μενού. Από εκεί επιλέγεται η καρτέλα «Depth» και τσεκάρεται η επιλογή «Specify the depth». Στη συνέχεια ορίζεται το βάθος το οποίο θα κόψει – ξεχονδρίσει μέσα στο Mill Window και προτιμάται αυτό να ξεπερνά οριακά το κέντρο του κομματιού Εικόνα 35.



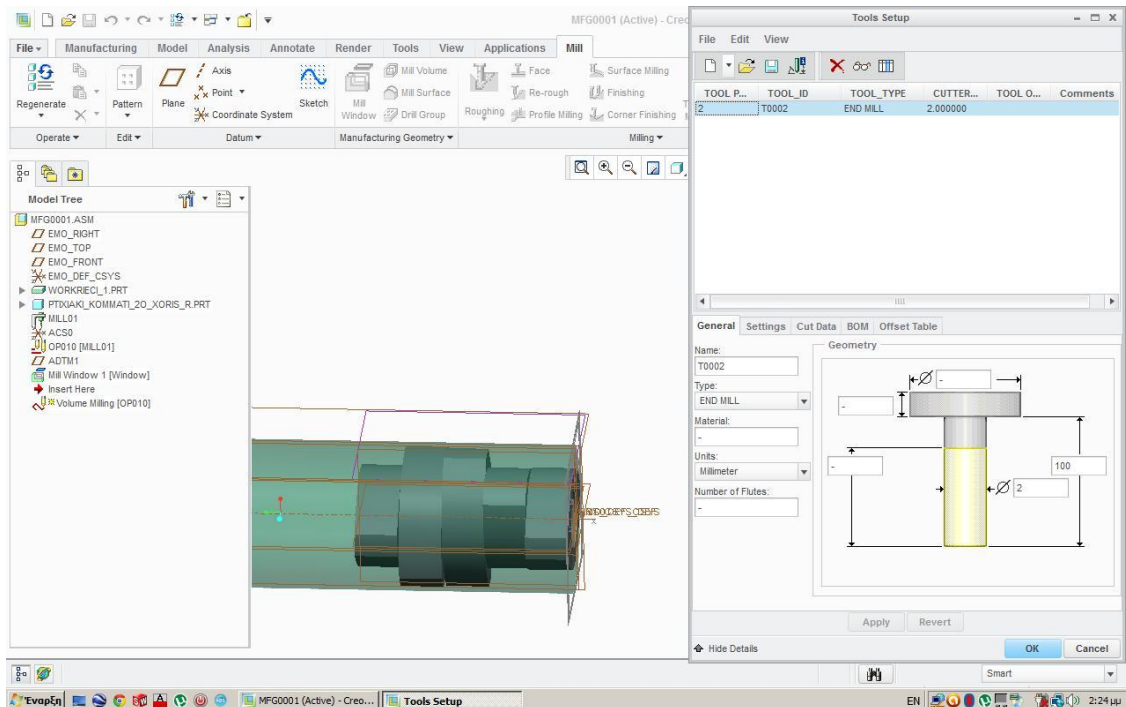
Εικόνα 35 : Ορισμός βάθους ξεχονδρίσματος.

Επιλέγεται το κουμπί Roughing→ Volume Rough από την πέμπτη παλέτα της καρτέλας Mill κ εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 36) με το μενού, με το πρόγραμμα να έχει προεπιλέξει τα απαραίτητα πεδία. Στη συνέχεια επιλέγεται Done.



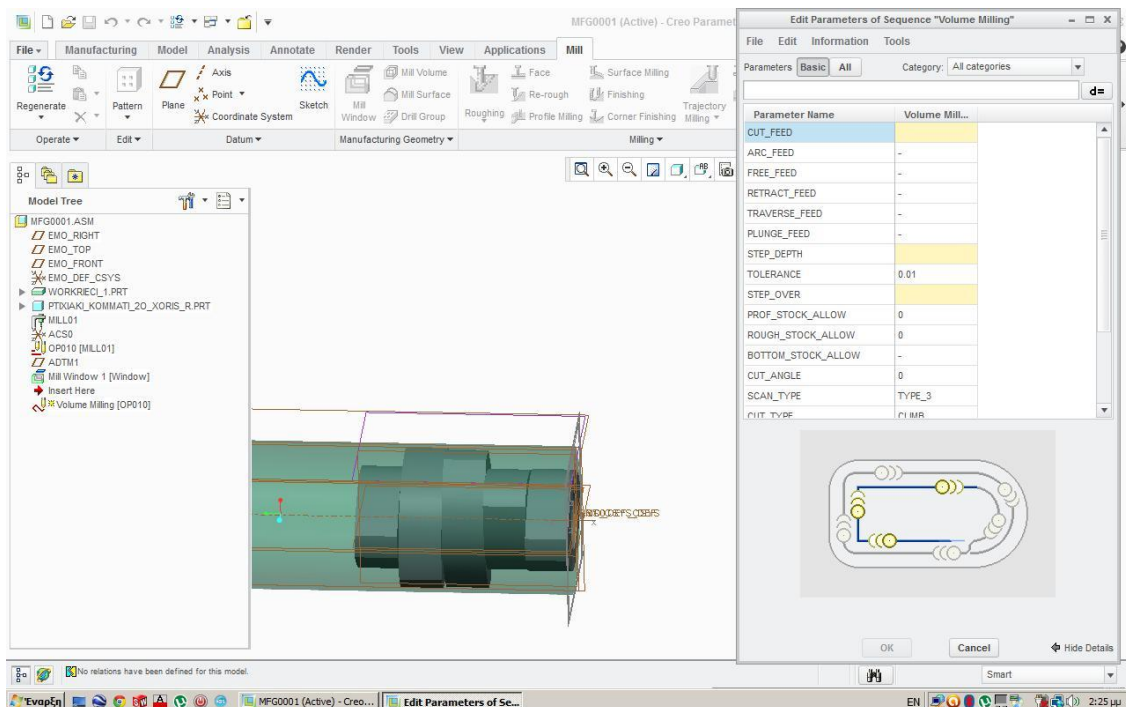
Εικόνα 36 : Παράθυρο επιλογής εργαλείων, παραμέτρων κ.α.

Σε αυτή τη καρτέλα ορίζεται το κοπτικό (οι διαστάσεις και η θέση του). Αφού ορισθούν επιλέγεται Apply → Ok Εικόνα 37.



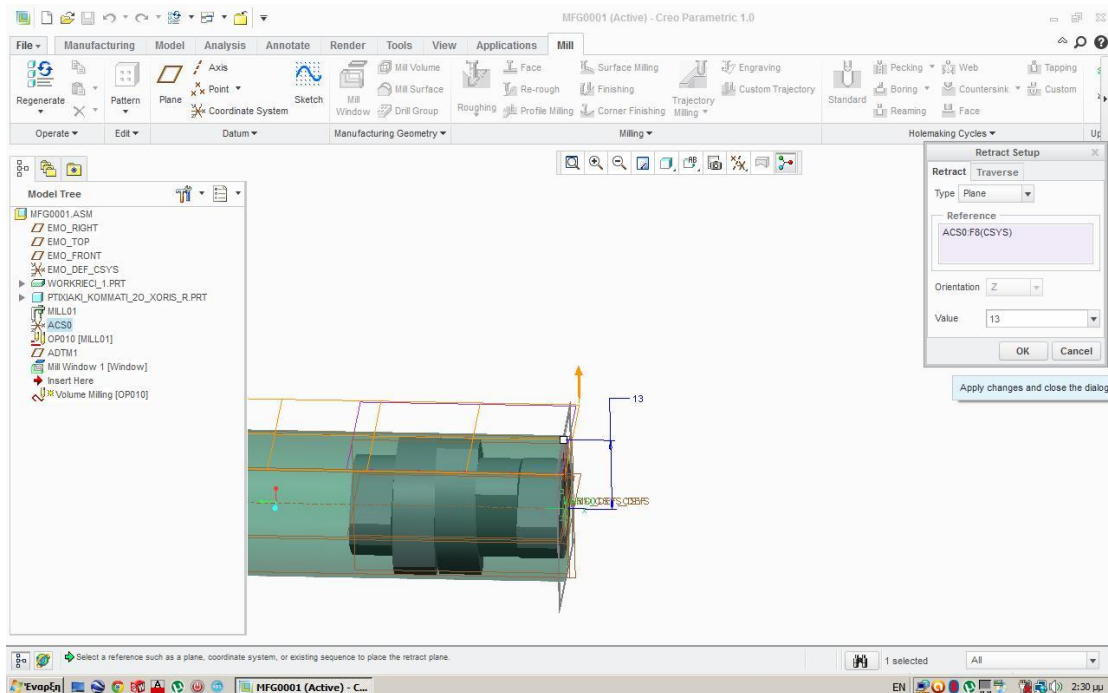
Εικόνα 37 : Ορισμός κοπτικού εργαλείου.

Σε αυτό το παράθυρο θα ορισθούν οι παράμετροι που η μηχανή θα κόψει το κομμάτι μας (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής κ.α.). Τα επίπεδα με πορτοκαλί χρώμα πρέπει να συμπληρωθούν οπωσδήποτε Εικόνα 38.



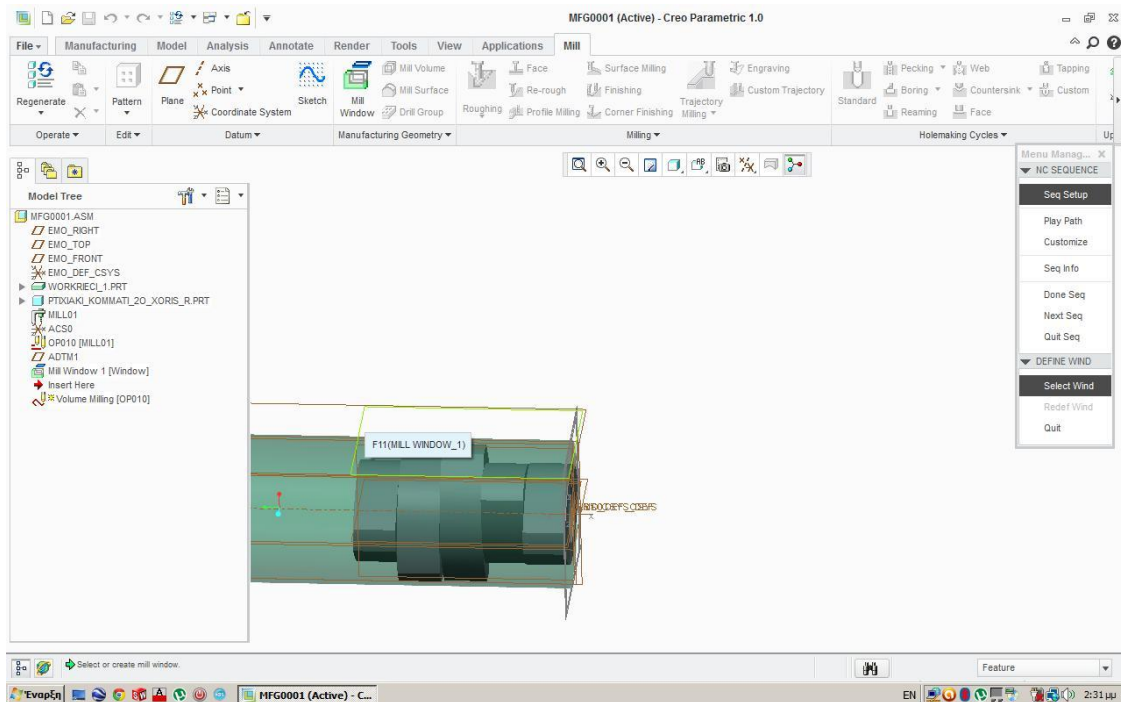
Εικόνα 38 : Ορισμός παραμέτρων.

Εδώ ορίζεται το επίπεδο Retract επιλέγοντας το σε απόσταση μεγαλύτερη κατά τουλάχιστον 3mm της διαμέτρου Εικόνα 39.



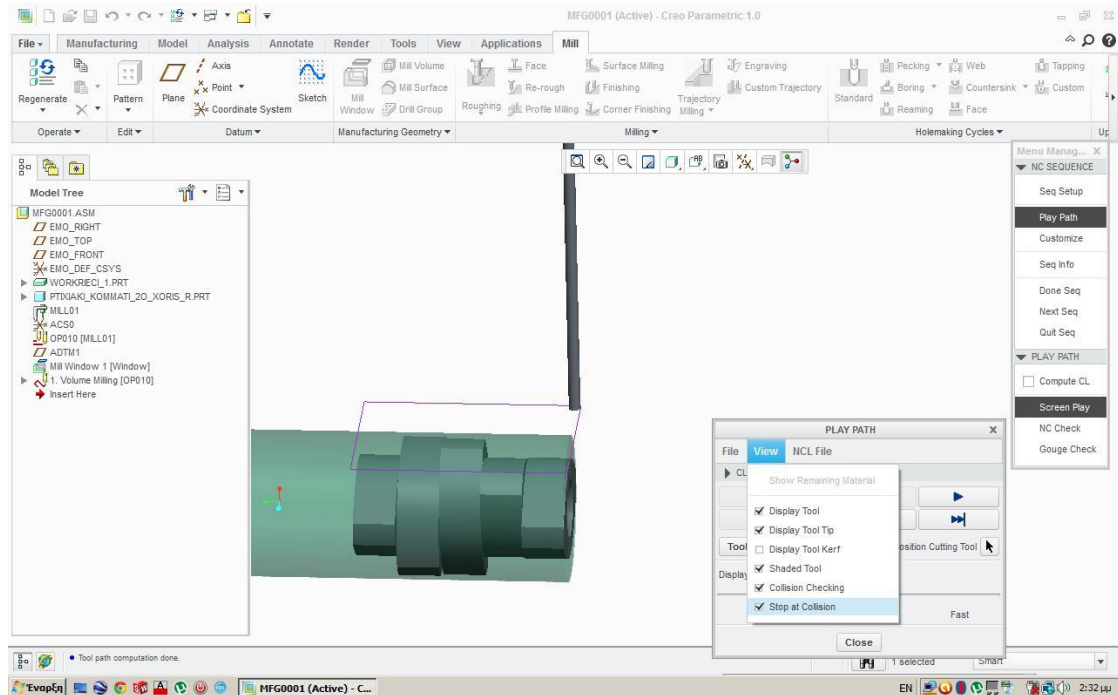
Εικόνα 39 : Ορισμός Retract επιπέδου.

Το λογισμικό ζητάει από το χρήστη να επιλέξει ένα Mill Window. Εδώ, ο χρήστης θα επιλέξει αυτό που δημιούργησε πριν Εικόνα 40.



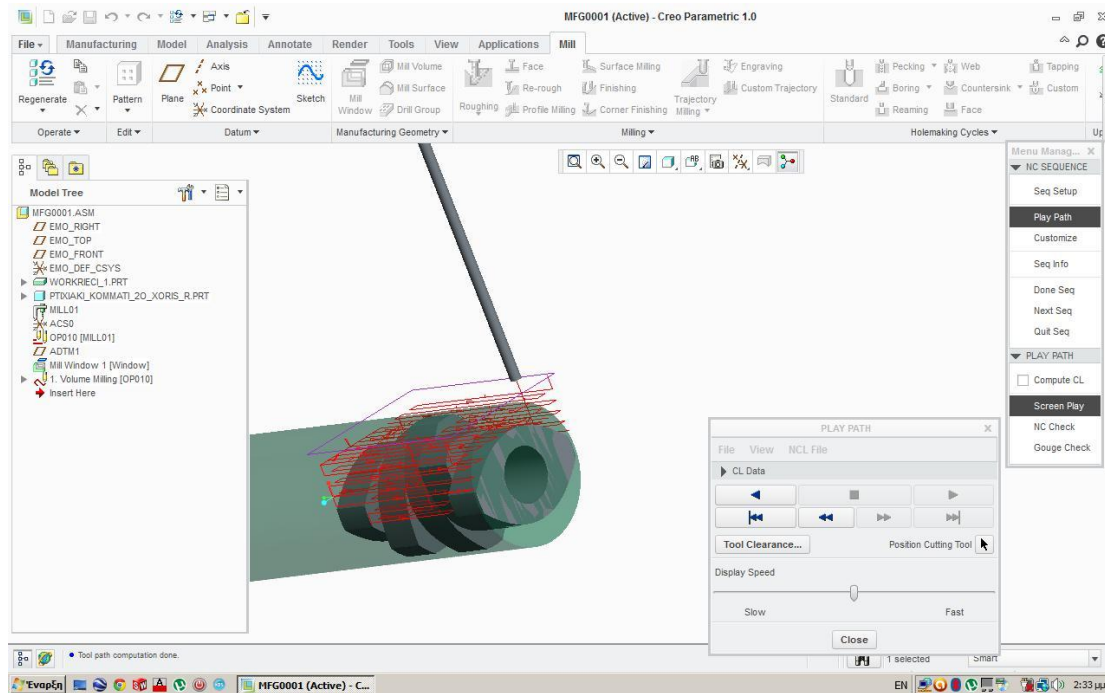
Εικόνα 40 : Επιλογή Mill Window.

Σε αυτό το σημείο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να γνωρίζει από πριν την πορεία που θα χαράξει το κοπτικό και τις κινήσεις που θα κάνει η μηχανή. Αυτό γίνεται αν επιλεγθεί από το εμφανιζόμενο μενού Play Path→Screen Play. Για να διαπιστωθεί τυχόν σύγκρουση του κοπτικού ή “σφάξιμο” του κομματιού τσεκάρονται στο παράθυρο που εμφανίζεται, από το μενού View οι δυο τελευταίες επιλογές (Collision Checking, Stop at Collision) Εικόνα 41.



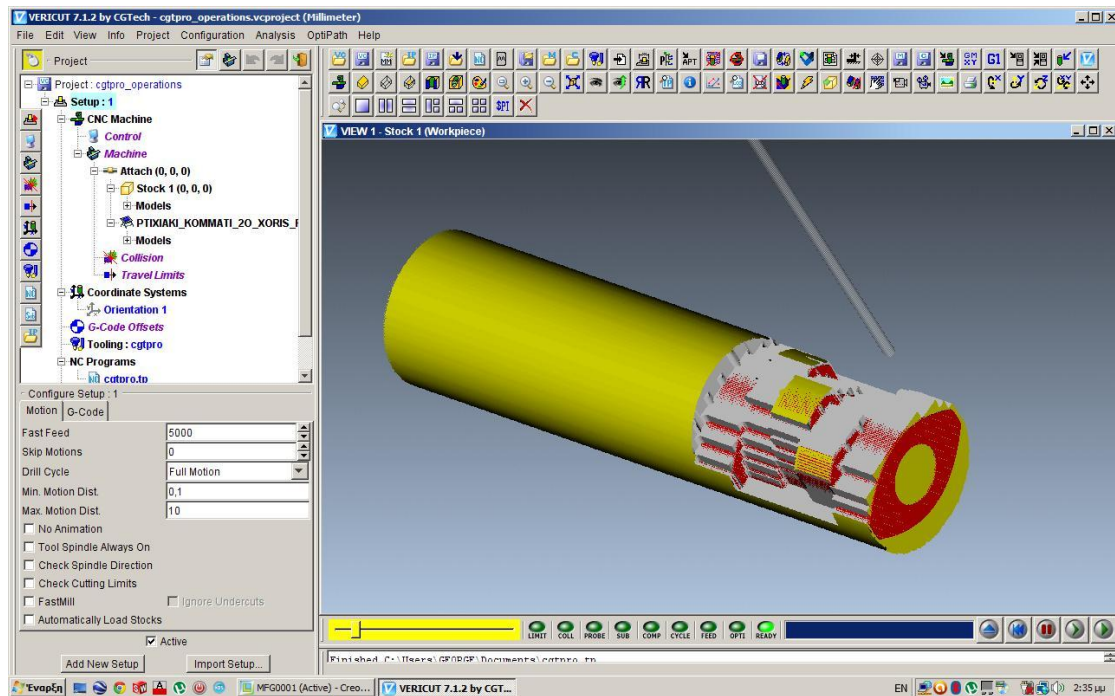
Εικόνα 41 : Τρέξιμο του Play Path.

Με το που επιλεγθεί Play στο προηγούμενο παράθυρο το κοπτικό αρχίζει να διαγράφει την πορεία του με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή και τους νεκρούς χρόνους με κόκκινη διακεκομμένη Εικόνα 42.



Εικόνα 42 : Διαγεγραμμένη πορεία κοπτικού.

Αν ο χρήστης θελήσει να δει την κοπή πιο ρεαλιστικά αρκεί να επιλέξει την εντολή NC Check αντί την Screen Play όπως προηγουμένως. Έτσι ανοίγει ένα καινούριο λογισμικό (VERICUT) το οποίο θα απεικονίσει την ξεχονδρισμένη επιφάνεια του κομματιού, πατώντας το κουμπί του Play. Συγκεκριμένα με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται το ακατέργαστο κομμάτι, με γκρι οι ξεχονδρισμένες επιφάνειες ενώ με κόκκινο χρώμα οι τελικές.

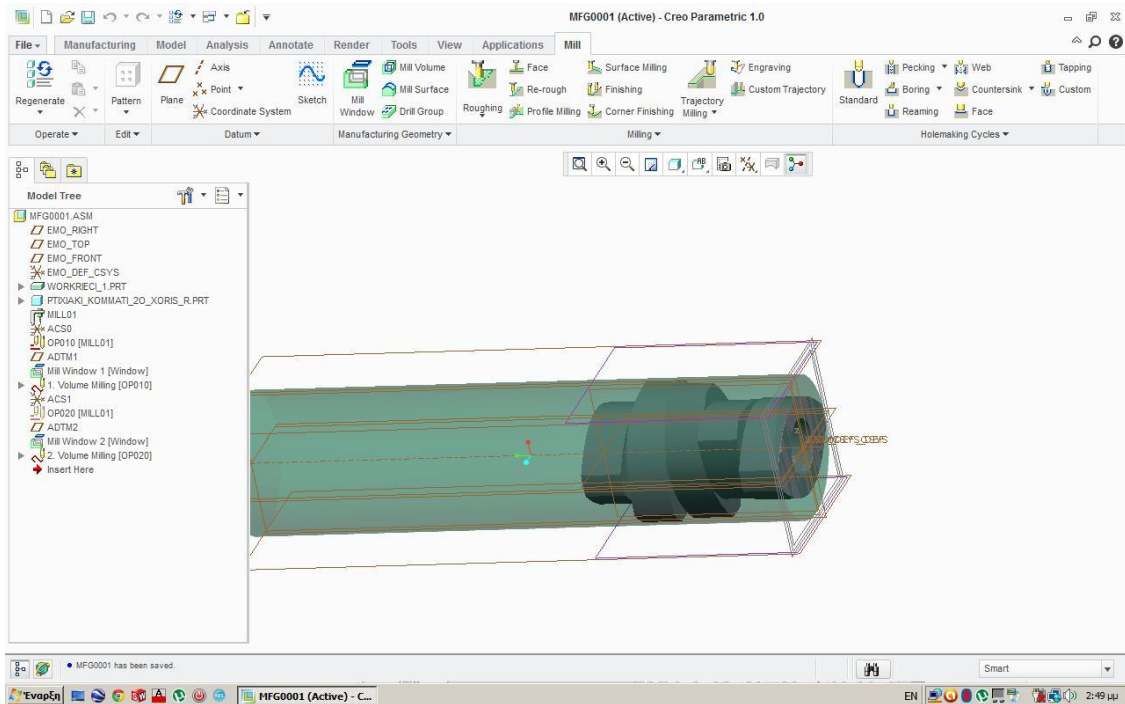


Εικόνα 43 : Απεικόνιση ξεχονδρίσματος στο Vericut.

Τέλος, ο χρήστης τερματίζει το λογισμικό VERICUT χωρίς αποθήκευση και με την εντολή Done Seq γίνεται η αποθήκευση της κατεργασίας.

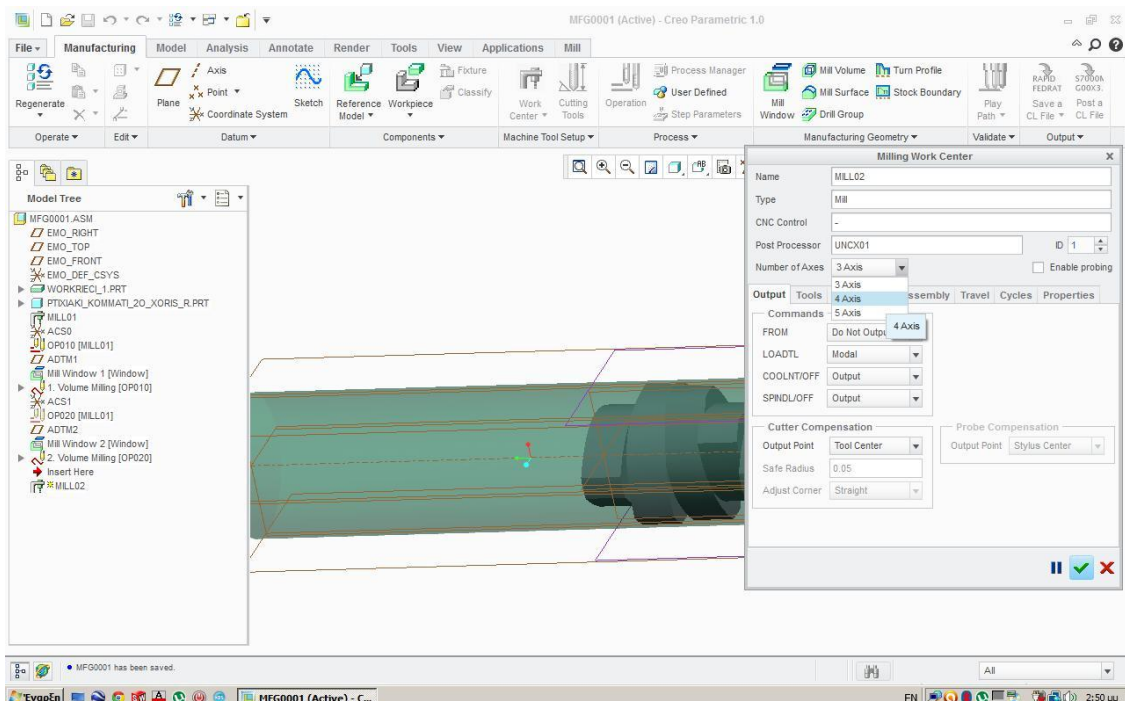
Οι ίδιες κινήσεις επαναλαμβάνονται για να γίνει κατεργασία ξεχονδρίσματος και από την άλλη πλευρά, αρχίζοντας με τη δημιουργία ενός καινούριου συστήματος συντεταγμένων. Αφού γίνει αυτό το περιβάλλον παρουσιάζεται με αυτή τη μορφή όπως στην Εικόνα 44.

Πτυχιακή Εργασία – Καρυωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



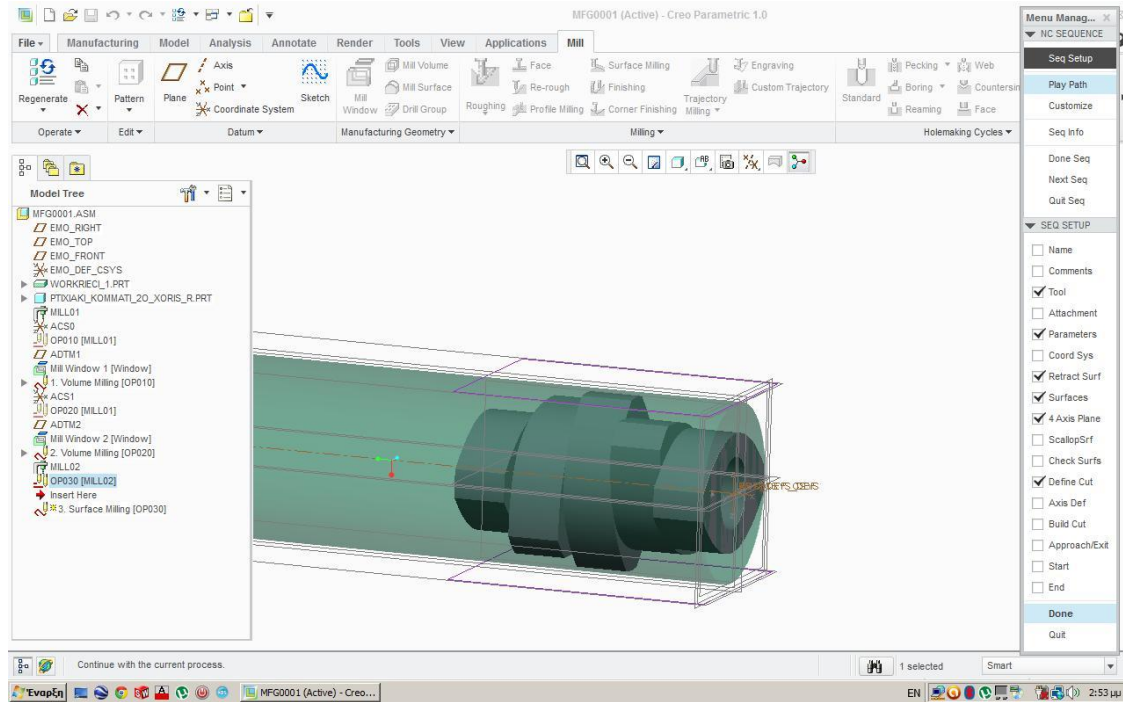
Εικόνα 44 : Κομμάτι με ορισμένα και τα 2 operation για το ξεχόνδρισμα.

Επειδή από εδώ και πέρα θα χρησιμοποιηθεί ο 4^{ος} άξονας πρέπει να οριστεί ξανά η κατάλληλη μηχανή. Επομένως, επιλέγεται Work Center → Mill και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται ο αριθμός αξόνων (Number of Axes) 4 Εικόνα 45.



Εικόνα 45 : Ορισμός φρέζας 4^{ων} αξόνων.

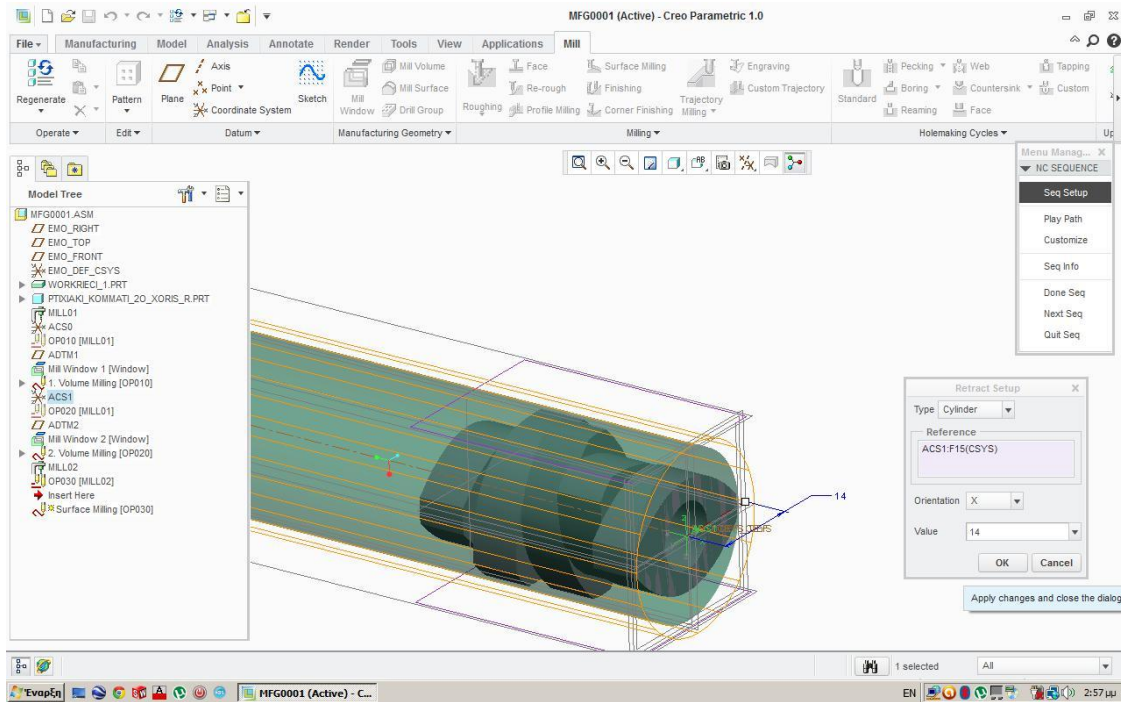
Ορίζεται Operation με την αντίστοιχη διαδικασία που ορίστηκε και για το ξεχόνδρισμα. Επιλέγεται η κατεργασία Surface Milling που βρίσκεται στην πέμπτη παλέτα της καρτέλας Mill. Στη συνέχεια επιλέγεται κατεργασία 4^{uv} αξόνων (4 Axis) → Done. Στο παράθυρο που εμφανίζεται με τσεκαρισμένα τα απαιτούμενα από το λογισμικό επιλέγεται Done για συνέχεια.



Εικόνα 46 : Παράθυρο επιλογής εργαλείων, παραμέτρων κ.α.

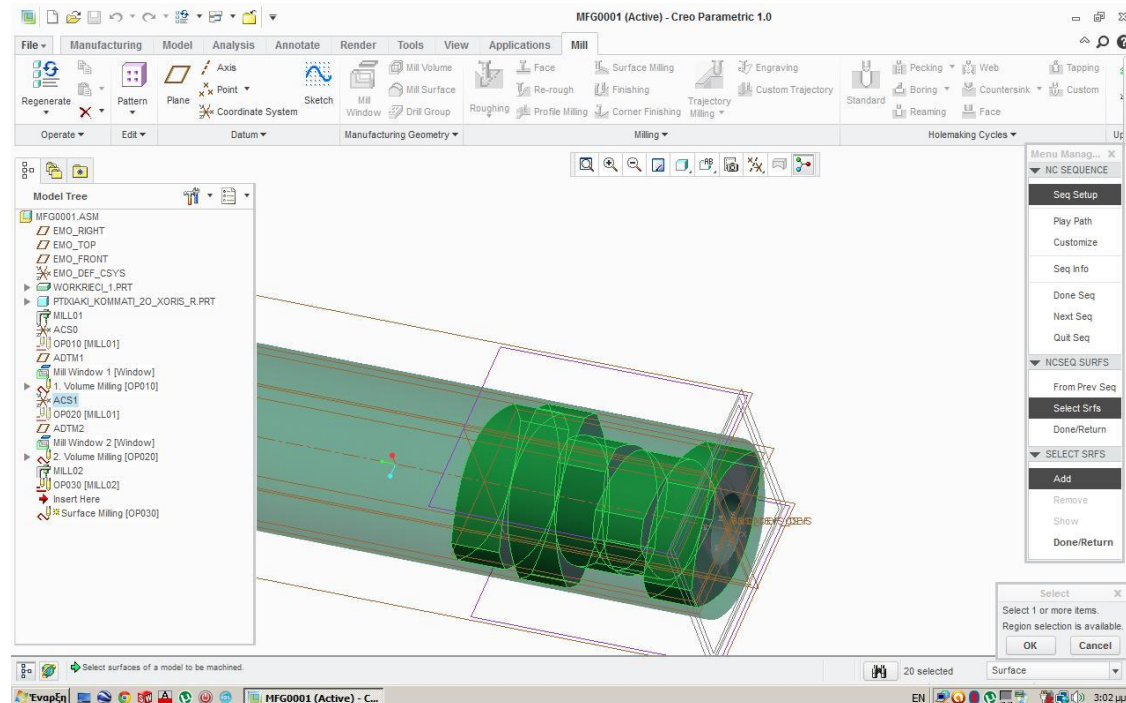
Ορίζονται κοπτικά και παράμετροι με τον ίδιο τρόπο που ορίστηκε και στην προηγούμενη κατεργασία. Όταν εμφανιστεί το παράθυρο για τον καθορισμό του Retract επιπέδου, επιλέγεται τύπος κυλινδρικός (Cylinder), προσανατολισμός στον άξονα των X καθώς και τιμή μεγαλύτερη από αυτή της ακτίνας Εικόνα 47.

Πτυχιακή Εργασία – Καρωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



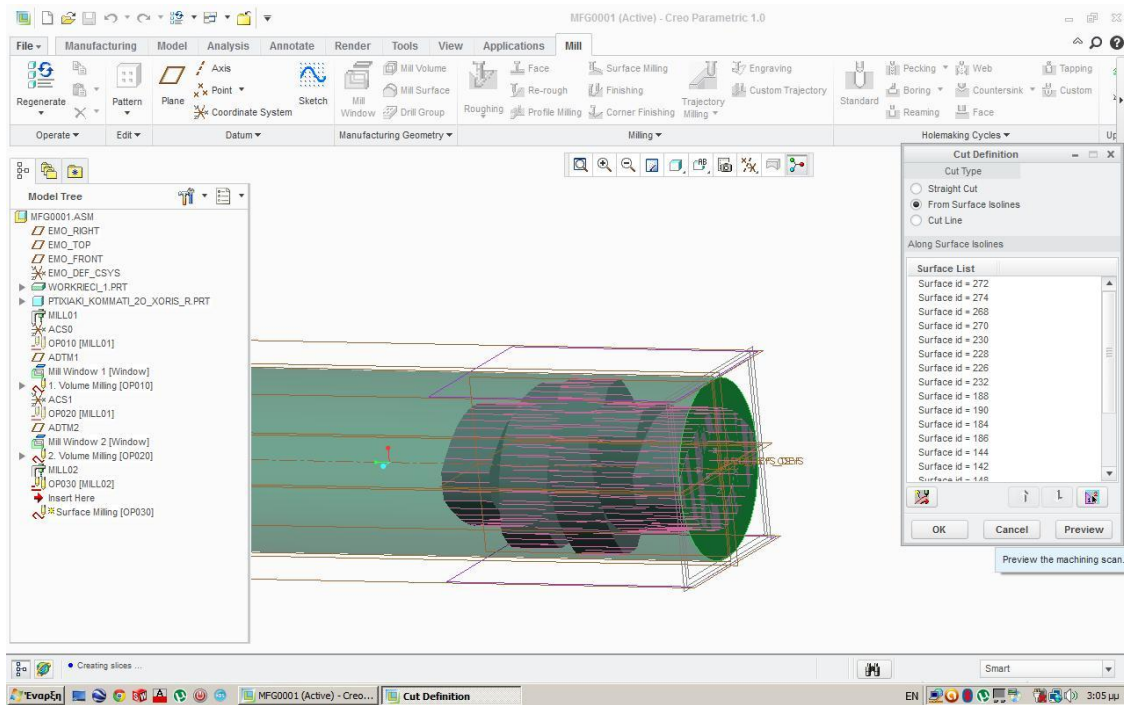
Εικόνα 47 : Ορισμός Retract επιπέδου.

Το λογισμικό επιστρέφει στο προηγούμενο παράθυρο και έχει μαρκάρει την επιλογή Model. Πατώντας Done ζητάει να επιλεγθούν οι τελικές επιφάνειες του κομματιού



Εικόνα 48 : Επιλογή τελικών επιφανειών του κομματιού.

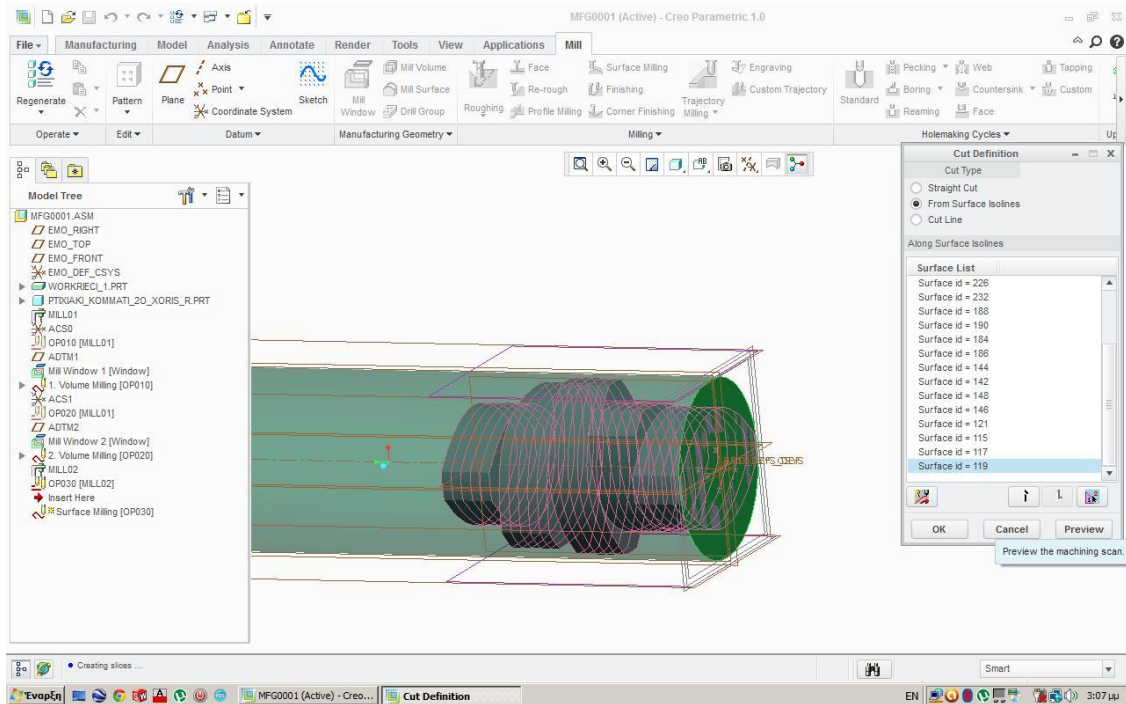
Επιστρέφοντας στο προηγούμενο παράθυρο και πατώντας Done/Return για 2 συνεχόμενες φορές, το λογισμικό ζητάει να προσδιοριστεί ένα επίπεδο το οποίο να είναι παράλληλο με τον άξονα του κοπτικού εργαλείου. Με το που θα επιλεγεί το επίπεδο εμφανίζεται το παράθυρο Cut Definition στο οποίο τσεκάρεται ο τύπος κοψίματος «From Surface Isolines». Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η λειτουργία του παραθύρου αυτού, πατώντας Preview εμφανίζεται η διεύθυνση που θα κινηθεί το κοπτικό με ροζ γραμμές Εικόνα 49. Για να αλλάξει η φορά των γραμμών επιλέγεται από την λίστα «Surface List» μια-μια οι επιφάνειες και έπειτα το εικονίδιο που βρίσκεται πάνω από το κουμπί του OK.



Εικόνα 49 : Διεύθυνση κοπής πριν την αλλαγή.

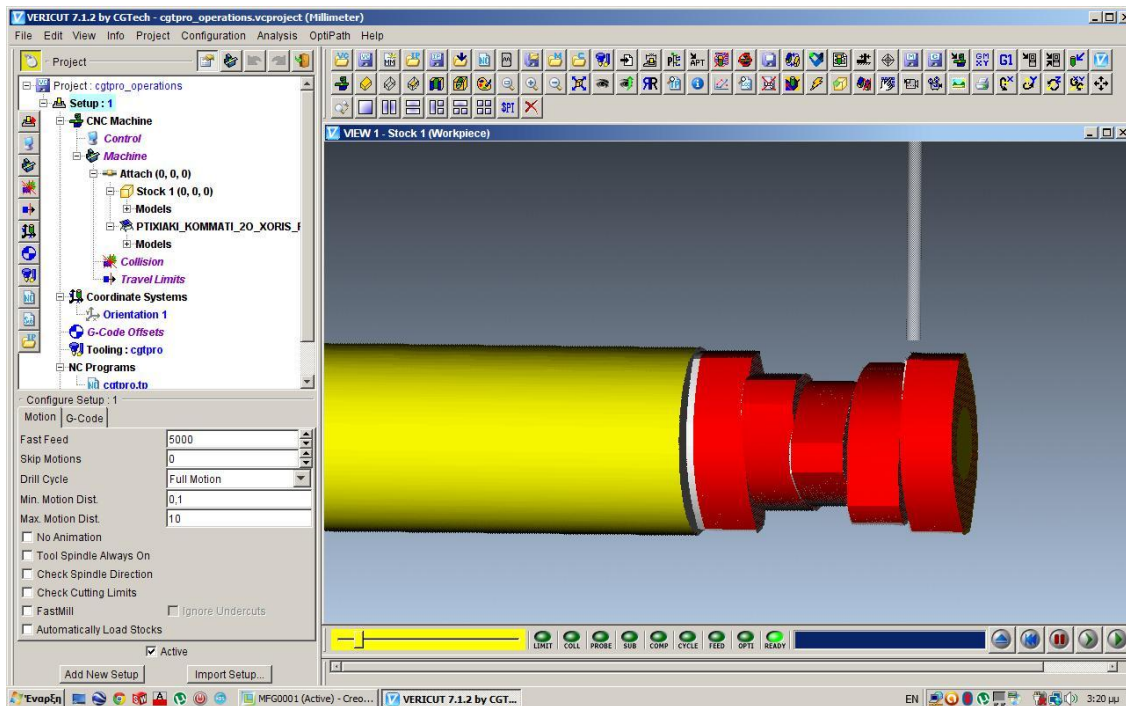
Για να είναι σίγουρο ότι άλλαξε η φορά σε όλες τις επιφάνειες και για να διαπιστωθεί η σωστή διεύθυνση που θα κινηθεί το κοπτικό επιλέγεται ξανά το Preview Εικόνα 50.

Πτυχιακή Εργασία – Καρωτάκης Γεώργιος
«Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



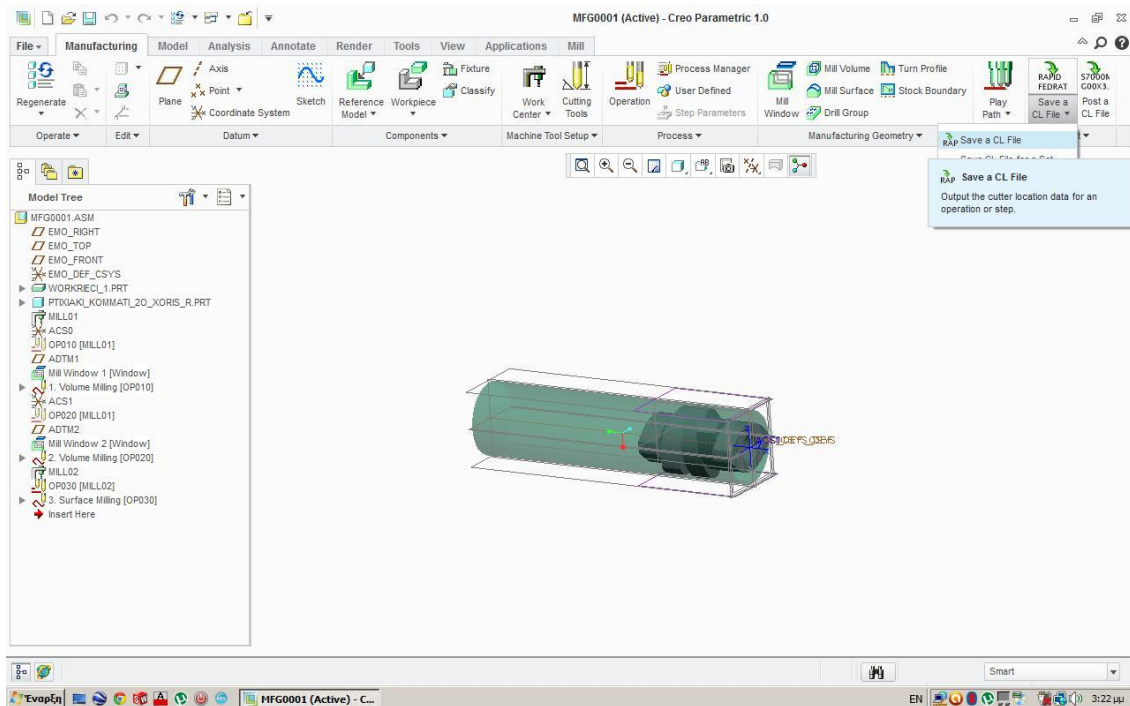
Εικόνα 50 : Διεύθυνση κοπής μετά την αλλαγή.

Με τον ίδιο τρόπο όπως και στην προηγούμενη κατεργασία, πατώντας στο κύριο παράθυρο Play Path → Screen Play φαίνεται η τροχιά του κοπτικού και με την εντολή NC Check εμφανίζεται ολοκληρωμένη η κατεργασία, όπως θα βγεί από την μηχανή Εικόνα 51.



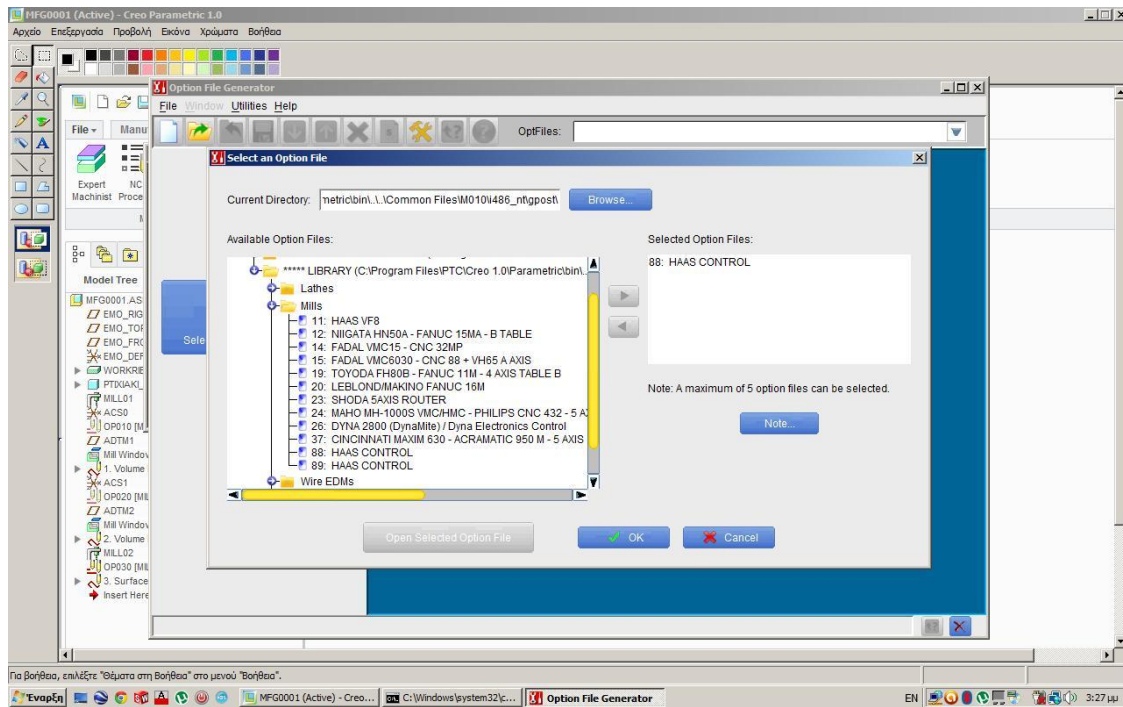
Εικόνα 51 : Απεικόνιση κοπής με 4^ο άξονα στο Vericut.

Τέλος, για να αποθηκευτεί η κατεργασία επιλέγεται στο κύριο παράθυρο Done Seq. Αφού έχει τελειώσει ο ορισμός των κατεργασιών το επόμενο βήμα είναι η εξαγωγή του G-κώδικα. Αρχικά, επιλέγεται το πρώτο κουμπί της τελευταίας παλέτας της καρτέλας Manufacturing (Save a CL File) → Operation → OP010→File→ Done. Εδώ επιλέγεται το σημείο αποθήκευσης του CL File. Για τερματισμό του παραθύρου επιλέγεται Done Output.



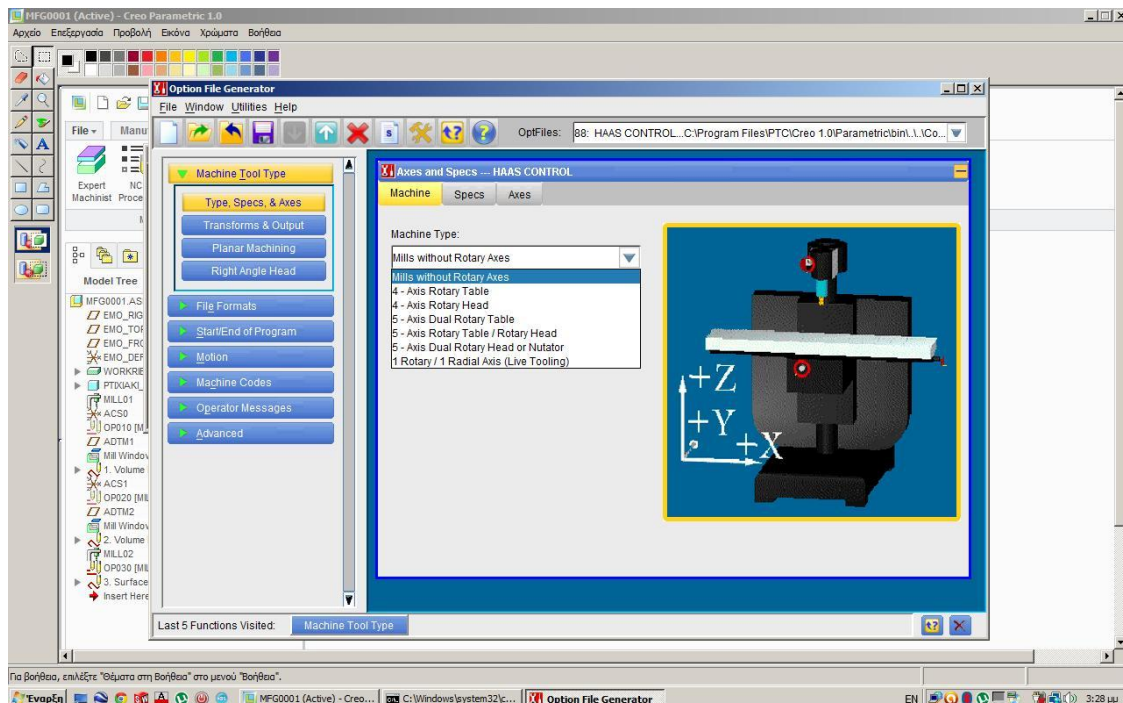
Εικόνα 52 : Επιλογή κουμπιού για την αποθήκευση το CL File.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή εξαγωγή του G-κώδικα, είναι να οριστεί ο σωστός τύπος μηχανής στον Post Processor. Αυτό γίνεται μέσω της καρτέλας Applications και επιλέγοντας το κουμπί NC Post Processor. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, χρησιμοποιώντας το κουμπί Select Option File From List, το λογισμικό ζητάει από το χρήστη να επιλέξει το αρχείο του τύπου της μηχανής από την πρώτη λίστα (Mills→ 88: HAAS CONTROL) (Εικόνα 53α).



Εικόνα 53α : Επιλογή αρχείου μηχανής.

Προχωρώντας στο επόμενο βήμα, επιλέγεται ο τύπος μηχανής «Mills without Rotary Axes» Εικόνα 53β. Εδώ, αποθηκεύονται οι ρυθμίσεις και κλείνει η εφαρμογή του Post Processor.



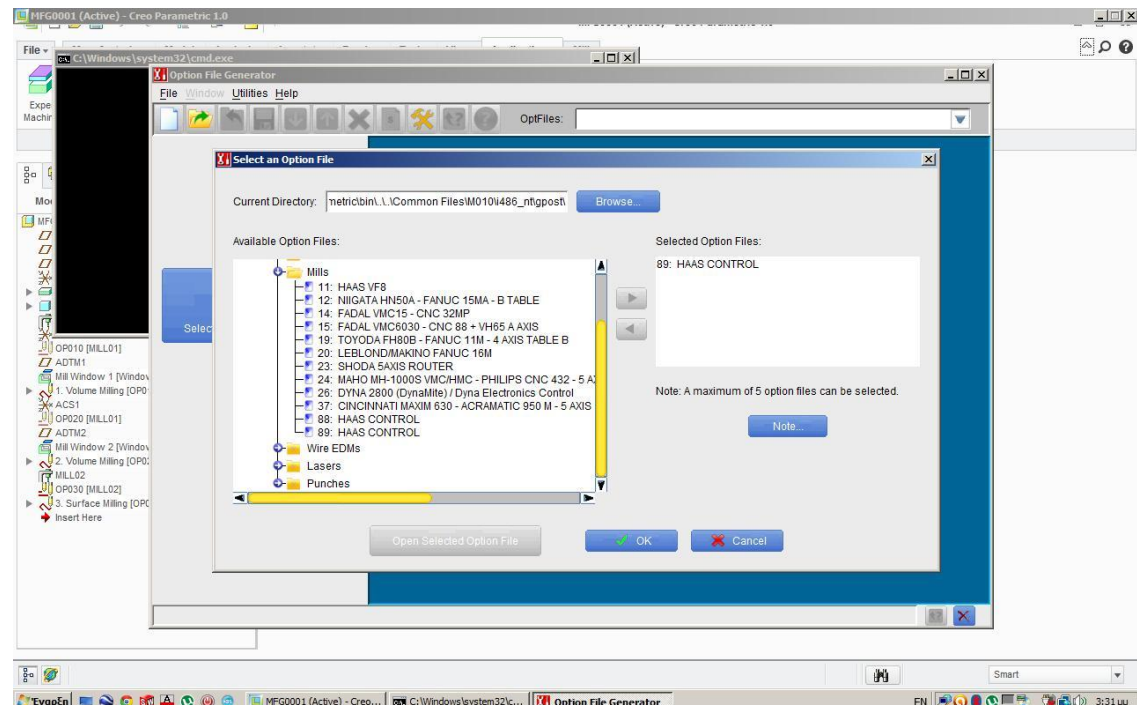
Εικόνα 53β : Επιλογή τύπου μηχανής.

Στη συνέχεια επιλέγεται το κουμπί Post a CL File από την καρτέλα Manufacturing και εντοπίζεται το CL File αρχείο που αποθηκεύτηκε σε προηγούμενο βήμα. Έπειτα, πατώντας Done ανοίγει μια λίστα από την οποία πρέπει να επιλεγθεί ο post processor της μηχανής. Από την λίστα αυτή επιλέγεται το UNCX01.P88. Στο παράθυρο που εμφανίζεται πρέπει να δοθεί τετραψήφιος αριθμός ως όνομα του προγράμματος. Στο σημείο αυτό, το λογισμικό έχει εξάγει ένα αρχείο TAP με την ονομασία «op010»¹, το οποίο είναι αποθηκευμένο στο φάκελο που έχει αποθηκευτεί το CL File και είναι ο G-κώδικας που θα διαβάσει η μηχανή για να κόψει.

Όσα operation υπάρχουν στο δέντρο του λογισμικού (Model Tree), τόσες φορές πρέπει να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία.

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται σε κατεργασίες που απαιτούν τρεις άξονες (ξεχόνδρισμα). Για να γίνει η τελευταία κατεργασία για το συγκεκριμένο κομμάτι απαιτείται χρήση 4^{ου} άξονα. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να οριστεί ξανά ο Post Processor για μηχανή 4^{ων} αξόνων.

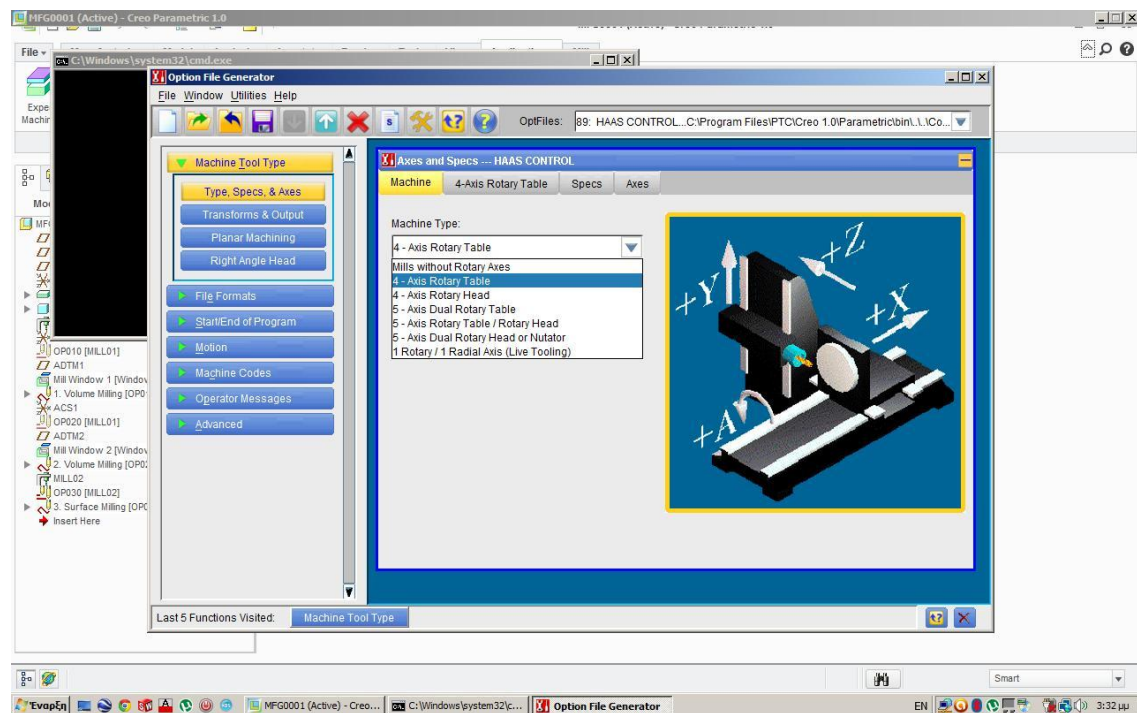
Εδώ η διαδικασία εκτελείται όπως και προηγουμένως, δηλαδή από την καρτέλα Applications και επιλέγοντας το κουμπί NC Post Processor. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, χρησιμοποιώντας το κουμπί Select Option File From List, το λογισμικό ζητάει από το χρήστη να επιλέξει το αρχείο του τύπου της μηχανής από την πρώτη λίστα (Mills→ 89: HAAS CONTROL).



Εικόνα 54α : Επιλογή αρχείου μηχανής.

¹ Το αρχείο παίρνει το όνομά του από το operation που θα επιλεγθεί για να αποθηκευτεί ως CL File.

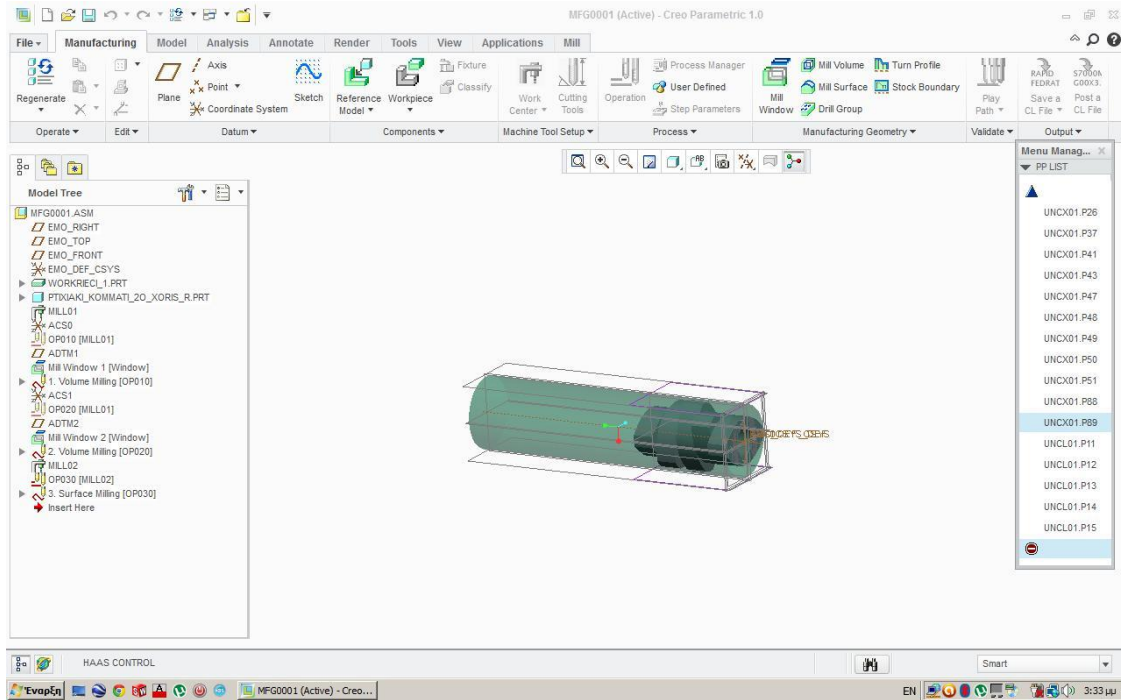
Στο σημείο αυτό πρέπει να επιλεγθεί ένας διαφορετικός τύπος μηχανής και συγκεκριμένα ο «4-Axis Rotary Table» Εικόνα 54β. Αποθηκεύονται οι νέες ρυθμίσεις και κλείνει η εφαρμογή του Post Processor.



Εικόνα 54β : Επιλογή τύπου μηχανής.

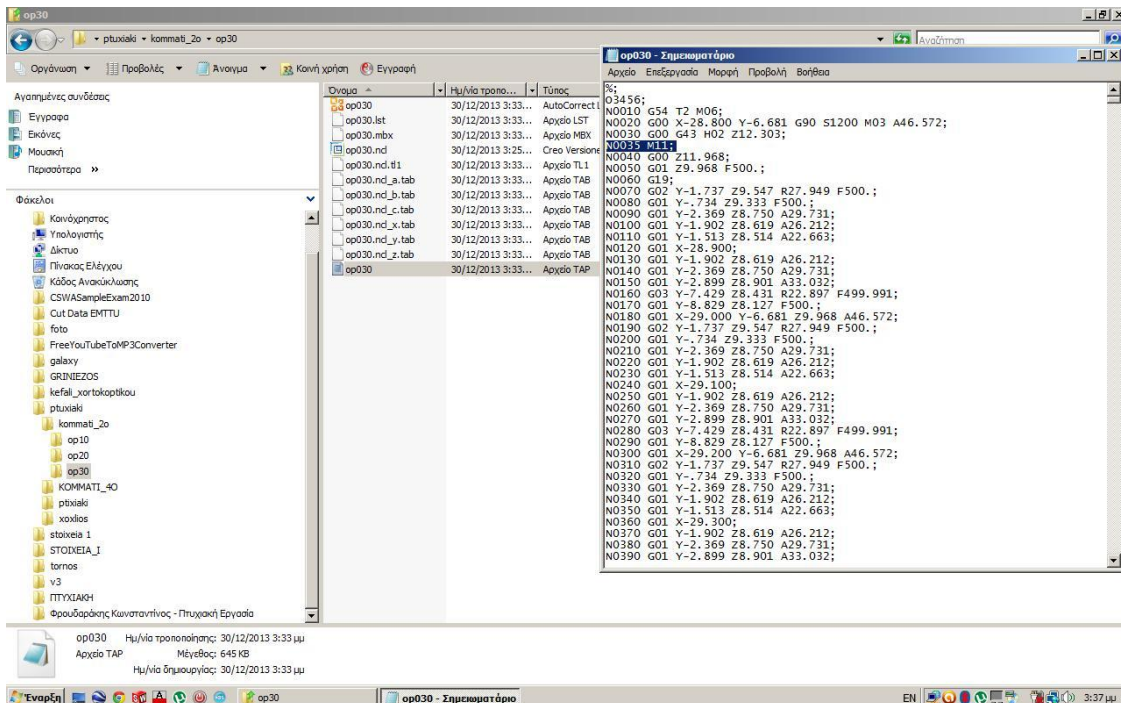
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για την εξαγωγή του G-κώδικα η μόνη αλλαγή εντοπίζεται στο κομμάτι της επιλογής του Post Processor. Για κατεργασία 4^{ων} αξόνων από την λίστα που εμφανίζεται κατά την εκτέλεση των βημάτων, επιλέγεται UNCX01.P89 και ακολουθείται η διαδικασία όπως και πριν Εικόνα 55.

Πτυχιακή Εργασία – Καρωτάκης Γεώργιος
 «Κατασκευή τεμαχίων που απαιτούν πολυαξονική κατεργασία με χρήση του λογισμικού Vericut »



Εικόνα 55 : Επιλογή Post Processor.

Τέλος, για καλύτερη ποιότητα επιφάνειας κατά την κοπή, προστίθεται η εντολή M11; στο αρχείο TAP που έχει εξαχθεί για τον 4^ο άξονα ούτως ώστε να απελευθερωθεί το φρένο από τον 4^ο άξονα (Εικόνα 56).



Εικόνα 56 : Εισαγωγή εντολής M11; στο αρχείο TAP που έχει εξαχθεί.

3.7 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών κοπής .

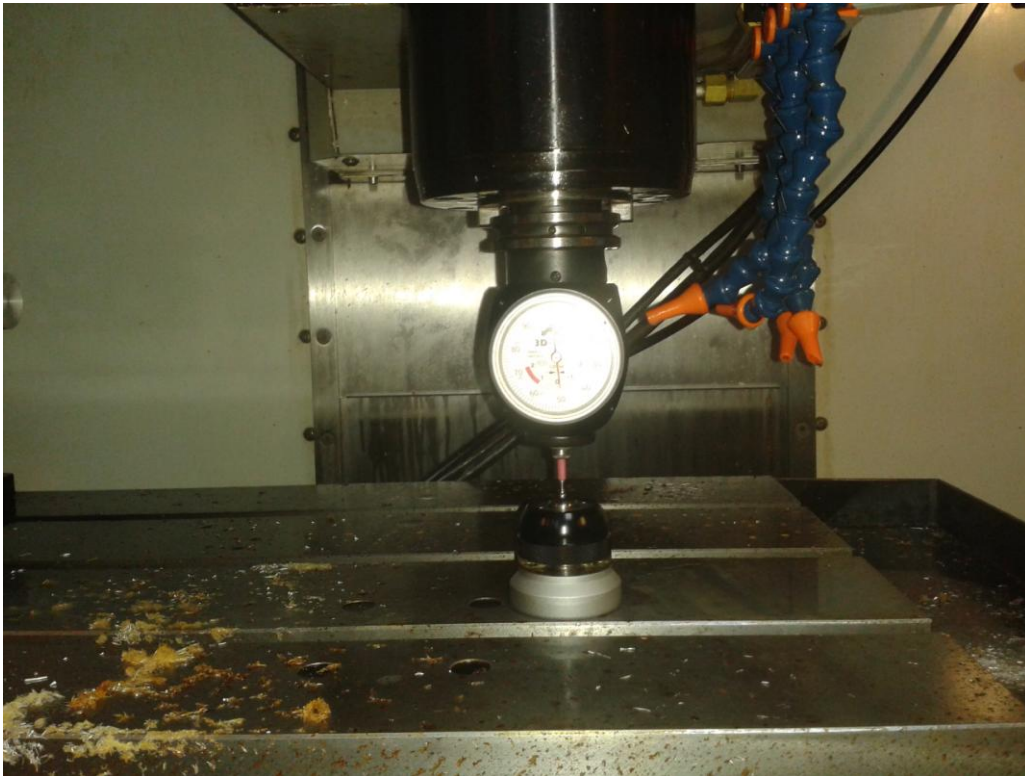
Κατεργασία	Ξεχόνδρισμα	Τελικές επιφάνειες	Ξεχόνδρισμα	Τελικές επιφάνειες	Ξεχόνδρισμα	Τελικές επιφάνειες
Τύπος κοπτικού	End Mill	Ball Mill	End Mill	End Mill	End Mill	End Mill
Διάμετρος κοπτικού (mm)	3	5	3	3	3	3
Στροφές (rpm)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Πρόωση (mm/min)	600	400	600	600	600	600
Βάθος κοπής (mm)	1	-	0.5	-	1	-
Μετατόπιση (mm)	2.6	0.4	1	0.1	2.6	0.1
4^{ος} Άξονας	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι
Ωρα (min)	6	35	60	120	23	80

Πίνακας 1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά κοπής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Πολυαξονικές κατεργασίες - Κατασκευή τεμαχιδίων στην CNC

4.1 Μηδενισμός κοπτικού

Για το μηδενισμό του κοπτικού εργαλείου τοποθετείται πάντα το 3D Taster στη θέση 1 της ομπρέλας των κοπτικών εργαλείων και από εκεί και πέρα τοποθετείται οποιοδήποτε εργαλείο σε οποιαδήποτε άλλη θέση. Αφού έχει επιλεγθεί στην άτρακτο να είναι «Κουμπωμένο» το εργαλείο της θέσης T1 δηλαδή το 3D Taster τοποθετείται στην τράπεζα το ειδικό εξάρτημα μηδενισμού. Πατώντας Hand Jog → Άξονας (X,Y,Z) → Βήμα *(το βήμα ορίζεται από τα κουμπιά της σειράς που βρίσκονται στο Hand JoG.) → ροδέλα Handle Jog κατευθύνεται η μπίλια του 3D Taster στο κέντρο του ειδικού εξαρτήματος και πραγματοποιούνται 2 περιστροφές της μαύρης βελόνας (Εικόνα 1). Πατιέται το κουμπί Offset 1-2 φορές μέχρι να εμφανιστεί το menu Work Zero Offset και στη συνέχεια πατιέται το Part Zero Set για Z του G 54 (Εικόνα 2).

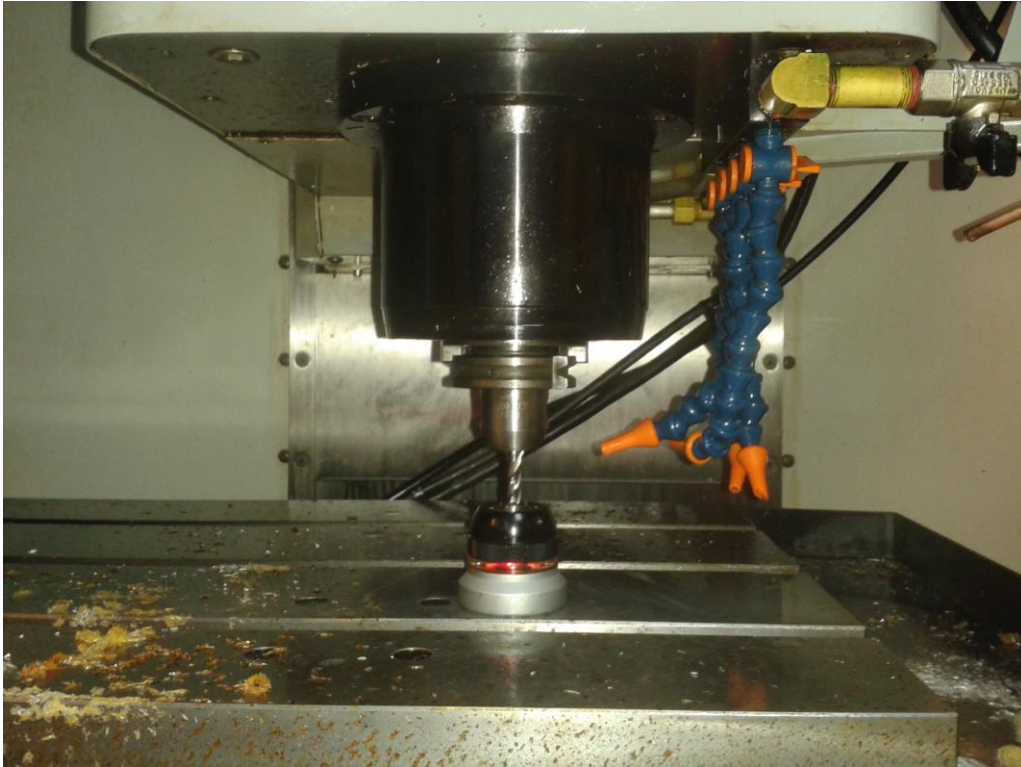


Εικόνα 1 : Ορισμός αρχικού ύψους με το 3D Taster για τον μηδενισμό των κοπτικών εργαλείων ως προς αυτό.



Εικόνα 2 : Μενού WORK ZERO OFFSET και μηδενισμός του άξονα z.

Γίνεται η αλλαγή του κοπτικού εργαλείου μέσω των κουμπιών MDI – DNC →πληκτρολογείται η θέση του εργαλείου → Alter → Cycle Start. Στη συνέχεια μέσω των κουμπιών Hand JoG → Y → Βήμα → Ροδέλα Handle Jog → κατεβαίνει η άτρακτος έως ότου ανάψει το κόκκινο λαμπάκι στο ειδικό εξάρτημα μηδενισμού (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 : Μηδενισμός κοπτικού με το 3D Taster.

Στη συνέχεια επιλέγοντας το κουμπί Offset 1-2 φορές ενεργοποιείται η λίστα των κοπτικών εργαλείων και επιλέγεται Tool Offset measure στον αριθμό της αντίστοιχης θέσης.

4.2 Εκκίνηση της εργαλειομηχανής, ορισμός σημείου μηδέν στο ακατέργαστο.

Θέτοντας τη μηχανή σε λειτουργία από το κουμπί Power On και μετά το πέρας περίπου 15 sec εμφανίζεται στην οθόνη της CPU της μηχανής το κύριο μενού. Πατιέται το κουμπί Emergency Stop (Μανιτάρι) και επαναφέρεται αμέσως. Στη συνέχεια το κουμπί Reset για 5-6 επαναλήψεις μέχρι να σβήσει το Alarm. Τέλος πατώντας το κουμπί Power Up Restart το οποίο βρίσκεται δίπλα στο Reset η μηχανή παίρνει τις αρχικές της θέσεις στους άξονες (σημείο μηδέν μηχανής). Η μηχανή είναι έτοιμη προς χρήση.



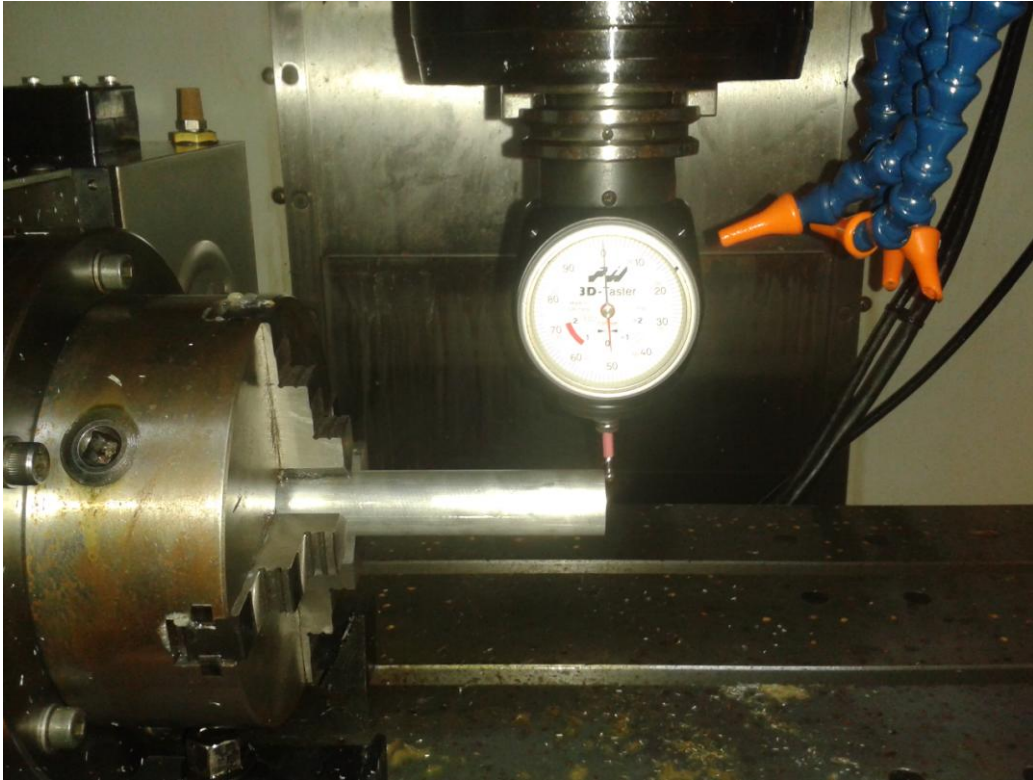
Εικόνα 4 : Controller Φρέζας

- **Ορισμός σημείου μηδέν στο ακατέργαστο**

Αφού τοποθετηθεί το ακατέργαστο κομμάτι πάνω στο τσοκ ξεκινάει ο ορισμός του σημείου μηδέν του κομματιού. Στη θέση T1 της ομπρέλας των κοπτικών τοποθετείται πάντα το 3D Taster το οποίο χρησιμεύει στο να μηδενιστεί το κομμάτι. Πατώντας Hand JoG → Άξονας (XYZA) → Βήμα το 3D Taster κατευθύνεται μέσω της ροδέλας Handle JoG στον εκάστοτε άξονα X ή Y ή Z ή A που θα επιλεγεί ως σημείο μηδενισμού.

- **Άξονας X**

Αρχικά μηδενίζεται ο Άξονας X ακουμπώντας την μπίλια του 3D Taster στην επιφάνεια YZ Εικόνα 5. Μόλις αγγίξει η μπίλια πρέπει να γίνουν 2 πλήρεις περιστροφές της μαύρης βελόνας (Μετατόπιση 2mm). Στο σημείο αυτό πατώντας Offset 1-2 φορές μέχρι να εμφανιστεί το Menu Work Zero Offset με τα βελάκια επιλέγεται το X για το G 54 (Εικόνα 6) και έπειτα το κουμπί Part Zero Set για ορισμό στον Άξονα X.



Εικόνα 5 : Μηδενισμός το άξονα x με το 3D Taster.

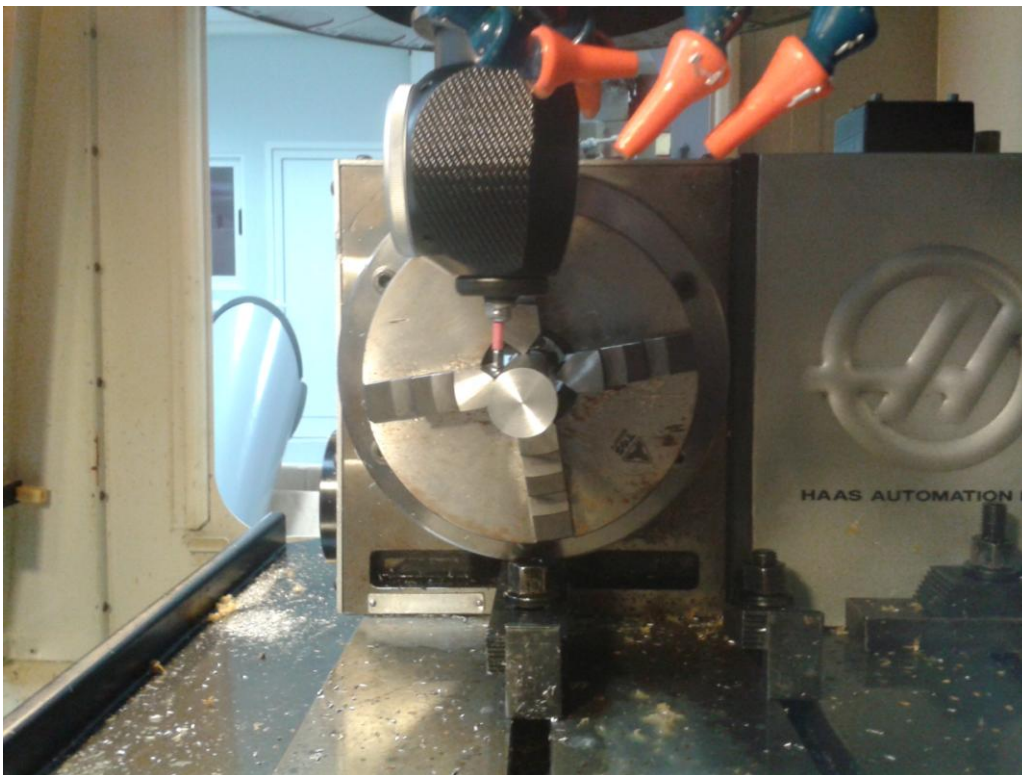


Εικόνα 6 : Μενού WORK ZERO OFFSET και μηδενισμός του άξονα x.

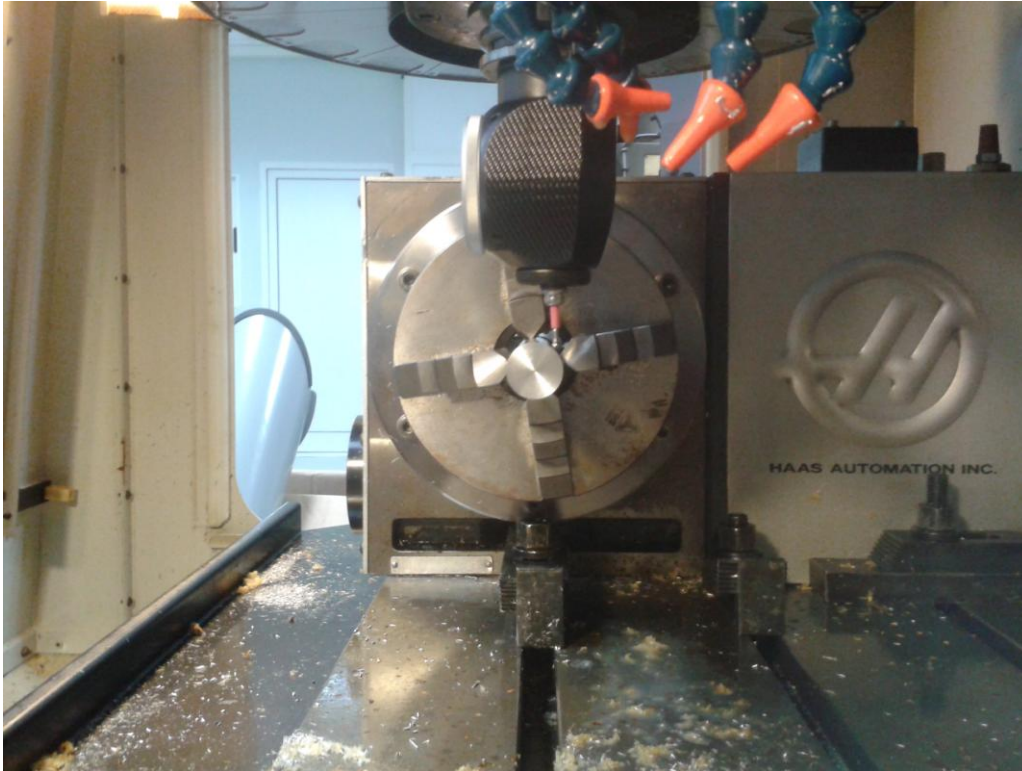
- **Άξονας Y**

Για τον ορισμό του σημείου 0 του κομματιού στον Άξονα Y θα πρέπει να επιλεχθούν 2 ισούψη σημεία στην περίμετρο του κυλίνδρου (Εικόνες 7-8) έτσι ώστε με την πρόσθεση των τιμών των 2 σημείων και τη διαίρεση τους δια δύο θα προκύψει το κέντρο του κομματιού (Σημείο μηδέν).

Για την ανάγνωση της οποιαδήποτε τιμής στους άξονες επιλέγεται το κουμπί Posit και διαβάζεται η εκάστοτε τιμή στο Block Machine. Τέλος μετά την μαθηματική πράξη των αναγνωσμένων τιμών επιλέγεται Posit και προχωρώντας με τη ροδέλα Handle JoG ορίζεται η τιμή του Y που προέκυψε. Επιλέγεται Offset 1-2 φορές μέχρι να εμφανιστεί το Menu Work Zero Offset και πατώντας → Part Zero Set γίνεται ο μηδενισμός στο Y του G54 (Εικόνα 9).



Εικόνα 7: Ανάγνωση τιμής στον άξονα Y από αριστερά σε συγκεκριμένο ύψος.



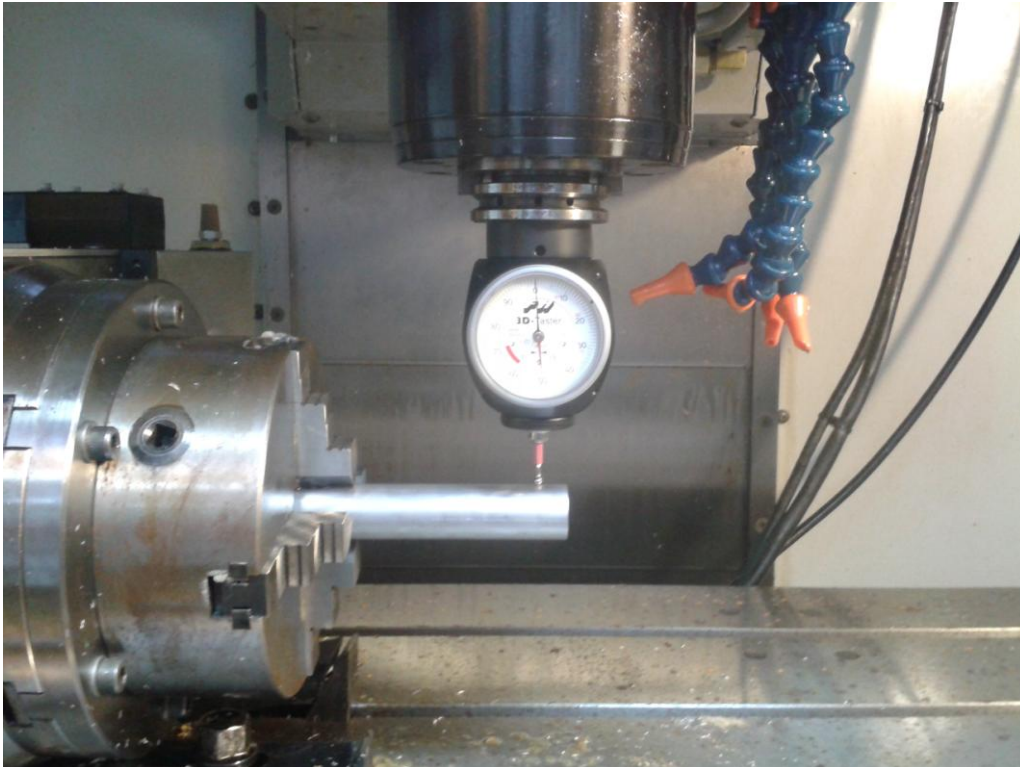
Εικόνα 8: Ανάγνωση τιμής στον άξονα Y από δεξιά στο ίδιο ύψος.



Εικόνα 9 : Μενού WORK ZERO OFFSET και μηδενισμός του άξονα Y.

- **Άξονας Z**

Αφού έχει οριστεί το σημείο μηδέν 0 του κομματιού στους άξονες X,Y και η μηχανή βρίσκεται στο σημείο μηδέν και των 2 αξόνων, ξεκινάει η διαδικασία ορισμού του σημείο μηδέν 0 στον άξονα Z ακουμπώντας το 3D Taster (Εικόνα 10) στην πάνω επιφάνεια του κομματιού (2 περιστροφές της μαύρης βελόνας) και προσθέτοντας την ακτίνα του ακατέργαστου στην τιμή του Z που αναγράφεται στο Block machine, πατώντας το κουμπί → Part Zero Set γίνεται ο μηδενισμός του Z στο G54 (Εικόνα 11).



Εικόνα 10 : Κατά τη διάρκεια επαφής του 3D taster στο Ακατέργαστο υλικό.



Εικόνα 11 : Μενού WORK ZERO OFFSET και μηδενισμός του άξονα Z.

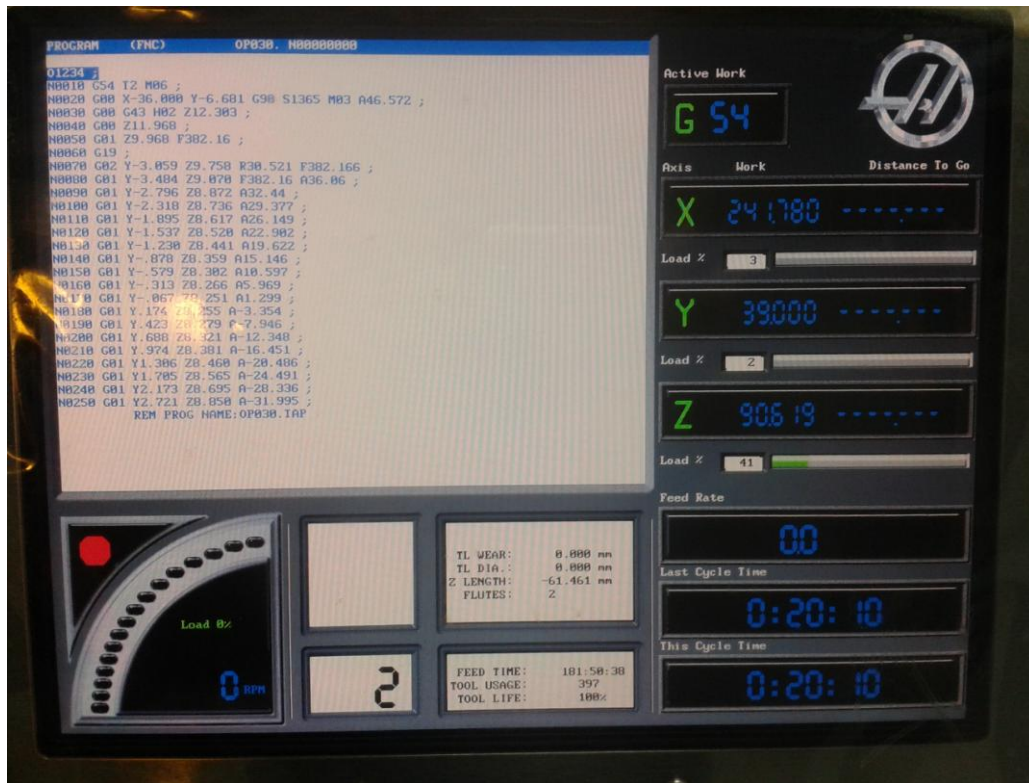
- **Άξονας A**

Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί ο 4^{ος} Άξονας όπως στην παρούσα περίπτωση θα πρέπει να δοθεί και σε αυτόν ο ορισμός του σημείο μηδέν 0. Αυτό γίνεται πατώντας Posit → Hand JoG → το κουμπί του Άξονα A → Βήμα → Περιστροφή Handle JoG → έως ότου πάρει την τιμή μηδέν 0 ο Άξονας A στο Block machine. Ορίζεται και σε αυτόν τον άξονα με τον ίδιο τρόπο δηλαδή πατώντας Part Zero Set για τον A στο G54.

4.3 Διαδικασία κοπής τεμαχιδίων.

Εισάγοντας το USB stick στην CPU της εργαλειομηχανής επιλέγεται το πρόγραμμα μέσω των κουμπιών List Program → Επιλέγεται στην οθόνη με κίτρινο χρώμα USB Device → Δεξί βέλος → Εντοπισμός αρχείου TAP → Select_Prog.

Σε αυτό το σημείο έχει επιλεγθεί το πρόγραμμα και είναι έτοιμο προς εκτέλεση από την εργαλειομηχανή (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 : Πρόγραμμα έτοιμο προς εκτέλεση.

Για μεγαλύτερη ασφάλεια και επειδή το πρόγραμμα θα εκτελεστεί για πρώτη φορά στην εργαλειομηχανή επιλέγεται Single Block, έτσι ώστε οι εντολές να εκτελεστούν σταδιακά μία προς μία με επέμβαση του χρήστη πατώντας το κουμπί → Cycle Start. Όταν ο χρήστης επιβεβαιωθεί ότι το σημείο μηδενισμού του κομματιού και των κοπτικών, είναι σωστό αφού η μηχανή έχει πραγματοποιήσει σειρά διαδικασιών ίδιες με αυτή της προσομοίωσης επιλέγεται ξανά το κουμπί Single Block και Cycle Start για να συνεχίσει μόνο του το πρόγραμμα.

4.4 Φάσεις κατά την κοπή των τεμαχιδίων.

Φωτογραφίες κατά την κατασκευή των κομματιών παρουσιάζονται παρακάτω.

ΚΟΜΜΑΤΙ 1^ο



Εικόνα 1 : Κομμάτι 1^ο ξεχονδρισμένο και από τις 2 πλευρές.



Εικόνα 2 : Κομμάτι 1^ο με τις τελικές επιφάνειες αμέσως μετά το τελείωμα των κατεργασιών και πριν την κοπή του στο κατάλληλο μήκος.

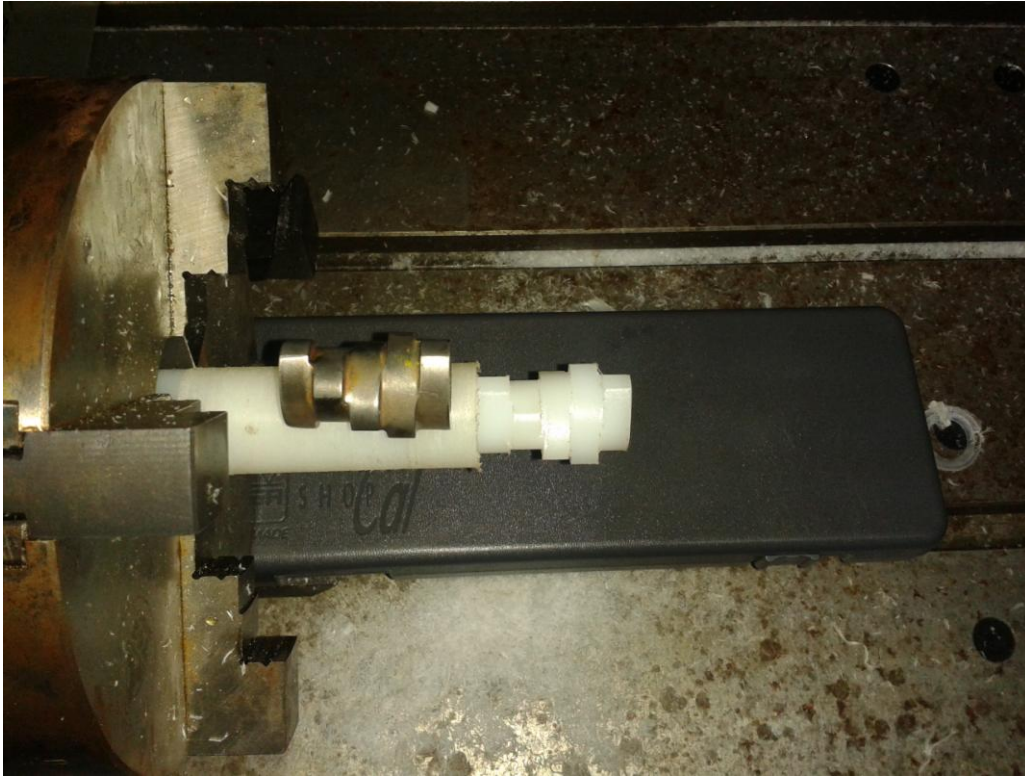


Εικόνα 3 : Κομμάτι 1^ο σε σύγκριση με το αυθεντικό.

ΚΟΜΜΑΤΙ 2^ο

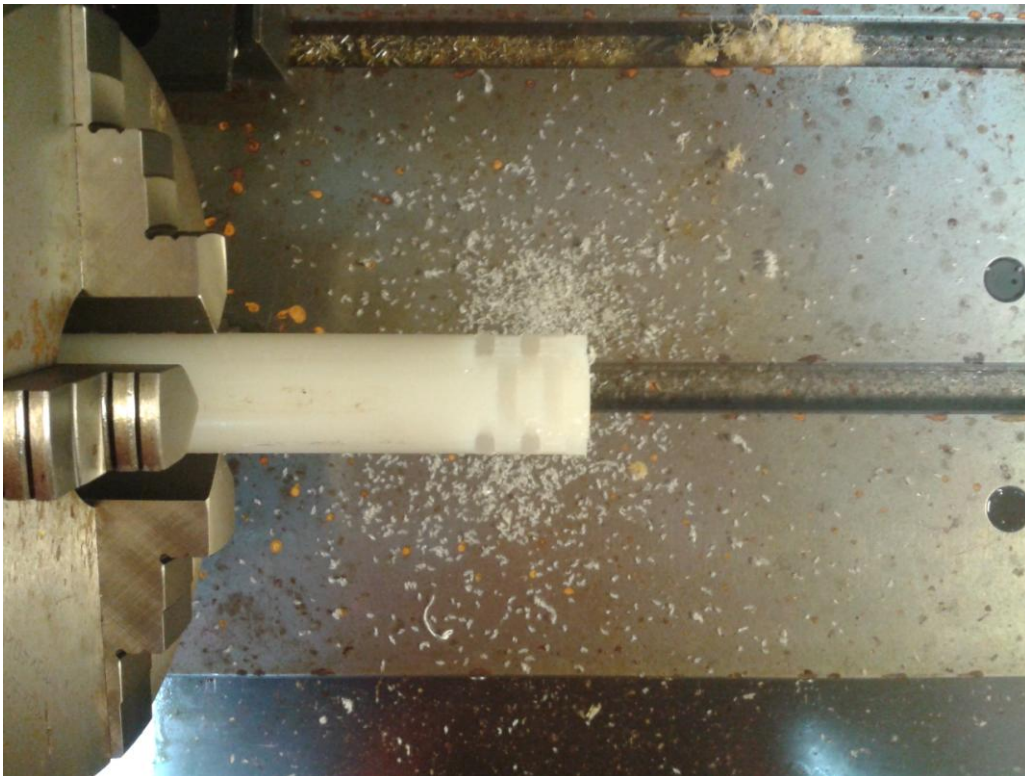


Εικόνα 4 : Κομμάτι 2^ο ξεχονδρισμένο από τη 1 πλευρά.



Εικόνα 3 : Κομμάτι 2^ο σε σύγκριση με το αυθεντικό (φθαρμένο).

ΚΟΜΜΑΤΙ 3^ο



Εικόνα 4 : Κομμάτι 3^ο ξεχονδρισμένο από την μια πλευρά.

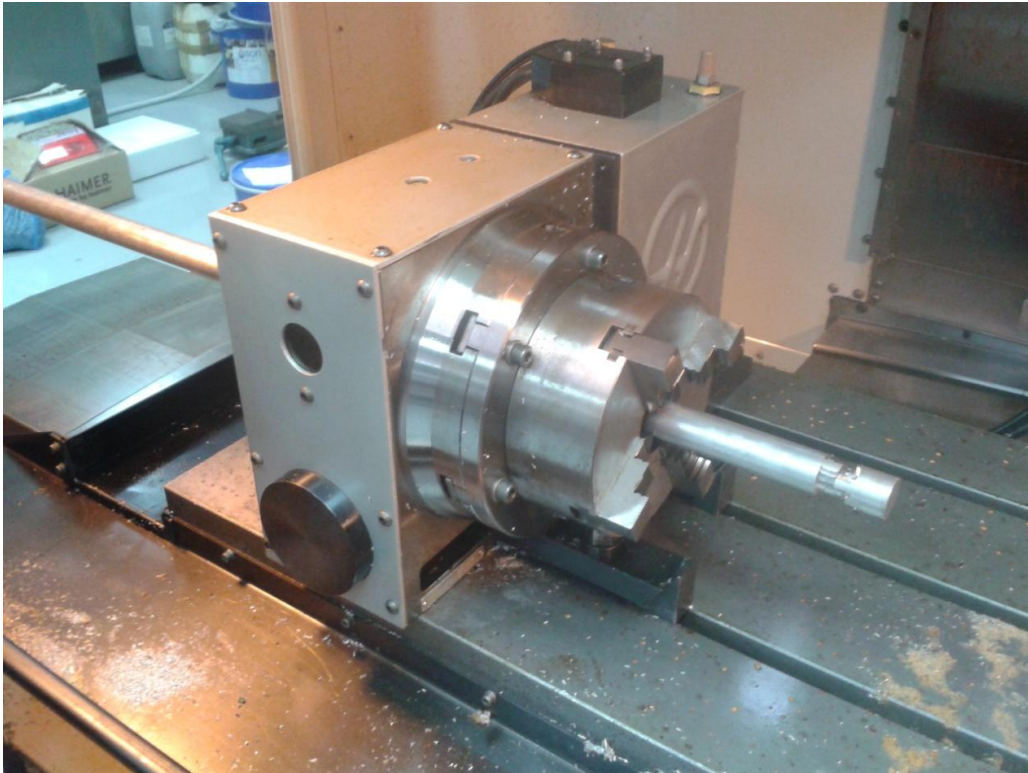


Εικόνα 5 : Κομμάτι 3^ο τελειωμένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : Συμπεράσματα.

Συμπερασματικά, τα κομμάτια είναι εφικτό να κατασκευαστούν σε οποιασδήποτε σκληρότητας υλικό με την προϋπόθεση να υπάρξει το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο, από την στιγμή που μπορούν να κατασκευαστούν ως γεωμετρία σε πλαστικό.

Τα παραπάνω τεμάχια έχουν εφαρμογή σε όλες τις βιομηχανίες πλαστικού, οι οποίες χρησιμοποιούν στα extruder (μηχανές πλαστικού)τους διαφορετικούς, αλλά όχι μονοκόμματους, για κάθε περίπτωση αέριμες κοιλίες μεταφοράς ή μάλαξης. Για το λόγο ότι υπήρξαν κραδασμοί κατά την κοπή με την μέθοδο σύσφιξης της Εικόνας 1, έγινε αλλαγή στα «μάγουλα» του τσοκ για μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής κατά το δέσιμο.



Εικόνα 1 : Σταμάτημα διαδικασίας κοπής λόγω κραδασμών

Στην Εικόνα 2 φαίνεται ότι η επιφάνεια επαφής των σιαγόνων του τσοκ πριν την αλλαγή είναι πολύ μικρότερη από αυτή μετά Εικόνα 3.



Εικόνα 2 : Σιαγώνες τσοκ με μικρή επιφάνεια σύσφιξης στο εσωτερικό τους.

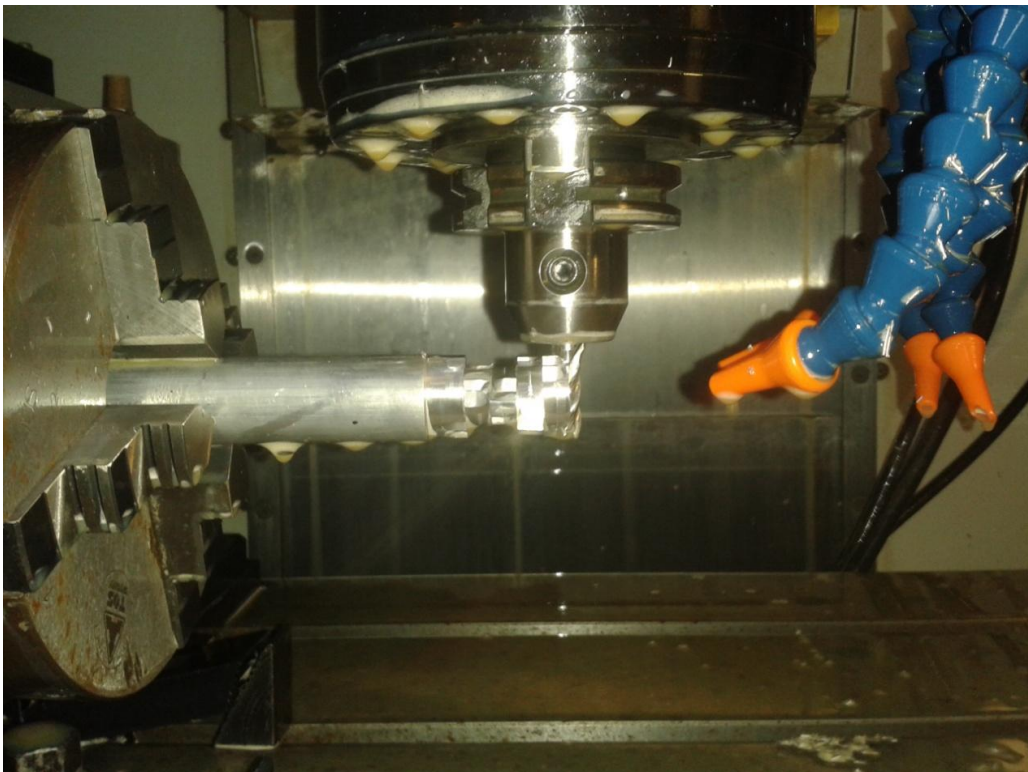


Εικόνα 3 : Σιαγώνες τσοκ με μεγαλύτερη επιφάνεια σύσφιξης στο εσωτερικό τους.

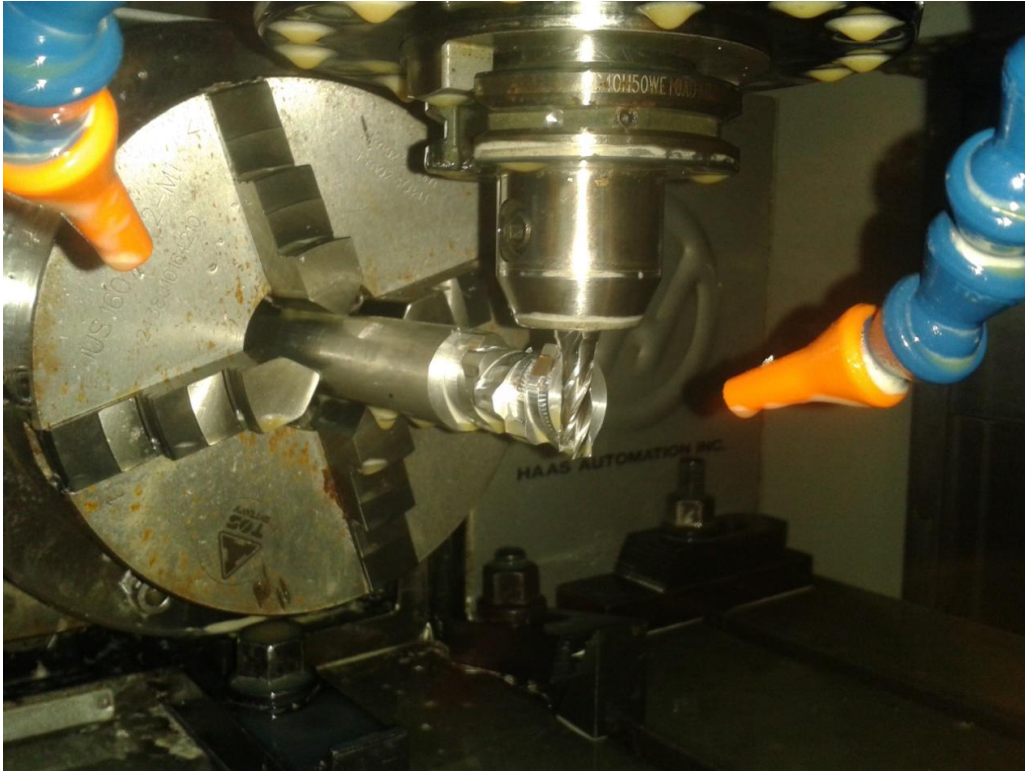
Άλλο ένα πλεονέκτημα που αποκτήθηκε μετά την αλλαγή των σιαγόνων του τσοκ είναι ότι το ακατέργαστο κομμάτι μπορεί να δεθεί πιο κοντά στο τσοκ στον άξονα Χ, χωρίς τον φόβο τρακαρίσματος με την άτρακτο του κοπτικού.

Με το να γίνεται το δέσιμο πιο «μέσα» υπάρχει ακόμα μεγαλύτερη μείωση των κραδασμών. Συνεπώς και μεγαλύτερη ακρίβεια.

Μετά την εγκατάσταση της εργαλειομηχανής στο χώρο του εργαστηρίου και με το πέρας του χρόνου διαπιστώθηκε εμπειρικά ότι η συγκεκριμένη μηχανή θα πρέπει να κλείνει περίπου κάθε δύομιση ώρες. Πράγμα αφύσικο για εργαλειομηχανή, η οποία είναι σχεδιασμένη να δουλεύει ασταμάτητα εκτός από την περίοδο συντήρησής της. Σε προσπάθεια που έγινε στη συγκεκριμένη μηχανή, για κοπή μεγαλύτερη των δύομιση ωρών τα αποτελέσματα είναι εμφανή στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4,5).

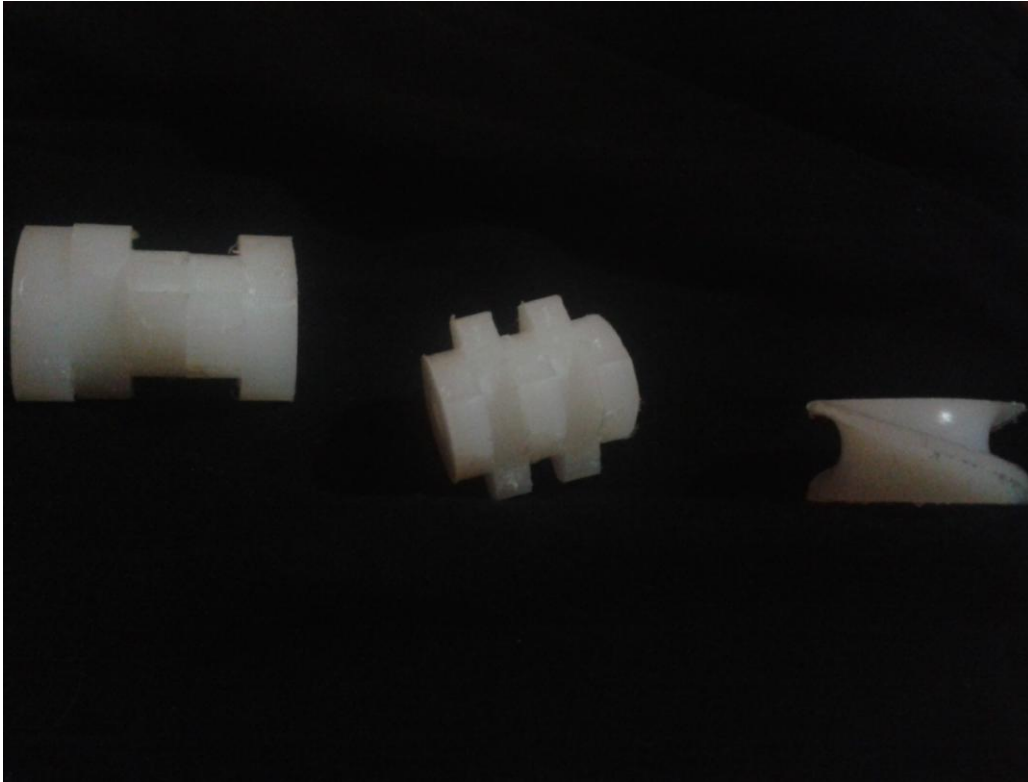


Εικόνα 4 : Απρόσμενη συμπεριφορά της μηχανής κατά το τελείωμα του προγράμματος – καταστροφή του επεξεργασμένου κουμματιού.



Εικόνα 5 : Απρόσμενη συμπεριφορά της μηχανής κατά το τελείωμα του προγράμματος – καταστροφή του επεξεργασμένου κομματιού.

Όπως παρατηρείται το κοπτικό δεν απομακρύνεται ομαλά από το επεξεργασμένο κομμάτι με αποτέλεσμα το τελευταίο να καταστραφεί με μία απότομη μη επιθυμητή κοπή πάνω σε αυτό.



Εικόνα 6 : Τελικά κομμάτια.

Μετά την κοπή των τεμαχιδίων στην εργαλειομηχανή όπως διαπιστώνεται το κομμάτι από πλαστικό που προέκυψε ήταν σε διαστάσεις και φινίρισμα πολύ κοντά σε σχέση με το πρωτότυπο τεμαχίδιο.

Ανάλογο αποτέλεσμα θα προκύψει από την εργαλειομηχανή και κατά την κοπή των τεμαχιδίων από το τύπο χάλυβα, όμως είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένα πολύ καλό κοπτικό εργαλείο και οι κατάλληλες ταχύτητες λειτουργίας στην μηχανή.

Κεφάλαιο 6^ο : Βιβλιογραφία πτυχιακής εργασίας

1. Αντωνιάδης Αριστομένης – Νεκτάριος Βιδάκης, Σημειώσεις μαθήματος «Εργαλειομηχανές με Ψηφιακή Καθοδήγηση» - Τεύχος Α, ΤΕΙ Κρήτης 2004,
2. Σωτήρης Λ.Ομήρου, «Προγραμματισμός Εργαλειομηχανών C.N.C», Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2000,ISBN 960-209-410-9,
3. Steve Krar, Arthur Gill, «Μηχανές αριθμητικού ελέγχου C.N.C», Εκδόσεις Τζιόλα,1998, ISBN 960-7219-27-9,
4. Διπλωματική εργασία: “Εκβολή Ανακυκλώσιμου Πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE)”,Ευάγγελος Βουρλάκης, ΕΜΠ 2010,
5. Χαμηλοθώρης Γ. Ε., Σημειώσεις μαθήματος «Τεχνολογία CNC», ΤΕΙ Πειραιά, 2012,
6. Overby A., ”CNC Machining Handbook”, McGraw-Hill, 2011,
7. Smid P., CNC “Programming Handbook”, Industrial Press Inc., 2003

Ηλεκτρονικές πηγές :

1. <http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC.html>
2. http://feinmech.iap.uni-bonn.de/_pdf/masch26.pdf