

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πτυχιακή εργασία

Με θέμα :

**Αναλυτικός έλεγχος και προγραμματισμός
συστήματος CNC (Computer Numerical Control)
για πρωτότυπα τρισδιάστατα αντικείμενα**

Κωδικός πτυχιακής εργασίας : 22241

Ημερομηνία ανάληψης πτυχιακής εργασίας : 12/10/2022

Ημερομηνία περάτωσης πτυχιακής εργασίας : 18/1/2023

Φοιτητής

Πέτρος Μιλτιάδης Μανζιέρι @ ΚΑΣ : 515081

Επιβλέπων καθηγητής : ΙΟΡΔΑΝΗΣ ΚΙΟΣΚΕΡΙΑΔΗΣ

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως Πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Μανζιέρι Πέτρο Μιλτιάδη που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ **ανταλλάγματος**. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της Πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΑΤΕΙ) Θεσσαλονίκης, στο τμήμα Ηλεκτρονικής. Το θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι «Αναλυτικός έλεγχος και προγραμματισμός συστήματος CNC (Computer Numerical Control) για πρωτότυπα τρισδιάστατα αντικείμενα».

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω δύο ξεχωριστά πρόσωπα για εμένα τον Παππού μου και τον Θείο μου οι οποίοι με τις γνώσεις τους πάνω στα CNC και στα κοπτικά εργαλεία με βοήθησαν στην υλοποίηση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη τους και την υπομονή τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας τον κύριο Ιορδάνη Κιοσκερίδη για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγηση του.

Αφιέρωση

Αυτή την πτυχιακή Εργασία θέλω να την αφιερώσω αποκλειστικά στον Πατέρα μου ο οποίος απεβίωσε πριν τέσσερα χρόνια. Θέλω να τον ευχαριστήσω για όλα όσα μου προσέφερε, για την στήριξη του και για την πίστη του σε εμένα.

Περίληψη

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να γίνει αναλυτικός έλεγχος της λειτουργίας του CNC για την πλήρη κατανόηση του με στόχο τον προγραμματισμό του CNC για την απεικόνιση τρισδιάστατων αντικειμένων πάνω σε MDF. Για τον λόγο αυτό η μελέτη χωρίζεται σε δυο επιμέρους κομμάτια, το HARDWARE και το SOFTWARE. Στο HARDWARE συμπεριλαμβάνονται όλα τα υλικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα και μπορούμε να το χωρίσουμε σε δύο επιπλέον υποκατηγορίες, το μηχανολογικό και το ηλεκτρονικό κομμάτι. Στο ηλεκτρονικό ανήκουν οι βηματικοί κινητήρες, ο μικροελεγκτής, η τροφοδοσία κ.τ.λ και στο μηχανολογικό ανήκουν όλα τα επιμέρους εξαρτήματα που χρειάζονται ώστε να είναι λειτουργικό το σχέδιο, από τις βίδες που θα χρησιμοποιηθούν μέχρι τον σκελετό και τον πάγκο εργασίας.

Για να λειτουργήσουν όλα τα επιμέρους κομμάτια του HARDWARE πρέπει με κάποιο τρόπο να συνδεθούν μεταξύ τους. Αυτή την αποστολή την κάνει το SOFTWARE το οποίο χωρίζεται και αυτό σε τρεις υποκατηγορίες στα CAD, CAM, και Control Software, τα οποία συνήθως είναι τρία ξεχωριστά προγράμματα. Το CAD (Computer-aided design) είναι το πρόγραμμα που μας επιτρέπει να σχεδιάζουμε αντικείμενα δύο και τριών διαστάσεων, έπειτα με το CAM (Computer-aided manufacturing) το οποίο μετατρέπει το αντικείμενο που σχεδιάσαμε με το CAD σε γλώσσα G Code, που είναι η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται στις μηχανές CNC. Τέλος το Control Software παίρνει το μεταφρασμένο αρχείο ώστε να στείλει τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα, μέσω του μικροελεγκτή και των κινητήρων, ώστε το μέσο το οποίο έχουμε επιλέξει (plasma, laser, απλό κοπτικό) να κάνει την επεξεργασία του υλικού που θέλουμε (ξύλο, αλουμίνιο κ.τ.λ).

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to make an analytical control of the operation of the CNC in order to fully understand it with the aim of programming the CNC for the display of three-dimensional objects on wood. For this reason, the study is divided into two separate parts, **HARDWARE** and **SOFTWARE**. **HARDWARE** includes all the material elements that make up the system and we can divide it into two additional subcategories, the mechanical and the electronic part. The electronic includes the stepper motors, the microcontroller, the power supply, etc. and the mechanical includes all the individual components needed to make the design work, from the screws to be used to the frame and the workbench.

In order for all the individual pieces of **HARDWARE** to work, they must somehow be connected together. This work is done by the **SOFTWARE**, which is also divided into three subcategories in **CAD**, **CAM**, and **Control Software**, which are usually three separate programs. **CAD**(Computer-aided design) is the program that allows us to design objects in two and three dimensions, then with **CAM**(Computer-aided manufacturing) which converts the object we designed with **CAD** into **G Code** language, which is the programming language used in **CNC** machines. Finally, the **Control Software** takes the translated file in order to send the appropriate electrical signals, through the microcontroller and the motors, so that the medium we have chosen (plasma, laser, simple cutter) can process the material we want (wood, aluminum) etc.)

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1:	8
Computer Numerical Control (CNC)	8
1.1. Εισαγωγή	8
1.2. Ιστορική Αναδρομή	9
1.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της χρήσης του CNC	10
1.4. Είδη Εργαλειομηχανών CNC	11
1.4.1 CNC Τόρνος	11
1.4.2 CNC Κοπτικό	12
1.4.3 CNC Φρέζα	13
Κεφάλαιο 2:	14
Hardware του CNC	14
2.1. Ηλεκτρονικά Μέρη	14
2.1.1. Άτρακτος (Spindle)	14
2.1.2. Μοτέρ Κίνησης Αξόνων	15
2.1.2.1. Ηλεκτρικοί Κινητήρες	15
2.1.2.2. Βηματικοί Κινητήρες	16
2.1.2.3. Σερβοκινητήρες	19
2.1.3. Ελεγκτές Εργαλειομηχανής	20
2.2. Μηχανολογικά Μέρη	24
2.2.1. Υλικό Κατασκευής	24
2.2.2. Κινήσεις Αξόνων	27
2.2.3. Σύστημα Ομαλής Οδήγησης	29
2.2.3. Κοπτικά Μέσα	29
Κεφάλαιο 3:	33
Software του CNC	33
3.1. CAD Software	33
3.2. CAM Software	35
3.3. Control Software	40
Κεφάλαιο 4:	44
Πρακτικό Μέρος	44
Προγραμματισμός συστήματος CNC για πρωτότυπα τρισδιάστατα αντικείμενα	44

Επεξήγηση Υλοποίησης.....	44
Θεωρητικό και προγραμματιστικό Μέρος.....	44
4.1. Θεωρητικό Μέρος.....	44
4.1.1. Περιγραφή των υλικών του CNC	44
4.1.2. Περιγραφή των κοπτικών μέσων του CNC	46
4.1.3. Ανάλυση των προγραμμάτων CAD και CAM	50
4.1.4. Ανάλυση του προγράμματος Ελέγχου.....	56
4.2. Προγραμματιστικό Μέρος.....	58
4.2.1. Σχεδιασμός Αντικειμένων στο Aspire	58
4.2.2. Επιλογή κοπτικών Μέσων	60
4.2.3. Αποτελέσματα προσομοιώσεων	63
4.2.4. Αποτελέσματα του CNC.....	67
4.2.5. Διάρκεια ολοκλήρωσης του σχεδίου	70
Κεφάλαιο 5:	73
Επίλογος	73
5.1. Δυσκολίες κατά την υλοποίηση.....	73
5.2. Μελλοντικές βελτιώσεις	73
5.3. Συμπεράσματα	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
ΠΗΓΕΣ – ΚΕΙΜΕΝΟ	74
ΠΗΓΕΣ – ΕΙΚΟΝΕΣ	75

Κεφάλαιο 1

Θεωρητικό Μέρος, Computer Numerical Control (CNC)

1.1. Εισαγωγή



Σχήμα 1.1: Σχεδιασμός αντικειμένου με CNC [2]

Με τον όρο Μηχανήματα Ψηφιακής Καθοδήγησης αναφερόμαστε σε μηχανήματα τα οποία συνοδεύονται από συστήματα ψηφιακής καθοδήγησης του μηχανολογικού εξοπλισμού που σημαίνει συστήματα αριθμητικού ελέγχου (Computer Numerical Control Systems). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ειδικό υπολογιστή μέσω του οποίου μεταβιβάζονται ηλεκτρονικά διάφορες εντολές στον ελεγκτή του μηχανήματος και εκτελούνται οι διάφορες μορφές κατεργασίας. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα βασικά μέρη ενός CNC Router που ελέγχεται από έναν υπολογιστή.

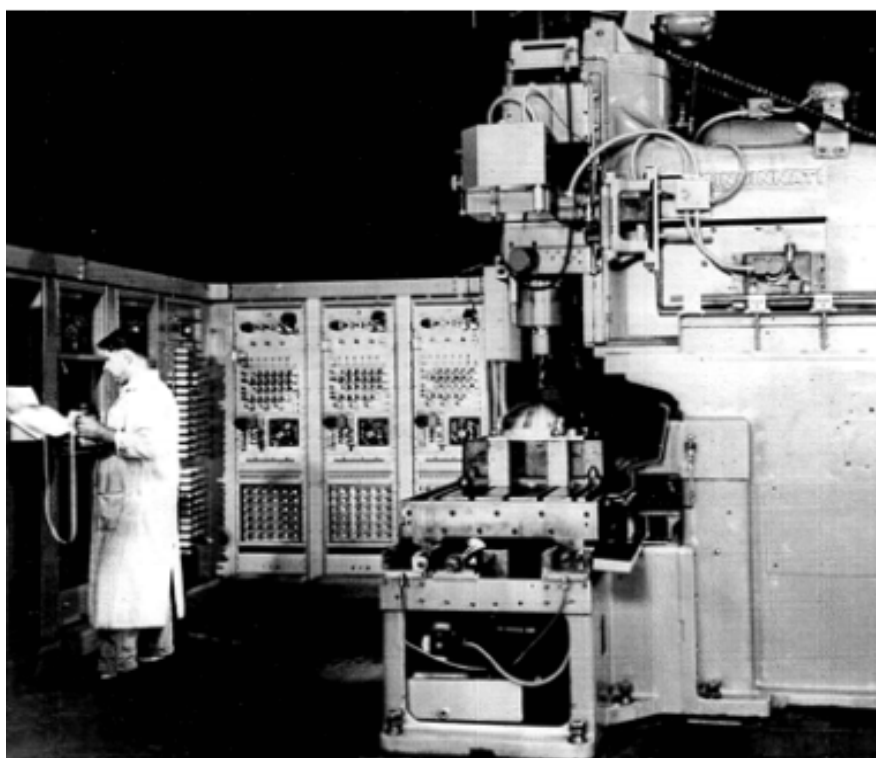
Τα συστήματα CNC έχουν ευρεία εφαρμογή στο χώρο των μηχανημάτων κατεργασίας και κοπής. Στις μηχανές CNC (Computer Numerical Control Machines) όλες οι λειτουργίες ελέγχονται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η μηχανή αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: το υλικό και το λογισμικό του ελεγκτή (controller) τα οποία βρίσκονται μέσα στην εργαλειομηχανή. Ο ελεγκτής (controller) εκτελεί προγραμματιζόμενες εντολές και επεξεργάζεται τις ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν ώστε η μηχανή να μας δώσει το αποτέλεσμα που θέλουμε, στην ουσία ο ελεγκτής είναι ένας H/Y. Ένας CNC ελεγκτής emπεριέχει μια οθόνη και ένα πληκτρολόγιο, τα οποία αποτελούν το κύριο μέσο επικοινωνίας ανάμεσα στον χειριστή και το μηχάνημα και χρησιμοποιείται για την φόρτωση προγραμμάτων και την εισαγωγή εντολών. Οι ελεγκτές αριθμητικού ελέγχου χρειάζονται ένα σύστημα συντεταγμένων για να προσδιορίζουν τις διαστάσεις των κατεργαζόμενων υλικών,

εργαλείων και άλλων εξαρτημάτων στον χώρο εργασίας της μηχανής. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων τριών αξόνων που τέμνονται σε ορθή γωνία.

Ένα μηχάνημα CNC (π.χ. κέντρο εργασίας) έχει τουλάχιστον τρεις άξονες κίνησης των μέσων κατεργασίας, τους X και Y που αναφέρονται στην οριζόντια κίνηση και τον Z που αναφέρεται στην κάθετη κίνηση. Κάποιες πιο σύνθετες εργαλειομηχανές διαθέτουν και βοηθητικούς άξονες όπως τους άξονες A, B, και Γ ως άξονες περιστροφής γύρω από τους άξονες X, Y και Z.

Οι κινήσεις και οι διάφορες βοηθητικές εργασίες καθορίζονται με ένα συνδυασμό λέξεων σε γραμμές κώδικα. Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των κινήσεων της εργαλειομηχανής είναι ο Κώδικας G.

1.2. Ιστορική Αναδρομή



Σχήμα 1.2: Η πρώτη Αυτόματη φρέζα του Parson [3]

Η ανάγκη χρήσης μιας μηχανής ικανή να κατεργαστεί μέταλλο και γενικά κάποιο υλικό με μεγάλη ακρίβεια, γεννήθηκε με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης και ο John Wilkinson, Άγγλος βιομήχανος, ήταν αυτός που το 1775 κατάφερε να ικανοποιήσει αυτή την ανάγκη. Στην ουσία ο Wilkinson, ήταν ο άνθρωπος που ανακάλυψε τον τόρνο με σκοπό την κατεργασία των κυλίνδρων των ατμομηχανών. Μέχρι την ανακάλυψή του, δεν ήταν στρόγγυλοι με αποτέλεσμα την διαρροή ατμού κάτι το οποίο οδηγούσε σε χαμηλότερη απόδοση της ατμομηχανής. Μετά από μερικά χρόνια, συγκεκριμένα το 1818, ο εφευρέτης Eli Whitney δημιουργεί τη φρέζα (milling machine), η ιδιαιτερότητα της οποίας ήταν ότι το εργαλείο για την διάνοιξη οπών (τρυπάνι) δεν ήταν τοποθετημένο οριζόντια στη βάση που

στηριζόταν το υλικό επεξεργασίας αλλά κάθετα και από πάνω, το οποίο τρυπάνι μπορούσε να κινηθεί μηχανικά στους άξονες x, y και z.

Παράλληλα με την εφεύρεση του John Wilkinson έκαναν την εμφάνισή τους οι τρυπητές ταινίες ή τρυπητές κάρτες (punched tapes ή punchedcards). Αυτές οι κάρτες ή ταινίες χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην κλωστοϋφαντουργία και συγκεκριμένα στους αργαλειούς που ήταν και οι πρώτες αυτοματοποιημένες μηχανές που ως είσοδο είχαν τις τρυπητές ταινίες πάνω στις οποίες είχαν “τρυπηθεί” οι εντολές της μηχανής. Ο άνθρωπος που εμπνεύστηκε από αυτή την ανάγκη και κατάφερε να πείσει την αμερικανική αεροπορία να τον εμπιστευτεί, είναι ο John Parsons. Το 1949, Ο Parsons κατάφερε με τη βοήθεια του τμήματος σερβομηχανισμών του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης, να τροποποιήσει μια φρέζα ώστε να μην χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση κατά την διαδικασία της επεξεργασίας του υλικού, παρά μόνο για την τοποθέτηση της τρυπητής ταινίας. Παρακάτω βλέπουμε την πρώτη ελεγχόμενη μηχανή αριθμητικού ελέγχου (NC), η οποία χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία μετάλλων. Παρακάτω γίνεται μια σύντομη ταξινόμηση των σταδίων εξέλιξης του CNC:

- 1952 – 1ης γενιάς NC, Η πρώτη ελεγχόμενη μηχανή NC για επεξεργασία μετάλλων (ρελέ και ηλεκτρονικοί σωλήνες)
- 1960 - 2ης γενιάς NC, ρελέ και ηλεκτρονικές λυχνίες αντικαταστάθηκαν με τρανζίστορ
- 1965 – 3η γενιά, ολοκληρωμένα κυκλώματα
- 4ης γενιάς NC – CNC (Computerized Numerical Control Machines CNC)

1.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της χρήσης του CNC

Πλεονεκτήματα:

- Συνεχής χρήση: Σε αντίθεση με τη χειρωνακτική εργασία, τα μηχανήματα CNC (αποκλείοντας οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή πρόβλημα συντήρησης) μπορούν να λειτουργούν συνεχώς για οποιαδήποτε χρονική περίοδο χωρίς διακοπή. Αυτό αυξάνει σημαντικά την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα.
- Συνέπεια και ακρίβεια: Με το λογισμικό υπολογιστή, η σχεδίαση οποιοδήποτε προϊόντος χρειάζεται να προγραμματιστεί μόνο μία φορά. Το μηχάνημα CNC μπορεί στη συνέχεια να αναπαράγει τέλεια αυτό το σχέδιο, για οποιαδήποτε ποσότητα παραγγελίας.
- Απαιτήση χαμηλής ικανότητας: Οι χειριστές μηχανών CNC χρειάζονται να έχουν λιγότερη εκπαίδευση και δεξιότητα σε σύγκριση με χειριστές χειροκίνητων μηχανών.
- Λιγότερο προσωπικό: Επειδή το λογισμικό υπολογιστή ελέγχει τα μηχανήματα, χρειάζονται λιγότεροι τεχνικοί για τη λειτουργία και την επίβλεψη, μειώνοντας τα συνολικά έξοδα της επιχείρησης.
- Ευελιξία: Το λογισμικό μπορεί να επαναπρογραμματιστεί γρήγορα και εύκολα για την παραγωγή διαφορετικών σχεδίων, επιτρέποντας στις λειτουργίες να συμβαδίζουν με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών.

- **Δυνατότητα:** Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί την ακρίβεια του υπολογιστή για να υπερβεί τους περιορισμούς των χειροκίνητων δυνατοτήτων. Πιο περίπλοκες και σύνθετες εργασίες μπορούν να εκτελεστούν με τη βοήθεια του CNC.

Μειονεκτήματα:

- **Κόστος:** Οι μηχανές CNC είναι πιο ακριβές και απαιτούν μεγαλύτερη επένδυση από τις μηχανές που μπορούν να λειτουργήσουν χειροκίνητα. Ωστόσο μετά από μερικά χρόνια εργασίας γίνεται απόσβεση των χρημάτων που δόθηκαν για την αγορά του CNC.
- **Απώλεια δεξιοτήτων:** Καθώς η ζήτηση για χειριστές χειροκίνητων μηχανών μειώνεται, όλο και λιγότεροι νέοι μαθητές υιοθετούν αυτές τις δεξιότητες. Με αποτέλεσμα οι νέοι που βγαίνουν στην αγορά εργασίας να έχουν ελάχιστες δυνατότητες σε μηχανήματα που λειτουργούν χειροκίνητα.
- **Ανεργία:** Ο αυτοματισμός μειώνει την ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό και προσλαμβάνονται λιγότεροι εργάτες. Πλέον η αγορά εργασίας έχει ανάγκη από εξειδικευμένους μηχανικούς λογισμικού και μηχανολόγους μηχανικούς.

Όπως παρατηρούμε παραπάνω τα πλεονεκτήματα της κατεργασίας CNC υπερτερούν κατά πολύ των μειονεκτημάτων. Όπως συμβαίνει με την άφιξη κάθε νέας τεχνολογίας, πρέπει να προσαρμοστούμε γρήγορα στις αλλαγές για να αντιμετωπίσουμε τις νέες προκλήσεις. Αυτό δεν ήταν ποτέ πιο αληθινό στον κατασκευαστικό κλάδο, καθώς ο αυτοματισμός και η τρισδιάστατη εκτύπωση προοδεύουν με πολύ γρήγορο ρυθμό.

1.4. Είδη Εργαλειομηχανών

Τα μηχανήματα CNC χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες τις οποίες αναλύουμε παρακάτω.

1.4.1 Τόρνος CNC

Οι τόρνοι είναι μηχανές επεξεργασίας μετάλλων που περιστρέφουν το τεμάχιο εργασίας με μεγάλη ταχύτητα για να εκτελέσουν διάφορες εργασίες κατεργασίας. Η ιδιαιτερότητα του τόρνου είναι το υλικό κατεργασίας που είναι τοποθετημένο σε σειρά με το κοπτικό. Οι τόρνοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή εξαρτημάτων από σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, πλαστικά και ξύλο. Είναι μηχανήματα πολλαπλών χρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση εργασιών όπως κοπή, λείανση, διάτρηση και στροφή. Διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και με μια σειρά από αξεσουάρ. Οι τόρνοι υπάρχουν από την αρχαιότητα και χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασίες ακριβείας. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια μηχανή τόρνου που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία μετάλλων.



Σχήμα 1.3: Τόρνος CNC [4]

1.4.2 Κοπτικό CNC

Το κοπτικό μέσο είναι τοποθετημένο κάθετα στο αντικείμενο κοπής και κινείται σε τρεις, τέσσερις ή πέντε άξονες. Αυτού του είδους τα κοπτικά δεν μορφοποιούν ένα αντικείμενο παρά μόνο το κόβουν. Το κοπτικό CNC μπορούμε να το χωρίσουμε σε πολλές υποκατηγορίες ανάλογα με το κοπτικό μέσο που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα έχουμε το CNC router όταν χρησιμοποιούμε για κοπτικό router, κοπτικό πλάσματος όταν χρησιμοποιούμε πλάσμα, κοπτικό λέιζερ όταν σαν μέσο κοπής έχουμε λέιζερ και υδροκοπή όταν σαν μέσο κοπής χρησιμοποιείται το νερό. Επειδή στο πλάσμα και στο λέιζερ οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κοπή είναι μεγάλες, υπάρχει συνήθως σύστημα απαγωγής της θερμότητας.



Σχήμα 1.4: Κοπή με laser [5]

1.4.3 Φρέζα CNC

Η φρέζα είναι ένα εργαλείο επεξεργασίας μετάλλων που χρησιμοποιεί περιστροφικούς κόφτες για την αφαίρεση ανεπιθύμητου υλικού. Το τεμάχιο εργασίας κρατιέται σφιχτά στο κινητό τραπέζι εργασίας, γύρω από το οποίο μπορεί να μετακινηθεί κάθετα ένα περιστρεφόμενο εργαλείο. Η φρέζα χρησιμοποιείται συνεχώς για την μορφοποίηση ενός υλικού κατά βούληση του χειριστή. Οι δύο κύριες λειτουργίες που εκτελεί μια φρέζα είναι το φρεζάρισμα με όψη και το περιφερειακό φρεζάρισμα. Στο φρεζάρισμα όψης, ο χειριστής φρεζάρει μια επίπεδη επιφάνεια που βρίσκεται σε ορθή γωνία με τη βοήθεια περιστροφής του κόφτη, ενώ στο περιφερειακό φρεζάρισμα, ο κόφτης τοποθετείται παράλληλα με το τεμάχιο εργασίας. Χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς από απλή κοπή έως πολύπλοκη διαμόρφωση και διάτρηση. Λόγω αυτής της ευελιξίας, οι μηχανές φρεζαρίσματος αποτελούν βασικό στοιχείο στα περισσότερα καταστήματα μεταλλουργίας.



Σχήμα 1.5: Φρέζα CNC [6]

Κεφάλαιο 2

Hardware του CNC

Στο Hardware του CNC περιλαμβάνονται όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται, είτε ηλεκτρονικά είτε μηχανικά μέρη για την υλοποίηση της μηχανής CNC.

2.1. Ηλεκτρονικά Μέρη

Στα ηλεκτρονικά μέρη περιλαμβάνονται όλα τα κομμάτια του CNC που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν. Επίσης τα ηλεκτρονικά μέρη χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες στους ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι εκτελούν την κίνηση που πρέπει να κάνει το κοπτικό εργαλείο και τους ελεγκτές οι οποίοι καθορίζουν τις κινήσεις που πρέπει να κάνει το κοπτικό για να εκτελέσει σωστά μια διεργασία.

2.1.1. Άτρακτος (Spindle)

Η Άτρακτος είναι από τα βασικότερα μέρη μιας εργαλειομηχανής, αποτελείται από ένα μέσο κοπής που ονομάζεται τσοκ πάνω στο οποίο κουμπώνουν τα κοπτικά εργαλεία. Επίσης η άτρακτος είναι ο περιστρεφόμενος άξονας της μηχανής, είναι ένα κυλινδρικό αντικείμενο που συνήθως είναι κατασκευασμένο από μέταλλο, λόγω της ανοχής που παρουσιάζει το συγκεκριμένο υλικό σε καταπονήσεις που δέχεται όταν εκτελεί δύσκολες κατεργασίες. Αντιθέτως τα spindles που χρησιμοποιούμε διαφέρουν σε μέγεθος και σχήμα, ανάλογα πάντα με το τι θέλουμε να κάνουμε. Στην εικόνα 2.1 βλέπουμε τη δομή από μία άτρακτο (spindle), ενώ στην εικόνα 2.2 παρατηρούμε τη δομή ενός ηλεκτρικού κινητήρα.



Σχήμα 2.1: Άτρακτος (Spindle) [7]

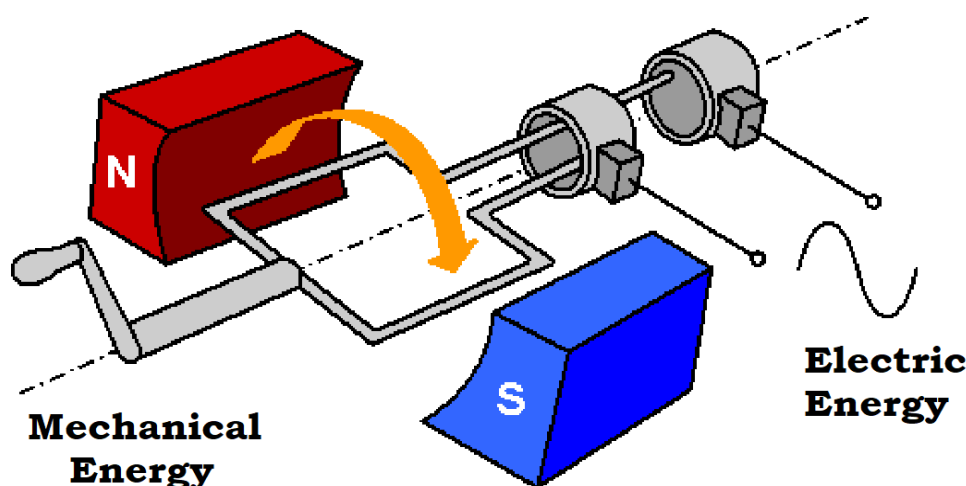
2.1.2. Μοτέρ Κίνησης Αξόνων

2.1.2.1. Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρική μηχανή, η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Όταν ένας αγωγός μήκους L διαρρέεται από ρεύμα I , ενώ αυτός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B , τότε παράγεται μια δύναμη F σύμφωνα με το σχήμα 2.2 και τον κανόνα του δεξιού χεριού κάθετη προς το ρεύμα και προς το μαγνητικό πεδίο. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη του μήκους του αγωγού, της έντασης του ρεύματος και της έντασης του μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με τη σχέση:

$$F = I * L * B * \eta \mu \theta$$



Σχήμα 2.2: Δομή Ηλεκτρικού κινητήρα [8]

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Στους ηλεκτρικούς κινητήρες εναλλασσόμενου AC (Alternate Current) και στους κινητήρες συνεχούς DC (Direct Current). Οι ηλεκτρικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες στους σύγχρονους και στους ασύγχρονους. Επίσης υπάρχουν πολλών ειδών ηλεκτρικοί κινητήρες, οι σημαντικότεροι όμως είναι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι βηματικοί κινητήρες και οι σερβοκινητήρες που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Ιστορικά οι μηχανές συνεχούς ρεύματος προηγούνται των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δυνατότητα που παρέχουν για εύκολο έλεγχο ταχύτητας και ροπής τις είχε καταστήσει για δεκαετίες τη μοναδική επιλογή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που απαιτούσαν γρήγορη ταχύτητα λειτουργίας. Η λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων. Το πρώτο πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες (διέγερση) που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στον στάτη της μηχανής. Το δεύτερο πεδίο δημιουργείται στον δρομέα της μηχανής από το περιστρεφόμενο τύλιγμα τυμπάνου, που συνιστά έναν ηλεκτρομαγνήτη. Βασικό ρόλο στη λειτουργία της μηχανής συνεχούς ρεύματος παίζει ο συλλέκτης. Ο ρόλος του συλλέκτη είναι να αντιστρέφει τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος του τυμπάνου δύο φορές σε κάθε κύκλο, έτσι ώστε να αντιστρέφεται η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη την κατάλληλη χρονική στιγμή.

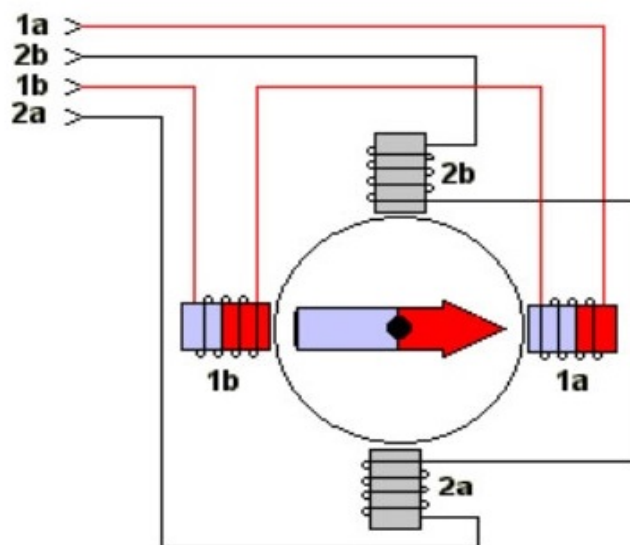
Κινητήρες Εναλλασσόμενου ρεύματος

Η τροφοδοσία των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος γίνεται από μονοφασικό ή τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 50 ή 60 Hz. Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Διακρίνονται σε πολλά είδη μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά και τρόπους λειτουργίας. Χωρίζονται σε μονοφασικές, διφασικές, τριφασικές και πολυφασικές, ανάλογα με τον αριθμό των εναλλασσόμενων ημιτονοειδών τάσεων τροφοδοσίας. Επίσης έχουμε διάκριση σε σύγχρονες και σε ασύγχρονες μηχανές αναλόγως με την ταχύτητα περιστροφής τους κατά τη λειτουργία τους.

2.1.2.2. Βηματικοί Κινητήρες

Δομή και αρχή λειτουργίας του βηματικού κινητήρα

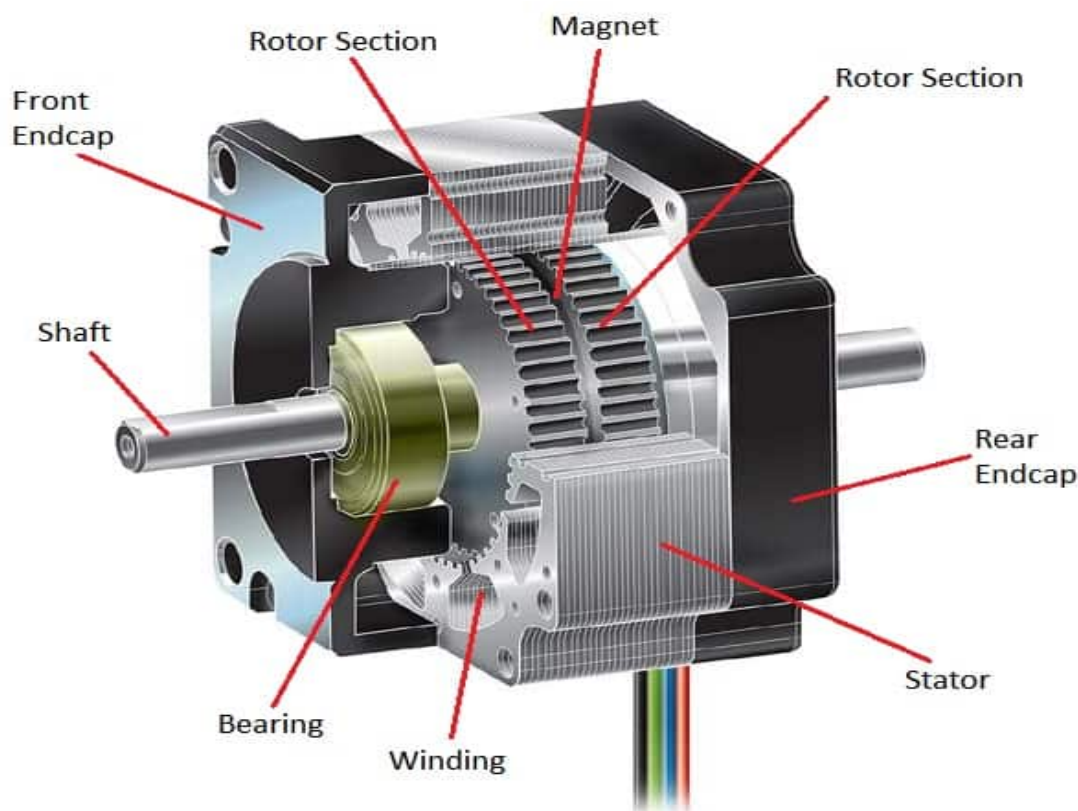
Ο βηματικός κινητήρας ή κινητήρας σταδιακών βημάτων είναι ένας κινητήρας επαγωγής ο οποίος τροφοδοτείται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, χρησιμοποιεί δηλαδή ηλεκτρονικούς παλμούς για την κίνηση του. Δηλαδή, είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή η οποία όταν ενεργοποιείται περιστρέφεται κατά μια συγκεκριμένη γωνία βημάτων κάθε φορά. Όταν είναι ελεγχόμενος από έναν υπολογιστή μπορούμε να πετύχουμε ακριβή ρύθμιση θέσης και ταχύτητας. Για αυτό τον λόγο οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για εφαρμογές ελέγχου ακριβείας. Οι βηματικοί κινητήρες αποτελούνται από έναν περιστρεφόμενο δρομέα και από τους σταθερούς ηλεκτρομαγνήτες (τυλίγματα) στον στάτη. Επίσης οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ψηφιακά κυκλώματα επειδή οδηγούνται πολύ εύκολα από αυτά. Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα βασίζεται στην αρχή του μαγνητισμού, δηλαδή ότι οι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται και οι ετερόνυμοι μαγνητικοί πόλοι έλκονται. Οι βηματικοί κινητήρες έχουν περισσότερους οπλισμούς, δυο και πάνω όπως επίσης και παραπάνω πόλους, τέσσερις και πάνω, για μεγαλύτερο έλεγχο.



Σχήμα 2.3: Εσωτερικό Βηματικού κινητήρα [9]

Στους παραδοσιακούς ηλεκτρικούς κινητήρες εφαρμόζεται μια τάση π.χ. συνεχής DC 12V ή 24V ή αλλιώς εναλλασσόμενη AC 220V και ο άξονας τους περιστρέφεται. Μόλις σταματήσει η εφαρμογή της τάσης εκτελείται επιβραδυνόμενη κίνηση μέχρι να σταματήσει. Αντίθετα στους βηματικούς κινητήρες εφαρμόζεται τάση σε διαδοχικά τυλίγματα του σε μικρά

διακριτά χρονικά βήματα. Μόλις σταματήσει η εφαρμογή της τάσης αυτός σταματάει ακαριαία. Όταν είναι σταματημένος ο βηματικός κινητήρας κλειδώνει και δεν κινείται ελεύθερα όπως ο αναλογικός κινητήρας. Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα βασίζεται στην αρχή ότι οι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται και οι ετερόνυμοι μαγνητικοί πόλοι έλκονται. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την δομή του βηματικού κινητήρα, προκειμένου να καταλάβουμε καλύτερα τη λειτουργία του.



Σχήμα 2.4: Διατομή Βηματικού κινητήρα [10]

Είδη Βηματικών Κινητήρων

Η κατασκευή του στάτη σε όλα τα είδη των κινητήρων είναι η ίδια. Ο στάτης αποτελείται από ατσάλινα ελάσματα τα οποία είναι ίδια κατανομημένα στα πεδία των πόλων. Σε κάθε ζεύγος ο ένας πόλος λειτουργεί ως βόρειος και ο άλλος ως νότιος πόλος. Όμως ο δρομέας δεν είναι ίδιος σε όλα τα είδη των κινητήρων. Οπότε ανάλογα με την κατασκευή του, διακρίνουμε τα παρακάτω είδη βηματικών κινητήρων:

- 1) Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη
- 2) Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης
- 3) Υβριδικός βηματικός κινητήρας

- Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

Οι βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν στον δρομέα έναν μόνιμο μαγνήτη. Ο δρομέας είναι ένας συμπαγής κύλινδρος με τμήματα μόνιμων μαγνητών σε ζεύγη με εναλλαγή (βόρειος-νότιος). Ο δρομέας περιστρέφεται σε συγχρονισμό με την συχνότητα εναλλαγής των παλμών, δηλαδή ελέγχοντας το μαγνητικό πεδίο το οποίο εφαρμόζεται στα τυλίγματα του στάτη.

- Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης

Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης κατασκευάζονται με ένα τμήμα δρομέα ή με πολλαπλά τμήματα δρομέα προσαρμοσμένα στην ίδια άτρακτο με τον βόρειο και τον νότιο πόλο να εναλλάσσονται. Τα υλικά του δρομέα και του στάτη παρουσιάζουν υψηλή μαγνητική διαπερατότητα, ώστε να δημιουργούν υψηλή μαγνητική ροή, ακόμα και όταν εφαρμόζεται χαμηλή ηλεκτρική τάση.

- Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες

Οι υβριδικοί βηματικοί κινητήρες συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των κινητήρων που αναφέραμε παραπάνω. Ο δρομέας αποτελείται από μόνιμους μαγνήτες σε μορφή κυλίνδρου. Στα άκρα των μαγνητών υπάρχουν τμήματα με μορφή οδοντωτών τροχών. Εξαιτίας του ενδιάμεσου μαγνήτη τα τμήματα αυτά μετατρέπονται σε βόρειο και σε νότιο πόλο εναλλάξ.

Πλεονεκτήματα βηματικών κινητήρων

- Ακριβής έλεγχος θέσης (Positioning) - Δεδομένου ότι κινούνται σε ακριβή επαναλαμβανόμενα βήματα, υπερέχουν σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή κίνηση, όπως 3D εκτυπωτές, CNC, πλατφόρμες κάμερας και X, Y Plotters.
- Έλεγχος ταχύτητας (Speed Control) - Τα ακριβή βήματα της κίνησης επιτρέπουν επίσης εξαιρετικό έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας και τη ρομποτική.
- Ροπή χαμηλής ταχύτητας (Low Speed Torque) - Οι κανονικοί κινητήρες DC δεν έχουν μεγάλη ροπή σε χαμηλές ταχύτητες. Ένας βηματικός κινητήρας έχει μέγιστη ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, έτσι είναι μια καλή επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή ταχύτητα με μεγάλη ακρίβεια.

Μειονεκτήματα βηματικών κινητήρων

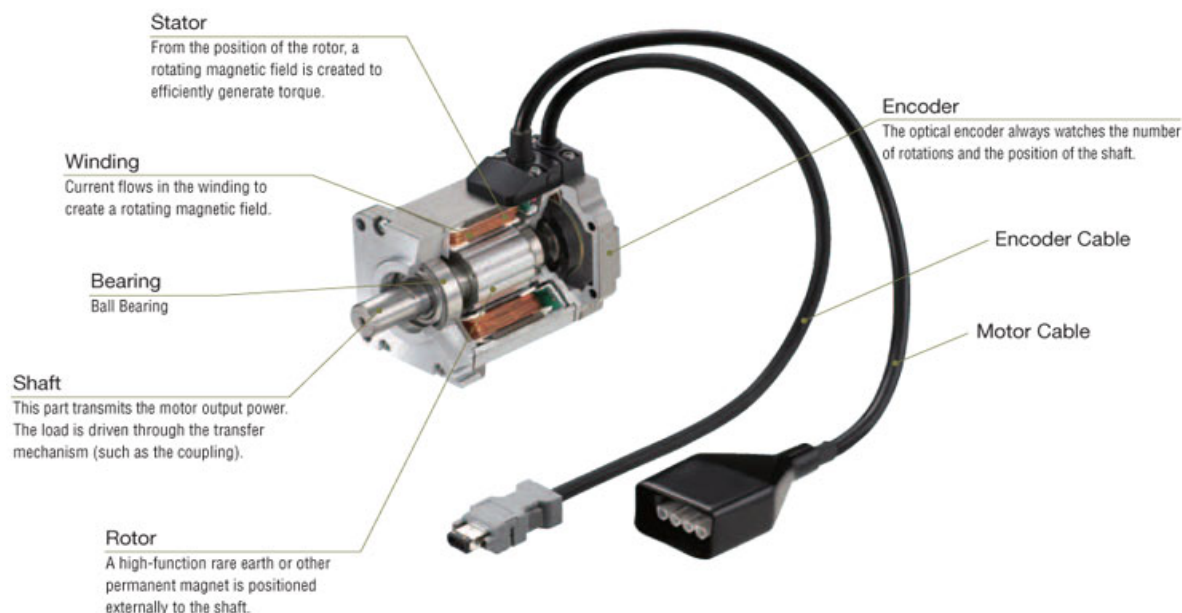
- Χαμηλή απόδοση (Low Efficiency) - Σε αντίθεση με τους κινητήρες DC, η κατανάλωση ρεύματος του βηματικού κινητήρα είναι ανεξάρτητη από το φορτίο. Τραβάνε ρεύμα ακόμα και όταν δεν δουλεύουν καθόλου. Εξαιτίας αυτού, έχουν την τάση να ζεσταίνονται.
- Περιορισμένη ροπή υψηλής ταχύτητας (Limited High Speed Torque) - Σε γενικές γραμμές, οι βηματικοί κινητήρες έχουν μικρότερη ροπή σε υψηλές ταχύτητες σε σχέση με τις χαμηλές ταχύτητες. Ορισμένοι βηματικοί κινητήρες είναι βελτιστοποιημένοι για καλύτερη απόδοση υψηλής ταχύτητας, αλλά πρέπει να συνδυαστούν με έναν κατάλληλο οδηγό (driver) για την επίτευξη αυτής της απόδοσης.
- Χωρίς ανάδραση (No Feedback) - Σε αντίθεση με τους σερβοκινητήρες οι περισσότεροι βηματικοί κινητήρες δεν έχουν ολοκληρωμένη ανατροφοδότηση για τη θέση. Αν και μεγάλη ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί με λειτουργία «ανοικτού βρόχου». Οι περιοριστικοί διακόπτες (limit switches) ή οι «home detectors» τυπικά απαιτούνται για την ασφάλεια και για τη δημιουργία μιας θέσης αναφοράς.

2.1.2.3.Σερβοκινητήρες

Δομή σερβοκινητήρα

Η δομή του σερβοκινητήρα είναι ίδια με αυτή ενός βηματικού κινητήρα, όταν έχουμε επαγωγικό κινητήρα (brushless), με την διαφορά ότι ο σερβοκινητήρας είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου (με ανάδραση), πράγμα που σημαίνει πως ο κινητήρας πρέπει να έχει μια

βαθμίδα ανάδρασης. Ενώ ο βηματικός είναι ένα σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόγχου. Να αναφερθεί ότι υπάρχουν διάφορα είδη σερβοκινητήρων (επαγωγικός κινητήρας, κινητήρας σειράς, κινητήρας διαχωρισμού σειράς, συνεχούς ρεύματος κ.α), αλλά εμάς μας ενδιαφέρει κυρίως ο επαγωγικός (brushless).



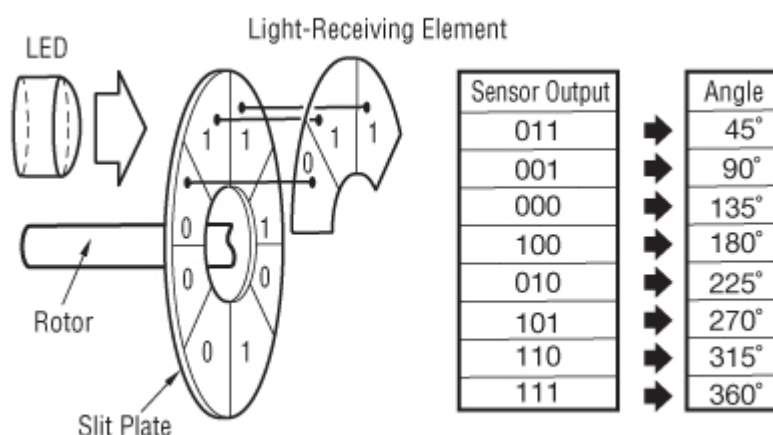
Σχήμα 2.5: Δομή Σερβοκινητήρα [11]

Ο σερβοκινητήρας αποτελείται από δύο περιελίξεις: στάτη και δρομέα. Η περιέλιξη του στάτη τυλίγεται στο ακίνητο τμήμα του κινητήρα και αυτή η περιέλιξη είναι επίσης γνωστή ως περιέλιξη πεδίου κινητήρα. Η περιέλιξη του δρομέα τυλίγεται στο περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα, γνωστό και ως περιέλιξη οπλισμού κινητήρα. Ο κινητήρας έχει δύο ρουλεμάν στην μπροστινή και την πίσω πλευρά για να επιτρέψει στον άξονα να κινείται ελεύθερα. Ο κωδικοποιητής περιλαμβάνει έναν αισθητήρα για τον προσδιορισμό της ταχύτητας περιστροφής και των στροφών του κινητήρα ανά λεπτό. Αυτή είναι η κυριότερη διαφορά στην δομή του σερβοκινητήρα σε σχέση με τον βηματικό κινητήρα, γιατί ο βηματικός κινητήρας δεν έχει κωδικοποιητή για να μετράει, αφού δεν έχει σύστημα ανάδρασης.

Λειτουργία σερβοκινητήρα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σερβοκινητήρας έχει πολλά κοινά στη δομή του με τον βηματικό κινητήρα, πράγμα που ισχύει και με την λειτουργία του. Μέσω μιας πλακέτας οδήγησης στέλνεται συνδυασμός ηλεκτρικών παλμών, όπως και στους βηματικούς κινητήρες που καθορίζουν την φορά αλλά και την διαδρομή που θα πραγματοποιήσει ο δρομέας. Σε αντίθεση με τον βηματικό κινητήρα που είναι ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου και δεν έχει βαθμίδα ανάδρασης, στους σερβοκινητήρες έχουμε βαθμίδα ανάδρασης. Από το αισθητήριο το οποίο παρακολουθεί συνεχώς την θέση και την φορά περιστροφής του δρομέα αποστέλλεται σήμα που περιέχει την πληροφορία της θέσης και της φοράς στην μονάδα οδήγησης του σερβοκινητήρα. Έπειτα από την μονάδα οδήγησης αυτή η πληροφορία μεταφέρεται στην κεντρική μονάδα ελέγχου και μέσω κάποιου προγράμματος ελέγχου είμαστε σε θέση να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή την θέση του δρομέα. Όσο αφορά την

λειτουργία του σερβοκινητήρα, μπορούμε να πούμε ότι είναι παρόμοια με την λειτουργία του βηματικού, αφού βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του μαγνητισμού, δηλαδή ότι οι ετερόνυμοι μαγνήτες έλκονται και οι ομώνυμοι απωθούνται.



Σχήμα 2.6: Λειτουργία Κωδικοποιητή θέσης [12]

2.1.3. Ελεγκτές Εργαλειομηχανής

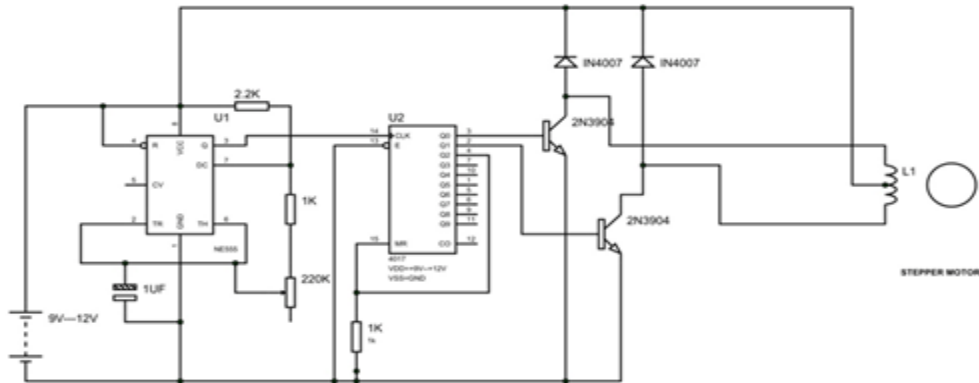
Ελεγκτές Γενικά

Για να μπορέσει η εργαλειομηχανή να επεξεργάζεται σωστά όλες τις πληροφορίες που λαμβάνει και να μας δώσει το αποτέλεσμα που θέλουμε, πρέπει με κάποιο τρόπο να επικοινωνούν όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία μεταξύ τους και να κατευθύνουν σωστά και τα μηχανικά μέρη της εργαλειομηχανής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων ελεγκτών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τις κινήσεις της μηχανής. Δηλαδή οι ελεγκτές είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της εργαλειομηχανής και χωρίς την χρήση αυτών θα υπήρχαν συνεχώς βλάβες στην εργαλειομηχανή και λάθη πάνω στα υλικά που δέχονται επεξεργασία, με αποτέλεσμα οι ζημιές αυτές να κοστίζουν σε χρόνο και σε χρήμα. Σε ένα σύστημα όπως αυτό που εξετάζουμε έχουμε τρεις ελεγκτές για να οδηγούν σωστά τα βηματικά μοτέρ, δηλαδή τους οδηγούς των βηματικών κινητήρων και την κύρια πλακέτα οι οποία δίνει τις πληροφορίες στα ηλεκτρονικά στοιχεία της εργαλειομηχανής, ώστε να εκτελεστούν σωστά.

Ελεγκτές Κινητήρων

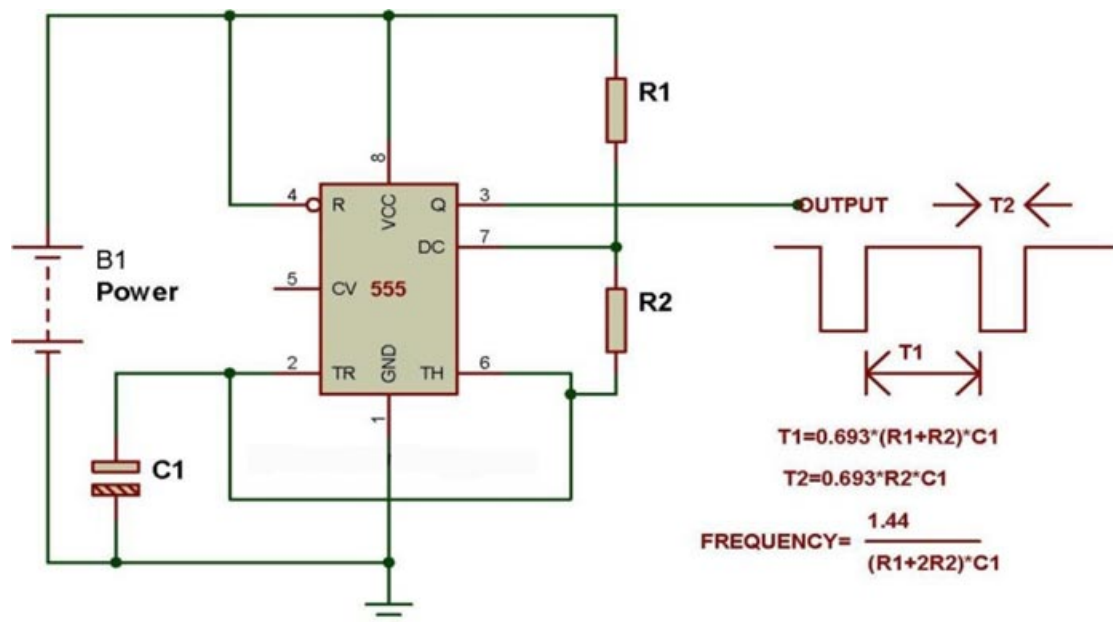
Η οδήγηση των βηματικών κινητήρων βασίζεται στην διακοπτική λειτουργία των τυλιγμάτων του. Δηλαδή στο βηματικό κινητήρα τα τυλίγματα τροφοδοτούνται από έναν ελεγκτή που εναλλάσσει διαδοχικά τους παλμούς που στέλνει σε σχέση με τους παλμούς εισόδου. Κάθε παλμός που στέλνεται στον ελεγκτή, προκαλεί αλλαγές στα ρεύματα των τυλιγμάτων του κινητήρα. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά στοιχεία που περιέχουν διακόπτες ημιαγωγών όπως BJT, MOSFET, IGBT. Την οδήγηση αυτών μπορούμε να την κάνουμε είτε με την χρήση χρονικών ψηφιακών κυκλωμάτων είτε με την χρήση λογισμικού που συνεργάζεται με κάποιον μικροελεγκτή ώστε να παράγει τους κατάλληλους παλμούς για

την οδήγηση των κινητήρων. Παρακάτω θα δούμε μερικά παραδείγματα οδήγησης μονοπολικού και διπολικού κινητήρα. Όπως επίσης και παραδείγματα με τη χρήση λογισμικού σε συνδυασμό με μικροελεγκτή.



Σχήμα 2.7: Μονοπολικό κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα [13]

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε το μονοπολικό κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα δύο σταδίων. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει ένας ασταθής πολυδονητής για την παραγωγή τετραγωνικών παλμών. Οι παλμοί που παράγονται από την έξοδο Q του πολυδονητή στέλνονται στο clock του μετρητή/διαχωριστή. Μετά αρχίζουν να ενεργοποιούνται οι έξοδοι του. Στο κύκλωμα παρατηρούμε ότι το ποδαράκι Q2 του μετρητή είναι συνδεδεμένο με το ποδαράκι 15 που είναι το Reset με αυτό τον τρόπο δίνει εντολή να ξεκινήσει η διαδικασία από την αρχή. Επίσης παρατηρούμε ότι οι δύο έξοδοι του μετρητή είναι συνδεδεμένοι με την βάση των τρανζίστορ που είναι υπεύθυνα για την λειτουργία των τυλιγμάτων των πηνίων. Τέλος οι δίοδοι είναι συνδεδεμένοι ανάστροφα με τα τυλίγματα του πηνίου για να αποφύγουμε καταστροφές που μπορούν να προκληθούν από τα ανάστροφα ρεύματα που δημιουργούνται από τις αυτεπαγωγές των πηνίων.



Σχήμα 2.8: Απεικόνιση κυκλώματος ασταθή πολυδονητή [13]

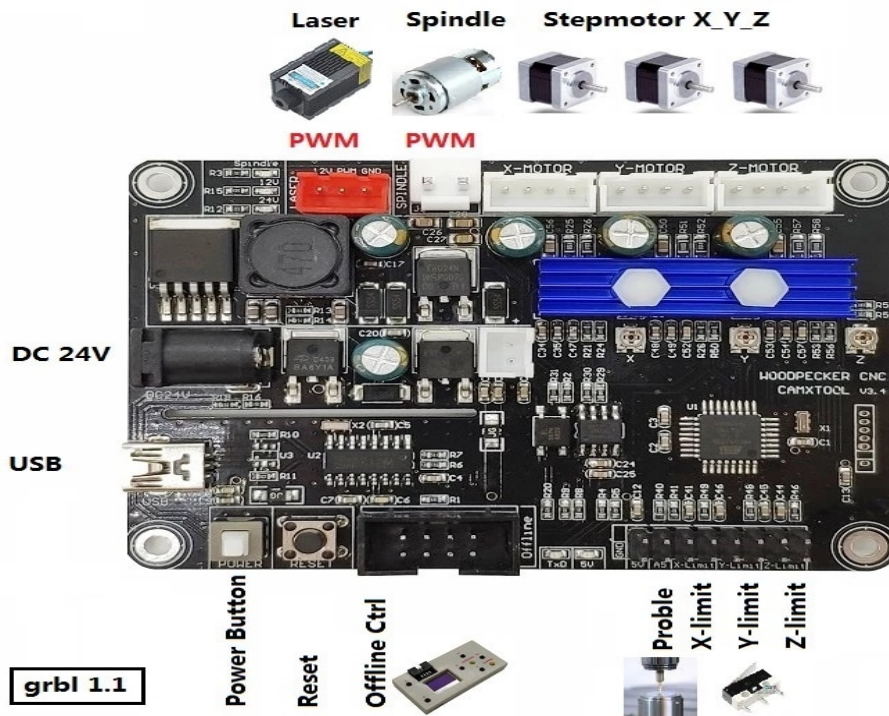
Όπως καταλαβαίνουμε από τις εξισώσεις όσο μικραίνουμε την περίοδο, τόσο αυξάνουμε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, δηλαδή δημιουργούνται περισσότερα βήματα, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερο αριθμό παλμών.

Βασικός ελεγκτής λειτουργίας Εργαλειομηχανής

Όπως αναφέραμε παραπάνω η εργαλειομηχανή αποτελείται από πολλά κομμάτια τα οποία πρέπει να συνδυαστούν σωστά για να μας δώσουν το αποτέλεσμα που θέλουμε. Δηλαδή χρειαζόμαστε έναν βασικό ελεγκτή όπως μια ηλεκτρονική πλακέτα κατάλληλα σχεδιασμένη, ώστε να μπορεί να ελέγχει όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία της εργαλειομηχανής, όπως βηματικούς κινητήρες, διακόπτες. Ο ελεγκτής θα πρέπει να δίνει εντολές στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και να λαμβάνει σωστά εντολές από αυτόν. Αυτό ο ελεγκτής μπορεί είτε να κατασκευαστεί από κάποιον που γνωρίζει πολύ καλά από ηλεκτρονικά, είτε να αγοραστεί έτοιμος, διότι υπάρχουν έτοιμες λύσεις στο εμπόριο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό τον σκοπό. Μερικές από αυτές θα τις αναφέρουμε παρακάτω.

GRBL Controller

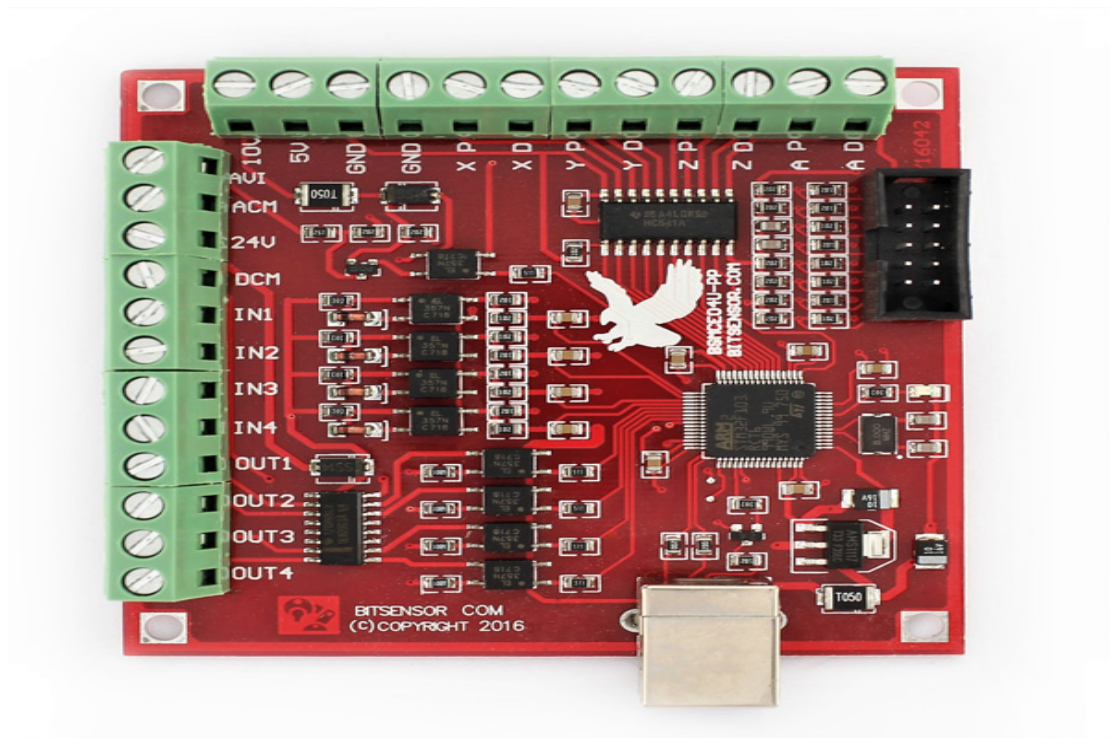
Μια καλή και οικονομική λύση είναι ο Grbl controller τον οποίο τον χρησιμοποιούμε στην παραπάνω εργασία. Είναι στην ουσία μια οικονομική και έτοιμη λύση με την οποία μπορούμε να ελέγξουμε πλήρως το CNC. Η πλακέτα GRBL διαθέτει τρεις οδηγούς βηματικού κινητήρα A4988 η οποίοι μπορούν να μεταδώσουν ρεύμα 2A για 12V. Διαθέτει υποδοχή για USB και έχει υποδοχές για τους τρεις άξονες X,Y,Z και για την άτρακτο, επίσης έχει υποδοχή για laser και διαθέτει υποδοχές για τα limit switches και για το Z probe. Τέλος αυτός ο ελεγκτής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επαγγελματικές εφαρμογές, χρησιμοποιείται μόνο από χομπίστες, η οποίοι δεν έχουν μεγάλη εμπειρία πάνω στις εργαλειομηχανές.



Σχήμα 2.9: Grbl Controller [14]

MACH3

Μια ακόμα πολύ καλή λύση είναι ο ελεγκτής mach3, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για επαγγελματικές εφαρμογές, βέβαια είναι πιο ακριβώς από τον GRBL όμως μας δίνει περισσότερες δυνατότητες πάνω στον έλεγχο της εργαλειομηχανής και μπορεί να ελέγξει μέχρι και 6 άξονες. Επίσης ο mach3 έχει πλέον αντικατασταθεί σε αρκετές εφαρμογές από τον mach4. Πλέον ο mach3/mach4 έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε επαγγελματικά CNC, αφού έχει την δυνατότητα να χειρίζεται μεγάλα μηχανήματα και να ελέγχει μεγάλους σερβοκινητήρες. Δηλαδή συμπεραίνουμε ότι είναι ένας ελεγκτής που χρησιμοποιείται περισσότερο για επαγγελματική χρήση. Τέλος αυτό τον ελεγκτή είχα σκοπό να χρησιμοποιήσω στην εργασία, όμως ξεπερνούσε το προβλεπόμενο κόστος, με αποτέλεσμα να οδηγηθώ στην οικονομικότερη λύση του GRBL Controller.



Σχήμα 2.10: Mach3 Controller [15]

2.2. Μηχανολογικά Μέρη

Στα μηχανολογικά μέρη ανήκουν όλα τα βασικά στοιχεία της εργαλειομηχανής τα οποία δεν διαρρέονται από ρεύμα. Δηλαδή σε αυτά ανήκουν το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ο εργαλειοφορέας, το υλικό κατασκευής, η τράπεζα εργασίας κ.α.

2.2.1 Υλικό Κατασκευής

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της εργαλειομηχανής είναι μια από τις πιο σημαντικές αποφάσεις που πρέπει να πάρει ο κατασκευαστής, πρέπει να λάβει υπόψη του τη στιβαρότητα που χρειάζεται να έχει το CNC, την ακαμψία, την αντοχή και την ακρίβεια που θα έχει το μηχάνημα. Άμα δεν χρησιμοποιήσει καλά υλικά, η εργαλειομηχανή θα χαλάσει σε βάθος χρόνου, οπότε ο κατασκευαστής πρέπει να λάβει υπόψη του όλες τις παραμέτρους πριν ξεκινήσει την κατασκευή. Υπάρχουν πολλά υλικά που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή ενός CNC. Παρακάτω θα αναφέρω μερικά από αυτά.

Βακελίτης

Ο βακελίτης είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται αρκετά σε κατασκευές μικρών εργαλειομηχανών, λόγω της αρκετά καλής σταθερότητας που προσφέρει, είναι προσιτή η τιμή του, έχει μηχανικές αντοχές, αντέχει σε καταπονήσεις και είναι σχετικά ελαφρύ. Είναι δηλαδή ένα υλικό το οποίο αξίζει να το χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή συγκεκριμένων κομματιών της εργαλειομηχανής, όπως το χρησιμοποιούμε και στην συγκεκριμένη κατασκευή για να έχουμε καλή σταθερότητα στους άξονες.

Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι από τα πιο συχνά υλικά τα οποία επεξεργάζονται τα CNC μηχανήματα μιας και είναι το μέταλλο που προτιμάνε οι περισσότερες βιομηχανίες για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων. Κατά τη CNC επεξεργασία του αλουμινίου ο κεντρικός υπολογιστής “τρέχει” ένα πρόγραμμα το οποίο δίνει ακριβείς εντολές στο μηχάνημα CNC για την κοπή

και την παρασκευή εξαρτημάτων από αλουμίνιο. Το αλουμίνιο είναι μια από τις καλύτερες επιλογές για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής μικρών διαστάσεων, μερικά από τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι ελαφρύ υλικό, έχει σχετικά καλή ακρίβεια και αντέχει σε μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται αρκετά για την κατασκευή συγκεκριμένων υλικών της εργαλειομηχανής, όπως το χρησιμοποιούμε και στην συγκεκριμένη εργαλειομηχανή για τράπεζα εργασίας.

Σίδηρο (Χάλυβας)

Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται αρκετά για την κατασκευή μιας εργαλειομηχανής είναι το σίδηρο δηλαδή ο χάλυβας. Το σίδηρο έχει σχετικά καλή τιμή, έχει πολύ καλή αντοχή και είναι πολύ στιβαρό. Το χρησιμοποιούμε κυρίως όταν έχουμε μηχανικές καταπονήσεις από μεγάλα φορτία, δηλαδή είναι απαραίτητο για την κατασκευή μεγάλων εργαλειομηχανών, για να αντέχουν το μεγάλο βάρος των σερβοκινητήρων.



Σχήμα 2.11: CNC κατασκευασμένο από αλουμίνιο, βακελίτη και σίδηρο [16]

Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα χρησιμοποιούνται και τα τρία υλικά που αναφέραμε. Δηλαδή αυτός που κατασκεύασε το CNC που αγοράσαμε, έλαβε υπόψη του όλες τις παραμέτρους που αναφέραμε παραπάνω, προκειμένου να πετύχει όσο καλύτερη απόδοση γίνεται.



Σχήμα 2.12: CNC κατασκευασμένο από σίδηρο (χάλυβα) [17]



 **TORGOS**

Σχήμα 2.13: CNC κατασκευασμένο από αλουμίνιο [18]

2.2.2 Κινήσεις Αξόνων

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα θέματα της εργαλειομηχανής είναι η κινήσεις των αξόνων. Οι βηματικοί κινητήρες καθορίζουν την ταχύτητα κίνησης των αξόνων, όμως σημαντικό ρόλο παίζει και το σύστημα που μεταδίδει την κίνηση. Δηλαδή για να πετύχουμε μεγάλες

ταχύτητες και μεγάλη ακρίβεια για τις κινήσεις των αξόνων πρέπει να επιλέξουμε κατάλληλα συστήματα μετάδοσης. Η μετακίνηση των αξόνων της εργαλειομηχανής επιτυγχάνεται με την μετατροπή της περιστροφικής κίνησης των βηματικών κινητήρων σε γραμμική. Παρακάτω θα αναλύσω μερικά από τα συστήματα μετάδοσης κίνησης.

Ιμάντας μετάδοσης

Αυτό το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από έναν ιμάντα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν ηλεκτρικό κινητήρα που δίνει την κίνηση στους άξονες μέσω μιας τροχαλίας. Η χρήση του οδοντωτού ιμάντα είναι μια πολύ καλή επιλογή για την μετάδοση της κίνησης, μερικά από τα χαρακτηριστικά που τον διακρίνουν είναι η ευκολία κατά την τοποθέτηση του, η ευκολία κατά την κατασκευή του, η χαμηλή τιμή του και η υψηλή ταχύτητα που μπορεί να μας δώσει. Τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν έχει υψηλή ακρίβεια και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλα φορτία.

Οδηγός βίδας (screw drive)

Ο οδηγός βίδας είναι ένα άλλο σύστημα μετάδοσης γραμμικής κίνησης, αφού μετατρέπει την περιστροφική κίνηση της βίδας σε γραμμική. Μερικά από τα πλεονεκτήματα του είναι ότι έχει πολύ υψηλή ακρίβεια, πολύ υψηλή απόδοση και μπορεί να αντέξει μεγάλα φορτία, εφόσον επιλέξουμε κατάλληλες βίδες και κινητήρες που αντέχουν. Τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν είναι πολύ γρήγορο. Επίσης υπάρχουν τοποθετημένα ρουλεμάν για την συγκράτηση και την ασφαλή περιστροφή του άξονα. Τέλος αυτό είναι το σύστημα μετάδοσης που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία.

Γρανάζι (pinion)

Το γρανάζι είναι ένας από τους πιο απλούς τρόπους μετάδοσης της κίνησης, αφού αποτελείται από ένα γρανάζι δηλαδή έναν οδοντωτό τροχό ο οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν κινητήρα για να μπορεί να περιστρέφεται πάνω στον άξονα (μια ράγα) ο οποίος είναι οδοντωτός. Η δυσκολία που παρουσιάζει αυτό το σύστημα είναι ότι πρέπει να υπολογιστεί σωστά η περιστροφή που θα κάνει το γρανάζι πάνω στην ράγα για να πάρουμε τη μέγιστη ακρίβεια. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης που αποτελείται από μια ράγα και ένα γρανάζι το οποίο περιστρέφεται πάνω στην ράγα με μεγάλη ακρίβεια.

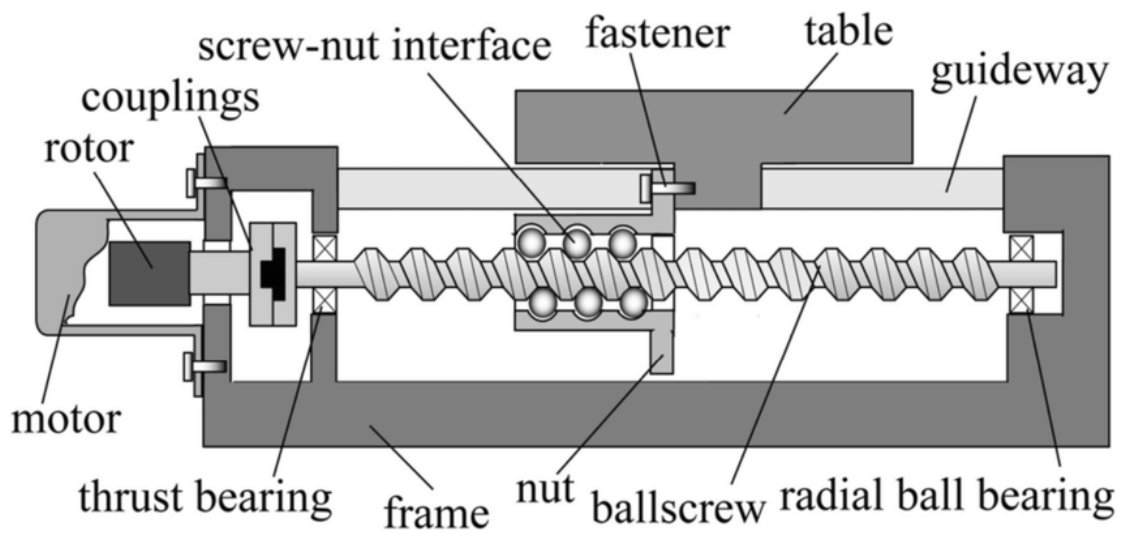
Σε αυτήν την εικόνα βλέπουμε ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης με ράγα και γρανάζι (Rack and pinion), δηλαδή αυτό το σύστημα αποτελείται από έναν οδοντωτό τροχό, ο οποίος περιστρέφεται πάνω σε έναν οδοντωτό άξονα.



Σχήμα 2.14: Μετάδοση κίνησης με γρανάζι [19]



Σχήμα 2.15: Μετάδοση κίνησης με ιμάντα [20]



Σχήμα 2.16: Μετάδοση κίνησης με screw drive [21]

2.2.3. Συστήματα ομαλής οδήγησης

Το σύστημα ομαλής οδήγησης που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία είναι η οδήγηση βίδας σε συνεργασία με γρανάζι και κυλινδρικούς γραμμικούς οδηγούς, η οποία βοηθάει στην ομαλή οδήγηση, γιατί προσφέρουν μεγαλύτερη σταθερότητα στα κινούμενα μέρη της μηχανής. Αυτό το σύστημα οδήγησης είναι πολύ αποδοτικό και χρησιμοποιείται σε αρκετές εργαλειομηχανές.



Σχήμα 2.17: Σύστημα ομαλής οδήγησης με βίδα [22]

2.2.4. Κοπτικά Μέσα

Τα κοπτικά μέσα είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της εργαλειομηχανής κατά την επεξεργασία, διότι η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων δεν καθορίζεται μόνο από την ποιότητα των πρώτων υλών, αλλά καθορίζεται από την ποιότητα και την καταλληλότητα των κοπτικών μέσων που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία. Για την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος που δέχεται επεξεργασία σημαντικό ρόλο παίζουν το υλικό επεξεργασίας και η γεωμετρία του κοπτικού μέσου. Επίσης η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού μέσου είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία τα οποία πρέπει να λάβει υπόψη του ο σχεδιαστής-κατασκευαστής του αντικειμένου. Ωστόσο υπάρχουν πάρα πολλά είδη κοπτικών μέσων και είναι αδύνατον να τα περιγράψουμε όλα. Παρακάτω θα αναλύσουμε μερικά από αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιπλασιομηχανίες.

Ελικοειδή κοπτικά (Spiral cutters)

Αυτά τα κοπτικά παρέχουν λείο φινίρισμα, και είναι σχεδιασμένα να δουλεύουν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες κατεργασίας με μεγάλη διάρκεια ζωής. Το σπειροειδές σχήμα χρησιμεύει για την αφαίρεση των ξυλοτεμαχιδίων και επίσης δεν ανεβάζουν εύκολα θερμοκρασία. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλά διαφορετικά υλικά ως κοπτικά γενικής κατεργασίας. Τέλος αυτά τα κοπτικά χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές φρεζαρίσματος.



Σχήμα 2.18: Ελικοειδή κοπτικό [23]

Ευθύγραμμο κοπτικό (Straight cutters)

Αυτά τα κοπτικά μονής κοπτικής ακμής έχουν γωνία ελίκωσης μηδέν μοίρες, σχεδιάστηκαν για γενική χρήση και γιατί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτά τα κοπτικά είναι ιδανικά για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Με επικάλυψη καρβιδίου στις ακμές κοπής και με τη γεωμετρία γενικής χρήσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε σκοπό. Το κοπτικό αυτό διπλής ακμής σχεδιάστηκε για γενική κατεργασία, όπου απαιτείται μεγάλη διάρκεια ζωής. Μπορούν να κατεργαστούν φυσικό ξύλο, σύνθετα προϊόντα ξύλου, fiberglass κ.α. Με καρβίδιο στις ακμές κοπής παρέχουν τέλειο και λείο φινίρισμα.



Σχήμα 2.19: Ευθύγραμμο κοπτικό [24]

Κοπτικά ειδικών εφαρμογών (t-slot)

Τα κοπτικά ειδικών εφαρμογών είναι κατάλληλα ώστε να απλοποιούν την κατεργασία του υλικού. Δηλαδή με την επιλογή του κατάλληλου κοπτικού μειώνεται ο χρόνος κοπής σε σχέση με τον χρόνο που θα έκανε ένα άλλο κοπτικό.



Σχήμα 2.20: Κοπτικό Ειδικών Εφαρμογών [25]

Κοπτικά με ραβδώσεις (Flute tools)

Τα κοπτικά αυτά είναι εργαλεία με ευθείες ραβδώσεις. Όμως τέτοιου είδους κοπτικά είναι κατάλληλα για μαλακά υλικά, όπως φυσικά μαλακά ξύλα.



Σχήμα 2.21: Κοπτικό με ραβδώσεις [26]

Κοπτικά με σφαιρική μύτη (Ball nose cutters)

Αυτά είναι σφαιροειδές κονδύλια που στην άκρη τους έχουν ημισφαιρική επιφάνεια κοπής, επίσης έχουν διπλές ραβδώσεις και σταθερή ακτίνα (σφαίρα) ανά διάμετρο κοπτικού. Χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση τρισδιάστατων εφαρμογών (3D).



Σχήμα 2.22: Κοπτικό με σφαιρική μύτη [27]

Κοπτικά συμπίεσης (Compression cutters)

Αυτού του είδους τα κοπτικά είναι ιδανικά για την κοπή φύλλων διπλής επένδυσης, επίσης είναι ιδανικά για την κοπή σκληρών ξύλων και σύνθετων προϊόντων ξύλου. Η γεωμετρία των ελικοειδών ραβδώσεων του επιτρέπει να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες περιστροφής σε συνδυασμό με το καλύτερο δυνατό φινίρισμα σε όλο το πάχος του υλικού που δέχεται επεξεργασία.



Σχήμα 2.23: Κοπτικό συμπίεσης [28]

Κοπτικά με ξυλοδιασπαστή (Chipbreakers cutters)

Έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής από τα συμβατικά κοπτικά δύο ραβδώσεων και αφήνουν λείες επιφάνειες τομής. Επίσης είναι ιδανικά για χοντροδουλειές εξωτερικά του υλικού κατεργασίας.



Σχήμα 2.24: Κοπτικό με ξυλοδιασπάστη [29]

Κοπτικά χάραξης (Engraving cutters)

Τα κοπτικά αυτά πωλούνται σε διαφορετικά μεγέθη και πλάτη ανάλογα με την ακμή χάραξης. Είναι κατασκευασμένα από χάλυβα, ανοξείδωτο χάλυβα, και σκληρό μέταλλο. Με την επιλογή ενός τέτοιου κοπτικού για την χάραξη γραμματοσειρών το ιδανικό πλάτος κοπής πρέπει να είναι 12% του ύψους του γράμματος. Επίσης αυτό το κοπτικό είναι τύπου V-bit και το κάθε ένα έχει διαφορετικές μοίρες, ανάλογα τι θέλουμε να κάνουμε.

Π.χ. $1/4 * \text{γράμμα} = 0.25 * 0.12 = 0.030$



Σχήμα 2.26: Κοπτικό χάραξης V-bit 20 μοιρών [30]

Κοπτικά τύπου V (tapered Cutters)

Τα κοπτικά σχήματος V γνωστά και ως κωνικά κοπτικά, χρησιμοποιούνται κυρίως για να κόψουν τρισδιάστατα 3D αντικείμενα με καλό αποτέλεσμα, αφού έχουν την δυνατότητα να κάνουν γωνιακές σχισμές. Έχουν αιχμές κοπής από εναλλασσόμενα μαχαίρια επενδυμένα με καρβίδιο και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη.



Σχήμα 2.27: Κοπτικό τύπου V [31]

Δίσκος κοπής (Saw Blade)

Ο δίσκος είναι άλλο σημαντικό κοπτικό, χρησιμοποιούνται κυρίως οι δίσκοι που είναι επενδυμένοι με καρβίδιο. Οι κατεργασίες που εκτελεί είναι συνήθως κοπές πάνω σε σύνθετα συγκολλημένα ξύλα. Σε εργαλειομηχανές με περισσότερους από τέσσερις άξονες, υπάρχει δυνατότητα κοπής διαγώνιων και λοξών τομών.



Σχήμα 2.28: Δίσκος κοπής [32]

Όλα τα κοπτικά που αναφέραμε παραπάνω ανήκουν στην κατηγορία End mill εκτός από τον δίσκο κοπής και χρησιμοποιούνται κυρίως στο επιτραπέζιο φρεζάρισμα.

Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε μερικά από τα σημαντικότερα είδη κοπτικών μέσων End mill που χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές. Ενώ στην κάτω εικόνα παρατηρούμε τη δομή ενός ελικοειδούς κοπτικού και τα πέντε βασικά τμήματα που το χωρίζουμε. Τα τμήματα αυτά είναι ο άξονας διαμέτρου, η διάμετρος κοπής, το συνολικό μήκος του κοπτικού, το μήκος κοπής των αυλακώσεων και η γωνία ελίκωσης. Δηλαδή αυτά τα πέντε τμήματα είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού μας. Τέλος αυτό το κονδύλι είναι κατασκευασμένο από στερεό καρβίδιο. Αυτά είναι τα βασικά κριτήρια που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας για την επιλογή κατάλληλου κοπτικού.

Κεφάλαιο 3

Software του CNC

Στο λογισμικό της εργαλειομηχανής περιλαμβάνονται τα προγράμματα που χρησιμοποιεί ο υπολογιστής, όπως το σχεδιαστικό, το πρόγραμμα μετάφρασης αρχείου σχεδίου σε γλώσσα G-code και το πρόγραμμα ελέγχου. Σχεδόν όλες οι εργαλειομηχανές έχουν ενσωματωμένο υπολογιστή, προκειμένου να εκτελούν όλες τις λειτουργίες που αναφέραμε. Παρακάτω θα αναλύσουμε τα τρία προγράμματα που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για να υλοποιήσουμε το σχέδιο που θέλουμε, τα οποία είναι το CAD, το CAM και το Control software.

3.1 CAD Software

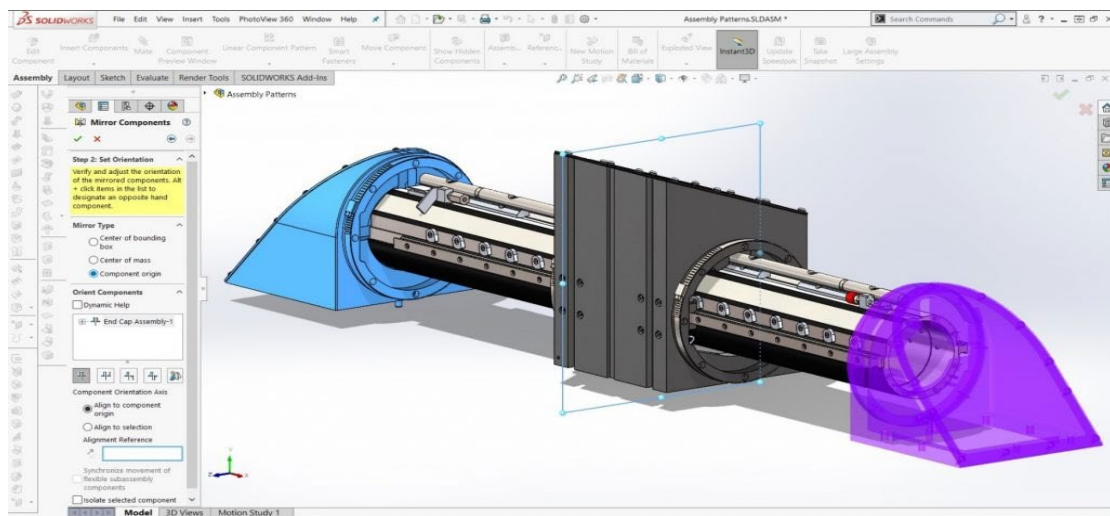
Η σχεδίαση με την βοήθεια υπολογιστή CAD (Computer Aided Design) είναι η διαδικασία ψηφιακής δημιουργίας προσομοιώσεων σχεδίασης πραγματικών αγαθών και προϊόντων σε 2D ή 3D με πλήρη κλίμακα, ακρίβεια και ιδιότητες φυσικής για τη βελτιστοποίηση και την τελειοποίηση του σχεδίου. Η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή αποτελεί μια από τις πιο σύγχρονες μεθόδους σχεδίασης, επίσης έχει αντικαταστήσει τις συμβατικές μεθόδους σχεδίασης, όπως μολύβια, χάρακες και διαβήτες. Πλέον όλα αυτά τα σχέδια γίνονται στο λογισμικό του υπολογιστή με μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία. Οι τεχνολογίες CAD χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την βελτιστοποίηση προϊόντων τα οποία πωλούνται άμεσα στους τελικούς χρήστες ή αποτελούν τμήμα άλλων προϊόντων. Τέλος οι τεχνολογίες CAD έχουν πάρα πολλά οφέλη στην βιομηχανία, μερικά από αυτά είναι ότι η σχεδίαση ενός προϊόντος γίνεται πολύ γρήγορα στο λογισμικό του υπολογιστή, μπορεί να γίνει πολύ εύκολα τροποποίηση κάποιου σχεδίου που είναι παρόμοιο με κάποιο άλλο, αντί να σχεδιαστεί από την αρχή, όπως θα κάναμε με τις συμβατικές μεθόδους. Επίσης η σχεδίαση ενός πολύ περίπλοκου σχεδίου μπορεί να γίνει πολύ πιο εύκολα με το λογισμικό CAD του υπολογιστή. Μερικά από τα καλύτερα προγράμματα CAD είναι το Autocad, το solidworks και το Aspire.

Το Aspire είναι το πρόγραμμα που χρησιμοποιώ σε αυτή την εργασία για την σχεδίαση δισδιάστατων και τρισδιάστατων πρωτοτύπων, είναι ένα πολύ καλό πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως από ερασιτέχνες χειριστές, αλλά και από επαγγελματίες. Είναι εύκολο στην εκμάθηση του, στην χρήση του και στην αξιοπιστία του. Επίσης είναι ένα πρόγραμμα το οποίο υπερέχει σε σχέση με κάποια άλλα προγράμματα, γιατί μπορεί να εκτελέσει και CAD και CAM λειτουργίες, δηλαδή μπορεί να μεταφράσει το αρχείο που έχουμε σχεδιάσει σε μορφή εικόνας σε γλώσσα G-code. Τέλος αυτό το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε το κοπτικό που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, να ορίσουμε τις κατάλληλες παραμέτρους που θέλουμε να έχει το κοπτικό, να δούμε την προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό και μας δίνει την δυνατότητα να δούμε το χρόνο που χρειάζεται για να γίνει ο σχεδιασμός και σύμφωνα με αυτό μπορούμε να το βελτιώσουμε.

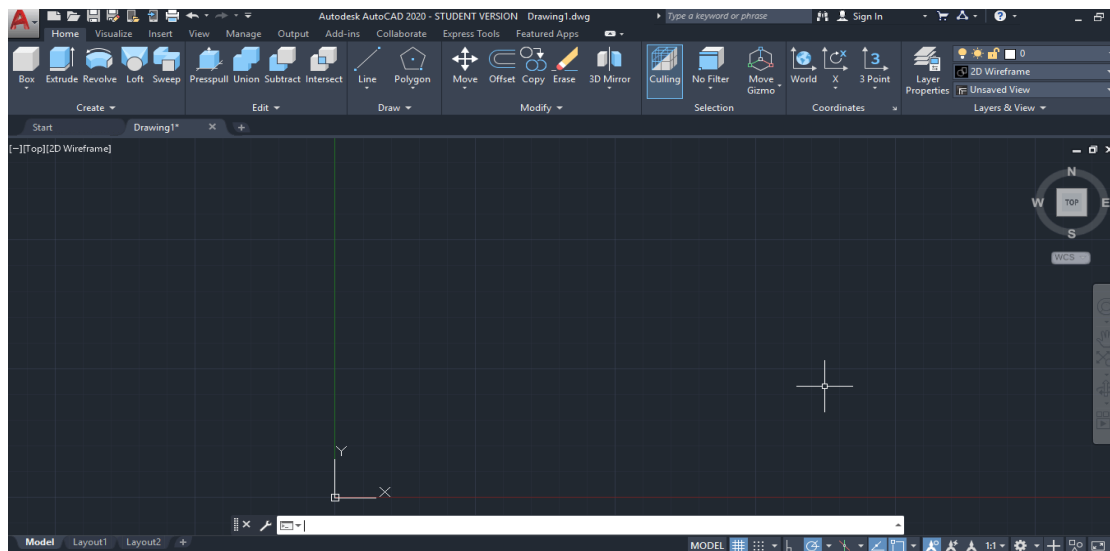
Το Autocad είναι ένα από τα πρώτα λογισμικά CAD που κυκλοφόρησε στην αγορά από την Autodesk, το οποίο έχει ισχυρή φήμη σε πολλούς κλάδους. Αυτό το πρόγραμμα CAD χρησιμοποιείται για δύο διαστάσεων (2D) σχέδια και τριών διαστάσεων (3D) μοντέλα. Μπορεί να παράγει σχέδια, διατάξεις εξοπλισμού, επίπεδα τομών, τεκμηρίωση μοντέλων και πολλά άλλα. Τέλος αυτό το πρόγραμμα είναι από τα πιο περιζήτητα που χρειάζεται να γνωρίζει κάποιος σχεδιαστής και είναι η βάση που χρειάζεται να έχει για να μάθει και άλλα σχεδιαστικά προγράμματα.

Το Solidworks χρησιμοποιείται συχνά από επαγγελματίες σχεδιαστές 3D αντικειμένων. Είναι ένα μοντέλο παραμέτρων βασισμένο σε χαρακτηριστικά. Οι εργοδότες συνήθως αναζητούν υποψηφίους με γνώσεις SolidWorks επειδή είναι ένα πολύ γνωστό λογισμικό μηχανικής σχεδίασης που ασχολούνται πολλοί χρήστες, κυρίως μηχανικοί. Αυτό το λογισμικό CAD τρισδιάστατης μοντελοποίησης χρησιμοποιείται ευρέως στους τομείς της μηχανολογίας και του σχεδιασμού. Επίσης το solidworks μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε και CAM λειτουργίες μέσω του SolidCAM.

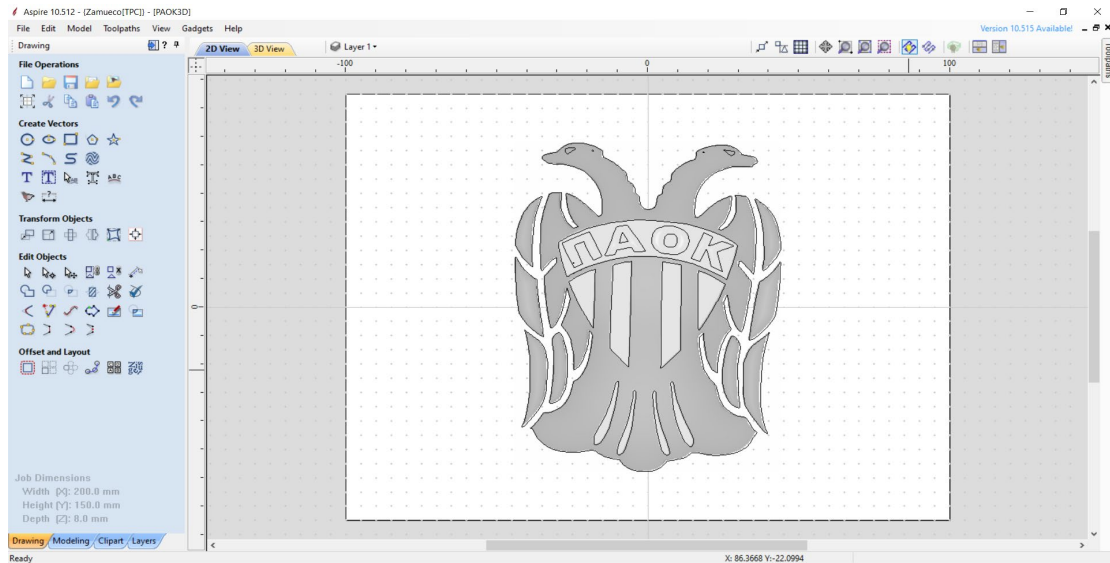
Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το γραφικό περιβάλλον των CAD προγραμμάτων που αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 3.1: Γραφικό περιβάλλον Solidworks [33]



Σχήμα 3.2: Γραφικό περιβάλλον Autocad [34]



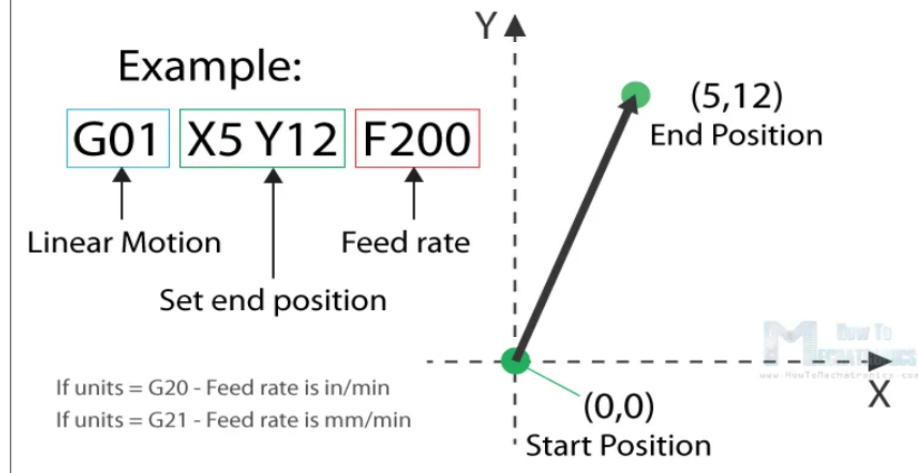
Σχήμα 3.3: Γραφικό περιβάλλον του Aspire

Στην εικόνα 3.3 βλέπουμε ένα σχέδιο στο πρόγραμμα CAD του Aspire.

3.2 CAM Software

Αφού ο σχεδιαστής ολοκληρώσει την σχεδίαση του αντικειμένου που θέλει με την βοήθεια υπολογιστή, πρέπει μετά να ασχοληθεί με την κατασκευή του. Για να περάσουμε στην κατασκευή του αντικειμένου πρέπει με κάποιο τρόπο να στείλουμε την εικόνα που σχεδιάσαμε στον πρόγραμμα ελέγχου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρησιμοποίηση κάποιου προγράμματος CAM (Computer Aided Manufacturing), δηλαδή κατασκευή με την βοήθεια υπολογιστή. Σε αυτό το πρόγραμμα δίνουμε το σχέδιο που κάναμε και αυτό υπολογίζει σύμφωνα με τις παραμέτρους που το έχουμε δώσει την προσομοίωση της κίνησης που θα ακολουθήσει το κοπτικό για να εκτελέσει την διεργασία. Δηλαδή το κοπτικό εργαλείο ακολουθεί κάποιες συγκεκριμένες εντολές για να γίνει η σχεδίαση, αυτές οι εντολές πρέπει να μπορούν να διαβαστούν από το μηχάνημα για να τις εκτελέσει, όμως το μηχάνημα μπορεί να καταλάβει μόνο την γλώσσα μηχανής, άρα αυτές οι εντολές πρέπει να είναι γραμμένες σε γλώσσα μηχανής G-code. Αυτή η γλώσσα χρησιμοποιείται κυρίως σε μηχανές οι οποίες ελέγχονται από έναν υπολογιστή και ακολουθούν συγκεκριμένες εντολές. Αυτές οι εντολές λένε στο κοπτικό με τι ταχύτητα θα κινηθεί, σε τι βάθος και σε ποια κατεύθυνση. Η γλώσσα μηχανής G-code έχει κάποιες δυσκολίες όπως όλες οι γλώσσες προγραμματισμού, όμως η γνώση αυτής της γλώσσας είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για έναν μηχανικό ο οποίος θα μπορεί να κατανοεί τις κινήσεις του κοπτικού και να τις αλλάζει βελτιστοποιώντας την κατασκευή του. Παρακάτω θα δούμε κάποιες βασικές εντολές της γλώσσας G-code.

G01 - Linear Interpolation



Σχήμα 3.4: Ανάλυση Συντεταγμένων [35]

G Code	Function
G00	Positioning at rapid travel;
G01	Linear interpolation using a feed rate;
G02	Circular interpolation clockwise;
G03	Circular interpolation, counterclockwise;
G04	Dwell
G17	Select X-Y plane;
G18	Select Z-X plane;
G19	Select Z-Y plane;
G20	Imperial units;
G21	Metric units;
G27	Reference return check;
G28	Automatic return through reference point;
G29	Move to a location through reference point;
G31	Skip function;
G32	Thread cutting operation on a Lathe;
G33	Thread cutting operation on a Mill;
G40	Cancel cutter compensation;
G41	Cutter compensation left;
G42	Cutter compensation right;
G43	Tool length compensation;
G44	Tool length compensation;
G50	Set coordinate system (Mill);
G50	Maximum RPM (Lathe);
G52	Local coordinate system setting;
G53	Machine coordinate system setting;
G54	Set Datum;
G55	Set Datum;
G56	Set Datum;
G57	Set Datum;

G Code	Function
G58	Set Datum;
G59	Set Datum;
G70	Finish cycle (Lathe);
G71	Rough turning cycle (Lathe);
G72	Rough facing cycle (Lathe);
G73	Chip break drilling cycle;
G74	Left hand tapping (Mill);
G74	Face grooving cycle;
G75	OD groove pecking cycle (Lathe);
G76	Boring cycle (Mill);
G76	Screw cutting cycle (Lathe);
G80	Cancel cycles;
G81	Drill cycle;
G82	Drill cycle with dwell;
G83	Peck drilling cycle;
G84	Tapping cycle;
G85	Bore in, bore out;
G86	Bore in, rapid out;
G87	Back boring cycle;
G90	Absolute programming;
G91	Incremental programming;
G92	Reposition origin point (Mill);
G92	Screw thread cutting cycle (Lathe);
G94	Per minute feed;
G95	Per revolution feed;
G96	Constant surface speed (Lathe);
G97	Constant surface speed cancel;
G98	Feed per minute (Lathe);
G99	Feed per revolution (Lathe);

Σχήμα 3.5: Βασικές εντολές της γλώσσας G-code [36]

Εκτός από την γλώσσα G-code, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των κινήσεων της εργαλειομηχανής, χρησιμοποιούμε και την γλώσσα M-code, η οποία χρησιμοποιείται για διάφορες εντολές, κυρίως για την λειτουργία του προγράμματος.

M-code	Meaning
M0	Program stop
M1	Optional program stop
M2	Program end
M3/4	Rotate spindle clockwise/counterclockwise
M5	Stop spindle rotation
M6	Tool change (by two macros)
M7	Mist coolant on
M8	Flood coolant on
M9	All coolant off
M30	Program end and Rewind
M47	Repeat program from first line
M48	Enable speed and feed override
M49	Disable speed and feed override
M98	Call subroutine
M99	Return from subroutine/repeat

Σχήμα 3.6: Βασικές εντολές της γλώσσας M-code [37]

Απλό παράδειγμα γραμμένο σε γλώσσα G-code:

G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400

Δίνουμε εντολή στην εργαλειομηχανή να κινηθεί πάνω σε μια ευθεία γραμμή, ξεκινώντας από την θέση που βρίσκεται στις συντεταγμένες X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 με ρυθμό τροφοδοσίας 400 mm/min.

Block	Description	Purpose
%	Start of program.	Start Program
O0001 (PROJECT1)	Program number (Program Name).	
(T1 0.25 END MILL)	Tool description for operator.	
N1 G17 G20 G40 G49 G80 G90	Safety block to ensure machine is in safe mode.	Change Tool
N2 T1 M6	Load Tool #1.	
N3 S9200 M3	Spindle Speed 9200 RPM, On CW.	
N4 G54	Use Fixture Offset #1.	Move To Position
N5 M8	Coolant On.	
N6 G00 X-0.025 Y-0.275	Rapid above part.	
N7 G43 Z1. H1	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset #1.	
N8 Z0.1	Rapid to feed plane.	
N9 G01 Z-0.1 F18.	Line move to cutting depth at 18 IPM.	
N10 G41 Y0.1 D1 F36.	CDC Left, Lead in line, Dia. Offset #1, 36 IPM.	Machine Contour
N11 Y2.025	Line move.	
N12 X2.025	Line move.	
N13 Y-0.025	Line move.	
N14 X-0.025	Line move.	
N15 G40 X-0.4	Turn CDC off with lead-out move.	
N16 G00 Z1.	Rapid to safe plane.	
N17 M5	Spindle Off.	Change Tool
N18 M9	Coolant Off.	
(T2 0.25 DRILL)	Tool description for operator.	
N19 T2 M6	Load Tool #2.	Move To Position
N20 S3820 M3	Spindle Speed 3820 RPM, On CW.	
N21 M8	Coolant On.	
N22 X1. Y1.	Rapid above hole.	
N23 G43 Z1. H2	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset 2.	
N24 Z0.25	Rapid to feed plane.	
N25 G98 G81 Z-0.325 R0.1 F12.	Drill hole (canned) cycle, Depth Z-.325, F12.	Drill Hole
N26 G80	Cancel drill cycle.	
N27 Z1.	Rapid to safe plane.	
N28 M5	Spindle Off.	End Program
N29 M9	Coolant Off.	
N30 G91 G28 Z0	Return to machine Home position in Z.	
N31 G91 G28 X0 Y0	Return to machine Home position in XY.	
N32 G90	Reset to absolute positioning mode (for safety).	
N33 M30	Reset program to beginning.	
%	End Program.	

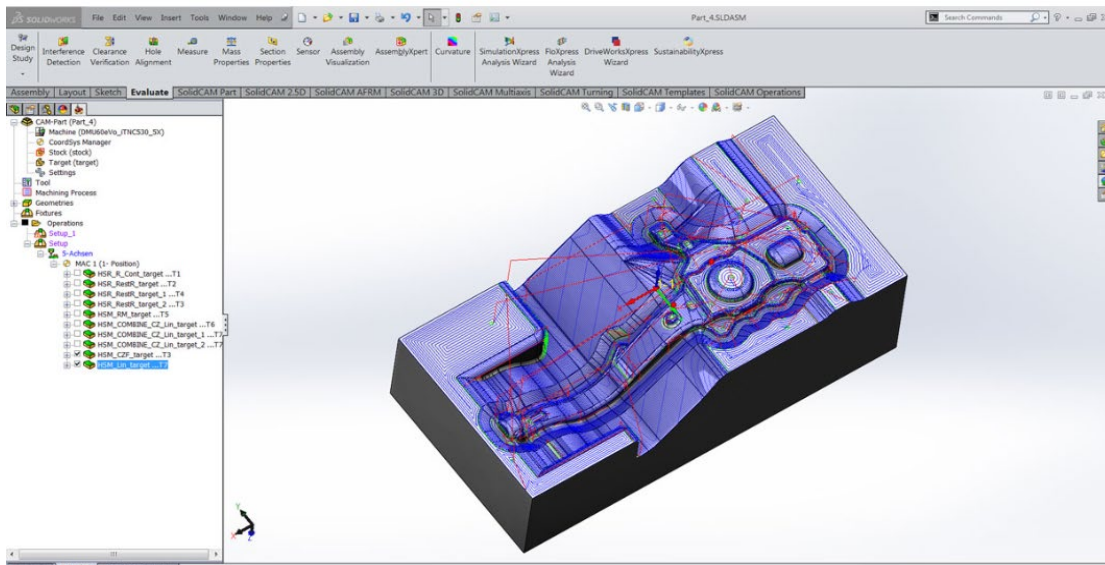
Σχήμα 3.7: Πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα G-Code [38]

Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε ένα παράδειγμα γραμμένο σε γλώσσα G-code και στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα πρόγραμμα γραμμένο σε G-code και αναλύουμε τις εντολές του.

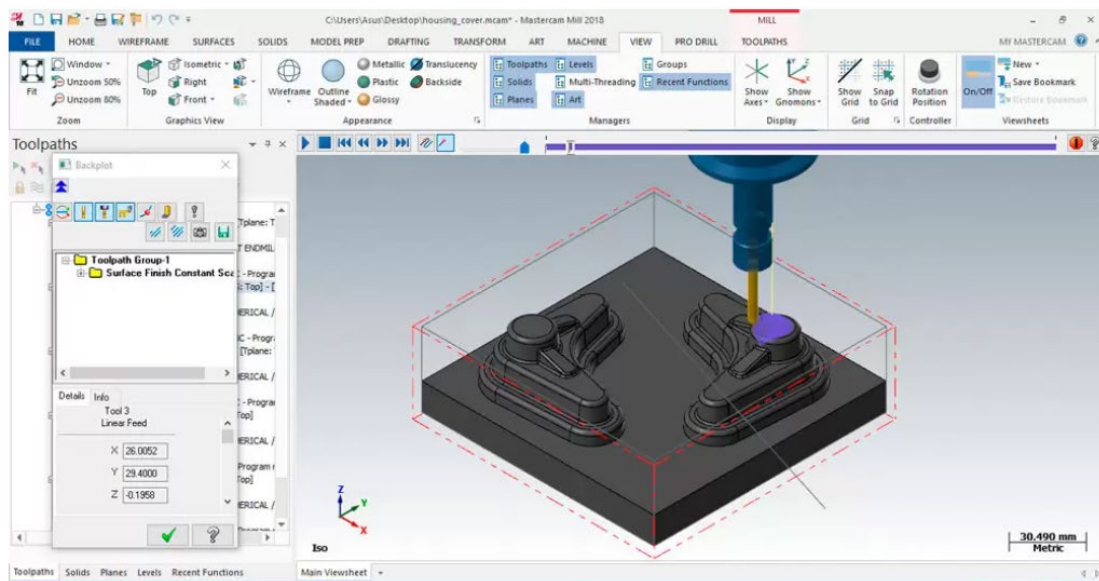
Όπως καταλαβαίνουμε από το παραπάνω παράδειγμα και από τις παραπάνω εικόνες η εκμάθηση της γλώσσας G-code δεν είναι τόσο εύκολη. Ο προγραμματιστής πρέπει να γράψει πολλές γραμμές κώδικα για να μπορέσει η εργαλειομηχανή να εκτελέσει όλες αυτές τις κινήσεις, επίσης αν κάποιο σχέδιο είναι πολύ περίπλοκο θα δαπανήσει πάρα πολλές μέρες για να γράψει το πρόγραμμα, ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι ο προγραμματιστής μπορεί να κάνει κάποιο λάθος στο πρόγραμμα, με αποτέλεσμα να χάσει πολύ χρόνο για να το βρεί και να το ξαναγράψει σωστά. Για να το αποφύγουμε αυτό δημιουργήθηκε το λογισμικό CAM. Με τον όρο CAM (Computer aided manufacturing) αναφερόμαστε στην κατασκευή αντικειμένων με την βοήθεια υπολογιστή. Όταν σχεδιάζουμε ένα αντικείμενο πρέπει μετά να το κατασκευάσουμε, όμως αυτό δεν μπορεί να γίνει κατευθείαν, γιατί ο ελεγκτής της εργαλειομηχανής δεν μπορεί να διαβάσει απευθείας ένα σχέδιο και να το κόψει, πρέπει να το μεταφράσουμε σε γλώσσα G-code. Αυτή την δουλειά μπορεί να την κάνει ένα πρόγραμμα CAM, υπάρχουν προγράμματα που μπορούν να εκτελέσουν CAD και CAM λειτουργίες, όπως το Aspire που χρησιμοποιούμε στην παραπάνω εργασία. Η δουλειά του προγράμματος CAM είναι να μας δείξει την προσομοίωση της βέλτιστης διαδρομής που θα ακολουθήσει το

κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με τις παραμέτρους του υλικού και των διαστάσεων που έχουμε ορίσει, ώστε να μην καταστραφεί το κοπτικό εργαλείο και το υλικό που θα δεχτεί επεξεργασία και όσο γίνεται να μην ζορίσουμε την εργαλειομηχανή. Μόλις τελειώσει η προσομοίωση παίρνουμε ένα αρχείο σε μορφή G-code, έπειτα στέλνουμε αυτό το αρχείο στο πρόγραμμα ελέγχου της εργαλειομηχανής για να κατασκευάσει το σχέδιο που θέλουμε. Με λίγα λόγια μπορούμε να πούμε ότι το CAM είναι ένα λογισμικό που μεταφράζει τις κινήσεις που πρέπει να κάνει το κοπτικό στην αντίστοιχη γλώσσα που μπορεί να αντιληφθεί η εργαλειομηχανή.

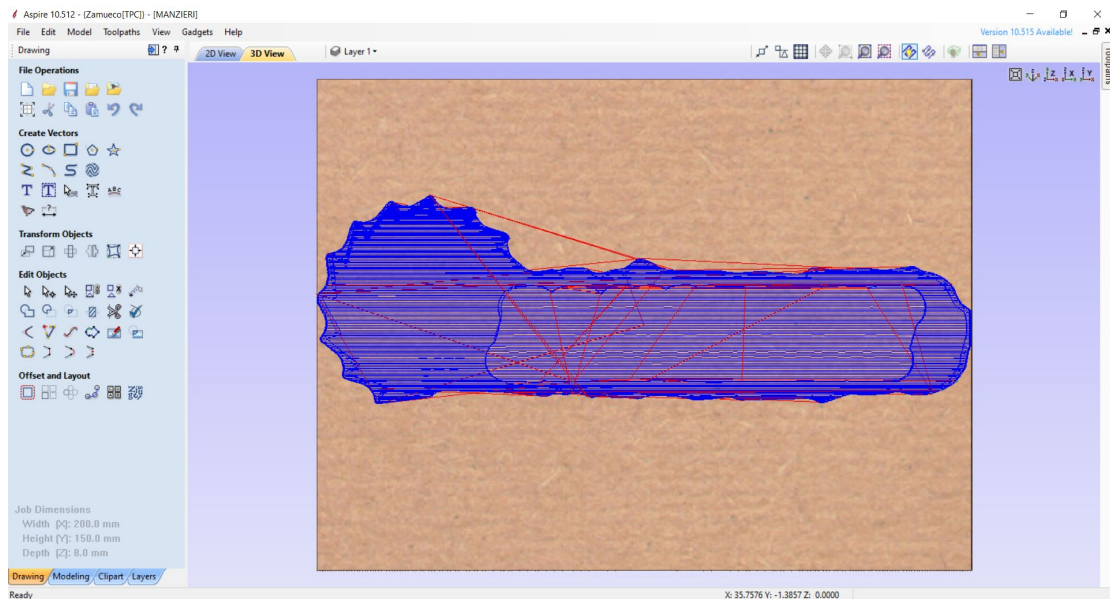
Μερικά πολύ γνωστά προγράμματα CAM είναι το Aspire, το Solidcam και το Mastercam. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το γραφικό περιβάλλον αυτών των προγραμμάτων και την προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσουν τα κοπτικά εργαλεία.



Σχήμα 3.8: Γραφικό περιβάλλον του Solidcam [39]



Σχήμα 3.9: Γραφικό περιβάλλον του Mastercam [40]



Σχήμα 3.10: Γραφικό περιβάλλον του Aspire

Στην εικόνα 3.10 βλέπουμε την προσομοίωση της κίνησης του κοπτικού στο πρόγραμμα CAM του Aspire.

3.3 Control Software

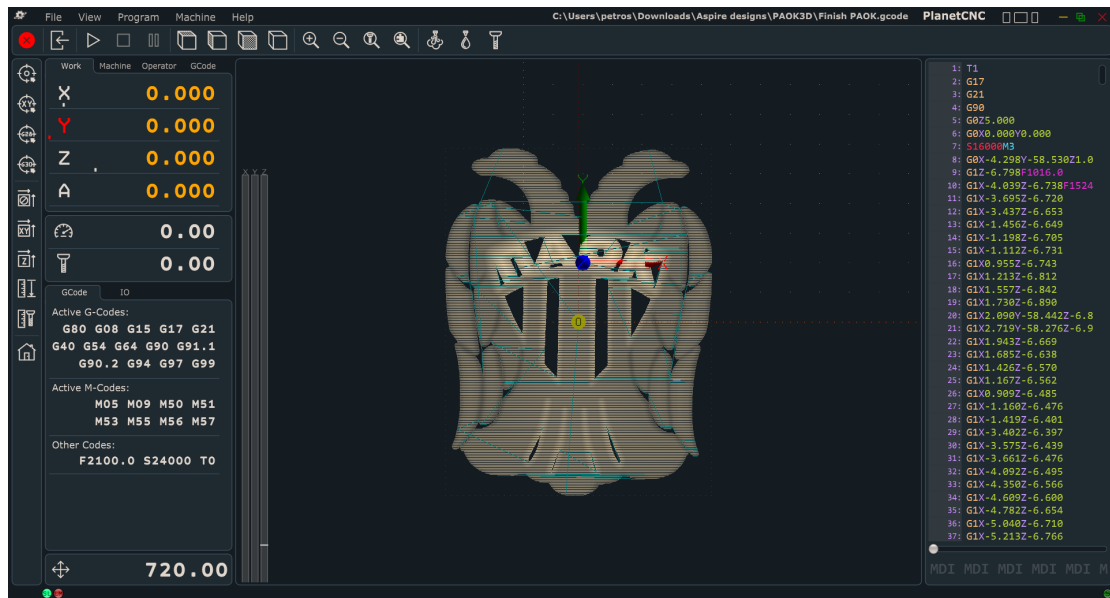
Όταν τελειώσει η επεξεργασία του CAM και βγάλουμε το σχέδιο σε μορφή G-code πρέπει με κάποιον τρόπο να στείλουμε αυτόν τον κώδικα στην εργαλειομηχανή για να μπορέσει να ξεκινήσει η επεξεργασία. Αυτήν την δουλειά την αναλαμβάνει το πρόγραμμα ελέγχου, όπως επίσης ελέγχει και όλες τις κινήσεις της εργαλειομηχανής για να μπορέσουμε να ελέγξουμε όλες τις παραμέτρους, όπως τις στροφές του κοπτικού, την ταχύτητα κίνησης της ατράκτου, τα limit switches, όλους τους άξονες κίνησης και ότι άλλο έχουμε συνδεδεμένο στην κεντρική πλακέτα ελέγχου. Ένα σημαντικό κομμάτι που πρέπει να προσέξουμε είναι το κομμάτι της επιλογής του λογισμικού που θα χρησιμοποιήσουμε, γιατί σύμφωνα με την κεντρική πλακέτα που έχουμε και τους μικροελεγκτές που χρησιμοποιούμε πρέπει να επιλέξουμε το πρόγραμμα ελέγχου που είναι συμβατό με αυτά, οπότε ένα κριτήριο επιλογής λογισμικού ελέγχου είναι η συμβατότητα. Οι περισσότεροι κατασκευαστές εργαλειομηχανών έχουν τα δικά τους λογισμικά ελέγχου τα οποία τα δίνουν με την αγορά του CNC αφού τα έχουν εγκατεστημένα στην κεντρική μονάδα ελέγχου. Μερικά πολύ γνωστά προγράμματα ελέγχου είναι το PlanetCNC, το Mach3, το GRBL και πολλά άλλα.

Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιώ το GRBL, όμως το καλύτερο και το πιο γνωστό είναι το Mach3 της ArtSoft το οποίο χρησιμοποιείται από αρκετούς χομπίστες εδώ και αρκετά χρόνια, όμως το χρησιμοποιούν και αρκετοί επαγγελματίες. Επίσης το Mach3 χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια κυρίως από χομπίστες, όμως λόγω των περιορισμών που παρουσίαζε όπως η έλλειψη θύρας USB οδήγησε στην δημιουργία ενός νέου λογισμικού ελέγχου του Mach4.

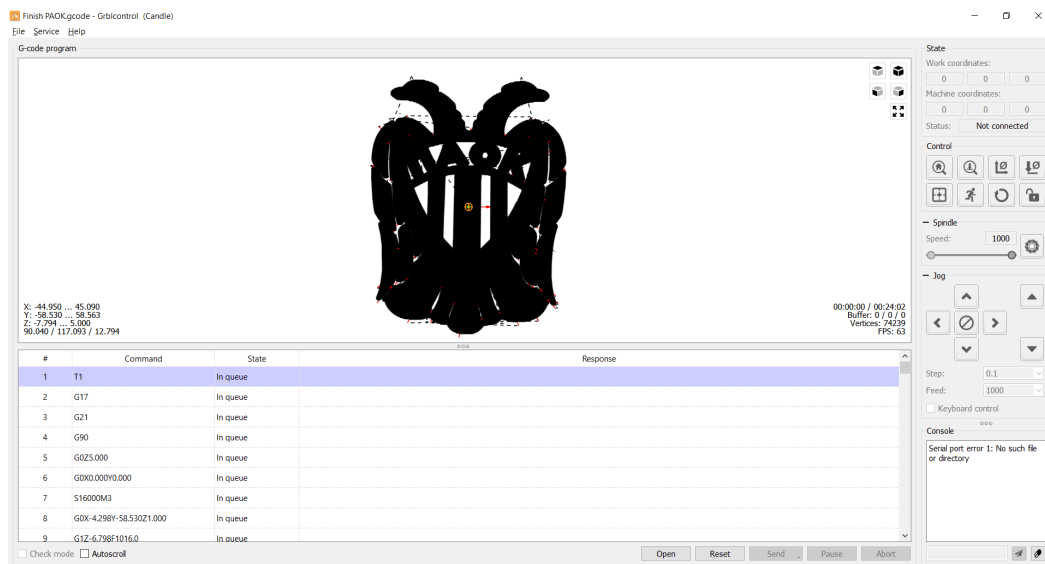
Το GRBL στην ουσία είναι ένα υλικο-λογισμικό το οποίο έχει μέσα του έναν εσωτερικά εγκατεστημένο κώδικα το οποίο επιτρέπει στην γλώσσα μηχανής να επικοινωνήσει με το hardware της συσκευής, το οποίο πρέπει να είναι συγκεκριμένο για να μπορεί να επικοινωνήσει. Επίσης το GRBL μας παρέχει αρκετά υψηλή απόδοση, με χαμηλό κόστος για

έλεγχου κινήσεων με την παράλληλη θύρα USB που διαθέτει. Μας παρέχει την δυνατότητα να ελέγξουμε πλήρως τις στροφές του κινητήρα και όλους τους άξονες με μεγάλη ακρίβεια.

Στις παρακάτω εικόνες παρατηρούμε το γραφικό περιβάλλον αυτόν των προγραμμάτων ελέγχου.

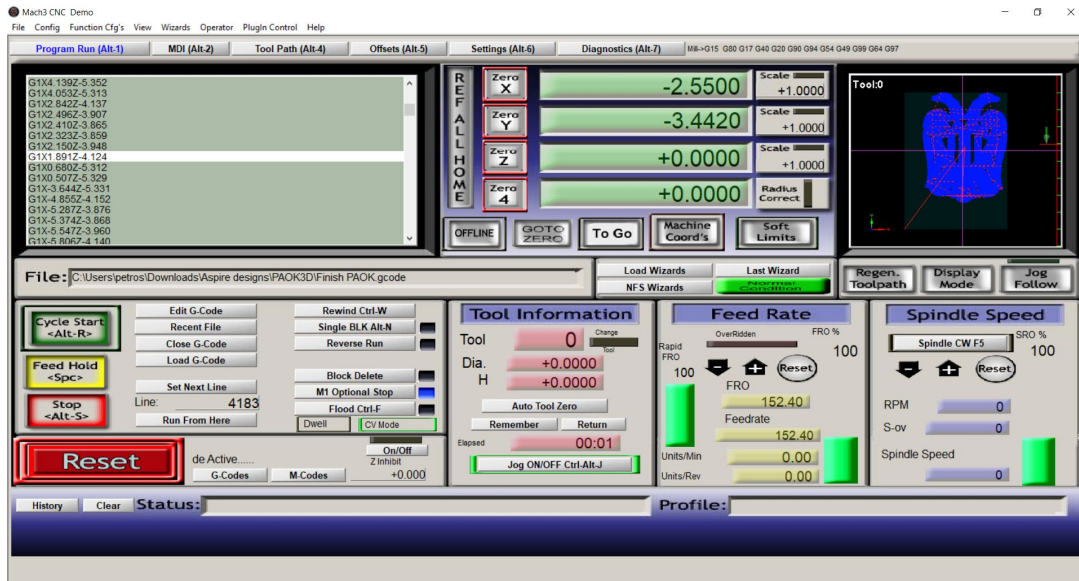


Σχήμα 3.11: Γραφικό περιβάλλον του PlanetCNC

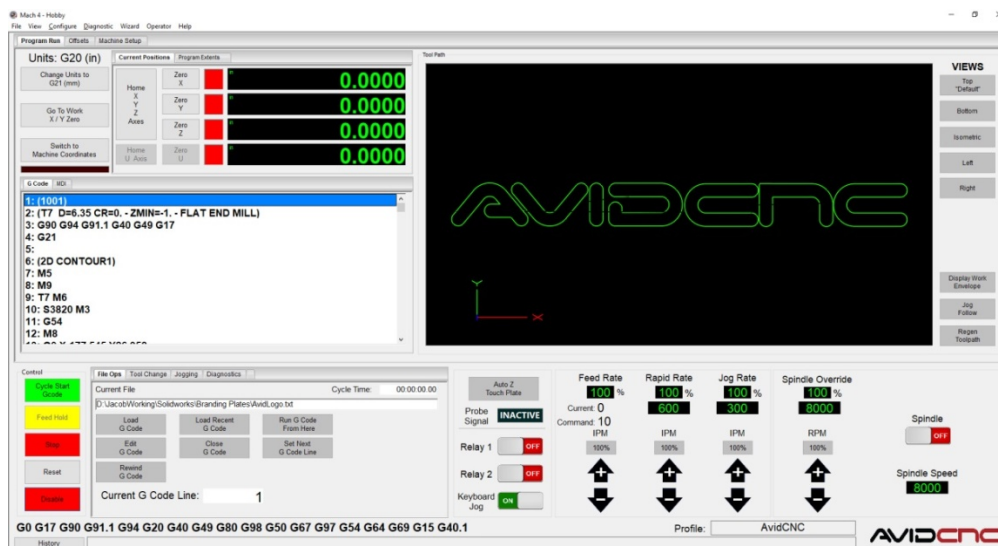


Σχήμα 3.12: Γραφικό περιβάλλον του GRBL

Στην εικόνα 3.12 βλέπουμε την μορφή που έχει το σχέδιο μας στο πρόγραμμα ελέγχου που σε αυτή την περίπτωση είναι το GRBL. Όπως παρατηρούμε βλέπουμε την προσομοίωση των κινήσεων που θα κάνει το κοπτικό και τις εντολές που χρησιμοποιεί για να πραγματοποιήσει αυτό το σχέδιο.



Σχήμα 3.13: Γραφικό περιβάλλον του Mach3



Σχήμα 3.14: Γραφικό περιβάλλον του Mach4 [41]

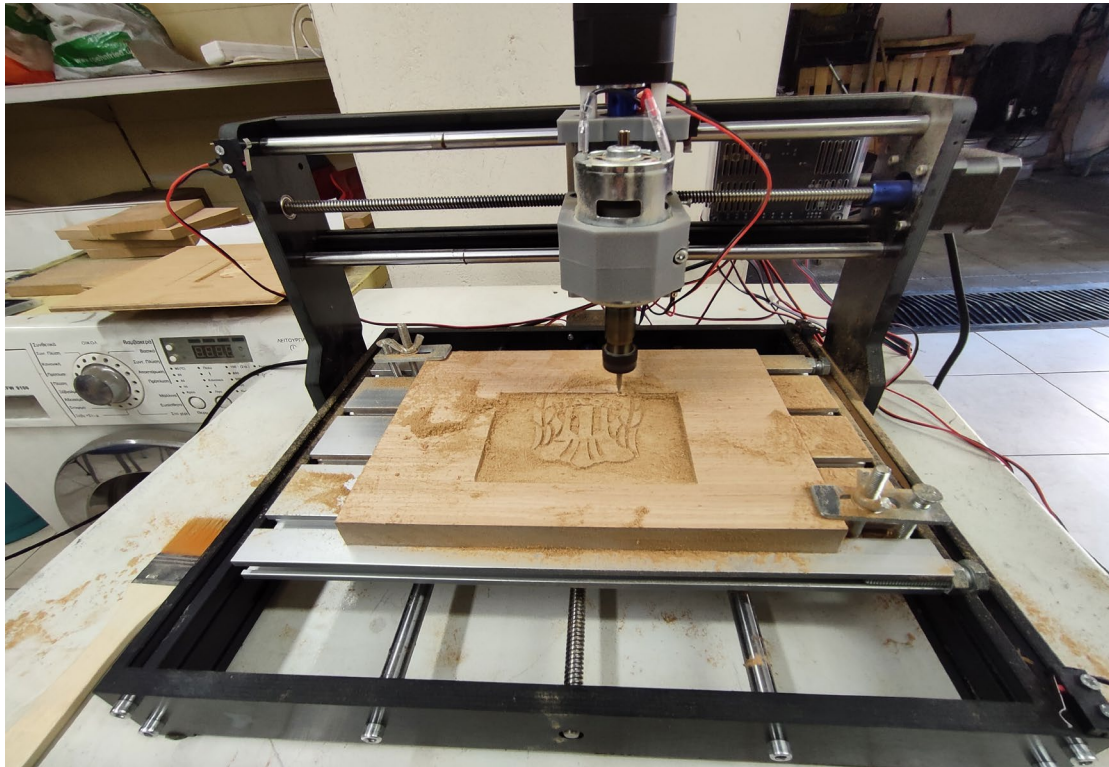
Όμως για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την εργαλειομηχανή και να συγχρονίσουμε και να ενεργοποιήσουμε όλα τα μέρη της όπως τους τερματικούς διακόπτες τους αισθητήρες, την άτρακτο και όλα τα υπόλοιπα μέρη χρησιμοποιούμε GRBL ρυθμίσεις. Στην ουσία έχουν δημιουργήσει συγκεκριμένες ρυθμίσεις με τις οποίες ελέγχουν τις κινήσεις της μηχανής, δηλαδή στέλνουν εντολή στην κεντρική πλακέτα να πραγματοποιήσει αυτή την κίνηση. Παρακάτω αναλύουμε αυτές τις βασικές ρυθμίσεις που χρησιμοποιούμε.

- \$0=10 (step pulse, usec)
- \$1=25 (step idle delay, msec)
- \$2=0 (step port invert mask:00000000)
- \$3=6 (dir port invert mask:00000110)
- \$4=0 (step enable invert, bool)
- \$5=0 (limit pins invert, bool)
- \$6=0 (probe pin invert, bool)
- \$10=3 (status report mask:00000011)

\$11=0.020 (junction deviation, mm)
\$12=0.002 (arc tolerance, mm)
\$13=0 (report inches, bool)
\$20=0 (soft limits, bool)
\$21=0 (hard limits, bool)
\$22=0 (homing cycle, bool)
\$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
\$24=50.000 (homing feed, mm/min)
\$25=635.000 (homing seek, mm/min)
\$26=250 (homing debounce, msec)
\$27=1.000 (homing pull-off, mm)
\$100=314.961 (x, step/mm)
\$101=314.961 (y, step/mm)
\$102=314.961 (z, step/mm)
\$110=635.000 (x max rate, mm/min)
\$111=635.000 (y max rate, mm/min)
\$112=635.000 (z max rate, mm/min)
\$120=50.000 (x accel, mm/sec²)
\$121=50.000 (y accel, mm/sec²)
\$122=50.000 (z accel, mm/sec²)
\$130=225.000 (x max travel, mm)
\$131=125.000 (y max travel, mm)
\$132=170.000 (z max travel, mm)

Κεφάλαιο 4

Αναλυτικός Έλεγχος και Προγραμματισμός συστήματος CNC για πρωτότυπα τρισδιάστατα 3D αντικείμενα



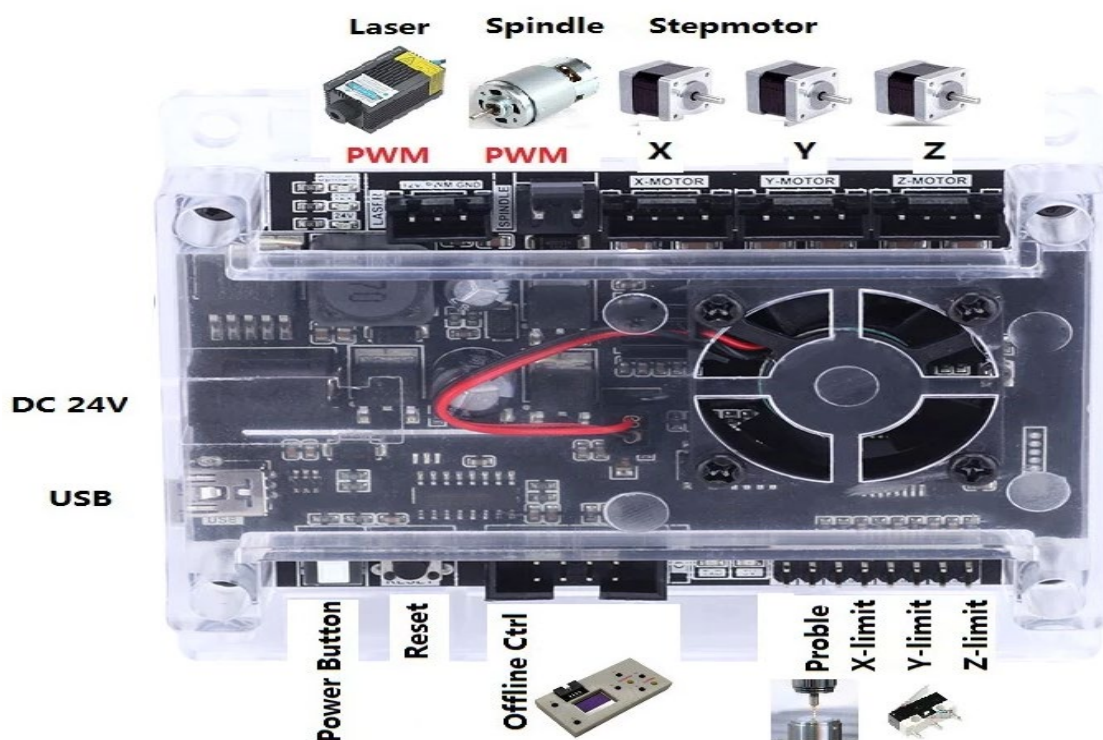
4.1. Θεωρητικό Μέρος

4.1.1. Περιγραφή των υλικών του CNC

Όλες οι εργαλειομηχανές CNC αποτελούνται από πολλά υλικά, όμως η κάθε εργαλειομηχανή περιέχει διαφορετικά χαρακτηριστικά υλικών, αναλόγως με το τι θέλουμε να επεξεργαστούμε. Η επιφάνεια του CNC router που χρησιμοποιούμε είναι 300mmx180mmx45mm.

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τα υλικά που χρησιμοποιούμε και θα αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού. Τα υλικά που χρησιμοποιούμε είναι ένα DC spindle το οποίο στην ουσία είναι ένας DC ηλεκτρικός κινητήρας 24V με ταχύτητα στροφών λειτουργίας 10.000rpm (revolution per minute). Χρησιμοποιούμε τρεις βηματικούς κινητήρες για τους τρεις άξονες οι οποίοι μπορούν να μας δώσουν ρεύμα κίνησης 2A για τάση 12V οι οποίοι έχουν τρεις οδηγούς βηματικού μοτέρ A4988. Επίσης για την προστασία του CNC χρησιμοποιούμε τερματικούς διακόπτες για μην χαλάσουμε το τραπέζι εργασίας. Ένα άλλο υλικό είναι η πλακέτα ελέγχου πάνω στην οποία συνδέονται οι βηματικοί κινητήρες, η

άτρακτος, τα limit switches και το Offliner. Δηλαδή σε αυτήν την πλακέτα συνδέονται και είναι τοποθετημένα όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία της εργαλειομηχανής. Αυτά είναι τα ηλεκτρονικά στοιχεία της εργαλειομηχανής.



Σχήμα 4.1: Πλακέτα ελέγχου GRBL [42]

Τα μηχανολογικά στοιχεία αυτής της εργαλειομηχανής είναι όλα τα στοιχεία τα οποία δεν διαρρέονται από ρεύμα, τα υλικά που αποτελούν τη δομή του CNC που σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε τον βακελίτη για να πετύχουμε καλύτερη σταθερότητα στους άξονες και επειδή είναι ελαφρύ υλικό, τον χάλυβα επειδή είναι σχετικά φτηνό υλικό, στιβαρό και αντέχει σε μηχανικές καταπονήσεις και το αλουμίνιο επειδή είναι ελαφρύ υλικό και φτηνό μας βοηθάει να πετύχουμε μεγαλύτερη ευκολία κατά την κίνηση του τραπέζιού εργασίας, όπως βλέπουμε χρησιμοποιούμε τρία διαφορετικά υλικά για να εκμεταλλευτούμε όλες τις δυνατότητες του κάθε υλικού προκειμένου να πετύχουμε όσο καλύτερο μηχάνημα γίνεται με χαμηλό κόστος. Ένα άλλο στοιχείο είναι το σύστημα μετάδοσης κίνησης στους άξονες που σε αυτή την περίπτωση έχουμε την οδήγηση βίδας (Ball screw) η οποία εκτελεί περιστροφική κίνηση πάνω σε ένα παξιμάδι και αυτή η κίνηση μετατρέπεται σε γραμμική. Επίσης χρησιμοποιούμε κυλινδρικούς γραμμικούς οδηγούς για να πετύχουμε καλύτερη σταθερότητα κατά την λειτουργία της εργαλειομηχανής. Τέλος έχουμε τοποθετήσει βίδες και στους τρεις άξονες, για να μπορούμε να τερματίσουμε τα limit switches, δηλαδή έχουμε τοποθετήσει έξι βίδες και για τους έξι τερματικούς διακόπτες.

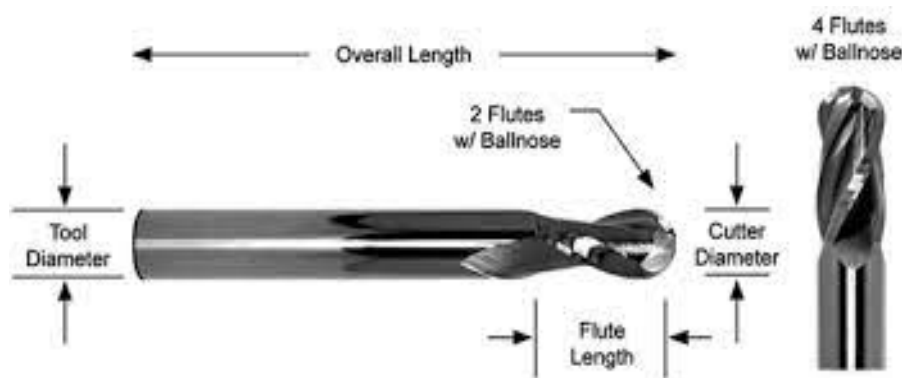
Ball Screw End Support



Σχήμα 4.2: Μετάδοση κίνησης με βίδα [43]

4.1.2. Περιγραφή των κοπτικών μέσων του CNC

Τα κοπτικά μέσα ή αλλιώς κονδύλια που ασχολούμαστε σε αυτή την εργασία ανήκουν στην κατηγορία End mill γιατί ασχολούμαστε με επιτραπέζιο φρεζάρισμα. Επίσης τα κονδύλια ανάλογα με τον αριθμό των αυλακώσεων (flutes) που έχουν διακρίνονται σε δίπτερα, τρίπτερα, τετράπτερα ή και με περισσότερα πτερά σπανιότερα. Ο αριθμός των αυλακώσεων (flutes) που θέλουμε να έχει το κοπτικό μας επιλέγεται σύμφωνα με το υλικό που θα επεξεργαστούμε και ανάλογα με τις δυνατότητες που έχει η εργαλειομηχανή. Αν επιλέξουμε ένα κοπτικό με πολλές αυλακώσεις (flutes) θα μας δώσει ένα υλικό με τέλειο φινίρισμα, δηλαδή το υλικό που θα δεχθεί επεξεργασία θα γίνει πολύ λείο. Τέλος η γωνία ελίκωσης που έχει αυτό το κοπτικό είναι 30 μοίρες.



Σχήμα 4.3: Κονδύλι Ball Nose [44]

Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε τα βασικά μέρη ενός κονδυλιού Ball Nose, παρατηρούμε ότι έχει δύο αυλακώσεις (flutes), επίσης κάτι άλλο που πρέπει να αναφέρουμε είναι ότι η διάμετρος του άξονα δεν είναι πάντα ίδια με την διάμετρο κοπής, αυτό εξαρτάται πάντα από το R που έχουμε. Για παράδειγμα έχουμε ένα κονδύλι με άξονα 3.175mm και διάμετρο κοπής 1.8mm, δηλαδή δεν έχουν ίδια διάμετρο. Αυτό ισχύει και για τα άλλα κοπτικά δεν είναι μόνο για αυτό. Τα κοπτικά End mill μπορούν να κόψουν πλευρικά στο υλικό, να το χαράξουν και να το τρυπήσουν. Οι παράγοντες που καθορίζουν ποιό κοπτικό End mill πρέπει να χρησιμοποιήσουμε είναι πρώτον το μέγεθος που θέλουμε να κόψουμε π.χ. χάραξη, 2D, 3D και δεύτερον το υλικό που θα επεξεργαστούμε. Επίσης κάτι άλλο που πρέπει να προσέξουμε είναι ότι το βάθος κοπής δεν πρέπει ποτέ να ξεπεράσει το μήκος των αυλακώσεων (flutes) του κοπτικού, γιατί αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να μην γίνει σωστά η κοπή, θα μαυρίσει το υλικό που κόβουμε, θα ζοριστεί η εργαλειομηχανή και το κοπτικό και υπάρχει πιθανότητα ακόμα και να σπάσει.

Υλικά κοπτικών

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κοπτικών μας είναι το καρβίδιο και το HSS (High speed steel), ενώ ένα άλλο πολύ καλό υλικό είναι το διαμάντι το οποίο δεν το χρησιμοποιούμε, γιατί τα κονδύλια που περιέχουν διαμάντι είναι πολύ ακριβά. Ο χάλυβας υψηλής ταχύτητας (HSS) έχει μικρότερο κόστος από το καρβίδιο, παρέχει καλή αντοχή στη φθορά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φρεζάρισμα πολλών υλικών, όπως ξύλο, μέταλλα κ.α. Τα κονδύλια με επικάλυψη καρβιδίου είναι πιο ακριβά από τα HSS, αλλά παρέχουν καλύτερη ακαμψία και μπορούν να λειτουργήσουν δύο έως τρεις φορές γρηγορότερα από τα HSS. Είναι επίσης εξαιρετικά ανθεκτικά στη θερμότητα, καθιστώντας τα κατάλληλα για επεξεργασία σκληρότερων υλικών. Τέλος ένας τρόπος για να πάρουμε έως 25% γρηγορότερο αποτέλεσμα είναι να χρησιμοποιήσουμε κονδύλι με TiAlN (νιτρίδιο αλουμινίου τιτανίου).

Είδη κοπτικών

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήσαμε τεσσάρων ειδών κονδύλια End mill. Η επιλογή των κοπτικών γίνεται κάθε φορά σύμφωνα με το μέγεθος που θέλω να κόψω, ενώ το υλικό που κόβω είναι MDF. Παρακάτω χωρίζουμε σε κατηγορίες τα κοπτικά που χρησιμοποιήσαμε:

Κοπτικό νούμερο 1: Γραφίδα χάραξης (Engraving) (20° 0.1mm)

Το συγκεκριμένο κονδύλι έχει κωνικό άκρο χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό γραμμάτων. Η γραφίδα χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη του σχεδίου πάνω στο MDF, δηλαδή χρησιμοποιήσαμε την γραφίδα για τον σχεδιασμό μιας διάστασης. Οι γραφίδες χρησιμοποιούνται κυρίως για να χαράξουμε πάνω σε ένα υλικό δεν χρησιμοποιείται για να κόψουμε. Η γραφίδα που χρησιμοποιήσαμε έχει τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά: γωνία ελίκωσης 20°, έχει ένα flute, η διάμετρος του άξονα είναι 3.175mm, η διάμετρος κοπής χάραξης είναι 0.1mm, το μήκος κοπής είναι 15mm, το συνολικό μήκος είναι 28mm και είναι κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής ταχύτητας HSS.



Σχήμα 4.4: Γραφίδα χάραξης

Κοπτικό νούμερο 2: Roughing End mill (30° 3mm)

Αυτό το κονδύλι το χρησιμοποιούμε για να αφαιρέσουμε γρήγορα μεγάλη ποσότητα υλικού. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει ελάχιστους έως καθόλου κραδασμούς, αλλά αφήνει πιο τραχύ τελείωμα (φινίρισμα). Επίσης αυτό το κονδύλι το χρησιμοποιήσαμε για 3D σχεδιασμό στην επιλογή Roughing, για να κάνει το σχέδιο αφαιρώντας μεγάλη ποσότητα υλικού όπως επιθυμούσαμε, όμως δεν μπορεί να κάνει τέλεια την λεπτομέρεια, για αυτό χρησιμοποιούμε άλλο κοπτικό μετά. Αυτό το κονδύλι έχει τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά: γωνία ελίκωσης 30°, έχει δύο flutes, η διάμετρος του άξονα είναι 3.175mm, έχει διάμετρος κοπής από 0.8-3mm, εγώ χρησιμοποιώ το κοπτικό που έχει διάμετρο κοπής 3mm, το μήκος κοπής είναι 12mm, το συνολικό μήκος είναι 37mm και είναι κατασκευασμένο από καρβίδιο.



Σχήμα 4.5: Κονδύλι End mill

Κοπτικό νούμερο 3: Ball End mill (30° 2mm)

Αυτό το κονδύλι είναι μια γραφίδα την οποία την τρόχισα για να στρογγυλέψω τις άκρες και να γίνει Ball, έχει στρογγυλεμένες άκρες και χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό τρισδιάστατων σχημάτων. Εμείς χρησιμοποιούμε αυτό το κονδύλι για το σχεδιασμό 3D αντικειμένων, το χρησιμοποιούμε μετά το πρόγραμμα Roughing στο 3D Finish, για να μπορέσουμε να πετύχουμε την λεπτομέρεια του 3D σχεδιασμού. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτού του κοπτικού είναι τα εξής: γωνία ελίκωσης 30°, έχει δύο flutes η διάμετρος του άξονα είναι 3.175mm, έχει διάμετρο κοπής 2mm, το μήκος κοπής είναι 12mm, το συνολικό μήκος είναι 23mm και είναι κατασκευασμένο από χάλυβα υψηλής ταχύτητας HSS.



Σχήμα 4.6: Κονδύλι Ball End mill

Κοπτικό νούμερο 4: Κοπτικό τύπου V-Bit (tapered) (60° 0.1mm)

Το συγκεκριμένο κονδύλι έχει κωνικό άκρο χρησιμοποιείται για κοπές βύθισης και χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία γωνιακών γραμμάτων. Αυτό το κονδύλι το χρησιμοποιήσαμε για να κάνουμε με λεπτομέρεια το 3D σχέδιο και είναι ιδανικό για το σχεδιασμό 3D γραμμάτων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτού του κοπτικού είναι τα εξής: γωνία ελίκωσης 60°, έχει δύο flutes η διάμετρος του άξονα είναι 6.35mm, έχει διάμετρο κοπής 22mm, το μήκος κοπής είναι 18mm, το συνολικό μήκος είναι 47mm και είναι κατασκευασμένο από χάλυβα υψηλής ταχύτητας HSS.



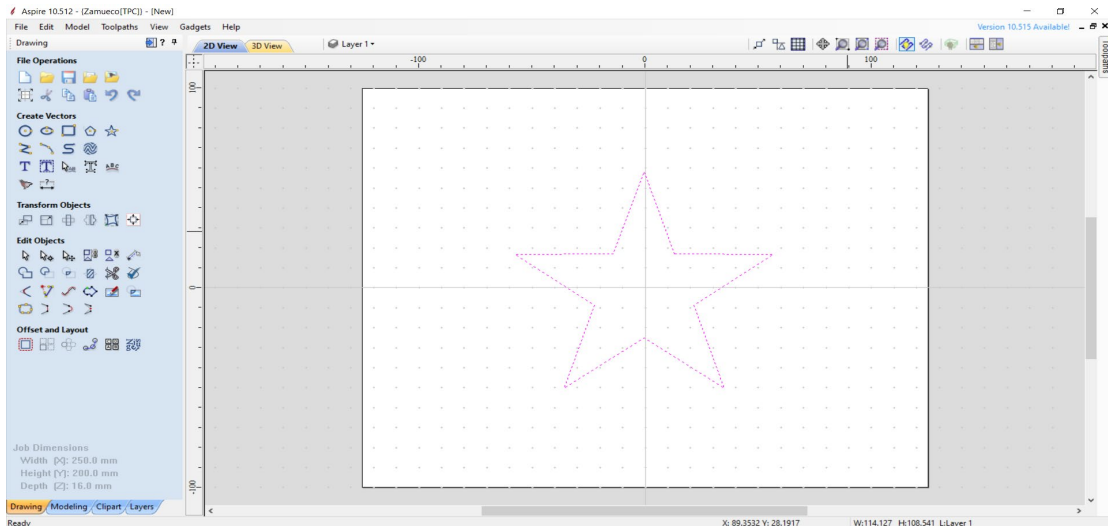
Σχήμα 4.7: Κονδύλι τύπου V-bit

4.1.3. Ανάλυση των προγραμμάτων CAD και CAM

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των αντικειμένων είναι το Aspire. Αυτό το πρόγραμμα έχει το πλεονέκτημα να διαθέτει CAD και CAM λογισμικό. Είναι ένα από τα καλύτερα προγράμματα που χρησιμοποιείται από μερικούς επαγγελματίες χειριστές, αλλά κυρίως χρησιμοποιείται από χομπίστες. Το Aspire είναι το ίδιο πρόγραμμα με το παλιό ArtCam της Autodesk. Με το λογισμικό CAD που διαθέτει μπορούμε να σχεδιάσουμε αντικείμενα 2D, 2,5D και 3D. Επίσης αυτό είναι ένα πρόγραμμα παραμέτρων, παρακάτω θα δούμε τις παραμέτρους που χρησιμοποιούμε για τον σχεδιασμό αντικειμένων.

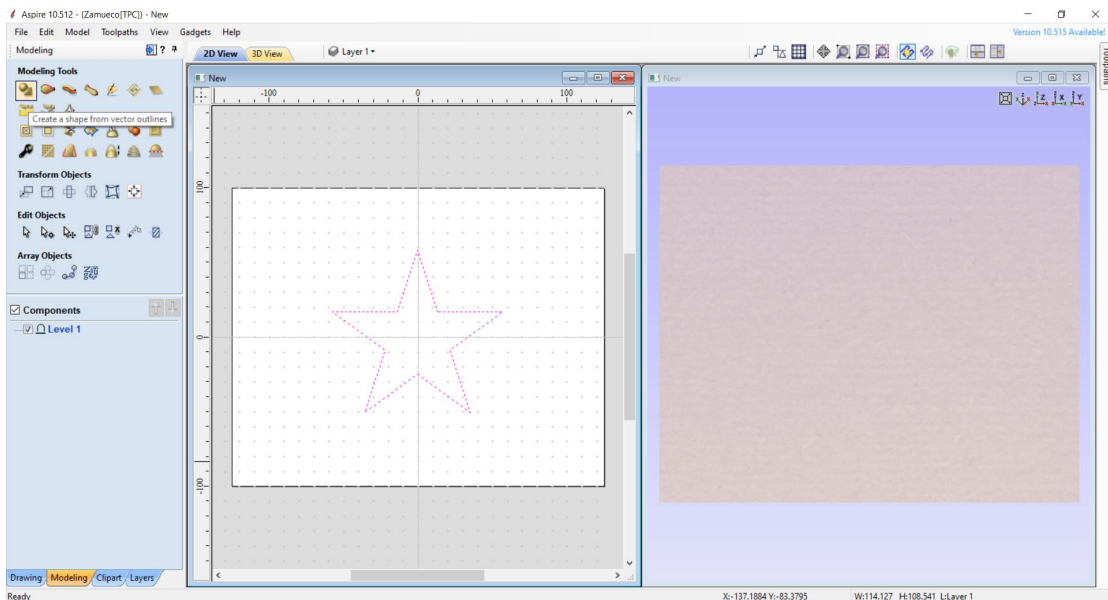
Λογισμικό CAD

Στο drawing υπάρχουν όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο CAD (computer aided design) για τον σχεδιασμό αντικειμένων στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την κατηγορία create vectors με την οποία σχεδιάζουμε τα διανύσματα που θέλουμε. Για να σχεδιάσουμε ένα αστέρι τοποθετούμε το αστέρι στην επιφάνεια εργασίας και ορίζουμε τις διαστάσεις που θέλουμε να έχει.

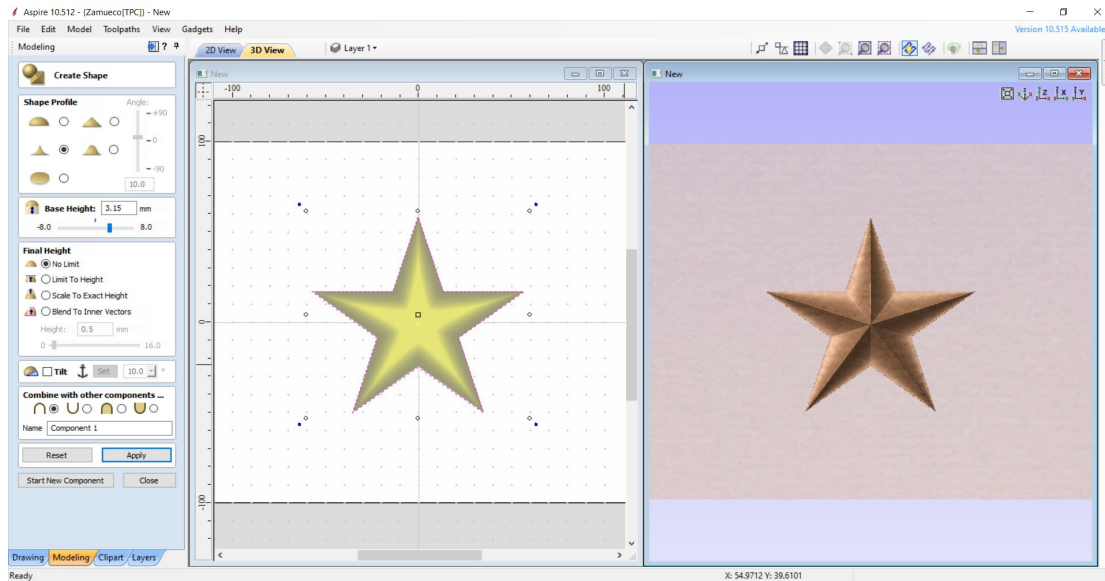


Σχήμα 4.8: Σχεδιασμός διανύσματος

Αφού σχεδιάσουμε αυτό που θέλουμε και ορίσουμε τις διαστάσεις που θέλουμε να έχει, μετά πρέπει να δημιουργήσουμε μοντέλο για την 3D απεικόνιση, πηγαίνουμε στο modeling πατάμε την επιλογή create a shape from vector outlines και μετά στο profile shape διαλέγουμε τη μορφή που θέλουμε να έχει το σχέδιο μας. Επίσης ορίζουμε τα χιλιοστά που θέλουμε να έχει η βάση ύψους (Base Height) του σχεδίου μας και τέλος αφού επιλέξουμε τις παραμέτρους που θέλουμε να έχει το σχέδιο μας, πατάμε το apply για να δημιουργηθεί το μοντέλο μας στην 3D απεικόνιση. Αυτές είναι μερικές από τις διαδικασίες που εκτελούμε για την δημιουργία ενός σχεδίου CAD, μόλις ολοκληρώσουμε αυτά πηγαίνουμε στο λογισμικό CAM για να συνεχίσουμε.



Σχήμα 4.9: Δημιουργία μοντέλου

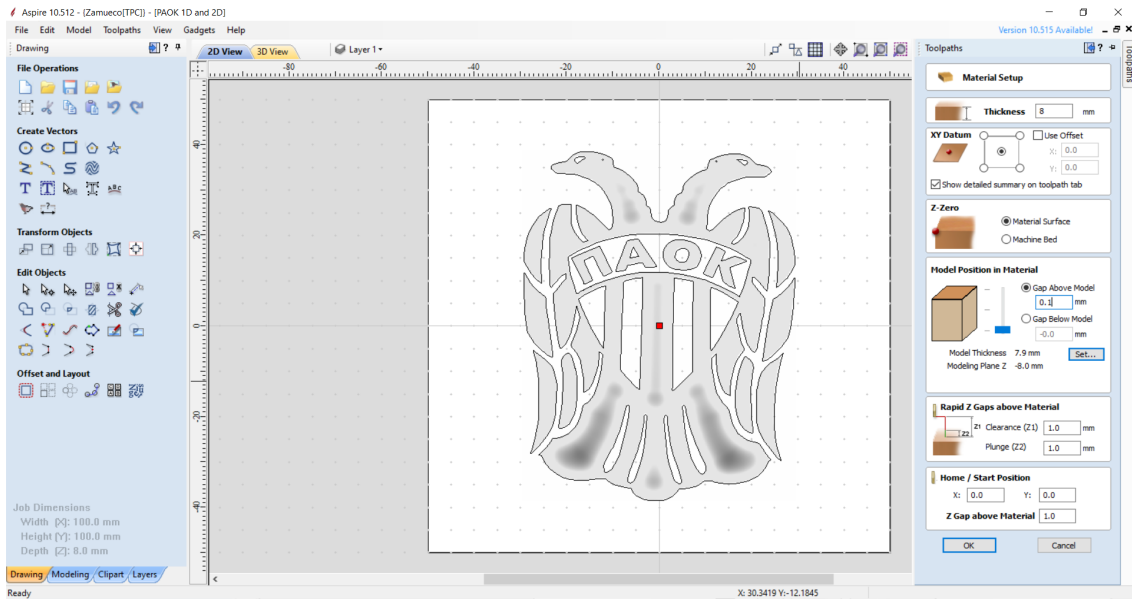


Σχήμα 4.10: Απεικόνιση σχεδίου σε μορφή 2D και 3D

Υπάρχουν πάρα πολύ τεχνικές που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον σχεδιασμό αντικειμένων στο πρόγραμμα CAD. Για παράδειγμα μπορούμε να εισάγουμε μια απλή φωτογραφία από το internet να την επεξεργαστούμε κομμάτι κομμάτι και να την κάνουμε σε μορφή 3D. Αυτές είναι μερικές από τις βασικές τεχνικές του προγράμματος CAD.

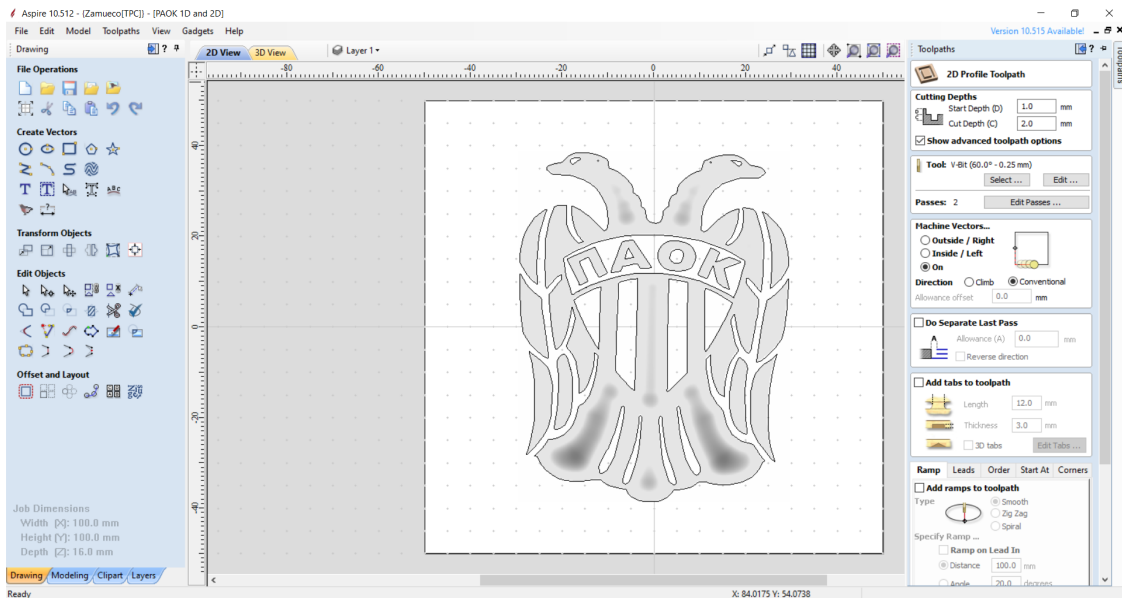
Λογισμικό CAM

Στο λογισμικό CAM (computer aided manufacturing) επιλέγουμε τα είδη των κοπτικών μέσων που θα χρησιμοποιήσουμε για το κάθε σχέδιο και ορίζουμε τις κατάλληλες παραμέτρους που πρέπει να έχουν τα κοπτικά μέσα. Επίσης βλέπουμε την προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό μέσο για να εκτελεστεί η διεργασία. Αφού ολοκληρώσουμε τη σχεδίαση του αντικειμένου στο CAD πηγαίνουμε στο λογισμικό CAM, πατάμε την επιλογή Toolpaths που μας εμφανίζεται πάνω δεξιά, μετά επιλέγουμε το material setup για να δηλώσουμε τις διαστάσεις του υλικού μας, στο thickness δηλώνουμε το πάχος του υλικού μας, στο XY Datum δηλώνουμε τη θέση αναφοράς που θέλουμε να ξεκινήσει το κοπτικό μας, στο Z-Zero δηλώνουμε το material surface, δηλαδή ότι επεξεργαζόμαστε το υλικό πάνω στην επιφάνεια του. Στο model position in material επιλέγουμε το Gap above model για να δηλώσουμε το πόσο κενό θα έχει το κοπτικό μέσο από την επιφάνεια του υλικού που επεξεργαζόμαστε. Αυτή την διαδικασία δήλωσης των διαστάσεων του υλικού πρέπει να την κάνουμε πάντα στην αρχή.

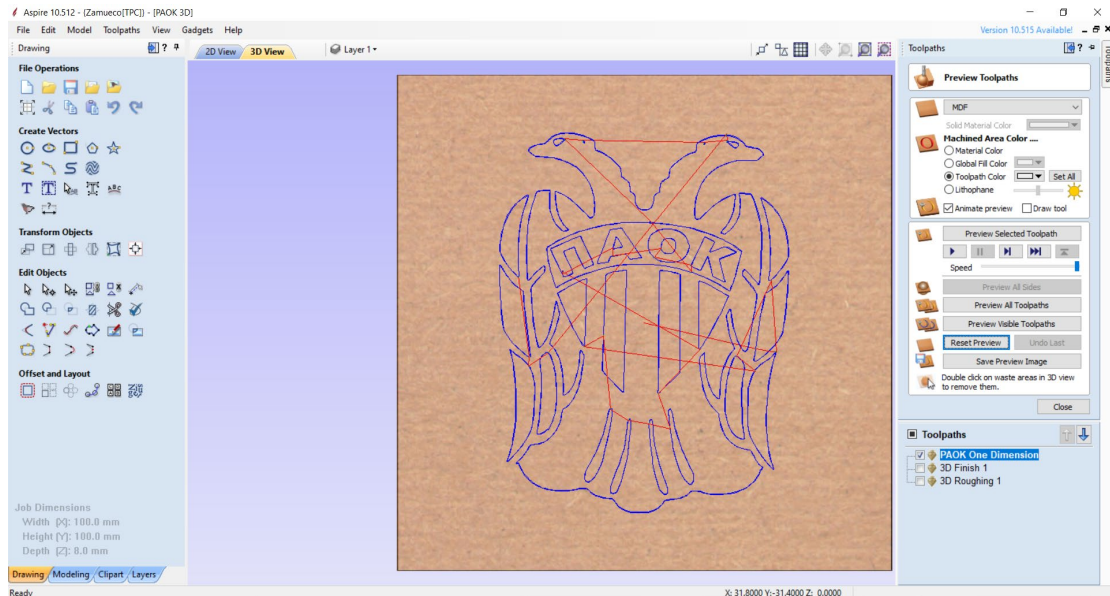


Σχήμα 4.11: Ορισμός παραμέτρων υλικού

Για τον σχεδιασμό μιας διάστασης πηγαίνουμε στην επιλογή 2D Profile Toolpath και ορίζουμε στο start Depth το αρχικό βάθος που έχουμε και στο cutting Depth ορίζουμε το βάθος κοπής που θέλουμε να κόψουμε. Μετά στο tool επιλέγουμε το μέσο κοπής που θα χρησιμοποιήσουμε ανάλογα πάντα με το σχέδιο που έχουμε. Στο passes επιλέγουμε το πόσες φορές θέλουμε να περάσει το κοπτικό μας πάνω από το σχέδιο επεξεργασίας και τι βάθος κοπής ή χάραξης θα έχει σε κάθε πέρασμα. Στο machine vectors επιλέγουμε τον τρόπο κίνησης του κοπτικού μας, δηλαδή το κοπτικό μπορεί να κινείται εξωτερικά του υλικού με δεξιόστροφη φορά, εσωτερικά του υλικού με αριστερόστροφη φορά και τέλος μπορεί να κινείται πάνω στην γραμμή του υλικού με φορά δεξιόστροφη. Τέλος πατάμε το calculate για να δούμε την προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό μέσο.

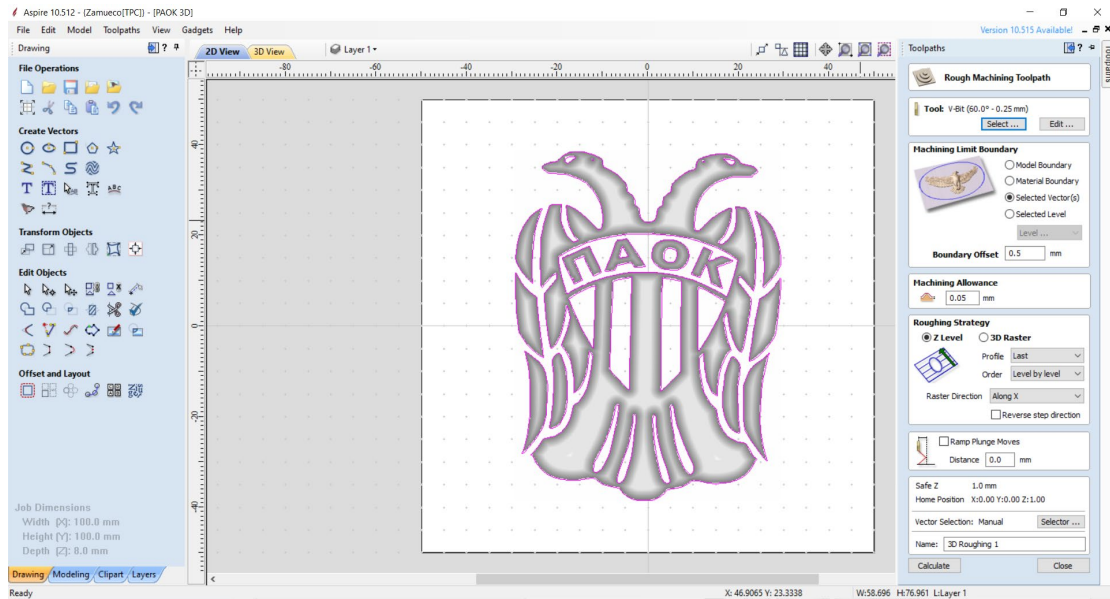


Σχήμα 4.12: Ορισμός παραμέτρων κοπής



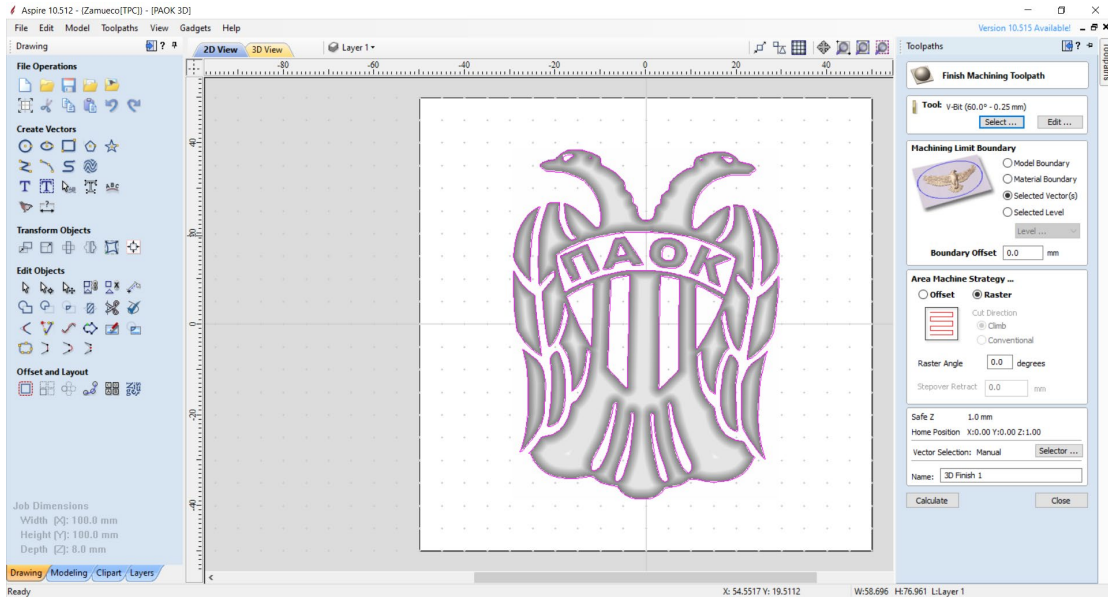
Σχήμα 4.13: Προσομοίωση κίνησης κοπτικού

Για τον σχεδιασμό δύο ή τριών διαστάσεων πηγαίνουμε στο 3D Roughing και στο tool επιλέγουμε το κοπτικό μέσο που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και ορίζουμε τις διαστάσεις του. Στο diameter ορίζουμε την διάμετρο κοπής που έχει το κοπτικό μας, στο flutes ορίζουμε τον αριθμό των περυγώσεων που έχει το κονδύλι, στο pass depth δηλώνουμε το βάθος περάσματος που θέλουμε να έχει και το stepover είναι το βήμα, δηλαδή είναι η ταχύτητα με την οποία θα κάνει πέρασμα το κοπτικό μας, όσο μεγαλύτερο stepover βάλουμε τόσο πιο γρήγορα θα θέλει να εκτελέσει την κίνηση το κοπτικό, αλλά ενδέχεται να μην έχουμε καλό αποτέλεσμα άμα κινηθεί πολύ γρήγορα. Στο spindle speed ορίζουμε την ταχύτητα που θέλουμε να κινείται η άτρακτος (spindle) του CNC, όμως αυτό καθορίζεται σύμφωνα με τις δυνατότητες που έχει η άτρακτος της εργαλειομηχανής μας. Στο machining limit boundary επιλέγουμε τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να γίνεται η επεξεργασία του υλικού. Στο model boundary επιλέγουμε να γίνει επεξεργασία μόνο στην επιφάνεια του σχεδίου μας, στο material boundary επιλέγουμε να γίνει επεξεργασία σε όλη την επιφάνεια του υλικού μας, στο selected vector διαλέγουμε να γίνει επεξεργασία μόνο στο διάνυσμα που είναι κυκλωμένο. Στο boundary offset επιλέγουμε την μετατόπιση ορίου, στο machining allowance ορίζουμε τις διαστάσεις της μηχανικής κατεργασίας. Στο roughing strategy επιλέγουμε το πώς θέλουμε να κινείται η εργαλειομηχανή, δηλαδή επιλέγουμε να δουλεύει ανά γραμμή κατά μήκος του άξονα X.



Σχήμα 4.14: Ορισμός παραμέτρων κοπής στο Roughing

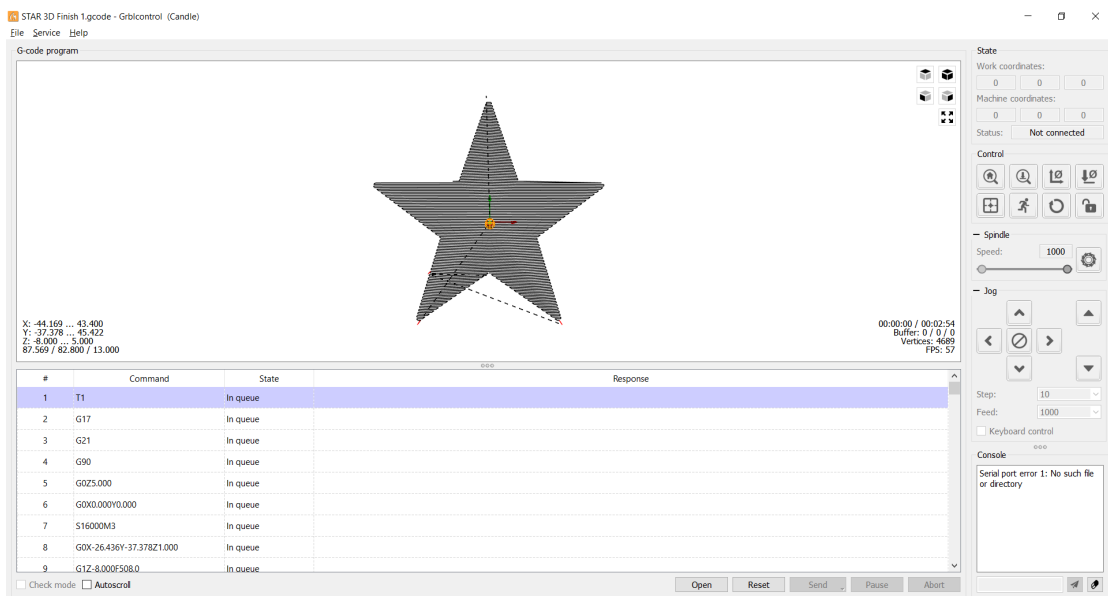
Για να ολοκληρώσουμε το σχέδιο πατάμε στο 3D Finishing Toolpath για να κάνουμε καλύτερα την λεπτομέρεια που έχει το σχέδιο μας. Δηλαδή κατά κάποιον τρόπο με το Roughing βάζουμε κάποιο φαρδύ κοπτικό για να πάρουμε τα χοντρά και να κάνουμε την δομή του σχεδίου μας και μετά με το Finishing κάνουμε την λεπτομέρεια του σχεδίου. Στο 3D Finishing Toolpath επιλέγουμε όπως και στο 3D Roughing το κοπτικό μέσο που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και ορίζουμε τις διαστάσεις του. Στο Area machine strategy επιλέγουμε τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να κινείται η εργαλειομηχανή, δηλαδή επιλέγουμε να δουλεύει ανά γραμμή κατά μήκος του άξονα X. Μετά πατάμε στο calculate και βλέπουμε την προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό μέσο και αφού το τρέξουμε βλέπουμε το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης. Τέλος ένα άλλο πολύ σημαντικό εργαλείο που διαθέτει αυτό το λογισμικό είναι ότι μπορεί να μας δείξει τον χρόνο που θα κάνει η εργαλειομηχανή να εκτελέσει την διαδικασία κοπής. Όμως αυτός ο χρόνος που μας δείχνει δεν είναι πάντα σωστός, γιατί εξαρτάται από τις δυνατότητες που έχει το spindle της κάθε εργαλειομηχανής. Για π.χ. αν στο λογισμικό CAM ορίσουμε το speed spindle να τρέξει με ταχύτητα 16000 rpm και η εργαλειομηχανή μας μπορεί να τρέξει μέχρι 10000 rpm είναι λογικό να μην εκτελεστεί η διαδικασία μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα και εννοείται ότι θα κάνει περισσότερο χρόνο, γιατί δεν μπορεί να τρέξει με τόσο μεγάλη ταχύτητα.



Σχήμα 4.15: Ορισμός παραμέτρων κοπής στο Finishing

4.1.4. Ανάλυση του προγράμματος Ελέγχου

Το πρόγραμμα ελέγχου είναι απαραίτητο για να ολοκληρώσουμε τη διαδικασία κατασκευής, γιατί μέσω αυτού του λογισμικού μεταβιβάζουμε το πρόγραμμα που πήραμε από το CAM στην εργαλειομηχανή σε μορφή G-code. Επίσης μέσω του προγράμματος ελέγχου μπορούμε να ελέγξουμε όλες τα στοιχεία της εργαλειομηχανής, όπως την ταχύτητα κίνησης της ατράκτου, τα limit switches, τους άξονες κίνησης και ότι άλλο έχουμε συνδεδεμένο στην κεντρική πλακέτα ελέγχου. Η επιλογή του προγράμματος ελέγχου καθορίζεται από τη συμβατότητα που έχει με την κεντρική πλακέτα ελέγχου. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούμε το GRBL controller γιατί αυτό το πρόγραμμα είναι συμβατό με την κεντρική πλακέτα της εργαλειομηχανής. Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε το γραφικό περιβάλλον του GRBL.



Σχήμα 4.16: Γραφικό περιβάλλον του GRBL

Το γραφικό περιβάλλον αυτό του προγράμματος είναι πολύ προσιτό, όπως βλέπουμε εισάγουμε το πρόγραμμα που θέλουμε να επεξεργαστούμε το οποίο είναι σε μορφή G-code και μας δείχνει όλες τις εντολές που πρέπει να εκτελεστούν από την εργαλειομηχανή. Επίσης βλέπουμε στους άξονες X Y Z την επιφάνεια που καλύπτει το σχέδιο μας. Πάνω δεξιά στο GRBL βλέπουμε την επιλογή state που μας δείχνει τις συντεταγμένες εκτέλεσης της εργασίας σύμφωνα με τις συντεταγμένες του μηχανήματος. Ενώ με το Control ελέγχουμε τις λειτουργίες της εργαλειομηχανής, με την επιλογή Home κάνουμε reset την εργαλειομηχανή τερματίζουν τα limit switches και έρχεται η εργαλειομηχανή στην αρχική της θέση. Με την επιλογή Zero XY μηδενίζουμε τους άξονες XY και με την επιλογή Zero Y μηδενίζουμε τον Z, για να μπορέσει το μηχάνημα να ξεκινήσει σωστά από το κέντρο του υλικού. Με την επιλογή Reset κάνουμε επανεκκίνηση την εργαλειομηχανή όταν κλειδώσει και με την επιλογή Unlock ξεκλειδώνουμε την εργαλειομηχανή που κλειδώνει όταν τερματίσει κάποιος τερματικός διακόπτης. Στο spindle speed ορίζουμε την ταχύτητα κίνησης της ατράκτου, με τα βελάκια κινούμε όλες τους άξονες στην κατεύθυνση που θέλουμε και στην επιλογή step ορίζουμε το βήμα κίνησης των αξόνων.

Όμως για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε όλες τις δυνατότητες ελέγχου που έχει το λογισμικό GRBL χρησιμοποιούμε κάποιες βασικές ρυθμίσεις. Παρακάτω αναλύουμε όλες τις βασικές ρυθμίσεις που μπορούμε να χρησιμοποιούμε.

```
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=6 (dir port invert mask:00000110)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.020 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
$24=50.000 (homing feed, mm/min)
$25=635.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=314.961 (x, step/mm)
$101=314.961 (y, step/mm)
$102=314.961 (z, step/mm)
$110=635.000 (x max rate, mm/min)
$111=635.000 (y max rate, mm/min)
$112=635.000 (z max rate, mm/min)
$120=50.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=50.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=50.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=225.000 (x max travel, mm)
$131=125.000 (y max travel, mm)
$132=170.000 (z max travel, mm)
```

Οι ρυθμίσεις που χρειάστηκε να χρησιμοποιήσω είναι οι παρακάτω:

\$21=1 ενεργοποίησα τα limit switches

\$22=1 ενεργοποίησα την λειτουργία Home

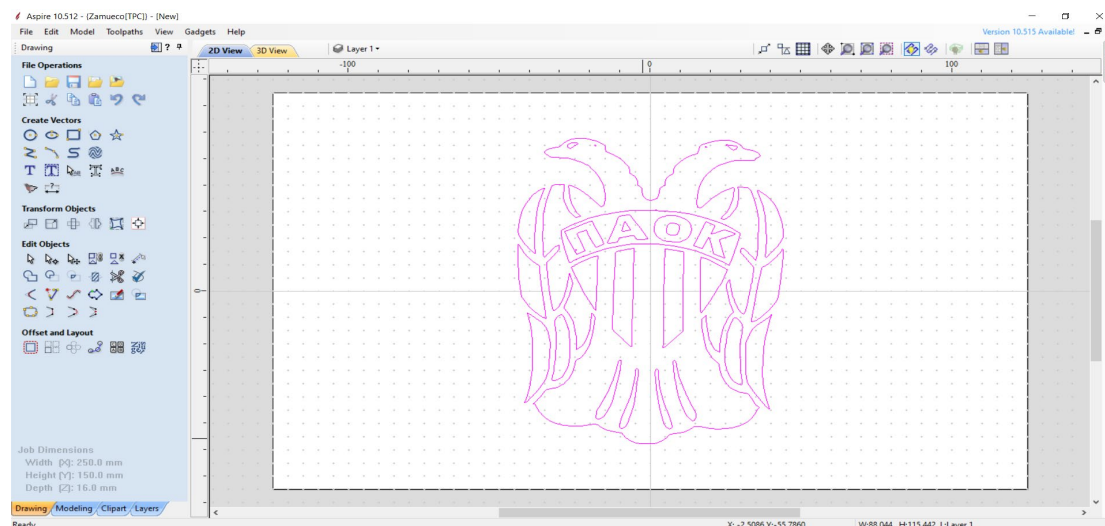
\$3=2 Με αυτή την ρύθμιση έκανα αντιστροφή του άξονα Y

\$23=7 Με αυτή την ρύθμιση έκανα αντιστροφή όλων των αξόνων και έφερα το μηχάνημα στην θέση που ήθελα, για να μπορέσω να κάνω reset την μηχανή.

4.2. Προγραμματιστικό Μέρος

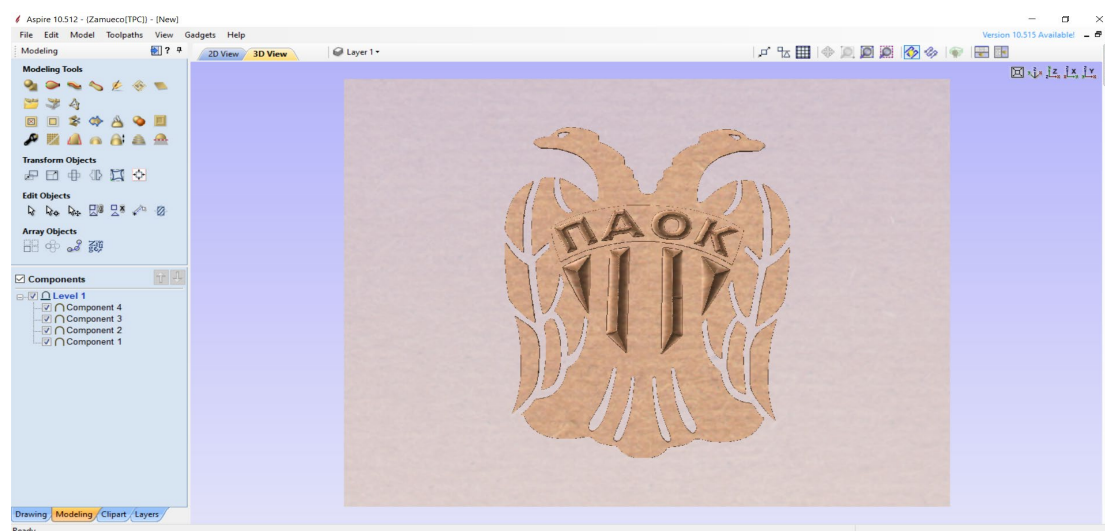
4.2.1. Σχεδιασμός Αντικειμένων στο Aspire

Σχέδιο 1: Σήμα ΠΑΟΚ



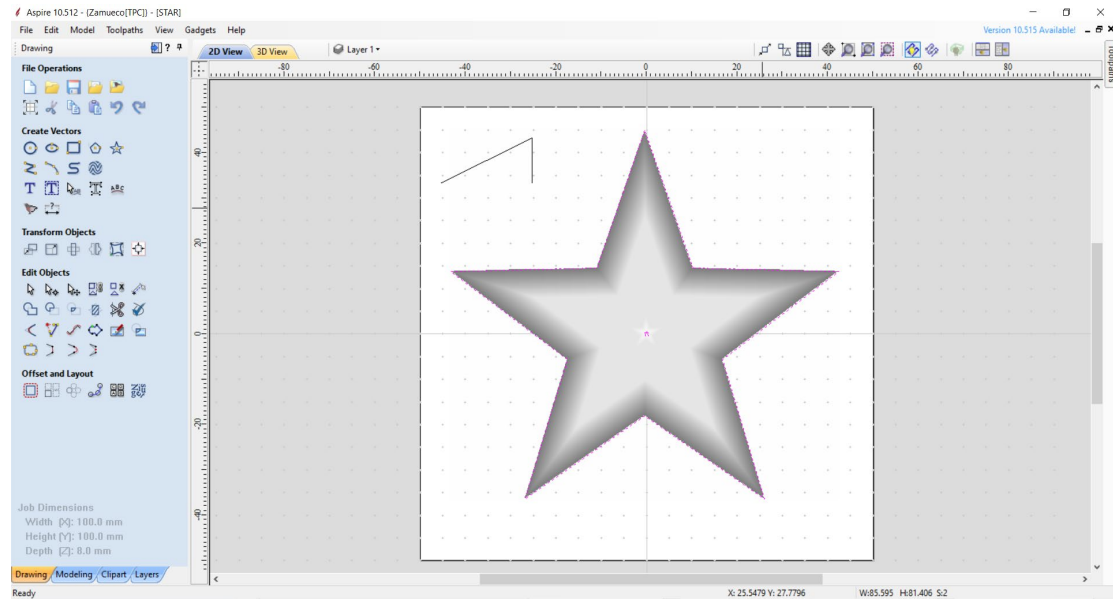
Σχήμα 4.17: Σχέδιο 1 σε CAD μορφή

Σχέδιο 2: Σήμα ΠΑΟΚ σε 3D μορφή



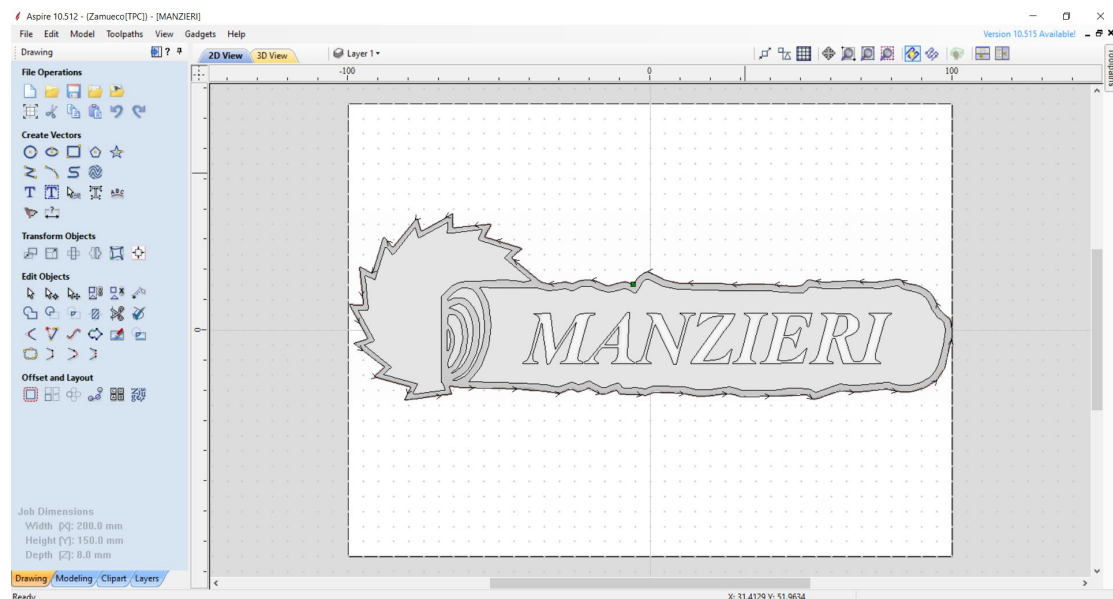
Σχήμα 4.18: Σχέδιο 2 σε CAD μορφή

Σχέδιο 3: Σχεδιασμός Αστεριού



Σχήμα 4.19: Σχέδιο 3 σε CAD μορφή

Σχέδιο 4: Σήμα Μανζιέρι



Σχήμα 4.20: Σχέδιο 4 σε CAD μορφή

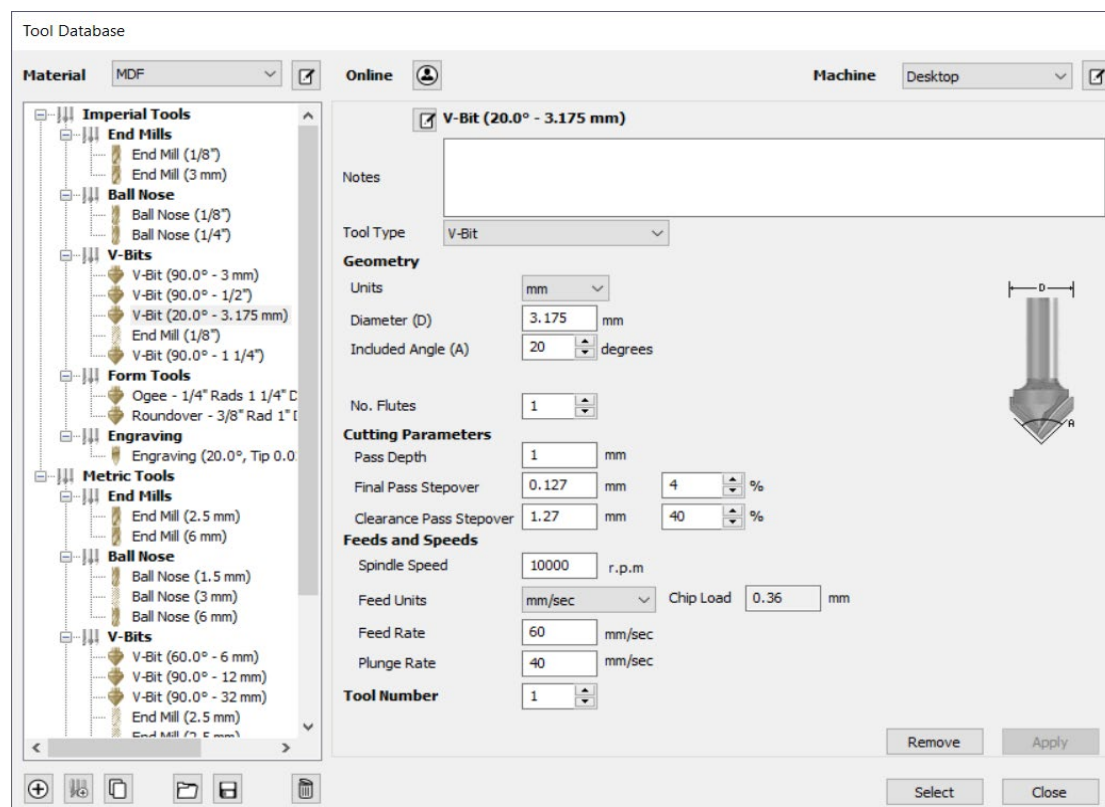
Τέλος στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ορίζουμε στην αρχή τις διαστάσεις που έχει το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε, όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τις συνολικές διαστάσεις που έχει το CNC και του τερματικούς διακόπτες που είναι τοποθετημένοι σε όλους τους άξονες, οι οποίοι περιορίζουν την επιφάνεια που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιούμε έχει διαστάσεις 300x180x45mm όμως λόγω των τερματικών διακοπών περιορίζονται οι διαστάσεις που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Στα περισσότερα σχέδια οι διαστάσεις που χρησιμοποιώ είναι 250x100x16mm.

4.2.2. Επιλογή κοπτικών Μέσων

Για το σχέδιο 1 χρησιμοποίησα το:

Κοπτικό νούμερο 1: Γραφίδα χάραξης (Engraving)

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιώ την γραφίδα χάραξης γιατί σχεδιάζω σε μια διάσταση, στην ουσία χαράσσω το σχέδιο πάνω στο MDF. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γραφίδας.

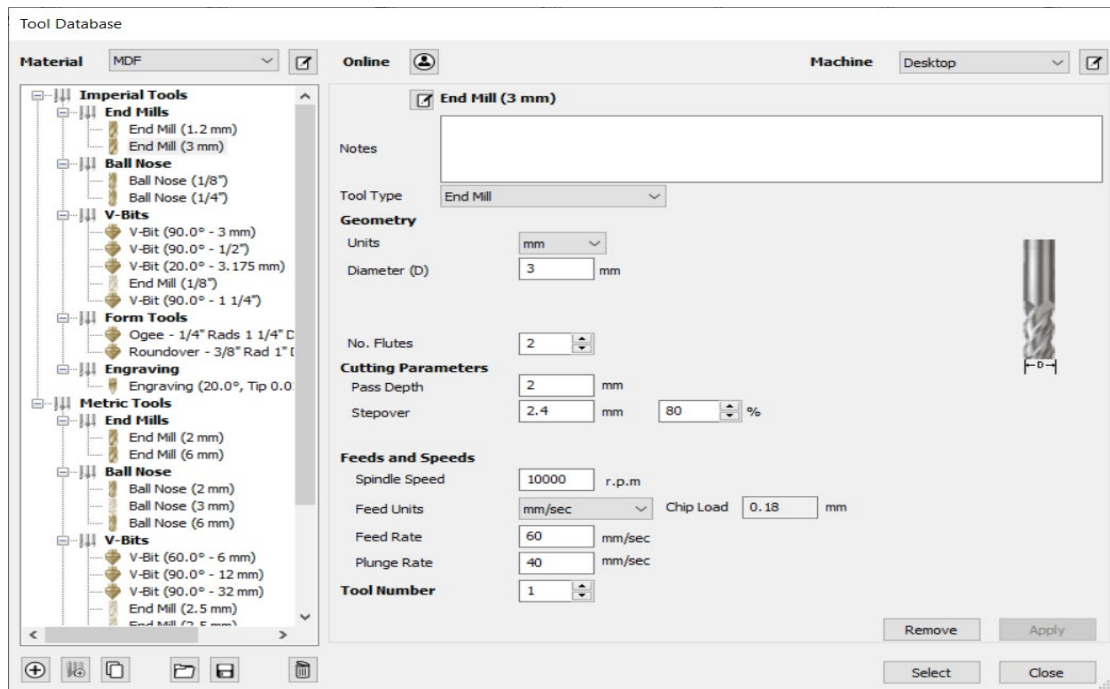


Σχήμα 4.21: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γραφίδας

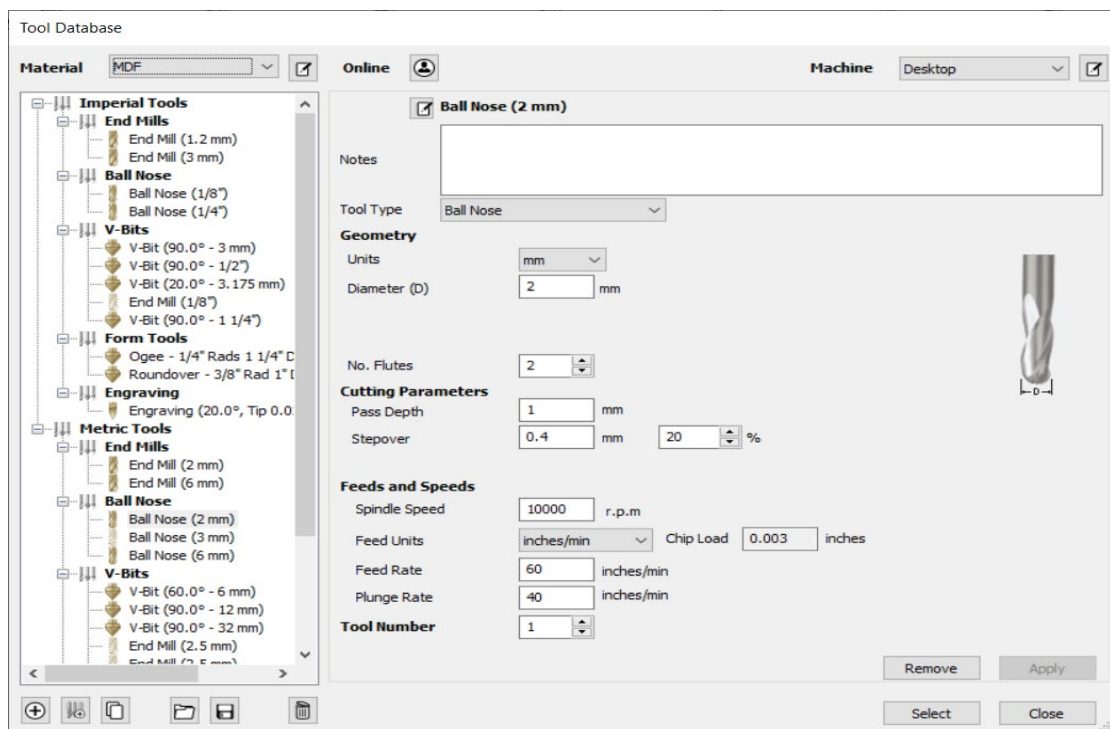
Για το σχέδιο 2 χρησιμοποίησα δύο κοπτικά το:

Κοπτικό νούμερο 2: Roughing End mill και το Κοπτικό νούμερο 3: Ball End mill

Σε αυτή την περίπτωση που σχεδιάζω σε τρεις διαστάσεις χρησιμοποίησα δύο κονδύλια, πρώτα χρησιμοποίησα το Roughing End mill για το πρόγραμμα 3D Roughing, γιατί ήθελα να αφαιρέσω μεγάλη ποσότητα υλικού γρήγορα, οπότε έπρεπε να χρησιμοποιήσω ένα κονδύλι με μεγάλη διάμετρο κοπής. Μετά για το πρόγραμμα 3D Finish χρησιμοποίησα το κονδύλι Ball End mill, γιατί ήθελα να πετύχω την λεπτομέρεια του 3D σχεδιασμού. Όπως παρατηρούμε από τις παρακάτω εικόνες το κονδύλι Roughing End mill το έχω βάλει να δουλεύει με ταχύτητα 80%, γιατί θέλω να αφαιρέσει μεγάλη ποσότητα υλικού χωρίς μεγάλη ακρίβεια και ξέρουμε ότι λόγω της μεγάλης διαμέτρου κοπής που έχει, μπορεί να αντέξει σε υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Ενώ το κονδύλι Ball End mill το έβαλα να δουλέψει με ταχύτητα 20%, γιατί θέλω να πετύχω την τέλεια λεπτομέρεια του 3D σχεδιασμού.



Σχήμα 4.22: Κονδύλι Roughing End mill



Σχήμα 4.23: Κονδύλι Ball End mill

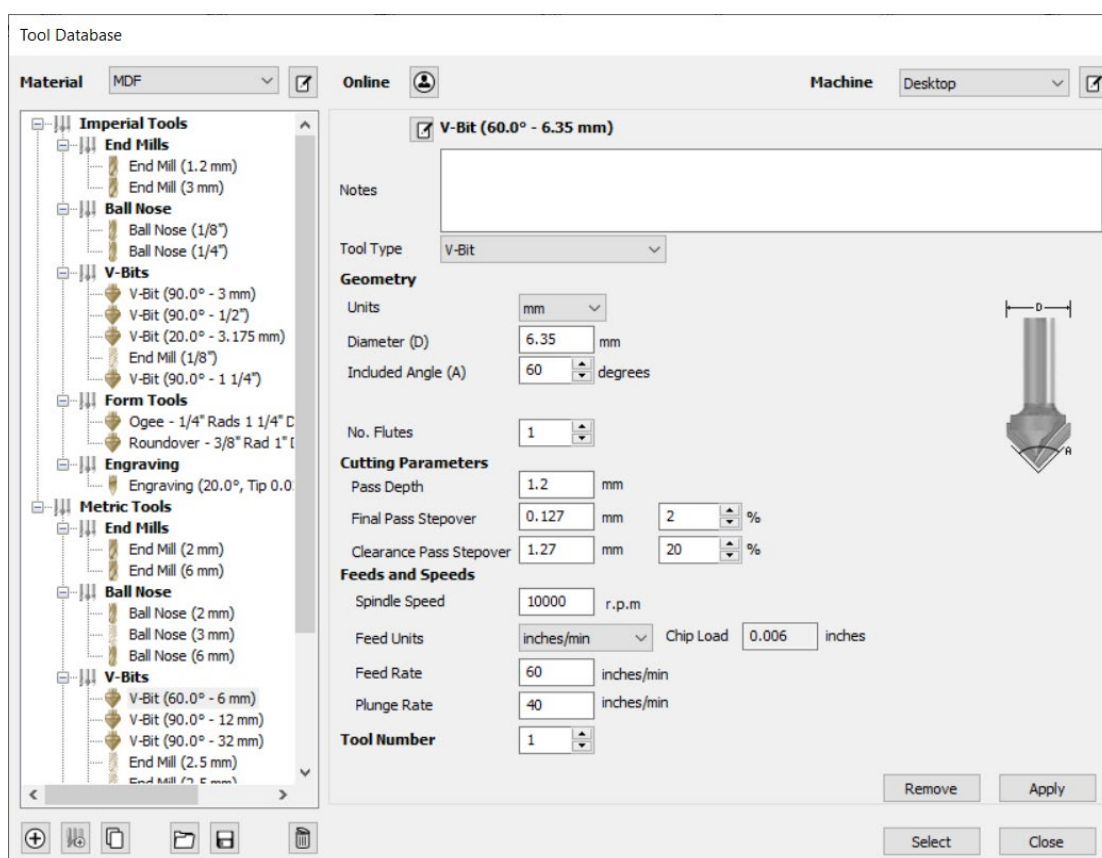
Για το σχέδιο 3 χρησιμοποίησα τα ίδια κοπτικά με το σχέδιο 2 το:
Κοπτικό νούμερο 2: Roughing End mill και το Κοπτικό νούμερο 3: Ball End mill

Χρησιμοποίησα ίδια κοπτικά με το προηγούμενο σχέδιο για τους ίδιους ακριβώς λόγους.

Για το σχέδιο 4 χρησιμοποίησα δύο κοπτικά στην πρώτη περίπτωση το:
Κοπτικό νούμερο 2: Roughing End mill και το Κοπτικό νούμερο 4: Κοπτικό τύπου V-Bit.

Όμως στην δεύτερη περίπτωση όταν επεξεργάστηκα όλη την επιφάνεια του υλικού χρησιμοποίησα το Κοπτικό νούμερο 2: Roughing End mill και το Κοπτικό νούμερο 3: Ball End mill για να μπορέσω να πετύχω πιο καλό τελείωμα (φινίρισμα) στην επιφάνεια του υλικού.

Σε αυτή την περίπτωση που σχεδίασα σε τρεις διαστάσεις χρησιμοποίησα όπως και πριν δύο κονδύλια, πρώτα χρησιμοποίησα το Roughing End mill για το πρόγραμμα 3D Roughing, γιατί ήθελα να αφαιρέσω μεγάλη ποσότητα υλικού γρήγορα, οπότε έπρεπε να χρησιμοποιήσω ένα κονδύλι με μεγάλη διάμετρο κοπής. Μετά για το πρόγραμμα 3D Finish χρησιμοποίησα το κονδύλι τύπου V-Bit, γιατί ήθελα να πετύχω την λεπτομέρεια των 3D γραμμάτων. Αυτό το κονδύλι έχει μεγαλύτερη διάμετρο άξονα από τα άλλα κονδύλια που χρησιμοποίησα, για να μπορέσω να το χρησιμοποιήσω άλλαξα το τσοκ της ατράκτου που ήταν 3.175mm χρησιμοποίησα τσοκ με διάμετρο 6.35mm. Όπως είδαμε και προηγουμένως το κονδύλι Roughing End mill το έχω βάλει να δουλεύει με ταχύτητα 80%, γιατί θέλω να αφαιρέσει μεγάλη ποσότητα υλικού χωρίς μεγάλη ακρίβεια και ξέρουμε ότι λόγω της μεγάλης διαμέτρου κοπής που έχει, μπορεί να αντέξει σε υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Ενώ το κονδύλι τύπου V-Bit το έβαλα να δουλέψει με ταχύτητα 20%, γιατί θέλω να πετύχω την τέλεια λεπτομέρεια των 3D γραμμάτων.



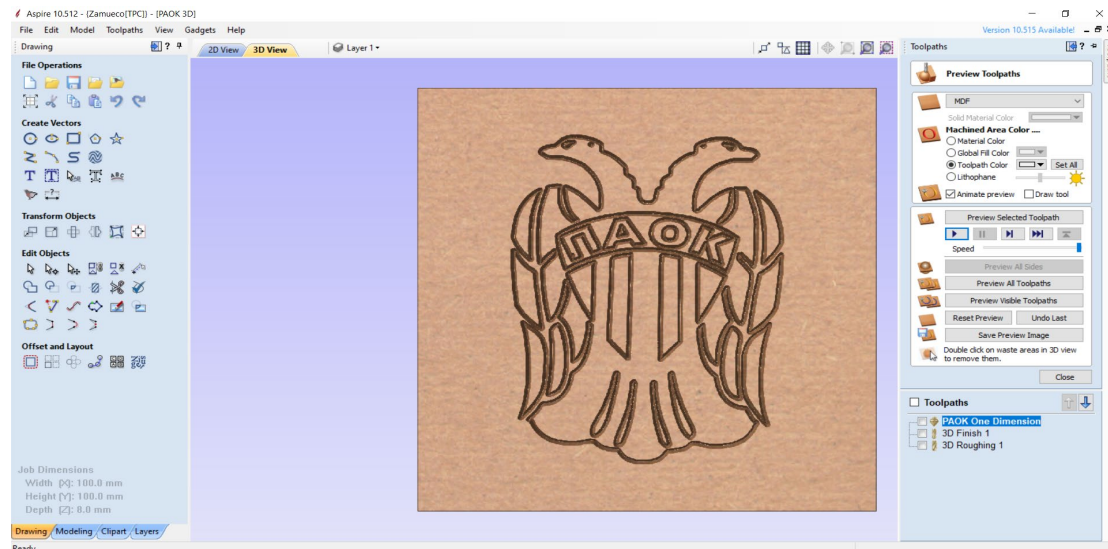
Σχήμα 4.24: Κονδύλι τύπου V-Bit

4.2.3. Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Σε αυτή την ενότητα θα δούμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του κάθε σχεδίου

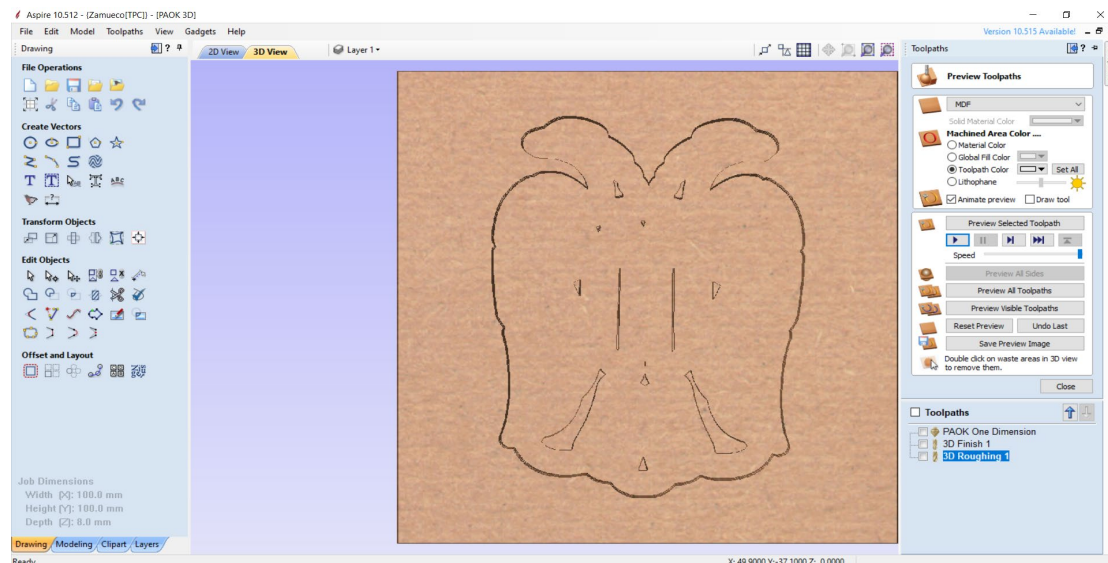
Για το σχέδιο 1 έχουμε ορίσει το πάχος του MDF να είναι 16mm, χαράξαμε μέχρι 2mm βάθος με δύο περάσματα, κάναμε 1mm βάθος σε κάθε πέρασμα.

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης επιλέγουμε τον τρόπο που θα γίνει η σχεδίαση. Πηγαίνουμε στο Toolpaths στην επιλογή Machining Limit Boundary και επιλέγουμε το Selected Vector για να επεξεργαστούμε μόνο το διάνυσμα του σχεδίου. Ενώ άμα επιλέξουμε το material Boundary θα επεξεργαστούμε όλη την επιφάνεια που έχουμε ορίσει με αποτέλεσμα η εργαλειομηχανή να χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να ολοκληρώσει την διαδικασία.

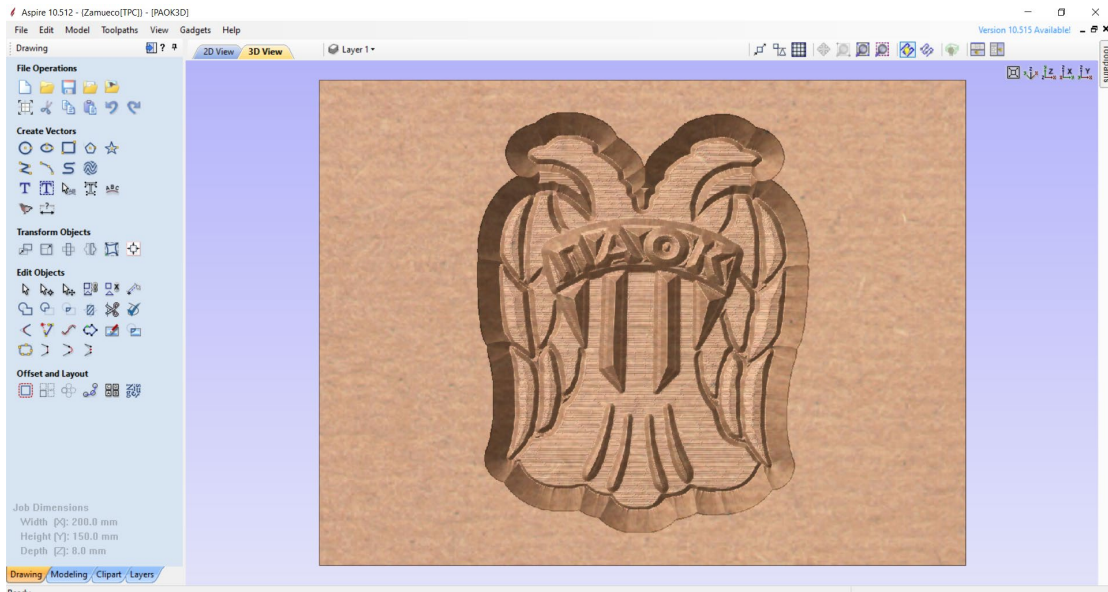


Σχήμα 4.25: Αποτέλεσμα προσομοίωσης σχεδίου 1

Για το σχέδιο 2 έχουμε ορίσει το πάχος του MDF να είναι 16mm τρέχουμε πρώτα το πρόγραμμα 3D Roughing και βλέπουμε ότι δημιουργείται το σήμα του σχεδίου, μετά τρέχουμε το 3D Finish και παίρνουμε με λεπτομέρεια το 3D σήμα με βάθος κοπής 6mm. Το βάθος κοπής που θέλουμε να έχει το σχέδιο το ορίζουμε κάθε φορά εμείς όταν δηλώνουμε τις διαστάσεις του υλικού που χρησιμοποιούμε στο material Setup στην επιλογή Modeling Plane Z.

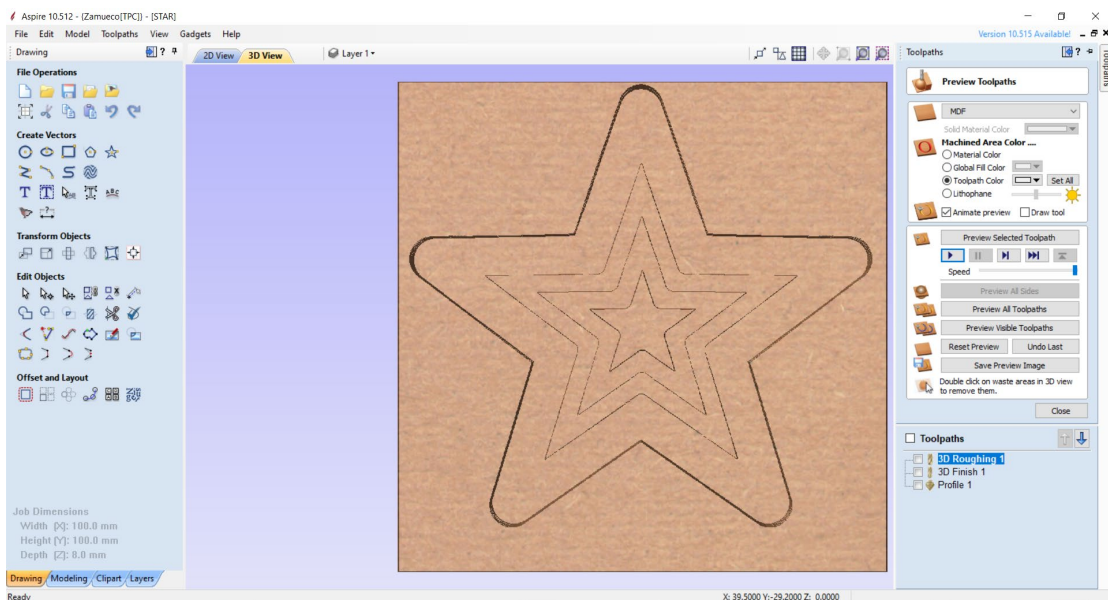


Σχήμα 4.26: Αποτέλεσμα 3D Roughing σχεδίου 2

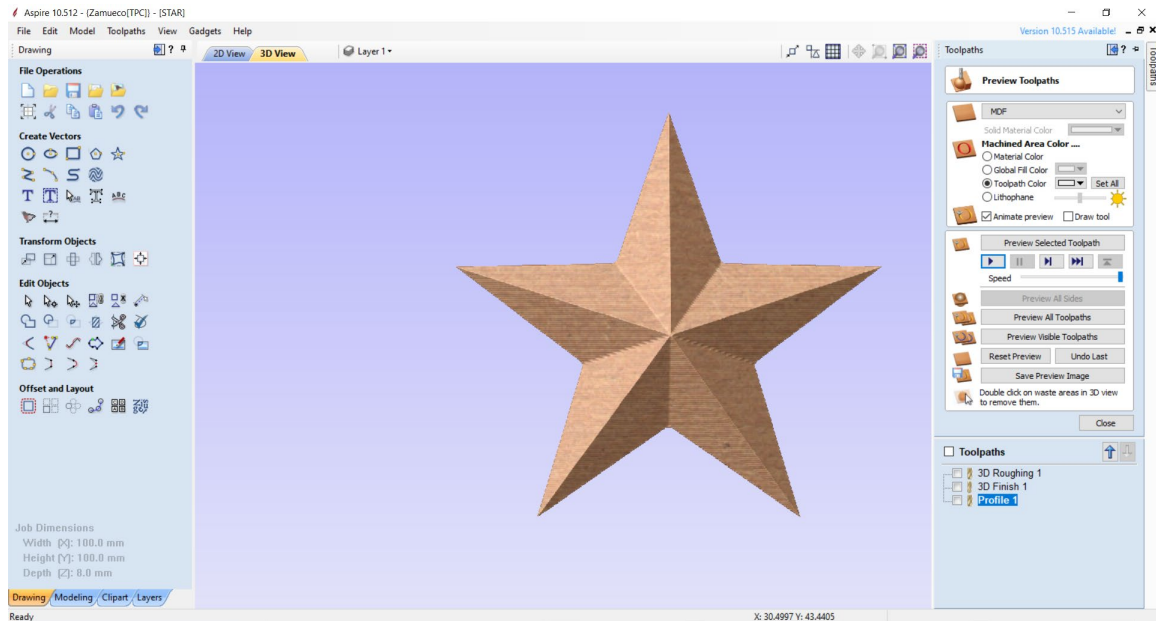


Σχήμα 4.27: Αποτέλεσμα 3D Finish σχεδίου 2

Για το σχέδιο 3 έχουμε ορίσει το πάχος του MDF να είναι 8mm σε αυτό το σχέδιο χρησιμοποιούμε πιο λεπτό MDF για να μπορούμε να πάρουμε μόνο το σχέδιο του αστεριού, τρέχουμε πρώτα το πρόγραμμα 3D Roughing και παίρνουμε τέσσερα αστερία με διαφορετικές διαστάσεις μήκους, ύψους και πλάτους, μετά τρέχουμε το 3D Finish και παίρνουμε το τελικό 3D σχέδιο με συνολικό βάθος κοπής 8mm και βλέπουμε ότι έχει ξεχωρίσει το 3D σχέδιο του αστεριού από το υπόλοιπο υλικό.



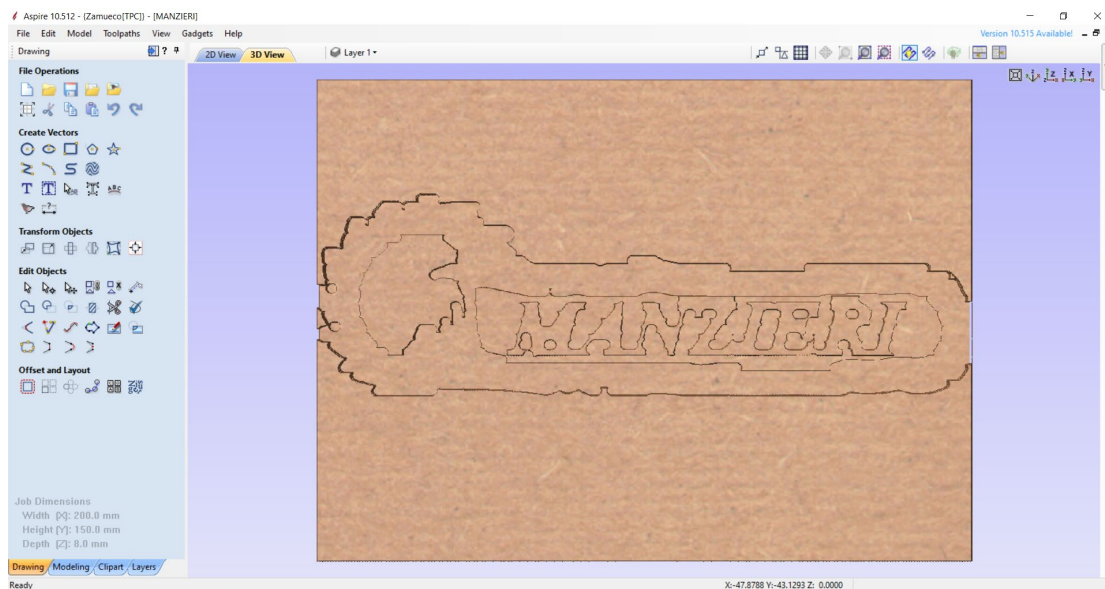
Σχήμα 4.28: Αποτέλεσμα 3D Roughing σχεδίου 3



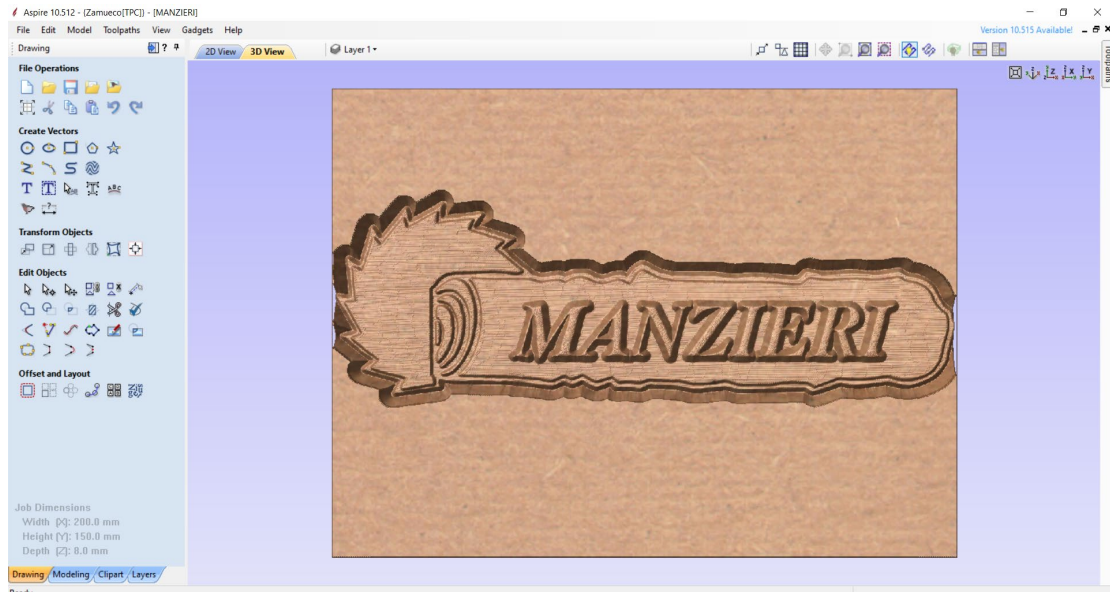
Σχήμα 4.29: Αποτέλεσμα 3D Finish σχεδίου 3

Περίπτωση 1

Για το σχέδιο 4 έχουμε ορίσει το πάχος του MDF να είναι 16mm τρέχουμε πρώτα το πρόγραμμα 3D Roughing για να αφαιρέσουμε γρήγορα το υλικό και να δημιουργηθεί πρόχειρα το σχέδιο, μετά τρέχουμε το 3D Finish και παίρνουμε με μεγάλη λεπτομέρεια το σήμα σε μορφή 3D με συνολικό βάθος κοπής 7mm.



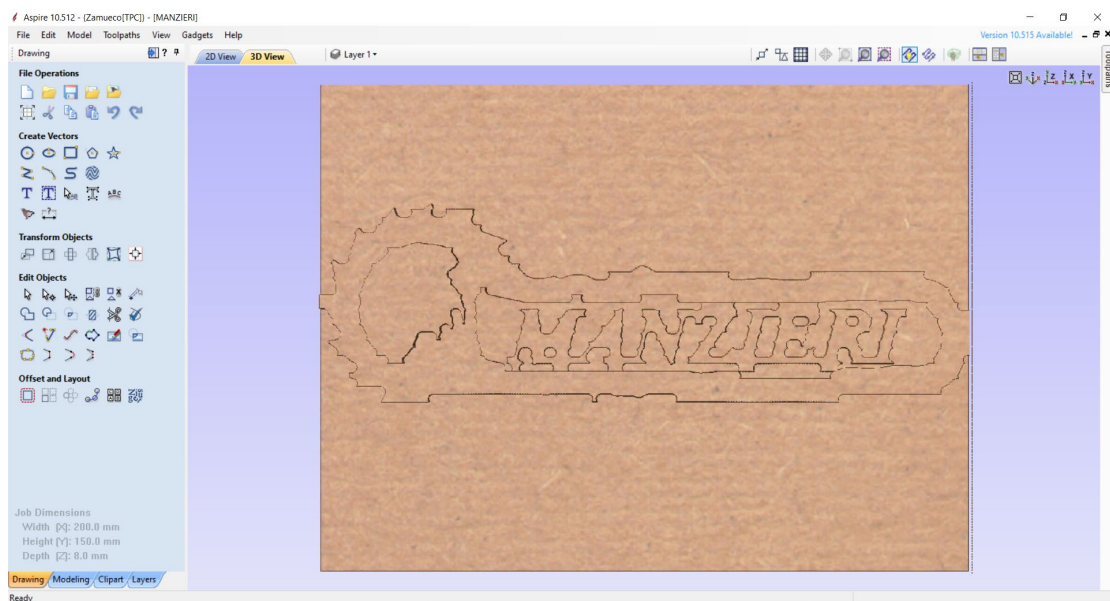
Σχήμα 4.30: Αποτέλεσμα 3D Roughing σχεδίου 4



Σχήμα 4.31: Αποτέλεσμα 3D Finish σχεδίου 4

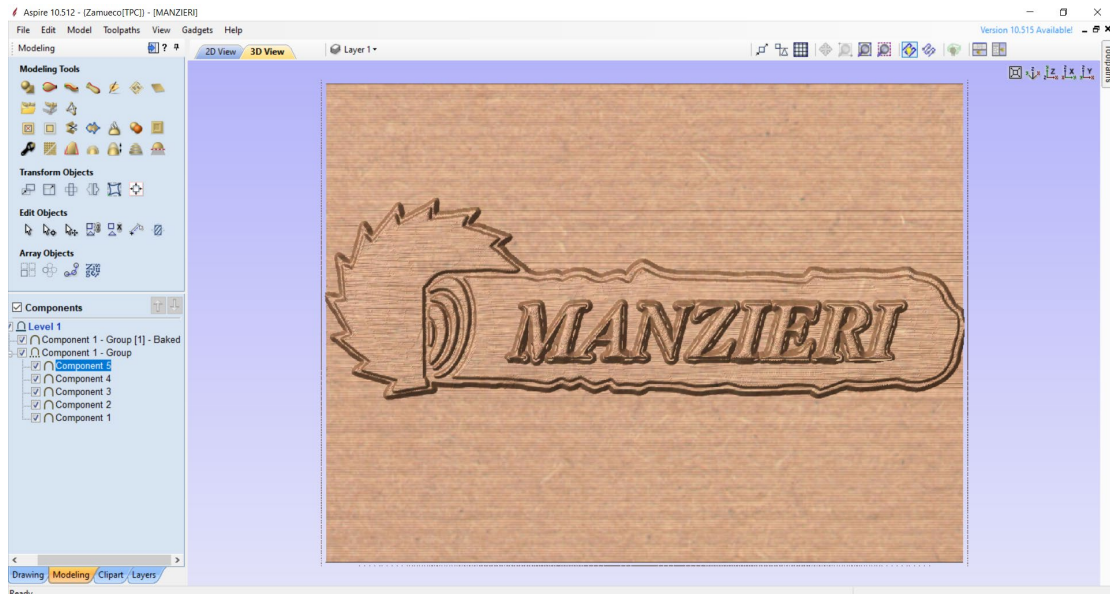
Περίπτωση 2

Για το σχέδιο 4 χρησιμοποίησα έναν άλλον τρόπο επεξεργασίας, χρησιμοποίησα στο Machining Limit Boundary την επιλογή Material Boundary, αυτό σημαίνει ότι επιλέγουμε να επεξεργαστούμε όλη την επιφάνεια του υλικού που έχουμε ορίσει, όπως αναφέραμε και πριν. Δηλαδή δεν αλλάζουμε το σχέδιο αλλάζουμε μόνο τρόπο επεξεργασίας του σχεδίου.



Σχήμα 4.32: Αποτέλεσμα 3D Roughing σχεδίου 4

Όπως παρατηρούμε σε αυτό το σχέδιο έχει γίνει επεξεργασία σε όλη την επιφάνεια του υλικού με μεγάλη λεπτομέρεια και το τελικό αποτέλεσμα του 3D Finish είναι πολύ διαφορετικό από το προηγούμενο που είχαμε στην περίπτωση 1.



Σχήμα 4.33: Αποτέλεσμα 3D Finish σχεδίου 4

4.2.4. Αποτελέσματα του CNC

Σε αυτή την ενότητα θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα σχεδίασης του CNC με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που είδαμε παραπάνω.

Για το σχέδιο 1 βλέπουμε ότι αποτέλεσμα είναι πολύ παρόμοιο με το αποτέλεσμα της προσομοίωσης και το βάθος κοπής είναι όπως το ορίσαμε στην προσομοίωση 2mm.



Σχήμα 4.34: Αποτέλεσμα σχεδίου 1

Για το σχέδιο 2 παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα είναι αρκετά καλό και το βάθος κοπής είναι όπως περιμέναμε 6mm.



Σχήμα 4.35: Αποτέλεσμα 3D Finish

Για το σχέδιο 3 παρατηρούμε ότι το βάθος κοπής είναι μέχρι 7mm όταν τρέχουμε το πρόγραμμα 3D Roughing και όταν τρέξουμε το 3D Finish το βάθος κοπής φτάνει μέχρι 8mm, όπως είδαμε και στην προσομοίωση, για να μπορέσουμε να το κόψουμε όλο και να πάρουμε μόνο το αστέρι.



Σχήμα 4.36: Αποτέλεσμα 3D Roughing



Σχήμα 4.37: Αποτέλεσμα 3D Finish

Για το σχέδιο 4 παρατηρούμε ότι παίρνουμε το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό που πήραμε στην προσομοίωση για το πρόγραμμα 3D Roughing και για το πρόγραμμα 3D Finish και το τελικό βάθος κοπής είναι 7mm. Επίσης παρατηρούμε ότι τα γράμματα αρκετά καλά σε μορφή 3D και έχουν ύψος 4mm όπως τα είχαμε ορίσει στο πρόγραμμα CAD.



Σχήμα 4.38: Αποτέλεσμα 3D Finish

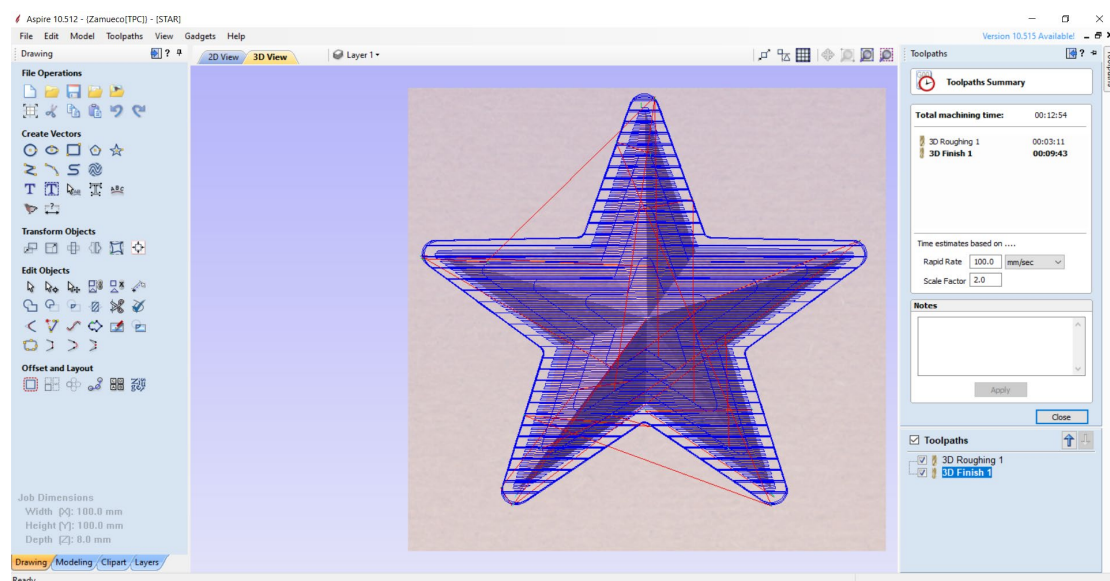
Τέλος για το σχέδιο 4 όταν επιλέγουμε να επεξεργαστούμε όλη την επιφάνεια του υλικού βλέπουμε ότι το αποτέλεσμα είναι πολύ καλό. Σε αυτό το σχέδιο χρησιμοποίησα μεγαλύτερη επιφάνεια MDF σε σχέση με αυτήν που όρισα ότι θα χρησιμοποιήσω για να μπορέσω να τονίσω των διαφορά του MDF που δέχθηκε επεξεργασία και αυτού που δεν δέχθηκε για να δούμε το πόσο λείο φινίρισμα έκανε το κοπτικό Ball End mill πάνω στην επιφάνεια του υλικού.



Σχήμα 4.39: Αποτέλεσμα 3D Finish

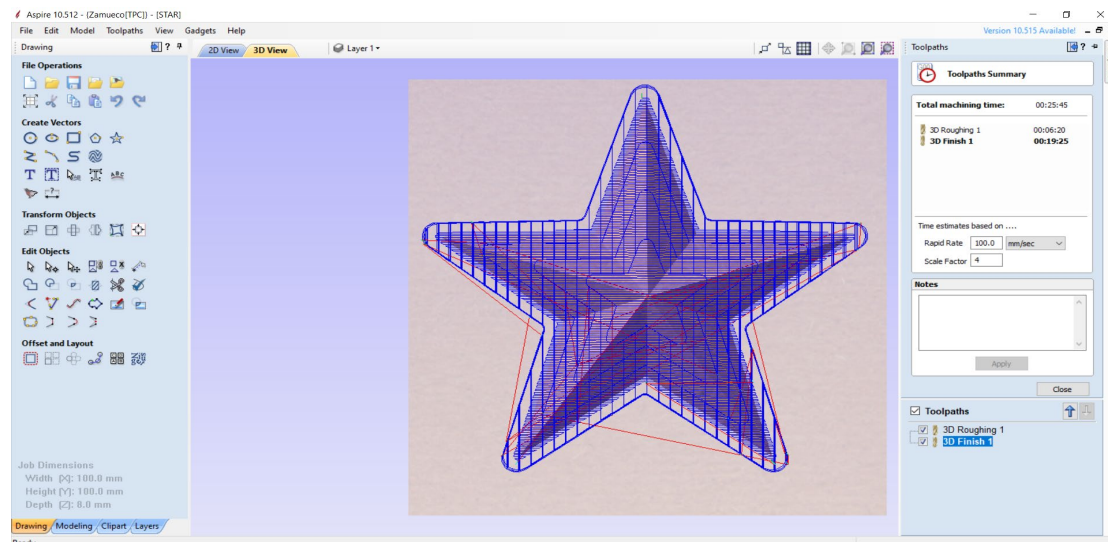
4.2.5. Διάρκεια ολοκλήρωσης του σχεδίου

Το πρόγραμμα Aspire στο λογισμικό CAM μας δίνει την δυνατότητα να δούμε τον χρόνο που θα χρειαστεί το CNC για να εκτελέσει το κάθε πρόγραμμα που θα του δώσουμε. Για παράδειγμα βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα ότι για να εκτελέσει το CNC το πρόγραμμα 3D Roughing θα χρειαστεί 3 λεπτά και 11 δευτερόλεπτα, ενώ για το πρόγραμμα 3D Finish θα χρειαστεί 9 λεπτά και 43 δευτερόλεπτα. Όμως αυτοί οι χρόνοι που μας δίνει κάθε φορά εξαρτώνται από το Scale Factor που είναι ο παράγοντας κλίμακας, σε αυτή την περίπτωση το Scale Factor έχει την τιμή 2.



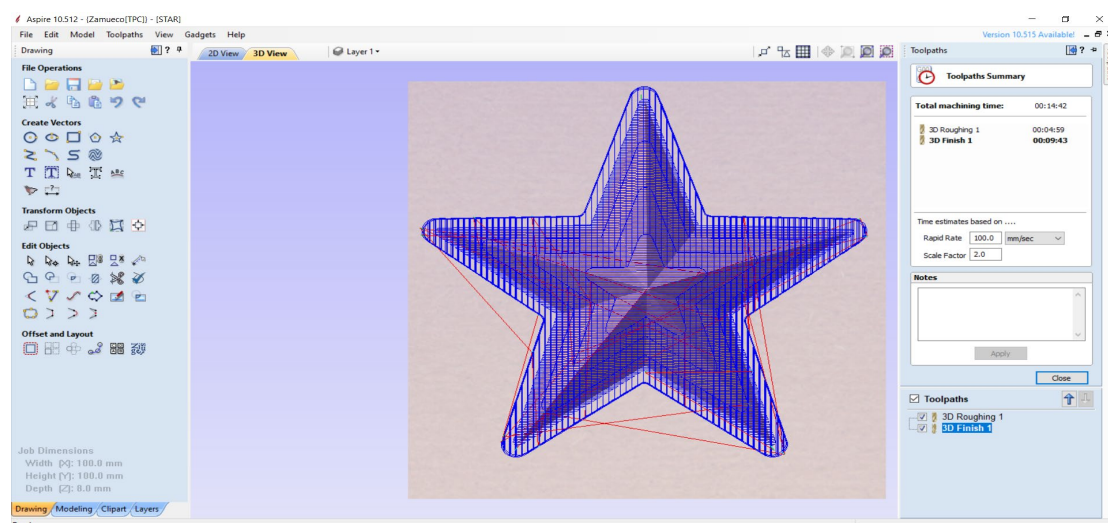
Σχήμα 4.40: Διάρκεια εκτέλεσης προγραμμάτων

Όπως παρατηρούμε στην παρακάτω εικόνα όταν δώσουμε στο Scale Factor την τιμή 4 βλέπουμε ότι αλλάζουν οι χρόνοι διεργασίας των προγραμμάτων για το 3D Roughing θα χρειαστεί 6 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα, ενώ για το 3D Finish θα χρειαστεί 19 λεπτά και 25 δευτερόλεπτα. Επίσης αυτό που παρατήρησα όταν έτρεχα προγράμματα στο CNC ήταν ότι οι χρόνοι που έκανε το CNC να εκτελέσει τις διεργασίες ήταν οι χρόνοι που μας έδινε η προσομοίωση για Scale Factor=4.

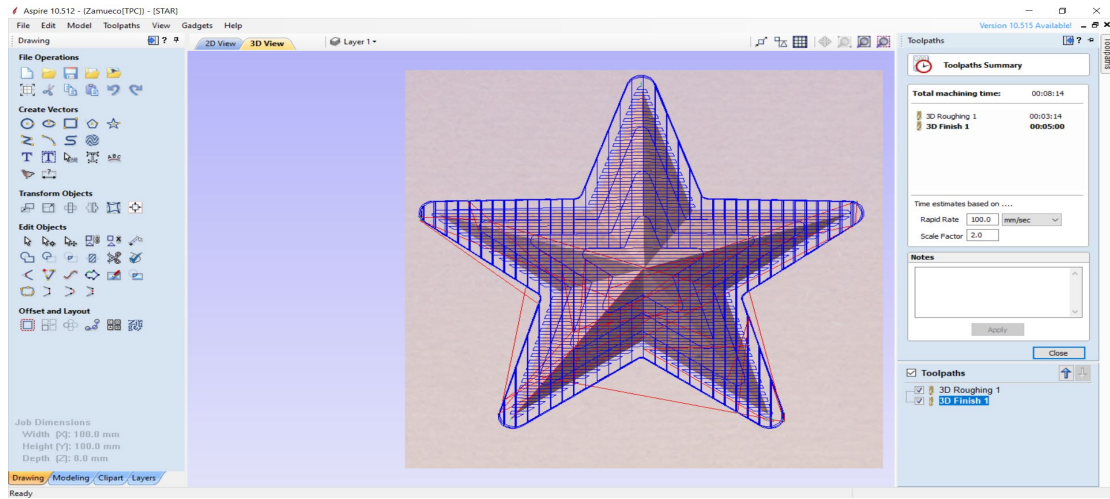


Σχήμα 4.41: Διάρκεια εκτέλεσης προγραμμάτων

Τέλος ένας άλλος παράγοντας που αλλάζει την ταχύτητα επεξεργασίας του προγράμματος είναι η ταχύτητα που θα ορίσουμε να έχει το κοπτικό για παράδειγμα άμα βάλουμε το κοπτικό να δουλεύει με $\text{stepover } 40\%$ στο 3D Roughing και 20% στο 3D Finish με Scale Factor=2 θα χρειαστεί για να ολοκληρώσει την διαδικασία τους χρόνους που βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, ενώ άμα δώσουμε στο stepover την τιμή 80% για το Roughing και την τιμή 20% για το Finish με Scale Factor=2 θα εκτελέσει τα προγράμματα γρηγορότερα όπως βλέπουμε στο σχήμα 4.43. Όμως πολλές φορές όταν αλλάζουμε το stepover και το δώσουμε μεγάλη τιμή το κοπτικό θα πάει να τρέξει πιο γρήγορα, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις που το κοπτικό δεν μπορεί να υποστηρίξει τόσο υψηλές ταχύτητες να μην γίνει καλά η σχεδίαση.



Σχήμα 4.42: Διάρκεια εκτέλεσης προγραμμάτων



Σχήμα 4.43: Διάρκεια εκτέλεσης προγραμμάτων

Κεφάλαιο 5

5.1. Δυσκολίες κατά την υλοποίηση

Οι σημαντικότερες δυσκολίες που αντιμετώπισα στην υλοποίηση αυτής της εργασίας ήταν η εύρεση των κατάλληλων προγραμμάτων (CAD, CAM, Control Software) προκειμένου να εκμεταλλευτώ όλες τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής. Μια άλλη δυσκολία που αντιμετώπισα στην αρχή ήταν η εύρεση του κατάλληλου CNC που έπρεπε να αγοράσω, ώστε να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του λογισμικού control software με την ηλεκτρονική πλακέτα του CNC. Τέλος ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετώπισα ήταν η εκμάθηση και η κατανόηση του προγράμματος Aspire σε συνδυασμό με τον χειρισμό της εργαλειομηχανής CNC.

5.2. Μελλοντικές βελτιώσεις

Οι μελλοντικές βελτιώσεις που μπορούμε να κάνουμε σε αυτήν την εργαλειομηχανή είναι αρκετές, αλλά απαιτούν μεγάλη δαπάνη χρημάτων. Η πρώτη βελτίωση που μπορούμε να κάνουμε είναι να αγοράσουμε μια άτρακτο (spindle) η οποία έχει την δυνατότητα να κινείται με ταχύτητα 20.000 rpm, ώστε να μπορέσουμε να υλοποιήσουμε το σχέδιο μας γρηγορότερα. Τέλος μια άλλη βελτίωση που μπορούμε να κάνουμε είναι να αλλάξουμε την πλακέτα ελέγχου GRBL που έχει η εργαλειομηχανή και να τοποθετήσουμε μια πλακέτα ελέγχου Mach3 που χρησιμοποιείται πιο επαγγελματικά, όμως αυτό απαιτεί και την χρησιμοποίηση του λογισμικού ελέγχου Mach3.

5.3. Συμπεράσματα

Τελειώνοντας την έρευνα και τον προγραμματισμό της εργαλειομηχανής, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι για να ασχοληθεί κάποιος με αυτό το αντικείμενο και να ξεκινήσει με τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό ενός τέτοιου μηχανήματος θα πρέπει να αφιερώσει αρκετό χρόνο στην αναζήτηση πληροφοριών που παρέχονται μέσω διαδικτύου, ώστε να επιλέξει το κατάλληλο μηχάνημα που χρειάζεται ανάλογα με τις κατεργασίες που θέλει να κάνει, προκειμένου να αποφύγει την άσκοπη σπατάλη χρημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΗΓΕΣ – ΚΕΙΜΕΝΟ

- 1) <https://www.robotics.com/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B7/>
- 2) <https://www.mokotechnology.com/el/what-is-cnc/>
- 3) <https://www.jtproto.com/el/what-is-cnc-machining-and-how-cnc-machining-works/>
- 4) <https://www.3erp.com/blog/advantages-of-cnc-machining-and-milling/>
- 5) <https://clubtechnical.com/cnc-machine>
- 6) https://www.leapion.com/amp/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-CNC-machining-id3928649.html?gelid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7_Nr3AbwkNfMPPrIRQ4dGqjdbcreCYdmV_FYf_bLNQRc7Ez7TxAfXoCDIcQAvD_BwE
- 7) <https://www.condormachinery.com/what-exactly-is-machining-types-tools-techniques/>
- 8) <https://www.penntoolco.com/blog/11-types-of-machines-used-in-metal-working-industries/>
- 9) [https://en.wikipedia.org/wiki/Spindle_\(tool\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spindle_(tool))
- 10) <https://www.getcert.gr/pos-leitourgei-to-stepper-motor/>
- 11) https://www.tokalo.gr/Stepper_motors.html
- 12) <https://www.solisplc.com/servo-motor>
- 13) http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Unipolar_Stepper_Motor_Driver_Circuit
- 14) <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/stepper-motor-driver>
- 15) https://atmsolutions.pl/eng/newsroom/details/uklady_przeniesienia_napedu_w_maszy_nach_cnc
- 16) <https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/what-is-cad/>
- 17) <https://howtomechatronics.com/tutorials/g-code-explained-list-of-most-important-g-code-commands/>
- 18) <https://wikifactory.com/+mekanika/stories/what-is-the-best-cnc-control-software>
- 19) <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>
- 20) <https://www.cncmasters.com/the-ultimate-buyers-guide-to-purchasing-a-cnc-router/>
- 21) <https://www.mybrightonandhove.org.uk/topics/technology/inventions/technology>
- 22) <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>
- 23) <https://www.sainsmart.com/products/genmtisu-grbl-controller-board-for-3018-prover-3018-mx3>
- 24) <https://www.sainsmart.com/products/controller-board-for-genmtisu-cnc-router-3018-3018-pro-1810-rpo>
- 25) <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>
- 26) https://www.researchgate.net/publication/281936470_Model_Identification_Updating_and_Validation_of_an_Active_Magnetic_Bearing_High-Speed_Machining_Spindle_for_Precision_Machining_Operation/figures?lo=1
- 27) https://www.china-machining.com/blog/9-types-of-tools-used-in-cnc-machines/?fbclid=IwAR0YSV-cWKn_3vaStQP3C45_4-U5iPc9CIG6KlNkO5jpbMmiHlPnYGytSno
- 28) <https://www.mekanika.io/blog/learn-1/end-mill-selection-guide-4>

ΠΗΓΕΣ – ΕΙΚΟΝΕΣ

- 1) <https://www.sainsmart.com/products/sainsmart-genmitsu-cnc-router-3018-pro-diy-kit>
- 2) <https://www.mokotechnology.com/el/what-is-cnc/>
- 3) <https://todaysmachiningworld.com/magazine/origins-a-break-from-the-grind/>
- 4) <https://microsol.gr/products/lynx-2100-orizontios-tornos-cnc/>
- 5) <https://www.china-machining.com/blog/what-is-a-cnc-laser-cutter/>
- 6) <https://www.dk.tools/%CF%86%CF%81%CE%AD%CE%B6%CE%B5%CF%82-cnc>
- 7) <https://www.cnccookbook.com/cnc-spindle-mill/>
- 8) <https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82>
- 9) https://www.tokalo.gr/Stepper_motors.html
- 10) <https://learnmech.com/what-is-stepper-motor-types-application-advantages/>
- 11) <https://blog.orientalmotor.com/the-choice-between-servo-motors-and-stepper-motors>
- 12) <https://www.orientalmotor.com/servo-motors/technology/servo-motor-glossary.html>
- 13) <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/stepper-motor-driver>
- 14) <https://www.aliexpress.com/item/4001037422153.html>
- 15) <https://www.ubuy.dk/en/product/1P849RDS-rattmmotor-4axis-mach3-usb-stepper-motor-controller-board-cnc-motion-control-card-for-cnc-rounting-e>
- 16) https://gr.banggood.com/Fanensheng-3018-Pro-3-Axis-Mini-DIY-CNC-Router-Adjustable-Speed-Spindle-Motor-Wood-Engraving-Machine-Milling-Engraver-p-1463876.html?cur_warehouse=CZ
- 17) <https://www.allwood.co.uk/new-machinery/cnc-routers/masterwood-project-210-cnc-router>
- 18) <https://www.torgoscnc.gr/en/product/cnc-6040>
- 19) <https://www.engineeringchoice.com/what-is-rack-and-pinion/>
- 20) https://fab.cba.mit.edu/classes/865.21/topics/mechanical_design/transmissions/
- 21) https://www.researchgate.net/publication/339324818_A_review_on_vibration_analysis_and_control_of_machine_tool_feed_drive_systems/figures?lo=1
- 22) <https://www.sainsmart.com/products/cnc-linear-stage-actuator-with-nema17-stepper-motor>
- 23) <https://www.toolsonline.gr/el/kondylia-xoris-trypa/kondyli-10-mm--xoris-trypa--tetraftero-hsse-8-kobaltiou-izar-901:v-8424448463258.html>
- 24) <https://www.aliexpress.com/item/32979565415.html>
- 25) <https://www.rands.co.nz/product/90023/vortex-3187xp-1-2-x-1-de-mortise-xp-viper>
- 26) <https://www.ewequipment.co.uk/products/20mm-long-length-high-performance-end-mill-6-flute-europa-tool-mastermill-1753292000>
- 27) <https://www.indiamart.com/proddetail/ball-nose-end-mill-11886497362.html>
- 28) <https://www.rands.co.nz/product/82567/vortex-series-3185xp-cb-two-flute-compression-spiral>
- 29) <https://www.rands.co.nz/product/86368/vortex-1-2-x-1-4-flute-phenolic-with-chipbreakers>
- 30) <https://www.rands.co.nz/product/82576/vortex-series-3700-solid-carbide-engraving-bits>
- 31) <https://cnccat.com/index.php?id=2&productid=2350&catid=77&subcatid=&lang=gr>
- 32) <https://www.pavlatos-tools.gr/exartimata/diskoi-kopis>
- 33) <https://moulding.gr/alfasolid-solidworks-2020/>
- 34) <https://www.javatpoint.com/autocad-display>
- 35) <https://howtomechatronics.com/tutorials/g-code-explained-list-of-most-important-g-code-commands/>
- 36) <https://gcodetutor.com/cnc-machine-training/cnc-g-codes.html>
- 37) [Mach3-GCode-Language-Reference.pdf](https://www.mach3-gcode.com/Mach3-GCode-Language-Reference.pdf)

- 38) <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>
- 39) <https://www.solidcam.com/21/cam-solutions/cam-modules/hsm-3d-high-speed-machining/>
- 40) <https://en.bruyrubio.com/news/mastercam-machining-software/>
- 41) <https://www.avidcnc.com/mach4-cnc-control-software-p-165.html>
- 42) <https://mellowpine.com/cnc/best-cnc-grbl-controllers-for-hobbyists/>
- 43) <https://bulkman3d.com/product/sfs1204-sfs1210-ball-screw-kit-sfs-series-low-noise-transmission/>
- 44) <http://www.puritoolsandsteel.com/product/carbide-ball-nose-end-mill-cutter/>