



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ
ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΕΣ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ



ΚΟΚΑΛΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘ. ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ
ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ

**Στους γονείς μου,
Κωνσταντίνο και Αθηνά**

Η εργασία αυτή αποτελεί σταθμό στα φοιτητικά μου χρόνια. Εκτός του ότι σηματοδοτεί την λήξη των σπουδών μου, με εφοδίασε με γνώσεις και εμπειρίες οι οποίες θα αποτελέσουν θεμέλια για την συνέχεια της πορείας μου. Για την ευκαιρία να καταπιαστώ με αυτό που με συναρπάζει και για την άριστη συνεργασία και επικοινωνία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο και επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αντωνιάδη Αριστομένη. Επίσης τις ευχαριστίες μου στους συναδέλφους Χará, Δημήτρη, Βαγγέλη, Γιάννη, Ιωάννα και Αιμιλία που ο καθένας με τις γνώσεις του με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία αυτή.

Στον σταθμό αυτόν, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις από καρδιάς ευχαριστίες στους ανθρώπους που συνέβαλαν όλα αυτά τα χρόνια στην πρόοδο μου. Αναφέρομαι σε όλη την οικογένεια μου και ιδιαίτερα στην πηγή έμπνευσής, τους γονείς μου, οι οποίοι με στήριξαν με το παραπάνω τόσο υλικά όσο και πνευματικά. Επίσης στους δικούς μου ανθρώπους και στους φίλους που χωρίς αυτούς τα χρόνια αυτά θα ήταν λειψά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ.....	8
2.1	Η τórνευση	8
2.2	Η κατεργασία της τórνευσης	8
2.2.1	Βασικές κατεργασίες τórνευσης.....	9
2.2.2	Συνθήκες κοπής κατά την τórνευση	10
3.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗ CTX310	11
3.1	Βασικά χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής.....	11
3.1.1	Μονάδα ελέγχου ψηφιακής καθοδήγησης	13
3.1.2	Μηδενισμός τεμαχίου.....	15
3.2	Κώδικας ψηφιακής καθοδήγησης ISO	16
3.2.1	Βασικές εντολές G κώδικα	16
3.2.2	Βασικές βοηθητικές εντολές	21
3.2.3	Βασικές μεταβλητές	21
4.	ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	23
4.1	Αφαίρεση υλικού CYCLE951	23
4.1.1	Περιγραφή του κύκλου CYCLE951	23
4.1.2	Ορίσματα του κύκλου CYCLE951	23
4.1.3	Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE951.....	25
4.1.3.1	Δοκίμιο 4	25
4.1.3.2	Δοκίμιο 5	26
4.1.3.3	Δοκίμιο 6	27
4.1.3.4	Δοκίμιο 7	28
4.1.3.5	Δοκίμιο 9	29
4.2	Δημιουργία περιγράμματος CYCLE95.....	30
4.2.1	Περιγραφή του κύκλου CYCLE95	30
4.2.2	Ορίσματα του κύκλου CYCLE95	31
4.2.3	Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE95.....	33
4.2.3.1	Δοκίμιο 18	33
4.2.3.2	Δοκίμιο 19	34
4.2.3.3	Δοκίμιο 23	35
4.2.3.4	Δοκίμιο 20	36
4.2.3.5	Δοκίμιο 22	38
4.3	Αυλάκωση CYCLE930	39

4.3.1 Περιγραφή του κύκλου CYCLE930	39
4.3.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE930	40
4.3.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE930.....	44
4.3.3.1 Δοκίμιο 10	44
4.3.3.2.Δοκίμιο 11	44
4.3.3.3 Δοκίμιο 12	46
4.4 Υποσκαφή CYCLE940	46
4.4.1 Περιγραφή του κύκλου	46
4.4.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE940	47
4.4.3 Παράδειγμα χρήσης του κύκλου CYCLE940	49
4.4.3.1 Δοκίμιο 13	49
4.5 Σπειροτόμηση CYCLE99.....	50
4.5.1 Περιγραφή του κύκλου	50
4.5.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE99	51
4.5.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE99.....	54
4.5.3.1 Δοκίμιο 14	54
4.5.3.2 Δοκίμιο 15	55
4.6 Διάνοξη βαθιάς οπής CYCLE83	55
4.6.1 Περιγραφή του κύκλου	55
4.6.2 Ορίσματα του κύκλου	56
4.6.3 Παράδειγμα χρήσης του κύκλου CYCLE83	58
4.6.3.1 Δοκίμιο 24	58
5. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ CAM ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ NX11	59
5.1 Περιγραφή του περιβάλλοντος CAD του λογισμικού NX11	59
5.1.1 Βασικό μενού μοντελοποίησης	59
5.1.2 Δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου	61
5.1.2.1 Σύστημα συντεταγμένων	61
5.1.2.2 Δημιουργία δισδιάστατου σχεδίου	61
5.1.2.3 Δημιουργία όγκου μέσω του δισδιάστατου σχεδίου	62
5.2 Μεθοδολογία κοπής με την χρήση CAM στο NX	66
5.2.1 Το περιβάλλον CAM.....	66
5.2.2 Προγραμματισμός κατεργασιών	68
5.3 Κατασκευή σκακιού με την χρήση του CAM	71
5.3.1 Οι συνθήκες κατεργασίας χρησιμοποιήθηκαν	72
5.3.2 Το πλάνο.....	72
5.3.3 Ο βασιλιάς.....	73

5.3.4 Ο αξιωματικός και η βασίλισσα	74
5.3.5 Ο πύργος.....	75
5.3.6 Το άλογο.....	75
5.3.7 Η σκακιάρα	77
6. ΣΥΝΟΨΗ	80
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο προγραμματισμός και η κατεργασία σε σύγχρονα ψηφιακά καθοδηγούμενες (CNC) μηχανές. Ο προγραμματισμός τους, έγινε τόσο με την χρήση του κώδικα G προγραμματισμού εργαλειομηχανών όσο και με την χρήση συστήματος ψηφιακής καθοδήγησης εργαλειομηχανών (CAM). Συγκεκριμένα, τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο κέντρο τόννευσης CTX310 ecoline, στο το κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco και την μηχανή Lasertec 40 της εταιρείας DMG. Ο σχεδιασμός και η εξαγωγή κώδικα καθοδήγησης των εργαλειομηχανών πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του συστήματος CAD/CAM του NX, προϊόν της εταιρείας SIEMENS.

Η υλοποίηση της εργασίας έλαβε τόπο στο εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης, στον τομέα Συστημάτων Παραγωγής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η εργασία απαρτίζεται από δύο βασικά σκέλη. Στο πρώτο σκέλος παρουσιάζονται οι δυνατότητες του ψηφιακά καθοδηγούμενου τόννου CTX310 ecoline με μονάδα ελέγχου ψηφιακής καθοδήγησης SINUMERIK 840D sl της SIEMENS με χρήση κώδικα G και των βασικών κύκλων κατεργασίας που διαθέτει. Στο δεύτερο σκέλος γίνεται μια σύντομη παρουσίαση τρισδιάστατης μοντελοποίησης και εξαγωγής κώδικα ψηφιακής καθοδήγησης εργαλειομηχανών με χρήση του λογισμικού NX.

Αποτέλεσμα της εργασίας ήταν οι παρατηρήσεις, η εξαγωγή συμπερασμάτων και η απόκτηση εμπειρίας πάνω στην χρήση των μηχανών καθώς και στις συνθήκες κατεργασίας των μετάλλων.

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται σύντομη αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της κοπής κατά την τόννευση και οι βασικές κατεργασίες καθ'αυτήν.

Στο **κεφάλαιο 3** αναλύονται οι βασικές εντολές του κώδικα G καθώς και οι βασικοί κύκλοι κατεργασίας του με τους οποίους προγραμματίζεται ο CTX310 ecoline μέσω τη μονάδας ψηφιακού ελέγχου SINUMERIK 840D sl.

Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν με την βοήθεια των εντολών και των κύκλων κατεργασίας του κεφαλαίου 3.

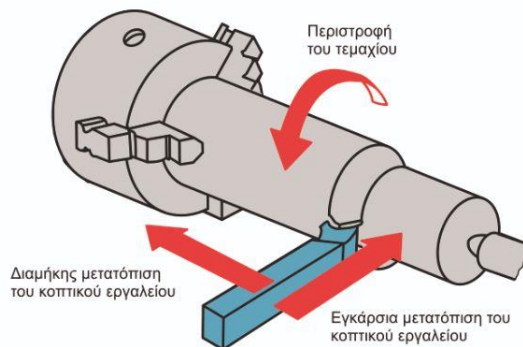
Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται σύντομη περιγραφή των εργαλείων τρισδιάστατης μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η μέθοδος εξαγωγής κώδικα ψηφιακής καθοδήγησης μέσω του CAM λογισμικού. Επίσης παρουσιάζεται η κατασκευή ενός επιτραπέζιου σκακιού με την χρήση των προαναφερθέντων εργαλειομηχανών.

Στο **κεφάλαιο 6** συνοψίζονται οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα ως απόρροια της εργασίας αυτής.

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΡΝΕΥΣΗ

2.1 Η τórνευση

Τórνευση ορίζεται η κατεργασία κοπής κατά την οποία η κύρια κίνηση είναι η περιστροφική κίνηση της ατράκτου στην οποία προσδένεται το προς κατεργασία τεμάχιο και δευτερεύουσα κίνηση είναι η μεταφορική κίνηση του κοπτικού εργαλείου (πρόωση).



Σχήμα 2.1: Η τórνευση

Η τórνευση αποτελεί μια μέθοδο κοπής η οποία είναι αποτέλεσμα των σχετικών κινήσεων του τεμαχίου και του κοπτικού. Το κοπτικό εργαλείο έχει την δυνατότητα διαμήκους και εγκάρσιας κίνησης. Κατά την διαμήκη τórνευση, η εγκάρσια κίνηση του κοπτικού αποτελεί το βάθος κοπής. Το υλικό του κοπτικού εργαλείου είναι πάντοτε σκληρότερο από το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου ώστε να διαμορφώνεται το τεμάχιο και όχι το κοπτικό.

Ως μέθοδος κατεργασίας παρατηρείται από πάρα πολύ παλιά. Ήδη από το 1400 π.χ. από τους Αιγύπτιους παρατηρείται η χειροκίνητη τórνευση και κατά Μεσαίωνα αρχίζουν να κατασκευάζονται οι πρώτοι τórνοι ως μηχανές όπου αρχικά κινούνταν με μυϊκή δύναμη ή νερό. Στην συνέχεια, κατά την βιομηχανική επανάσταση, οι τórνοι λειτουργούσαν με ατμοκινητήρες οι οποίοι μετέδιδαν την κίνηση στην άτρακτο του τórνου μέσω ιμάντα. Από τον 19^ο αιώνα μέχρι σήμερα, οι σύγχρονοι τórνοι κινούνται με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρων και κιβωτίων ταχυτήτων. Ύστερα από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, όπου οι ανάγκες για πολυπλοκότερα και πιο ακριβή εξαρτήματα είχαν αυξηθεί, προέκυψε η ανάγκη κατασκευής νέου τύπου μηχανών οι οποίες θα μπορούσαν να ανταπεξέλθουν στις νέες κατασκευαστικές απαιτήσεις. Άρχισαν λοιπόν να αναπτύσσονται νέου τύπου μηχανές, με βελτιωμένη μέθοδο για την αυτοματοποίηση της μηχανουργικής εργασίας και έτσι προέκυψαν εργαλειομηχανές οι οποίες λειτουργούν βασισμένες στον αριθμητικό έλεγχο (Numeric control), δηλαδή στη δυνατότητα επικοινωνίας και καθοδήγησης της εργαλειομηχανής από το χειριστή μέσω κώδικα. Οι συγκεκριμένες εργαλειομηχανές ονομάζονται ψηφιακά καθοδηγούμενες (NC). Στην περίπτωση που η επικοινωνία και η καθοδήγηση γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, η εργαλειομηχανή ονομάζεται ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC).

2.2 Η κατεργασία της τórνευσης

Η τórνευση μπορεί να χαρακτηριστεί ως προς την επιφάνεια του τεμαχίου η οποία υπόκειται σε κατεργασία αλλά και προς την κίνηση του κοπτικού εργαλείου.

Ως προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια διακρίνεται:

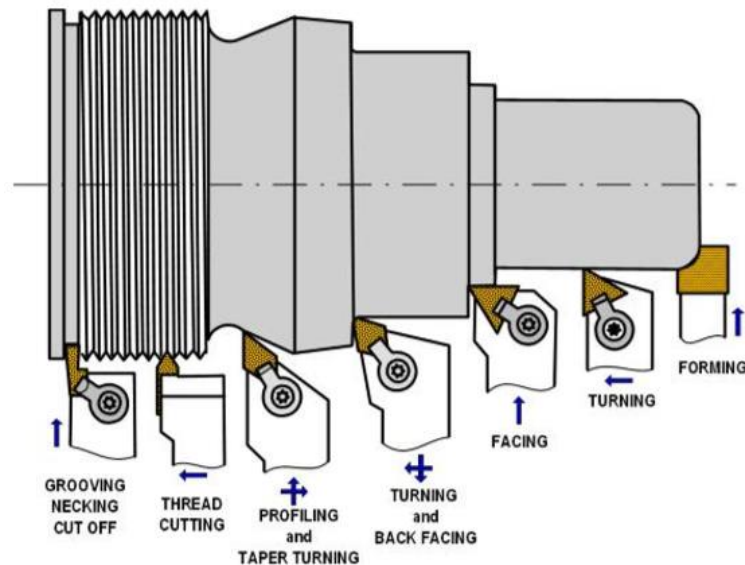
- Στην **εξωτερική**, όπου το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί υλικό από την εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου

- Στην **εσωτερική**, όπου το κοπτικό εργαλείο αφαιρεί υλικό από εσωτερική κοιλότητα του τεμαχίου. Προφανώς, η εσωτερική τórνευση προϋποθέτει την διάτρηση του τεμαχίου κατά μήκος του άξονα περιστροφής του.

Ως προς την κίνηση του κοπτικού εργαλείου διακρίνεται:

- Στη **διαμήκη**, όπου το κοπτικό εργαλείο κινείται παράλληλα με τον άξονα περιστροφής του τεμαχίου.
- Στην **εγκάρσια**, όπου το κοπτικό εργαλείο κινείται κάθετα ως προς τον άξονα περιστροφής του τεμαχίου

Συχνά οι δύο κινήσεις συνδυάζονται με σκοπό την διαμόρφωση περιγράμματος (λοξοτομές, κύκλοι). Στο σχήμα 2.2 περιγράφονται μερικές από τις βασικές κατεργασίες τórνευσης οι οποίες και θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία:



Σχήμα 2.2: Είδη εξωτερικής τórνευσης

2.2.1 Βασικές κατεργασίες τórνευσης

Οι βασικές κατεργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν τόσο κατά την **εξωτερική** όσο και κατά την **εσωτερική** τórνευση. Για κάθε μία από αυτές χρησιμοποιείται και το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο. Παρακάτω φαίνονται οι βασικότερες από αυτές :

- **Απλή τórνευση(turning):** αποτελεί την βασική μορφή τórνευσης, με βασικό στόχο την μείωση της περιμέτρου του κατεργαζόμενου τεμαχίου με περάσματα παράλληλα στον άξονα περιστροφής.
- **Τórνευση προσώπου(facing):** βασικός ρόλος της τórνευσης προσώπου είναι η μείωση της περιμέτρου ή του μήκους(στην περίπτωση που η κατεργάζεται έως τον άξονα περιστροφής) του τεμαχίου. Επιτυγχάνεται με την κίνηση του κοπτικού εργαλείου κάθετα προς τον άξονα περιστροφής.
- **Τórνευση περιγράμματος(profiling):** αφορά την δημιουργία περιγράμματος στην επιφάνεια του τεμαχίου. Το περίγραμμα μπορεί περιέχει ευθείες, τόξα, γωνίες, κώνους και άλλα γεωμετρικά σχήματα. Επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη κίνηση του κοπτικού εργαλείου παράλληλα και κάθετα προς τον άξονα περιστροφής.
- **Διάτρηση(drilling):** είναι η διάτρηση οπής στον άξονα περιστροφής του τεμαχίου.
- **Αυλάκωση(grooving):** πρόκειται για το είδος τórνευσης κατά το οποίο δημιουργούνται αυλακώσεις διαφόρων γεωμετριών, λαιμοί. Η αυλάκωση εάν

πραγματοποιηθεί έως τον άξονα περιστροφής έχει ως αποτέλεσμα την αποκοπή του τεμαχίου.

- **Σπειροτόμηση:** αφορά την κοπή σπειρώματος στην επιφάνεια του τεμαχίου.

2.2.2 Συνθήκες κοπής κατά την τόννευση

Οι συνθήκες κοπής στην τόννευση είναι η ταχύτητα κοπής, η πρόωση και το βάθος κοπής. Η σωστή επιλογή των συνθηκών κατεργασίας εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από το υλικό του τεμαχίου και το υλικό του κοπτικού εργαλείου.

Η ταχύτητα κοπής αφορά τις στροφές περιστροφής της ατράκτου σε σχέση με την διάμετρο του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Εκφράζει τον ρυθμό κοπής στην κύρια κίνηση κοπής (περιστροφική). Η ταχύτητα κοπής συμβολίζεται V_c και περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \quad (2.1)$$

Όπου, D η διάμετρος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, n η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου και η μαθηματική σταθερά $\pi=3.14$.

Η επιλογή της ταχύτητας κοπής γίνεται με προσοχή είτε από υπάρχουσες βιβλιογραφίες είτε από τα εγχειρίδια των κοπτικών εργαλείων που υπάρχουν στην διάθεση του χρήστη.

Η επιλογή της σωστής ταχύτητας κοπής έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες της καλής παραγωγικής διαδικασίας. Η επιλογή χαμηλής ταχύτητα κοπής οδηγεί σε μεγάλους χρόνους κατεργασίας και επομένως την μη βέλτιστη παραγωγικότητα. Αντίθετα, υψηλότερη ταχύτητα κοπής έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά ή και την καταστροφή του κοπτικού. Επιπλέον επιδρά αρνητικά στην ποιότητα της επιφάνειας του τεμαχίου.

Παρατίθεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των στροφών δοθείσας της ταχύτητας κοπής:

- Έστω ότι η ταχύτητα κοπής είναι $V_c=150\text{m/min}$ και η διάμετρος του τεμαχίου είναι 50mm . Τότε η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου υπολογίζεται ως εξής:

Από την σχέση 2.1 προκύπτει $n=1000 \cdot V_c / \pi \cdot D = 1000 \cdot 150 / 3.14 \cdot 50 \text{ m/min} = 955.4 \text{ rpm}$

3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗ CTX310

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο ψηφιακά καθοδηγούμενος τόρνος CTX310 eco. Η μηχανή αποτελεί ένα σύγχρονο κέντρο τórνευσης το οποίο μπορεί να ανταπεξέλθει σε συνθήκες παραγωγής. Υπάρχει αρκετά μεγάλο περιθώριο αναβάθμισης των δυνατοτήτων της με την προσθήκη διαφόρων επιπλέον εργαλείων και αξεσουάρ, επομένως ο ακριβής χαρακτηρισμός της ως προς αυτές θα ήταν μάλλον άστοχος. Για τον λόγο αυτό, η περιγραφή της θα περιοριστεί στα βασικά τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της.

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής

Η άποψη της εργαλειομηχανής CTX310 ecoline της εταιρείας DMG MORI παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1 μαζί με το χώρο κατεργασίας.

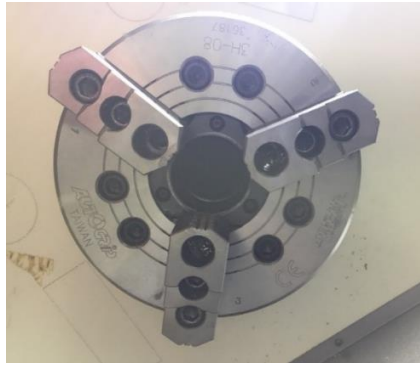


Σχήμα 3.1: Άποψη της εργαλειομηχανής

Παρακάτω παρατίθενται τα βασικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του χώρου κατεργασίας: Τα μήκη των διαδρομών της είναι 182.5mm στον κάθετο άξονα X και 455mm στον οριζόντιο άξονα Z. Δύναται να κατεργαστεί τεμάχια μέγιστης διαμέτρου 200mm και μέγιστου μήκους 455mm. Η κίνηση δίνεται από σερβοκινητήρες οι οποίου μετακινούν τις οριζόντιες και τις κάθετες γλίστρες που υποστηρίζουν τον εργαλειοφορέα. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης στον άξονα X και Z είναι 30m/min.

Στον χώρο κατεργασίας της μηχανής διακρίνονται η κύρια άτρακτος με τις σιαγόνες σύσφιξης του τεμαχίου, ο εργαλειοφορέας και ο κεντροφορέας. Τα παραπάνω αποτελούν τα τρία σώματα που του χώρου κατεργασίας μου συνεισφέρουν κατά την κατεργασία. Παρακάτω δίνονται ορισμένες λεπτομέρειες για κάθε ένα από αυτά:

- **Κύρια άτρακτος:** η κύρια άτρακτος της CTX310 λαμβάνει κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα μέγιστης ισχύος 22hp και ροπής 166.5 Nm με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής τις 5000rpm. Το τσοκ διαθέτει τρεις σιαγόνες και έχει δυνατότητα συγκράτησης τεμαχίων μέγιστης διαμέτρου 210 mm. Η μέγιστη διάμετρος ράβδου που μπορεί να εισέλθει στο τσοκ είναι 51mm. Το οι σιαγόνες του τσοκ ανοιγοκλείνουν μέσω ενός υδραυλικού συστήματος το οποίο παρέχει την δυνατότητα ρύθμισης της δύναμης σύσφιξης του τεμαχίου.



Σχήμα 3.2: Το τσοκ

- **Εργαλειοφορέας:** ο εργαλειοφορέας διαθέτει δώδεκα θέσεις εργαλείων. Η εναλλαγή των εργαλείων πραγματοποιείται με περιστροφή, μέγιστης ταχύτητας 4500 rpm. Τα κοπτικά εργαλεία αποτελούνται από το πλακίδιο, την μανέλα και τον εργαλειοδέτη. Ο εργαλειοδέτης είναι αυτός που προσδένεται στο εργαλειοφορέας μέσω και υποστηρίζει το υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο.



Σχήμα 3.3 Διάταξη ενός εργαλείου-εργαλειοφορέας(δεξιά)

- **Κεντροφορέας(κουκουβάγια):** ρόλος του κεντροφορέα είναι η συγκράτηση των τεμαχίων με μεγάλο μήκος με σκοπό την μείωση των ταλαντώσεων και τα την περιστροφή τους. Η χρήση του κεντροφορέα προϋποθέτει την δημιουργία υποδοχής με τον κεντραδόρο, προκειμένου η αιχμή του να εφάπτεται σωστά στο τεμάχιο. Η βάση του κεντροφορέα μετακινείται παράλληλα με τον άξονα περιστροφής της ατράκτου, ώστε να μπορεί να προσεγγίσει το τεμάχιο. Η κίνηση της βάσης του κεντροφορέα πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός υδραυλικού συστήματος το οποίο επιτρέπει την ρύθμιση της πίεσης που ασκεί το άκρο του στο τεμάχιο.



Σχήμα 4.4: Ο κεντροφορέας

- **Αντλία ψυκτικού υγρού**

Στις κατεργασίες όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες κρίνεται απαραίτητη η χρήση ψυκτικού υγρού. Το ψυκτικό υγρό όχι μόνο απάγει θερμότητα από το κοπτικό και το τεμάχιο αλλά λειτουργεί και ως λιπαντικό μειώνοντας τις τριβές κατά την κοπή. Η αντλία αντλεί το υγρό από την λεκάνη αποθήκευσής του και το εκτοξεύει με πίεση από τα ακροφύσια που διαθέτουν οι εργαλειοδέτες. Το ψυκτικό, αφού περάσει από σίτα η οποία εμποδίζει τα απόβλητα, επιστρέφει στην λεκάνη και επαναχρησιμοποιείται.



Σχήμα 3.5: Αντλία ψυκτικού υγρού

- **Ρυθμιστές πίεσης υδραυλικών συστημάτων**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της πίεσης που ασκεί το τσοκ και το κεντροφορέας στο τεμάχιο. Αυτό γίνεται μέσω του συστήματος ρύθμισης της πίεσης που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της εργαλειομηχανής.



Σχήμα 3.6: Ρυθμιστές υδραυλικής πίεσης

Η επίλογή της σωστής πίεσης για το τσοκ εξαρτάται κυρίως από την σκληρότητα του υλικού του τεμαχίου ενώ για τον κεντροφορέα εξαρτάται κυρίως από την διάμετρό του. Για την αλλαγή της τιμής εφόσον πρώτα γυριστεί το κλειδί πάνω στον περιστρεφόμενο διακόπτη και μπει η επιθυμητή πίεση θα πρέπει να πατηθεί παρατεταμένα το κεντρικό κουμπί στο ηλεκτρονικό μανόμετρο ώστε να είναι αναμμένες και οι δύο ενδείξεις δεξιά και αριστερά της τιμής του μανομέτρου. Κατά την ρύθμιση της πίεσης του τσοκ αν μειωθεί η πίεση τόσο ώστε να σβήσει η μία ένδειξη στο μανόμετρο του τότε δεν υπάρχει δυνατότητα σύσφιξης του τεμαχίου μέσω του ποδοδιακόπτη.

3.1.1 Μονάδα ελέγχου ψηφιακής καθοδήγησης

Η μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής είναι η SINUMERIK 840sl της SIEMENS. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό σε σχέση με τις προγενέστερες της, είναι η δυνατότητα τρισδιάστατης προσομοίωσης της κοπής προβάλλοντας με ακρίβεια τις γεωμετρίες του

τεμαχίου και των κοπτικών εργαλείων. Διαθέτει οθόνη 15 ιντσών TFT μέσω της οποίας ο χρήστης προγραμματίζει. Η μονάδα διαθέτει ενσωματωμένο πληκτρολόγιο επομένως ο χρήστης μπορεί να προγραμματίζει απευθείας στην μηχανή. Διαθέτει μνήμη 2GB για αποθήκευση προγραμμάτων. Επίσης στο αριστερό πλαϊνό, διαθέτει θύρα USB μέσω της οποίας ο χρήστης μπορεί να εισάγει κώδικες καθοδήγησης οι οποίοι έχουν συγγραφεί σε υπολογιστεί η έχει εξαχθεί μέσω λογισμικού CAM.



Σχήμα 3.7: Μονάδα ελέγχου

Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα πλήκτρα του πίνακα:



Διακόπτης εκκίνησης πνευματικού συστήματος

Διακόπτης έκτακτης ανάγκης

Ρυθμιστής γρήγορης πρόωσης

Ρυθμιστής χαμηλής πρόωσης

Πλήκτρα χειρισμού κοπτικού εργαλείου



Πλήκτρο εκκίνησης προγράμματος

Πλήκτρο παύσης προγράμματος

Πλήκτρο ξεκλειδώματος πόρτας

Πλήκτρο Reset

Πλήκτρο περιστροφής εργαλειοφορείου


Πλήκτρα μετακίνησης κεντροφορέα

3.1.2 Μηδενισμός τεμαχίου

Για τον εκτέλεση μιας προγραμματισμένης κατεργασίας, η εργαλειομηχανή θα πρέπει να γνωρίζει ένα σημείο αναφοράς, βάσει του οποίου θα εκτελέσει το πρόγραμμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον μηδενισμό του τεμαχίου. Ο μηδενισμός μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα είτε με την βοήθεια τρισδιάστατου ανιχνευτή. Το σημείο μηδέν που ορίζεται αποτελεί την αρχή του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου. Η εργαλειομηχανή γνωρίζει εκ των προτέρων το σημείο μηδέν στον άξονα X, καθώς αυτό βρίσκεται στο κέντρο του τσοκ. Ο χρήστης, λοιπόν, καλείται να ορίσει το σημείο μηδέν στον άξονα Z το οποίο ποικίλει ανάλογα το μήκος του τεμαχίου που προεξέχει από το τσοκ.

Η διαδικασία μηδενισμού περιγράφεται παρακάτω συνοπτικά:

Τις περισσότερες φορές ο μηδενισμός γίνεται στο πρόσωπο του τεμαχίου. Ο χρήστης, μέσω του μενού T,S,M επιλέγει το εργαλείο βάσει του οποίου θέλει να ορίσει την αρχή του συστήματος συντεταγμένων, ορίζει την ταχύτητα και την φορά περιστροφής της ατράκτου και πιέζει το πλήκτρο εκκίνησης προγράμματος. Κάθε φορά που πιέζεται το πλήκτρο εκκίνησης προγράμματος, θα πρέπει ο χρήστης να φροντίσει ο περιστροφικός διακόπτης να βρίσκεται στην θέση μηδέν και να αυξάνει την πρόωση προοδευτικά, αφού έχει βεβαιωθεί πως δεν συντρέχει κίνδυνος σύγκρουσης. Στην συνέχεια, προσεγγίζει το

τεμάχιο και όταν το πλησιάσει αρκετά πιέζει το πλήκτρο αργής πρόωσης  και αφού επιλέξει τον άξονα κίνησης και την ακρίβεια πρόωσης, αγγίζει το τεμάχιο και μόλις εμφανιστεί το πρώτο απόβλιπτο, ορίζει το σημείο μηδέν. Ο ορισμός του σημείου γίνεται από το μενού **Measure Workpiece** και στην συνέχεια αφού ορίσει το σημείο ως μηδέν

Work offset	G54
Z0	0.000

πιέζει το πλήκτρο **Set W0**.

3.2 Κώδικας ψηφιακής καθοδήγησης ISO

Οι περισσότερες ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (CNC) έχουν προγραμματιστεί στο πρότυπο ISO 6983. Το πρότυπο αποτελείται από τον G και τον M κώδικα. Ο πρώτος αφορά όλες τις κινήσεις που αφορούν την κοπή (ταχύτητα περιστροφής ατράκτου, κινήσεις των κοπτικών εργαλείων, επίπεδα κατεργασίας κλπ). Ο δεύτερος αποτελείται από ένα σύνολο εντολών που αφορούν βοηθητικές λειτουργίες της εργαλειομηχανής (παροχή ψυκτικού υγρού, παύση ή τερματισμός προγράμματος κλπ. Στην πραγματικότητα οι G κώδικες είναι ένα μόνο μέρος της NC – γλώσσας προγραμματισμού που ελέγχει τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου στις NC και τις CNC μηχανές.

3.2.1 Βασικές εντολές G κώδικα

Ο G κώδικας, αποτελείται από ένα πλήθος εντολών ελέγχου των κινήσεων και ορισμένες βοηθητικές παραμέτρους οι οποίες σε συνδυασμό με τις εντολές αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύνολο προγραμματισμού κινήσεων. Κατά τον προγραμματισμό του CTX310 οι χρήσιμες βοηθητικές παράμετροι φαίνονται παρακάτω:

- **X** θέση στον άξονα X
- **Z** θέση στον άξονα Z
- **C** θέση στον περιστροφικό άξονα γύρω από τον Z
- **U** βοηθητικός άξονας του X
- **W** βοηθητικός άξονας του Z
- **M** κώδικας
- **F** πρόωση
- **S** ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου
- **N** αριθμός γραμμής
- **R** ακτίνα τόξου ή προαιρετική παράμετρος σε υποπρόγραμμα κύκλο / κατεργασίας
- **P** χρόνος καθυστέρησης ή προαιρετική παράμετρος σε υποπρόγραμμα / κύκλο κατεργασίας
- **T** επιλογή εργαλείου
- **I** δεδομένα τόξου στο X άξονα
- **J** δεδομένα τόξου στο Y άξονα
- **K** δεδομένα τόξου στο Z άξονα. Προαιρετική παράμετρος σε υποπρόγραμμα / κύκλο κατεργασίας
- **D** αντιστάθμιση διαμέτρου ή ακτίνας κοπτικού εργαλείου
- **H** αντιστάθμιση μήκους κοπτικού εργαλείου

Οι βασικές εντολές του G κώδικα συμβολίζονται με το γράμμα **G** που ακολουθείται από έναν διψήφιο αριθμό π.χ. **G00**

Οι εντολές που παρατίθενται παρακάτω είναι βασισμένες στο σύστημα προγραμματισμού των control της SINUMERIK.

- **Απόλυτες/σχετικές συντεταγμένες (G90/G91)**

Κατά τον προγραμματισμό σε απόλυτες συντεταγμένες (G90), το τελικό σημείο της κίνησης που προγραμματίζεται, εκφράζει το σημείο αυτό σε σχέση με την θέση μηδέν στο σύστημα συντεταγμένων που έχει ορίσει ο χρήστης.

Κατά τον προγραμματισμό σε σχετικές συντεταγμένες (G91), το τελικό σημείο της κίνησης, εκφράζει το σημείο αυτό σε σχέση με την τρέχουσα θέση του κοπτικού εργαλείου και όχι την θέση μηδέν που έχει ορισθεί.

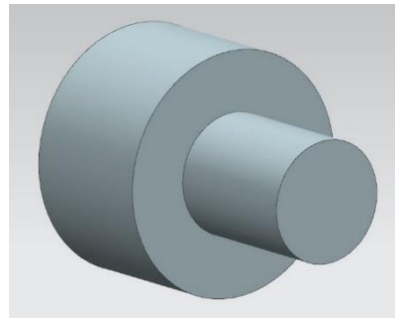
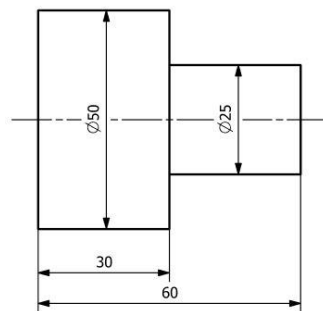
- **Ευθεία κίνηση με γρήγορη πρόωση (G00)**

Με την εντολή αυτή, το κοπτικό κινείται με την μέγιστη πρόωση της μηχανής. Λόγω της μεγάλης πρόωσης, ο χρήστης θα πρέπει να είναι βέβαιος ότι δεν υπάρχει καμία πιθανότητα σύγκρουσης. Χρησιμοποιείται κυρίως για την προσέγγιση του τεμαχίου από το κοπτικό και την επαναφορά του κοπτικού στην αρχική θέση.

- **Ευθεία κίνηση κοπής (G01)**

Η εντολή αυτή κινεί ευθύγραμμα το εργαλείο στην τελική θέση που έχει ορίσει ο χρήστης. Η κίνηση μπορεί να είναι οριζόντια, κάθετη ή διαγώνια ως προς τον άξονα περιστροφής. Η εντολή αυτή πάντα συνοδεύεται από τον ορισμό της πρόωσης F. Κάθε φορά που ορίζεται η πρόωση της κίνησης κοπής, η τιμή παραμένει ενεργή έως ότου καταχωρηθεί νέα τιμή για αυτήν. Η πρόωση μετρείται σε mm(ή inch)/min ή mm(ή inch)/rev.

Δοκίμιο 1



Σχήμα 3.8: Μηχανολογικό σχέδιο και τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίου

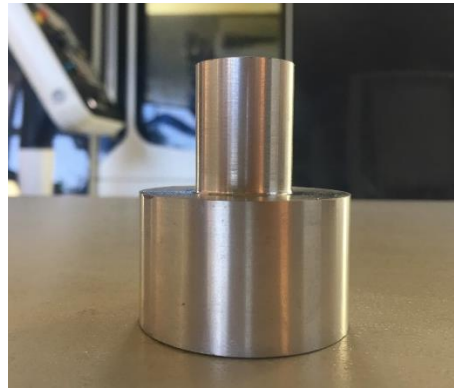
Το συγκεκριμένο τεμάχιο κατασκευάστηκε με την χρήση εντολών G00 και G01 σε σχετικές συντεταγμένες. Μετά από κάθε πέρασμα το κοπτικό ανασηκώνεται κατά 2mm βγαίνει 5mm εκτός του μήκους του τεμαχίου και ξαναεισέρχεται με βάθος κοπής 1mm (2mm σε διάμετρο στον άξονα X). Η ταχύτητα πρόωσης είναι 0.2 mm/rev και η ταχύτητα κοπή ορίσθηκε σταθερή στα 110 m/min.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν και η τελική μορφή του τεμαχίου. Οι τελευταίες τέσσερις γραμμές επαναλήφθηκαν δώδεκα φορές προκειμένου να προκύψει το τεμάχιο.

```

G90 G71 G18 G54
G96 S110 M04
T12 M06
G00 Z5 X55
G91
X-7
G01 Z-35 F0.2
G00 X2
Z35
X-4
G01 Z-35

```



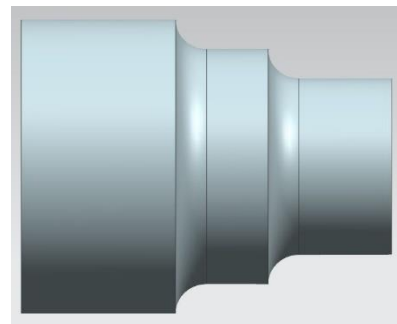
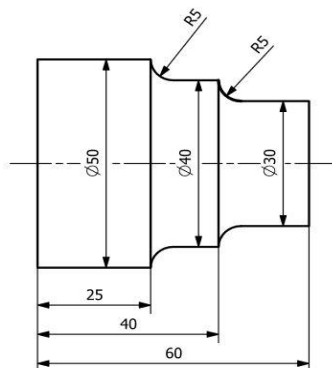
Εικόνα 3.9: Κώδικας καθοδήγησης και φωτογραφία τεμαχίου

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας:
<https://www.youtube.com/watch?v=MRgaAEmsHTo>

- **Δεξιόστροφη κυκλική κίνηση με κοπή (G02)**

Η εντολή αυτή κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Για την εντολή αυτή, εκτός από τις συντεταγμένες του σημείου που θα μετακινηθεί το εργαλείο (X, Y, Z), χρειάζεται και ο προσδιορισμός της ακτίνας του τόξου (CR) ή τις συντεταγμένες του κέντρου του (I, J, K), όπου I η απόσταση από τον X άξονα, J η απόσταση από τον Y άξονα και K η απόσταση από τον Z άξονα και, την πρόωση (F) σε [mm/min]. Η πρόωση (F) που έχει δοθεί θα παραμείνει ενεργή μέχρι να καταχωρηθεί νέα τιμή πρόωσης.

Δοκίμιο 2



Σχήμα 3.10: Μηχανολογικό σχέδιο και τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίου

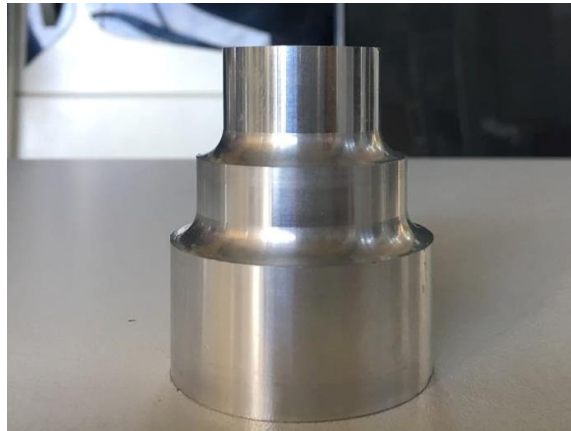
Στο συγκεκριμένο δοκίμιο φαίνεται η χρήση της εντολής G02 και με τους δυο τρόπους διατύπωσης. Παρατηρείται πως τόσο με την χρήση των βοηθητικών μεταβλητών I,J όσο και με τον ορισμό της ακτίνας CR το αποτέλεσμα είναι ακριβώς το ίδιο. Η εντολή εκτελείται με ένα πέρασμα επομένως είναι απαραίτητη η εκχόνδριση του τεμαχίου πριν την εκτέλεση της εντολής.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν και η τελική μορφή του τεμαχίου:

```

G90 G18 G71 G54
G96 S120 M04
T1 M06
G00 X55 Z5
G01 X30 Z0 F0.5
Z-15
G03 X40 Z-20 I0 K-5 F0.5
G01 X40 Z-30 F0.5
G03 X50 Z-35 CR=5 F0.5
G01 X50 Z-60 F0.5
G00 X55
Z5
M30

```



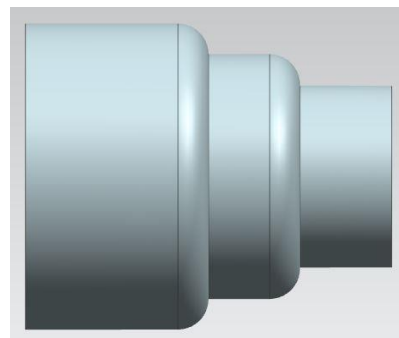
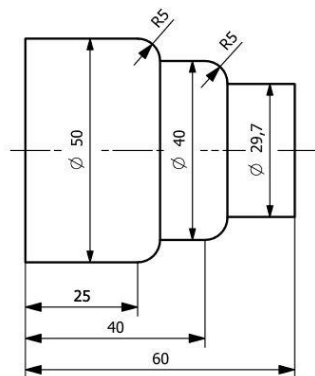
Σχήμα 3.11: Κώδικας καθοδήγησης και φωτογραφία τεμαχίου

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/MRgaAEmsHTo>

- **Αριστερόστροφη κυκλική κίνηση με κοπή (G03)**

Η εντολή αυτή κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένης πρόωσης. Και σε αυτήν την εντολή πρέπει να προσδιοριστεί η ακτίνα του τόξου ή οι συντεταγμένες του κέντρου του και η πρόωση σε [mm/min].

Δοκίμιο 3



Σχήμα 3.12: Μηχανολογικό σχέδιο και τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίου

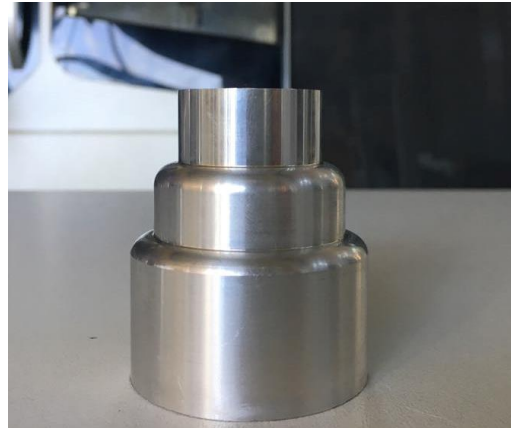
Στο συγκεκριμένο δοκίμιο φαίνεται η χρήση της εντολής G03 και με τους δυο τρόπους διατύπωσης. Παρατηρείται πως τόσο με την χρήση των βοηθητικών μεταβλητών I,J όσο και με τον ορισμό της ακτίνας CR το αποτέλεσμα είναι ακριβώς το ίδιο. Η εντολή εκτελείται με ένα πέρασμα επομένως είναι απαραίτητη η εκχόνδριση του τεμαχίου πριν την εκτέλεση της εντολής.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν και η τελική μορφή του τεμαχίου:

```

G96 S90 M04
T1 M06
G00 X55 Z5
G01 X30 Z0 F0.5
Z-20
G03 X40 Z-25 I0 K-5 F0.5
G01 X40 Z-35 F0.5
G03 X50 Z-40 CR=5 F0.5
G01 X50 Z-60 F0.5
G00 X55
Z5
M30

```



Σχήμα 3.13: Κώδικας καθοδήγησης και φωτογραφία τεμαχίου

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/duFA6U021Cg>

- **Επιλογή επιπέδου κατεργασίας (G17/G18/G19)**

Με τις εντολές αυτές επιλέγεται το επίπεδο της κατεργασίας. Η εντολή G17 απευθύνεται στο επίπεδο XY, η εντολή G18 στο επίπεδο XZ και η εντολή G19 στο επίπεδο YZ. Κατά την τόνρευση δύο αξόνων χρησιμοποιείται το επίπεδο XZ(G18).

- **Επιλογή μονάδων μέτρησης (G70/G71)**

Η εντολή G70 ορίζει το μετρικό σύστημα, δηλαδή οι μετρήσεις και οι κινήσεις εκφράζονται σε χιλιοστά. Η εντολή G71 ορίζει το αγγλοσαξωνικό σύστημα, δηλαδή οι μετρήσεις και οι κινήσεις εκφράζονται σε ίντσες.

- **Επιλογή συστήματος συντεταγμένων για μηδέν κομματιού (G54- G59)**

Οι εντολές αυτές χρησιμοποιούν ένα από τα έξη συστήματα συντεταγμένων που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη offset. Ο χρήστης αποκτά την δυνατότητα να αναφέρεται σε έξη διαφορετικές γεωμετρίες στο ίδιο πρόγραμμα.

- **Επιλογή μονάδων μέτρησης της πρόωσης (G94/G95)**

Με την εντολή G94 η πρόωση (F) μετριέται σε χιλιοστά ανά λεπτό (mm/min), ενώ με την εντολή G95 η πρόωση μετριέται σε χιλιοστά ανά περιστροφή της ατράκτου(mm/rev).

- **Σταθερή ταχύτητα κοπής (G96, G97)**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για κάθε συνδυασμό υλικού τεμαχίου και υλικού κοπτικού υπάρχει η βέλτιστη ταχύτητα κοπής. Στην περίπτωση που κατά την κατεργασία αλλάζει η διάμετρος όπου βρίσκεται το κοπτικό (λόγω διαγώνιας ή εγκάρσιας κοπής είτε λόγω σταδιακής μείωσης της διαμέτρου με πολλαπλά περάσματα) η ταχύτητα κοπής αλλάζει. Με την χρήση της εντολής G96, η εργαλειομηχανή διατηρεί σταθερή την ταχύτητα κοπής, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου όποτε είναι απαραίτητο. Με την εντολή G97 τερματίζεται η εντολή G96 και η ταχύτητα περιστροφής πρέπει να οριστεί εκ νέου.

Παράδειγμα: G96 S150 M04

```

.
.
G97
S1500 M04

```

3.2.2 Βασικές βοηθητικές εντολές

Οι εντολές προγραμματισμού M ανήκουν στα τεχνολογικά δεδομένα ενός προγράμματος, που δίνουν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες κοπής και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν, ή και εντολές λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

- **Παύση προγράμματος (M00)**

Με τη χρήση του κωδικού αυτού το πρόγραμμα διακόπτεται και όλα τα μέχρι τότε υπάρχοντα δεδομένα του προγράμματος παραμένουν αμετάβλητα, μέχρι να ξεκινήσει ξανά η εργαλειομηχανή.

- **Προαιρετικό σταμάτημα προγράμματος (M01)**

Ο κωδικός αυτός μοιάζει αρκετά με τον M00 με τη διαφορά ότι για να σταματήσει το πρόγραμμα με τον M01 θα πρέπει να έχει πατηθεί πρώτα το πλήκτρο που γράφει OPTIONAL STOP (προαιρετικό σταμάτημα).

- **Δεξιόστροφη περιστροφή της ατράκτου (M03)**

Η εντολή αυτή περιστρέφει δεξιόστροφα την άτρακτο με στροφές S εκφρασμένες σε rpm που ορίζει ο χρήστης.

Παράδειγμα : S1500 M03

- **Αριστερόστροφη περιστροφή της ατράκτου (M04)**

Η εντολή αυτή περιστρέφει αριστερόστροφα την άτρακτο με στροφές S εκφρασμένες σε rpm που ορίζει ο χρήστης.

Παράδειγμα : S1500 M04

- **Παύση περιστροφής της ατράκτου (M05)**

Η εντολή αυτή τερματίζει τις εντολές M03 και M04 και η άτρακτος σταματά να περιστρέφεται.

- **Αλλαγή κοπτικού εργαλείου (M06)**

Η εντολή αυτή περιστρέφει τον εργαλειοφόρα στην θέση που έχει ορίσει ο χρήστης μέσω της μεταβλητής T.

- **Παροχή ψυκτικού υγρού (M08/M09)**

Η εντολή M08 ενεργοποιεί την παροχή ψυκτικού υγρού και η εντολή M09 την τερματίζει

- **Τερματισμός προγράμματος (M30)**

Με την εντολή αυτήν σηματοδοτείται η λήξη του προγράμματος. Η περιστροφή της ατράκτου και του κοπτικού εργαλείου σταματούν.

3.2.3 Βασικές μεταβλητές

- **Επιλογή κοπτικού εργαλείου (T)**

Με την μεταβλητή T ορίζεται το επιθυμητό κοπτικό εργαλείο. Ο χαρακτήρας T συνοδεύεται από έναν ακέραιο ο οποίος αντιστοιχεί στην θέση που βρίσκεται το κοπτικό στον εργαλειοφόρα. Προκειμένου η εντολή αλλαγής κοπτικού εργαλείου να είναι ολοκληρωμένη, ο χαρακτήρας T θα πρέπει να ακολουθείται από την βοηθητική εντολή αλλαγής εργαλείου M06.

Παράδειγμα: T1 M06

- **Ορισμός της ταχύτητας πρόωσης (F)**

Η μεταβλητή F συνοδεύεται από έναν πραγματικό αριθμό που αντιστοιχεί στην ταχύτητα πρόωσης κατά την κατεργασία. Οι μονάδες μέτρησης της πρόωσης είναι συνήθως mm ανά λεπτό, mm ανά περιστροφή, inch ανά λεπτό και inch ανά περιστροφή. Για πρόωση ανά περιστροφή καλείται η G95 και ανά λεπτό η G94.

Παράδειγμα: G95 F0.2

- **Ορισμός ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου (S)**

Η εντολή S συνοδεύεται από έναν ακέραιο αριθμό, ο οποίος εκφράζει την ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου σε rpm. Κατά την λειτουργία G96 εκφράζει την ταχύτητα κοπής.

4. ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μια πολύ χρήσιμη λειτουργία στα προγράμματα G κώδικα είναι οι κύκλοι κατεργασίας οι οποίοι υποστηρίζονται από τις περισσότερες μονάδες ψηφιακού ελέγχου των μηχανών CNC. Οι κύκλοι κατεργασίας είναι ουσιαστικά συναρτήσεις οι οποίες δέχονται σαν είσοδο μία σειρά από ορίσματα, τα οποία καθορίζουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία έτσι ώστε να εκτελεστεί μία ακριβώς κατεργασία κάθε φορά. Αποτελούν εξαιρετικά σημαντικό “εργαλείο” του προγραμματιστή καθώς ελαττώνουν σημαντικά το πλήθος των γραμμών για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης κατεργασίας. Αντί ο προγραμματιστής να προγραμματίζει την κάθε κίνηση του κοπτικού εργαλείου με τις βασικές εντολές κινήσεων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί, συμπληρώνοντας μόνο τα ορίσματα της κατάλληλης συνάρτησης να πετύχει το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα με μερικές μόνο γραμμές.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν το ΔΟΚΙΜΙΟ 1 και ΔΟΚΙΜΙΟ 4. Τα δύο δοκίμια κατεργάστηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο αλλά το μέγεθος του κώδικά τους διαφέρει πάρα πολύ.

Επιπλέον, οι κύκλοι κατεργασίας μειώνουν κατά πολύ τις πιθανότητες λάθους καθώς και τον χρόνο ελέγχου και διόρθωσης σε περίπτωση λάθους. Φαίνεται λοιπόν πως οι κύκλοι κατεργασίας είναι απαραίτητοι ιδιαίτερα για την σύνταξη μακροσκελών προγραμμάτων G κώδικα.

Οι ονομασίες και τα ορίσματα των κύκλων κατεργασίας ποικίλουν μεταξύ των διαφόρων μονάδων ψηφιακού ελέγχου που υπάρχουν στην αγορά

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύκλοι κατεργασίας που υποστηρίζονται από την μονάδα SINUMERIK 840D sl. Για κάθε κύκλο κατεργασίας κατασκευάστηκαν παραπάνω από ένα δοκίμια με σκοπό την επίδειξη των διαφορετικών μεθόδων εκτέλεσης του κάθε κύκλου. Για την κατασκευή των τεμαχίων που θα παρουσιάζονται, χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι αλουμινίου αρχικής διαμέτρου 50mm.

4.1 Αφαίρεση υλικού CYCLE951

4.1.1 Περιγραφή του κύκλου CYCLE951

Ο κύκλος κατεργασίας CYCLE951 χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαίρεση μεγάλου όγκου του περιττού υλικού. Αφαιρεί υλικό έως ότου η διάμετρος του αρχικού τεμαχίου φτάσει κοντά στις τελικές διαστάσεις, χωρίς όμως να μπορεί να αποδώσει περίγραμμα. Για την δημιουργία περιγράμματος, υπεύθυνος είναι ο κύκλος κατεργασίας CYCLE95 στον οποίο θα αναφερθούμε αργότερα. Δύναται να αφαιρέσει υλικό παράλληλα ή κάθετα του άξονα περιστροφής καθώς και εξωτερικά ή εσωτερικά του τεμαχίου. Παρακάτω παρουσιάζονται η σύνταξη και τα ορίσματα του κύκλου κατεργασίας

Σύνταξη: CYCLE951(SPD ,SPL ,EPD ,EPL ,ZPD ,ZPL ,LAGE ,MID ,FALX ,FALZ ,VARI ,RF1 ,RF2 ,RF3 ,SDIS ,FF1 ,NR ,DMODE ,AMODE)

4.1.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE951

No.	Όρισμα	Τύπος Δεδομένου	Σημασία
1	SPD	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον X άξονα (απόλυτες συντεταγμένες, διάμετρος)
2	SPL	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον Z άξονα (απόλυτες συντεταγμένες)
3	EPD	Πραγματικός	Τελικό σημείο στον X άξονα
4	EPL	Πραγματικός	Τελικό σημείο στον Z άξονα

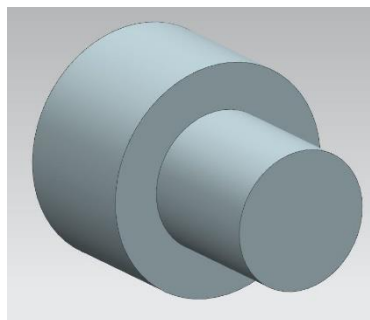
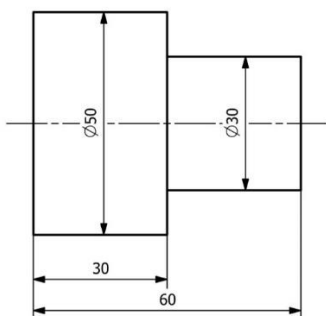
5	ZPD	Πραγματικός	Ενδιάμεσο σημείο στον Χ άξονα (βλ. Όρισμα DMODE)
6	ZPL	Πραγματικός	Ενδιάμεσο σημείο στον Ζ άξονα(βλ.όρισμα DMODE δεκάδες)
7	LAGE	Ακέραιος	Θέση αφαίρεσης υλικού 0:εξωτερικά πίσω 1:εξωτερικά μπροστά 2:εσωτερικά πίσω 3:εσωτερικά μπροστά
8	MID	Πραγματικός	Μέγιστο βάθος πρόωσης
9	FALX	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον Χ άξονα
10	FALZ	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον Ζ άξονα
11	VARI	Ακέραιος	Μονάδες: Κατεύθυνση αφαίρεσης υλικού 1:Διαμήκης 2:Κάθετη Δεκάδες: 1:Εκχόνδριση μέχρι ανοχή φινιρίσματος 2:Φινίρισμα Εκατοντάδες: 0:στρογγύλεμα περιγράμματος χωρίς υπολειμματικές γωνίες, 1:χωρίς στρογγύλεμα περιγράμματος Χιλιάδες: 0:Στρογγύλεμα ή λοξοτομή στη γωνία 2 1:Σκάψιμο στη γωνία 2 Δεκάδες Χιλιάδες: 0:ακίνητο μετά την κατεργασία 1:επιστροφή στο σημείο εκκίνησης
12	RF1	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 1 (βλ. όρισμα AMODE δεκάδες χιλιάδες)
13	RF2	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 2 (βλ. όρισμα AMODE δεκάδες χιλιάδες)
14	RF3	Πραγματικός	Στρογγύλεμα ή πάχος λοξοτομής 3 (βλ. όρισμα AMODE δεκάδες χιλιάδες)
15	SDIS	Πραγματικός	Απόσταση ασφαλείας
16	FF1	Πραγματικός	Ταχύτητα πρόωσης για εκχόνδριση/φινίρισμα
17	NR	Ακέραιος	0:Αφαίρεση υλικού 1, 90 μοίρες γωνία χωρίς λοξοτομές/στρογγυλέματα 1:Αφαίρεση υλικού 2, 90 μοίρες γωνία με λοξοτομές/στρογγυλέματα 2: Αφαίρεση υλικού 3, όλες οι γωνίες με στρογγυλέματα/λοξοτομές
18	DMODE	Ακέραιος	Μονάδες: Επίπεδο κατεργασίας: 0:το επίπεδο παραμένει εκείνο που είχε οριστεί πριν την κλήση του κύκλου 1:G17 2:G18 3:G19 Δεκάδες: Μορφή ορίσματος ZPD/ZPL : 0: Xm/Zm

			1:Xm/α1 2:Xm/α2 3:α1/Zm 4:α2/Zm 5:α1/α2
19	AMODE	Ακέραιος	Μονάδες: Ενδιάμεσο σημείο στον X άξονα 0:Απόλυτες συντεταγμένες 1:Σχετικές συντεταγμένες Δεκάδες: Ενδιάμεσο σημείο στον Z άξονα 0:Απόλυτες συντεταγμένες 1:Σχετικές συντεταγμένες Εκατοντάδες: Τελικό σημείο στον X άξονα 0:Απόλυτες συντεταγμένες 1:Σχετικές συντεταγμένες Χιλιάδες: Τελικό σημείο στον Z άξονα 0:Απόλυτες συντεταγμένες 1:Σχετικές συντεταγμένες Δεκάδες Χιλιάδες: Στρογγύλεμα/λοξοτομή 1 0: Στρογγύλεμα 1:Λοξοτομή Χιλιάδες: Στρογγύλεμα/λοξοτομή 2 0: Στρογγύλεμα 1:Λοξοτομή Εκατομμύρια: Στρογγύλεμα/λοξοτομή 3 0: Στρογγύλεμα 1:Λοξοτομή

Πίνακας 4.1

4.1.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE951

4.1.3. 1 Δοκίμιο 4



Σχήμα 4.1

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για μείωση της εξωτερικής διαμέτρου του αρχικού τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιείται στην εξωτερική επιφάνεια και στο πρόσωπο του τεμαχίου (LAGE=1) με διαδοχικά διαμήκη περάσματα (VARI(μονάδες)=1).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες εκτελέστηκαν:

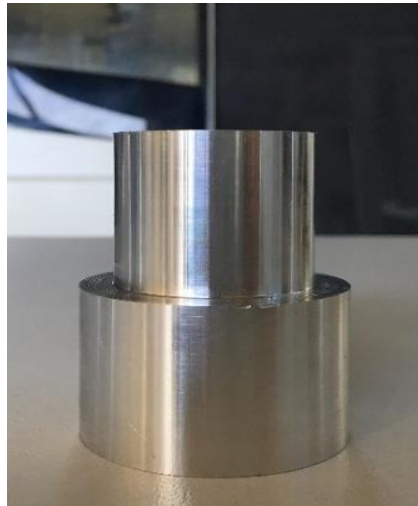
G96 S160 M04 ¶

T1 M06¶

CYCLE951(50, 0, 30, -30, 30, -30, 1, 0.6, 0, 0, 11, , , , 2, 0.5, 0, 2, 0)¶

M30¶

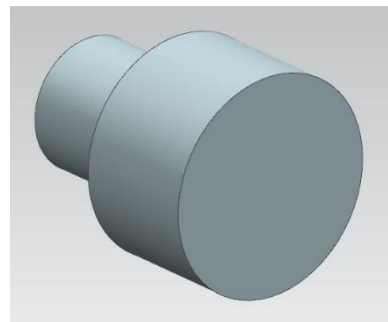
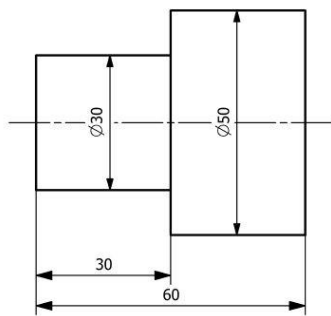
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.2

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/PhiCL3pGd-Y>

4.1.3. 2 Δοκίμιο 5



Σχήμα 4.3

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για μείωση της εξωτερικής διαμέτρου του αρχικού τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιείται στην εξωτερική επιφάνεια και στο πίσω τμήμα (LAGE=0) του τεμαχίου με διαδοχικά διαμήκη περάσματα (VAR1(μονάδες)=1). Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί, προκειμένου το κοπτικό να μπορεί να εισέλθει στο τεμάχιο, είναι απαραίτητη η δημιουργία αυλακιού σε αυτό πριν την κατεργασία.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S160 M04

T12 M06

CYCLE951(49, -60, 35, -30, 35, -30, 0, 0.6, 0, 0, 11, , , , 0.5, 0.5, 0, 2, 0)

M30

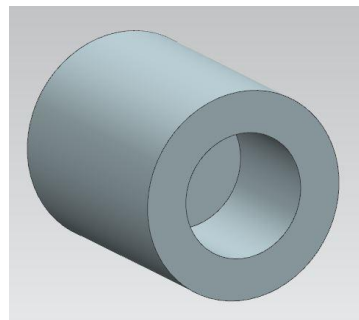
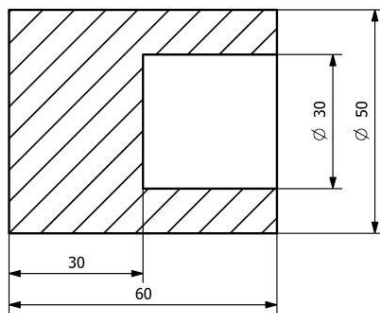
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.4

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας:
<https://www.youtube.com/watch?v=xx6qW-xOfTs>

4.1.3.3 Δοκίμιο 6



Σχήμα 4.5

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου με σκοπό την αύξηση της διαμέτρου της οπής τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιείται στην εσωτερική επιφάνεια και στο μπροστά τμήμα του τεμαχίου (LAGE=3) με διαδοχικά διαμήκη περάσματα (VARI(μονάδες)=1). Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί, προκειμένου το κοπτικό να μπορεί να εισέλθει στο τεμάχιο, είναι απαραίτητη η δημιουργία οπής σε αυτό πριν την κατεργασία. Σημειώνεται ότι για την εισχώρηση του κοπτικού στο εσωτερικό του τεμαχίου ανοίχθηκε οπή διαμέτρου 25mm. Όταν πραγματοποιείται κατεργασία στο εσωτερικό ενός τεμαχίου, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην απόσταση ασφαλείας που ορίζεται, προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν σύγκρουση του κοπτικού εργαλείου με το τεμάχιο.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S160 M04

T11 M06

CYCLE951(25, 0, 30, -30, 30, -30, 3, 0.6, 0, 0, 11, , , , 0.3, 0.5, 0, 2, 0)

Z25 F2

M30

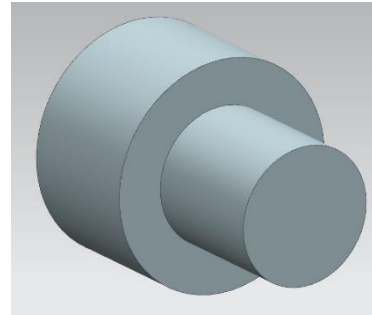
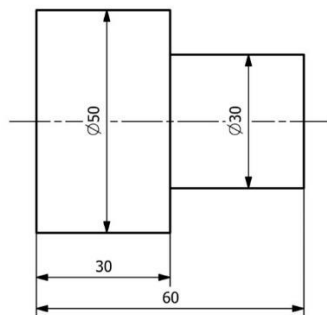
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.6

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/-H4jujxtXHA>

4.1.3.4 Δοκίμιο 7



Σχήμα 4.7

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για μείωση της εξωτερικής διαμέτρου του αρχικού τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιείται στην εξωτερική επιφάνεια και στο πρόσωπο του τεμαχίου (LAGE=1) με διαδοχικά εγκάρσια περάσματα (VARI(μονάδες)=2). Το συγκεκριμένο δοκίμιο, έχει την ίδια ακριβώς γεωμετρία με το δοκίμιο 4, αλλά λόγω της κατεργασίας με εγκάρσια περάσματα, η τελική επιφάνεια είναι τραχύτερη σε σχέση με αυτήν του δοκιμίου 4.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν:

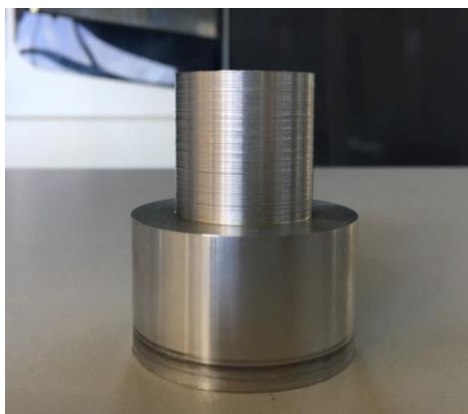
G96 S150 M04 ¶

T1 M06¶

CYCLE951(50, 0, 30, -30, 30, -30, 1, 0.4, 0, 0, 12, , , , 4, 0.5, 0, 2, 0)¶

M30¶

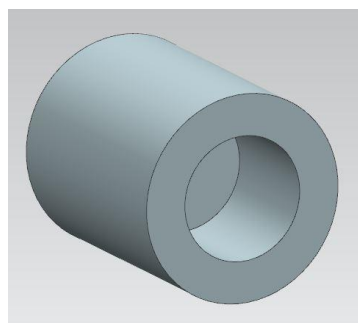
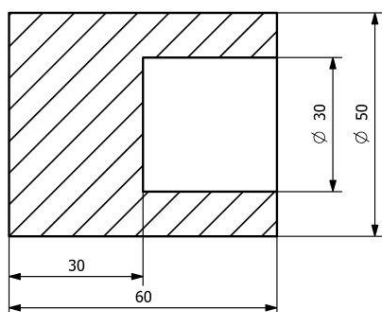
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.8

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας:
<https://www.youtube.com/watch?v=C4p1DzGwe8Q>

4.1.3.5 Δοκίμιο 9



Σχήμα 4.9

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου με σκοπό την αύξηση της διαμέτρου της οπής τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιείται στην εσωτερική επιφάνεια και στο μπροστά τμήμα του τεμαχίου (LAGE=3) με διαδοχικά εγκάρσια περάσματα (VAR1(μονάδες)=2). Σημειώνεται ότι για την εισχώρηση του κοπτικού στο εσωτερικό του τεμαχίου ανοίχθηκε οπή διαμέτρου 25mm. Το συγκεκριμένο δοκίμιο, έχει την ίδια ακριβώς γεωμετρία με το δοκίμιο 6, αλλά λόγω της κατεργασίας με εγκάρσια περάσματα, η τελική επιφάνεια είναι τραχύτερη σε σχέση με αυτήν του δοκιμίου 6.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν:

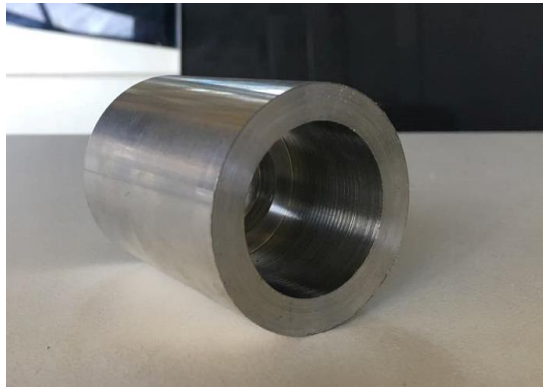
G96 S150 M04

T1 M06

CYCLE951(50, 0, 30, -30, 30, -30, 1, 0.4, 0, 0, 12, , , , 4, 0.5, 0, 2, 0)

M30

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



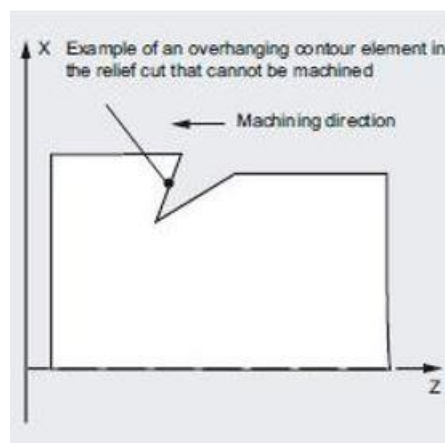
Σχήμα 4.10

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/DvzNYMgcrQQ>

4.2 Δημιουργία περιγράμματος CYCLE95

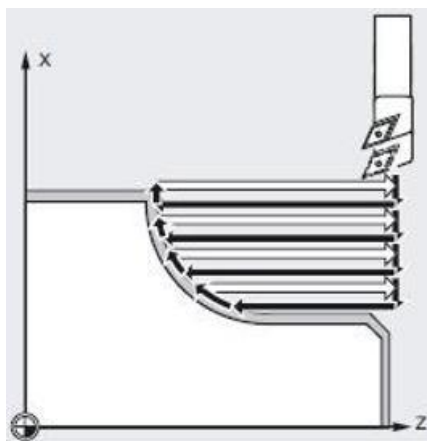
4.2.1 Περιγραφή του κύκλου CYCLE95

Ο κύκλος κατεργασίας CYCLE951 χρησιμοποιείται για την δημιουργία περιγράμματος στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Συνήθως χρησιμοποιείται ύστερα από τον κύκλο αφαίρεσης υλικού CYCLE951, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο. Όπως και ο κύκλος CYCLE951, δύναται να αφαιρέσει υλικό παράλληλα ή κάθετα του άξονα περιστροφής καθώς και εξωτερικά ή εσωτερικά του τεμαχίου. Το επιθυμητό περίγραμμα περιγράφεται με την χρήση απλών εντολών του G κώδικα σε ένα ξεχωριστό υποπρόγραμμα, το οποίο καλείται ως όρισμα κατά την κλήση του κύκλου. Η μηχανή μας δίνει την δυνατότητα προγραμματισμού οποιουδήποτε περιγράμματος το οποίο μπορεί να απεικονισθεί με εντολές του G κώδικα, αλλά ο χρήστης θα πρέπει κάθε φορά να αξιολογεί εάν οι δυνατότητες της μηχανής καθώς και η γεωμετρία των κοπτικών εργαλείων είναι οι απαιτούμενες. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα μη εφικτής διαμόρφωσης περιγράμματος:



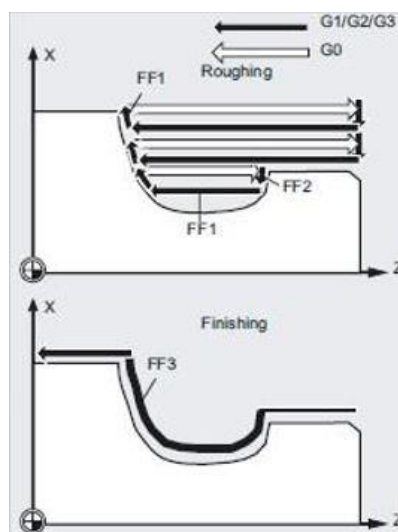
Σχήμα 4.11

Στην περίπτωση κατεργασίας χωρίς φινίρισμα ο κύκλος αφαιρεί υλικό με διαδοχικά περάσματα, διαμήκη ή εγκάρσια, με σκοπό την αφαίρεση υλικού μέχρι την προσέγγιση των τελικών διαστάσεων



Σχήμα 4.12

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην περίπτωση κατεργασίας με φινίρισμα. Ο κύκλος αφαιρεί υλικό με τις συνθήκες που έχουν καθοριστεί για εκχόνδριση έως ότου προσεγγίσει τις ανοχές φινιρίσματος που έχουν ορισθεί από τον χρήστη. Στην συνέχεια, εκτελεί το φινίρισμα με ένα και μόνο πέρασμα (βλέπε [Εικόνα 4.13](#)) παράλληλα του περιγράμματος του δοκιμίου. Θα πρέπει ο χρήστης να φροντίσει να μην υπερβεί το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος κοπής σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κοπτικού καθώς υπάρχει κίνδυνος καταστροφής αυτού και του τεμαχίου.



Σχήμα 4.13

Παρακάτω παρουσιάζονται η σύνταξη και τα ορίσματα του κύκλου κατεργασίας.

Σύνταξη: CYCLE95(NPP , MID , FALZ ,FALX ,FAL ,FF1 ,FF2 ,FF3 ,VARI ,DT ,DAM ,VRT ,GMODE ,DMODE)

4.1.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE95

No.	Όρισμα	Τύπος Δεδομένου	Σημασία
1	NPP	Πραγματικός	Όνομα υποπρογράμματος
2	MID	Πραγματικός	Μέγιστο βάθος πρόωσης κατά την εκχόνδριση, βλέπε GMODE
3	FALZ	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον Z άξονα
4	FALX	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον X άξονα

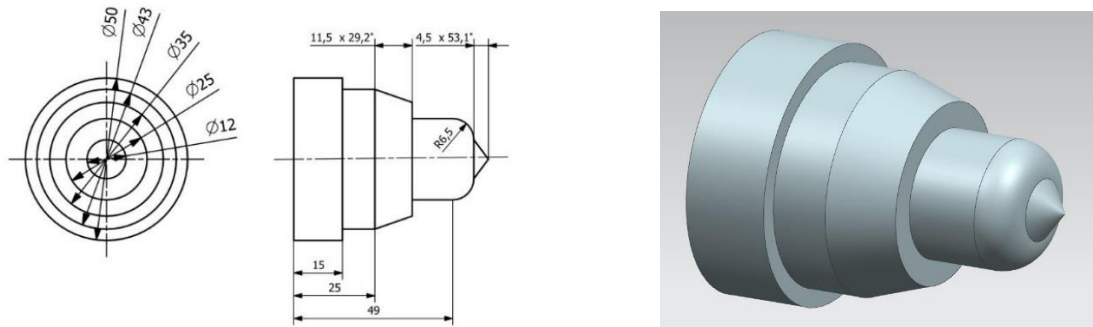
5	FAL	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος παράλληλα του περιγράμματος
6	FF1	Πραγματικός	Ταχύτητα πρόωσης κατά την εκχόνδριση
7	FF2	Πραγματικός	Ταχύτητα πρόωσης κατά την είσοδο του κοπτικού
8	FF3	Πραγματικός	Ταχύτητα πρόωσης φινιρίσματος
9	VARI	Ακέραιος	<p>Μονάδες και Δεκάδες:</p> <p>1:Εκχόνδριση διαμήκης εξωτερική, 2:Εκχόνδριση κάθετη εξωτερική, 3:Εκχόνδριση διαμήκης εσωτερική, 4:Εκχόνδριση κάθετη εσωτερική, 5:Φινίρισμα διαμήκης εξωτερικό 6:Φινίρισμα κάθετο εξωτερικό, 7:Φινίρισμα διαμήκης εσωτερικό, 8:Φινίρισμα κάθετο εσωτερικό, 9:Εκχόνδριση και Φινίρισμα διαμήκης εξωτερικό, 10:Εκχόνδριση και Φινίρισμα κάθετο εξωτερικό, 11:Εκχόνδριση και Φινίρισμα διαμήκης εσωτερικό, 12: Εκχόνδριση και Φινίρισμα κάθετο εξωτερικό</p> <p>Εκατοντάδες:</p> <p>0:στρογγύλεμα περιγράμματος χωρίς υπολειμματικές γωνίες, 1:χωρίς στρογγύλεμα περιγράμματος, 2:στρογγύλεμα μόνο σε προηγούμενη διατομή, υπολειμματικές γωνίες μπορεί να εμφανιστούν</p>
10	DT	Πραγματικός	Χρονική καθυστέρηση για παρέμβαση κατά την πρόωση
11	DAM	Πραγματικός	Απόσταση μεταξύ των χρονικών παρεμβάσεων
12	VRT	Πραγματικός	Ανασήκωση κοπτικού απο το περίγραμμα: 0:πραγματοποιείται ανασήκωση ενός mm εσωτερικά ανεξαρτήτως μονάδων μέτρησης (inch,mm, κτλ.) >0: απόσταση ανασήκωσης
13	GMODE	Ακέραιος	0:βάθος κοπής σύμφωνα με το G group DIAMON/DIAMOF (δηλαδή απόλυτα) 1: βάθος κοπής ανεξάρτητα από το G group DIAMON/DIAMOF (δηλαδή σχετικά)
14	DMODE	Ακέραιος	<p>Μονάδες: Επίπεδο κατεργασίας:</p> <p>0:για το επίπεδο που έχει οριστεί πριν την κλήση του κύκλου 1:G17 2:G18 3:G19</p> <p>Χιλιάδες: Συμβατότητα</p> <p>0:Το περίγραμμα περιέχεται στο υποπρόγραμμα του ορίσματος NPP 1:Το υποπρόγραμμα που περιέχει το περίγραμμα καλείται από τον κύκλο CYCLE62 και μεταφέρεται στο SC_CONT_NAME</p>

Πίνακας 4.2

4.2.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE95

Με την χρήση του μελετώμενου κύκλου κατασκευάστηκαν πέντε δοκίμια. Τα δύο πρώτα και τα δύο τελευταία είχαν ίδια γεωμετρία μεταξύ τους, με την διαφορά ότι ένα εκ των δύο σε κάθε ζευγάρι έχει υποστεί φινίρισμα. Η διαφορά στην ποιότητα της επιφάνειας διακρίνεται στις σχετικές φωτογραφίες που συνοδεύουν το κάθε τεμάχιο.

4.2.3.1 Δοκίμιο 18



Σχήμα 4.14

Το συγκεκριμένο δοκίμιο κατασκευάστηκε με σκοπό την επίδειξη του κύκλου κατεργασίας διαμόρφωσης περιγράμματος στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε με διαδοχικά διαμήκη περάσματα χωρίς φινίρισμα στην εξωτερική επιφάνεια (VARI(μονάδες&δεκάδες=1)). Το περίγραμμα περιγράφεται στο σχετικό υποπρόγραμμα το οποίο παρατίθεται παρακάτω. Το υποπρόγραμμα δεν είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται στον ίδιο φάκελο με το κύριο πρόγραμμα αλλά ενδείκνυται για λόγους οργάνωσης.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S150 M04

T1 M06

CYCLE95("CONTOUR18", 0.7, 0.3, 0.3, 0.3, 1, 0.2, 0.3, 1, 0, 0, 1, 0, 2)

M30

Υποπρόγραμμα 'CONTOUR18'

G90 G01 X0 Z0

X12 Z-4.5

G03 X25 Z-11 I0 K-6.5 F0.5

G01 Z-23.5

X30

Z-35 X43

Z-45

X50

Z-60

M30

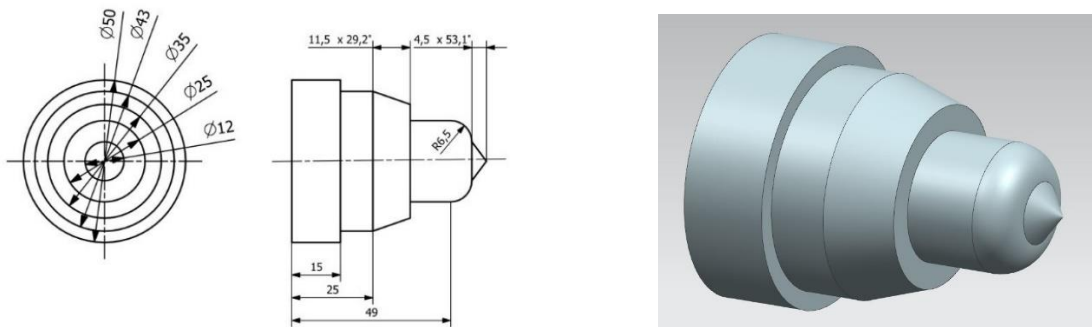
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.15

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: https://youtu.be/S_Y9cRia1YQ

4.2.3.2 Δοκίμιο 19



Σχήμα 4.16

Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε με διαδοχικά διαμήκη περάσματα με φινίρισμα στην εξωτερική επιφάνεια (VAR1(μονάδες&δεκάδες=9)). Το περίγραμμα περιγράφεται στο σχετικό υποπρόγραμμα το οποίο παρατίθεται παρακάτω. Κατά την καταχώρηση των ορισμάτων που αφορούν τις ανοχές για φινίρισμα, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου. Έτσι λοιπόν ορίστηκαν οι ανοχές στα 0.3mm. Στο κυρίως πρόγραμμα έχει ορισθεί όριο στις στροφές της ατράκτου στις 3000rpm προκειμένου να μην καταπονούνται οι μηχανισμοί πέδησης της ατράκτου. Εάν δεν είχε ορισθεί το όριο 10 στροφές θα αυξανόντουσαν υπερβολικά λόγω της σταθερής ταχύτητας κοπής (G96) και της πολύ μικρής διαμέτρου το άκρο του τεμαχίου (βλ. κεφάλαιο 2.2.2).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S150 M04

LIMS=3000

T1 M06

CYCLE95("CONTOUR19", 0.4, 0.3, 0.3, 0.3, 1, 0.2, 0.3, 9, 0, 0, 1, 0, 2)

M30

Υποπρόγραμμα 'CONTOUR19' :

```

G90 G01 X0 Z0
X12 Z-4.5
G03 X25 Z-11 I0 K-6.5 F0.5
G01 Z-23.5
X30
Z-35 X43
Z-45
X50
Z-60
M30

```

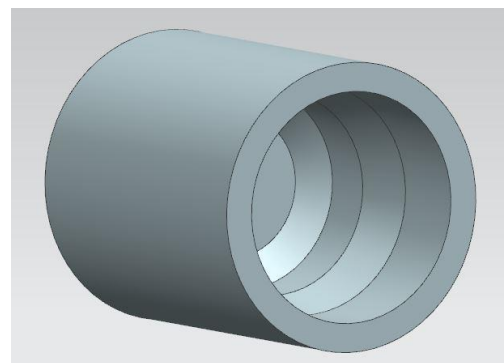
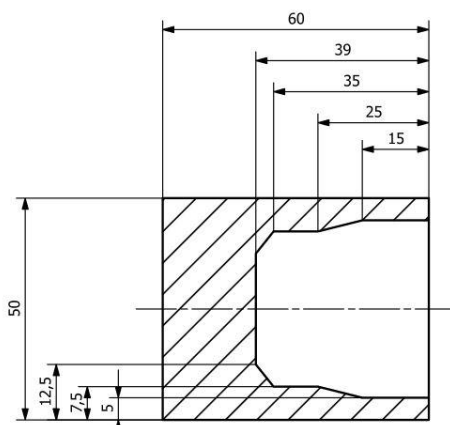
Η τελική μορφή του δοκιμίου:



Σχήμα 4.17

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/YiJL9WGYrk>

4.2.3.3 Δοκίμιο 23



Σχήμα 4.18

Το συγκεκριμένο τεμάχιο κατασκευάστηκε με σκοπό την επίδειξη του κύκλου κατεργασίας CYCLE95 στο εσωτερικό τεμαχίου. Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε στην εσωτερική επιφάνεια με διαδοχικά διαμήκη περάσματα με φινίρισμα(VARI(μονάδες&δεκάδες=11)).

Κατά τον προγραμματισμό του κύκλου για κατεργασίες στο εσωτερικό του τεμαχίου, ο χρήστης θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός με την γεωμετρία του περιγράμματος και του κοπτικού προκειμένου να διασφαλίσει ότι δεν θα υπάρξει σύγκρουση.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S140 M04

T11 M06

CYCLE95 ("CONTOUR23", 0.5, 0.3, 0.3, 0.3, 0.5, 0.35, 0.35, 11, 0, 0, 0.4, 0, 2)

M30

Υποπρόγραμμα 'CONTOUR23':

G90 G18 X38 Z0

Z-15

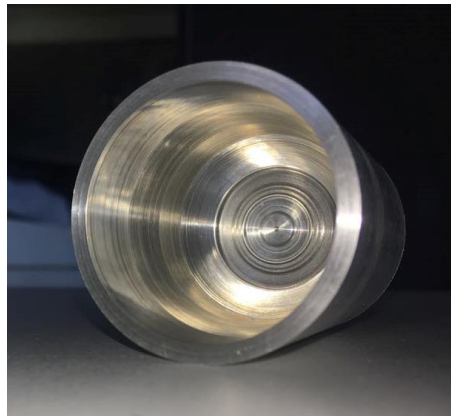
Z-25 X35

Z-35

Z-41 X25

M30

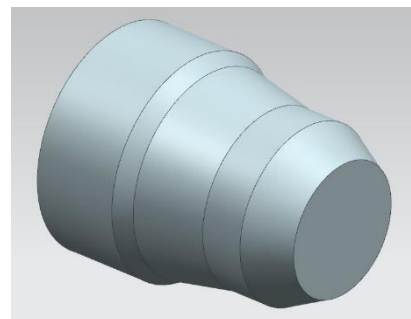
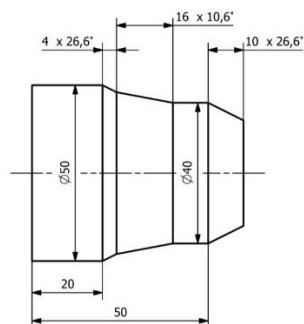
Η τελική μορφή του δοκιμίου:



Σχήμα 4.19

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/7zBHqk1xDGU>

4.2.3.4 Δοκίμιο20



Σχήμα 4.20

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για κοπή περιγράμματος με διαδοχικά εγκάρσια περάσματα στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου, χωρίς φινίρισμα(VARI(μονάδες&δεκάδες=2)).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S150 M04

T1 M06

CYCLE95 ("CONTOUR20", 0.35, 0.2, 0.2, 0.2, 0.5, 0.3, 0.3, 2, 0, 1, 2, 0, 2)

M30

Υποπρόγραμμα 'CONTOUR20':

G90 G01 X0 Z0

X30

X40 Z-10

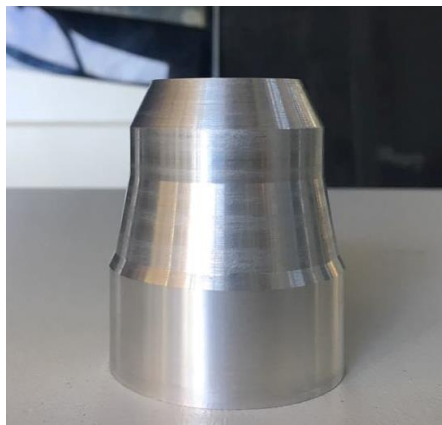
Z-20

X46 Z-36

X50 Z-40

M30

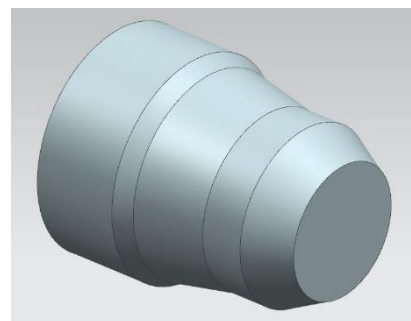
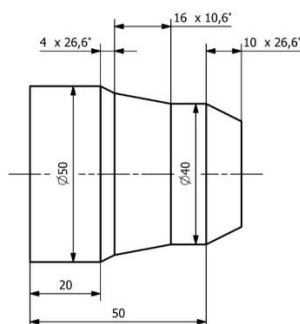
Η τελική μορφή του δοκιμίου:



Σχήμα 4.21

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: https://youtu.be/IQOPn4_Dl2o

4.2.3.5 Δοκίμιο 21



Σχήμα 4.22

Στο συγκεκριμένο δοκίμιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για κοπή περιγράμματος με διαδοχικά εγκάρσια περάσματα στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου με φινίρισμα(VARI(μονάδες&δεκάδες=10)). Η διαφορά στην τελική επιφάνεια λόγω φινιρίσματος, συγκριτικά με το Δοκίμιο 20, είναι αρκετά σημαντική.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

G96 S150 M04

T1 M06

CYCLE95("CONTOUR21", 0.35, 0.2, 0.2, 0.2, 0.5, 0.3, 0.3, 10, 0, 1, 2, 0, 2)

M30

Υποπρόγραμμα 'CONTOUR21'

G90 G01 X0 Z0

X30

X40 Z-10

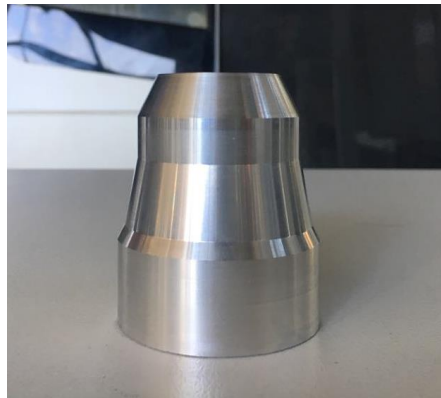
Z-20

X46 Z-36

X50 Z-40

M30

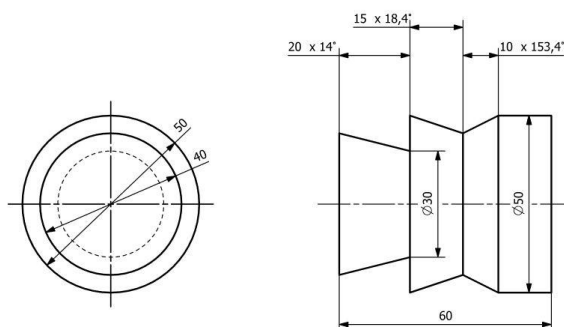
Η τελική μορφή του δοκιμίου:



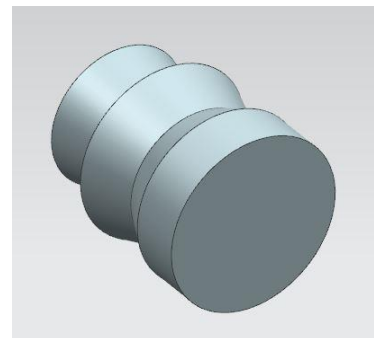
Εικόνα 4.23

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/M8llk2df1Ks>

4.3.2.5 Δοκίμιο 22



Σχήμα 4.24



Στο συγκεκριμένο τεμάχιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για κοπή περιγράμματος με θέση κοπής την πίσω εξωτερική του δοκιμίου και διαδοχικά εγκάρσια περάσματα (VAR1=12). Για την κατεργασία αυτή χρησιμοποιείται το “ανάποδο” κοπτικό.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές και το υποπρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκαν:

```
G90 G54 G71 G18
```

```
G96 S150 M04
```

```
T12 M06
```

```
WORKPIECE(, , "CYLINDER", 192, 0, -200, -75, 50)
```

```
CYCLE95("CONTOUR22", 0.4, 0.3, 0.3, 0.3, 0.5, 0.35, 0.35, 12, 0, 0.5, 1, 0, 2)
```

```
M30
```

Το υποπρόγραμμα::

```
G90 G18 X50 Z0
```

```
Z-5
```

```
X40 Z-15
```

```
X50 Z-25
```

```
X30
```

```
X40 Z-50
```

```
M30
```

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



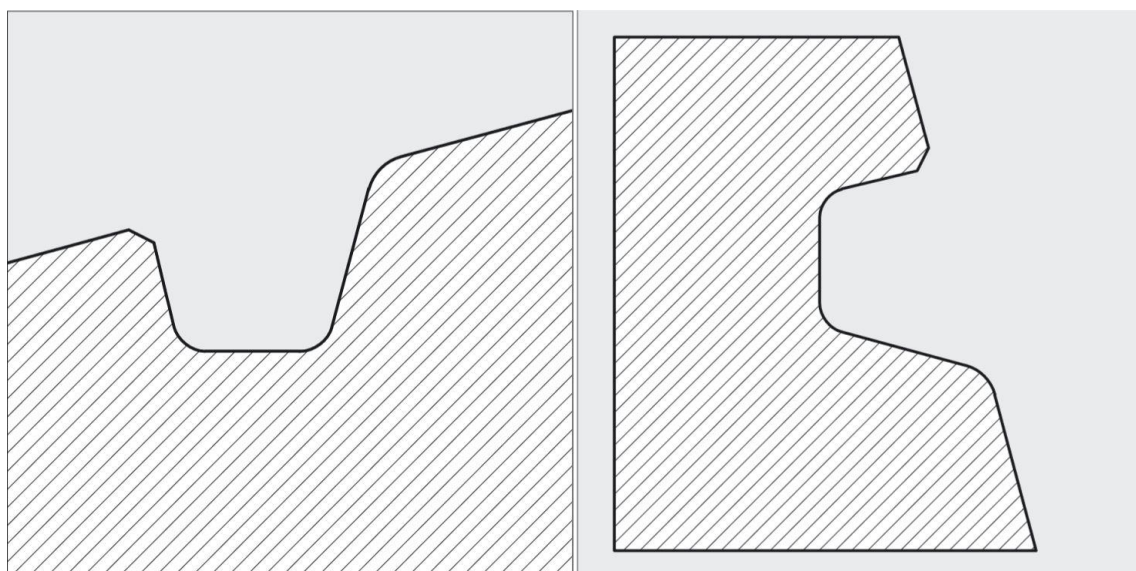
Σχήμα 4.25

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας : <https://youtu.be/VdUyW5N7IcE>

4.3 Αυλάκωση CYCLE930

4.3.1 Περιγραφή του κύκλου CYCLE930

Αυτός ο κύκλος κατεργασίας χρησιμοποιείται για την δημιουργία αυλακώσεων στην εξωτερική ή την εσωτερική επιφάνεια του τεμαχίου. Η αυλάκωση μπορεί να είναι συμμετρική είτε μη συμμετρική, ανάλογα με τις γωνίες και την μορφή που θα ορίσει ο προγραμματιστής. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αυλάκωσης είτε στην περίμετρο είτε στο πρόσωπο του τεμαχίου. Οι τέσσερις γωνίες που δημιουργούνται κατά την αυλάκωση, προαιρετικά μπορούν να μορφοποιηθούν σε στρογγύλεμα ή σε λοξοτομή.



Σχήμα 4.26

Ακόμα, όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα, υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας αυλακώσεων και σε κεκλιμένη επιφάνεια.

Κατά τον προγραμματισμό του κύκλου, είναι σημαντικό ο χρήστης να μελετά προσεκτικά την γεωμετρία της αυλακώσεως, καθώς πλατιές και βαθιές αυλακώσεις μπορεί να ενισχύσουν σημαντικά τις ταλαντώσεις κατά την κατεργασία.

Τροποποιώντας τα ορίσματα του κύκλου, μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές μορφές αυλακώσεων, οι βασικές των οποίων θα παρουσιαστούν στην παράγραφο 4.3.3.

Παρακάτω παρουσιάζονται η σύνταξη και τα ορίσματα του κύκλου κατεργασίας.

Σύνταξη: CYCLE930(SPD ,SPL ,WIDG ,WIDG2 ,DIAG ,DIAG2 ,STA ,ANG1 ,ANG2 ,RCO1 ,RCI1 ,RCI2 ,RCO2 ,FAL ,IDEP1 ,SDIS ,VARI ,DN ,NUM ,DBH ,FF1 ,NR ,FALX ,FALZ ,DMODE ,AMODE)

4.3.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE930

No	Όρισμα	Τύπος Δεδομένου	Σημασία
1	SPD	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον Χ άξονα (διάμετρος)
2	SPL	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον Ζ άξονα (απόλυτες)
3	WIDG	Πραγματικός	Πλάτος στο κάτω μέρος του αυλακιού
4	WIDG2	Πραγματικός	Πλάτος στο πάνω μέρος του αυλακιού
5	DIAG	Πραγματικός	Βάθος κοπής στην πλευρά του σημείου αναφοράς (απόλυτες, διάμετρος, ή σχετικές ως προς το Χ0,Z0)
6	DIAG2	Πραγματικός	Βάθος κοπής στην απέναντι πλευρά του σημείου αναφοράς (απόλυτες, διάμετρος, ή σχετικές)
7	STA	Πραγματικός	Γωνία της κλίσης του τεμαχίου($180 \leq STA \leq 180$)
8	ANG1	Πραγματικός	Κλίση της κάθετης πλευράς του σημείου αναφοράς ως προς το σημείο αναφοράς
9	ANG2	Πραγματικός	Κλίση της κάθετης πλευράς απέναντι του σημείου αναφοράς ως προς το σημείο απέναντι του σημείου αναφοράς
10	RCO1	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 1,εξωτερικά του σημείου αναφοράς (βλέπε Σχήματα 4.28-4.29)

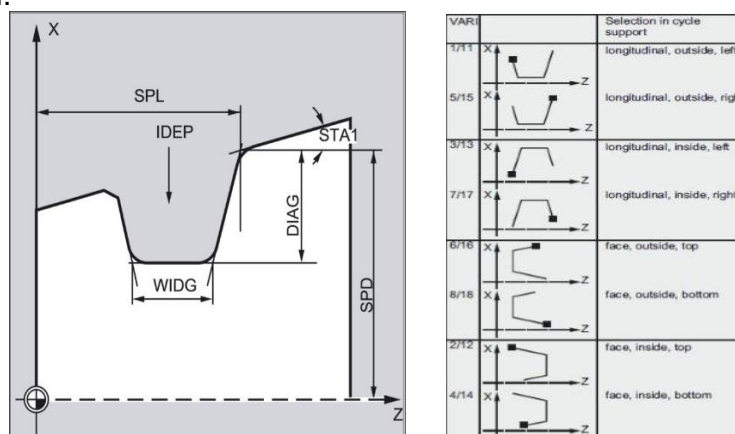
11	RCI1	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 2,εσωτερικά του σημείου αναφοράς (βλέπε Σχήματα 4.28-4.29)
12	RCI2	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 2,εσωτερικά απέναντι πλευράς του σημείου αναφοράς(βλέπε Σχήματα 4.28-4.29)
13	RCO2	Πραγματικός	Ακτίνα στρογγυλέματος ή πάχος λοξοτομής 2,εξωτερικά απέναντι πλευράς του σημείου αναφοράς(Σχήματα 4.28-4.29)
14	FAL	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στους Χ και Ζ άξονες, βλέπε VARI (δεκάδες χιλιάδες), αλλιώς κενό
15	IDEP1	Πραγματικός	Μέγιστο βάθος πρόωσης κατά την είσοδο, 0: πρώτη κοπή απευθείας στο βάθος κοπής, > 0: πρώτη κοπή _IDEP1
16	SDIS	Πραγματικός	Απόσταση ασφαλείας (ως προς το σημείο αναφοράς)
17	VARI	Ακέραιος	Μονάδες: κενό Δεκάδες: Τύπος κατεργασίας. 1:εκχόνδριση, 2φινίρισμα, 3:εκχόνδριση και φινίρισμα Εκατοντάδες: Κίνηση κοπτικού: 1:διαμήκης εξωτερική +Z, 2:κάθετη εσωτερική +X, 3:διαμήκης εσωτερική +Z, 4:κάθετη εσωτερική +X, 5:διαμήκης εξωτερική -Z, 6:κάθετη εξωτερική -X, 7:διαμήκης εσωτερική -Z, 8:διαμήκης εξωτερική +X Χιλιάδες: Θέση σημείου αναφοράς, 0:άνω σημείο αναφοράς, 1:κάτω σημείο αναφοράς Δεκάδες χιλιάδες: Τύπος ανοχής φινιρίσματος, 0: ανοχή U παράλληλα του περιγράμματος, 1:ανοχή UX και UZ (ανοχές ως προς τους άξονες)
18	DN	Ακέραιος	D αριθμός για κοπτικό εργαλείο: κενό: αν έχει προγραμματιστεί
19	NUM	Ακέραιος	Πλήθος αυλακώσεων(0=1 αυλάκωση)
20	DBH	Πραγματικός	Απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών αυλακώσεων(μόνο εάν NUM>1)
21	FF1	Πραγματικός	Ταχύτητα πρόωσης
22	NR	Ακέραιος	Τύπος αυλάκωσης: 0:πλευρές κάθετες χωρίς στρογγυλέματα ή λοξοτομές, 1:γυρτές πλευρές με στρογγυλέματα ή λοξοτομές(χωρίς α0), 2:ομοίως με 1(με α0)
23	FALX	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον Χ άξονα, βλέπε VARI (δεκάδες χιλιάδες), αλλιώς κενό
24	FALZ	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος στον Ζ άξονα, βλέπε VARI (δεκάδες χιλιάδες), αλλιώς κενό

25	DMODE	Ακέραιος	Επίπεδο κατεργασίας: 0:για το επίπεδο που έχει οριστεί πριν την κλήση του κύκλου 1:G17 2:G18 3:G19
26	AMODE	Ακέραιος	Μονάδες: Τρόπος διαστασιολόγησης 0:Από σημείο αναφοράς 1:Από το απέναντι σημείο του σημείου αναφοράς Δεκάδες: Συντεταγμένες βάθους 0: Απόλυτες(διάμετρος) 1:Σχετικές(ακτίνα) Εκατοντάδες: Διαστασιολόγηση πάχους αυλάκωσης 0:Εξωτερική διάμετρος(πάνω) 1:Εσωτερική διάμετρος(κάτω) Χιλιάδες: Στρογγύλεμα ή πάχος λοξοτομής(RCO1) 0: Στρογγύλεμα 1: Λοξοτομή Δεκάδες Χιλιάδες: Στρογγύλεμα ή Λοξοτομή (RCI1) 0: Στρογγύλεμα 1: Λοξοτομή Εκατοντάδες χιλιάδες: Στρογγύλεμα ή πάχος λοξοτομής(RCI2) 0: Στρογγύλεμα 1: Λοξοτομή Εκατομμύρια: Στρογγύλεμα ή πάχος λοξοτομής(RCO2) 0: Στρογγύλεμα 1:Λοξοτομή

Πίνακας 4.3

Για την κατανόηση των ορισμάτων είναι απαραίτητη η παράθεση ορισμένων εικόνων οι οποίες καθιστούν τον παραπάνω πίνακα πιο κατανοητό.

Παρακάτω παρουσιάζεται η θέση των σημείων αναφοράς ανάλογα με την τιμή του ορίσματος VARI.

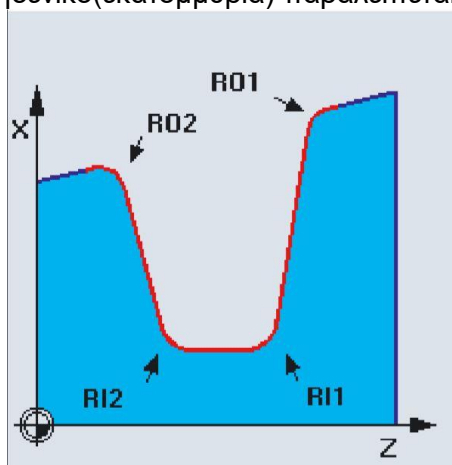


Σχήμα 4.27

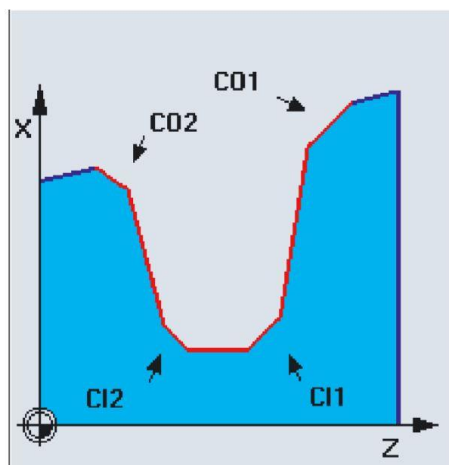
Ο χρήστης ορίζει το σημείο αναφοράς της αυλακώσεως μέσω των ορισμάτων SPD και SPL καθώς και την μορφή του. Ο κύκλος υπολογίζει από μόνος του το σημείο εκκίνησης της κατεργασίας. Έτσι λοιπόν, στην περίπτωση όπου το πλάτος της αυλάκωσης είναι

μεγαλύτερο από το πλάτος του κοπτικού, ο κύκλος υπολογίζει το σημείο εκκίνησης και με διαδοχικά περάσματα αφαιρεί υλικό. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου το πλάτος της αυλακώσεως είναι μικρότερο του πλάτους του κοπτικού, ο κύκλος δεν εκτελείται.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες που ξεκαθαρίζουν την θέση στην οποία απευθύνονται τα ορίσματα RC01,RCI1,RCI2,RC02.Η Εικόνα 4.28 απευθύνεται σε δημιουργία στρογγυλεμάτων και η Εικόνα 4.29 απευθύνεται σε δημιουργία λοξοτομής (εξού και R-rounding και C-chamfer). Προσοχή πρέπει να δοθεί στον ορισμό του σημείου αναφοράς της αυλακώσεως καθώς επηρεάζουν την θέση των ορισμάτων. Επιπλέον προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τον ορισμό της μορφής των γωνιών. Το στρογγύλεμα των γωνιών θεωρείται προεπιλογή στο όρισμα AMODE συνεπώς όπου εννοείται, ο αριθμός μηδέν παραλείπεται. Για παράδειγμα, στο Δοκίμιο 11, στο όρισμα AMODE παρατηρείται ότι το πρώτο μηδενικό(εκατομμύρια) παραλείπεται.

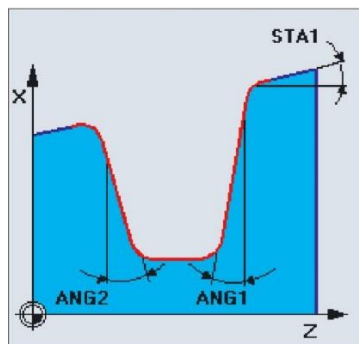


Σχήμα 4.28



Σχήμα 4.29

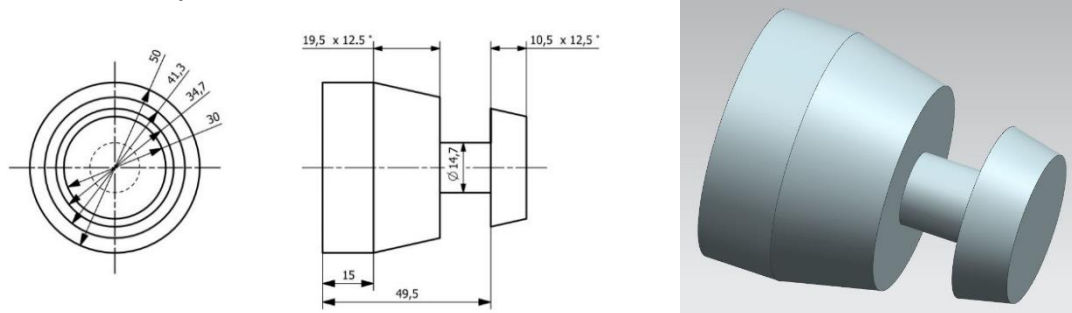
Το όρισμα STA αναφέρεται στην κλίση της επιφάνειας που πρόκειται να κατεργαστεί. Τα ορίσματα ANG1 και ANG2 αναφέρονται στην κλίση των τοιχωμάτων των αυλακώσεων όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.30

4.3.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE930

4.3.3.1 Δοκίμιο 10



Σχήμα 4.31

Στο τεμάχιο αυτό επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για αυλάκωση στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου. Όπως παρατηρείται, η αυλάκωση έχει δημιουργηθεί σε επιφάνεια με κλίση ($STA = -12.5^\circ$) ενώ τα τοιχώματα της δεν έχουν κλίση ($ANG1=ANG2=0$). Επίσης οι τέσσερις γωνίες δεν έχουν μορφοποιηθεί ($RC01=RCI1=RCI2=RCO2=0$). Το τεμάχιο έχει υποστεί εκχόνδριση και φινίρισμα ($VARI(\text{δεκάδες})=3$).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

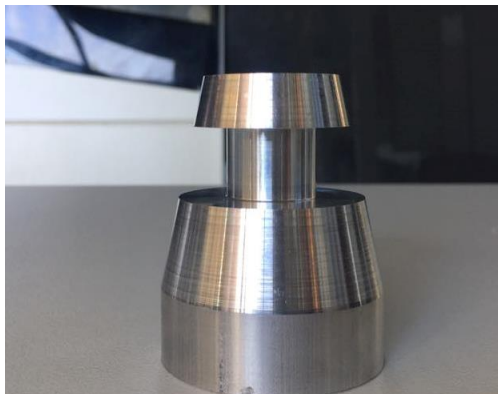
S750 M04

T3 M06

CYCLE930(41.32, -25.47, 15, 15, 20, , -12.5, 0, 0, 0, 0, 0, 0.2, 15, 1, 10130, , 1, 15, 0.3, 2, 0, 0, 2, 1110100)

M30

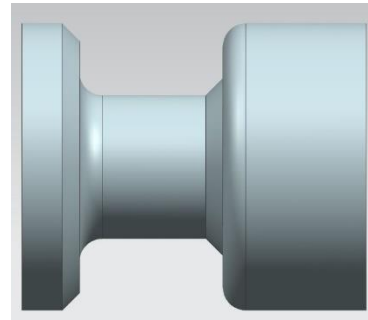
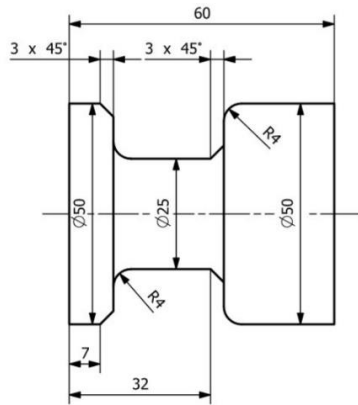
Η τελική μορφή το τεμαχίου:



Εικόνα 4.32

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/Srk5EZVGUWw>

4.3.3.2.Δοκίμιο 11



Σχήμα 4.33

Στο τεμάχιο αυτό επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για αυλάκωση στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου με διαμόρφωση των τεσσάρων γωνιών. Η αυλάκωση έχει δημιουργηθεί σε επιφάνεια χωρίς κλίση ($STA=0$) και τα τοιχώματα της δεν έχουν κλίση ($ANG1=ANG2=0$). Το τεμάχιο έχει υποστεί εκχόνδριση και φινίρισμα ($VARI(\text{δεκάδες})=3$). Οι γωνίες του τεμαχίου έχουν διαμορφωθεί ως εξής: $RC01=0$ (στρογγύλεμα), $RCI1=1$ (λοξοτομή), $RCI2=0$ (στρογγύλεμα), $RCO2=1$ (λοξοτομή).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

S750 M04

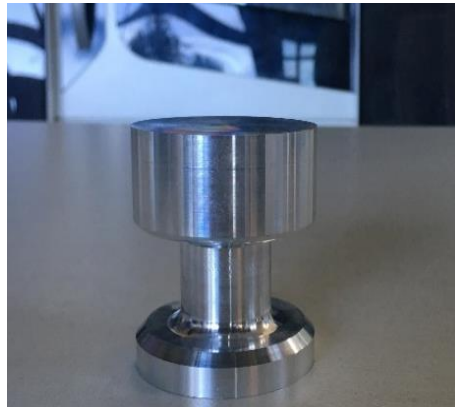
T3 M06

WORKPIECE(, , , "CYLINDER", 192, 0, -200, -90, 50)

CYCLE930(50, -50, 25, 25, 25, , 0, 0, 0, 3, 4, 3, 4, 0.2, 5, 1, 10130, , 1, 20, 0.3, 2, 0, 0, 2, 101100)

M30

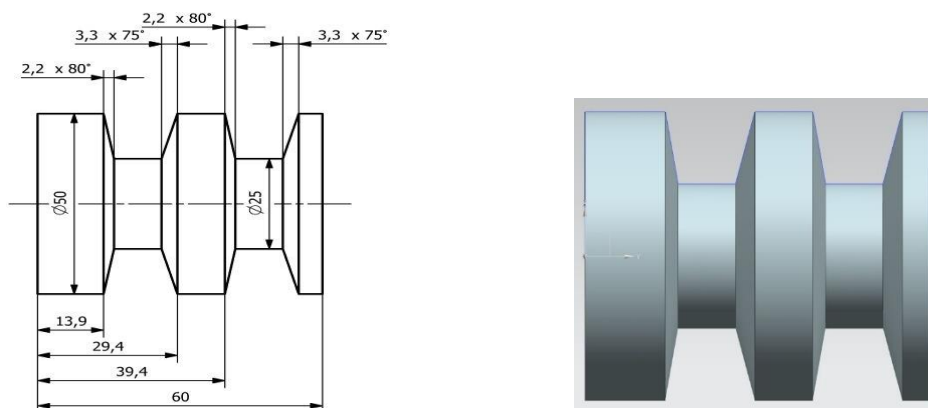
Η τελική μορφή του δοκιμίου:



Σχήμα 4.34

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας : <https://youtu.be/C8zC8qmw1ag>

4.3.3.3 Δοκίμιο 12



Σχήμα 4.35

Στο συγκεκριμένο τεμάχιο φαίνεται η χρήση του κύκλου για την δημιουργία 2 όμοιων αυλακώσεων, των οποίων τα τοιχώματα έχουν κλίση. Αρχικά προγραμματίζεται το όρισμα $NR=2$, δηλαδή η δημιουργία αυλάκωσης με γυρτά τοιχώματα και χωρίς διαμόρφωση στις γωνίες και οι γωνίες ορίζονται από τα ορίσματα $ANG1=10$ και $ANG2=15$ αντίστοιχα. Στην συνέχεια, προκειμένου να δημιουργηθούν δύο όμοιες αυλακώσεις, προγραμματίζουμε το όρισμα $NUM=1$ καθώς και την μεταξύ τους απόσταση $DHB=25.5$.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

S750 M04¶

T3 M06¶

WORKPIECE(, , , "CYLINDER", 192, 0, -200, -75, 50)¶

CYCLE930(50, -46.1, 10, 14.442762, 30, , 0, 10, 15, 0, 0, 0, 0, 0.2, 10, 1, 10130, , 2, 25.5, 0.3, 2, 0, 0, 2, 101100)¶

M30¶

Η τελική μορφή του δοκιμίου:



Σχήμα 4.36

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας : <https://youtu.be/xYf8xHk90vw>

4.4 Υποσκαφή CYCLE940

4.4.1 Περιγραφή του κύκλου

Ο συγκεκριμένος κύκλος κατεργασίας χρησιμοποιείται για την δημιουργία τυποποιημένων περιγραμμάτων στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Συγκεκριμένα, μπορεί να δημιουργήσει περιγράμματα τύπου E και F κατά DIN509, λαιμούς σπειρωμάτων A-D κατά DIN76 καθώς και μη τυποποιημένους λαιμούς σπειρωμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται η σύνταξη και τα ορίσματα του κύκλου κατεργασίας.

Σύνταξη: CYCLE940(SPD ,SPL ,FORM ,LAGE ,SDIS ,FFP ,VARI ,EPD ,EPL ,R1 ,R2 ,STA ,VRT ,MID ,FAL ,FALX ,FALZ ,PITI ,PTAB ,PTABA ,INT _DMODE ,INT _AMODE)

4.4.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE940

No.	Όρισμα	Τύπος Δεδομένου	E	F	A-D	T	Σημασία
1	SPD	Πραγματικός	x	x	x	x	Σημείο αναφοράς στον X άξονα (διάμετρος)
2	SPL	Πραγματικός	x	X	x	x	Σημείο αναφοράς στον Z άξονα (απόλυτες)
3	FROM	Χαρακτήρας	x	x	x	x	Τύπος σκαψίματος Επιλογή πίνακα από τον οποίο λαμβάνονται τα χαρακτηριστικά του σκαψίματος A: Εξωτερικό, DIN76, κανονικό B: Εξωτερικό, DIN76, κοντό C: Εσωτερικό, DIN76, κανονικό D: Εσωτερικό, DIN76, κοντό E: DIN509 F: DIN509 T: μη τυποποιημένο
4	LAGE	Ακέραιος	x	x	x	x	Θέση σκαψίματος (παράλληλα στον Z άξονα) 0: Εξωτερικά +Z: ____ 1: Εξωτερικά -Z: ____/ 2: Εσωτερικά +Z: /----- 3: Εσωτερικά -Z: -----\
5	SDIS	Πραγματικός	x	x	x	x	Απόσταση ασφαλεία
6	FFP	Πραγματικός	x	x	x	x	Ταχύτητα πρόωσης (mm/rev)
7	VARI	Ακέραιος	-	-	x	x	Μονάδες: Τύπος κατεργασίας 1:εκχόνδριση 2:φινίρισμα 3:εκχόνδριση και φινίρισμα Δεκάδες: Τρόπος κοπής 0:Παράλληλα στο περίγραμμα 1:Διαμήκης Προσοχή! Τα σκαψίματα τύπου E και F πάντα εκτελούνται με ένα πέρασμα όπως το φινίρισμα
8	EPD	Πραγματικός	x -	x -	- -	- x	Ανοχή στον X άξονα, βλέπε AMODE Βάθος σκαλίσματος, βλέπε AMOD
9	EPL	Πραγματικός	- -	x -	- -	- x	Ανοχή στον Z άξονα Πάχος σκαλίσματος, βλέπε AMODE
10	R1	Πραγματικός	-	-	-	x	Ακτίνα στρογγυλέματος στην υπό κλίση επιφάνεια
11	R2	Πραγματικός	-	-	-	x	Ακτίνα στρογγυλέματος στην γωνία
12	STA	Πραγματικός	-	-	x	x	Γωνία που εισέρχεται το κοπτικό
13	VRT	Πραγματικός	x	x	-	-	Απόσταση του σκαλίσματος από την ανώτερη επιφάνεια του τεμαχίου,

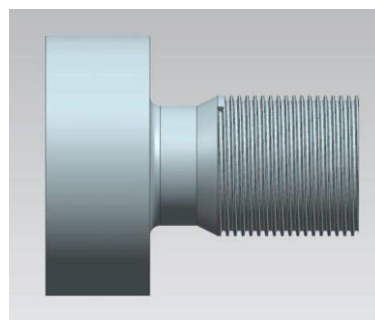
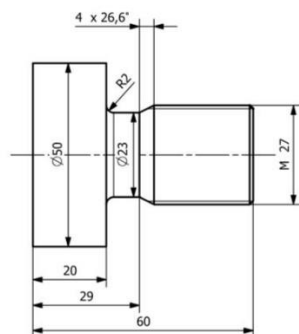
							βλέπε AMODE
			-	-	x	x	Απόσταση του σκαλίσματος από την ανώτερη επιφάνεια του τεμαχίου κατά το φινιρίσμα, βλέπε AMODE
14	MID	Πραγματικός	-	-	x	x	Βάθος πρόωσης
15	FAL	Πραγματικός	-	-	x	x	Ανοχή φινιρίσματος παράλληλα του περιγράμματος, βλέπε AMODE
16	FALX	Πραγματικός	-	-	x	x	Ανοχή φινιρίσματος στον X άξονα
17	FALZ	Πραγματικός	-	-	x	x	Ανοχή φινιρίσματος στον Z άξονα
18	PITI	Ακέραιος	x	x	-	-	Επιλογή στρογγυλέματος/βάθους: 0 : 0.6 · 0.3 1 : 1.0 · 0.4 2 : 1.0 · 0.2 3 : 1.6 · 0.3 23 : 2.5 · 0.4 5 : 4.0 · 0.5 6 : 0.4 · 0.2 7 : 0.6 · 0.2 8 : 0.1 · 0.1 9 : 0.2 · 0.1
			-	-	x	-	Επιλογή βήματος, τύπου A-D, σύμφωνα με M1...M68 0 : 0.20 1 : 0.25 2 : 0.30 3 : 0.35 4 : 0.40 5 : 0.45 6 : 0.50 7 : 0.60 23 : 0.70 9:0,75 23 : 0.80 11 : 1.00 12 : 1.25 13 : 1.50 14 : 1.75 15 : 2.00 16 : 2.50 17 : 3.00 18 : 3.50 19 : 4.00 20 : 4.50 21 : 5.00 22 : 5.50 23 : 6.00
19	PTAB	STRING[5]					Επιλογή πίνακα σπειρώματος: («», «ISO», «BSW», «BSP», «UNC») 20

20	PTABA	STRING[20]					Επιλογή στοιχείου από πίνακα σπειρώματος: («M 10», «M 12», ...)
21	DMODE	Ακέραιος	x	x	x	x	Επίπεδο κατεργασίας: 0:για το επίπεδο που έχει οριστεί πριν την κλήση του κύκλου 1:G17 2:G18 3:G19
22	AMODE	Ακέραιος	x	x	-	x	Μονάδες: Όρισμα EPD 0:Απόλυτες(διάμετρος) 1:Σχετικές(ακτίνα)
			x	x	-	x	Δεκάδες: Όρισμα EPL 0: Απόλυτες 1:Σχετικές
			x	x	x	x	Εκατοντάδες: Όρισμα VRT 0:Απόλυτες(διάμετρος) 1:Σχετικές(ακτίνα)
			-	-	x	x	Χιλιάδες: Ανοχή φινιρίσματος 0:Ανοχή φινιρίσματος παράλληλα του περιγράμματος (FAL) 1:Ανοχή φινιρίσματος στον X και Z άξονα (FALX,FALZ)

Πίνακας 4.4

4.4.3 Παράδειγμα χρήσης του κύκλου CYCLE940

4.4.3.1 Δοκίμιο 13



Σχήμα 4.37

Στο συγκεκριμένο τεμάχιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου CYCLE940 για την δημιουργία μη τυποποιημένου λαιμού σπειρώματος(FORM=T) σε ένα ήδη υπάρχον σπείρωμα. Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε εκχόνδριση και φινιρίσμα με διαμήκη περάσματα (VARI=13). Η γεωμετρία καθορίστηκε από τον χρήστη και φαίνεται στο σχέδιο του δοκιμίου.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

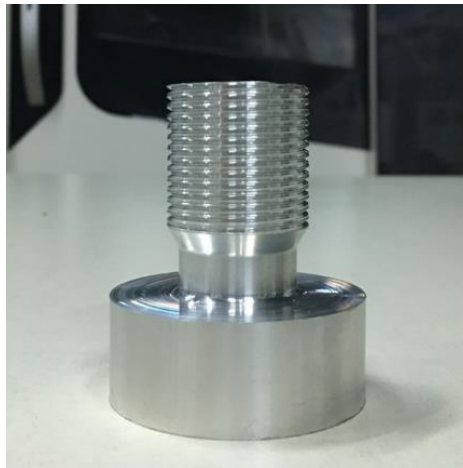
G96 S140 M04

T1 M06

CYCLE940(27.5, -40, "T", 1, 1, 0.2, 13, 23, -27, 2, 2, 30, 20, 0.5, 0.1, 0.1, 0.1, , , , 2, 1100)

M30

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



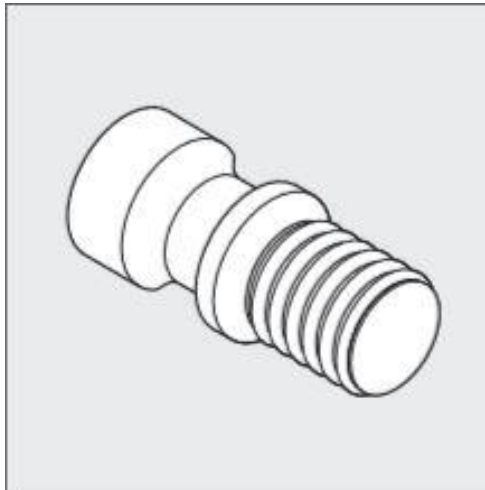
Σχήμα 4.38

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/yPndL0iUeOc>

4.5 Σπειροτόμηση CYCLE99

4.5.1 Περιγραφή του κύκλου

Ο κύκλος αυτός χρησιμοποιείται για την δημιουργία σπειρωμάτων. Ο χρήστης δύναται να κατασκευάσει μια μεγάλη γκάμα σπειρωμάτων με την χρήση του κύκλου αυτού. Αρχικά μπορεί να κατασκευαστεί σπείρωμα στην εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια καθώς και πάνω στην διατομή του τεμαχίου. Το σπείρωμα μπορεί να είναι μονό είτε πολλαπλό, όπου στην δεύτερη περίπτωση τα σπειρώματα κόβονται το ένα έπειτα από το άλλο. Τέλος μπορούν να κατασκευαστούν σπειρώματα με δύο ή και παραπάνω αρχές. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ τυποποιημένων σπειρωμάτων, καθώς ο κύκλος διαθέτει τους πίνακες των σπειρωμάτων (Μετρικό κατά ISO, Whitworth BSW, Whitworth BSP, UNC) αλλά και να κατασκευάσει μη τυποποιημένα σπειρώματα, εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα στον κύκλο.



Σχήμα 4.39

Παρακάτω παρουσιάζονται η σύνταξη και τα ορίσματα του κύκλου κατεργασίας.

Σύνταξη: CYCLE99 (SPL ,SPD ,FPL ,FPD ,APP ,ROP ,TDEP ,FAL ,IANG ,NSP ,NRC ,NID ,PIT ,VARI ,NUMTH ,SDIS ,MID ,GDEP ,PIT1 ,FDEP ,GST ,GUD ,IFLANK ,PITA ,PITM ,PTAB ,PTABA ,DMODE ,AMODE)

4.5.2 Ορίσματα του κύκλου CYCLE99

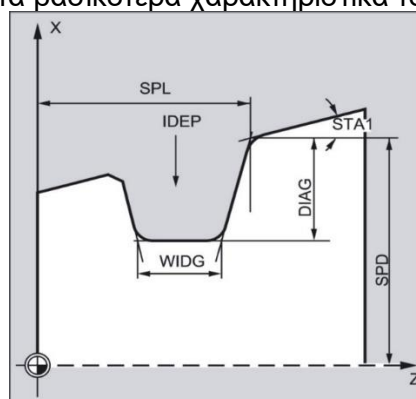
No.	Όρισμα	Τύπος Δεδομένων	Σημασία
1	SPL	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον Z άξονα (απόλυτες)
2	SPD	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον X άξονα (απόλυτες)
3	FPL	Πραγματικός	Τελικό σημείο στον Z άξονα, βλέπε AMODE(μονάδες)
4	FPD	Πραγματικός	Τελικό σημείο στον X άξονα, βλέπε AMODE(δεκάδες)
5	APP	Πραγματικός	Προσέγγιση σπειρώματος (οριζόντια απόσταση που βγαίνει έξω το κοπτικό), βλέπε AMODE(εκατοντάδες)
6	ROP	Πραγματικός	Απόσταση εξόδου κοπτικού από το σπείρωμα (καθώς κόβει το σπείρωμα)
7	TDEP	Πραγματικός	Βάθος σπειρώματος
8	FAL	Πραγματικός	Ανοχή φινιρίσματος παράλληλα του περιγράμματος
9	IANG	Πραγματικός	Κλίση δοντιού σπειρώματος ως γωνία (Ar)
10	NSP	Πραγματικός	Αντιστάθμιση γωνίας εκκίνησης (μόνο εάν υπάρχει μια αρχή στο σπείρωμα)
11	NRC	Ακέραιος	Αριθμός κοπών εκχόνδρισης, σε συνδυασμό με VARI(δεκάδες χιλιάδες)
12	NID	Ακέραιος	Αριθμός περασμάτων χωρίς κοπή
13	PIT	Πραγματικός	Βήμα σπειρώματος, βλέπε PITA
14	VARI	Ακέραιος	<p>Μονάδες: Τεχνολογία σπειρώματος</p> <p>1:Εξωτερικό σπείρωμα με γραμμική κοπή</p> <p>2:Εσωτερικό σπείρωμα με γραμμική κοπή</p> <p>3:Εξωτερικό σπείρωμα με φθίνουσα κοπή με σταθερή διατομή κοπών</p> <p>4:Εσωτερικό σπείρωμα με φθίνουσα κοπή με σταθερή διατομή κοπών</p> <p>Δεκάδες: Κενό</p> <p>Εκατοντάδες: Τύπος πρόωσης</p> <p>1:Πρόωση σε μια πλευρά</p> <p>2:Πρόωση σε διαδοχικές πλευρές</p> <p>Χιλιάδες: Κενό</p> <p>Δεκάδες:</p> <p>0:Ορισμός αριθμού κοπών εκχόνδρισης (NRC)</p> <p>1:Ορισμός βάθους πρώτης κοπής (MID)</p> <p>Εκατοντάδες χιλιάδες:</p> <p>1:Εκχόνδριση</p> <p>2:Φινίρισμα</p> <p>3:Εκχόνδριση και Φινίρισμα</p> <p>Εκατομμύρια: Ακολουθία κατεργασίας σπειρώματος</p> <p>1:σε αύξουσα σειρά</p> <p>2:σε φθίνουσα σειρά</p>
15	NUMTH	Ακέραιος	Αριθμός σπειρωμάτων
16	SDIS	Πραγματικός	Κάθετη απόσταση επιστροφής κοπτικού, σχετικές συντεταγμένες ως προς το σημείο αναφοράς
17	MID	Πραγματικός	Βάθος πρώτης πρόωσης, βλέπε VARI(δεκάδες χιλιάδες)
18	GDEP	Πραγματικός	Εναλλασσόμενο βάθος σπειρώματος 0:παρατήρηση εναλλαγής βάθους σπειρώματος >0:μη παρατήρηση εναλλαγής βάθους σπειρώματος
19	PIT1	Πραγματικός	Εναλλαγή βήματος ανά περιστροφή

			0:βήμα σταθερό (G33) >0:αυξανόμενο βήμα (G34) <0:μειούμενο βήμα (G35)
20	FDEP	Πραγματικός	Βάθος εισχώρησης (αλλιώς κενό)
21	GST	Ακέραιος	Αρχικό σπείρωμα N=1...N, βλέπε AMODE(εκατοντάδες χιλιάδες)
22	GUD	Ακέραιος	κενό
23	IFLANK	Πραγματικός	Κλίση δοντιού σπειρώματος ως απόσταση
24	PITA	Ακέραιος	Μονάδες μέτρησης βήματος σπειρώματος(εκτίμηση PIT και/ή MPIT) 0:Βήμα σε mm – MPIT/PIT εκτίμηση 1:Βήμα σε mm – PIT εκτίμηση 2:Βήμα σε TPI – εκτίμηση PIT (σπείρωμα σε inch) 3:Βήμα σε inch – PIT εκτίμηση 4:εκτίμηση σε PIT
25	PITM	STRING[20]	Δείκτης για το βήμα
26	PTAB	STRING[20]	Δείκτης για τον πίνακα σπειρώματος
27	PTABA	STRING[20]	Δείκτης για την επιλογή στον πίνακα σπειρωμάτων
28	DMODE	Ακέραιος	Μονάδες:Επίπεδο κατεργασίας 0:για το επίπεδο που έχει οριστεί πριν την κλήση του κύκλου 1:G17 2:G18 3:G19 Δεκάδες: Τύπος σπειρώματος 0:διαμήκες σπείρωμα 1:εμπρόσθιο σπείρωμα 2:κωνικό σπείρωμα
29	AMODE	Ακέραιος	Μονάδες: Μήκος σπειρώματος στον Z 0:απόλυτες 1:σχετικές Δεκάδες: Μήκος σπειρώματος στον X 0:απόλυτες 1:σχετικές Εκατοντάδες: Καθορισμός αποστάσεων κατά την είσοδο και την έξοδο του κοπτικού από το σπείρωμα 0:Προσέγγιση APP 1:APP=-ROP 2:APP=-APP Χιλιάδες: Εκτίμηση κλίσης δοντιού σπειρώματος 0:γωνία (IANG) 1:απόσταση (IFLANK) Δεκάδες Χιλιάδες: 0:Μονό σπείρωμα 1:Πολλαπλό σπείρωμα Εκατοντάδες χιλιάδες: Αρχικό σπείρωμα GST 0:πλήρης εκτέλεσης 1:έναρξη κατεργασίας από αυτό το σπείρωμα 2:Κατεργασία μόνο αυτού του σπειρώματος

Πίνακας 4.5

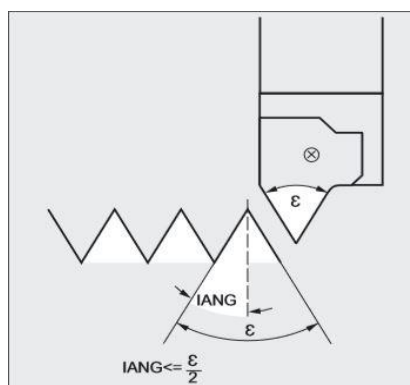
Το προγραμματισμένο αρχικό σημείο (όρισμα SPL) και τελικό σημείο (όρισμα FPL) καθορίζουν το μήκος του σπειρώματος. Παρόλα αυτά το σημείο εκκίνησης του κύκλου δεν αντιστοιχεί στο αρχικό σημείο του σπειρώματος. Το σημείο εκκίνησης του κύκλου αντιστοιχεί στο αρχικό σημείο του σπειρώματος συν μια απόσταση την οποία ακολουθεί μετά από κάθε πέρασμα κοπής (όρισμα APP). Ομοίως στο τέλος του σπειρώματος υπάρχει μια απόσταση κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο αποχωρεί ομαλά από την επιφάνεια του τεμαχίου (όρισμα ROP).

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του σπειρώματος θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή από τον χρήστη. Θα πρέπει να φροντίσει το βάθος του σπειρώματος (TDEP) να μην υπερβαίνει το μέγιστο βάθος κοπής του αφού κάτι τέτοιο θα έχει αποτέλεσμα την καταστροφή του σπειρώματος και πιθανόν την καταστροφή του κοπτικού εργαλείου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά του σπειρώματος.



Σχήμα 4.40

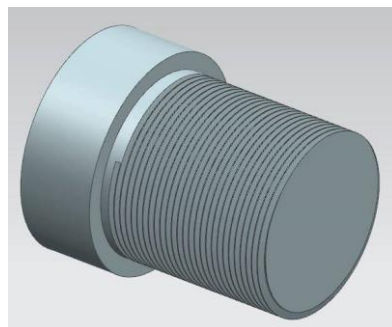
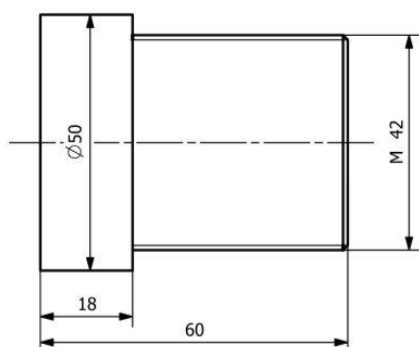
Κατά τον προγραμματισμό, ο χρήστης καθορίζει το βήμα του σπειρώματος, την ταχύτητα και την φορά περιστροφής της ατράκτου και ο κύκλος υπολογίζει από μόνος του την ταχύτητα πρόωσης που απαιτείται. Έτσι λοιπόν η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου θα πρέπει να επιλέγεται συνετά. Η γωνία του σπειρώματος (IANG) καθορίζεται από την γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και η τιμή της είναι η μισή της γωνίας του κοπτικού.



Σχήμα 4.41

4.5.3 Παραδείγματα χρήσης του κύκλου CYCLE99

4.5.3.1 Δοκίμιο 14



Σχήμα 4.42

Στο τεμάχιο αυτό κατασκευάστηκε μη τυποποιημένο σπείρωμα με την χρήση του κύκλου σπειροτόμησης. Συγκεκριμένα το βήμα του σπειρώματος είναι 1.5mm (PIT=1.5) και βάθος σπειρώματος 0.920mm (TDEP=0.920). Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε στην εξωτερική οριζόντια επιφάνεια του τεμαχίου. Η ταχύτητα περιστροφής ορίστηκε στις 1500 rpm και η πρόωση υπολογίστηκε από τον κύκλο στα 2.250 mm/min. Το τεμάχιο υπέστη εκχόνδριση και φινίρισμα, με σταθερό βάθος πρόωσης (GDEP=0.3>0) κατά την εκχόνδριση στα 0,3mm (MID=0,3).

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

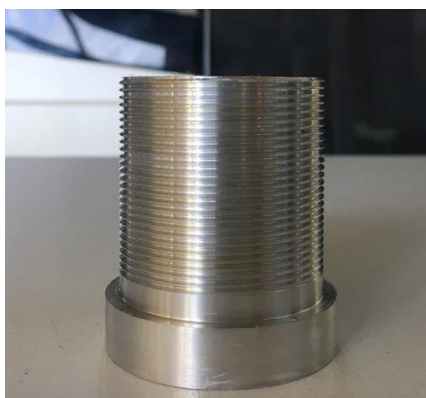
S1500 M03

T5 M06

CYCLE99(0, 43, -40, , 0, 0, 0.92016, 0.1, 15, 0, 3, 1, 1.5, 1310101, 2, 5, 0.3, 0.3, 0, 0, 1, 0, 0.535898, 1, , , , 102, 0)

M30

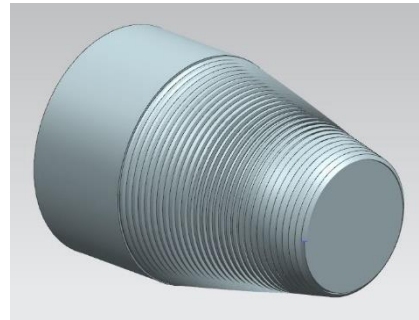
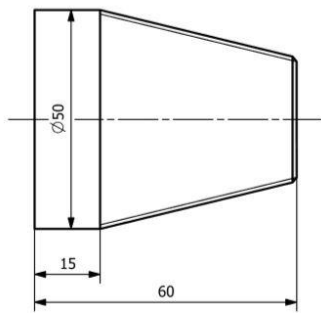
Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.43

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/6D-fl4QZt8k>

4.5.3.2 Δοκίμιο 15



Σχήμα 4.44

Στο συγκεκριμένο τεμάχιο επιδεικνύεται ο κοπή σπειρώματος σε κεκλιμένη επιφάνεια τεμαχίου. Συγκεκριμένα το βήμα του σπειρώματος είναι 1.5mm (PIT=1.5) και βάθος σπειρώματος 0.920mm (TDEP=0.920). Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε στην εξωτερική κεκλιμένη επιφάνεια του τεμαχίου. Η ταχύτητα περιστροφής ορίστηκε στις 1500 rpm και η πρόωση υπολογίστηκε από τον κύκλο στα 2.250 mm/min.

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν:

S1500 M03¶

T5 M06¶

CYCLE99(0, 30, -45, 44.4, 0, 1, 1.22688, 0.1, -15, 0, 6, 0, 2, 1310101, 4, 1, 0.2, 0.5, 0, 0, 1, 0, -0.246556, 1, , , , 122, 0)¶

M30¶

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.45

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/vzNnUAFIL1k>

4.6 Διάνοιξη βαθιάς οπής CYCLE83

4.6.1 Περιγραφή του κύκλου

Ο συγκεκριμένος κύκλος χρησιμοποιείται για την διάνοιξης οπών μεγάλου βάθους, όπου η εξαγωγή των αποβλήτων από την οπή και η εισχώρηση λιπαντικού είναι απαραίτητη κατά την κατεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάκλησης του τρυπανιού εκτός της οπής είτε της μερικής εξόδου του κοπτικού ανά κάποιο συγκεκριμένο βάθος.

Σύνταξη : CYCLE83(REAL RTP, REAL RFP, REAL SDIS, REAL DP, REAL DPR, REAL FDEP, REAL FDPR, REAL _DAM, REAL DTB, REAL DTS, REAL FRF, INT VARI, INT _AXN, REAL _MDEP, REAL _VRT, REAL _DTD, REAL _DIS1, INT _GMODE, INT _DMODE, INT _AMODE)

4.6.2 Ορίσματα του κύκλου

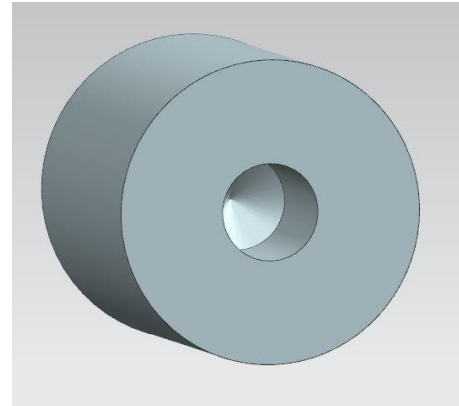
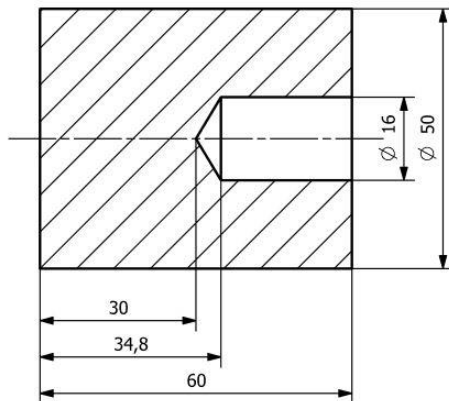
No.	Όρισμα	Τύπος; Δεδομένου	Σημασία
1	RTP	Πραγματικός	Απόσταση που βγαίνει το κοπτικό από την οπή
2	RFP	Πραγματικός	Σημείο αναφοράς στον Z άξονα (απόλυτες)
3	SDIS	Πραγματικός	Απόσταση ασφάλειας
4	DP	Πραγματικός	Βάθος οπής (απόλυτες), βλέπε AMODE
5	DPR	Πραγματικός	Βάθος οπής (σχετικές), βλέπε AMODE
6	FDEP	Πραγματικός	Βάθος οπής του πρώτου περάσματος(απόλυτες), βλέπε AMODE
7	FDPR	Πραγματικός	Βάθος οπής του πρώτου περάσματος(σχετικές), βλέπε AMODE
8	DAM	Πραγματικός	Βάθος/ποσοστό για κάθε επόμενη πρόωση (βλέπε AMODE)
9	DTB	Πραγματικός	Χρόνος παραμονής στο βάθος διάτρησης, βλέπε AMODE
10	DTS	Πραγματικός	Χρόνος παραμονής στην θέση ανάκλησης(μόνο για VARI=1), βλέπε AMODE
11	FRF	Δεκαδικός	Ποσοστό της πρόωσης στο πρώτο πέρασμα, βλέπε AMODE
12	VARI	Ακέραιος	Απόβλιπτο θραύση/αφαίρεση 0=θραύση απόβλιπτου 1=αφαίρεση απόβλιπτου
13	AXN	Ακέραιος	Άξονας του εργαλείου: 0=3 ^η γεωμετρία αξόνων 1=1 ^η γεωμετρία αξόνων 2=2 ^η γεωμετρία αξόνων >2=3 ^η γεωμετρία αξόνων
14	MDEP	Πραγματικός	Ελάχιστη πρόωση (μόνο για μειούμενη πρόωση ανά πέρασμα)
15	VRT	Ακέραιος	Απόσταση ανάκλησης ύστερα από το κάθε πέρασμα(μόνο για θραύση αποβλίπτου) 0=μεταβλητή απόσταση ανάκλησης 1=σταθερή απόσταση ανάκλησης 1mm
16	DTD	Πραγματικός	Χρόνος παραμονής στο τελικό βάθος οπής, βλέπε AMODE
17	DIS1	Πραγματικός	Μέγιστη απόσταση ανάκλησης (μόνο για αφαίρεση αποβλίπτου), βλέπε AMODE
18	GMODE	Ακέραιος	Τύπος γεωμετρίας(υπολογισμός των προγραμματισμένων γεωμετρικών δεδομένων) Μονάδες: κενό Δεκάδες : βάθος διάτρηση με αναφορά 0=την ακμή του τρυπανιού 1=το στέλεχος του τρυπανιού
19	DMODE	Ακέραιος	Επίπεδο κατεργασίας:

			0=το επίπεδο που έχει ήδη προγραμματιστεί 1=G17 (ισχύει μόνο κατά την εκτέλεση του κύκλου) 2=G18(ισχύει μόνο κατά την εκτέλεση του κύκλου) 3=G19 (ισχύει μόνο κατά την εκτέλεση του κύκλου)
20	AMODE	Ακέραιος	Μονάδες: τελικό βάθος κοπής 0= συμβατότητα με τις μεταβλητές DP/DPR 1=σχετικές 2=απόλυτες Δεκάδες: χρόνος παραμονής στο βάθος οπής DTB σε sec/περιστροφές 0=συμβατότητα με το σύμβολο του DTB (>0 sec ή <0 περιστροφές) 1= σε δευτερόλεπτα 2=σε περιστροφές Εκατοντάδες: χρόνος παραμονής στην αρχική θέση του DTS σε sec/ περιστροφές 0=συμβατότητα με το σύμβολο του DTS (>0 sec ή <0 περιστροφές) 1=σε δευτερόλεπτα 2=σε περιστροφές Χιλιάδες: χρόνος παραμονής στην αρχική θέση του DT σε sec/ περιστροφές 0=συμβατότητα με το σύμβολο του DTD (>0 sec ή <0 περιστροφές) 1=σε δευτερόλεπτα 2=σε περιστροφές Δεκάδες χιλιάδες: Βάθος οπής D 0=συμβατότητα με FDEP/FDPR 1=σχετικές 2=απόλυτες Εκατοντάδες χιλιάδες: Ποσότητα/ποσοστό μεταβολής του βάθους ανά επόμενο πέρασμα (για μείωση) 0=Συμβατότητα με DAM (>0 sec ή <0 παράγοντας από 0.001 έως 1.0 1=ποσότητα 2=ποσοστό Εκατομμύρια: Περιορισμός μεταβλητής DIS1 0=Συμβατότητα με την μεταβλητή DIS1 (0=αυτόματη ή >0 κατ' επιλογή 1=Αυτόματη (υπολογίζεται από τον κύκλο) 2= Κατ' επιλογή (προγραμματισμένη τιμή) Δεκάδες εκατομμύρια: Συντελεστής πρόωσης για το πρώτο πέρασμα 0= Συμβατότητα ως συντελεστής(από 0.001 έως 1.0, FRF=0 σημαίνει 100% 1= Ποσοστό (από 0.001 μέχρι 999,999%)

Πίνακας 4.6

4.6.3 Παράδειγμα χρήσης του κύκλου CYCLE83

4.6.3.1 Δοκίμιο 24

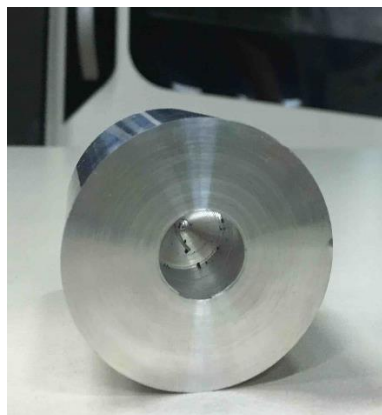


Σχήμα 4.45

Στο συγκεκριμένο τεμάχιο επιδεικνύεται η χρήση του κύκλου για την διάνοιξη οπής βάθους 30 mm (DP=-30) . Το βάθος την οπής υπολογίσθηκε σύμφωνα με την ακμή του εργαλείου (GMODE (δεκάδες)=0). Στην μέθοδο κατεργασίας ορίστηκε αφαίρεση αποβλίπτου (VARI=1) . Παρακάτω φαινονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν:

```
T10 M06¶  
G00 Z50 ¶  
X0¶  
S1100 M03¶  
CYCLE83(15, 0, 2, -30, , , 5, 100, 0.5, 0.5, 100, 1, 0, 1.2, 1.4, 0.5, 1.6, 0, 1, 12211112)¶  
M30¶
```

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 4.46

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/HW2clKfaL2U>

5. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ CAM ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ NX11

Ως σχεδιομελέτη με την χρήση Η/Υ (Computer Aided Design) ορίζεται η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος και ιδιαίτερα στην δημιουργία, μεταβολή ανάλυση και βελτιστοποίηση της μορφής του. Περιλαμβάνει τις τεχνολογίες γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου δεδομένων για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος. Στην στενή έννοια του όρου, σκοπός είναι η δημιουργία του γραφικού μοντέλου με σκοπό την χρήση του σε κάθετες εφαρμογές όπως την παρουσίαση του σε ενδιαφερόμενους, την παραγωγή του από μηχανές CNC μέσω συστημάτων CAM, την μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων μέσω προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων κλπ.

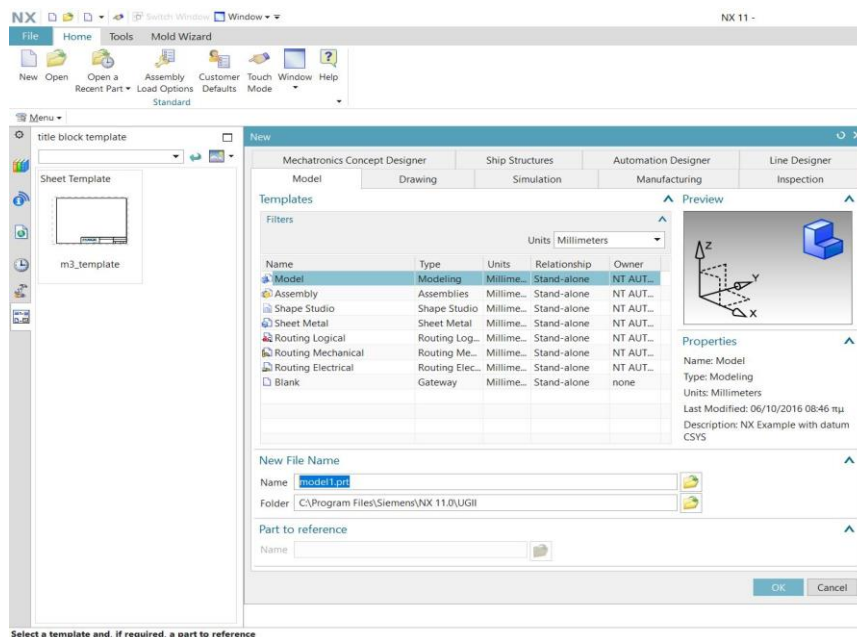
Ως κατασκευή με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing) ορίζεται η συνδυασμένη χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών και των μηχανημάτων κατεργασίας για να διευκολύνουν και να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής. Τα λογισμικά CAM προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην παραγωγή, όπως η μείωση των αστοχιών και λαθών, την εντατικοποίηση και επιτάχυνση της παραγωγής και σημαντική αύξηση της ακρίβειας των παραγόμενων προϊόντων. Αρκετά συχνά, τα λογισμικά CAM συνοδεύονται από εφαρμογές προσομοίωσης και βελτιστοποίησης.

Τα λογισμικά πακέτα CaX, CAD /CAM/CAE, τα τελευταία 20 χρόνια, γνωρίζουν σημαντική ανάπτυξη και αυξανόμενη δημοτικότητα. Η συνεχής ανάπτυξη και αυτοματοποίηση της παγκόσμιας αγοράς απαιτεί την τεχνολογική υποστήριξη από τέτοιου είδους λογισμικά. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση του πακέτου CAD/CAM NX11 της SIEMENS PLM SOFTWARE. Χρησιμοποιήθηκαν οι εφαρμογές Modeling και Manufacturing. Η πρώτη απευθύνεται στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση προϊόντων και η δεύτερη στην κατασκευή προϊόντων.

5.1 Περιγραφή του περιβάλλοντος CAD του λογισμικού NX11

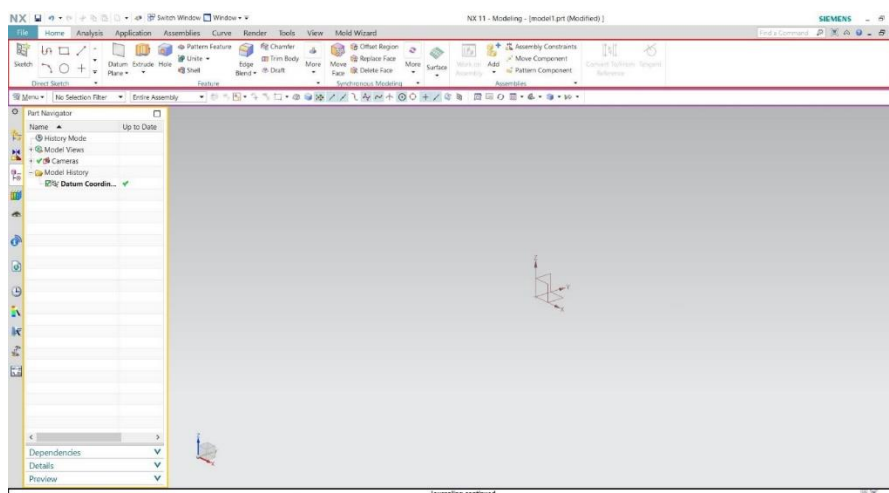
5.1.1 Βασικό μενού μοντελοποίησης

Προκειμένου ο χρήστης να δημιουργήσει ένα νέο αρχείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιλέγει το εικονίδιο **New** και στον συνέχεια την κατηγορία **Model**.



Σχήμα 5.1: Αρχική οθόνη

Αφού ορίσει το όνομα του αρχείου και τον φάκελο αποθήκευσης, επιλέγει το εικονίδιο **OK** και μεταφέρεται στο κεντρικό περιβάλλον μοντελοποίησης, το οποίο φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 5.2: Περιβάλλον CAM

Το κεντρικό περιβάλλον διαθέτει δύο μπάρες εργαλείων, την κύρια μπάρα η οποία διακρίνεται με το κόκκινο χρώμα και την δευτερεύουσα μπάρα που διακρίνεται με το μωβ χρώμα (Εικόνα 5.2).

- Η κύρια μπάρα εργαλείων περιέχει τα βασικότερα εργαλεία μοντελοποίησης. Ωστόσο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια εργαλεία επιθυμεί να εμφανίζονται πατώντας το μαύρο βέλος που διακρίνεται στο δεξί άκρο της μπάρας.
- Η δευτερεύουσα μπάρα διαθέτει το εικονίδιο Menu στο οποίο βρίσκονται όλα τα εργαλεία και οι λειτουργίες που διαθέτει το πρόγραμμα για την μοντελοποίηση. Επίσης διαθέτει ένα σύνολο εικονιδίων που αφορά την προβολή στοιχείων και τον προσανατολισμό του μοντέλου.

Στην αριστερή πλευρά, εντός του πορτοκαλί πλαισίου, διακρίνεται το δέντρο ιστορίας. Περιέχει πλήρες ιστορικό των κατεργασμένων μοντέλων και των εργασιών που έχουν εκτελεσθεί σε αυτά.

Τέλος, στο κάτω μέρος, εντός του μαύρου πλαισίου, διακρίνεται η μπάρα ουράς όπου εμφανίζονται μηνύματα σχετικά με το στοιχείο που έχει επιλεγθεί.

5.1.2 Δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου

5.1.2.1 Σύστημα συντεταγμένων

Για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι απαραίτητος ο ορισμός ενός συστήματος συντεταγμένων. Το NX διαθέτει δυο βασικά συστήματα συντεταγμένων:

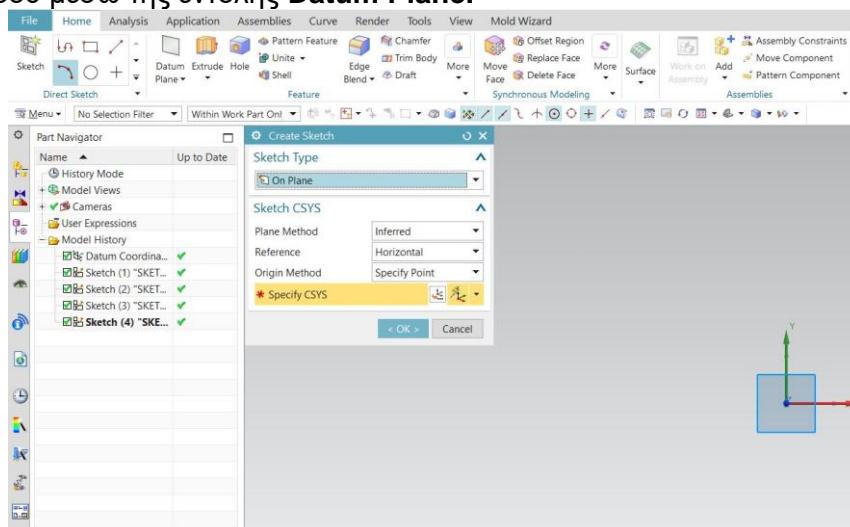
- **Απόλυτο σύστημα συντεταγμένων (ACS):** Αποτελεί το σύστημα συντεταγμένων το οποίο είναι ίδιο για όλα τα μοντέλα που σχεδιάζονται
- **Σύστημα συντεταγμένων εργασίας (WCS):** Είναι ένα ανεξάρτητο σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται κατά την μοντελοποίηση ενός συγκεκριμένου τεμαχίου

Τα δύο αυτά συστήματα, ξεχωρίζουν κατά την μοντελοποίηση καθώς ο χαρακτηρισμός των αξόνων του WCS συνοδεύεται από το γράμμα C.

Υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας του WCS αλλάζοντας την διεύθυνση των αξόνων δυναμικά είναι σχετικά με άλλες επιφάνειες.

5.1.2.2 Δημιουργία δισδιάστατου σχεδίου

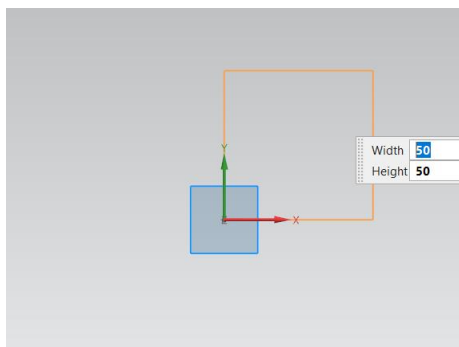
Πολύ συχνά η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι επακόλουθο της δημιουργίας ενός δισδιάστατου σχεδίου το οποίο με τα κατάλληλα εργαλεία μετατρέπεται σε στερεό. Για την δημιουργία του, πρέπει να επιλεγθεί το επίπεδο σχεδίασης. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής ενός από των προϋπάρχοντων επιπέδων ή την δημιουργία ενός νέου επιπέδου μέσω της εντολής **Datum Plane**.



Σχήμα 5.3: Επιλογή επιπέδου σχεδίασης

Αφού επιλέξει το επιθυμητό επίπεδο επιλέγει το εικονίδιο **Sketch** και μεταφέρεται στο περιβάλλον σχεδίασης. Στην κύρια μπάρα εργασίας εμφανίζεται ένα πλήθος από γεωμετρικά σχήματα και επιλογές για διαστασιολόγηση. Κατά την σχεδίαση ενός σχήματος υπάρχει δυνατότητα ορισμού των διαστάσεων μέσω του παράθυρου που

εμφανίζεται κοντά στο σχέδιο. Οι διαστάσεις μπορούν να τροποποιηθούν και στην συνέχεια, κάνοντας διπλό αριστερό κλικ πάνω στο σχήμα που πρόκειται να τροποποιηθεί.



Σχήμα 5.4 Διαστασιολόγηση κατά την σχεδίαση

Όταν ολοκληρωθεί το σχέδιο ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις επιθυμητές διαστάσεις με την εντολή **Rapid Dimension** ή να μετρήσει τα επιθυμητά μεγέθη με τα εργαλεία **Simple Distance** και **Simple Angle** τα οποία βρίσκονται στην καρτέλα **Analysis**.

Όταν ολοκληρωθεί η σχεδίαση και η τοποθέτηση διαστάσεων, επιλέγεται το εικονίδιο

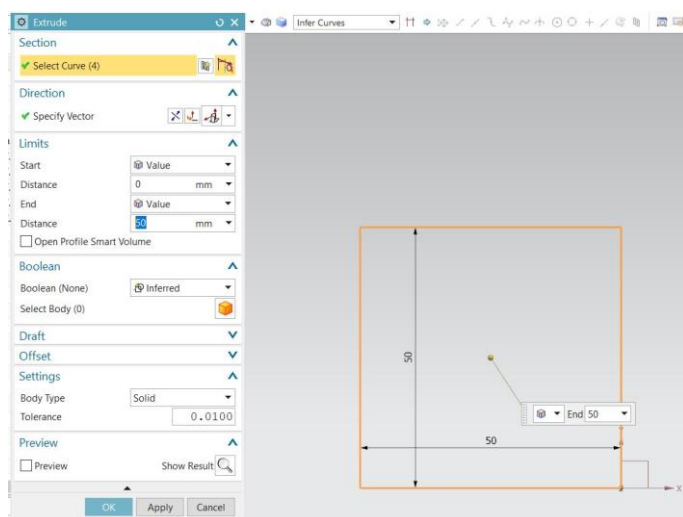


και το πρόγραμμα επιστρέφει στην κεντρική σελίδα.

5.1.2.3 Δημιουργία όγκου μέσω του δισδιάστατου σχεδίου

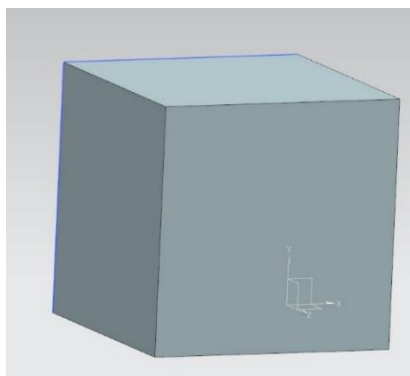
Αφού έχει σχεδιαστεί το σχέδιο, σειρά έχει η δημιουργία όγκου. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιούνται τα εργαλεία τρισδιάστατης σχεδίασης **Extrude** και **Revolve** τα οποία βρίσκονται στην κατηγορία **Feature**.

Το εργαλείο **Extrude** προβάλλει ένα κλειστό σχήμα κατά μήκος ενός άξονα. Στο παρακάτω παράδειγμα (Σχήμα 5.5), το τετράγωνο προφίλ εξωθείται κατά 30mm προς τον επιλεγμένο άξονα.



Σχήμα 5.5: Εργαλείο Extrude

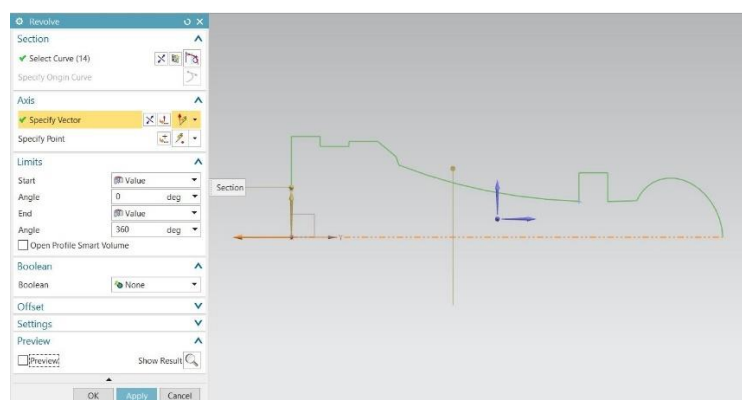
Το αποτέλεσμα :



Σχήμα 5.6:Αποτέλεσμα Extrude

Το εργαλείο **Revolve** δημιουργεί ένα στερεό σώμα περιστρέφοντας ένα σχήμα γύρω από ένα άξονα περιστροφής κατά τις μοίρες που επιλέγει ο χρήστης. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα χρήσης του:

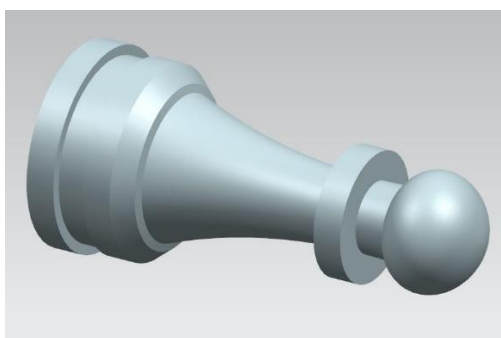
Αρχικά επιλέγεται το δισδιάστατο σχέδιο το οποίο θα αποτελεί το περίγραμμα του στερεού σώματος (μέσω της επιλογής Select Curve) . Στην συνέχεια επιλέγεται ο άξονας γύρω από τον οποίο θα περιστραφεί (Specify Vector) καθώς και οι μοίρες περιστροφής (Angle).



Σχήμα 5.7: Εργαλείο Revolve

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγεται η πράσινη καμπύλη ως το περίγραμμα του στερεού και ο πορτοκαλί άξονας ως άξονας περιστροφής (Σχήμα 5.7) . Η γωνία περιστροφής ορίστηκε 360° προκειμένου το στερεό να είναι πλήρες.

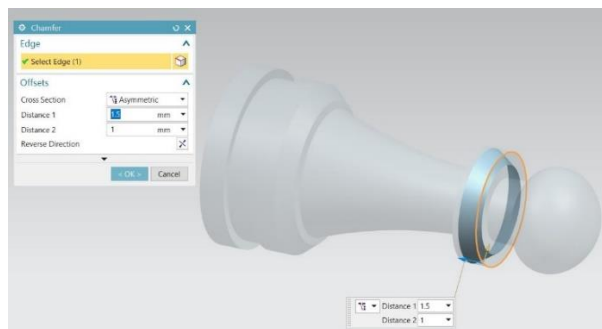
Το αποτέλεσμα της εντολής φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 5.8):



Σχήμα 5.8

Στην συνέχεια, υπάρχει δυνατότητα της επεξεργασίας του στερεού με διάφορα εργαλεία όπως **Chamfer**, **Edge Blend**, **Hole**, **Trim Body**, **Thread** και άλλα.

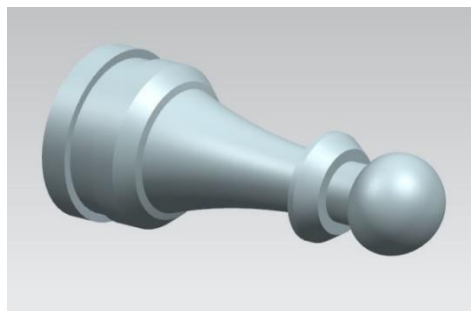
Το εργαλείο **Chamfer** δημιουργεί λοξοτομή σε κάποια ακμή του στερεού. Ο χρήστης επιλέγει την ακμή ή τις ακμές στις όπου θέλει να δημιουργήσει λοξοτομή και στην συνέχεια επιλέγει την απόσταση από την ακμή που επιθυμεί να εκτείνεται η λοξοτομή. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μη συμμετρικής λοξοτομής. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα χρήσης της εντολής (Εικόνα 5.9):



Σχήμα 5.9: Εργαλείο Chamfer

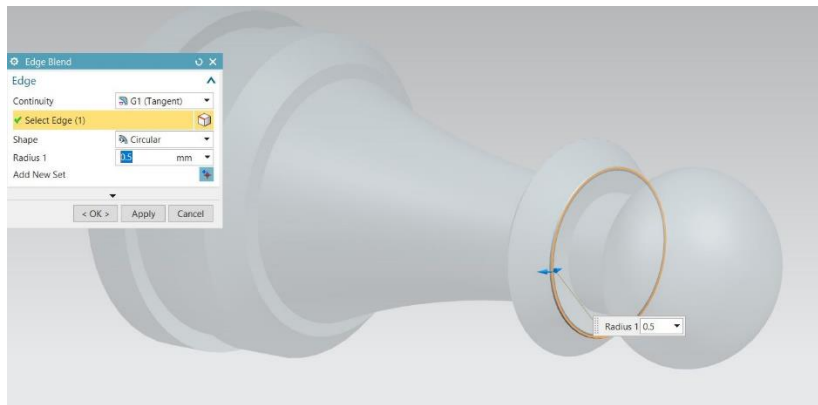
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η ακμή με πορτοκαλί χρώμα που φαίνεται στο σχήμα και η απόσταση λοξοτομής από την ακμή ορίστηκε στο 1.5mm. Η λοξοτομή είναι μη συμμετρική, δηλαδή δεν ισαπέχει και από τις δύο πλευρές της ακμής.

Το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 5.10):



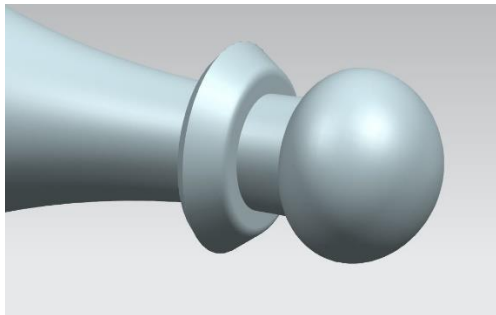
Σχήμα 5.10: Αποτέλεσμα Chamfer

Το εργαλείο **Edge Blend** στρογγυλοποιεί μία ή περισσότερες ακμές ενός στερεού. Ο χρήστης επιλέγει τις ακμές που επιθυμεί να στρογγυλοποιήσει (Select Edge), τον τύπο του στρογγυλέματος καθώς και τα χαρακτηριστικά του στρογγυλέματος. Ακολουθεί παράδειγμα χρήσης του εργαλείου (Σχήμα 5.11) :



Σχήμα 5.11:Εργαλείο Edge Blend

Ως ακμή προς στρογγύλεμα επιλέχθηκε η ακμή που διακρίνεται με πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα και η ακτίνα του στρογγυλέματος ορίστηκε στα 0.5mm. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Σχήμα 5.12: Αποτέλεσμα Edge Blend

Το εργαλείο **Thread** δημιουργεί σπείρωμα σε μια επιφάνεια του στερεού. Ο χρήστης, αφού επιλέξει την επιφάνεια που επιθυμεί ορίζει όλα τα χαρακτηριστικά του σπειρώματος και εκτελεί την εντολή. Το NX δεν έχει την δυνατότητα δημιουργίας σπειρώματος σε κεκλιμένες επιφάνειες (κωνικά σπειρώματα, βλ. Δοκίμιο 15), και για τον σχεδιασμό τους απαιτείται η χρήση της εντολής **Helix** και **Sweep**.

Το εργαλείο **Hole** δημιουργεί οπή σε ένα σημείο ή σε μια επιφάνεια. Διαθέτει αρκετές ρυθμίσεις με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει ακριβώς την οπή που επιθυμεί.

Μια σημαντική ομάδα εργαλείων είναι αυτή των σχέσεων μεταξύ όγκων. Πρόκειται για τα εργαλεία **Unite**, **Intersect** και **Subtract**. Οι λειτουργίες του είναι οι εξής :

- **Unite:** Ενώνει δύο ή περισσότερα στερεά σε ένα συμπαγές τελικό στερεό
- **Subtract:** Αφαιρεί υλικό από ένα στερεό και το κενό που προκύπτει έχει την μορφή ενός δεύτερου στερεού
- **Intersect:** Ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα σώματα, διατηρεί μόνο τον όγκο που είναι κοινός τους.
-

Υπάρχουν πολλά ακόμη χρήσιμα εργαλεία στην διάθεση του χρήστη κατά την μοντελοποίηση στο NX αλλά για λόγους συντομίας η αναφορά θα περιοριστεί στα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

5.2 Μεθοδολογία κοπής με την χρήση CAM στο NX

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή CAM πρωτίστως για κατεργασία τεμαχίων με τórνευση και δευτερευόντως για φαιζάρισμα. Η βασική φιλοσοφία είναι η ίδια απλώς στην περίπτωση του φραιζαρίσματος τα πράγματα γίνονται πιο σύνθετα. Στα πλαίσια της μελέτης του CAM του NX κατασκευάστηκε ένα ολοκληρωμένο σετ σκακιού.

Λίγα λόγια για το σετ σκακιού

Οι πεσσοί και η σκακιέρα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα. Η σκακιέρα πριν χαραχτεί στην εργαλειομηχανή Lasertec 40 της DMG MORI , γυαλίστηκε στο χέρι με την χρήση ηλεκτρικού τριβείου και υαλόχαρτα νερού και στην συνέχεια με αλοιφή γυαλίσματος για ανοξείδωτα μέταλλα. Επίσης στην Lasertec 40 κόπηκαν οι σταυροί που βρίσκονται στην κορυφή των βασιλιάδων, οι οποίοι στηρίχτηκαν σε εγκοπές που ανοίχτηκαν στην ίδια μηχανή. Οι βασιλιάδες, οι βασίλισσες, οι αξιωματικοί και τα πιόνια κόπηκαν εξολοκλήρου με την χρήση του τórνου CTX310 ecoline ενώ οι ίπποι και οι πύργοι πέρασαν και από κατεργασία στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco.

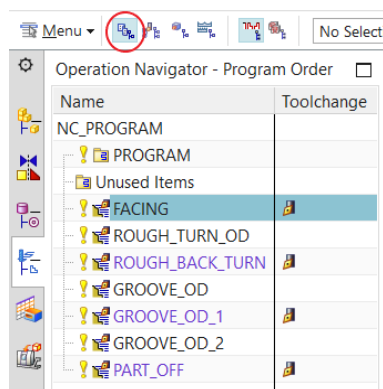
5.2.1 Το περιβάλλον CAM

Η δημιουργία ενός αρχείου CAM γίνεται με παρόμοιο τρόπο με αυτή των αρχείων του CAD. Επιλέγεται το εικονίδιο **New** και στην συνέχεια η κατηγορία **Manufacturing**. Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει το είδος την κατεργασίας που θα υποστεί το τεμάχιο.

Στην περίπτωση που το τεμάχιο έχει ήδη σχεδιαστεί, μέσω του παράθυρου **Application** μεταφέρεται απευθείας στο περιβάλλον CAM και πλέον μπορεί από το ίδιο αρχείο να έχει πρόσβαση τόσο στο CAD όσο και στο CAM του δοκιμίου. Το περιβάλλον του CAM παρόμοιο με αυτό του CAD.

Στην δευτερεύουσα μπάρα εργαλείων υπάρχουν τέσσερα σημαντικά παράθυρα στα οποία προβάλλονται οι κατεργασίες και καθορίζονται συγκεκριμένα στοιχεία των κατεργασιών και της εργαλειομηχανής. Τα παράθυρα είναι τα εξής:

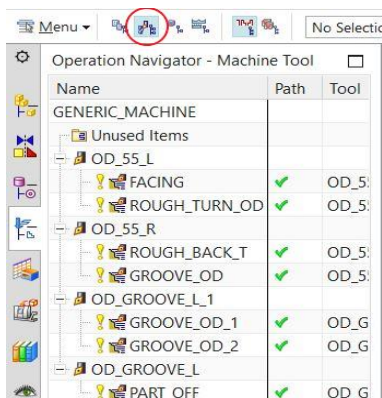
- **Program Order:** Σε αυτό το παράθυρο εμφανίζονται οι κατεργασίες με την χρονική σειρά που πρόκειται να πραγματοποιηθούν. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει την σειρά εκτέλεσης των κατεργασιών
-



Σχήμα 5.13

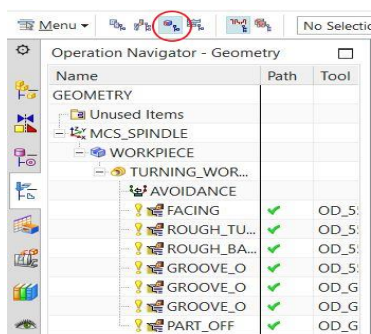
- **Machine Tool:** Σε αυτό το παράθυρο εμφανίζονται τα εργαλεία που έχουν δημιουργηθεί. Κάτω από κάθε εργαλείο υπάρχει η λίστα με τις κατεργασίες που πρόκειται να εκτελέσει το συγκεκριμένο. Σε αυτό το παράθυρο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει,

να τροποποιήσει και να οργανώσει σε θέσεις τα εργαλεία που διαθέτει η εργαλειομηχανή του.



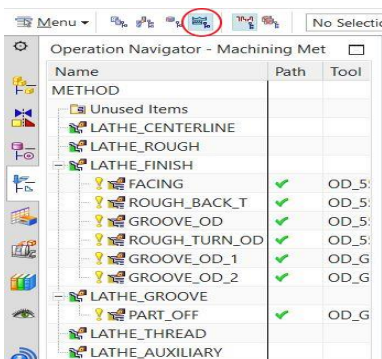
Σχήμα 5.14

- **Geometry View:** Σε αυτό το παράθυρο εμφανίζονται οι γεωμετρίες της κοπής. Εδώ ο χρήστης ορίζει το σύστημα συντεταγμένων της εργαλειομηχανής, το αρχικό ακατέργαστο τεμάχιο και το τελικό τεμάχιο που έχει σχεδιαστεί. Επίσης, μέσω της επιλογής **Avoidance** μπορεί να επιλέξει την αποφυγή συγκεκριμένων σημείων και περιοχών από το κοπτικό καθώς και τις θέσεις εκκίνησης και τερματισμού των προγραμμάτων.



Σχήμα 5.15

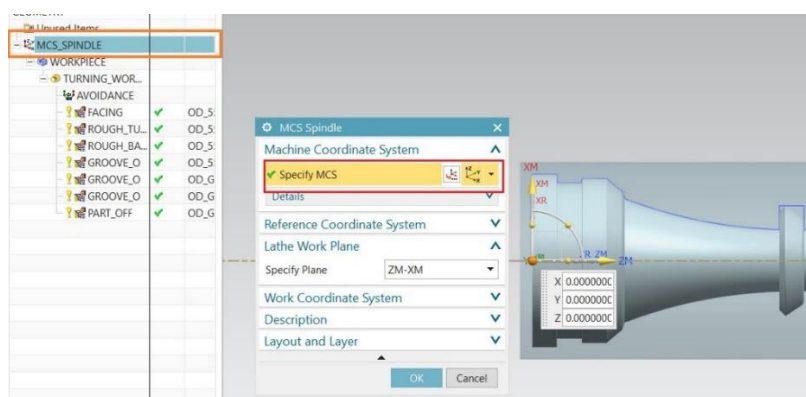
- **Machining Method View:** Σε αυτό το παράθυρο ο χρήστης μπορεί να δημιουργεί και να επεξεργάζεται τις μεθόδους κατεργασίας. Για παράδειγμα, μπορεί να ορίσει το μέγιστο βάθος κοπής ή τις ανοχές φινιρίσματος κατά την κατεργασία εκχόνδρισης. Οι κατεργασίες σε αυτό το παράθυρο ομαδοποιούνται σύμφωνα με την μέθοδο κατεργασίας.



Σχήμα 5.16

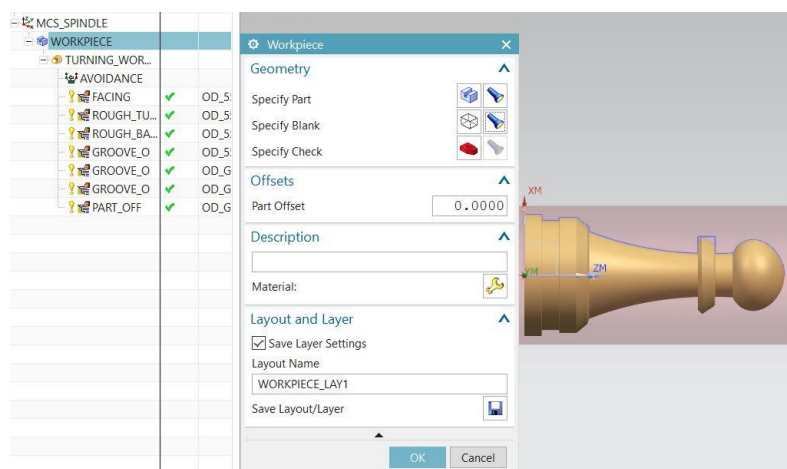
5.2.2 Προγραμματισμός κατεργασιών

Πρωτού ο χρήστης δημιουργήσει οποιαδήποτε κατεργασία θα πρέπει να καθορίσει τις γεωμετρίες που λαμβάνουν μέρος στην κοπή. Αρχικά θα πρέπει να προσδιοριστεί ένα νέο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο θα απεικονίζει τους άξονες της εργαλειομηχανής. Ονομάζεται **Machine Coordinate System (MCS)** και ξεχωρίζει από τα άλλα συστήματα συντεταγμένων με το γράμμα M. Μπορεί να τροποποιήσει τον προσανατολισμό του με διάφορες μεθόδους οι οποίες εμφανίζονται πατώντας βελάκι που βρίσκεται στο κόκκινο πλαίσιο στο Σχήμα 5.17. Ο σωστός ορισμός του συστήματος συντεταγμένων της εργαλειομηχανής είναι εξαιρετικής σημασίας, καθώς οι εντολές του G κώδικα όπου θα εξαχθούν στην συνέχεια θα είναι βασισμένες πάνω σε αυτό. Στην παρακάτω εικόνα, έχει επιλεγεί η επεξεργασία του συστήματος συντεταγμένων δυναμικά, κατά την οποία υπάρχει δυνατότητα οποιασδήποτε μετακίνησης και περιστροφής του με την χρήση του μεσαίου πλήκτρου του ποντικιού.



Σχήμα 5.17: Ορισμός MCS Spindle

Στην συνέχεια θα πρέπει να προσδιοριστεί το αρχικό ακατέργαστο τεμάχιο και το τελικό επιθυμητό τεμάχιο. Αυτό γίνεται μέσω του παράθυρου **Workpiece** το οποίο βρίσκεται ακριβώς κάτω από το **MCS_Spindle**. Πρώτα επιλέγεται το τελικό τεμάχιο, και στην συνέχεια το ακατέργαστο τεμάχιο. Στην περίπτωση που το ακατέργαστο έχει δημιουργηθεί ήδη, και το πρόγραμμα δεν δίνει την δυνατότητα επιλογής του τελικού με απλό αριστερό κλικ, αρκεί ένα δεξί κλικ και η επιλογή **Select from List**. Στην εικόνα 5.17 το τελικό τεμάχιο φαίνεται με το χάλκινο χρώμα και το ακατέργαστο τεμάχιο με το μωβ χρώμα.



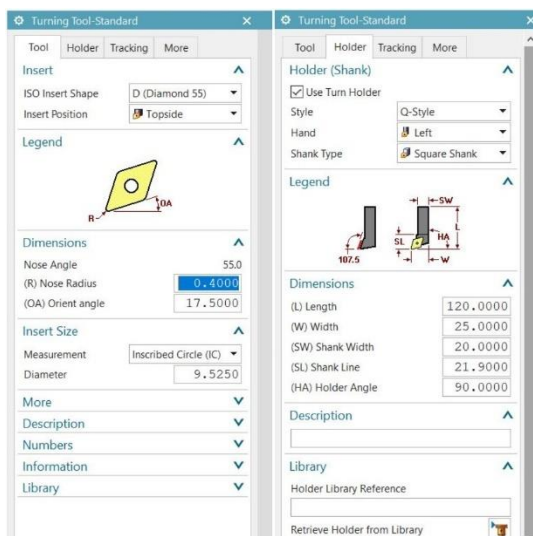
Σχήμα 5.18: Ορισμός Workpiece

Τα επόμενα δύο βήματα είναι ο ορισμός του **Turning Workpiece** στο οποίο συνήθως αφήνονται οι αυτόματες προεπιλεγμένες επιλογές μετά από έλεγχο και το **Avoidance**. Το **Avoidance** αφορά τις κινήσεις με τις οποίες τα κοπτικά προσεγγίζουν και απομακρύνονται από το τεμάχιο και τις στρατηγικές κίνησης από και προς τα σημεία κοπής (π.χ. αξονική- ακτινική , ακτινική-αξονική, ευθεία κλπ). Ειδικότερα για αρχάριους, προτείνεται ο καθορισμός αυτών των κινήσεων σε κάθε μια κατεργασία ξεχωριστά, καθώς η εφαρμογή ίδιας στρατηγικής σε όλες θα οδηγήσει σε ατύχημα. Αφού έχουν καθοριστεί τα γεωμετρικά στοιχεία, θα πρέπει να σχεδιαστούν με ακρίβεια τα κοπτικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν. Τα κοπτικά εργαλεία αποθηκεύονται στο παράθυρο **Machine Tool View**. Κατά τον σχεδιασμό ενός εργαλείου, ο χρήστης συμβουλευτεί τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εργαλείων που χρησιμοποιεί η εργαλειομηχανή του τα οποία είναι διαθέσιμα από τους κατασκευαστές. Αρχικά επιλέγει το παράθυρο **Create Tool** και στην συνέχεια τον τύπο εργαλείου που επιθυμεί από του διαθέσιμους τύπους εργαλείων



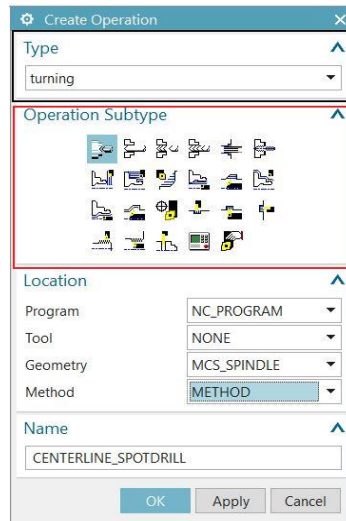
Σχήμα 5.19: Επιλογή τύπου εργαλείου

Τέλος ορίζει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για το εργαλείο, και επαναλαμβάνει την διαδικασία για όλα τα υπόλοιπα εργαλεία που πρόκειται να χρησιμοποιήσει. Στο Σχήμα 5.20 δίνεται ένα παράδειγμα συμπλήρωσης των χαρακτηριστικών ενός κοπτικού φινιρίσματος και της μανέλας του.



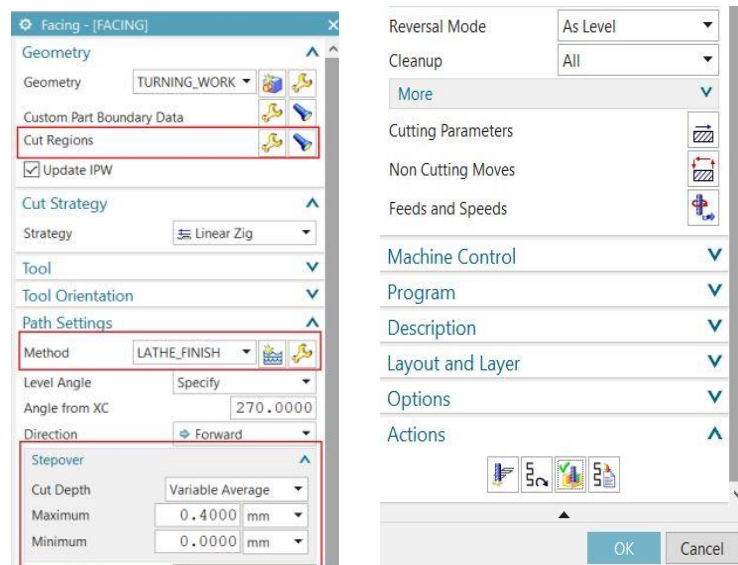
Σχήμα 5.20: Δημιουργία νέου εργαλείου

Αφού έχουν καθοριστεί όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την κοπή, ο χρήστης είναι σε θέση να δημιουργήσει την πρώτη κατεργασία. Για την δημιουργία μίας νέας κατεργασίας επιλέγεται το παράθυρο **Create Operation** που βρίσκεται στην κύρια μπάρα εργασιών. Από τις επιλογές **Type** επιλέγεται ο τύπος της κατεργασίας όπως φαίνεται στο μαύρο πλαίσιο στο Σχήμα 5.21 (τόρνευση φραιζάρισμα κλπ) και στην συνέχεια επιλέγεται η κατεργασία όπως φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο στην Εικόνα 5.21 (διάτρηση, αυλάκωση, αφαίρεση υλικού κλπ). Επίσης πρέπει να επιλεχθούν το προγραμμα στο οποίο θα ενταχθεί η κατεργασία, το εργαλείο με το οποίο θα εκτελεσθεί, η γεωμετρία πάνω στην οποία θα εκτελεστεί και η μέθοδος κατεργασίας.



Σχήμα 5.21: Δημιουργία νέας κατεργασίας.

Αφού πατηθεί το OK ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει μια πληθώρα από χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Τα βασικότερα είναι το **Cut Region** όπου ο χρήστης μπορεί με ακρίβεια να περιορίσει την κατεργασία σε κάποιο χωρίο το **Tool** με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν επεξεργαστεί και να δημιουργήσει το εργαλείο, το **Path Settings** όπου επιλέγει την μέθοδο κατεργασίας καθώς και το βάθος κοπής, το **Non Cutting Moves** όπου ορίζει τις κινήσεις προσέγγισης και απομάκρυνσης από το τεμάχιο και τέλος το **Cutting Moves** όπου ορίζει τις παραμέτρους της κοπής. Το παράθυρο των χαρακτηριστικών αυτών φαίνεται ο Σχήμα 5.22. Όταν συμπληρωθούν όλα τα χαρακτηριστικά τότε επιλέγεται το **Generate Toolpath** και το πρόγραμμα υπολογίζει τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου. Ο χρήστης μπορεί να δει τις κινήσεις να απεικονίζονται με γραμμές και στην συνέχεια, αν επιλέξει το **Verify** μπορεί να δει την πλήρη προσομοίωση της κατεργασίας με κίνηση.



Σχήμα 5.22: Χαρακτηριστικά κατεργασίας

Κατά τον ίδιο τρόπο δημιουργούνται όλες οι επιθυμητές κατεργασίες για το τεμάχιο. Το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση του CAM είναι η εξαγωγή του κώδικα καθοδήγησης εργαλειομηχανής. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση της εντολής **Postprocess** η οποία βρίσκεται στην κύρια μπάρα εργαλείων. Εναλλακτικά πατώντας δεξί κλικ στο στοιχείο Workpiece και επιλέγοντας το Post Process, εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον postprocessor που επιθυμεί, τον φάκελο αποθήκευσης και τον τύπο αρχείου για το κείμενο των εντολών καθώς και τις μονάδες μέτρησης. Ο postprocessor αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο εξάγει τον κώδικα καθοδήγησης. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μεταφραστής, ο οποίος μεταφράζει τις κατεργασίες που έχουν προγραμματιστεί σε G κώδικα, δηλαδή την γλώσσα που αντιλαμβάνεται η μηχανή. Υπάρχουν αρκετοί έτοιμοι postprocessors στο NX για διάφορες μονάδες ελέγχου των εργαλειομηχανών ωστόσο χρειάζονται τροποποιήσεις και προσαρμογές. Αυτό γίνεται μέσω της εφαρμογής Post Processor που περιέχεται στο NX κατά την εγκατάστασή του. Σε αυτήν μπορεί να δημιουργηθεί ένας νέος postprocessor ή να επεξεργαστεί κάποιος που βρίσκεται κοντά στις απαιτήσεις της εργαλειομηχανής. Οι δυνατότητες εξατομίκευσης είναι σχεδόν απεριόριστες. Το αρχείο που θα μεταφερθεί στην μηχανή θα πρέπει να είναι μορφής MPF.

5.3 Κατασκευή σκακιού με την χρήση του CAM

Το μεταλλικό σκάκι κατασκευάστηκε από ανοξείδωτο χάλυβα και για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές εργαλειομηχανές. Στο κέντρο τόννευσης CTX310 eco κατασκευάστηκαν εξολοκλήρου τα πιόνια, η βασίλισσα και οι αξιωματικοί. Οι πύργοι και τα άλογα κατασκευάστηκαν με την χρήση του κέντρου τόννευσης και του κέντρου κατεργασίας DMU 50. Οι βασιλιάδες με την χρήση του κέντρου τόννευσης και της εργαλειομηχανής χάραξης με λέιζερ LASERTEC 40. Τέλος η επιφάνεια του σκακιού χαρακτήκε στην εργαλειομηχανή χάραξης με λέιζερ. Παρακάτω θα παρουσιαστεί σύντομα ο κάθε πεσσός.

Όλα τα τεμάχια που κατεργάστηκαν στο κέντρο τόννευσης σχεδιάστηκαν με την χρήση της εντολής **Revolve**, αφού είναι αξονοσυμμετρικά. Στην συνέχεια, οι ακμές με κόψη στρογγυλοποιήθηκαν με την εντολή **Edge Blend** προκειμένου να είναι ασφαλή στην χρήση τους και δημιουργήθηκαν λοξοτομές με την εντολή **Chamfer** για αισθητικούς λόγους.

Σε όλα τα τεμάχια, ως **Bounding Body** ορίστηκε ράβδος διαμέτρου 20 mm.

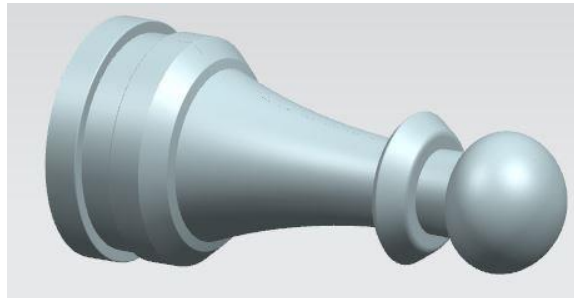
5.3.1 Οι συνθήκες κατεργασίας χρησιμοποιήθηκαν

Κατά τον προγραμματισμό μέσω CAM, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ορίζονται οι τύποι κατεργασίας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εξ' αυτών, ο LATHE_ROUGH και ο LATHE_FINISH.

- Ο τύπος LATHE_ROUGH αφορά την εκχόνδριση του τεμαχίου. Ορίζονται οι ανοχές για φινίρισμα σε 0.3mm στον πρόσωπο του τεμαχίου και 0.4mm στην περίμετρό του. Η ταχύτητα πρόωσης ορίστηκε στα 0.25 mmpr.
- Ο τύπος LATHE_FINISH αφορά το φινίρισμα του τεμαχίου, η ταχύτητα πρόωσης ορίστηκε στα 0.2 mmpr.
- Ο τύπος GROOVE όπου η ταχύτητα περιστροφής ορίστηκε στις 500rpm και η πρόωση στα 0.024 mmpr

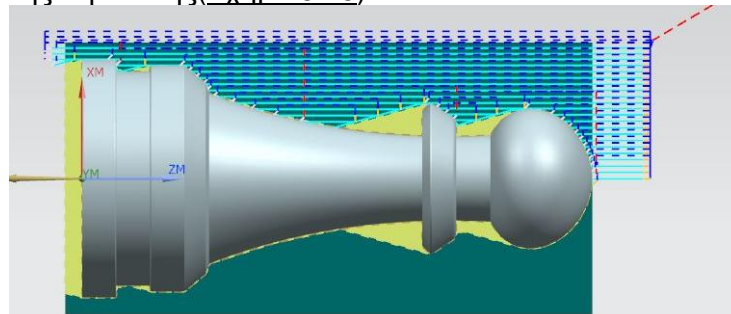
Το βάθος κοπής, για λόγους πειραματισμού, κυμαινόταν μεταξύ 0,3-0,6 mm και η ταχύτητα κοπής μεταξύ 60-80 m/min κατά την κοπή των πεσσών. Παρακάτω θα παρουσιαστεί συνοπτικά ο προγραμματισμός κοπής του κάθε τεμαχίου.

5.3.2 Το πιόνι

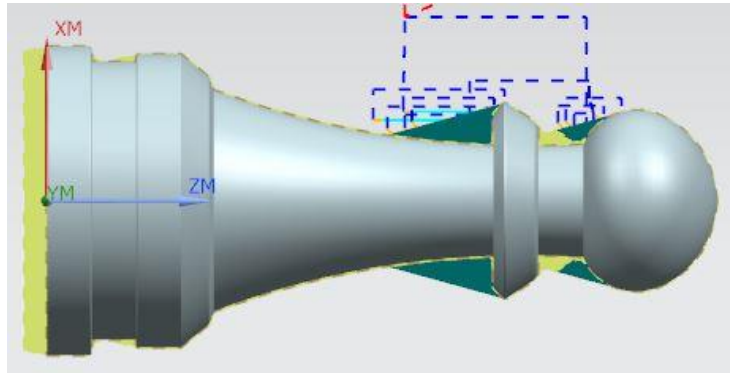


Σχήμα 5.23: Τρισδιάστατο μοντέλου του πιονιού

Για την κατασκευή του τεμαχίου πραγματοποιήθηκαν τέσσερις κατεργασίες. Αρχικά η κατεργασία **FACING** για την δημιουργία ίσιας επιφάνειας στο πρόσωπο του αρχικού τεμαχίου. Στην συνέχεια η κατεργασία **ROUGH_OD** για την δημιουργία του εξωτερικού περιγράμματος, ωστόσο η γεωμετρία του τεμαχίου σε συνδυασμό με την γεωμετρία του κοπτικού, απαιτούσε την επιπλέον κατεργασία (Σχήμα 5.24) του με το ανάποδο κοπτικό εργαλείο εξωτερικής τόνρευσης(Σχήμα 5.25).



Σχήμα 5.24: Η διαδρομή του εργαλείου της κατεργασίας ROUGHTURN_OD



Σχήμα 5.25: Η διαδρομή του εργαλείου της κατεργασίας ROUGH_BACK_TURN

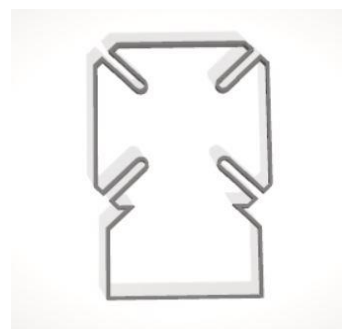
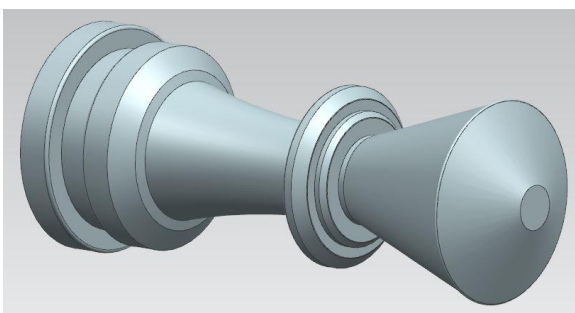
Τέλος η κατεργασία CUTOFF αποκόπτει το τεμάχιο από το αρχικό ακατέργαστο τεμάχιο. Παρακάτω φαίνεται η τελική μορφή του τεμαχίου :



Σχήμα 5.26: Πιόνι

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/VEY7oyWoliU>

5.3.3 Ο βασιλιάς



Σχήμα 5.27: Τρισδιάστατα μοντέλα για την κατασκευή του βασιλιά

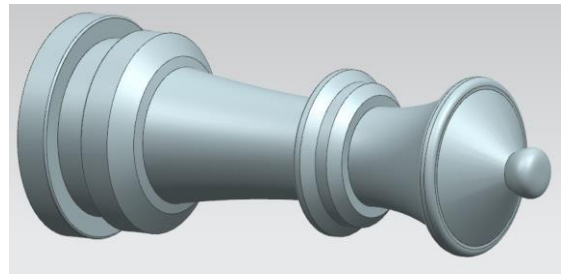
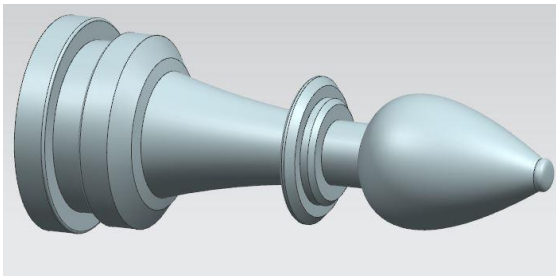
Για την κατασκευή του βασιλιά χρειάστηκε η χρήση τόσο του κέντρου τórνευσης, όσο και της εργαλειομηχανής χάραξης. Στο κέντρο τórνευσης κόπηκε το σώμα, ενώ με το λείζερ χάραξης κόπηκε ο σταυρός του βασιλιά, καθώς και η εγκοπή στην κορυφή του σώματος προκειμένου να υποδεχτεί τον σταυρό. Όσον αφορά την κατεργασία της τórνευσης πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τα ίδια βήματα με την κατεργασία του πιονιού. Παρακάτω φαίνεται η τελική μορφή του τεμαχίου :



Σχήμα 5.28: Ο βασιλιάς

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: <https://youtu.be/vo-6X3r0r0s>

5.3.4 Ο αξιωματικός και η βασίλισσα



Σχήμα 5.29: Τρισδιάστατα μοντέλα αξιωματικού-βασίλισσας

Οι αξιωματικοί και οι βασίλισσες κατεργάστηκαν εξολοκλήρου στο κέντρο τόνρευσης. Κατά την ίδια μέθοδο και σειρά κατεργασιών του πιονιού Παρακάτω φαίνονται οι τελικές μορφές των τεμαχίων.:



Σχήμα 5.28: Ο αξιωματικός-η βασίλισσα

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας του αξιωματικού: <https://youtu.be/d7DIP7F6Mow>

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας της βασίλισσας: <https://youtu.be/s2rxni0mYqI>

5.3.5 Ο πύργος

Η κατασκευή του πύργου πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά, στον κέντρο κατεργασίας DMU 50 κατασκευάστηκε η κορυφή του όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.29 (αριστερά), με την χρήση του κύκλου κατεργασίας POCKET, για την δημιουργία της κοιλότητας και με χρήση εντολών G κώδικα για την δημιουργία των τεσσάρων εγκοπών.



Σχήμα 5.29: Στάδια κατασκευής του πύργου

Στο δεύτερο στάδιο, το τεμάχιο μεταφέρθηκε από το κέντρο κατεργασίας στο κέντρο τόννευσης, όπου κατεργάστηκε με σκοπό την απόδοση του τελικού σχήματος που φαίνεται στο Σχήμα 5.29 (δεξιά). Η κατεργασία την τόννευσης ήταν παρόμοια με την διαδικασία των προηγούμενων τεμαχίων που κατεργάστηκαν με τόννευση. Παρακάτω φαίνεται η τελική μορφή του τεμαχίου:

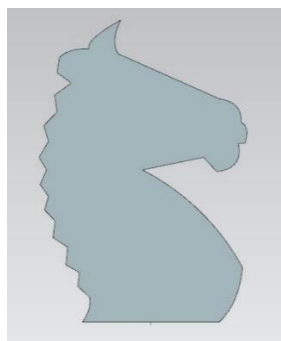
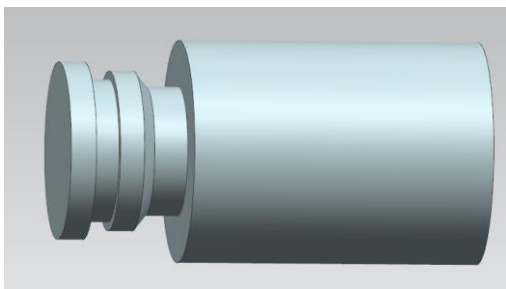


Σχήμα 5.30: Ο πύργος

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας:
<https://www.youtube.com/watch?v=aO7mAsddujo&t=1s>

5.3.6 Το άλογο

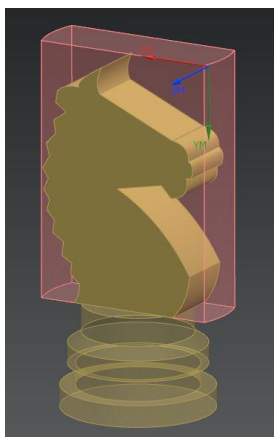
Η κατασκευή του αλόγου πραγματοποιήθηκε επίσης σε δύο στάδια. Αρχικά κατεργάστηκε στο κέντρο τόννευσης, όπου δημιουργήθηκε η βάση του όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.31 (αριστερά). Η δημιουργία της βάσης έγινε με δύο εργασίες, μία της αφαίρεσης υλικού κατά της κανονική φορά τόννευσης και μία κατά την ανάποδη με χρήση του αντίστοιχου εργαλείου.



Σχήμα 5.31: Τρισδιάστατα μοντέλα για την κατασκευή του αλόγου

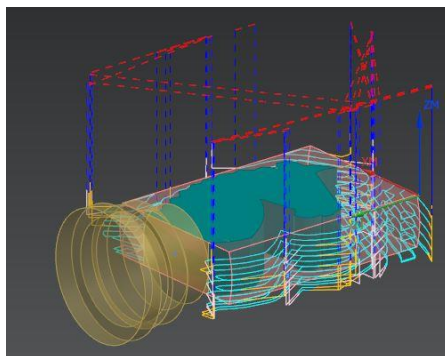
Στο δεύτερο στάδιο, το τεμάχιο μεταφέρθηκε στο κέντρο κατεργασίας. Εκεί, το κυλινδρικό σχήμα του τεμαχίου μετατράπηκε σε ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο πάχους 6 mm και στην συνέχεια κόπηκε το περίγραμμα του αλόγου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.32 ως **Bounding Body** (κόκκινο χρώμα) για την κοπή του περιγράμματος επιλέχθηκε το παραλληλόγραμμο και ως **Workpiece** (κίτρινο χρώμα) περίγραμμα καθώς και η βάση του αλόγου. Η βάση του αλόγου προστέθηκε στο Workpiece προκειμένου να αποφευχθεί η επαφή του κοπτικού με αυτή.



Σχήμα 5.32: Γεωμετρίες που επιλέχθηκαν

Το περίγραμμα του αλόγου, κόπηκε με την κατεργασία CAVITY_MILL. Χρησιμοποιήθηκε κονδύλι διαμέτρου 4 mm για την κατεργασία του με πρόωση 40% της διαμέτρου του εργαλείου και το βάθος κοπής ήταν 1 mm σε κάθε πέρασμα. Οι στροφές ορίστηκαν στις 4775 rpm και η ταχύτητα πρόωσης στα 230 mm/rm. Παρακάτω φαίνεται η πορεία που ακολούθησε το εργαλείο, μέσω της προσομοίωσης του NX:



Σχήμα 5.33: Toolpaths

Η τελική μορφή του τεμαχίου:



Σχήμα 5.34: Το άλογο

Ηλεκτρονική διεύθυνση του βίντεο της κατεργασίας: https://youtu.be/WkCtvHdE_vvDA

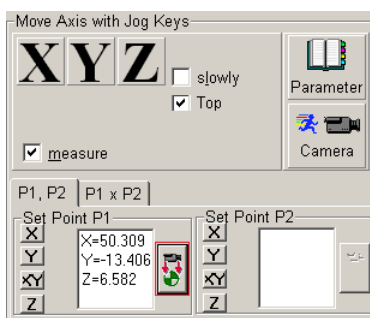
5.3.7 Η σκακιέρα

Η επιφάνεια του σκακιού κατασκευάστηκε στην εργαλειομηχανή χάραξης Laser. Με τον όρο laser ονομάζεται η συσκευή η οποία εκπέμπει μια δέσμη φωτός, μέσω μιας διαδικασίας οπτικής ενίσχυσης, η οποία στηρίζεται στην διεγερμένη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Έχει επικρατήσει να αποκαλείται laser τόσο η συσκευή εκπομπής όσο και η παραγόμενη ακτίνα. Οι βασικές συνθήκες κατεργασίας της εργαλειομηχανής φαίνονται παρακάτω :

- Η ισχύς της δέσμης
- Η συχνότητα των παλμών
- Η διάρκεια εκπομπής του κάθε παλμού
- Η ταχύτητα σάρωσης της δέσμης

Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία της χάραξης της επιφάνειας:

Αρχικά γυαλίστηκε η ανοξείδωτη πλάκα διαστάσεων 280x280 mm με χειροκίνητο παλμικό τριβείο και υαλόχαρτα νερού, έως ότου η επιφάνεια είναι ικανοποιητική. Στην συνέχεια σηματοδεύτηκε προκειμένου να βρεθεί ακριβώς το κέντρο της και να τοποθετηθεί στην εργαλειομηχανή. Αφού η πλάκα προσδέθηκε στο τραπέζι συγκράτησης, σειρά είχε ο προσδιορισμός του κέντρου της πλάκας, ο οποίος γίνεται με την χρήση της κάμερας που διαθέτει η κεφαλή. Παρακάτω φαίνεται το απόκομμα από την οθόνη της μονάδας ελέγχου κατά τον μηδενισμό αφού είχε βρεθεί το κέντρο της πλάκας:

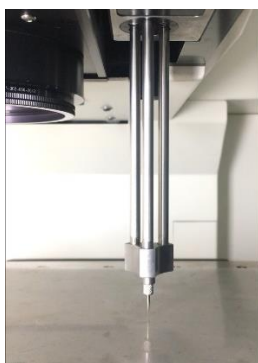


Εικόνα 5.35: Καταχώρηση της θέσης του κέντρου

Ο προσδιορισμός στον άξονα Z της μηχανής έγινε σε πρώτη φάση προσεγγιστικά με την εστίαση της κάμερας και στην συνέχεια με την χρήση της ακίδας (probe).

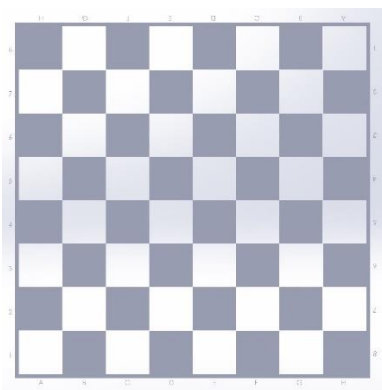


Σχήμα 5.36 Μηδενισμός προσεγγιστικά με την κάμερα της μηχανής



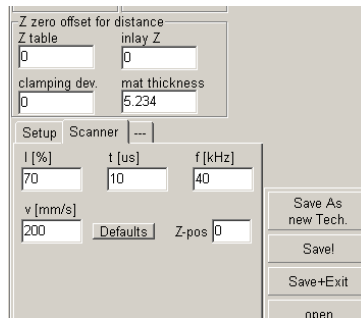
Σχήμα 5.37: Μηδενισμός στον άξονα Z με probe

Αφού ορίστηκε η γεωμετρία, σειρά έχει η φόρτωση του σχεδίου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας. Κατά την σχεδίαση του τεμαχίου που θα χαραχτεί, σχεδιάζονται ουσιαστικά τα σημεία από τα οποία θα περάσει η δέσμη του laser τα οποία στην συνέχεια γίνονται τρισδιάστατα με την χρήση της εντολής Extrude ως προς τον άξονα Z. Στο Σχήμα 5.38 φαίνεται τρισδιάστατο σχέδιο που φορτώθηκε για την χάραξη της σκακιέρας.



Σχήμα 5.38 Τρισδιάστατο σχέδιο σκακιέρας

Οι συνθήκες κατεργασίας φαίνονται στο Σχήμα 5.39:



Σχήμα 5.39

Η ένταση ορίστηκε στο 70% της μέγιστης έντασης (20 Watt), η διάρκεια εκπομπής μιας ακτίνας στα 10 nanosec, η συχνότητα της δέσμης στα 40 kHz και η ταχύτητα σάρωσης στα 200 mm/sec. Για την επίτευξη του επιθυμητού χρώματος και, κατά συνέπεια, επιλογή των συνθηκών, ανέτρεξα στην ανοξειδωτή πλάκα πειραμάτων του συναδέλφου και φίλου Γιάννη Χορευτάκη.

Η τελική μορφή της επιφάνειας:



Σχήμα 5.40

6. ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο προγραμματισμός και η χρήση του κέντρου τόννευσης CTX310 ecoline της DMG MORI. Επίσης υπήρξε σύντομη επαφή με το κέντρο κατεργασίας DMU50 eco και την εργαλειομηχανή Lasertec 40, κέντρο κατεργασίας χάραξης 3 γραμμικών και 2 οπτικών αξόνων επίσης της DMG MORI.

Για την χρήση των σύγχρονων εργαλειομηχανών απαιτείται βαθιά μελέτη και εξαιρετική προσοχή πριν την εκτέλεση οποιασδήποτε κατεργασίας. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται, οι συνθήκες κατεργασίας, τα υλικά και ο χώρος κατεργασίας είναι λίγες μόνο από τις παραμέτρους τις οποίες ο χρήστης πρέπει να μελετά μεθοδικά και κατ' επανάληψη πριν την κατεργασία. Πρώτη προτεραιότητα αποτελεί η ασφάλεια του χρήστη κατά την εργασία στο χώρο κατεργασιών, όπως την φόρτωση τεμαχίων, την αλλαγή κοπτικών εργαλείων, τον καθαρισμό της μηχανής και άλλα. Απαραίτητη είναι η χρήση προστατευτικών μέσων όπως γυαλιά και γάντια εργασίας.

Σε δεύτερη προτεραιότητα βρίσκεται η ασφάλεια της εργαλειομηχανής. Τυχόν σύγκρουση μπορεί να επιφέρει κοστοβόρες απώλειες. Τα σύγχρονα λογισμικά CAD/CAM/CAE καθώς και τα προγράμματα προσομοίωσης των εργαλειομηχανών πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι κατά τον προγραμματισμό. Προσφέρουν την δυνατότητα της ακριβούς μοντελοποίησης του χώρου κατεργασίας και της προσομοίωσης των εργασιών με αποτέλεσμα τον εκμηδενισμό των προγραμματιστικών λαθών. Τα περιθώρια λάθους πλέον υπόκεινται μόνο στον ανθρώπινο παράγοντα.

Επίσης παρατηρήθηκε πως τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εργαλειομηχανών μπορούν να περιορίσουν τις κατασκευαστικές δυνατότητες της εργαλειομηχανής. Για παράδειγμα, ο περιορισμός στην ταχύτητα της περιστροφής της ατράκτου στα κέντρα κατεργασίας δεν επιτρέπει την χρήση κοπτικών εργαλείων πολύ μικρής διαμέτρου και στα κέντρα τόννευσης οι διαστάσεις του χώρου κατεργασίας δημιουργούν περιορισμούς στο μέγεθος των τεμαχίων. Για τον λόγο αυτόν, η επιλογή της εργαλειομηχανής πρέπει να γίνεται έπειτα από ακριβή καθορισμό των αναγκών της παραγωγής.

Τέλος, διαπιστώθηκε πως η χρήση των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών δεν απαιτεί μόνο γνώσεις προγραμματισμού, χρήση σύγχρονων λογισμικών και θεωρητικών γνώσεων. Είναι απαραίτητη η εμπειρία πάνω σε ζητήματα μηχανουργικών τεχνολογιών και τεχνολογιών παραγωγής, η έλλειψη της οποίας στάθηκε εμπόδιο στα πρώτα βήματα της εργασίας και η απόκτησή της απαιτεί μακροχρόνια μελέτη και εργασία.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνιάδης Αριστομένης, 2011. Μηχανουργική Τεχνολογία, τόμος Β: Κατεργασίες κοπής, εκδόσεις Τζιόλα.
- Αντωνιάδης Αριστομένης, 2013. Μηχανολογικό Σχέδιο, τόμος Β: εκδόσεις Τζιόλα.
- Μπερνάρδου Αικατερίνη 2016. Δημιουργία τελικού επεξεργαστή για την διασύνδεση της ψηφιακής καθοδήγησης SINUMERIK 840D του κέντρου τórνευσης CTX310 με το CAD/CAM λογισμικό NX
- Νανόπουλος Ιάσωνας, 2014. Εγκατάσταση, λειτουργία & Προγραμματισμός ψηφιακά καθοδηγούμενου κέντρου τórνευσης
- Σοφιάκης Κωνσταντίνος 2014. Προγραμματισμός τεμαχίων τórνευσης με χρήση κώδικα ψηφιακής καθοδήγησης κατά ISO
- Siemens, Programming Guide, Programming Manual ISO Turning, Sinumerik 802D sl 840D/ 840D sl 840Di/840Di sl/810D, 4.2007
- Siemens, Programming Manual, Job planning, Sinumerik 840D sl, 828D, 03/2013
- Siemens, Programming Manual, G code programming, Sinumerik 840D sl, 03/2009