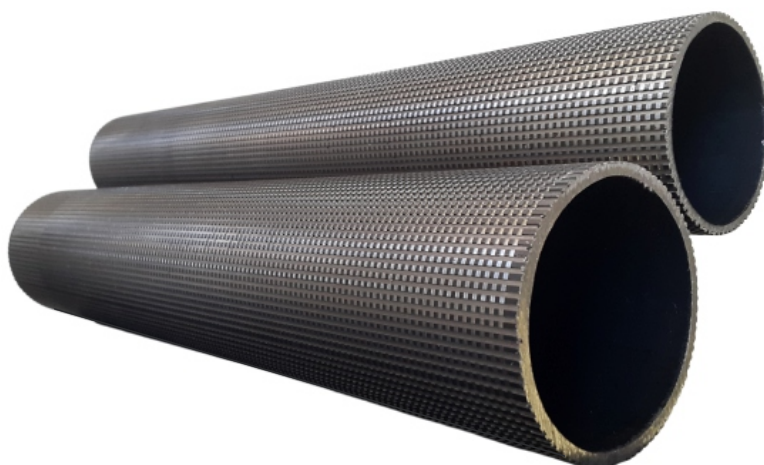




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

**ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  
ΧΑΡΑΞΗΣ ΣΕ ΑΥΛΟΥΣ  
ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ**



**ΚΑΡΑΔΗΜΗΤΡΗΣ  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Στους φίλους που έγιναν οικογένεια,  
στους γονείς που έγιναν δάσκαλοι,  
στους δασκάλους που έγιναν φίλοι.

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Αριστομένη Αντωνιάδη και τους Ευάγγελο Νικολιδάκη, Άγγελο Μαρινάκη, Ιωάννα Πατεράκη και Χαρά Ευσταθίου για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Επίσης ευχαριστώ όλους εκείνους που με στήριξαν με κάθε μέσο, τους ανθρώπους που πίστεψαν σ' εμένα και με βοήθησαν να πετύχω τους στόχους μου.

Τέλος ευχαριστώ τους συναδέλφους που δούλεψαν μαζί μου στο εργαστήριο, των οποίων οι συμβουλές και η παρέα ήταν καταλυτική.

Μακάρι στη ζωή μας να γινόμαστε όλο και καλύτεροι.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ_____	5
1.1 Περιγραφή προβλήματος_____	5
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής_____	6
2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ_____	7
2.1 Ατμολέβητες_____	7
2.1.1 Αρχές λειτουργίας ατμολέβητα και βασικά μέρη_____	7
2.1.2 Κατάταξη ατμολεβήτων_____	9
2.1.3 Φλογαυλωτοί ατμολέβητες επιστρέφουσας φλόγας_____	10
2.2 Αρχές μεταφοράς θερμότητας _____	15
2.2.1 Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας_____	15
2.2.2 Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας _____	16
3. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ_____	18
3.1 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευής_____	18
3.1.1 Χαρακτηριστικά_____	19
3.1.2 Δυνατότητες αξιοποίησης _____	21
3.2 Προγραμματισμός ιδιοσυσκευής (λειτουργία Auto)_____	21
4. ΠΕΙΡΑΜΑ_____	24
4.1 Έλεγχος ακρίβειας ιδιοσυσκευής_____	24
4.1.1 Δοκιμή σφάλματος_____	24
4.1.2 Επιδιορθώσεις _____	27
4.2 Δοκιμή με κονδύλι διαμέτρου 1 mm_____	29
4.3 Δοκιμή με τροχό διαμέτρου 63 mm_____	30
4.4 Κατασκευή αντάπτορα κεντροφορέα_____	31



4.4.1 Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας αντάπτορα _____	32
4.4.2 Φασεολόγιο αντάπτορα _____	32
4.5 Σχεδιασμός χαράξεων _____	43
4.5.1 Χάραξη Chessboard _____	43
4.5.2 Χάραξη Oblique Fins _____	43
4.5.3 Χάραξη Zig - Zag _____	44
4.5.4 Χάραξη Lego _____	44
4.5.5 Χάραξη Piranha _____	45
4.6 Προσομοίωση χάραξης με μαρκαδόρο _____	45
4.6.1 Περιγραφή _____	46
4.6.2 Παρατηρήσεις _____	52
4.7 Χάραξη οριζόντιων αυλακώσεων Chessboard _____	53
4.7.1 Προεργασία _____	54
4.7.2 Εκτέλεση χάραξης _____	57
4.8 Χάραξη εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων Chessboard _____	59
4.8.1 Προεργασία _____	59
4.8.2 Εκτέλεση χάραξης _____	61
4.9 Αποτελέσματα _____	64
4.9.1 Χαρακτηριστικά χαραγμένων αυλών _____	64
4.9.2 Φθορές κοπτικών εργαλείων μετά τις χαράξεις _____	65
4.9.3 Βελτιωτικές προτάσεις _____	69
5. ΣΥΝΟΨΗ _____	70
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____	71
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ _____	72

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή μηχανών με ατμό ορίζει την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης. Η μηχανή του Newcomen, προοριζόμενη για την άντληση του νερού από τα φρεάτια των ανθρακωρυχείων χρησιμοποιήθηκε ήδη από το 1715 αλλά θα έπρεπε να περάσουν πολλές δεκαετίες ώσπου ο Watt το 1769, προσθέτοντας έναν ιδιαίτερο χώρο για τη συμπύκνωση του ατμού, να την κάνει εύχρηστη ώστε οι τεχνικοί της εποχής να εξετάσουν δυνατότητες πέρα από το περιορισμένο ως τότε πεδίο εφαρμογής της [1].

Για πολλά χρόνια μετά από την εποχή του Watt ο ατμός παρέμεινε κυρίαρχος για την παραγωγή ισχύος, αρχικά κινώντας παλινδρομικές ατμομηχανές και στη συνέχεια ατμοστροβίλους. Κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα αναπτύχθηκαν οι τεχνολογίες και η επιστήμη της Θερμοδυναμικής και μέχρι και σήμερα οι ατμολέβητες χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, στη ναυτιλία και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Λόγω της εκτεταμένης αυτής χρήσης, η προσπάθεια για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης και της χρηστικότητας των μηχανών αυτών παραμένει στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος.

### 1.1 Περιγραφή προβλήματος

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια και η σταθερή ανάγκη ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής της, φέρνουν στο προσκήνιο το πρόβλημα βελτιστοποίησης των μηχανών παραγωγής ενέργειας. Από κατασκευαστική σκοπιά, η επίτευξη καλύτερης απόδοσης σε έναν ατμολέβητα μπορεί να καταστεί δυνατή με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η τροποποίηση των αυλών του ατμολέβητα με σκοπό την αποτελεσματικότερη μεταφορά θερμότητας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη και κατασκευή μιας ιδιοσυσκευής η οποία θα εξυπηρετεί την κατεργασία της εξωτερικής επιφάνειας αυλών ενός φλογαυλωτού ατμολέβητα. Οι χαράξεις που θα πραγματοποιηθούν έχουν σκοπό την αύξηση της εξωτερικής επιφάνειας των αυλών, δηλαδή του εναλλάκτη θερμότητας που έρχεται σε επαφή με το νερό. Η αύξηση της επιφάνειας ισοδυναμεί με αύξηση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας καθώς αυτή μεταβαίνει από τα αέρια καύσης στο θερμαινόμενο μέσο.

Θα μελετηθούν πέντε πιθανές γεωμετρίες χαράξεων και για τις τρεις από αυτές θα δημιουργηθεί κατάλληλος κώδικας εργαλειομηχανών με σκοπό την προσομοίωση τους. Στο πειραματικό μέρος της εργασίας θα υλοποιηθεί η μια εκ των τριών χαράξεων σε δύο αυλούς (αυλοί διαμέτρων 2.5" και 3") και στο τέλος θα καταγραφούν παρατηρήσεις και σημεία ιδιαίτερης σημασίας που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την κατεργασία της χάραξης.

Οι δυο χαραγμένοι πλέον αυλοί θα δρομολογηθούν στο τμήμα Χημικών Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, ώστε να πραγματοποιηθεί η εξέταση του φαινομένου μετάδοσης θερμότητας. Τα συμπεράσματα της εξέτασης αυτής αποσκοπούν στην εύρεση του ποσοστού βελτίωσης της απόδοσης των αυλών μετά την αύξηση της εξωτερικής τους επιφάνειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ» προς υποστήριξη του έργου με τίτλο «Καινοτόμος Λέβητας Υψηλής Απόδοσης με Χρήση "Εξυπνων" Επιφανειών Μεταφοράς Θερμότητας (Smart Boiler) T1ΕΔΚ-01980».

## 1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής

Η διπλωματική εργασία πέραν της παραπάνω εισαγωγής, αποτελείται από έξι ακόμα κεφάλαια η διάρθρωση των οποίων έχει ως ακολούθως: Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται θεωρητικές έννοιες για τη λειτουργία των ατμολεβήτων και την επιστήμη της μετάδοσης θερμότητας, θέτοντας το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχεδίαση του πειράματος εις βάθος και ο προγραμματισμός της ιδιοσυσκευής, ούτως ώστε να υλοποιηθεί το πείραμα. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το πείραμα αναλυτικά, εξετάζονται τα αποτελέσματά του, παρουσιάζονται παρατηρήσεις και προτείνονται βελτιωτικές ενέργειες για ευκολότερη και ακριβέστερη επανάληψή του. Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί τη σύνοψη της εργασίας, το έκτο την βιβλιογραφία και τέλος το έβδομο το παράρτημά της.

## 2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

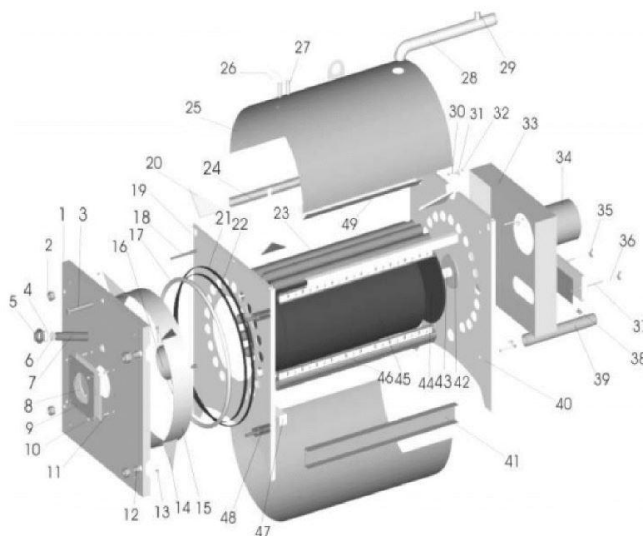
### 2.1 Ατμολέβητες



Σχήμα 2.1: Ατμολέβητας (Προσφορά της Viessmann)

Ο ατμολέβητας είναι μια μηχανή η οποία παράγει ατμό, μεταβιβάζοντας θερμότητα από την καύση του καυσίμου στο θερμαντικό μέσο. Οι βασικές λειτουργίες του ατμολέβητα είναι η καύση, η μετάδοση της θερμότητας και η ατμοποίηση [2]. Κατά την καύση του καυσίμου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα (υψηλή θερμοκρασία). Η Μετάδοση της θερμότητας προς το νερό πραγματοποιείται διαμέσου της μεταλλικής επιφάνειας που διαχωρίζει τα δύο ρευστά (καυσαέρια και νερό). Τέλος η ατμοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται η μετατροπή του νερού σε θερμό ή υπέρθερμο ατμό [3]. Η λειτουργία ενός ατμολέβητα μπορεί να εξετασθεί σε δύο μεμονωμένα κυκλώματα, το κύκλωμα καυσίμου – αέρα – καυσαερίων και το κύκλωμα νερού / ατμού [3].

#### 2.1.1 Αρχές λειτουργίας ατμολέβητα και βασικά μέρη



Σχήμα 2.2: Τρισδιάστατη παρουσίαση φλογαυλωτού ατμολέβητα [4]

Τα βασικά μέρη που απαρτίζουν τον ατμολέβητα είναι η εστία, ο υδροθάλαμος, ο ατμοθάλαμος, ο φλογοθάλαμος, οι αυλοί συναγωγής, ο καπνοθάλαμος και η καπνοδόχος [3]. Ο πίνακας 2.1 κατονομάζει κάθε εξάρτημα του σχήματος 2.2 μεμονωμένα.

α/α	Ορολογία	α/α	Ορολογία
1	Κορμός πόρτας	26	Κυάθιο
2	Περικόχλιο πόρτας	27	Σωλήνας
3	Οπή	28	Μαστός προσαγωγής ζεστού νερού
4	Στεγανοποιητικό	29	Μούφα
5	Περικόχλιο Θυρίδας επιθεώρησης	30	Βίδα καπνοσυλλέκτη
6	Τζάμι επιθεώρησης	31	Αυτάκι στήριξης
7	Μαστός επιθεώρησης	32	Παξιμάδι καπνοσυλλέκτη
8	Κεραμικό στεγανοποίησης καυστήρα	33	Καπνοσυλλέκτης
9	Φλάντζα τοποθέτησης καυστήρα	34	Σύνδεση καπνοδόχου
10	Παξιμάδι φλάντζας	35	Πεταλούδα
11	Κοχλίας φλάντζας	36	Ελατήριο
12	Δακτύλιος στήριξης	37	Βίδα σχάρας καθαρισμού
13	Παξιμάδι	38	Μαστός εκκένωσης
14	Γωνιακό στήριγμα στεφάνης	39	Μαστός επιστροφής
15	Στεφάνη πόρτας	40	Οπίσθια αυλοφόρος πλάκα
16	Λαιμός καυστήρα	41	Πόδι
17	Υαλοκόρδονο	42	Οπίσθια πλάκα στήριξης αυλών
18	Κοχλίας σύσφιξης πόρτας	43	Σωλήνας
19	Εμπρόσθια αυλοφόρος πλάκα	44	Οπίσθια πλάκα φλογοθαλάμου
20	Γωνιακό στήριγμα	45	Φλογοθάλαμος
21	Εξωτερικό στεφάνι υαλοκόρδονου	46	Στροβιλιστές καυσαερίων
22	Εσωτερικό στεφάνι υαλοκόρδονου	47	Κομβοέλασμα
23	Φλογαυλοί	48	Μεντεσές πόρτας
24	Δοκός ένωσης	49	Προφίλ ανακλαστήρα
25	Υδροθάλαμος		

Πίνακας 2.1: Ορολογία εξαρτημάτων φλογαυλωτού ατμολέβητα [4]

Εστία ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η κυρίως καύση με εισαγωγή μείγματος καυσίμου και αέρα. Στους κυλινδρικούς ατμολέβητες ή επιστρέφουσας φλόγας,

η εστία περικλείεται σε ένα κυλινδρικό κυματοειδές περίβλημα το οποίο λέγεται κλίβανος. Στους υδραυλωτούς ατμολέβητες η εστία περιβάλλεται από σωλήνες μικρής διαμέτρου, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά ή σε επαφή μεταξύ τους και μέσα από τους οποίους κυκλοφορεί το νερό που ατμοποιείται. Οι σωλήνες αυτού του τύπου ατμολέβητα λέγονται υδρότοιχοι [3].

Ο υδροθάλαμος είναι το τμήμα του λέβητα που καταλαμβάνει το νερό και ατμοθάλαμος το τμήμα που καταλαμβάνει ο ατμός. Ο υδροθάλαμος και ο ατμοθάλαμος διαχωρίζονται μεταξύ τους από τη στάθμη του νερού. Πολλές φορές αναφέρονται μαζί και ως ατμοϋδροθάλαμος. Ο φλογοθάλαμος είναι ο χώρος μέσα στον οποίο αποπερατώνεται η καύση των αερίων [3].

Προέκταση του φλογοθαλάμου αποτελούν οι αυλοί, οι οποίοι είναι σωλήνες μεγάλου μήκους και σχετικά μικρής διαμέτρου. Μέσα από τους αυλούς διέρχονται τα καυσαέρια στη περίπτωση των φλογαυλών ή το προς ατμοποίηση νερό στη περίπτωση των υδραυλών. Σκοπός των αυλών είναι να αυξήσουν την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας στο νερό για έναν δεδομένο χώρο. Ο καπνοθάλαμος είναι ο χώρος από όπου περνούν τα καυσαέρια πριν εισέλθουν στη καπνοδόχο. Η καπνοδόχος είναι ο χώρος που οδηγεί τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα [3].

### 2.1.2 Κατάταξη ατμολεβήτων

Οι λέβητες κατατάσσονται με διάφορα κριτήρια. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους χωρίζονται σε χυτοσιδηρούς, χάλκινους, ανοξείδωτους ή διμεταλλικούς [5]. Με βάση την ατμοπαραγωγική ικανότητα (θερμική ισχύς) χωρίζονται σε ατμολέβητες μικρής πίεσης ( $\leq 4 \text{ kg/cm}^2$ ), μεσαίας πίεσης ( $\leq 12 \text{ kg/cm}^2$ ) και μεγάλης πίεσης ( $> 12 \text{ kg/cm}^2$ ) [6]. Επίσης διακρίνονται ανάλογα με την καύσιμη ύλη, η οποία μπορεί να είναι στερεά καύσιμα, αέρια καύσιμα, υγρά καύσιμα ή βιομάζα [5].

Βασικό κριτήριο διαφοροποίησης είναι το πώς χρησιμοποιούνται οι αυλοί του ατμολέβητα. Στην περίπτωση του φλογαυλωτού ατμολέβητα οι φλόγες και τα καυσαέρια διέρχονται εντός των αυλών, ενώ εξωτερικά αυτών κυκλοφορεί νερό προκειμένου να ατμοποιηθεί. Στην περίπτωση του υδραυλωτού ατμολέβητα εντός των αυλών κυκλοφορεί νερό που πρόκειται να ατμοποιηθεί και εξωτερικά αυτών διέρχονται τα καυσαέρια [6].

Επιπλέον οι ατμολέβητες διαχωρίζονται ανάλογα με τη ταχύτητα κυκλοφορίας του μέσου. Έτσι έχουμε ατμολέβητες βραδείας κυκλοφορίας όπως είναι οι φλογαυλωτοί, περιορισμένης, ελεύθερης και επιταχυνόμενης κυκλοφορίας όπως είναι οι υδραυλωτοί και σε ατμολέβητες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας όπου η κυκλοφορία πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός μηχανικού μέσου (αντλίας) [6].

Τέλος οι ατμολέβητες μπορούν να διακριθούν με βάση το μέγεθος του υδροθαλάμου σε ατμολέβητες μεγάλου υδροθαλάμου όπως είναι οι φλογαυλωτοί και σε ατμολέβητες μικρού υδροθαλάμου όπως είναι οι υδραυλωτοί [6].

Σε ότι αφορά ειδικά στους φλογαυλωτούς ατμολέβητες, με κριτήριο την πορεία των καυσαερίων χωρίζονται σε ατμολέβητες ευθείας φλόγας και επιστροφόμενης φλόγας. Στους πρώτους τα καυσαέρια ακολουθούν ευθύγραμμη πορεία μέσω των αυλών του λέβητα και οδηγούνται προς τον καπνοθάλαμο και στη συνέχεια στην καπνοδόχο. Στους δεύτερους οι αυλοί τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε τα καυσαέρια να αλλάζουν πορεία, εξερχόμενα προς την καπνοδόχο [6].

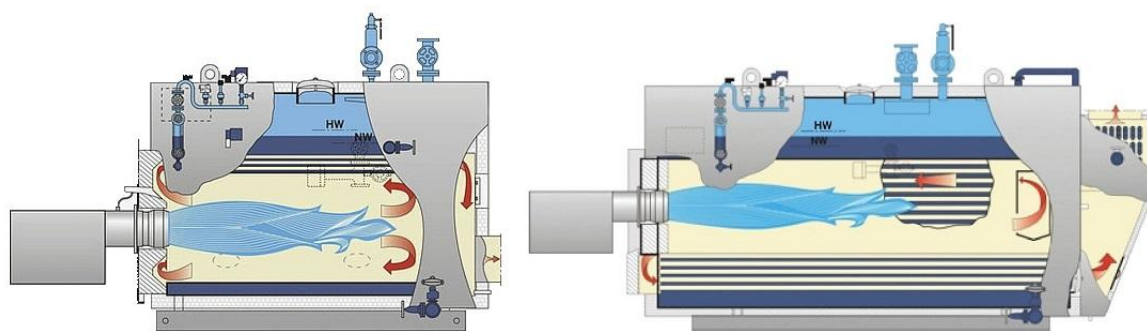


### 2.1.3 Φλογαυλωτοί ατμολέβητες επιστρέφουσας φλόγας

Τα βασικά πλεονεκτήματα των φλογαυλωτών ατμολεβήτων είναι η συμπαγής τους κατασκευή, η ικανότητα τους να λειτουργούν σε μεγάλο εύρος παροχών ατμού, το χαμηλό κόστος τους και η ευκολία χειρισμού και συντήρησης. Επιπλέον χάρη στο μεγάλο όγκο του υδροθαλάμου επιτυγχάνεται η ασφαλέστερη λειτουργία και η μικρότερη απώλεια θερμικής ακτινοβολίας [7][8].

Βασικό μειονέκτημα των συγκεκριμένων ατμολεβήτων είναι η χαμηλή πίεση του ατμού, για την αύξηση της οποίας απαιτούνται μεγάλα πάχη τοιχωμάτων. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση του όγκου και του βάρους τους. Ατέλειες ακόμα αποτελούν η μικρή επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου εγκατάστασης, η αργή απόκριση (λόγω μεγάλης μάζας νερού), η δύσκολη υπερθέρμανση του ατμού και η συνεχώς υψηλή πίεση λειτουργίας του υδροθαλάμου (η οποία εγκυμονεί κίνδυνο ατυχήματος) [7][8].

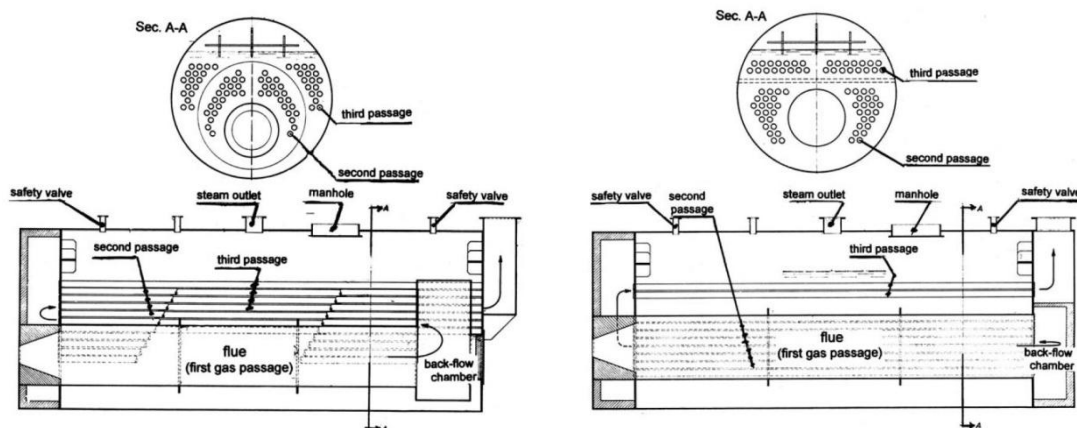
Εκ των πραγμάτων, οι υδραυλωτοί ατμολέβητες υπερτερούν των φλογαυλωτών γι αυτό και η χρήση τους έχει γενικευτεί σε όλες τις εγκαταστάσεις υψηλών απαιτήσεων ιπποδύναμης [7].



Σχήμα 2.3: Φλογαυλωτός ατμολέβητας επιστρέφουσας φλόγας απλής (αριστερά) και διπλής προσόψεως (δεξιά) [4]

Οι φλογαυλωτοί ατμολέβητες δεν παράγουν υπέρθερμο ατμό και συνήθως δεν περιλαμβάνουν οικονομητήρα. Αποτελούνται από μια κυλινδρική εστία όπου λαμβάνει χώρα η καύση (οι μεγάλες μονάδες αποτελούνται από δυο εστίες) και από σειρές αυλών από τους οποίους διέρχεται καυσαέριο. Η εστία και οι αυλοί βρίσκονται εντός κυλινδρικού κελύφους στις άκρες του οποίου έχουν συγκολληθεί μεταλλικές στρογγυλές πλάκες. Η εστία και οι αυλοί περιβρέχονται από νερό και ατμό [9].

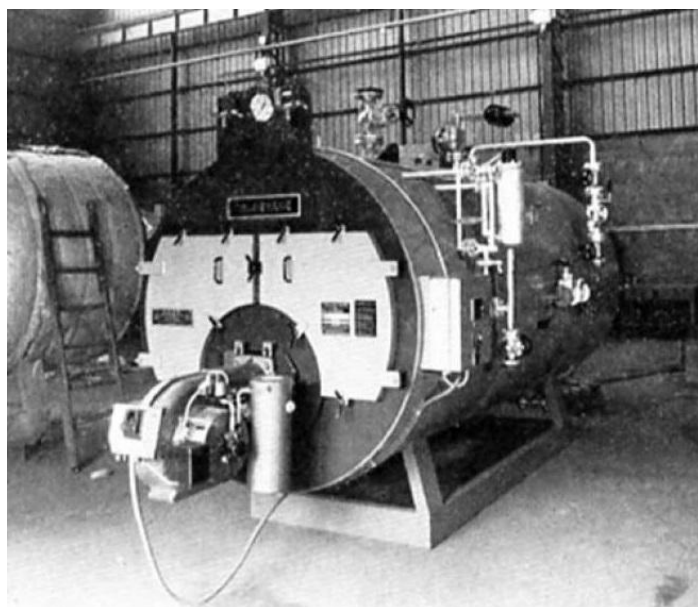
Από κατασκευαστικής άποψης οι φλογαυλωτοί ατμολέβητες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, σε εκείνους με βρεχόμενη οπίσθια αυλοφόρο πλάκα (wet end plate) (σχήμα 2.4), μη βρεχόμενη οπίσθια αυλοφόρο πλάκα (dry end plate) (σχήμα 2.4) ή waste-heat ατμολέβητες (σχήμα 2.10). Στους περισσότερους ατμολέβητες τύπου wet plate η εστία είναι συγκολλημένη στην εμπρός αυλοφόρο πλάκα και στην πλάκα του φλογοθαλάμου. Τα καυσαέρια καθώς εξέρχονται από την εστία, εισέρχονται στον πρώτο φλογοθάλαμο εντός του ατμολέβητα, ο οποίος περιβάλλεται από νερό. Ο φλογοθάλαμος αποτελείται από την συγκολλημένη στην εστία αυλοφόρο πλάκα, ένα κυλινδρικό μεταλλικό περίβλημα και το οπίσθιο επίπεδο τοίχωμα. Το οπίσθιο επίπεδο τοίχωμα είναι συνδεδεμένο στην οπίσθια αυλοφόρο πλάκα διαμέσου μεταλλικών δεσμών που αντισταθμίζουν τις τάσεις (λόγω πίεσης) των δυο παράλληλων τοιχωμάτων [9].



Σχήμα 2.4: Φλογαυλωτός ατμολέβητας τύπου wet end plate (αριστερά) και dry end plate (δεξιά) [9]

Οι αυλοί του τρίτου περάσματος (third passage) είναι συνδεδεμένοι στις δυο αυλοφόρες πλάκες, οι οποίες είναι συγκολλημένες στο εξωτερικό περίβλημα (σχήμα 2.4). Ο πρώτος φλογοθάλαμος ψύχεται από το νερό και συνεισφέρει στη μετάδοση θερμότητας με ολόκληρη την επιφάνεια του. Οι αυλοί χαρακτηρίζονται από διάφορα μήκη: εκείνοι που ανήκουν στο δεύτερο πέρασμα (second passage) είναι πιο κοντοί από εκείνους του τρίτου περάσματος. Ανάμεσα στους αυλούς του δεύτερου και του τρίτου περάσματος υπάρχει ένας δεύτερος φλογοθάλαμος (στο εμπρόσθιο μέρος του ατμολέβητα) που στην πραγματικότητα βρίσκεται έξω από το σώμα του ατμολέβητα [9].

Θυρίδες καπνοθαλάμου με μεντεσέδες είναι τοποθετημένοι στο τοίχωμα του δεύτερου φλογοθαλάμου. Όταν ο ατμολέβητας δεν είναι ενεργοποιημένος μπορούν να ανοίξουν με σκοπό την επιθεώρηση του εσωτερικού των αυλών και τον καθαρισμό τους μηχανικά. Η πρόσβαση στον πρώτο φλογοθάλαμο είναι εφικτή από ένα άνοιγμα στην πίσω αυλοφόρο πλάκα [9].

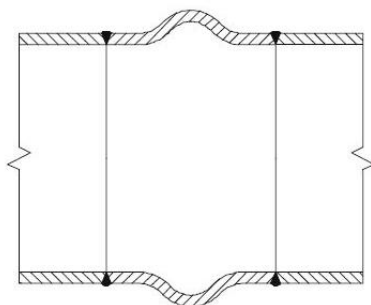


Σχήμα 2.5: Φλογαυλωτός ατμολέβητας με wet end plate [9]

Η εστία περιβάλλεται από νερό, ως εκ τούτου υπάρχει κίνδυνος υποχώρησής της λόγω πίεσης. Γι αυτό είναι ενισχυμένη είτε με δακτυλίους κατασκευασμένους από επίπεδες μπάρες είτε με κυματοειδή στοιχεία (σχήμα 2.6) τα οποία τοποθετούνται μεταξύ των

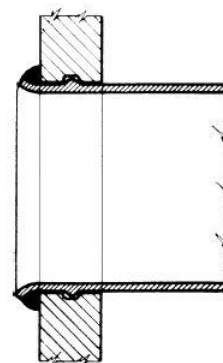


κυλινδρικών τμημάτων. Η συγκόλληση των δακτυλίων πρέπει να γίνει σε όλο το βάθος του υλικού για να εξασφαλισθεί ομοιόμορφη ψύξη του περιβλήματος και του δακτυλίου. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται συμπαγείς κυματοειδείς εστίες παρά το κόστος τους που συνήθως είναι αποθαρρυντικό [9].



Σχήμα 2.6: Κυματοειδές στοιχείο [9]

Ο κύλινδρος του πρώτου φλογοθαλάμου υπόκειται επίσης σε πίεση, γι αυτό εφαρμόζονται οι ίδιες σχεδιαστικές οδηγίες με εκείνες της εστίας. Συνήθως δεν ενισχύεται με δακτυλίους λαμβάνοντας υπόψη το περιορισμένο μήκος του. Η διάμετρος της εστίας κυμαίνεται με ελάχιστη τιμή 400 mm και μέγιστη τιμή 1200 mm ή 1300 mm. Οι αυλοί που επίσης υποβάλλονται σε πίεση δεν επηρεάζονται λόγω της μικρής διαμέτρου τους, η οποία κυμαίνεται από 48 mm έως και 89 mm. Οι αυλοί τοποθετούνται στην αυλοφόρο πλάκα με τη βοήθεια κατάλληλων διαστολέων που τους παραμορφώνουν την άκρη τους (Σχήμα 2.7). Έτσι οι αυλοί μπορούν να συγκολληθούν στην πλάκα με καλύτερη εφαρμογή [9].



Σχήμα 2.7: Διαστολέας αυλών αριστερά (προσφορά της Honiron manufacturing), τομή παραμορφωμένου αυλού δεξιά [9]

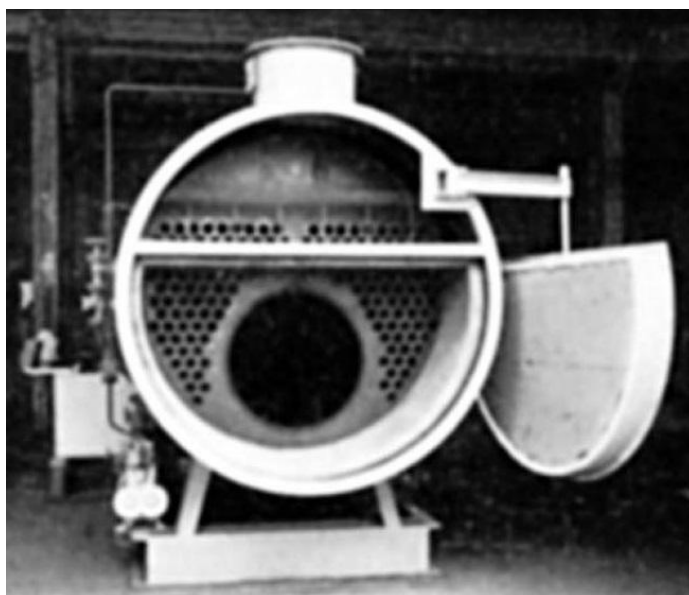
Μια ανθρωποθυρίδα είναι τοποθετημένη στο εξωτερικό κέλυφος προσφέροντας πρόσβαση στο εσωτερικό του ατμολέβητα και τη δυνατότητα επιθεώρησης του εξωτερικού τμήματος των αυλών. Το εσωτερικό του δεύτερου φλογοθαλάμου καθώς και οι θύρες καλύπτονται με πυρίμαχο υλικό καθώς δεν ψύχονται από το νερό. Ο ατμολέβητας είναι θερμομονωμένος εξωτερικά [9].

Ο ατμολέβητας είναι εφοδιασμένος με αναλογικό μετρητή στάθμης και δυο κρουνοί για ρύθμιση της στάθμης του νερού. Επιπλέον εγκαθίστανται ηλεκτρονικά όργανα σε σημεία όπου βρίσκεται ατμός ή νερό που υπερκαλύπτουν την συγκεκριμένη λειτουργία. Η χρησιμότητα τους είναι να απενεργοποιούν τη μονάδα σε επικίνδυνα υψηλή ή χαμηλή στάθμη νερού. Ελάχιστη αναμενόμενη στάθμη είναι 60-80 mm πάνω από την ανώτερη γενέτειρα της τελευταίας σειράς αυλών. Τα όργανα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν

για να εκκινήσουν ή να σταματήσουν τη λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας νερού, αν έχει επιλεγεί η σχετική λειτουργία. Τέλος ο ατμολέβητας εξοπλίζεται με ασφαλιστικές βαλβίδες και μανόμετρο [9].

Οι ατμολέβητες τύπου dry end plate έχουν πολλά κοινά με εκείνους του τύπου wet end plate. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ο πρώτος φλογοθάλαμος είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό του ατμολέβητα. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται στους αυλούς που είναι τοποθετημένοι στην εμπρόσθια και οπίσθια αυλοφόρο πλάκα. Ένα διάφραγμα που βρίσκεται εντός του φλογοθαλάμου διαχωρίζει το τμήμα των αυλών από τον καπνοθάλαμο. Το διάφραγμα κατασκευάζεται με χύτευση πυρίμαχου υλικού (refractory casting) [9].

Τα καυσαέρια ρέουν διαμέσου των αυλών στο χαμηλότερο τμήμα του ατμολέβητα. Ωστόσο επειδή η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μεγάλη, είναι καλύτερο οι αυλοί να είναι τοποθετημένοι σε σημείο με περίσσεια νερού και όχι ατμού [9].



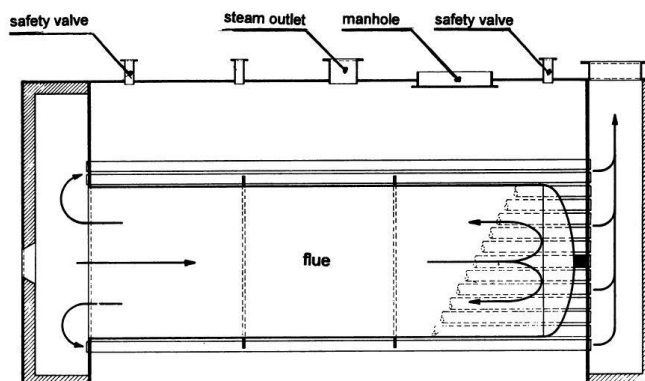
Σχήμα 2.8: Διάφραγμα φλογαυλωτού ατμολέβητα με dry end plate [9]

Μόλις περατωθεί το δεύτερο πέρασμα, τα καυσαέρια εξέρχονται από τους αυλούς και οδηγούνται στον δεύτερο φλογοθάλαμο στο εξωτερικό του ατμολέβητα. Ακολούθως, αν ο ατμολέβητας αποτελείται από τρία περάσματα, τα καυσαέρια κατευθύνονται στο τμήμα του λέβητα στο οποίο πραγματοποιείται το τρίτο πέρασμα. Τέλος τα καυσαέρια οδηγούνται στον καπνοθάλαμο πάνω από τον πρώτο φλογοθάλαμο, ο οποίος είναι διαχωρισμένος από την εστία μέσω του διαφράγματος (σχήμα 2.8) και απελευθερώνονται στην καπνοδόχο. Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από τρία περάσματα, θα υπάρχουν αντίστοιχα διαφράγματα στο δεύτερο φλογοθάλαμο και ίσως ο πρώτος να έχει παραπάνω από ένα. Ωστόσο τέτοιου είδους διατάξεις είναι ασυνήθιστες. Στη σπάνια περίπτωση όπου υπάρχουν μόνο δύο περάσματα, ο ατμολέβητας δεν περιλαμβάνει καθόλου διαφράγματα και τα καυσαέρια που βγαίνουν από την εστία εισέρχονται κατευθείαν στους αυλούς [9].

Λόγω της ελλιπούς ψύξης του πρώτου φλογοθαλάμου, φαινόμενο που παρουσιάζεται στους κατώτερους ποιοτικά ατμολέβητες, δημιουργούνται προβλήματα από το πυρίμαχο υλικό το οποίο φθείρεται, ξεφτίζει και τμήματα αυτού σφραγίζουν τους αυλούς. Οι

ατμολέβητες τύπου dry end plate είναι εξοπλισμένοι με θυρίδες καπνοθαλάμου ακόμα και για την πίσω αυλοφόρο πλάκα [9].

Εκτός αυτών των κατηγοριών κατασκευάζονται πολλοί μικροί wet end plate ατμολέβητες όπως για παράδειγμα ο ατμολέβητας Σκωτικού τύπου (Scotch type) με ένα μόνο πέρασμα (σχήμα 2.9). Αμφότεροι οι wet end plate και οι dry end plate ατμολέβητες είναι σχετικά μεγάλοι με διάμετρο πάνω από 3m και μήκος πάνω από 7m κατά μέσο όρο [9].



Σχήμα 2.9: Ατμολέβητας Σκωτικού τύπου [9]

Ο φλογαυλωτός ατμολέβητας συνήθως χρησιμοποιείται για εφαρμογές μέτριας παραγωγής ατμού χαμηλής πίεσης. Η πίεση πρέπει να παραμένει χαμηλή ειδικά το πάχος του εξωτερικού κελύφους, της εστίας και των αυλοφόρων πλακών αυξάνεται σημαντικά κατά τη σχεδίαση, κάτι που καθιστά τον ατμολέβητα μη ανταγωνιστικό. Να σημειωθεί πως είναι απαραίτητο να τεθεί κάποιο όριο στα πάχη ούτως ώστε να επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της εστίας και συνεπώς των τάσεων λόγω της θερμικής ροής (thermal flux). Επιπλέον η οριοθέτηση του πάχους βοηθά στο να δοθεί επαρκής ελαστικότητα στην αυλοφόρο πλάκα με σκοπό την απορρόφηση των διαστολών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των αυλών, της εστίας και του εξωτερικού κελύφους [9].

Η αύξηση της ισχύος οδηγεί στην αύξηση της διαμέτρου της εστίας και του εξωτερικού κελύφους που σημαίνει αύξηση του πάχους. Αν υπερβούν ορισμένα όρια ο ατμολέβητας δεν είναι πλέον ανταγωνιστικότερος του υδραυλωτού. Από την άλλη πλευρά με διατήρηση της πίεσης λειτουργίας σε πολύ χαμηλά επίπεδα (σχεδόν κάτω από 10 bar), η μείωση του κόστους που επιτυγχάνεται στους φλογαυλωτούς ατμολέβητες είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται στους υδραυλωτούς [9].

Εν κατακλείδι ένας φλογαυλωτός ατμολέβητας μπορεί να είναι αρκετά οικονομικότερος από έναν υδραυλωτό παραγόμενης ισχύος πάνω από 4500 kW και πίεσης λειτουργίας πάνω από 15 bar. Για ισχύ μεγαλύτερη των 9000 kW και ίδια πίεση λειτουργίας οι υδραυλωτοί είναι ανταγωνιστικότεροι. Πέρα από τα ζητήματα αξιοπιστίας οι φλογαυλωτοί ατμολέβητες μεγάλης ισχύος, για εφαρμογές υψηλής πίεσης και ισχύος είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους υδραυλωτούς [9].

Οι φλογαυλωτοί ατμολέβητες είναι ιδανικοί ως waste-heat boilers (σχήμα 2.10). Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4 (για τον ατμολέβητα με dry end plate) είναι φανερό πως αντικαθιστώντας την εστία με σειρές αυλών δημιουργείται ένα τμήμα που καταλαμβάνει ολόκληρη την επιφάνεια της αυλοφόρου πλάκας εκτός από το πάνω μέρος. Εάν ο ατμολέβητας παράγει θερμό ή υπέρθερμο ατμό ολόκληρη η αυλοφόρος πλάκα μπορεί να

τροπηθεί για την διέλευση των αυλών. Αυτός είναι ένας εναλλάκτης αερίου-νερού-ατμού, κάτι που αποτελεί έναν ατμολέβητα waste-heat boiler [9].



Σχήμα 2.10: Waste-heat ατμολέβητας (προσφορά της Viessmann)

Σε αντίθεση με τους ατμολέβητες που διαθέτουν εστία, στους waste-heat boilers υπάρχει μόνο ένα πέρασμα για τα καυσαέρια. Τα καυσαέρια διέρχονται διαμέσου ενός σωλήνα προς την εμπρόσθια αυλοφόρο πλάκα, συνεχίζουν μέσα από τους αυλούς και εξέρχονται από την πίσω αυλοφόρο πλάκα. Η τοποθέτηση του λέβητα είναι αρκετά απλή. Δεν διαθέτει εστία, φλογοθάλαμο, διάφραγμα και πόρτες. Μερικές φορές υπάρχει ένας κεντρικός αυλός ανάλογης διαμέτρου με αυτή της εστίας, στο κέντρο του ατμολέβητα. Ελέγχοντας το ρυθμό της ροής των καυσαερίων εντός αυτού του αυλού, είναι δυνατόν να επιτευχθεί κατανομή της ταχύτητας (velocity distribution) στο εσωτερικό των αυλών, ρυθμίζοντας τη μεταφορά θερμότητας εντός συγκεκριμένου εύρους [9].

## 2.2 Αρχές μεταφοράς θερμότητας

Θερμότητα είναι η ενέργεια που ανταλλάσσεται μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος (ή μεταξύ δύο συστημάτων), από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη περιοχή, εξαιτίας της μεταξύ τους θερμοκρασιακής διαφοράς. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα τείνει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, με αποκατάσταση μιας ομοιόμορφης θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές του. Η μελέτη της μεταφοράς θερμότητας έχει ως βασικό αντικείμενο τη διερεύνηση των μηχανισμών με τους οποίους πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας και την ανάπτυξη σχέσεων υπολογισμού του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας [10].

### 2.2.1 Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας

Διακρίνονται τρεις βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας [10].

Μεταφορά με αγωγή, όταν αυτή οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των μικροσκοπικών σωματιδίων, χωρίς μακροσκοπικά να παρατηρείται μετακίνηση υλικού από τη μια θέση του χώρου στην άλλη. Ο μηχανισμός αυτός είναι κυρίαρχος σε στερεά σώματα ή σε μη κινούμενα ρευστά, όπως π.χ. στα πρώτα στρώματα ρευστού που βρίσκονται σε επαφή με μια θερμή επιφάνεια [10].

Μεταφορά με συναγωγή, όταν αυτή οφείλεται σε μετακίνηση μάζας ρευστού. Το ρευστό, που μετακινείται από μια θέση του χώρου σε άλλη, μεταφέρει μαζί του και την ενέργεια που περιέχει, επηρεάζοντας έτσι το ενεργειακό περιεχόμενο (και τη θερμοκρασία) του

χώρου στον οποίο καταλήγει. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας (αγωγή και συναγωγή) είναι αντίστοιχοι με τους μηχανισμούς μεταφοράς ορμής και μάζας. Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή αντιστοιχεί στη μεταφορά ορμής και μάζας με μοριακή διάχυση, δηλαδή λόγω της κίνησης των μορίων. Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή αντιστοιχεί στη μεταφορά ορμής και μάζας λόγω μετακίνησης «πακέτων» ύλης του ρευστού [10].

Μεταφορά με ακτινοβολία, όταν η ενέργεια μεταφέρεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ο μηχανισμός αυτός δεν παρουσιάζει καμιά αντιστοιχία με άλλα φαινόμενα μεταφοράς. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρουν μόνο ενέργεια, όχι ορμή και μάζα [10].

Στις περισσότερες περιπτώσεις στην πράξη οι τρεις μηχανισμοί συνυπάρχουν. Για απλούστευση, πολλές φορές εξετάζεται μόνο ο κυρίαρχος μηχανισμός. Από ένα θερμό τοίχωμα π.χ., που βρίσκεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, η θερμότητα μεταφέρεται προς αυτό κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία. Αν η θερμοκρασία στην επιφάνεια ενός τοιχώματος είναι σχετικά χαμηλή τότε το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας μεταφέρεται με συναγωγή. Αν η θερμοκρασία της θερμής επιφάνειας είναι αρκετά υψηλή τότε η θερμική ενέργεια μεταφέρεται κατά κύριο λόγο με ακτινοβολία [10].

## 2.2.2 Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας

Κατά την αγωγή σε μόνιμη κατάσταση, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας  $\dot{q}_x$ , δηλαδή το σύνολο της θερμότητας που μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου μέσα από ένα στοιχειώδες τοίχωμα είναι:

$$\dot{q}_x = \dot{q}''_x A \quad (2.1)$$

Όπου,

- $\dot{q}''_x$  = ροή θερμότητας
- $A$  = εμβαδόν επιφανείας

Η βασική μαθηματική σχέση που συνδέει τη μονοδιάστατη ροή θερμότητας  $\dot{q}''$  με τη βαθμίδα θερμοκρασίας διέπεται από το νόμο του Fourier για την αγωγή και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\dot{q}''_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$

Όπου,

- $k$  = συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- $-\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_1 - T_2}{L}$ ,  $T_1$ =θερμοκρασία “θερμού” τοιχώματος,  $T_2$ = θερμοκρασία “ψυχρού” τοιχώματος,  $L$ =πάχος τοιχώματος

Ανεξάρτητα από τις ιδιαιτερότητες και την πολυπλοκότητα των μηχανισμών που διέπουν το φαινόμενο της συναγωγής, η μαθηματική σχέση που συνδέει τη μονοδιάστατη ροή θερμότητας  $\dot{q}''$  με τη βαθμίδα θερμοκρασίας διέπεται από το νόμο ψύξης του Newton για την συναγωγή και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\dot{q}''_x = h(T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

Όπου,

- $h$  = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή ή συντελεστής συναγωγής

- $T_s$  = θερμοκρασία της επιφάνειας (πχ του εναλλάκτη)
- $T_\infty$  = θερμοκρασία του ρευστού (πχ του προς θέρμανση μέσου)

Η θερμική ισχύς που ακτινοβολεί ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειας, δίνεται από το νόμο των Stefan–Boltzmann:

$$\dot{q}''_x = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.4)$$

Όπου,

- $\varepsilon$  = συντελεστής εκπομπής
- $\sigma$  = σταθερά Stefan–Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ )
- $T_s$  = η απόλυτη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος

Από την εξίσωση (2.1) προκύπτει σαφώς ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την επιφάνεια ( $A$ ) του μέσου που μεσολαβεί για τη μετάδοση της θερμότητας. Συνεπώς, για μια δεδομένη ροή θερμότητας  $\dot{q}''_x$  μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας  $\dot{q}_x$  αυξάνοντας την επιφάνεια  $A$ .



### 3. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Το επίμαχο θέμα χάραξης της εξωτερικής επιφάνειας των αυλών απαιτεί τη δυνατότητα περιστροφής του αυλού γύρω από το κέντρο συμμετρίας του και την αφαίρεση κατεργαζόμενου υλικού με ένα κοπτικό εργαλείο, όπως γίνεται με τη μέθοδο του φραιζαρίσματος ή της τόννευσης. Ειδικώς για κάποιες σύνθετες γεωμετρίες χαράξεων, όπως πχ καμπύλες επιφάνειες, η περιστροφή του αυλού και η γραμμική κίνηση του κοπτικού εργαλείου πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα. Αυτό το είδος κατεργασιών πραγματοποιείται εύκολα σε κέντρα κατεργασίας τα οποία εκτός από τη κίνηση του εργαλείου σε τρεις ή παραπάνω άξονες, έχουν τη δυνατότητα να περιστρέψουν το κυλινδρικό τεμάχιο γύρω από τον άξονα συμμετρίας του. Αυτού του είδους τα κέντρα κατεργασίας καλούνται Turn-Mill Machines.



Σχήμα 3.1: Χάραξη σε κυλινδρική επιφάνεια (προσφορά της GibbsCAM)

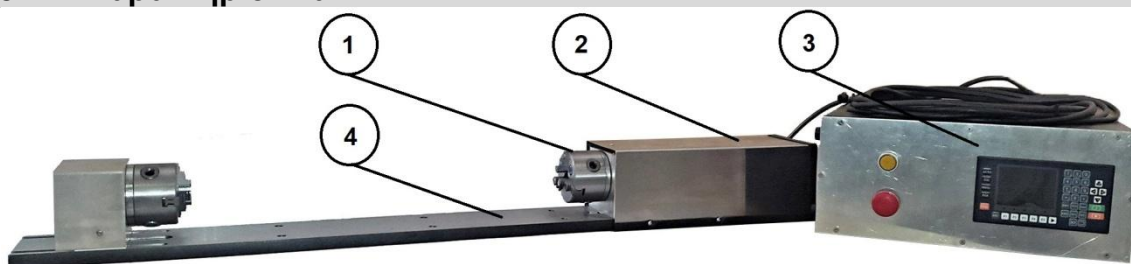
Το εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης του Πολυτεχνείου Κρήτης έχει στη διάθεση του ένα CNC κέντρο κατεργασίας DMG MORI DMU 50 eco 3+2 αξόνων και ένα CNC κέντρο τόννευσης DMG MORI CTX 310 ecoline 2 αξόνων. Τα παραπάνω κέντρα δεν μπορούν να υλοποιήσουν αυτοδύναμα την χάραξη των αυλών καθώς δεν εκτελούν ταυτόχρονη περιστροφή τεμαχίου και εργαλείου. Ακόμα και για τις πιο απλές γεωμετρίες χαράξεων (οριζόντιες γραμμές κατά μήκος του αυλού) απαιτούνται πολλαπλά δεσίματα και μηδενισμοί του κατεργαζόμενου τεμαχίου, κάτι που κάνει την κατεργασία εξαιρετικά χρονοβόρα.

Αυτού του είδους οι χαράξεις μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα στο κέντρο κατεργασίας του εργαστηρίου με την προσθήκη μιας ιδιοσυσκευής, η οποία θα περιστρέφει τον αυλό όπως ακριβώς κάνει και ένας διαιρέτης. Η κατασκευή αυτής της συσκευής αποτελεί οικονομικότερη λύση από την αγορά ενός κέντρου Turn-Mill και προσφέρει πολλές νέες κατασκευαστικές δυνατότητες στο εργαστήριο που προηγουμένως ήταν ανέφικτες.

#### 3.1 Σχεδιασμός ιδιοσυσκευής

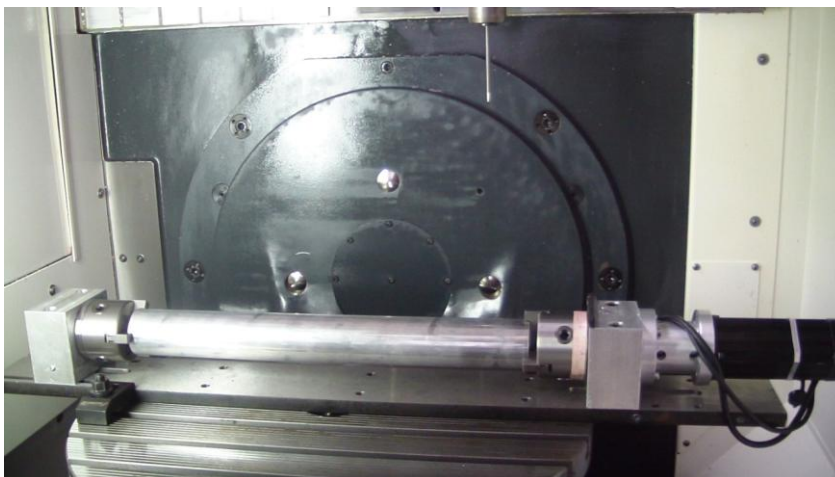
Η ιδιοσυσκευή θα πρέπει να προγραμματίζεται αριθμητικά με τη βοήθεια κατάλληλου κώδικα, να είναι εύκολη στον χειρισμό και να μπορεί να τοποθετηθεί εντός του χώρου κατεργασίας του κέντρου DMU 50 ασφαλώς και σταθερά. Πρέπει ακόμα να φέρει δύο σφιγκτήρες (τσοκ) έτσι ώστε ο κατεργαζόμενος αυλός να συγκρατείται ομοιόμορφα και από τις δύο πλευρές του. Επίσης κρίνεται απαραίτητο ο άξονας συμμετρίας του αυλού να είναι παράλληλος στο τραπέζι κατεργασίας του κέντρου στο οποίο τοποθετείται η ιδιοσυσκευή. Τέλος θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμη τόσο η αδιάβροχη προστασία του κινητήρα, ώστε να είναι εφικτή τη ρίψη ψυκτικού υγρού κατά την κατεργασία, όσο και η δυνατότητα περιστροφής του κατεργαζόμενου αυλού με ικανοποιητική ταχύτητα.

### 3.1.1 Χαρακτηριστικά



Σχήμα 3.2: Ιδιοσυσσκευή περιστροφής αυλών (1. τσοκ περιστροφής αυλών, 2. βηματικός κινητήρας, 3. μονάδα ελεγκτή, 4. χαλύβδινη πλάκα).

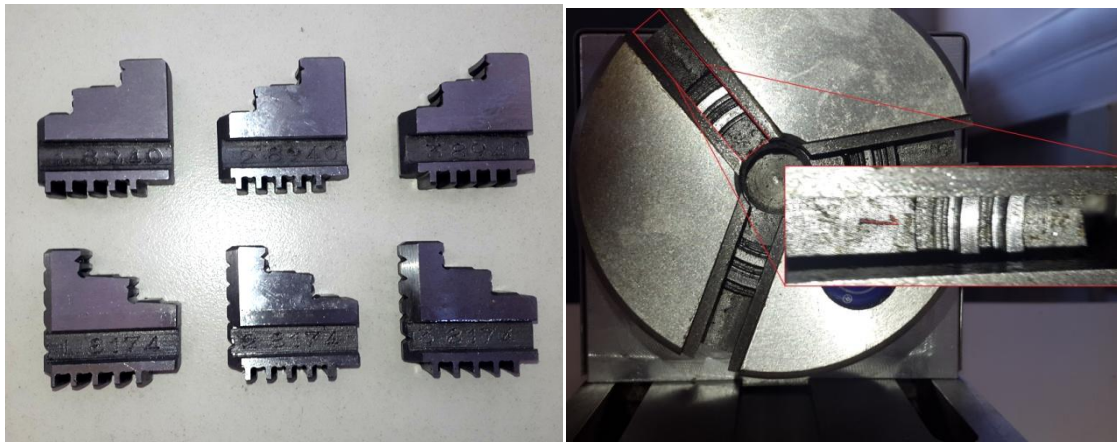
Η ιδιοσυσσκευή αποτελείται από δύο τμήματα, το τραπέζι στο οποίο τοποθετούνται οι αυλοί και την μονάδα του ελεγκτή – χειριστηρίου (σχήμα 3.2). Το τραπέζι διαθέτει δύο τσοκ (σχήμα 3.2, 1), τον βηματικό κινητήρα (σχήμα 3.2, 2) και μια χαλύβδινη πλάκα (σχήμα 3.2, 4) στην οποία εδραιώνονται τα τσοκ και ο κινητήρας. Η πλάκα φέρει αυλακώσεις και οπές σε περισσότερες θέσεις ούτως ώστε τα τσοκ να δύναται να μετακινηθούν, συγκρατώντας αυλούς διαφόρων μηκών.



Σχήμα 3.3: Τραπέζι τοποθέτησης αυλών εντός χώρου κατεργασίας.

Τα τσοκ είναι εφοδιασμένα με δύο σετ σιαγόνων, ένα για εσωτερική συγκράτηση και ένα για εξωτερική. Σε κάθε ένα από τα 4 σετ σιαγόνων έχουν χαραχθεί σειριακοί αριθμοί, αποτρέποντας το χρήστη να χρησιμοποιήσει κομμάτια από διαφορετικά σετ σιαγόνων στο ίδιο τσοκ συγχρόνως. Τέλος σε κάθε σιαγόνα έχει χαραχθεί ένας αριθμός (1, 2 ή 3) ο οποίος υποδεικνύει τη σειρά που πρέπει να τηρηθεί για την σωστή τοποθέτηση στο τσοκ. Εντός των οδηγιών του τσοκ, υπάρχουν ομοίως αντίστοιχοι αριθμοί (1, 2, ή 3) που εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό (Σχήμα 3.4).





Σχήμα 3.4: Αρίθμηση σιαγόνων (αριστερά) και οδηγών τσοκ (δεξιά)

Η μονάδα του ελεγκτή αποτελείται από ένα κουτί υπολογιστή, στη πρόσοψη του οποίου έχουν τοποθετηθεί το χειριστήριο, ένα κουμπί ακινητοποίησης του κινητήρα (emergency stop button) και τον κεντρικό διακόπτη – λυχνία τροφοδοσίας ρεύματος (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Μονάδα ελεγκτή ιδιοσυσκευής.

Το χειριστήριο έχει δύο μεθόδους λειτουργίας, Auto και Manual. Στη λειτουργία Auto εκτελούνται προγράμματα που έχουν συνταχθεί από το χειριστή προηγουμένως ενώ στη λειτουργία Manual εκτελούνται απλές μετατοπίσεις και μηδενισμοί χειροκίνητα. Ο κινητήρας που περιστρέφει το τσοκ της ιδιοσυσκευής, περιστρέφεται με εντολές που δίνονται για τον άξονα περιστροφής X. Για να περιστρέψουμε τον άξονα X χειροκίνητα, ενεργοποιούμε τον ελεγκτή από τον κίτρινο διακόπτη (σχήμα 3.5), απασφαλίζουμε το emergency button, από την αριστερή στήλη επιλέγουμε **JOG** (Manual λειτουργία) και τέλος περιστρέφουμε πατώντας είτε το πλήκτρο **X-** είτε το **X+**. Η τιμή που εμφανίζεται στην οθόνη για τη θέση του άξονα X αντιστοιχεί σε μοίρες περιστροφής (°) από το σημείο μηδέν. Το σημείο μηδέν ορίζεται πατώντας παρατεταμένα το πλήκτρο **1x** και μπορεί να ορισθεί μόνο στη λειτουργία Manual. Ο άξονας περιστροφής Y δεν χρησιμοποιείται.



Σχήμα 3.6: Χειριστήριο TOPCNC TC55V (προσφορά της fasttobuy.com)

### 3.1.2 Δυνατότητες αξιοποίησης

Η ιδιοσυσκευή λειτουργεί σαν ένας προγραμματιζόμενος διαιρέτης. Μερικές από τις εφαρμογές που θα μπορούσε να εκτελέσει στο μέλλον είναι:

1. Κοπή οδοντωτών τροχών
2. Διάνοιξη αυλακών (σφήνες, πολύσφηνα)
3. Κατασκευή πολυγωνικών μορφών
4. Διάνοιξη οπών ομοιόμορφα κατανεμημένων κυκλικά ή διατεταγμένων σε κυλινδρική επιφάνεια
5. Κατασκευή ελικώσεων (ελικοειδών οδοντωτών τροχών ή ελικοειδών σπειρωμάτων)

### 3.2 Προγραμματισμός ιδιοσυσκευής (λειτουργία Auto)

Η γλώσσα προγραμματισμού της ιδιοσυσκευής δεν βασίζεται στη γλώσσα G (G code) αλλά σε μια άλλη, ευκολότερη ψευδογλώσσα του ελεγκτή. Η φιλοσοφία αυτής της γλώσσας είναι πως κάθε φορά ο χειριστής συντάσσει μια γραμμή ξεχωριστά, επιλέγοντας μέσα από μια λίστα καθορισμένων εντολών (πχ Incremental, Repeat, Judge) και συμπληρώνοντας τα απαραίτητα κενά (όπως την ταχύτητα πρόωσης ή τη θέση περιστροφής σε μοίρες). Η τελευταία γραμμή κάθε προγράμματος αποτελείται από την εντολή End.

Αφού ενεργοποιηθεί η ιδιοσυσκευή, πατώντας το πλήκτρο **PROG** εμφανίζεται η οθόνη Program Manager. Σε αυτή την οθόνη βρίσκονται όλα τα αποθηκευμένα προγράμματα που έχει συντάξει ο χειριστής. Επιλέγεται το επιθυμητό πρόγραμμα με τα πλήκτρα **-X**, **X+**, **+Y**, **-Y**. Στο κάτω μέρος της οθόνης εμφανίζονται οι επιλογές «**ENT** to read, **DEL** to delete». Η δημιουργία νέου προγράμματος επιτυγχάνεται πατώντας το πλήκτρο **F2** (New).

Εμφανίζεται το παράθυρο σύνταξης του προγράμματος (σχήμα 3.7). Η παράμετρος n υποδεικνύει τη γραμμή του κώδικα η οποία συντάσσεται εκείνη τη στιγμή, πχ αν ο χειριστής συντάσσει την πρώτη γραμμή του κώδικα στην οθόνη θα εμφανίζεται η 1. Επίσης στην ίδια γραμμή εμφανίζεται το όνομα της εντολής που επιλέχτηκε να εκτελεστεί (πχ Absolute για μετατόπιση με απόλυτες συντεταγμένες) και το όνομα του

προγράμματος. Το όνομα του προγράμματος είναι αποκλειστικά και μόνο αριθμός. Αν το πρόγραμμα δεν έχει αποθηκευτεί ακόμα στη μνήμη του ελεγκτή θα εμφανίζεται «File:----».



Σχήμα 3.7: Παράθυρο σύνταξης προγράμματος.

Μόλις ολοκληρωθεί η σύνταξη μιας γραμμής εντολής, ο χειριστής πατώντας το πλήκτρο **PgDn** μεταβαίνει στο παράθυρο σύνταξης της επόμενης γραμμής. Ομοίως, η μετάβαση στο παράθυρο σύνταξης προηγούμενης γραμμής είναι εφικτή πατώντας το πλήκτρο **PgUp**.

Η παράμετρος Tab αποτελεί ένα είδος σελιδοδείκτη, που υποδεικνύει τη συγκεκριμένη γραμμή στον κώδικα. Η συγκεκριμένη δυνατότητα είναι χρήσιμη κατά την εκτέλεση της εντολής Repeat. Η εντολή Repeat δίνει τη δυνατότητα να εκτελεστεί μια γραμμή εντολής της οποίας η σειρά έχει παρέλθει. Η επιθυμητή εντολή μπορεί να κληθεί, βάζοντας στην παράμετρο Tabcall της εντολής Repeat τον αριθμό που έχει εκχωρηθεί στο Tab της επιθυμητής εντολής. Το [σχήμα 3.8](#) πχ υποδεικνύει ότι θα εκτελεσθεί η πρώτη εντολή που έχει Tab=1 για 3 φορές επιπλέον. Αν αργότερα είναι επιθυμητό να εκτελεσθεί η 5<sup>η</sup> γραμμή του κώδικα θα εκτελεσθεί η εντολή Repeat αλλά με όρισμα TabCall=2.



Σχήμα 3.8: Παράδειγμα της εντολής Repeat

Στον [πίνακα 3.1](#) παρουσιάζονται οι βασικές εντολές προγραμματισμού:

Εντολή	Σημασία
Incremental	Μετατόπιση με σχετικές συντεταγμένες
Absolute	Μετατόπιση με απόλυτες συντεταγμένες
Repeat	Επανάληψη προηγούμενης εντολής
Delay	Καθυστέρηση εκτέλεσης της επόμενης γραμμής εντολής για επιθυμητό χρόνο (s)
Coordinate	Ορισμός νέων συντεταγμένων για τη συγκεκριμένη θέση
End	Τέλος προγράμματος

Πίνακας 3.1: Βασικές εντολές προγραμματισμού ψευδογλώσσας ιδιοσυσκευής.

Είναι χρήσιμο να σημειωθεί πως για τις εντολές Absolute και Incremental, η θέση X ορίζεται σε μοίρες (*deg*) και η πρόωση σε μοίρες ανά λεπτό ( $\frac{deg}{min}$ ).

Μόλις ολοκληρωθεί η σύνταξη του προγράμματος ο χειριστής πατώντας το πλήκτρο **ESC** δύναται να αποθηκεύσει το πρόγραμμα ή να το απορρίψει. Για να εκτελεσθεί ένα αποθηκευμένο πρόγραμμα πρέπει πρώτα να ανοιχθεί από την οθόνη Program Manager και στη συνέχεια να πατηθεί το πλήκτρο **AUTO**. Τέλος πατώντας το πλήκτρο **I** εκτελείται το πρόγραμμα ενώ με το κόκκινο πλήκτρο **●** το πρόγραμμα διακόπτεται.

Κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος δίνονται στον χειριστή τρεις επιλογές. Η πρώτη επιλογή είναι η Auto Run, επιλέγεται με το πλήκτρο **F1** και το πρόγραμμα θα εκτελεσθεί από την αρχή μέχρι το τέλος χωρίς διακοπή. Με την επιλογή **Dry** το πρόγραμμα θα εκτελεσθεί χωρίς να περιστρέφει τον κινητήρα αλλά εμφανίζοντας τις εντολές που εκτελούνται στην οθόνη, σαν προσομοίωση. Με την επιλογή **Step** θα εκτελεσθεί η πρώτη γραμμή του κώδικα και για να εκτελεσθεί η επόμενη θα πρέπει να πατηθεί το πλήκτρο **I** (ο κώδικας εκτελείται βηματικά). Τέλος, αν κατά τη διακοπή πατηθεί το πλήκτρο **Stop** ο κώδικας θα επιστρέψει στην πρώτη γραμμή, έτοιμος να εκτελεστεί από την αρχή. Οι επιλογές **Step** και **Dry** μπορούν να εκτελεστούν συγχρόνως.

Στην ιστοσελίδα [Youtube.com](https://www.youtube.com) έχει αναρτηθεί βίντεο με συνοπτική παρουσίαση λειτουργίας της ιδιοσυσκευής και παράδειγμα σύνταξης προγράμματος. Στο σχήμα 3.9 επισυνάπτεται ο σύνδεσμος για το βίντεο με μορφή QR Code.



Σχήμα 3.9: Σύνδεσμος βίντεο παρουσίασης λειτουργίας ιδιοσυσκευής



## 4. ΠΕΙΡΑΜΑ

### 4.1 Έλεγχος ακρίβειας ιδιοσυσκευής

Η λειτουργία της ιδιοσυσκευής παρομοιάζεται με αυτή του διαιρέτη. Η ιδιοσυσκευή αποτελείται από ένα προγραμματιζόμενο ελεγκτή, ο οποίος με τις κατάλληλες εντολές περιστρέφει τους σφινγκήρες που συγκρατούν τον αυλό. Ανάλογα με την προς εκτέλεση χάραξη πρέπει να συντονιστεί η περιστροφική κίνηση του αυλού και η γραμμική κίνηση του εργαλείου της φραίζας. Ο ελεγκτής και ο βηματικός κινητήρας αποτελούν ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου. Δηλαδή ο ελεγκτής δίνει την εντολή της περιστροφής χωρίς παράλληλα να ελέγχει συνεχώς τη θέση του κινητήρα.

Η σχεδίαση της ιδιοσυσκευής ως σύστημα ανοικτού βρόγχου κρατάει χαμηλό το κόστος κατασκευής καθώς δεν απαιτείται η τοποθέτηση αισθητήρων θέσεως στο βηματικό κινητήρα. Ωστόσο, αν για κάποιο λόγο ο κινητήρας δεν περιστραφεί, (πχ λόγω πιθανής τριβής του τσοκ με τη βάση στήριξής του, κακής ηλεκτρικής επαφής ή ενός φθαρμένου εδράνου κύλισης), ο ελεγκτής δεν θα ενημερωθεί και συνεπώς δεν θα διορθώσει την τελική θέση του κινητήρα. Προκειμένου να ελεγχθεί αν εμποδίζεται η περιστροφή του τσοκ, πριν την εκτέλεση της πρώτης χάραξης είναι απαραίτητο να εξετασθεί, αν η τελική θέση του τσοκ μετά από κάθε περιστροφή, συμπίπτει με αυτή του δοθέντος ορίσματος.

#### 4.1.1 Δοκιμή σφάλματος

Περιμετρικά του τσοκ τοποθετήθηκε μια λωρίδα από μιλιμετρέ χαρτί. Έτσι δημιουργήθηκε ένα είδος κλίμακας, με τη βοήθεια της οποίας μετρήθηκε η περιστροφή του τσοκ σε μοίρες. Κάθε 1 mm κλίμακας αντιστοιχεί με περιστροφή του τσοκ κατά  $1,43^\circ$ . Επιπλέον, για την ευχερέστερη ανάγνωση της μέτρησης τοποθετήθηκε σε σταθερή θέση κατακόρυφα από την κλίμακα ένας δείκτης. Περαιτέρω, και προκειμένου το αποτέλεσμα της μέτρησης να μην επηρεάζεται από την ενδεχόμενη μεταβολή της θέσης του παρατηρητή, τοποθετήθηκε άνωθεν της κλίμακας ψηφιακή κάμερα μεγάλης ανάλυσης, η οποία βρισκόταν ακινητοποιημένη πάνω σε τρίποδο (σχήμα 4.1). Με τον τρόπο αυτό κατέστη δυνατή η με ακρίβεια μέτρηση της μετακίνησης του τσοκ. Συνολικά εκτελέστηκαν τρεις δοκιμές. Στις δύο πρώτες ελέγχθηκε η ακρίβεια περιστροφής, και στην τρίτη ελέγχθηκε η ακρίβεια της ταχύτητας προώσεως.

Ειδικότερα, η διαδικασία για τις δύο πρώτες δοκιμές έχει ως ακολούθως: Δημιουργήθηκε ένα απλό πρόγραμμα, το οποίο περιστρέφει το τσοκ σε μια δοθείσα θέση. Η τελική θέση του τσοκ ορίστηκε να έχει μεγάλη τιμή, (πχ  $10000^\circ$ ), ώστε να εκτελέσει περισσότερες από μία περιστροφές. Το πρόγραμμα εκκίνησε και μόλις το τσοκ διενήργησε την πρώτη πλήρη περιστροφή, (σύμφωνα με την κλίμακα), ο χειριστής διέκοψε το πρόγραμμα πατώντας το κουμπί stop και κατέγραψε τη θέση του τσοκ, όπως αυτή εμφανιζόταν στην οθόνη. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για 13 επιπλέον περιστροφές με διαφορετική κάθε φορά τιμή προώσεως.

Σημειώνεται, ότι η ανωτέρω δοκιμή πραγματοποιήθηκε και για τις δυο φορές περιστροφής του άξονα. Έτσι, εκτιμήθηκε ποιο είναι το όρισμα που χρειάζεται να δοθεί σε ένα πρόγραμμα ώστε το τσοκ να περιστραφεί μια φορά.



Σχήμα 4.1: Προετοιμασία για τον έλεγχο σφάλματος της ιδιοσυσκευής

Τα αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1

ΠΡΟΩΣΗ (F)	X(+)	X(-)
100	360°	-
200	361°	-
300	362°	-
400	361°	-
500	364°	-
600	361°	-
700	361°	-
800	360°	363°
900	361°	361°
1000	360°	361°
1100	360°	360°
1200	360°	360°
1300	360°	360°
1400	360°	360°

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα πρώτης δοκιμής

Αρχικά η δοκιμή εκτελέστηκε με τιμή προώσεως 100 και αυξανόταν διαρκώς, με θετική φορά περιστροφής. Στο δεύτερο μέρος της δοκιμής, δόθηκε τιμή προώσεως 1400 που μειωνόταν με αρνητική φορά περιστροφής. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού της δοκιμής και για τιμή προώσεως 800, ο κινητήρας μπλόκαρε (ακίνητοποιήθηκε) συνοδευόμενος από έναν έντονο κρουστικό ήχο. Να σημειωθεί ότι είχε συμπληρωθεί

τουλάχιστον μια ώρα λειτουργίας και ο κινητήρας ήταν ζεστός. Η δοκιμή διακόπηκε λόγω αδυναμίας περιστροφής του κινητήρα, ο οποίος λειτούργησε ξανά αμέσως μόλις ψήχθηκε.

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 4.1 εκτιμάται πως μια πλήρη περιστροφή του τσοκ εκτελείται για όρισμα θέσης X360. Βεβαίως υπάρχει ένα απροσδιόριστο σφάλμα κατά μέσο όρο  $1^\circ$  με μέγιστη απόκλιση  $4^\circ$ . Η δοκιμή έπρεπε να επαναληφθεί λόγω της απρόβλεπτης διακοπής της προηγούμενης. Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματά της δεύτερης δοκιμής.

ΠΡΩΩΣΗ (F)	X(+)	X(-)
1400	361,43°	379°
1300	361,43°	360°
1200	367,1°	360°
1100	370°	360°
1000	368,6°	358,5°
900	360°	360°
800	360°	360°
700	360°	360°
600	360°	360°
500	360°	360°
400	360°	360°
300	360°	378,6°
200	360°	371,5°
100	360°	360°

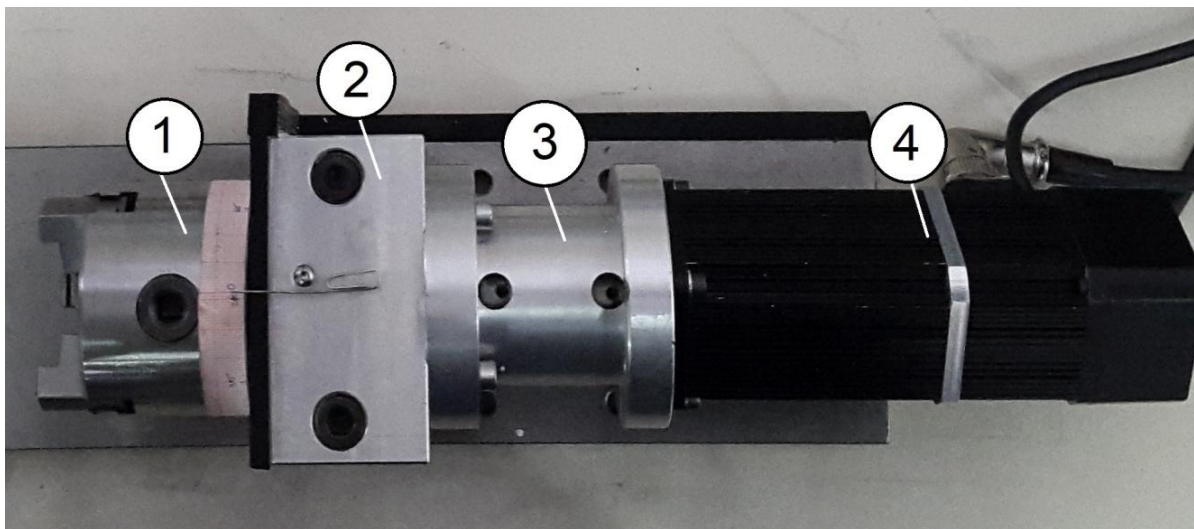
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δεύτερης δοκιμής

Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζουν απροσδιόριστο σφάλμα κατά μέσο όρο  $2^\circ$  αλλά με μέγιστη απόκλιση  $19^\circ$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι όπου προέκυπτε απόκλιση μεγαλύτερη από  $360^\circ$  (πχ  $378,6^\circ$  ή  $379^\circ$ ) η εκκίνηση του τσοκ καθυστέρουσε αισθητά. Δημιουργήθηκε η εντύπωση πως κάτι “φρέναρε” το τσοκ, η εκκίνηση καθυστέρουσε και τελικά ο κινητήρας δεν περιστρεφόταν στην απαιτούμενη απόσταση. Αμέσως μετά την εκτέλεση της δοκιμής επαναλήφθηκαν οι περιστροφές με ταχύτητα πρόωσης F300 και F200, (εκείνες που έδωσαν μεγάλη απόκλιση προηγουμένως) και τα αποτελέσματα ήταν  $360^\circ$  και τις δυο φορές. Συνεπώς ο παράγοντας που προκαλούσε την καθυστέρηση της εκκίνησης δεν συνδεόταν με την αργή πρόωση και δεν συνέβαινε πάντα.

Κατά την τρίτη δοκιμή σχεδιάστηκε ένα απλό πρόγραμμα, που εκτελούσε μετατόπιση από αρχική θέση  $X0^\circ$  στη θέση  $X360^\circ$  με ταχύτητα πρόωσης F360. Μετρήθηκε ο χρόνος που χρειαζόταν για να εκτελεστεί το πρόγραμμα. Ο χρόνος ήταν 1 min ακριβώς και ο κινητήρας φάνηκε να ανταποκρίνεται άμεσα. Η δοκιμή επαναλήφθηκε για τουλάχιστον 10 φορές και οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε ακρίβεια στην αντιστοιχία ταχύτητας πρόωσης και γωνίας περιστροφής με λόγο 1:1 και ότι το όρισμα της ταχύτητας πρόωσης της ιδιοσυσκευής μετράται σε μοίρες ανά λεπτό ( $\frac{deg}{min}$ ).

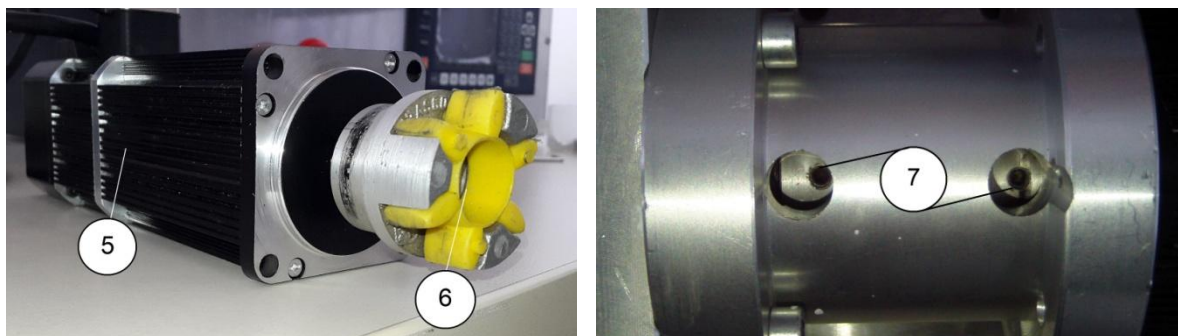
#### 4.1.2 Επιδιορθώσεις

Λόγω του απροσδιόριστου σφάλματος των μετρήσεων όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 4.1 και 4.2, καταβλήθηκε προσπάθεια για τον εντοπισμό του γενεσιουργού αιτίου αυτού.



Σχήμα 4.2: Έδραση κινητήρα στο τραπέζι της ιδιοσυσκευής (1: τσοκ, 2: βάση εδράνου κυλίσεως, 3: κυλινδρικός αποστάτης, 4: βηματικός κινητήρας)

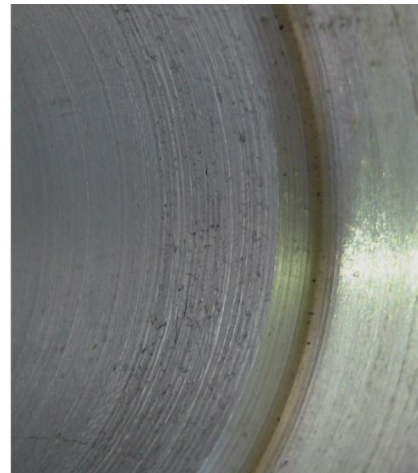
Ο κινητήρας (σχήμα 4.2, 4) συγκρατείται από έναν κυλινδρικό αποστάτη (σχήμα 4.2, 3). Ο αποστάτης είναι βιδωμένος πάνω στη βάση του εδράνου κυλίσεως του τσοκ (σχήμα 4.2, 2). Ο άξονας του κινητήρα έχει στην άκρη του ένα συζευκτήρα μετάδοσης κίνησης, κοινώς κόμπλερ (σχήμα 4.3, 6) ο οποίος μεταφέρει την κίνηση του κινητήρα στον άξονα του τσοκ. Οι δύο συζευκτήρες είναι πιασμένοι στους άξονες με δύο σφιγκτήρες (σχήμα 4.3, 7).



Σχήμα 4.3: κινητήρας και κυλινδρικός αποστάτης (5: κινητήρας, 6: συζευκτήρας μετάδοσης κίνησης, 7: σφιγκτήρες)

Παρατηρήθηκε πως ο σφικτήρας της πλευράς του κινητήρα ήταν χαλαρός. Επιπλέον ο κυλινδρικός αποστάτης στο εσωτερικό του είχε εμφανή σημάδια φθοράς που προκλήθηκαν από τριβή (σχήμα 4.4). Αυτού του είδους η φθορά είναι πιθανό να προκλήθηκε από το μικρό διάκενο μεταξύ των συζευκτών και του αποστάτη.





Σχήμα 4.4: Εσωτερικό κυλινδρικού αποστάτη (παρουσιάζει εμφανή σημάδια τριβής)

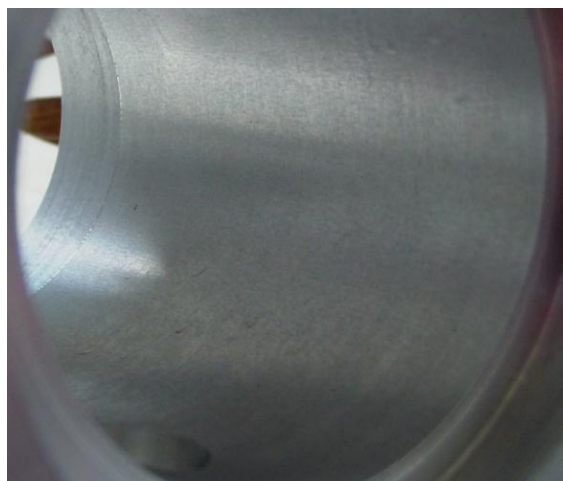
Μετά από εκτενή χρήση της ιδιοσκευυής και παρατήρηση, διαπιστώθηκε ότι η καθυστέρηση της εκκίνησης οφειλόταν στο χαλαρό σφιγκτήρα και το μπλοκάρισμα του κινητήρα στην τριβή μηχανικών μερών. Με στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας της επικείμενης χάραξης των αυλών, πραγματοποιήθηκαν οι εξής επιδιορθώσεις:

-Ο σφιγκτήρας βιδώθηκε και επαναλήφθηκε η πρώτη δοκιμή. Εκ των αποτελεσμάτων της (πίνακας 4.3) κατέστη σαφές ότι η επέμβαση αυτή ήταν ορθή.

ΠΡΟΩΣΗ (F)	X(+)	X(-)	ΠΡΟΩΣΗ (F)	X(+)	X(-)
1400	360°	360°	700	360°	360°
1300	360°	360°	600	360°	360°
1200	360°	360°	500	360°	360°
1100	360°	360°	400	360°	360°
1000	360°	360°	300	360°	360°
900	360°	360°	200	360°	360°
800	360°	360°	100	360°	360°

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα πειράματος μετά από επιδιόρθωση σφιγκτήρα συζευκτήρα

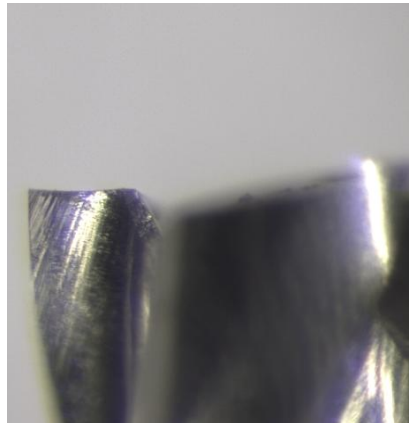
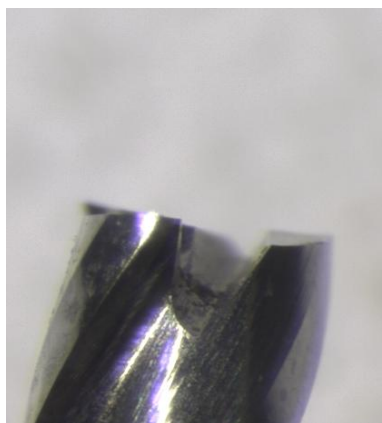
-Ο κυλινδρικός αποστάτης κατεργάστηκε εσωτερικά στον τόρνο, όπου με τη βοήθεια μιας εσωτερικής μανέλας αυξήθηκε η εσωτερική διάμετρος του κατά 1,5 mm.



Σχήμα 4.5: Εσωτερικό κυλινδρικού αποστάτη μετά την επιδιόρθωση

Το τελικό αποτέλεσμα της επιδιόρθωσης του αποστάτη φαίνεται στο σχήμα 4.5. Μετά από αυτή ο κινητήρας δεν μπλόκαρε ξανά ακόμα και μετά από 6 ώρες αδιάκοπης λειτουργίας.

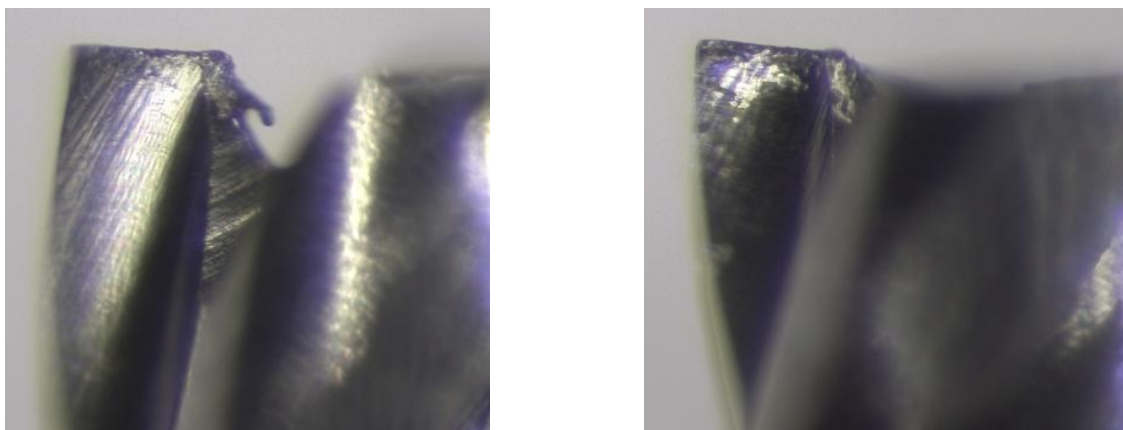
#### 4.2 Δοκιμή με κονδύλι διαμέτρου 1 mm



Σχήμα 4.6: Κονδύλι 1 mm πριν τη δοκιμή (λήψη από στερεοσκόπιο)

Αρχικά οι χαράξεις είχαν σχεδιαστεί, ώστε να πραγματοποιηθούν με τη χρήση ενός κονδυλίου διαμέτρου 1 mm. Δοκιμάστηκε η χάραξη ενός ευθύγραμμου τμήματος μήκους 40 mm πάνω σε μια πλάκα χάλυβα P235GH, ίδιου δηλαδή υλικού με αυτό των προς κατεργασία αυλών. Οι συνθήκες χάραξης ήταν: Βάθος χάραξης 0,2 mm full slot, πρόωση χάραξης  $412 \frac{mm}{min}$ , ταχύτητα ατράκτου 28000 rpm. Χρησιμοποιήθηκε το κονδύλι F3AH0100AWS30 του οίκου Kennametal.

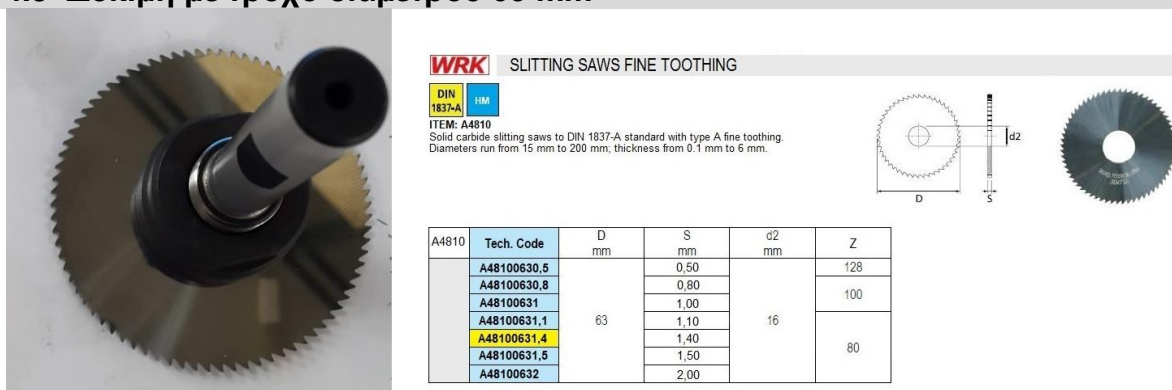
Το κονδύλι επιθεωρήθηκε στο στερεοσκόπιο του εργαστηρίου. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το κονδύλι πριν τη χάραξη και στο σχήμα 4.7 αμέσως μετά. Να σημειωθεί ότι το κονδύλι στο σχήμα 4.6 δεν έχει χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 4.7: Κονδύλι 1 mm μετά τη δοκιμή (λήψη από στερεοσκόπιο)

Λόγω της προβλεπόμενης γρήγορης φθοράς του κονδυλίου κατά τη χάραξη, προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί τροχός αντί κονδυλίου. Η υλοποίηση της χάραξης με κονδύλι απαιτούσε μεγάλο αριθμό κονδυλίων και κατ' επέκταση μεγάλο κόστος. Άλλος ένας αποτρεπτικός λόγος ήταν η πιθανότητα ολικής θραύσης του κονδυλίου κατά τη χάραξη. Η παραπάνω παρατήρηση αναπτύσσεται στην παράγραφο 4.6.2. Τέλος, στην περίπτωση που η χάραξη γινόταν με το κονδύλι του 1 mm θα ήταν αναγκαία η χρήση της εξωτερικής πολυστρόφου ατράκτου, καθώς η άτρακτος του κέντρου κατεργασίας έχει μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 8000 rpm. Ως εκ τούτου, η ανωτέρω διαδικασία θα γινόταν πιο απαιτητική, σύνθετη και επικίνδυνη για τον χειριστή.

#### 4.3 Δοκιμή με τροχό διαμέτρου 63 mm



Σχήμα 4.8: Τροχός 63 mm με στέλεχος συγκράτησης (αριστερά), κατάλογος τροχών WRK (δεξιά)

Πραγματοποιήθηκε μια δοκιμή με τροχό 63 mm σε ένα κομμάτι αυλού, το οποίο είχε κοπεί και αχρηστευτεί. Χρειάστηκαν αρκετές δοκιμές μέχρι να βρεθούν οι κατάλληλες κοπτικές συνθήκες του εργαλείου, διότι δεν διετίθεντο στη συσκευασία του ή στο διαδίκτυο. Ικανοποιητικές αποδείχθηκαν οι τιμές  $300 \frac{mm}{min}$  για την ταχύτητα πρόωσης και 1300 rpm για την ταχύτητα περιστροφής ατράκτου. Ο τροχός A48100631,4 του οίκου WRK που χρησιμοποιήθηκε είχε τα εξής χαρακτηριστικά: εξωτερική διάμετρος 63 mm, πλάτος χάραξης 1,4 mm, αριθμός δοντιών 80. Τη συγκράτηση του τροχού στον κώνο της εργαλειομηχανής ανέλαβε το συμβατό στέλεχος C323016 του οίκου TUKOY.

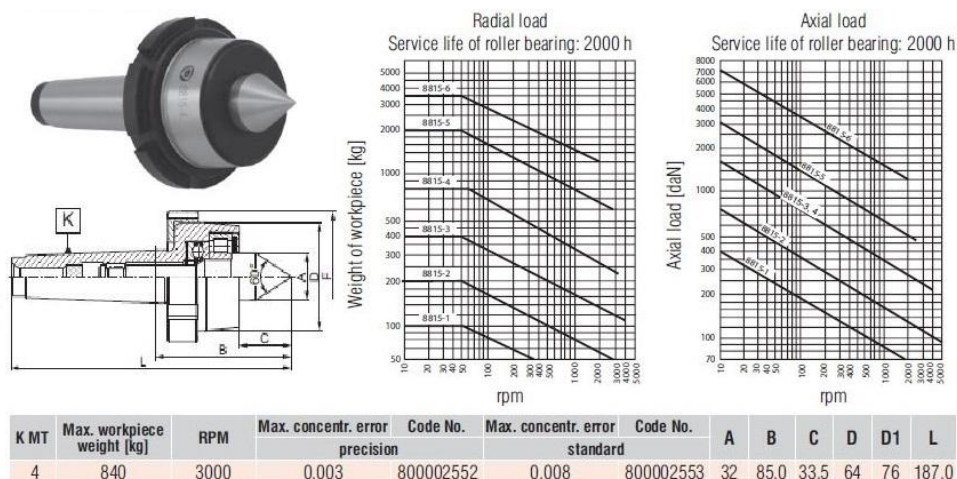
#### 4.4 Κατασκευή αντάπτορα κεντροφορέα

Αποφασίστηκε η χάραξη των αυλών να πραγματοποιηθεί στο CNC κέντρο κατεργασίας για την επίτευξη των οριζοντίων χαράξεων και στο CNC κέντρο τόννευσης για τους εγκάρσιους κύκλους. Ειδικώς για την κατεργασία στον τόρνο απαιτείται η συμβολή του κεντροφορέα, ένεκα του μεγάλου μήκους και βάρους του αυλού. Η πόντα του κεντροφορέα είναι σχεδιασμένη για μικρής διαμέτρου σπές ( $< 32 \text{ mm}$ ) και δεν μπορούσε να συγκρατήσει τους κατεργαζόμενους αυλούς, με εσωτερική διάμετρο 63,5 mm και 76,1 mm. Συνεπώς ήταν απαραίτητο να κατασκευαστεί ένας αντάπτορας για τον κεντροφορέα που θα τοποθετείτο στην πόντα και με τη βοήθειά του θα συγκρατείτο ο προς κατεργασία αυλός.



Σχήμα 4.9: Πόντα Bison 8815-4 αριστερά (προσφορά της Bison), αντάπτορας κεντροφορέα δεξιά (εικόνα από το λογισμικό cad).

Ο αντάπτορας σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα CAD Siemens NX 12 και δημιουργήθηκε κώδικας κατασκευής του από το πρόγραμμα CAM του ίδιου λογισμικού. Ο αντάπτορας σχεδιάστηκε, έτσι ώστε η πόντα Bison 8815-4 να εφαρμόσει στην εσοχή του. Στο κωνικό τμήμα του αντάπτορα μπορούσε να τοποθετηθεί αυλός εξωτερικής διαμέτρου, είτε 63,5 mm, είτε 76,1 mm. Με αυτό το τρόπο δεν χρειάστηκε δεύτερος αντάπτορας. Τέλος δόθηκε η κατάλληλη κλίση στο κωνικό τμήμα του αντάπτορα, προκειμένου να μην σφηνώσει ο αυλός λόγω αξονικής πίεσης του κεντροφορέα. Για την ατυχή περίπτωση που θα συνέβαινε, σχεδιάστηκε αυλάκωση 4 mm περιμετρικά του αντάπτορα, όπου με τη χρήση κατάλληλου εργαλείου θα ήταν δυνατή η αποκόλληση του αντάπτορα από τον αυλό. Στο κεφάλαιο 7 επισυνάπτεται το μηχανολογικό του σχέδιο



Σχήμα 4.10: Χαρακτηριστικά πόντας Bison 8815-4 (προσφορά της Bison)



#### 4.4.1 Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας αντάπτορα

Αρχικά σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του αντάπτορα στον υπολογιστή με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού CAD. Στη συνέχεια το αρχείο που προέκυψε εισήχθηκε στο λογισμικό CAM, με το οποίο οι φάσεις κατεργασιών προγραμματίστηκαν με μεγάλη λεπτομέρεια. Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι φάσεις αποθηκεύτηκε το αρχείο MPF, με το οποίο η CNC εργαλειομηχανή θα παρήγαγε το επιθυμητό τεμάχιο.

Εντός του χώρου κατεργασίας του τόννου τοποθετήθηκε κυλινδρικός χάλυβας τύπου ST52, διαμέτρου 85.2 mm και μήκους 70 mm. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε μηδενισμός τεμαχίου και μηδενισμός όλων των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν. Έγινε καθαρισμός της εμπρόσθιας επιφάνειας του τεμαχίου (βάση κυλίνδρου) και στη συνέχεια, με τη βοήθεια του κεντραδόρου, δημιουργήθηκε μια μικρή οπή (εσοχή) στο κέντρο. Αυτή, κατά την εκτέλεση της πρώτης φάση της κατεργασίας, θα οδηγούσε το τρυπάνι στο κέντρο του τεμαχίου.

Αφού εκτελέστηκε η προσομοίωση της κατεργασίας στον υπολογιστή της εργαλειομηχανής, η εργαλειομηχανή προγραμματίστηκε να ξεκινήσει. Πρώτη φάση της κατεργασίας ήταν η διάτρηση οπής 11 mm σε μήκος 45 mm.


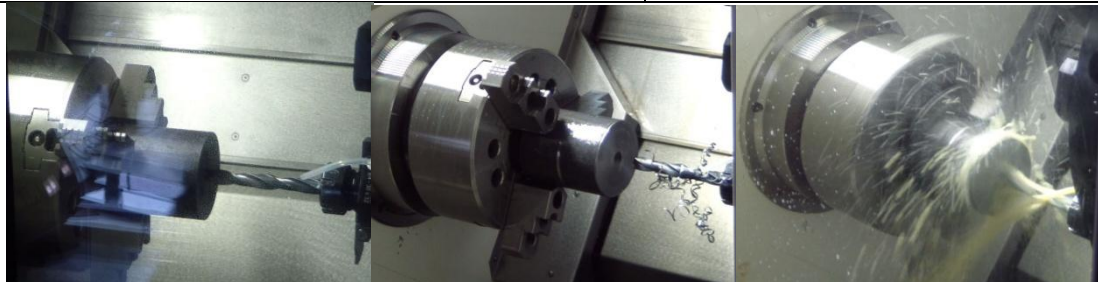
Στη δεύτερη φάση εκτελέστηκε εσωτερική τόννευση της οπής, σκοπός της οποίας ήταν η αύξηση της διαμέτρου στα 16 mm. Όταν ολοκληρώθηκε η διάνοιξη της οπής ακολούθησε η κατασκευή μιας κωνικής γεωμετρίας, στην οποία θα εφαρμόζε η πόντα του κεντροφορέα. Ο κύκλος κατεργασίας της κωνικής γεωμετρίας άφησε 200  $\mu$ m υλικού τα οποία και αφαιρέθηκαν στη συνέχεια με τον ίδιο κύκλο για να φινιριστεί η επιφάνεια και να υπάρξει καλή συναρμογή.

Ακολούθησε η τρίτη φάση με εκχόνδριση της εξωτερικής επιφάνειας του αντάπτορα, μειώνοντας την εξωτερική διάμετρό του στα 84 mm. Η τέταρτη φάση περιλάμβανε τη δημιουργία ενός δακτυλίου περιμετρικά του αντάπτορα και τη δημιουργία της εξωτερικής επικλινούς επιφάνειάς του. Ο δακτύλιος κατασκευάστηκε πρώτος με κατεργασία απλής αυλάκωσης. Αμέσως μετά κατασκευάστηκε η επικλινή επιφάνεια με διαδοχικές ακτινικές αυλακώσεις μικρού βήματος (30% του πλάτους του κοπτικού) και μεταβλητού βάθους κοπής. Για το φινίρισμα της επικλινούς επιφάνειας αρκούσε μια ευθύγραμμη κίνηση και στους δύο άξονες, έτσι ώστε το κοπτικό να καθαρίσει τις ατέλειες των αυλακώσεων.

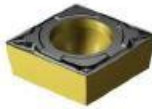
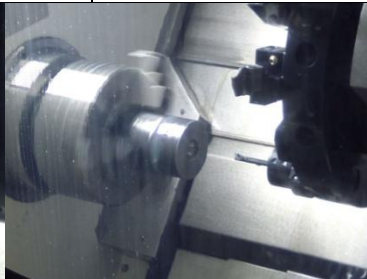
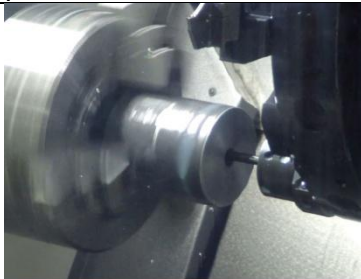
Τέλος στην πέμπτη φάση πραγματοποιήθηκε αποκοπή του τεμαχίου από το επιπλέον ακατέργαστο υλικό.

#### 4.4.2 Φασεολόγιο αντάπτορα

Παρακάτω παρουσιάζεται το φασεολόγιο του αντάπτορα.

1 <sup>η</sup> Φάση	Υλικό εργαλείου: HSS			Υλικό τεμαχίου: ST52 steel
Κωδικός εργαλείου	Είδος κατεργασίας	Στροφές (RPM)	Πρόωση (mm/rev)	Συνολικός χρόνος φάσης
T04	Διάτρηση	500	0.1	00:09:00
<p>Στην παρούσα φάση γίνεται η κατεργασία της διάτρησης της αρχικής οπής διαμέτρου 11 mm, αφού έχει προηγηθεί το κεντράρισμα της οπής του τεμαχίου με το αντίστοιχο εργαλείο (κεντραδόρος - center drill). Το συνολικό βάθος της οπής είναι 45 mm και υλοποιείται σε διαδοχικά διαμήκη βήματα των 6 mm. Η διάμετρος του εργαλείου είναι 11 mm. Ο συνολικός χρόνος φάσης είναι 9 λεπτά και 0 δευτερόλεπτα. Τέλος το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα 500 rpm ενώ η πρόωση του εργαλείου είναι 0.1 mm/rev.</p>				
				
N0	G40 G18 G71 G90	N21	G01 Z-21.	
N1	WORKPIECE(,,"CYLINDER",192,0,-70,-63.5,85.2)	N22	Z-28.	
N2	T4	N23	Z30.	
N3	M06	N24	G00 Z-18.	
N4	G54	N25	G01 Z-28.	
N5	G95 S500 M03	N26	Z-35.	
N6	G00 X314. Z130. D01	N27	Z30.	
N7	X0.0	N28	G00 Z-25.	
N8	Z40.	N29	G01 Z-35.	
N9	G01 Z30. F1.5	N30	Z-42.	
N10	Z-7.	N31	Z30.	
N11	Z30.	N32	G00 Z-32.	
N12	G00 Z3.	N33	G01 Z-42.	
N13	G01 Z-7.	N34	Z-49.	
N14	Z-14.	N35	Z30.	
N15	Z30.	N36	G00 Z-39.	
N16	G00 Z-4.	N37	G01 Z-49.	
N17	G01 Z-14.	N38	Z-56.	
N18	Z-21.	N39	Z40.	
N19	Z30.	N40	G00 Z130.	
N20	G00 Z-11.	N41	X314.	
		N42	M30.	

Πίνακας 4.4: Φάση 1 κατασκευής αντάπτορα

2 <sup>η</sup> Φάση		Υλικό εργαλείου: Coating CVD Ti(C,N) + Al2O3 + TiN		Υλικό τεμαχίου: ST52 steel
Κωδικός εργαλείου	Είδος κατεργασίας	Στροφές (RPM)	Πρόωση (mm/rev)	Συνολικός χρόνος φάσης
T09	Εσωτερική τόννευση	200	0.04	01:59:00
Κωδ. Εργαλείου: Kennametal CCMT060202LF				
Κωδ. Μανέλας: Kennametal A08JSCLCL06				
<p>Στην παρούσα φάση γίνεται η κατεργασία της εσωτερικής τόννευσης για διάνοιξη της οπής διαμέτρου 32 mm, και στη συνέχεια η λοξοτομή, δηλαδή ταυτόχρονη κίνηση του κοπτικού και στους δύο άξονες. Το συνολικό βάθος της οπής είναι 45 mm και σε κάθε πέρασμα αφαιρείται υλικό πάχους 0.2 mm. Επιπλέον στο τέλος της κατεργασίας παραμένει υλικό πάχους 0.2 mm προκειμένου να ακολουθήσει κατεργασία φινιρίσματος ενός περάσματος. Η κατεργασία φινιρίσματος εκτελείται με το ίδιο υποπρόγραμμα, το οποίο χρησιμοποιείται εντός του κυρίως προγράμματος. Η ακτίνα μύτης του εργαλείου είναι 0.2 mm, η γωνία μύτης εργαλείου είναι 80° και το άκρο κοπής 6.35 mm. Ο συνολικός χρόνος φάσης είναι 1 ώρα, 59 λεπτά και 0 δευτερόλεπτα. Τέλος το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα 200 rpm ενώ η πρόωση του εργαλείου είναι 0.04 mm/rev.</p>				
<div></div>				
N0	G40 G18 G71 G90	N14	X15.8	
N1	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-70,-63.5,85.2)	N15	G01 Z3.	
N2	T9	N16	Z-45.	
N3	M06	N17	X15.4	
N4	G95 S200 M04	N18	X15.117 Z-44.859	
N5	X325. Z179.	N19	G00 X13.92	
N6	X15.4	N20	Z3.2	
N7	Z3.2	N21	X16.19	
N8	G01 Z3. F.4	N22	G01 Z3.	
N9	Z-45.	N23	Z-20.665	
N10	X15.	N24	X15.8 Z-21.003	
N11	X14.717 Z-44.859	N25	X15.517 Z-20.861	
N12	G00 X13.92	N26	G00 X14.72	
N13	Z3.2	N27	Z3.2	
		N28	X16.58	

N29	G01 Z3.	N80	X18.922 Z-18.299
N30	Z-20.327	N81	X18.639 Z-18.158
N31	X16.19 Z-20.665	N82	G00 X15.873 Z-17.359
N32	X15.907 Z-20.523	N83	Z3.2
N33	G00 X14.72	N84	X19.702
N34	Z3.2	N85	G01 Z3.
N35	X16.971	N86	Z-17.623
N36	G01 Z3.	N87	X19.312 Z-17.961
N37	Z-19.989	N88	X19.029 Z-17.82
N38	X16.58 Z-20.327	N89	G00 X16.264 Z-17.021
N39	X16.298 Z-20.185	N90	Z3.2
N40	G00 X14.72	N91	X20.093
N41	Z3.2	N92	G01 Z3.
N42	X17.361	N93	Z-17.285
N43	G01 Z3.	N94	X19.702 Z-17.623
N44	Z-19.651	N95	X19.42 Z-17.482
N45	X16.971 Z-19.989	N96	G00 X16.654 Z-16.683
N46	X16.688 Z-19.848	N97	Z3.2
N47	G00 X14.72	N98	X20.483
N48	Z3.2	N99	G01 Z3.
N49	X17.751	N100	Z-16.947
N50	G01 Z3.	N101	X20.093 Z-17.285
N51	Z-19.313	N102	X19.81 Z-17.144
N52	X17.361 Z-19.651	N103	G00 X17.044 Z-16.345
N53	X17.078 Z-19.51	N104	Z3.2
N54	G00 X14.72	N105	X20.873
N55	Z3.2	N106	G01 Z3.
N56	X18.141	N107	Z-16.609
N57	G01 Z3.	N108	X20.483 Z-16.947
N58	Z-18.975	N109	X20.2 Z-16.806
N59	X17.751 Z-19.313	N110	G00 X17.434 Z-16.007
N60	X17.468 Z-19.172	N111	Z3.2
N61	G00 X14.72	N112	X21.263
N62	Z3.2	N113	G01 Z3.
N63	X18.532	N114	Z-16.271
N64	G01 Z3.	N115	X20.873 Z-16.609
N65	Z-18.637	N116	X20.59 Z-16.468
N66	X18.141 Z-18.975	N117	G00 X17.825 Z-15.669
N67	X17.859 Z-18.834	N118	Z3.2
N68	G00 X14.72	N119	X21.654
N69	Z3.2	N120	G01 Z3.
N70	X18.922	N121	Z-15.933
N71	G01 Z3.	N122	X21.263 Z-16.271
N72	Z-18.299	N123	X20.981 Z-16.13
N73	X18.532 Z-18.637	N124	G00 X18.215 Z-15.332
N74	X18.249 Z-18.496	N125	Z3.2
N75	G00 X15.483 Z-17.697	N126	X22.044
N76	Z3.2	N127	G01 Z3.
N77	X19.312	N128	Z-15.595
N78	G01 Z3.	N129	X21.654 Z-15.933
N79	Z-17.961	N130	X21.371 Z-15.792



N131	G00 X18.605 Z-14.994	N182	X25.166
N132	Z3.2	N183	G01 Z3.
N133	X22.434	N184	Z-12.892
N134	G01 Z3.	N185	X24.776 Z-13.23
N135	Z-15.257	N186	X24.493 Z-13.088
N136	X22.044 Z-15.595	N187	G00 X21.727 Z-12.29
N137	X21.761 Z-15.454	N188	Z3.2
N138	G00 X18.995 Z-14.656	N189	X25.556
N139	Z3.2	N190	G01 Z3.
N140	X22.824	N191	Z-12.554
N141	G01 Z3.	N192	X25.166 Z-12.892
N142	Z-14.92	N193	X24.883 Z-12.75
N143	X22.434 Z-15.257	N194	G00 X22.117 Z-11.952
N144	X22.151 Z-15.116	N195	Z3.2
N145	G00 X19.386 Z-14.318	N196	X25.946
N146	Z3.2	N197	G01 Z3.
N147	X23.215	N198	Z-12.216
N148	G01 Z3.	N199	X25.556 Z-12.554
N149	Z-14.582	N200	X25.273 Z-12.412
N150	X22.824 Z-14.92	N201	G00 X22.507 Z-11.614
N151	X22.542 Z-14.778	N202	Z3.2
N152	G00 X19.776 Z-13.98	N203	X26.337
N153	Z3.2	N204	G01 Z3.
N154	X23.605	N205	Z-11.878
N155	G01 Z3.	N206	X25.946 Z-12.216
N156	Z-14.244	N207	X25.663 Z-12.074
N157	X23.215 Z-14.582	N208	G00 X22.898 Z-11.276
N158	X22.932 Z-14.44	N209	Z3.2
N159	G00 X20.166 Z-13.642	N210	X26.727
N160	Z3.2	N211	G01 Z3.
N161	X23.995	N212	Z-11.54
N162	G01 Z3.	N213	X26.337 Z-11.878
N163	Z-13.906	N214	X26.054 Z-11.736
N164	X23.605 Z-14.244	N215	G00 X23.288 Z-10.938
N165	X23.322 Z-14.102	N216	Z3.2
N166	G00 X20.556 Z-13.304	N217	X27.117
N167	Z3.2	N218	G01 Z3.
N168	X24.385	N219	Z-11.202
N169	G01 Z3.	N220	X26.727 Z-11.54
N170	Z-13.568	N221	X26.444 Z-11.398
N171	X23.995 Z-13.906	N222	G00 X23.678 Z-10.6
N172	X23.712 Z-13.764	N223	Z3.2
N173	G00 X20.947 Z-12.966	N224	X27.507
N174	Z3.2	N225	G01 Z3.
N175	X24.776	N226	Z-10.864
N176	G01 Z3.	N227	X27.117 Z-11.202
N177	Z-13.23	N228	X26.834 Z-11.061
N178	X24.385 Z-13.568	N229	G00 X24.068 Z-10.262
N179	X24.103 Z-13.426	N230	Z3.2
N180	G00 X21.337 Z-12.628	N231	X27.898
N181	Z3.2	N232	G01 Z3.

N233	Z-10.526	N283	X30.239 Z-8.498
N234	X27.507 Z-10.864	N284	X29.956 Z-8.357
N235	X27.224 Z-10.723	N285	G00 X27.19 Z-7.558
N236	G00 X24.459 Z-9.924	N286	Z3.2
N237	Z3.2	N287	X31.02
N238	X28.288	N288	G01 Z3.
N239	G01 Z3.	N289	Z-7.822
N240	Z-10.188	N290	X30.629 Z-8.16
N241	X27.898 Z-10.526	N291	X30.346 Z-8.019
N242	X27.615 Z-10.385	N292	G00 X27.581 Z-7.22
N243	G00 X24.849 Z-9.586	N293	Z3.2
N244	Z3.2	N294	X31.41
N245	X28.678	N295	G01 Z3.
N246	G01 Z3.	N296	Z-7.484
N247	Z-9.85	N297	X31.02 Z-7.822
N248	X28.288 Z-10.188	N298	X30.737 Z-7.681
N249	X28.005 Z-10.047	N299	G00 X27.971 Z-6.883
N250	G00 X25.239 Z-9.248	N300	Z3.2
N251	Z3.2	N301	X31.8
N252	X29.068	N302	G01 Z3.
N253	G01 Z3.	N303	Z-7.146
N254	Z-9.512	N304	X31.41 Z-7.484
N255	X28.678 Z-9.85	N305	X31.127 Z-7.343
N256	X28.395 Z-9.709	N306	G00 Z179.
N257	G00 X25.629 Z-8.91	N307	X325.
N258	Z3.2	N308	G95 S200 M04
N259	X29.459	N309	X33.7
N260	G01 Z3.	N310	Z.4
N261	Z-9.174	N311	G03 X32.9 Z0.0 I-.4 K0.0
N262	X29.068 Z-9.512	N312	G02 X32. Z-.45 I0.0 K-.45
N263	X28.785 Z-9.371	N313	G01 Z-7.146
N264	G00 X26.02 Z-8.572	N314	X16.121 Z-20.898
N265	Z3.2	N315	G02 X16. Z-21.123 I.39 K-.225
N266	X29.849	N316	G01 Z-45.
N267	G01 Z3.	N317	X15.8
N268	Z-8.836	N318	G03 X15. Z-44.6 I0.0 K.4
N269	X29.459 Z-9.174	N319	G00 Z179.
N270	X29.176 Z-9.033	N320	X325.
N271	G00 X26.41 Z-8.234	N321	M30.
N272	Z3.2		
N273	X30.239		
N274	G01 Z3.		
N275	Z-8.498		
N276	X29.849 Z-8.836		
N277	X29.566 Z-8.695		
N278	G00 X26.8 Z-7.896		
N279	Z3.2		
N280	X30.629		
N281	G01 Z3.		
N282	Z-8.16		

Πίνακας 4.5: Φάση 2 κατασκευής αντάπτορα

3 <sup>η</sup> Φάση	Υλικό εργαλείου: Coating CVD Ti(C,N) + Al2O3 + TiN			Υλικό τεμαχίου: ST52 steel
Κωδικός εργαλείου	Είδος κατεργασίας	Στροφές (RPM)	Πρόωση (mm/rev)	Συνολικός χρόνος φάσης
T12	Εκχόνδριση εξωτερικής επιφάνειας	500	0.1	00:02:07
Κωδ. Εργαλείου: Sandvik CNMG 12 04 08 – PM 4225				
Κωδ. Μανέλας: CoroTurn RC DCLNL 2020K 12				
<p>Στην παρούσα φάση γίνεται η κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου. Αυτό επιτυγχάνεται με διαμήκη περάσματα πάχους 1 mm. Η ακτίνα μύτης του εργαλείου είναι 0.8 mm, η γωνία μύτης εργαλείου είναι 80° και η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου είναι 12 mm. Ο συνολικός χρόνος φάσης είναι 2 λεπτά και 7 δευτερόλεπτα. Τέλος το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα 500 rpm ενώ η πρόωση του εργαλείου είναι 0.1 mm/rev.</p>				
				
N0	G40 G18 G71 G90			
N1	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-70,63.5,85.2)			
N2	T12			
N3	M06			
N4	G95 S500 M04			
N5	X140. Z257.			
N6	Z3.798			
N7	X84.			
N8	G01 Z2.998 F1.			
N9	Z-50.598			
N10	Z-51.398			
N11	G00 X140.			
N12	Z257.			
N13	M30.			

Πίνακας 4.6: Φάση 3 κατασκευής αντάπτορα


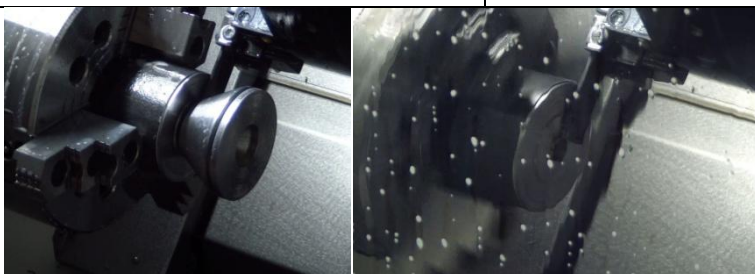
4 <sup>η</sup> Φάση	Υλικό εργαλείου: Coating PVD(Ti,Al)N			Υλικό τεμαχίου: ST52 steel
Κωδικός εργαλείου	Είδος κατεργασίας	Στροφές (RPM)	Πρόωση (mm/rev)	Συνολικός χρόνος φάσης
T11	Αυλάκωση	150	0.035	01:33:00
Κωδ. Εργαλείου: Sandvik N123H2-0400-0004-TF1125				
Κωδ. Μανέλας: CoroCut LF123H25-2020BM				
<p>Στην παρούσα φάση γίνεται η κατεργασία αυλακώσεων με σκοπό τη δημιουργία πρώτον αυλάκωσης πλάτους 4 mm και βάθους 4 mm και δεύτερον επικλινούς επιφάνειας κατάλληλης γωνίας (κωνικής γεωμετρίας). Η δεύτερη επιτυγχάνεται με διαδοχικές αυλακώσεις μεταβαλλόμενου βάθους για συνολικό μήκος 33,8 mm. Η ακτίνα μύτης του εργαλείου είναι και στις δύο πλευρές 0.4 mm, η γωνία συγκράτησης του εργαλειοδέτη είναι 90° και το ωφέλιμο μήκος εισχώρησης είναι 12 mm. Ο συνολικός χρόνος φάσης είναι 1 ώρα, 33 λεπτά και 0 δευτερόλεπτα. Τέλος το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα 150 rpm ενώ η πρόωση του εργαλείου είναι 0.035 mm/rev.</p>				
				
N0	G40 G18 G71 G90	N18	X82.65	
N1	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-70,-63.5,85.2)	N19	G04 S1.	
N2	T11	N20	X83.45	
N3	M06	N21	G00 X90.8	
N4	G95 S150 M04	N22	Z-17.443	
N5	X163. Z261.	N23	G01 X90.	
N6	Z-9.225	N24	X81.301	
N7	X90.8	N25	G04 S1.	
N8	G01 X90. F.35	N26	X82.651	
N9	X76.	N27	X83.451 Z-17.043	
N10	G04 S1.	N28	G00 X90.8	
N11	X76.8	N29	Z-18.612	
N12	G00 X163.	N30	G01 X90.	
N13	Z261.	N31	X79.951	
N14	G95 S150 M04	N32	G04 S1.	
N15	Z-16.274	N33	X81.301	
N16	X90.8	N34	X82.101 Z-18.212	
N17	G01 X90.	N35	G00 X90.8	
		N36	Z-19.781	

N37	G01 X90.	N88	G04 S1.
N38	X78.602	N89	X70.504
N39	G04 S1.	N90	X71.304 Z-27.562
N40	X79.951	N91	G00 X90.8
N41	X80.751 Z-19.381	N92	Z-29.131
N42	G00 X90.8	N93	G01 X90.
N43	Z-20.949	N94	X67.805
N44	G01 X90.	N95	G04 S1.
N45	X77.252	N96	X69.155
N46	G04 S1.	N97	X69.955 Z-28.731
N47	X78.602	N98	G00 X90.8
N48	X79.402 Z-20.549	N99	Z-30.3
N49	G00 X90.8	N100	G01 X90.
N50	Z-22.118	N101	X66.455
N51	G01 X90.	N102	G04 S1.
N52	X75.902	N103	X67.805
N53	G04 S1.	N104	X68.605 Z-29.9
N54	X77.252	N105	G00 X90.8
N55	X78.052 Z-21.718	N106	Z-31.468
N56	G00 X90.8	N107	G01 X90.
N57	Z-23.287	N108	X65.106
N58	G01 X90.	N109	G04 S1.
N59	X74.553	N110	X66.455
N60	G04 S1.	N111	X67.255 Z-31.068
N61	X75.903	N112	G00 X90.8
N62	X76.703 Z-22.887	N113	Z-32.637
N63	G00 X90.8	N114	G01 X90.
N64	Z-24.456	N115	X63.756
N65	G01 X90.	N116	G04 S1.
N66	X73.203	N117	X65.106
N67	G04 S1.	N118	X65.906 Z-32.237
N68	X74.553	N119	G00 X90.8
N69	X75.353 Z-24.056	N120	Z-33.806
N70	G00 X90.8	N121	G01 X90.
N71	Z-25.624	N122	X62.407
N72	G01 X90.	N123	G04 S1.
N73	X71.854	N124	X63.756
N74	G04 S1.	N125	X64.556 Z-33.406
N75	X73.203	N126	G00 X90.8
N76	X74.003 Z-25.224	N127	Z-34.975
N77	G00 X90.8	N128	G01 X90.
N78	Z-26.793	N129	X61.057
N79	G01 X90.	N130	G04 S1.
N80	X70.504	N131	X62.407
N81	G04 S1.	N132	X63.207 Z-34.575
N82	X71.854	N133	G00 X90.8
N83	X72.654 Z-26.393	N134	Z-36.143
N84	G00 X90.8	N135	G01 X90.
N85	Z-27.962	N136	X59.707
N86	G01 X90.	N137	G04 S1.
N87	X69.155	N138	X61.057



N139	X61.857 Z-35.743	N188	X52.41 Z-43.925
N140	G00 X90.8	N189	G00 X90.8
N141	Z-37.312	N190	Z-45.494
N142	G01 X90.	N191	G01 X90.
N143	X58.358	N192	X48.911
N144	G04 S1.	N193	G04 S1.
N145	X59.708	N194	X50.26
N146	X60.508 Z-36.912	N195	X51.06 Z-45.094
N147	G00 X90.8	N196	G00 X90.8
N148	Z-38.481	N197	Z-46.662
N149	G01 X90.	N198	G01 X90.
N150	X57.008	N199	X47.561
N151	G04 S1.	N200	G04 S1.
N152	X58.358	N201	X48.911
N153	X59.158 Z-38.081	N202	X49.711 Z-46.262
N154	G00 X90.8	N203	G00 X90.8
N155	Z-39.65	N204	Z-47.831
N156	G01 X90.	N205	G01 X90.
N157	X55.659	N206	X46.211
N158	G04 S1.	N207	G04 S1.
N159	X57.008	N208	X47.561
N160	X57.808 Z-39.25	N209	X48.361 Z-47.431
N161	G00 X90.8	N210	G00 X90.8
N162	Z-40.819	N211	Z-49.
N163	G01 X90.	N212	G01 X90.
N164	X54.309	N213	X45.2
N165	G04 S1.	N214	G04 S1.
N166	X55.659	N215	X46.212
N167	X56.459 Z-40.419	N216	X47.012 Z-48.6
N168	G00 X90.8	N217	G00 X163.
N169	Z-41.987	N218	Z261.
N170	G01 X90.	N219	G95 S150 M04
N171	X52.959	N220	Z-14.345
N172	G04 S1.	N221	X84.
N173	X54.309	N222	G01 Z-14.745
N174	X55.109 Z-41.587	N223	G03 X83.812 Z-15.095 I-.7 K0.0
N175	G00 X90.8	N224	G01 X45. Z-48.707
N176	Z-43.156	N225	Z-49.
N177	G01 X90.	N226	G04 S1.
N178	X51.61	N227	X45.8
N179	G04 S1.	N228	G00 X163.
N180	X52.96	N229	Z261.
N181	X53.76 Z-42.756	N230	M30.
N182	G00 X90.8		
N183	Z-44.325		
N184	G01 X90.		
N185	X50.26		
N186	G04 S1.		
N187	X51.61		

Πίνακας 4.7: Φάση 4 κατασκευής αντάπτορα

5 <sup>η</sup> Φάση		Υλικό εργαλείου: Coating PVD(Ti,Al)N		Υλικό τεμαχίου: ST52 steel
Κωδικός εργαλείου	Είδος κατεργασίας	Στροφές (RPM)	Πρόωση (mm/rev)	Συνολικός χρόνος φάσης
T11	Αποκοπή	150	0.035	00:05:00
Κωδ. Εργαλείου: Sandvik N123H2-0400-0004-TF1125				
Κωδ. Μανέλας: CoroCut LF123H25-2020BM				
Στην παρούσα φάση γίνεται η αποκοπή του τελικού πλέον τεμαχίου από το υπόλοιπο ακατέργαστο υλικό. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο εργαλείο αυλακώσεων με αυτό της 4 <sup>ης</sup> φάσης. Ο συνολικός χρόνος φάσης είναι 5 λεπτά και 0 δευτερόλεπτα. Τέλος το τεμάχιο περιστρέφεται με ταχύτητα 150 rpm ενώ η πρόωση του εργαλείου είναι 0.035 mm/rev.				
				
N0	G40 G18 G71 G90			
N1	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-70,-63.5,85.2)			
N2	T11			
N3	M06			
N4	G95 S150 M04			
N5	X126. Z250.			
N6	Z-48.			
N7	X51.4			
N8	G01 X51. F.35			
N9	X15.2			
N10	G04 S1.			
N11	X15.6			
N12	G00 X51.4			
N13	X126.			
N14	Z250.			
N15	M30.			

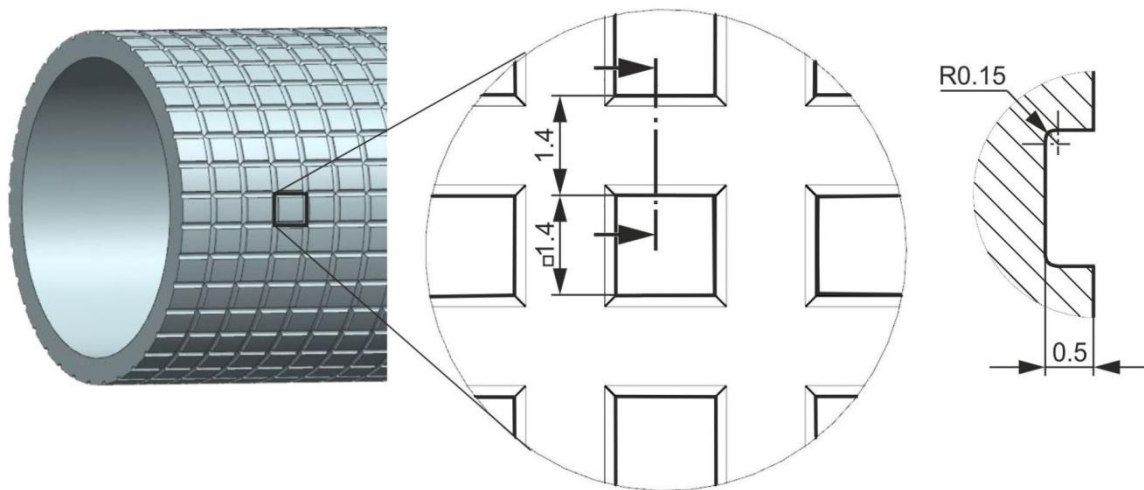
Πίνακας 4.8: Φάση 5 κατασκευής αντάπτορα

#### 4.5 Σχεδιασμός χαράξεων

Σε συνεργασία με το τμήμα Χημικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μελετήθηκαν πέντε σχέδια χαράξεων. Εκτιμάται πως αν κάποιο από αυτά χαραχθεί στην εξωτερική επιφάνεια των αυλών θα συμβάλει στη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας. Παρά το γεγονός πως δεν ήταν όλα τα σχέδια χαράξεων υλοποιήσιμα, λόγω τεχνικών περιορισμών των εργαλειομηχανών, ακόμα και εκείνα που μπορούσαν να εκτελεστούν, χρειάστηκαν αρκετές τροποποιήσεις μέχρι να δημιουργηθεί ο κώδικας των εργαλειομηχανών, ο οποίος θα καθοδηγούσε τη χάραξη. Οι πέντε χαράξεις που μελετήθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

##### 4.5.1 Χάραξη Chessboard

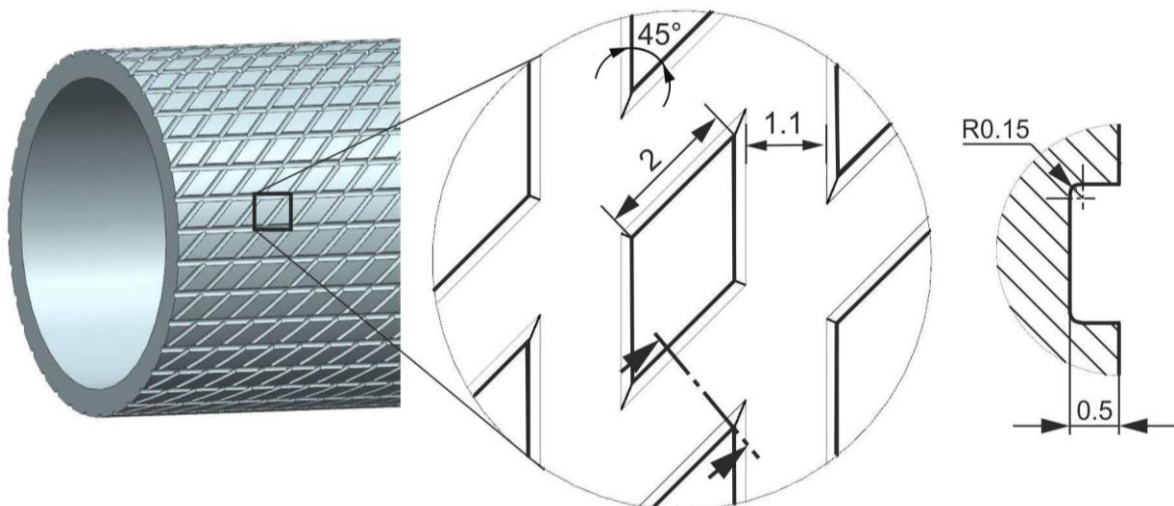
Η χάραξη Chessboard έχει μοτίβο κελιών σκακιέρας. Στην επιφάνεια του αυλού θα χαραχθούν οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα και εγκάρσιοι κύκλοι που δημιουργούν μικρές τετράγωνες επιφάνειες. Η χάραξη είναι πολύ εύκολα υλοποιήσιμη και απαιτεί ελάχιστο προγραμματισμό.



Σχήμα 4.11: Σχέδιο χάραξης Chessboard

##### 4.5.2 Χάραξη Oblique Fins

Η χάραξη Oblique Fins μοιάζει πολύ με αυτή της Chessboard. Η διαφορά τους είναι ότι στην Oblique Fins δεν υπάρχουν κάθετες χαράξεις, αλλά ελικοειδείς περιμετρικά του αυλού.

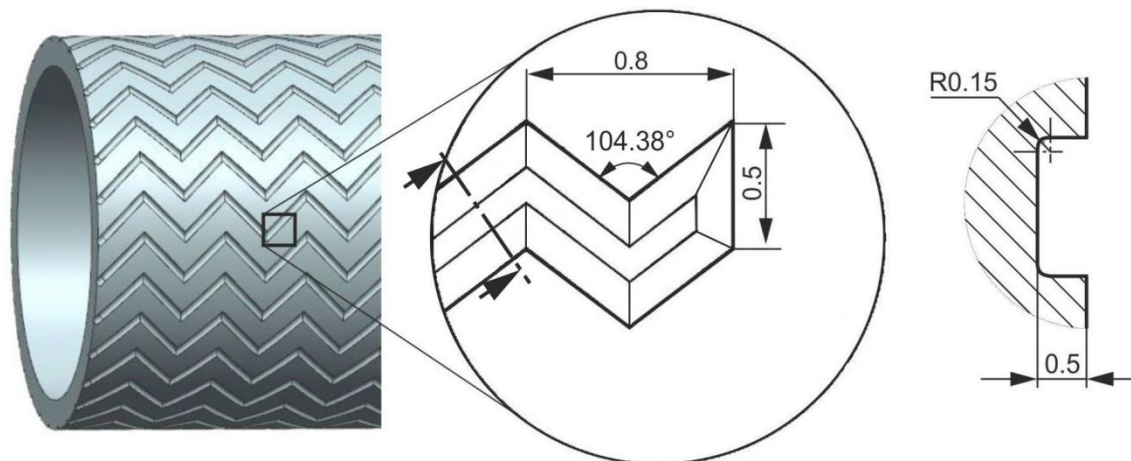


Σχήμα 4.12: Σχέδιο χάραξης Oblique Fins

Οι οριζόντιες χαράξεις εκτελούνται όπως ακριβώς εκτελέστηκαν και στη χάραξη Chessboard. Οι ελικοειδείς χαράξεις πραγματοποιούνται στη φραιζα με τη βοήθεια της ιδιοσυσκευής.

#### 4.5.3 Χάραξη Zig - Zag

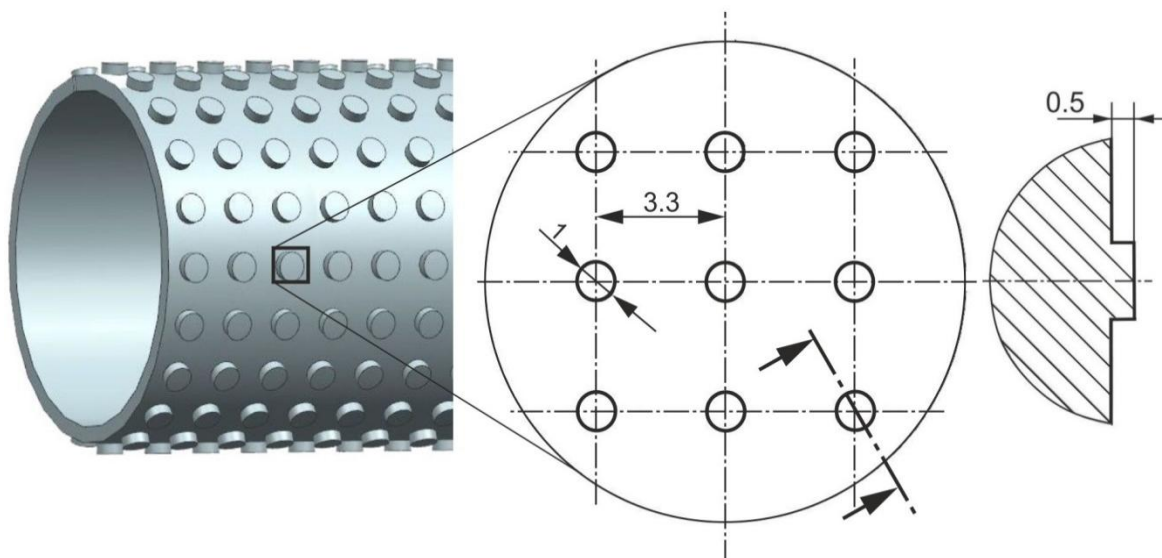
Η χάραξη Zig – Zag αποτελείται από μια τεθλασμένη γραμμή, η οποία οδηγεί μεν προς μια γενική κατεύθυνση, αλλάζει όμως διαρκώς πορεία σχηματίζοντας αλληπτάλληλες γωνίες αντίθετης φοράς. Κάθε τμήμα διαδέχεται το επόμενο με γωνία  $90^\circ$ . Η παραπάνω χάραξη πραγματοποιείται στη φραιζα με τη βοήθεια της ιδιοσυσκευής.



Σχήμα 4.13: Σχέδιο χάραξης Zig – Zag

#### 4.5.4 Χάραξη Lego

Η χάραξη Lego έχει μοτίβο που θυμίζει τα ευρέως γνωστά τουβλάκια. Οι κυκλικές εξοχές στην επιφάνεια του αυλού σχηματίζονται αφαιρώντας υλικό περιμετρικά των κύκλων. Δηλαδή, αφαιρείται υλικό με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να σχηματιστούν εξοχές και όχι εσοχές, σε αντίθεση με τις προηγούμενες χαράξεις. Αυτού του είδους η χάραξη απαιτεί σύνθετες και συντονισμένες κινήσεις, τόσο από τη φραιζα, όσο και από την ιδιοσυσκευή. Συνεπώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί “χειροκίνητα” και δεν θα εκτελεστεί.

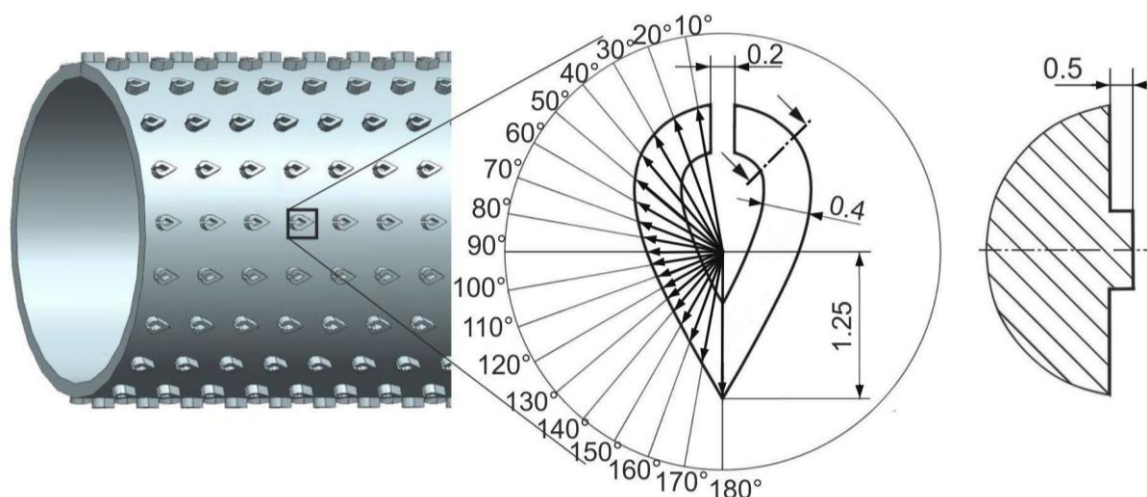


Σχήμα 4.14: Σχέδιο χάραξης Lego



#### 4.5.4 Χάραξη Piranha

Η χάραξη Piranha έχει μοτίβο που θυμίζει μικρά ψάρια. Οι εξοχές στην επιφάνεια του αυλού προέρχονται από την αφαίρεση υλικού περιμετρικά του σχεδίου. Δηλαδή αφαιρείται υλικό με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να σχηματιστούν εξοχές και όχι εσοχές, όπως στη χάραξη Lego. Αυτού του είδους η χάραξη απαιτεί ακόμα πιο σύνθετες κινήσεις, τόσο από τη φραιζα όσο και από την ιδιοσυσκευή. Ακόμα και με τη χρήση λογισμικού CAM το αποτέλεσμα είναι αμφίβολο, λόγω της γεωμετρίας. Συνεπώς, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί “χειροκίνητα” και δεν θα εκτελεστεί.



Σχήμα 4.15: Σχέδιο χάραξης Piranha

#### 4.6 Προσομοίωση χάραξης με μαρκαδόρο

Για τις χαράξεις Chessboard, Oblique Fins και Zig – Zag δημιουργήθηκαν κώδικες για το κέντρο κατεργασιών και την ιδιοσυσκευή με σκοπό την υλοποίησή τους. Προκειμένου να φανεί αν ο παραπάνω προγραμματισμός οδηγεί σε επιθυμητό αποτέλεσμα, χωρίς να δεσμευτεί κάποιος αυλός, ο κώδικας εκτελέστηκε χωρίς κοπτικό εργαλείο. Αντί αυτού χρησιμοποιήθηκε ένας μαρκαδόρος, ο οποίος κατέγραψε την κίνηση που θα ακολουθούσε ένα κονδύλι. Ο μαρκαδόρος συγκρατήθηκε σε έναν κώνο, όπως ακριβώς ένα κονδύλι μεγάλης διαμέτρου. Και οι τρεις χαράξεις απεικονίστηκαν στον ίδιο αυλό, κάθε μία σε μία μικρή επιφάνειά του.



Σχήμα 4.16: Προσομοίωση χαράξεων με μαρκαδόρο



#### 4.6.1 Περιγραφή

Για τη χάραξη Chessboard, ο μαρκαδόρος πραγματοποιεί ευθύγραμμη κίνηση κατά μήκος της άνω εξωτερικής επιφάνειας του αυλού. Μόλις εμφανιστεί το πρώτο ευθύγραμμο τμήμα, ο μαρκαδόρος απομακρύνεται καθ' ύψος και η ιδιοσυσκευή περιστρέφει τον αυλό. Ο μαρκαδόρος αγγίζει τον αυλό και σχεδιάζεται ένα νέο ευθύγραμμο τμήμα από τη φραιζα όπως παραπάνω. Η διαδικασία τερματίζεται, όταν σχεδιαστεί ολόκληρη η επιφάνεια του αυλού. Αφού σχηματιστούν οι οριζόντιες χαράξεις, σειρά έχουν οι εγκάρσιοι κύκλοι. Ο μαρκαδόρος αγγίζει τον αυλό και η ιδιοσυσκευή περιστρέφεται. Μόλις ολοκληρωθεί ο εγκάρσιος κύκλος ο μαρκαδόρος απομακρύνεται από τον αυλό καθ' ύψος και μετατοπίζεται στον άξονα X. Ο μαρκαδόρος αγγίζει τον αυλό και σχεδιάζεται ένας νέος εγκάρσιος κύκλος από τη φραιζα όπως παραπάνω. Η διαδικασία τερματίζεται, όταν σχεδιαστεί ολόκληρη η επιφάνεια του αυλού. Στους πίνακες 4.9 και 4.10 παρουσιάζονται οι κώδικες για τις οριζόντιες χαράξεις και για τις κάθετες αντίστοιχα:



Σχήμα 4.17: Προσομοίωση χάραξης Chessboard

Κώδικας σχεδίασης οριζόντιων ευθυγράμμων τμημάτων Chessboard

N	Φραιζα	N	Ιδιοσυσκευή
1	G90 G54 G71 G17	1	(Coordinate) Tab=0 X=0 Y=0
2	M70		
3	G00 Z100		
4	Y0		
5	X0		
6	Z15		
7	F840		
8	G01 Z0		
9	X400		
10	Z15		
11	G00 X0		
12	M30		

		2	(Incremental) Tab=1 X=23 Y=0 F=2000
		3	(Repeat)Tab=1 Times=7 TabCall=1
		4	(End) Tab=0

Πίνακας 4.9: Κώδικας σχεδίασης οριζόντιων ευθυγράμμων τμημάτων Chessboard

Σημείωση: Οι εντολές πρέπει να εκτελεστούν βηματικά και στους δύο κώδικες.

Κώδικας σχεδίασης εγκάρσιων κύκλων Chessboard

N	Φράιζα	N	Ιδιοσυσκευή
1	G90 G54 G71 G17	1	(Coordinate) Tab=0 X=0 Y=0
2	M70		
3	G00 Z100		
4	Y0		
5	X0		
6	Z15		
7	F840		
8	G01 Z0 ;FIRST GROVE		
		2	(Incremental) Tab=1 X=58 Y=0 F=1500
10	G00 Z15		
		3	(Incremental) Tab=0 X=-58 Y=0 F=1500
11	LABEL: ;REST GROOVING LOOP		
12	G91		
13	G00 X10		
14	F840		
15	G90		
16	G01 Z0		
		4	(Repeat) Tab=1 Times=40 TabCall=1
17	G00 Z15		
18	REPEAT LABEL P=39 ;LOOP END		
19	Z100		
20	M30	5	(End) Tab=0

Πίνακας 4.10: Κώδικας σχεδίασης εγκάρσιων κύκλων Chessboard

Σημείωση: Οι εντολές πρέπει να εκτελεστούν βηματικά και στους δύο κώδικες. Η εντολή N5 της ιδιοσυσκευής εκτελείται ταυτόχρονα με την εντολή N13 της φραιζας και μόνο εντός του βρόγχου επανάληψης (γραμμές N11-N18 φραιζας).

Για τη χάραξη Zig - Zag, ο μαρκαδόρος πραγματοποιεί συνεχείς ελιγμούς κατά μήκος της άνω εξωτερικής επιφάνειας του αυλού. Αφού αγγίξει τον αυλό, πραγματοποιεί ευθύγραμμη κίνηση στον άξονα X της φραιζας. Ταυτόχρονα, η ιδιοσυσκευή περιστρέφει τον αυλό για μια δεδομένη γωνία και στη συνέχεια αλλάζει κατεύθυνση, επιστρέφοντας τον αυλό στην αρχική του θέση με την ίδια περιστροφική ταχύτητα. Η συντονισμένη αυτή κίνηση μαρκαδόρου – αυλού, συνεχίζεται για όλο το κατεργαζόμενο μήκος. Έπειτα ο μαρκαδόρος απομακρύνεται από τον αυλό καθ' ύψος και η ιδιοσυσκευή μετατοπίζεται στην αρχική θέση της αμέσως επόμενης χάραξης. Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζεται ο κώδικας.



Σχήμα 4.18: Προσομοίωση χάραξης Zig - Zag

Κώδικας σχεδίασης Zig – Zag

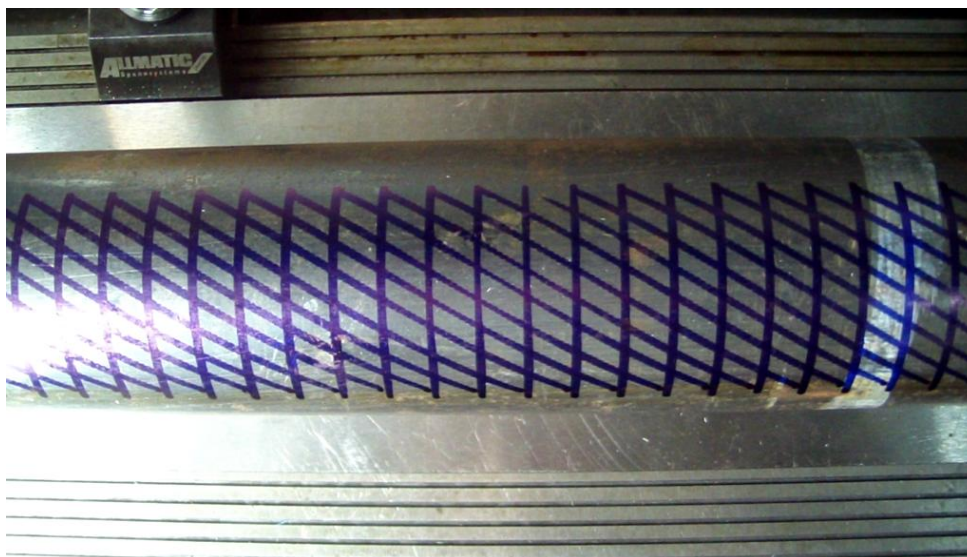
N	Φραιζα	N	Ιδιοσυσκευή
1	G90 G54 G71 G17	1	(Coordinate) Tab=2 X=0 Y=0
2	M70		
3	G00 Z100		
4	Y0		
5	X0		
6	Z15		
7	LABEL: GROOVING LOOP		
8	F840		
9	G01 Z0		
10	G01 X400	2	(Incremental) Tab=1 X=44.72 Y=0 F=1072
		3	(Incremental) Tab=0 X=-44.72 Y=0 F=1072
		4	(Repeat) Tab=0 Times=5 TabCall 1
		5	(Coordinate) Tab=0 X=0 Y=0

11	Z15		
12	G00 X0		
		6	(Incremental) Tab=0 X=10 Y=0 F=2000
		7	(Delay) Tab=0 DelyTime=10
13	REPEAT LABEL P=3 ;LOOP END	8	(Repeat) Tab=0 times=3, Tabcall 2
14	G00 Z100		
15	M30	9	(End) Tab=0

Πίνακας 4.11: Κώδικας σχεδίασης Zig – Zag

Σημείωση: Οι εντολές δεν εκτελούνται βηματικά. Το delay time προσφέρει χρόνο στον χειριστή, ώστε λίγο πριν εκτελεστεί η επόμενη περιστροφή, ο χειριστής να αυξήσει την αργή πρόωση στο χειριστήριο της φραιζας που νωρίτερα είχε κλείσει. Έτσι συντονίζει την κίνηση της φραιζας με αυτή της ιδιοσυσκευής.

Για την χάραξη Oblique Fins, ο μαρκαδόρος πραγματοποιεί μια ευθύγραμμη κίνηση κατά μήκος της άνω εξωτερικής επιφάνειας του αυλού στον άξονα X. Ταυτόχρονα με την κίνηση αυτή εκτελείται περιστροφή του αυλού από την ιδιοσυσκευή. Έτσι δημιουργείται η ελικοειδής καμπύλη. Στη συνέχεια σχεδιάζονται οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα, με διαδικασία ίδια με αυτή του πρώτου μισού της σχεδίασης Chessboard. Στους πίνακες 4.12 και 4.13 παρουσιάζονται οι κώδικες για τις ελικοειδείς καμπύλες και για τα ευθύγραμμα τμήματα.



Σχήμα 4.19: Προσομοίωση χάραξης Oblique Fins

## Κώδικας σχεδίασης καμπυλών Oblique Fins

N	Φράιζα	N	Ιδιοσυσκευή
1	G90 G54 G71 G17	1	(Coordinate) Tab=2 X=0 Y=0
2	M70		
3	G00 Z100		
4	Y0		
5	X0		
6	Z15		
7	LABEL:		
8	F840		
9	G90		
10	G01 Z0		
11	G91		
12	G01 X78.3	2	(Incremental) Tab=1 X=90 Y=0 F=894
13	Z15		
		3	(Incremental) Tab=0 X=-90 Y=0 F=2000
14	G00 X-68.3		
15	REPEAT LABEL P=30	4	(Repeat) Tab=0 Times=37 TabCall 1
16	G90		
17	Z100		
18	M30	5	(End) Tab=0

Πίνακας 4.12: Κώδικας σχεδίασης καμπυλών Oblique Fins

Σημείωση: Οι εντολές πρέπει να εκτελεστούν βηματικά και στους δύο κώδικες. Οι θέσεις X78,3 και X68,3 έχουν διαφορά 10 mm (βήμα από χάραξη σε χάραξη).



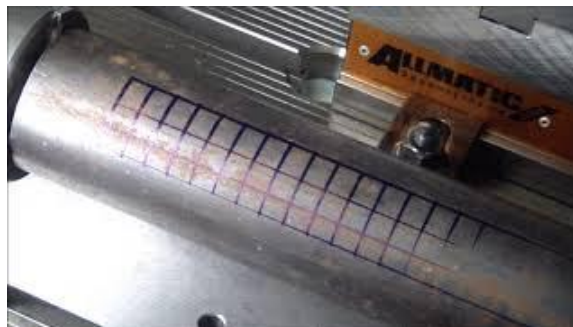
## Χάραξη καθέτων γραμμών Oblique Fins

N	Φράιζα	N	Ιδιοσυσκευή
1	G90 G54 G71 G17	1	(Coordinate) Tab=2 X=0 Y=0
2	M70		
3	G00 Z100		
4	Y0		
5	X0		
6	Z15		
7	F840		
8	G01 Z0 ;FIRST GROVE		
		2	(Incremental) Tab=1 X=90 Y=0 F=894
10	G00 Z15		
		3	(Incremental) Tab=0 X=-90 Y=0 F=2000
11	LABEL: ;REST GROOVING LOOP		
12	G91		
13	G00 X10		
14	F840		
15	G90		
16	G01 Z0		
		4	(Repeat) Tab=0 Times=37 TabCall 1
17	G00 Z15		
18	REPEAT LABEL P=36 ;LOOP END		
19	Z100		
20	M30	5	(End) Tab=0

Πίνακας 4.13: Κώδικας για κάθετες χαράξεις Oblique Fins

Σημείωση: Οι εντολές πρέπει να εκτελεστούν βηματικά και στους δύο κώδικες. Εκ παραδρομής, η χάραξη Oblique Fins προσομοιώθηκε με εγκάρσιους κύκλους αντί ευθύγραμμα τμήματα. Ο κώδικας της ιδιοσυσκευής που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη σχεδίαση οριζοντίων ευθυγράμμων τμημάτων είναι αυτός του Πίνακα 4.9.

Στην ιστοσελίδα [Youtube.com](https://www.youtube.com) έχει αναρτηθεί βίντεο με παρουσίαση προσομοίωσης των εν λόγω χαράξεων με μαρκαδόρο. Στο σχήμα 4.20 επισυνάπτεται ο σύνδεσμος για το βίντεο με μορφή QR Code.



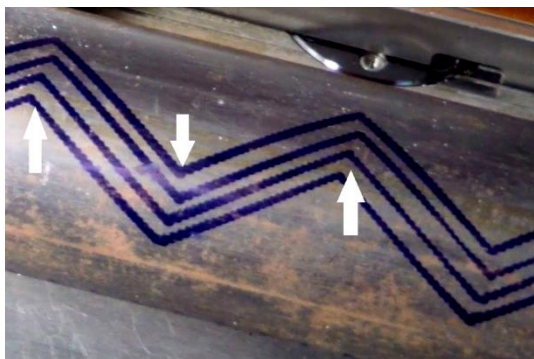
Σχήμα 4.20: Σύνδεσμος βίντεο προσομοίωσης με μαρκαδόρο

#### 4.6.2 Παρατηρήσεις

Κατά την προσομοίωση των χαράξεων με χρήση μαρκαδόρου, προέκυψαν συμπεράσματα τα οποία λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση της χάραξης.

Όλες οι χαράξεις πλην της σκακιέρας (χάραξη Chessboard) απαιτούν ταυτόχρονη κίνηση στον άξονα X της φραιζας και περιστροφική κίνηση της ιδιοσυσκευής. Όμως επειδή η λειτουργία των δυο μηχανών είναι ανεξάρτητη, δηλαδή οι δύο μηχανές δεν "επικοινωνούν" μεταξύ τους, ο συντονισμός των δύο μηχανών πρέπει να γίνεται χειροκίνητα από το χειριστή. Στις περισσότερες χαράξεις, αυτό πραγματοποιείται με ξεχωριστή εκτέλεση της κάθε μίας εντολής (εκτέλεση STEP στην ιδιοσυσκευή, Single Block στον controller Siemens 810d [11]).

Ειδικώς για τη χάραξη Zig - Zag, αν η κίνηση των δυο αξόνων δεν είναι συντονισμένη (ταυτόχρονη εκτέλεση γραμμών-εντολών και στις δύο μηχανές), παρουσιάζεται ασυμμετρία στις χαράξεις (Σχήμα 4.21). Ένας ακόμα λόγος για τον οποίο το κονδύλι δεν προτιμάται για την επίτευξη της χάραξης, είναι πως η χάραξη θα πρέπει να γίνει με ένα μόνο πέρασμα (πάσο). Αν πραγματοποιηθεί δεύτερο πέρασμα λόγω του είδους της διαδικασίας, (ο χειριστής εκκινεί τις δύο μηχανές), δεν είναι βέβαιο ότι το κονδύλι θα βρεθεί ακριβώς πάνω στην πρώτη αυλάκωση. Αν το κονδύλι αποκλίσει έστω και λίγο, το βάθος κοπής στιγμιαία θα διπλασιαστεί και θα υπερβεί το ενδεδειγμένο βάθος κοπής που ορίζει ο κατασκευαστής. Αυτό θα οδηγήσει σε σημαντική φθορά και πιθανόν σε θραύση του κονδυλίου.



Σχήμα 4.21: Ασυμμετρία χάραξης Zig-Zag.

Η εκκεντρότητα των αυλών αποτελεί επιπλέον παράγοντα σφαλμάτων. Οι αυλοί που προσφέρθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας έχουν μεγάλη εκκεντρότητα, με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η τοποθέτησή τους στα τσοκ της ιδιοσυσκευής και του τόρνου. Ακόμα και όταν η τοποθέτηση γίνει προσεκτικά, με τρόπο που ελαχιστοποιεί το παραπάνω φαινόμενο, η απόκλιση είναι τέτοια που δεν επιτρέπει ομοιόμορφο βάθος χάραξης, καθώς η σχετική απόσταση του κοπτικού εργαλείου και του αυλού μεταβάλλεται συνεχώς. Μια επιπλέον αιτία που ενισχύει το παραπάνω πρόβλημα είναι τα χτυπήματα που φέρει ο αυλός στην εξωτερική του επιφάνεια, τα οποία πιθανόν οφείλονται στις συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης των αυλών, (λχ κακή συσκευασία ή κρούση τους κατά την αποστολή, στοίβαξη πολλών αυλών και τοποθέτηση φορτίου άνωθεν κ.α.).

Κατά την προσομοίωση της χάραξης με μαρκαδόρο το φαινόμενο αυτό ήταν ορατό, με την πορεία του μαρκαδόρου να χάνεται σε πολλά σημεία. Στο σχήμα 4.22 επισημαίνονται με βέλη τα σημεία που χάνεται η χάραξη και με κύκλους τα σημεία με διαφορετικό πάχος χάραξης.



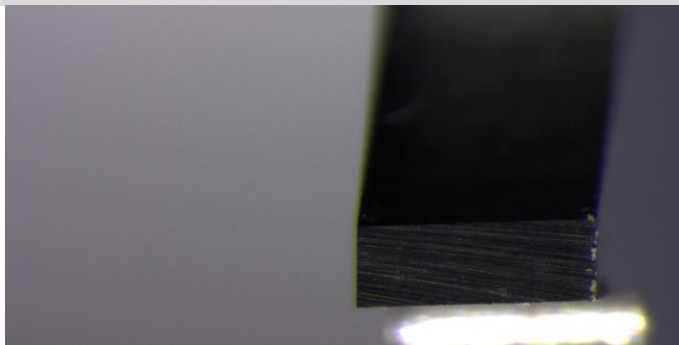
Σχήμα 4.22: Σφάλματα λόγω εκκεντρότητας και χτυπημάτων των αυλών. Αριστερά χάραξη Oblique Fins, δεξιά χάραξη Chessboard.

Για την εξάλειψη του παραπάνω φαινομένου προτείνονται δύο εναλλακτικές λύσεις. Η πρώτη είναι η κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας των αυλών πριν την κατεργασία χάραξης, με στόχο το μηδενισμό της εκκεντρότητάς τους. Αυτό όμως συνεπάγεται αύξηση του κόστους της κατεργασίας και αύξηση του συνολικού απαιτούμενου χρόνου κατεργασιών. Η δεύτερη λύση είναι η επίτευξη της χάραξης με ένα μέσο βάθος κοπής, έτσι ώστε η χάραξη να επιτευχθεί σε όλο το μήκος των αυλών σε ένα μεταβαλλόμενο βάθος. Επιλέχθηκε η χάραξη να πραγματοποιηθεί αξιοποιώντας τη δεύτερη λύση, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους της κατεργασίας.

#### 4.7 Χάραξη οριζόντιων αυλακώσεων Chessboard

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μέρος των οριζόντιων αυλακώσεων της χάραξης Chessboard πραγματοποιήθηκε στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco. Η κάθε αυλάκωση απείχε από την προηγούμενη παράλληλή της 1,4 mm και είχε βάθος χάραξης 0,5 mm. Το μέσο χάραξης ήταν ο τροχός 63 mm A48100631,4 του οίκου WRK. Πριν τη χάραξη το μήκος του αυλού μειώθηκε στα 500 mm, ώστε να συγκρατηθεί από την ιδιοσυσκευή.

#### 4.7.1 Προεργασία



Σχήμα 4.23: Κοπτική ακμή τροχού (λήψη από στερεοσκόπιο)

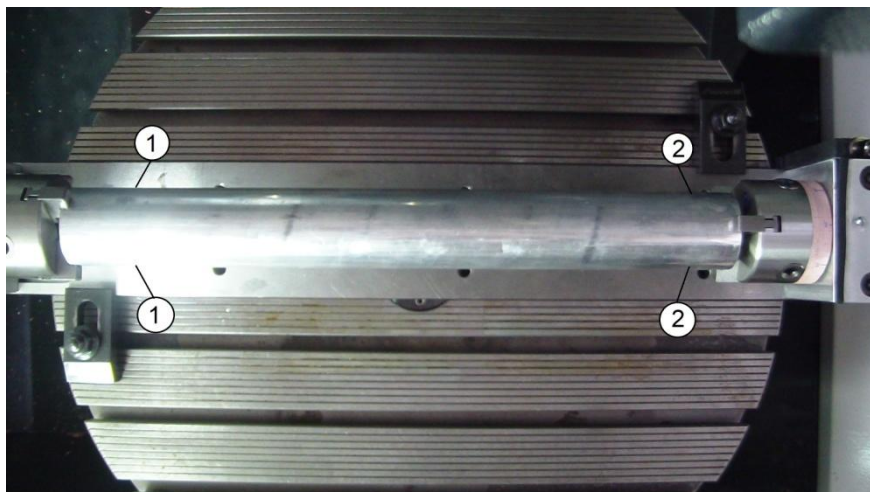
Η σειρά που τηρήθηκε για να δεθεί σωστά ο τροχός στον κώνο ήταν η εξής:

1. Το κόλλετ μπήκε στον κώνο και δεν σφίχτηκε το περικόχλιο συγκράτησης του κόλλετ.
2. Ο τροχός δέθηκε στο στέλεχός του και το δεύτερο εισήχθη στον κώνο.
3. Σφίχτηκε το περικόχλιο συγκράτησης του κόλλετ, ύστερα το περικόχλιο του στελέχους και τέλος ο σφιγκτήρας του περικοχλίου του στελέχους.

Στη συνέχεια και με τη βοήθεια του μετρητικού οργάνου DMG MICROSET Uno 115 eco, μετρήθηκαν οι διαστάσεις του τροχού και του μετρητικού ρολογιού (ύψος Z και πλάτος X για τον τροχό, ύψος Z για το ρολόι). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με επιλεγμένες τις παραμέτρους «Machine: none» και «Adaptor: 2 SK40».

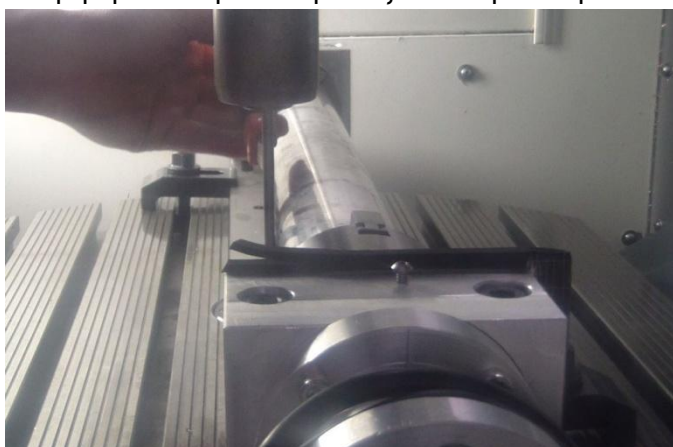
Ακολούθως εγκαταστάθηκε το τραπέζι της ιδιοσυσκευής εντός του χώρου κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Ο έλεγχος παραλληλότητας της ιδιοσυσκευής και του άξονα X του κέντρου κατεργασίας περιγράφεται παρακάτω:

1. Τοποθετήθηκαν οι εξωτερικές σιαγόνες των τσοκ της ιδιοσυσκευής
2. Τοποθετήθηκε στην άτρακτο της εργαλειομηχανής ένα κονδύλι τύπου Ball end μεγάλου λαιμού (Σημείωση: όταν είναι εγκατεστημένη η ιδιοσυσκευή στο χώρο κατεργασίας δεν πρέπει να πραγματοποιούνται αυτόματες αλλαγές εργαλείων για την αποφυγή πρόσκρουσης. Όλες οι αλλαγές πρέπει να γίνονται χειροκίνητα).
3. Τοποθετήθηκε στην ιδιοσυσκευή ένας ομοιόμορφος κύλινδρος γνωστής και σταθερής διαμέτρου (Σχήμα 4.24).



Σχήμα 4.24: Εγκατάσταση τραπεζιού ιδιοσυσκευής

4. Μετακινώντας χειροκίνητα την άτρακτο της εργαλειομηχανής, το κονδύλι πλησίασε το σημείο 1 του κυλίνδρου (σχήμα 4.24). Στη συνέχεια και με τη βοήθεια ενός filler του 1 mm (σχήμα 4.25), μειώθηκε το διάκενο μεταξύ κονδυλίου και κυλίνδρου στο 1 mm. Τέλος καταγράφηκε η θέση του εργαλείου όπως αυτή εμφανίζεται στην οθόνη.
5. Μετακινώντας χειροκίνητα την άτρακτο της εργαλειομηχανής, το κονδύλι πλησίασε το σημείο 2 του κυλίνδρου (σχήμα 4.24). Ακολούθησε η ίδια διαδικασία καταγραφής της θέσης του εργαλείου.
6. Αν η θέση του εργαλείου στο σημείο 1 ήταν διαφορετική από αυτή του σημείου 2, το τραπέζι μετακινείται και οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν. Όταν οι θέσεις στα δύο σημεία βρέθηκαν ίδιες, ο άξονας περιστροφής της ιδιοσυσκευής ήταν παράλληλος με τον άξονα X της εργαλειομηχανής.
7. Σφίχτηκαν οι κοχλίες που συγκρατούσαν το τραπέζι της ιδιοσυσκευής, με προσοχή ώστε να μην μετακινηθεί το τραπέζι από την θέση του.



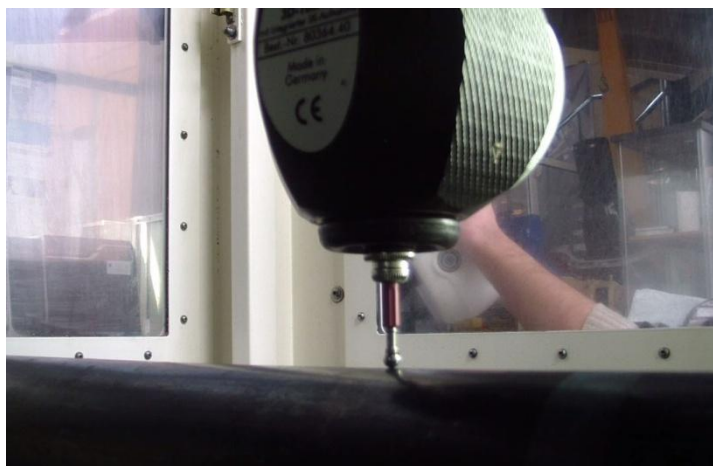
Σχήμα 4.25: Μέτρηση διάκενου με χρήση filler.

Ο ομοιόμορφος κύλινδρος έδωσε τη θέση του στον προς χάραξη αυλό πάνω στο τραπέζι της ιδιοσυσκευής. Οι εξωτερικές σιαγώνες του τσοκ αντικατέστησαν τις εσωτερικές. Το κονδύλι τύπου Ball end αφαιρέθηκε από την άτρακτο χειροκίνητα και τοποθετήθηκε το μετρητικό ρολόι με την ακίδα των 8 mm. Παράλληλα στην καρτέλα «Tool list» και ειδικά για το εργαλείο που ήταν φορτωμένο στην άτρακτο, άλλαξαν οι παράμετροι όνομα, τύπος εργαλείου, μήκος εργαλείου, ακτίνα εργαλείου.

Η διάμετρος του προς κατεργασία αυλού, μετρήθηκε με το παχύμετρο σε πολλαπλά σημεία. Συνολικά συλλέχθηκαν 23 μετρήσεις για τον μεγάλο αυλό και 15 για τον μικρό από ομοιόμορφα κατανεμημένες θέσεις. Από τις παραπάνω μετρήσεις εκτιμήθηκε η μέση διάμετρος του αυλού.

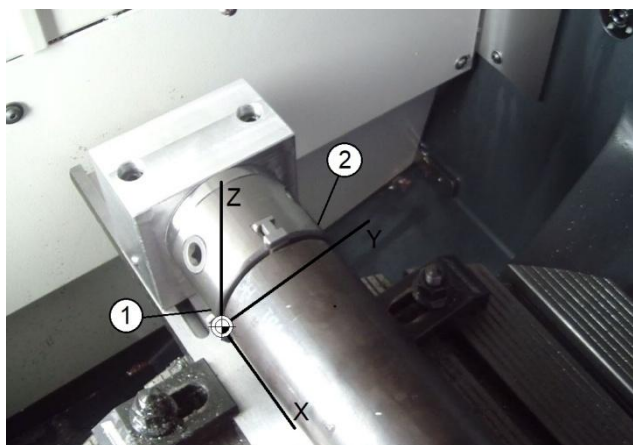
Σειρά είχε ο μηδενισμός του αυλού. Αρχικά το μετρητικό ρολόι ακούμπησε στο πάνω ανώτερο σημείο του κυλίνδρου (σχήμα 4.26) και εκεί ορίστηκε σημείο μηδέν για τους άξονες Y και Z. Στη συνέχεια, από την καρτέλα «Set WO» μετακινήθηκε το σημείο μηδέν του άξονα Z προς τα αρνητικά κατά μία μέση ακτίνα αυλού και με τον ίδιο τρόπο, μετακινήθηκε το σημείο μηδέν του άξονα Y επίσης προς τα αρνητικά κατά μία μέση ακτίνα αυλού.





Σχήμα 4.26: Σημείο αρχικού μηδενισμού του κυλίνδρου

Τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός ήταν ο έλεγχος της παραλληλότητας του τσοκ με την ιδιοσυσκευή, πριν τη διενέργεια της πρώτης χάραξης. Το μετρητικό ρολόι μετακινήθηκε στη θέση Z0 και αφού ακούμπησε στη θέση 1 και στη θέση 2 του σχήματος 4.27 καταγράφηκαν οι δύο μετρήσεις. Υπολογίζοντας το μέσο όρο των δυο μετρήσεων εκτιμήθηκε αν έπρεπε να μετατοπιστεί το σημείο μηδέν του τεμαχίου στον άξονα Y και προς ποια κατεύθυνση. Συνολικά η προετοιμασία διήρκεσε 3 ώρες.



Σχήμα 4.27: Σημεία ελέγχου παραλληλότητας τσοκ – ιδιοσυσκευής (1 και 2)

Πριν τη χάραξη και με τοποθετημένο τον αυλό στα τσοκ της ιδιοσυσκευής παρατηρήθηκε η εξής δυσλειτουργία. Η ιδιοσυσκευή ξεκίνησε να περιστρέφει τον αυλό και μετά από 200° περιστροφής ξαφνικά σταμάτησε. Σημειώνεται πως όταν ασκήθηκε μικρή βοηθητική ροπή στον κινητήρα (βοηθώντας τον κινητήρα να περιστραφεί γυρνώντας ελαφρώς τον αυλό με το χέρι) η ιδιοσυσκευή περιέστρεψε τον αυλό κανονικά.

Οι προς χάραξη αυλοί που διατέθηκαν στο εργαστήριο είχαν ατέλειες και η γεωμετρία τους δεν ήταν απολύτως κυλινδρική. Οι αυλοί είχαν καμφθεί και έφεραν χτυπήματα. Τα παραπάνω οδήγησαν σε αντίσταση και τελικώς σε ακινητοποίηση του κινητήρα, λόγω της μικρής ισχύος του. Σε τέτοιες περιπτώσεις η συγκράτηση του αυλού στα τσοκ της ιδιοσυσκευής πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε ο αυλός να περιστρέφεται ελεύθερα χωρίς να επιβαρύνει τη λειτουργία του κινητήρα.

#### 4.7.2 Εκτέλεση χάραξης

Υπολογίστηκε το μήκος τόξου μεταξύ διαδοχικών χαράξεων στον αυλό:

Το μέσο της χάραξης από το μέσο της επόμενης της απέχει 2,8 mm (το μήκος της ενδιάμεσης επιφάνειας είναι 1,4 mm και το μισό πλάτος της χάραξης  $\frac{1,4}{2}$  mm, επί δύο χαράξεις). Συνεπώς η ιδιοσυσσκευή πρέπει να περιστρέφεται κατά τόσες μοίρες, ώστε να περιστρέφει τον αυλό κατά μήκος τόξου 2,8 mm.

Υπολογίστηκε το βήμα περιστροφής της ιδιοσυσσκευής σε μοίρες:

Από την εξίσωση 4.1:

$$\mu^{\circ} = \frac{360^{\circ} \times per}{2 \times \pi \times r} \quad (4.1)$$

Υπολογίζεται το βήμα περιστροφής ( $\mu^{\circ}$ ) σε μοίρες, όπου:

- $per$ = μήκος τόξου διαδοχικών χαράξεων = 2,8 mm
- $r$ = μέση ακτίνα αυλού

Για το μεγάλο αυλό η εξίσωση (4.1) δίνει:

$$\mu^{\circ} = \frac{360^{\circ} \times 2,8}{2 \times \pi \times 38,012} = 4,22^{\circ} \text{ μοίρες περιστροφής}$$

Για το μικρό αυλό η εξίσωση (4.1) δίνει:

$$\mu^{\circ} = \frac{360^{\circ} \times 2,8}{2 \times \pi \times 31,709} = 5,05^{\circ} \text{ μοίρες περιστροφής}$$

Για την επίτευξη της χάραξης δημιουργήθηκε κώδικας μίας εντολής για την ιδιοσυσσκευή:

N	Εντολές (για μεγάλο αυλό)	Εντολές (για μικρό αυλό)
1	(Incremental) X4,22 Y0 Tab0 F1500	(Incremental) X5,05 Y0 Tab0 F1500
2	End	End

Πίνακας 4.14: Κώδικας ιδιοσυσσκευής περιστροφής αυλών για χάραξη οριζόντιων αυλακώσεων

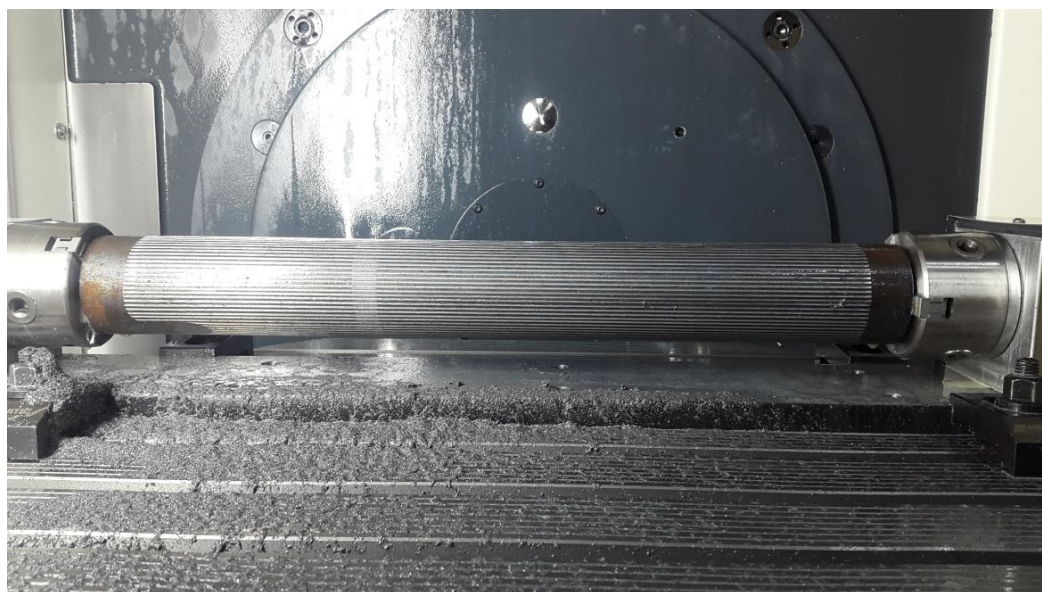
Ο κώδικας της ιδιοσυσσκευής εκτελέστηκε συνολικά 84 φορές για το μεγάλο αυλό και 71 για το μικρό. Στον πίνακα 4.15 παρουσιάζεται ο G κώδικας της εργαλειομηχανής:

N	Εντολές (για μεγάλο αυλό)	Εντολές (για μικρό αυλό)
1	G90 G54 G71 G17	G90 G54 G71 G17
2	T="SAW" M06	T="SAW" M06
3	G00 Z250	G00 Z250
4	Y-150	Y-150
5	X440; ENTRY POSITION	X440; ENTRY POSITION
6	Z0	Z0
7	Y-85	Y-70
8	F100 S1300	F100 S1050
9	M04; CCW ROTATION OF SPINDLE	M04; CCW ROTATION OF SPINDLE
10	G01 Y-71,2	G01 Y-65
11	X435 Y-69,042; PLUNGE	X435 Y-62,75; PLUNGE
12	F300	F300
13	X-1; EXIT POSITION	X0; EXIT POSITION
14	Y-75	Y-70
15	G00 Y-150	G00 Y-150
16	Z250	Z250

17	M30; ROTATE THE PIPE THEN RUN AGAIN	M30; ROTATE THE PIPE THEN RUN AGAIN
----	-------------------------------------	-------------------------------------

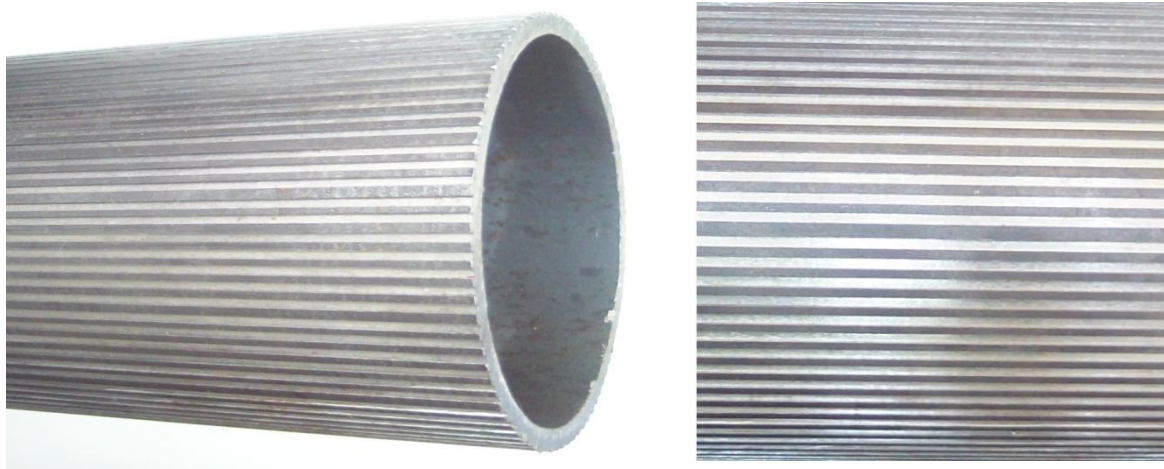
Πίνακας 4.15: Κώδικας εργαλειομηχανής εκτέλεσης χάραξης οριζόντιων αυλακώσεων.

Ο κώδικας της εργαλειομηχανής εκτελέστηκε συνολικά 85 φορές για το μεγάλο αυλό και 72 για τον μικρό. Λόγω ταλαντώσεων κατά τη διάρκεια της χάραξης και στη συνέχεια λόγω φθοράς του κοπτικού εργαλείου χρειάστηκε να μεταβληθούν οι συνθήκες χάραξης. Έτσι για το μικρό αυλό η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου μεταβλήθηκε από 1050 σε 840 rpm και η ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου από 300 σε 240 mm/min. Αντιστοίχως, για το μεγάλο αυλό η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου διακυμάνθηκε από 1300 σε 1170 rpm και η ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου από 300 σε 240 mm/min.



Σχήμα 4.28: Ο κατεργασμένος αυλός μετά το πέρας των οριζόντιων χαράξεων

Όπως φαίνεται στο [σχήμα 4.28](#), οι αυλοί δεν κατεργάστηκαν σε όλο το μήκος τους. Η κατεργασία του αυλού πέραν των σημείων που επιλέχθηκαν, θα οδηγούσε σε πρόσκρουση του τροχού στα τσοκ. Στο [σχήμα 4.29](#) παρουσιάζεται ο κομμένος αυλός πριν τη χάραξη των εγκάρσιων κύκλων.



Σχήμα 4.29: Οριζόντιες αυλακώσεις χάραξης Chessboard

Τέλος κατά τη χάραξη των οριζόντιων αυλακώσεων δεν πραγματοποιήθηκε ρίψη ψυκτικού υγρού, προς αποφυγή βραχυκυκλώματος του κινητήρα. Ωστόσο θεωρήθηκε θεμιτή η ρίψη ψυκτικού υγρού μετά από κάθε χάραξη, αποκλειστικά στον τροχό, σε θέση απομακρυσμένη από τον κινητήρα και για χρονική διάρκεια 10 δευτερολέπτων, λόγω σημαντικής αύξησης της θερμοκρασίας κατά την κατεργασία.

Συνολικά η κατεργασία χάραξης διήρκεσε 5 ώρες.

#### 4.8 Χάραξη εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων Chessboard

Το μέρος των εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων της χάραξης Chessboard πραγματοποιήθηκε στο κέντρο κατεργασίας CTX 310 ecoline. Το μέσο χάραξης ήταν ο κόφτης A2014N00CF01 του οίκου Kennametal στηριζόμενος στη συμβατή μανέλα A2BNSN26J1B15. Πριν τη χάραξη το μήκος των αυλών μειώθηκε στα 392 mm, καθώς η δυνατότητα διαδρομής του εργαλειοφορέα εντός του χώρου κατεργασίας περιορίζεται στα 410 mm.

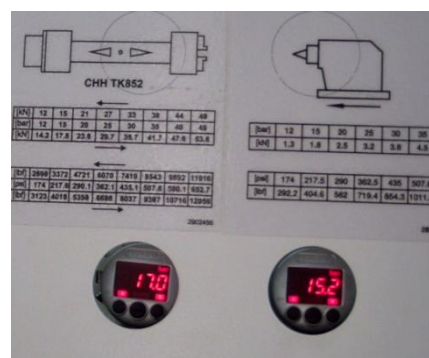
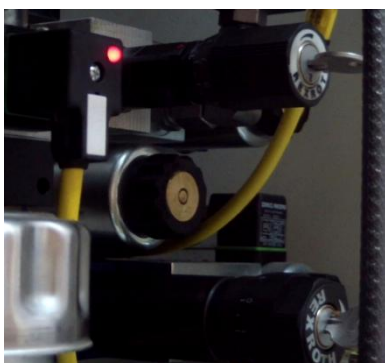
##### 4.8.1 Προεργασία



Σχήμα 4.30: Εργαλείο αυλακώσεων 1,4 mm και μανέλα Kennametal

Κύριο μέλημα αποτέλεσε η εύρεση τέτοιων πιέσεων για το τσοκ και τον κεντροφορέα, ώστε ο κατεργαζόμενος αυλός να συγκρατηθεί με ασφάλεια, αλλά χωρίς να παραμορφωθεί από τη θλιπτική δύναμη.

Η εργαλειομηχανή ρυθμίστηκε στην ελάχιστη επιτρεπόμενη από το σύστημα πίεση, εκείνη δηλαδή για την οποία το τσοκ και ο κεντροφορέας "κλειδώνουν" το συγκρατούμενο τεμάχιο. Πιο συγκεκριμένα, η πίεση του τσοκ ρυθμίστηκε στα 17 bar και του κεντροφορέα στα 15.2 bar (σχήμα 4.31). Αυτές οι πιέσεις αποδείχτηκε πως τσαλακώνουν ελάχιστα τον αυλό. Έτσι αποφασίστηκε οι πιέσεις να παραμείνουν στο ελάχιστο επιτρεπτό κατά την κατεργασία.



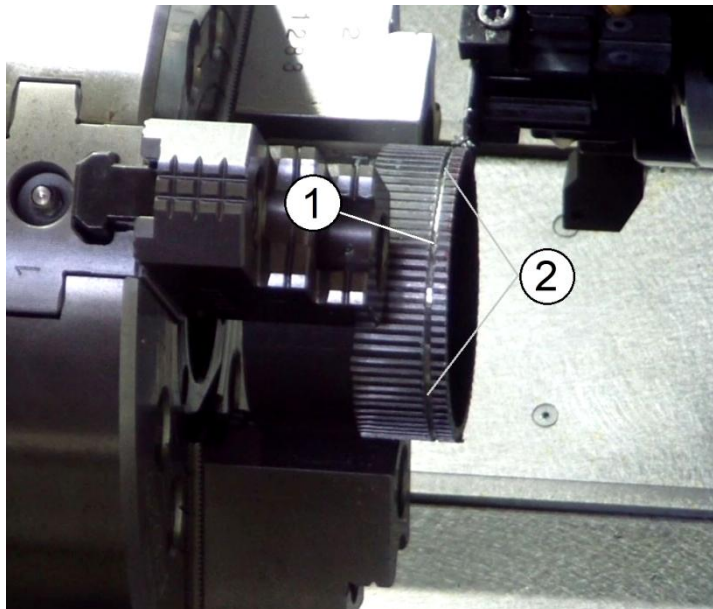
Σχήμα 4.31: Ρύθμιση πιέσεων λειτουργίας τσοκ και κεντροφορέα

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε ένα κομμάτι αυλού, το οποίο είχε κοπεί και αχρηστευτεί. Πραγματοποιήθηκε μηδενισμός τεμαχίου στον άξονα Z από την καρτέλα «Meas.Workp»



και εν συνεχεία μηδενισμός του εργαλείου αυλακώσεων στους άξονες X και Z από τη καρτέλα «Meas. Tool».

Λόγω της χαμηλής πίεσης συγκράτησης του αυλού θεωρήθηκε ασφαλέστερο η χάραξη να πραγματοποιηθεί με χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του αυλού. Έτσι, πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική χάραξη για ταχύτητα περιστροφής αυλού 100 rpm, πρόωση κοπτικού εργαλείου 0,02 mm/rev και με ρίψη ψυκτικού υγρού.

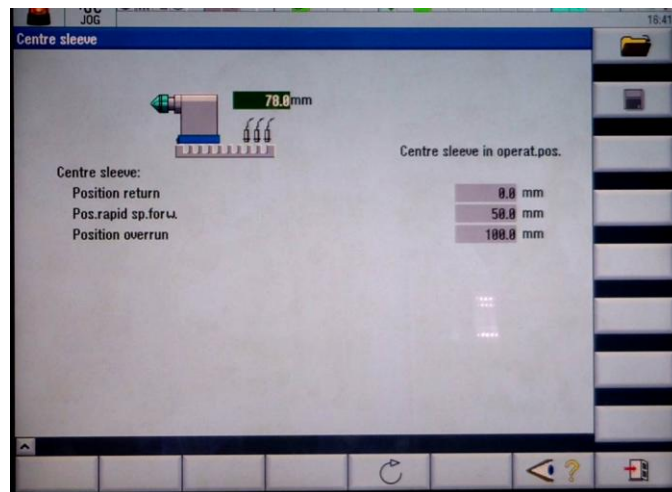


Σχήμα 4.32: Δοκιμή συνθηκών χάραξης σε κομμάτι αυλού

Οι συνθήκες χάραξης αποδείχτηκαν ικανοποιητικές, με ομοιόμορφη και "καθαρή" χάραξη. Περιμετρικά του αυλού και ειδικά στα σημεία που πίεζαν οι σιαγόνες του τσοκ (σημείο 1 του σχήματος 4.32) η αυλάκωση ήταν πιο ρηχή σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα της περιφέρειας του αυλού (σημεία 2 του σχήματος 4.32). Αυτό ήταν η απόδειξη πως η πίεση του τσοκ στα 17 bar ήταν μεγάλη, αν και αναγκαία.

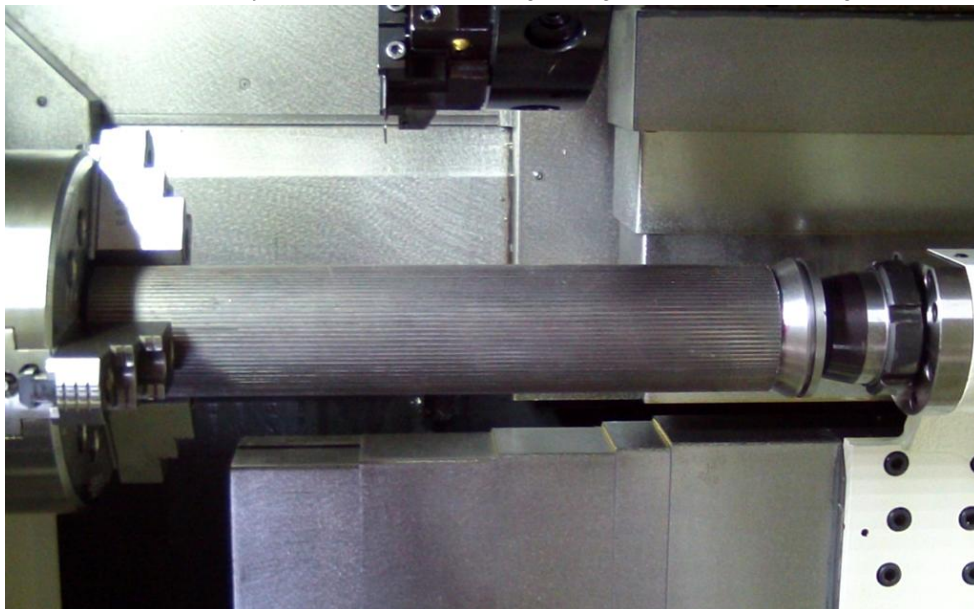
Η σειρά που τηρήθηκε για να συγκρατηθεί σωστά ο αυλός στο χώρο κατεργασίας ήταν η εξής:

1. Με ανοικτές τις εξωτερικές σιαγόνες του τσοκ και τον κεντροφορέα στη θέση μέγιστης απομάκρυνσης, ο αυλός εισήχθη στη θέση σύσφιξης του τσοκ.
2. Αφού τοποθετήθηκε ο αντάπτορας του κεντροφορέα, ο κεντροφορέας μετατοπίστηκε τόσο, ώστε να εφαρμόσει στον αυλό και να τον μετακινήσει στην τελική του θέση.
3. Με διαδοχικά και στιγμιαία πατήματα του διακόπτη σύσφιξης του τσοκ, ώστε να αποφευχθεί η έκκεντρη συγκράτηση του, οι σιαγόνες έκλεισαν ακινητοποιώντας τον αυλό. Στη συνέχεια ο διακόπτης πατήθηκε παρατεταμένα μέχρι που το τσοκ "κλείδωσε" τον αυλό στη θέση του.
4. Με διαδοχικά και στιγμιαία πατήματα του διακόπτη μετακίνησης του κεντροφορέα, ο κεντροφορέας εφάρμοσε στον αυλό. Στη συνέχεια ο διακόπτης πατήθηκε παρατεταμένα μέχρι που ο κεντροφορέας "κλείδωσε" (σχήμα 4.33).
5. Το τεμάχιο μηδενίστηκε στον άξονα Z από τη καρτέλα «Meas.Workpr».



Σχήμα 4.33: Η πράσινη ένδειξη υποδεικνύει επιτυχές "κλείδωμα" του κεντροφορέα

Στο σχήμα 4.34, παρουσιάζεται ο τοποθετημένος προς κατεργασία αυλός.



Σχήμα 4.34: Ο αυλός πριν τη χάραξη των εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων  
Συνολικά η προετοιμασία διήρκεσε 1 ώρα και 50 λεπτά.

#### 4.8.2 Εκτέλεση χάραξης

Για την επίτευξη της χάραξης δημιουργήθηκε κώδικας, με τη βοήθεια έτοιμων κύκλων G κώδικα (πίνακας 4.16). Κατά τη χάραξη των αυλακώσεων πραγματοποιήθηκε ρίψη ψυκτικού υγρού.

N	Εντολές (για μεγάλο αυλό)	Εντολές (για μικρό αυλό)
1	G90 G54 G18 G71	G90 G54 G18 G71
2	;BIG PIPE	;SMALL PIPE
3	WORKPIECE(,,,"PIPE",192,0,-390,-340,76.023,4)	WORKPIECE(,,,"PIPE",192,0,-392,-340,63.418,3.1)
4	T7 M06; GROOVE TOOL	T7 M06; GROOVE TOOL
5	G00 X188;SAFETY POSITION X	G00 X188;SAFETY POSITION X
6	Z-2.8;FIRST GROOVE POSITION	Z0;FIRST GROOVE POSITION
7	S100 M04;CW ROTATION OF PIPE	S100 M04;CW ROTATION OF PIPE
8	F0.4; FEEDRATE 5% IN CONTROLLER	F0.4; FEEDRATE 5% IN CONTROLLER

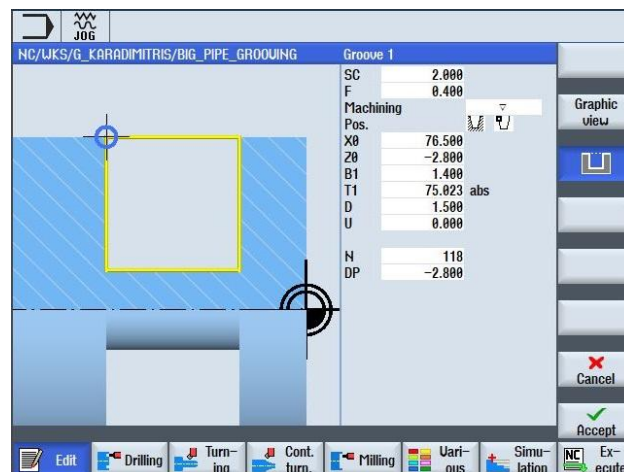


9	CYCLE930(76.5,- 2.8,1.4,1.4,75.023,,0,0,0,4,3,4,3,0,1.5, 2,110,,118,-2.8,0.4,0,0,0,2,101000)	CYCLE930(64,0,1.4,1.4,62.418,,0,0,0,4, 3,4,3,0,1,2,110,,118,- 2.8,0.4,0,0,0,2,101000)
10	G00 X188;SAFETY POSITION X	G00 X188;SAFETY POSITION X
11	M30	M30

Πίνακας 4.16: Κώδικας εκτέλεσης χάραξης εγκαρσίων κυκλικών αυλακώσεων.

Το χειριστήριο του κέντρου τόννευσης διαθέτει ροοστάτη, ο οποίος ρυθμίζει συγχρόνως τη γρήγορη και την αργή πρόωση. Στην περίπτωση που ο χειριστής ρυθμίσει το ροοστάτη στο 100% (ταχύτητα με αναλογία 1:1 με αυτή που έχει οριστεί στον G κώδικα), η ταχύτητα γρήγορης πρόωσης του εργαλείου είναι σημαντικά μεγάλη. Για να αυξηθεί ο χρόνος αντίδρασης του χειριστή, (προς αποφυγή πιθανής σύγκρουσης του εργαλείου), ο ροοστάτης ρυθμίστηκε στο 5% και στον κώδικα δόθηκε ταχύτητα πρόωσης 0.4 mm/rev. Έτσι η γρήγορη πρόωση μετριάστηκε και τελικά το εργαλείο εκκινείτο με την επιθυμητή ταχύτητα πρόωσης 0.02 mm/rev.

Κατά τη χάραξη του πρώτου αυλού και μετά από περίπου 3 ώρες συνεχούς λειτουργίας, η πίεση στο τσοκ και στον κεντροφορέα μειώθηκε, (πιθανόν λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του υδραυλικού μέσου). Εμφανίστηκε σχετικό μήνυμα στην οθόνη της εργαλειομηχανής και το πρόγραμμα διακόπηκε. Αφού η πίεση στο τσοκ και στον κεντροφορέα ρυθμίστηκε χειροκίνητα στα επιθυμητά επίπεδα, ο κώδικας τροποποιήθηκε, έτσι ώστε να εκκινήσει από την τελευταία χάραξη και όχι από την πρώτη.



Σχήμα 4.35: Παράθυρο σύνταξης εντολής CYCLE930 (Groove)

Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι ο αριθμός των υπολειπόμενων χαράξεων ήταν γνωστός, αρκούσε να αλλάξουν οι παράμετροι Z0 (θέση αρχικής χάραξης στον άξονα Z) και N (συνολικός αριθμός χαράξεων) (σχήμα 4.35).

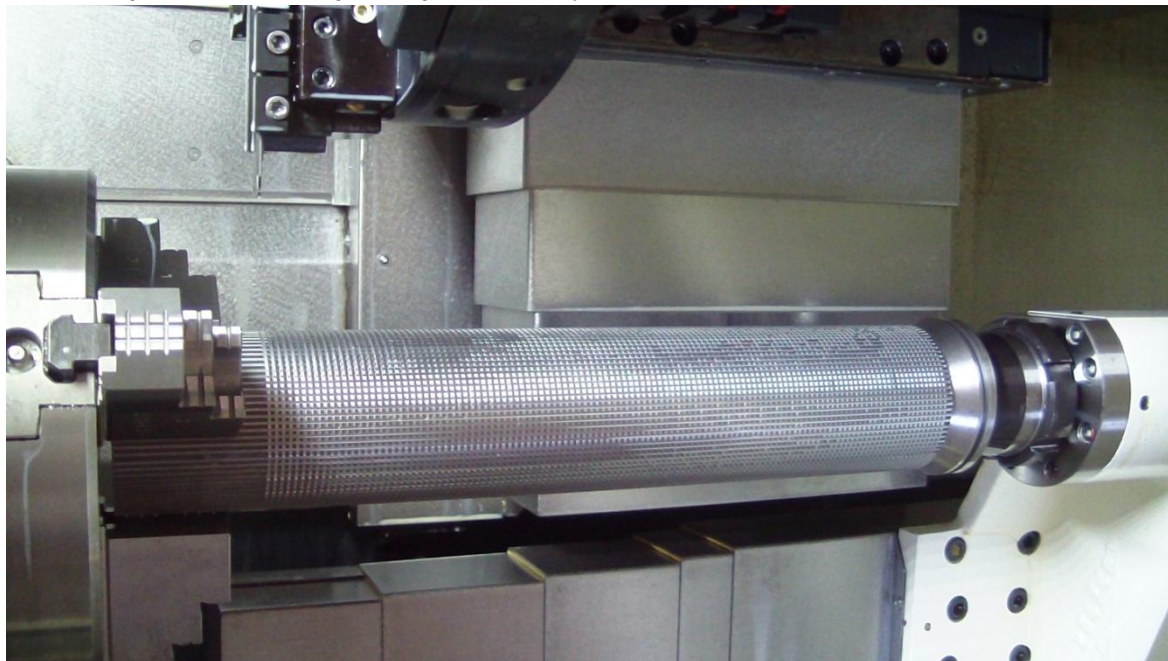
Η νέα θέση της πρώτης χάραξης (έστω Z0') και ο αριθμός των υπολειπόμενων χαράξεων (έστω N') συνδέονται με τον αριθμό ολοκληρωμένων χαράξεων (έστω α) όπως παρουσιάζεται παρακάτω στις εξισώσεις (4.2) και (4.3):

$$Z0' = -(\alpha \times 2,8 + 2,8) \quad (4.2)$$

$$N' = N - \alpha \quad (4.3)$$

Έτσι, όταν η εργαλειομηχανή διέκοψε στην 61<sup>η</sup> χάραξη, ο κύκλος 930 (cycle930) τροποποιήθηκε έτσι ώστε να εκτελέσει  $N' = 118 - 61 = 57$  χαράξεις, ξεκινώντας από τη θέση  $Z0' = -(61 \times 2,8 + 2,8) = -173,6$ . Το μόνο που χρειάστηκε ήταν η παράμετρος  $N'$  να αντικαταστήσει την  $N$  και η  $Z0'$  την  $Z0$  (σχήμα 4.35).

Ο μερικώς κατεργασμένος αυλός παρουσιάζεται στο σχήμα 4.36:



Σχήμα 4.36: Μερικώς κατεργασμένος αυλός

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.36, το τμήμα του αυλού που συγκρατούνταν από τις σιαγόνες του τσοκ δεν ήταν κατεργάσιμο. Γι' αυτό χρειάστηκε ο αυλός να πιαστεί από την άλλη πλευρά, ώστε να κατεργαστεί και στο υπόλοιπο μήκος του. Ακολούθησε η ίδια διαδικασία και ο κύκλος 930 τροποποιήθηκε με σκοπό να εκτελέσει επιπλέον 20 χαράξεις για το μεγάλο αυλό και 21 για το μικρό. Ο τελικός πλέον αυλός, χαραγμένος με το σχέδιο Chessboard παρουσιάζεται στο σχήμα 4.37.



Σχήμα 4.37: Αυλοί με χάραξη Chessboard (αριστερά), μεγάλος αυλός με χάραξη Chessboard (δεξιά)

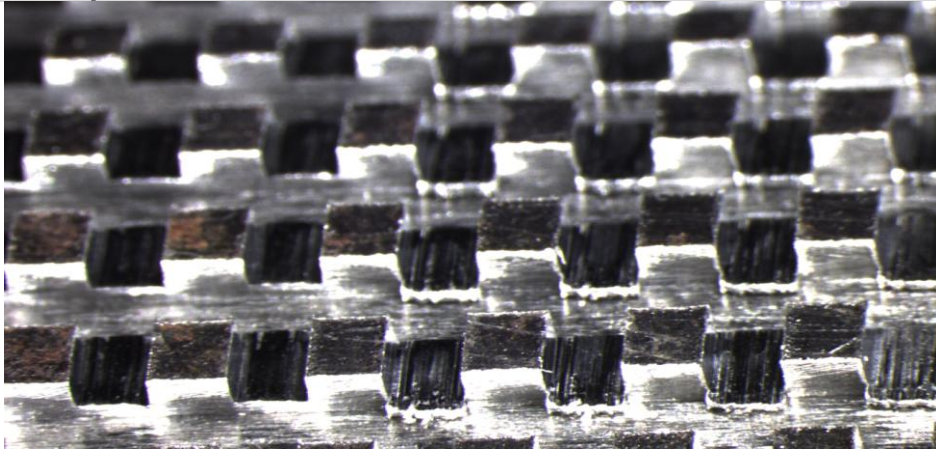
Μετά τη δεύτερη συγκράτηση του αυλού για τη χάραξη του τμήματος που κάλυπταν οι σιαγόνες, παρατηρήθηκε μεγάλη εκκεντρότητα κατά την περιστροφή του αυλού. Αυτό προκλήθηκε από την πίεση του τσοκ, η οποία ήταν αρκετή για να παραμορφώσει τον κύλινδρο και να εμποδίσει την απόλυτη εφαρμογή του στον αντάπτορα του κεντροφορέα.



Στη παράγραφο 4.9.3 παρουσιάζονται προτάσεις που ενδεχομένως να εξαλείψουν αυτό το φαινόμενο.

Συνολικά η κατεργασία χάραξης διήρκεσε 6 ώρες.

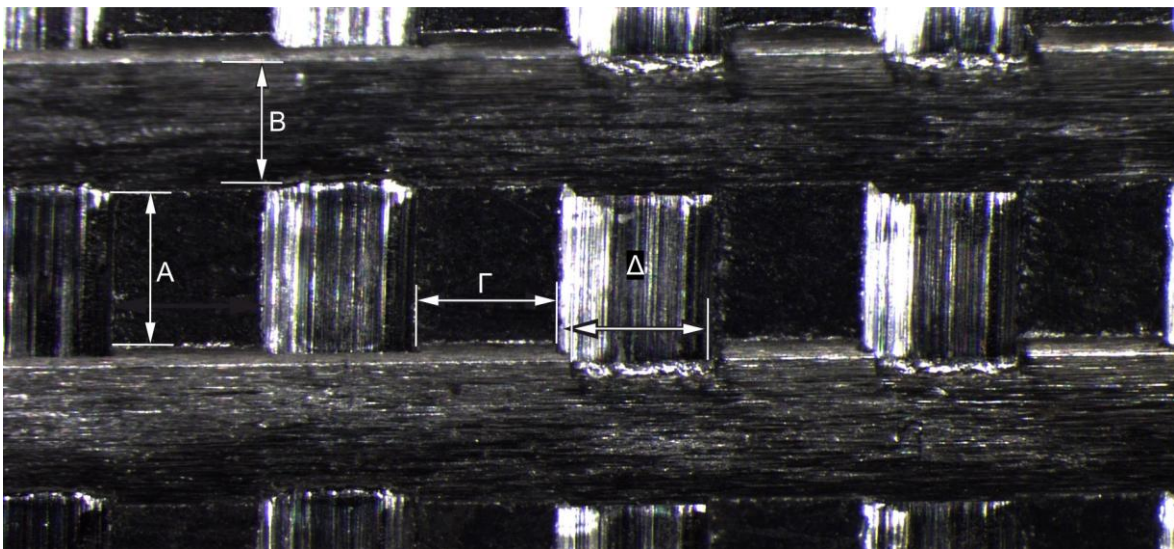
#### 4.9 Αποτελέσματα



Σχήμα 4.38: Τελικός αυλός με χάραξη Chessboard (λήψη από στερεοσκόπιο)

Παρακάτω καταγράφονται τα χαρακτηριστικά των χαραγμένων αυλών, οι φθορές που υπέστησαν τα κοπτικά εργαλεία και προτείνονται βελτιωτικές ενέργειες για την ευκολότερη και ακριβέστερη επανάληψη του πειράματος.

##### 4.9.1 Χαρακτηριστικά χαραγμένων αυλών



Σχήμα 3.39: Διαστάσεις αυλακώσεων (A: μέσο πλάτος κελιού σκακίερας, B: μέσο πλάτος οριζόντιας χάραξης, Γ: μέσο μήκος κελιού σκακίερας, Δ: μέσο πλάτος εγκάρσιας κυκλικής χάραξης)

Μεγάλος αυλός:

- Εξωτερική διάμετρος αυλού: 76,1 mm (ή 3")
- Μήκος αυλού: 392 mm
- Αριθμός εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων: 138
- Αριθμός οριζόντιων αυλακώσεων: 85
- Μέση εξωτερική διάμετρος αυλού μετρηθείσα πριν τη κατεργασία: 76,023 mm
- Μέσο βάθος οριζόντιων αυλακώσεων: 0,59 mm (ελάχιστη μέτρηση 0,42 mm και μέγιστη 0,9 mm)

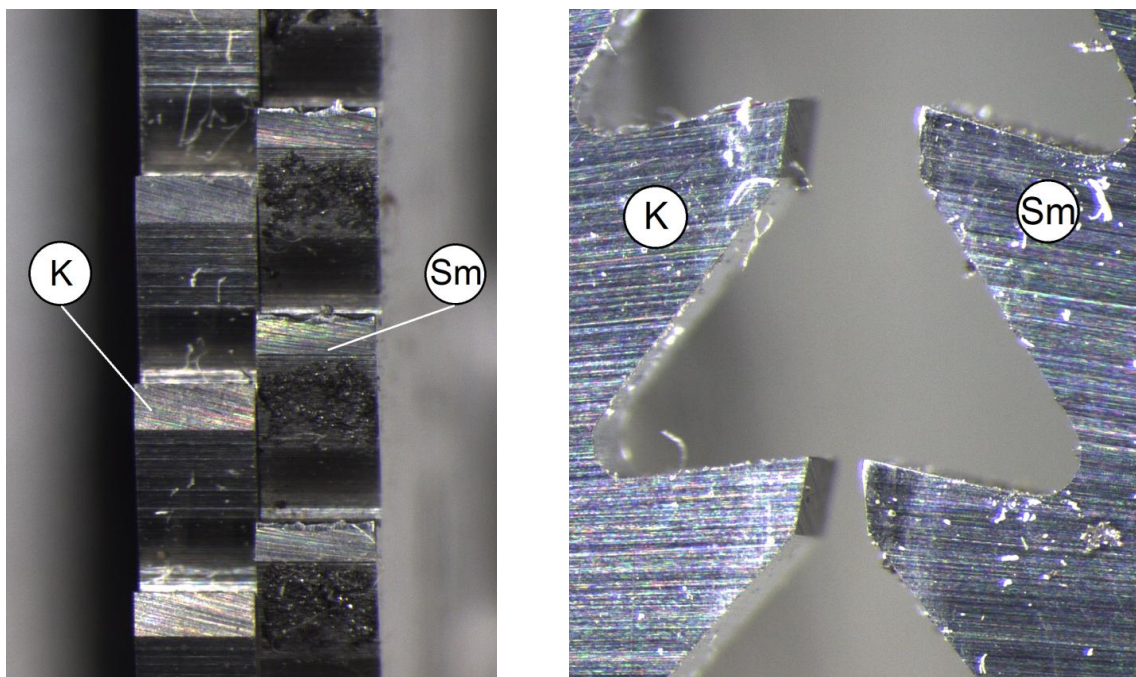
- Μέσο βάθος εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων: 0,55 mm (ελάχιστη μέτρηση 0,21 mm και μέγιστη 0,79 mm)
- Μέσο πλάτος κελιού σκακιάρας (σχήμα 3.39, Α): 1,42 mm
- Μέσο μήκος κελιού σκακιάρας (σχήμα 3.39, Γ): 1,39 mm
- Μέσο πλάτος οριζόντιας χάραξης (σχήμα 3.39, Β): 1,37 mm
- μέσο πλάτος εγκάρσιας κυκλικής χάραξης (σχήμα 3.39, Δ): 1,36 mm

Μικρός αυλός:

- Εξωτερική διάμετρος αυλού: 63,5 mm (ή 2,5")
- Μήκος αυλού: 392 mm
- Αριθμός εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων: 139
- Αριθμός οριζόντιων αυλακώσεων: 72
- Μέση εξωτερική διάμετρος αυλού μετρηθείσα πριν τη κατεργασία: 63,418 mm
- Μέσο βάθος οριζόντιων αυλακώσεων: 0,71 mm (ελάχιστη μέτρηση 0,39 mm και μέγιστη 0,9 mm)
- Μέσο βάθος εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων: 0,43 mm (ελάχιστη μέτρηση 0,07 mm, και μέγιστη 0,85 mm)
- Μέσο πλάτος κελιού σκακιάρας (σχήμα 3.39, Α): 1,28 mm
- Μέσο μήκος κελιού σκακιάρας (σχήμα 3.39, Γ): 1,42 mm
- Μέσο πλάτος οριζόντιας χάραξης (σχήμα 3.39, Β): 1,38 mm
- μέσο πλάτος εγκάρσιας κυκλικής χάραξης (σχήμα 3.39, Δ): 1,36 mm

#### 4.9.2 Φθορές κοπτικών εργαλείων

Στο σχήμα 4.40 παρουσιάζεται ο τροχός με τον οποίο χαράχτηκε ο μικρός αυλός (Sm) δίπλα σε έναν τροχό που δεν έχει χρησιμοποιηθεί (K):

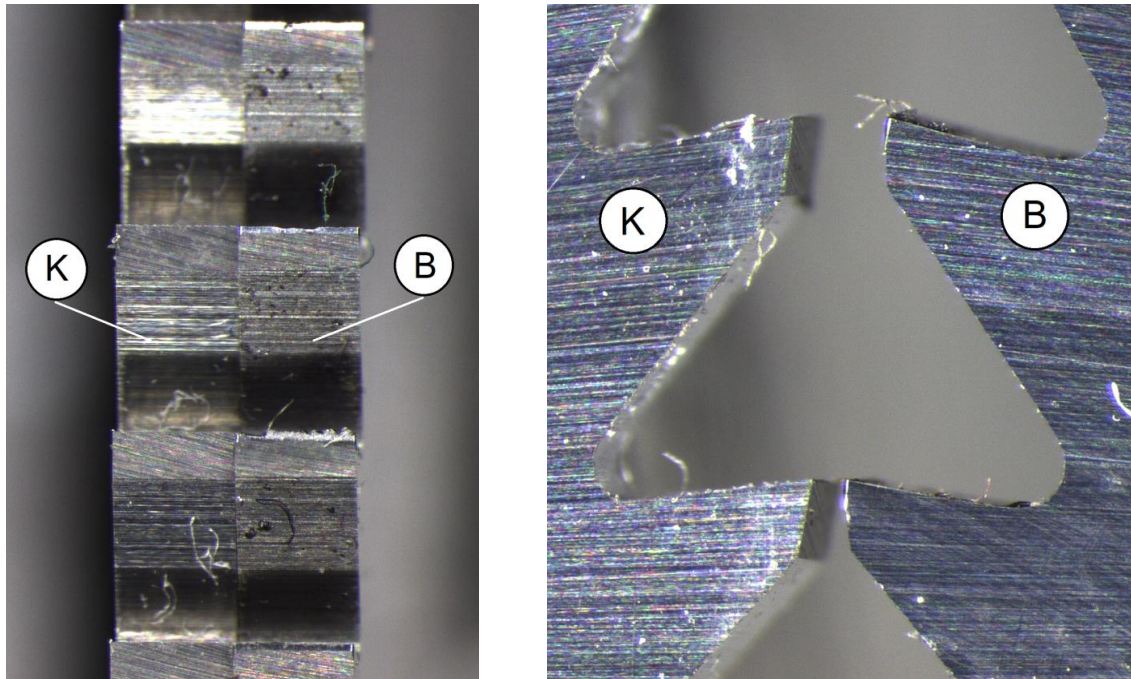


Σχήμα 4.40: Καινούργιος τροχός (K) σε σύγκριση με τροχό χάραξης μικρού αυλού (Sm) (λήψη από στερεοσκόπιο)

Όπως φαίνεται οι κοπτικές ακμές του χρησιμοποιηθέντος τροχού (Sm) έχουν πολλά σπασίματα. Ένας τροχός με σπασίματα στα δόντια έχει μικρότερη διάμετρο από την ονομαστική του και τα δόντια που συμβάλλουν ενεργά στην χάραξη είναι λιγότερα. Επίσης, στην πλάγια όψη του τροχού (Sm) παρατηρείται σκουρότερο χρώμα στην επιφάνεια κοντά στα δόντια, στοιχείο που υποδεικνύει την ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας κατά την κατεργασία.



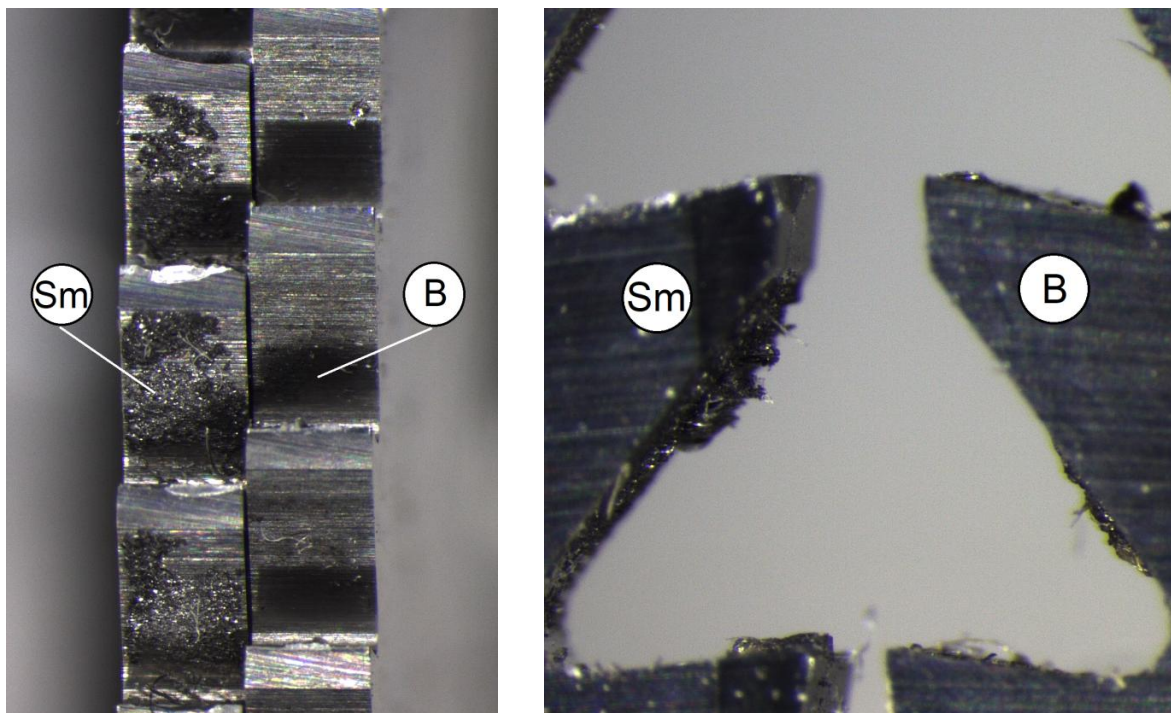
Στο σχήμα 4.41 εμφανίζεται ο τροχός με τον οποίο χαράχτηκε ο μεγάλος αυλός (B) δίπλα σε έναν τροχό που δεν έχει χρησιμοποιηθεί (K):



Σχήμα 4.41: Καινούργιος τροχός (K) σε σύγκριση με τροχό χάραξης μεγάλου αυλού (B) (λήψη από στερεοσκόπιο)

Σε αντίθεση με τον προηγούμενο τροχό, αυτός που κατεργάστηκε τον μεγάλο αυλό (B) έχει ελάχιστη φθορά η οποία περιορίζεται στην άμβλυνση της κοπτικής του ακμής (σχήμα 4.41, δεξιά). Η ομοιότητά του με τον αχρησιμοποίητο τροχό είναι μεγάλη.

Στο σχήμα 4.42 παρουσιάζεται ο τροχός με τον οποίο χαράχτηκε ο μικρός αυλός (Sm) δίπλα στον τροχό με τον οποίο χαράχτηκε ο μεγάλος αυλός (B):

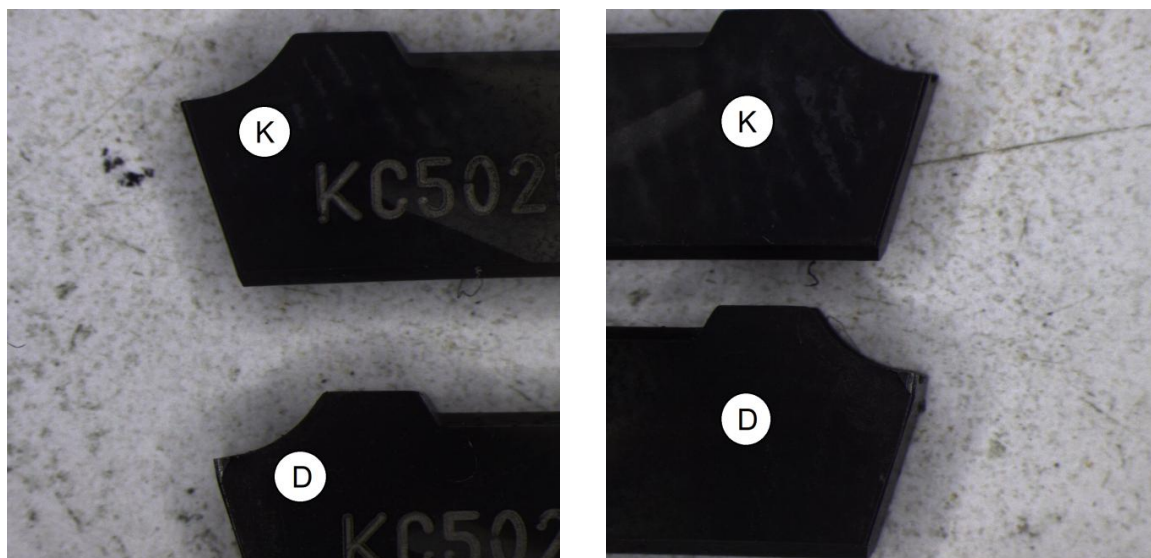


Σχήμα 4.42: τροχός χάραξης μικρού αυλού (Sm) σε σύγκριση με τροχό χάραξης μεγάλου (B) (λήψη από στερεοσκόπιο)



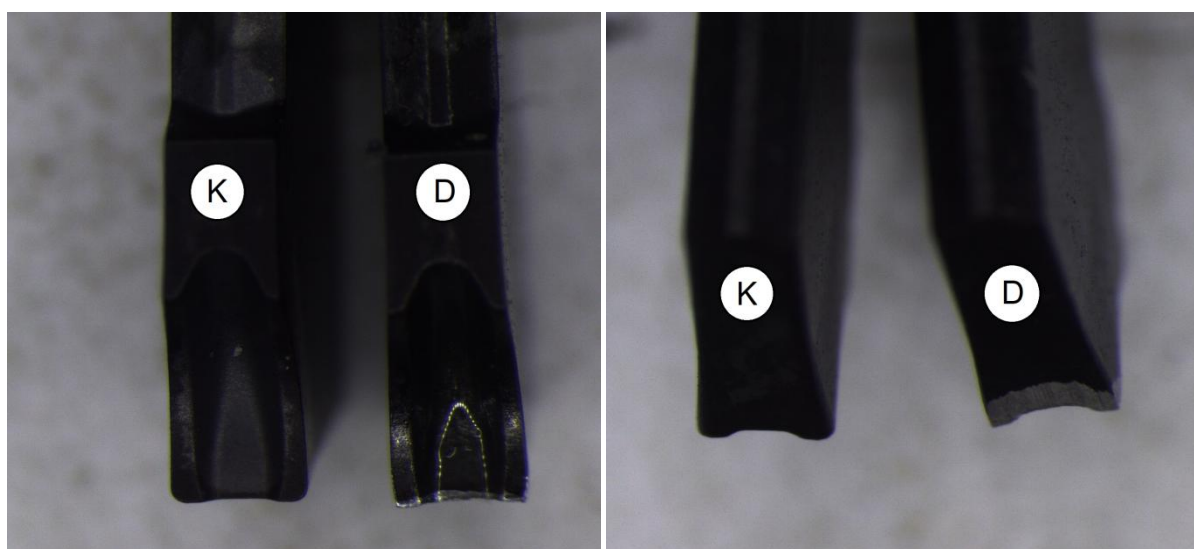
Από το σχήμα 4.42 είναι φανερό ότι, ο τροχός που κατεργάστηκε τον μεγάλο αυλό (B) βρίσκεται σε εμφανώς καλύτερη κατάσταση από αυτήν του τροχού με τον οποίο κατεργάστηκε ο μικρός (Sm), παρά το γεγονός ότι ο πρώτος (B) εκτέλεσε μεγαλύτερο αριθμό χαράξεων. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι οι συνθήκες κοπής που χρησιμοποιήθηκαν στη χάραξη του μεγάλου αυλού ήταν καλύτερες (ταχύτητα περιστροφής 1170-1300 rpm, ταχύτητα πρόωσης 240-300 mm/min).

Στα σχήματα 4.43, 4.44 και 4.45 εμφανίζονται το εργαλείο αυλακώσεων που χρησιμοποιήθηκε στις χαράξεις των εγκάρσιων κύκλων (D) καθώς και ένα αχρησιμοποίητο (K):



Σχήμα 4.43: Καινούργιο εργαλείο αυλακώσεων (K) σε σύγκριση με το χρησιμοποιηθέν (D) - δεξιά και αριστερή πλάγια όψη (λήψη από στερεοσκόπιο)

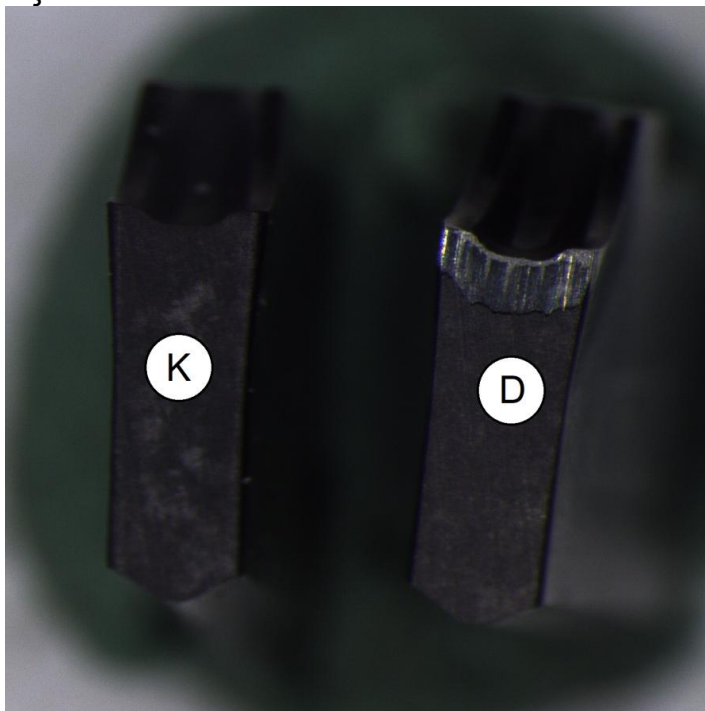
Στις πλάγιες όψεις του εργαλείου αυλακώσεων παρατηρείται άμβλυνση των κοπτικών ακμών, στοιχείο που υποδηλώνει ότι η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου άλλαξε ένεκα της κατεργασίας.



Σχήμα 4.44: Καινούργιο εργαλείο αυλακώσεων (K) σε σύγκριση με το χρησιμοποιηθέν (D) - άνοψη και κάτωψη (λήψη από στερεοσκόπιο)

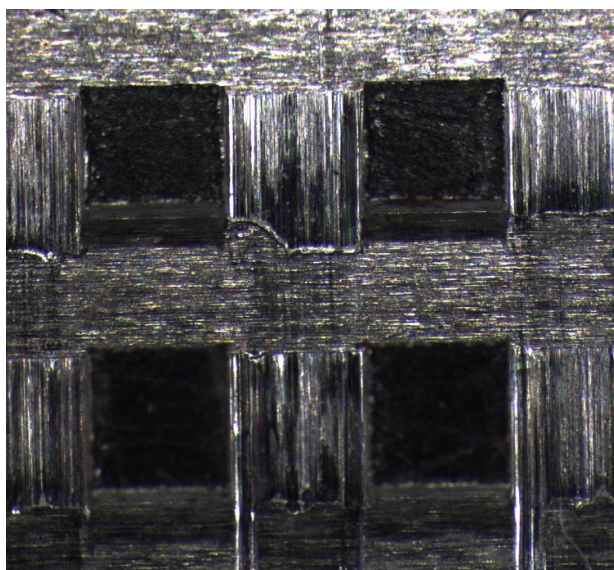
Παρατηρώντας την άνοψη (σχήμα 4.44, αριστερά) του κοπτικού εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, διαπιστώνεται έντονη γυαλάδα η οποία απουσιάζει από το μη χρησιμοποιηθέν. Αυτό οφείλεται στην απομάκρυνση μέρους της επιστρώσεως η οποία βαθμιαία οδηγεί στην ελάττωση της λειτουργικής ικανότητας του εργαλείου.

Τέλος, από την κάτωψη (σχήμα 4.44, δεξιά) και την πρόοψη (σχήμα 4.45) του εργαλείου αυλακώσεων, γίνεται φανερό ότι σε ορισμένα σημεία η άνω μαύρη στρώση έχει απομακρυνθεί πλήρως, το μέταλλο του εργαλείου έχει αποκαλυφθεί και η γεωμετρία του είναι εμφανώς παραλλαγμένη. Το κοπτικό εργαλείο δύναται πλέον να εκτελέσει λιγότερο απαιτητικές εργασίες.



Σχήμα 4.45: Καινούργιο εργαλείο αυλακώσεων (K) σε σύγκριση με το χρησιμοποιηθέν (D) - πρόοψη (λήψη από στερεοσκόπιο)

Στο σχήμα 4.46 παρουσιάζονται τα κελιά της χάραξης Chessboard, όπως αυτά καταγράφονται από τον φακό του στερεοσκοπίου.



Σχήμα 4.46: Κελιά χάραξης Chessboard στην κατεργασμένη επιφάνεια του αυλού (λήψη από στερεοσκόπιο)

Τα σημάδια στην επιφάνεια των οριζόντιων χαράξεων προκλήθηκαν από ξηρά κοπή (σχήμα 4.46, οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα). Η ομαλότερη τελική επιφάνεια κατά την χάραξη των εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων (σχήμα 4.46, κατακόρυφα ευθύγραμμα τμήματα), οφείλεται στη ρήψη ψυκτικού μέσου.

#### 4.9.3 Βελτιωτικές προτάσεις

Η χάραξη των αυλών επιτεύχθηκε, με αποτελέσματα που πλησιάζουν κατά πολύ το θεωρητικό μοντέλο. Ωστόσο, η ακρίβεια της χάραξης θα μπορούσε να βελτιωθεί και η όλη διαδικασία της υλοποίησης να απλοποιηθεί. Παρακάτω παρουσιάζονται βελτιωτικές ενέργειες που θα μπορούσαν βελτιστοποιήσουν την παραγωγή των τελικών χαραγμένων αυλών:

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.7.2, κατά τη χάραξη των οριζόντιων αυλακώσεων δεν πραγματοποιήθηκε ρίψη ψυκτικού υγρού, προς αποφυγή βραχυκυκλώματος του κινητήρα. Αυτό στερήσε στις χαράξεις την "καθαρή" τους επιφάνεια (σχήμα 4.46) και ζημίωσε σημαντικά την ακεραιότητα του τροχού (σχήμα 4.42). Επιπλέον, πριν τη χάραξη των οριζόντιων αυλακώσεων παρατηρήθηκε εμπλοκή του κινητήρα κατά την περιστροφή του, λόγω κακής συγκράτησης του αυλού και αδυναμίας του κινητήρα να τον περιστρέψει, εξαιτίας της χαμηλής ισχύος του. Ένας ισχυρότερος κινητήρας, με αδιάβροχη προστασία θ' αντιμετώπιζε αυτές τις δύο λειτουργικές αδυναμίες.

Η κακή γεωμετρία των προς κατεργασία αυλών υπήρξε άλλο ένα σημαντικό εμπόδιο. Ειδικότερα, σε όλες σχεδόν τις φάσεις της προετοιμασίας και της υλοποίησης των χαράξεων, η εκκεντρότητα των αυλών και τα πολλαπλά χτυπήματα δυσχέραιναν την εργασία του χειριστή. Προτείνεται η κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας των προς κατεργασία αυλών, (ενδεχομένως και της εσωτερικής), ώστε να επιτευχθεί σταθερή εξωτερική διάμετρος των αυλών, καλύτερη συγκράτηση αυτών στους σφιγκτήρες καθώς και ομοιόμορφο βάθος αυλακώσεων. Άλλη πρόταση είναι η δυνατότητα προμήθειας αυλών με ποιοτικότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Σε ότι αφορά ειδικά στη χάραξη των εγκάρσιων κυκλικών αυλακώσεων, προκειμένου να μειωθεί η εκκεντρότητα των αυλών (η οποία επιδεινώθηκε κατά τη δεύτερη συγκράτηση του αυλού), προτείνονται δυο λύσεις: Πρώτον η κατασκευή νέου αντάπτορα κεντροφορέα με καλύτερη συναρμογή αντάπτορα – πόντας κεντροφορέα. Δεύτερον η συγκράτηση του αυλού σε σφιγκτήρα χεριού (που δεν "κλειδώνει" υδραυλικά), με εσωτερικές σιαγόνες και η τοποθέτηση του στον υδραυλικό σφιγκτήρα του κέντρου τórνευσης. Η τελευταία λύση ελαχιστοποιεί τα τσακίσματα αλλά συγχρόνως μειώνει το συνολικό μήκος του κατεργαζόμενου αυλού.

Στο τέλος της χάραξης των οριζόντιων αυλακώσεων, παρατηρήθηκε μια υποτυπώδης ασυμμετρία μεταξύ αυτών, η οποία ήταν ορατή ακόμα και μακροσκοπικά (σχήμα 4.29). Με σκοπό την βελτίωση της ακρίβειας της χάραξης θα ήταν δόκιμη λύση η ακινητοποίηση των σφιγκτήρων της ιδιοσυσκευής με κάποιο τρόπο (πχ με μια σφήνα) ώστε να μην μεταβάλλεται η θέση τους, λόγω ταλαντώσεων κατά τη χάραξη.

Επιπλέον θα πρέπει να εξεταστεί η αξιοποίηση των διαθέσιμων θυρών εισόδου του ελεγκτή (κεφάλαιο 7, εγχειρίδιο ελεγκτή) με σκοπό τη δημιουργία συστήματος ελέγχου θέσης τσοκ και την ακριβέστερη περιστροφή της ιδιοσυσκευής. Κλείνοντας, προτείνεται η τοποθέτηση αισθητήρων θέσης στο τραπέζι της ιδιοσυσκευής, ώστε να ελέγχεται ανά πάσα στιγμή η θέση του κοπτικού εργαλείου και ενδεχομένως, εντολές τύπου «Judge» (κεφάλαιο 7, εγχειρίδιο ελεγκτή) να αντικαταστήσουν την βηματική εκτέλεση των εντολών.

## 5. ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε και κατασκευάστηκε μια ιδιοσυσκευή που εξυπηρέτησε την κατεργασία της εξωτερικής επιφάνειας αυλών φλογαυλωτού ατμολέβητα. Η κατεργασία της εξωτερικής επιφάνειας, είχε σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του αυλού που έρχεται σε επαφή με το θερμαινόμενο μέσο, επιδιώκοντας την αύξηση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας.

Μελετήθηκαν πέντε πιθανές γεωμετρίες χαράξεων, για τις τρεις από τις οποίες συντάχθηκε κώδικας προσομοίωσης. Στο πειραματικό μέρος της εργασίας, υλοποιήθηκε η μία από τις τρεις χαράξεις που προσομοιώθηκαν σε δύο αυλούς διαφορετικών διαμέτρων και στο τέλος καταγράφηκαν παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά το σχεδιασμό και τη χάραξη, φθορές των κοπτικών εργαλείων, όπως αποτυπώθηκαν από το στερεοσκόπιο και διατυπώθηκαν βελτιωτικές ενέργειες που θα μπορούσαν να αυξήσουν την ακρίβεια και την ευκολία της χάραξης.

Το σύνολο του παραγωγικού και μη χρόνου που απαιτείται για την υλοποίηση των χαράξεων σ' έναν αυλό, κυμαίνεται και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ποιότητα των αυλών, οι συνθήκες χάραξης των εργαλείων και η εμπειρία του χειριστή. Εκτιμάται ότι για τη συνολική κατεργασία ένας αυλού απαιτούνται κατ' ελάχιστον 14 ώρες.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σύγχρονες εξελίξεις στη Χρήση του ατμού για την παραγωγή κινητήριας ισχύος, ΔΕΛΤΙΟ Πανελλήνιου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Τεύχος 447, 2012
- [2] Διδασκάλου Στυλιανός, Πρέκας Ιωάννης, Ανακατασκευή λέβητα Steambloc ατμοπαραγωγής 3000kg/H<sub>2</sub>O, πτυχιακή εργασία, 2015
- [3] Ναυτικές μηχανές Β' εξαμήνου, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας (<https://slideplayer.gr/slide/11124867/>)
- [4] Γιλαντζής Κωνσταντίνος, Σχεδιασμός και υπολογισμός δοχείων πίεσης που υπόκεινται σε φλόγα σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς TRD και τα ευρωπαϊκά πρότυπα ΕΛΟΤ EN 12952 και ΕΛΟΤ EN 12953 με χρήση H/Y, Διπλωματική εργασία, 2013
- [5] Κωσταντής Δημήτρης, Προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί το νερό των ατμολεβητών, πτυχιακή εργασία, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, 2012
- [6] Σοφουλάκης Εμμανουήλ, Ναυτικοί ατμολέβητες – χρήση τους σε ναυσιπλοΐα και βιομηχανία, πτυχιακή εργασία, 2006
- [7] Ίδρυμα Ευγενίδου, Γ. Φ. Δανιήλ, Κ. Η. Μιμηκόπουλου, Ναυτικοί ατμολέβητες, 2002
- [8] Τύποι και βασικά τμήματα ατμολεβήτων, διάλεξη τμήματος μηχανολόγων μηχανικών, σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, ΤΕΙ Κρήτης ([https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TM188/ΘΕΩΡΙΑ/5.Steam%20Boilers\\_Πρόχειρες%20Σημειώσεις.pdf](https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TM188/ΘΕΩΡΙΑ/5.Steam%20Boilers_Πρόχειρες%20Σημειώσεις.pdf))
- [9] Springer, Steam generators – description and design, 2008
- [10] Ασημακόπουλος Διονύσιος, Λυγερού Βασιλική, Αραμπατζής Γεώργιος, Μεταφορά μάζας και θερμότητας, 2012
- [11] Siemens AG, Operation/Programming 10/2004 Edition, Sinumeric 840D/840Di/810D ShopMill, 2004



## **7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται το εγχειρίδιο χρήσεως του ελεγκτή της ιδιοσυσκευής, το μηχανολογικό σχέδιο του αντάπτορα κεντροφορέα και το ηλεκτρολογικό σχέδιο της διάταξης της ιδιοσυσκευής.

# TOPCNC TC55V Instruction Manual



## 1. Product Introduction

TC55E is an upgrading version of TC55. It is equipped with 3.5 inch color screen, RS 485 communication, Chinese/English Switch, and USB connection. Boot picture can be set as pictures or company name as you will. It is highly reliable, highly accurate, low noise and easy to use.

## 2. Technical Specifications

Minimum data unit 0.001 mm

Maximum data size  $\pm 99999.999\text{mm}$

Maximum Speed: 9000mm/min (pulse is 0.001mm)

Maximum pulse output frequency 150KHz

Axis 1-4 (X,Y, Z,C)

X,Y,Z,C axis can conduct linear interpolation, X,Y can do circular interpolation.

Electric Gear: numerator :1-99999 denominator: 1-99999

System main functions are automatic, manual, program editing, system parameters, self-check, settings, etc.

Maximum 480 commands each program

USB Connection and upgrade

Stop and Start of Spindle motor

PLC Extension

I/O Extension

Isolated I/O port

Self defining of I/O port

Chinese/English panel display

Free boot picture setting

## 3. Conversational Programming Code

Conversational programming method, automatically lead you to finish programming.

### 3.1 Programming Function Introduction

Programming Code	Interpretation
Incremental	Incremental Programming
Absolute	Absolute Programming
Pause	Pause unless certain condition is met, then skip to command called
Output	Define on and off of output port, ex. Stop and start of spindle motor

Repeat	Go back to command called and repeat
Clockwise	Clockwise circular interpolation (Incremental programming)
Counter-clockwise	Counter Clockwise interpolation(Incremental programming)
Delay	Define the time of delay
Judge	Judge if certain condition is met and skip to command called
Skip	Whenever this command is executed, unconditionally skip to command called .
Fast	Fast positioning
Machine Zero	Go back to machine zero
Speed	Axis move at certain speed, and will stop when certain condition met
Register	When this command is executed, the number on main interface and manual interface will be set to this number.
Count	When this command is executed, the number on main interface and manual interface will increase by 1 or decrease by 1.
Subprog Call	Subprogram Called
Subprog Start	Subprogram Started
Subprog End	Subprogram Ended
Coordinate	Set the current position as new coordinates
End	When the commands can not be read, it will be considered as “End”.
Coordinating	This command is similar with Judge, when certain condition of coordinates is met, it will skip to command called.
PLC Judge	When certain condition of PLC register value is met, it will skip to command called.
PLC Set	Set Register address and value

### 3.2 Programming Example

#### 3.2.1 Start to program


X axis motor first run 10mm, 500mm/min, then output port 1 is connected, then wait for the signal of input port 1, when the signal of input port 1 is detected, output port 1 is off.

Main Interface

Choose “Prog”

Then choose “New”

A new file is created, with interface showing “n 1 End File---- Tab:0”


Press “” to find “Incremental”

Then the interface will be

N001 Incremental File----

Tab:0 X:0.000 Y:0.000 Z:0.000 C:0.000 F:0

Move the up and down arrow, to take the cursor go to X, and input 10, then go to F, input 500

Press “” to create n2 command,

**After finishing all the programming it should be like this:**

n001 Incremental File----

Tab:0 X:10 Y:0.000 Z:0.000 C:0.000 F:500

n002 Output File----

Tab: 0 OutputPort:1 Status: 1 (this blank can only be filled 1 or 0, change by using






n003 Paus File----

Tab:0 InputPort:1 Cond:0 LineCall: 0

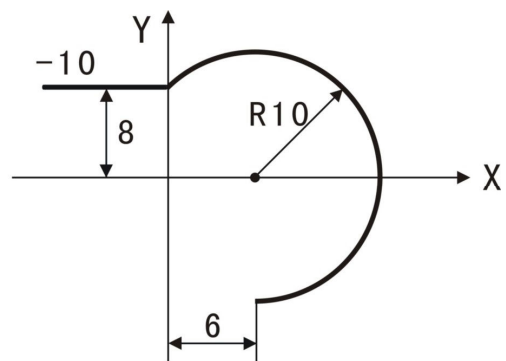
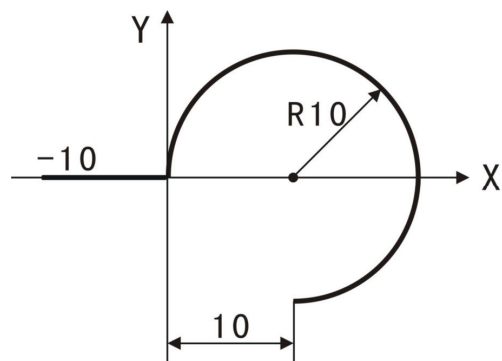
n004 Output File-----

Tab: 0 Out Pt: 1 Status: 0

n005 End File----

Press “” or “” to examine if it is right, then press “”, then press “Save”Key.

### 3.2.2Circular Interpolation



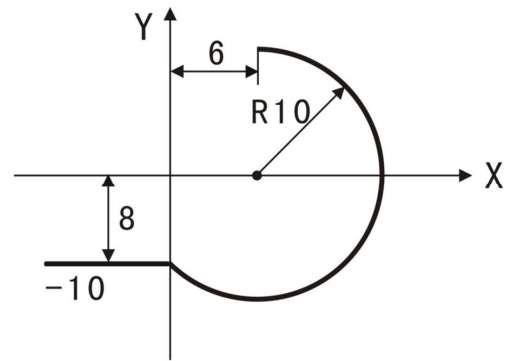
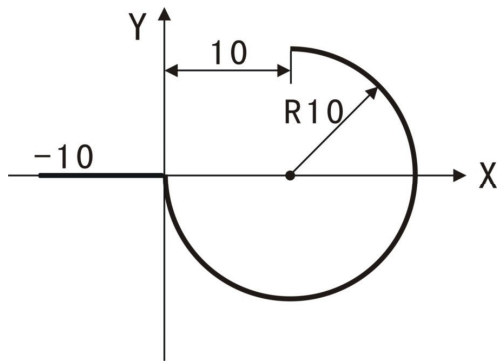
Left: n1 Incremental X 10.000 Y 0

n2 Clockwise X 10.000 Y-10.000 R-10



Right: n1 Incremental X 10.000 Y 0 n2

Clockwise X 6.000 Y-18.000 R-10



Left: n1 Incremental X 10.000 Y 0

n2 Counter-clockwise X 10.000 Y 10.000 R-10

Right: n1 Incremental X 10.000 Y 0

n2 Counter-clockwise X 6.000 Y 18.000 R-10

How to draw a full circle whose diameter is 50mm.

n1 Clockwise X100 Y0 R50

n2 Counter-clockwise X-100 Y0 R50

### 3.3 Parameter Set

**\*\*Before the setting of parameters, please log in. Par-User-User code-123456**

#### 3.3.1 Control Parameters

Language: Choose English or Chinese

External IO: the I/O port number can be extended using TC55-KA(not included in TC55 package) to 30/24.

External PLC: PLC TC4616(not included in TC55 package) can be extended.

X axis Reference Point: In manual operation, long press 1 to clear the coordinates and show this value; or in machine zero, after hit the switch, it will show this value.

X Axis Numerator (1-99999)

X Axis Denominator (1-99999)

Y axis Reference Point: In manual operation, long press 2 to clear the coordinates and show this value; or in machine zero, after hit the switch, it will show this value.

YAxis Numerator (1-99999)

YAxis Denominator (1-99999)

Z axis Reference Point: In manual operation, long press 3 to clear the coordinates and show this value; or in machine zero, after hit the switch, it will show this value.

Z Axis Numerator (1-99999)

Z Axis Denominator (1-99999)

C axis Reference Point: In manual operation, long press 6 to clear the coordinates and show this value; or in machine zero, after hit the switch, it will show this value.

C Axis Numerator (1-99999)

C Axis Denominator (1-99999)

Speed+Time(ms): time use for motor to reach F speed.

Jog+No.(um): in manual operation, increment for jogging. X

Gap(um): X axis adjusting gap(to make it more precise)

Y Gap(um): Y axis adjusting gap(to make it more precise)

Z Gap(um): Z axis adjusting gap(to make it more precise)

C Gap(um): C axis adjusting gap(to make it more precise)

X ZeroStart: Choose on or off to choose whether the system will first go back to mechanical zero after booting.

Y ZeroStart: Choose on or off to choose whether the system will first go back to mechanical zero after booting.

Z ZeroStart: Choose on or off to choose whether the system will first go back to mechanical zero after booting.

C ZeroStart: Choose on or off to choose whether the system will first go back to mechanical zero after booting.

Press enter to choose on or off

**The following function can only be used when Sell Code logged in**

- Pro Edit: choose hide will make user unable to edit program.
- ProShow: choose hide will make user unable to see programs
- TimeLock: after sell code logged in, Para Set-UserMgmt-Sys Veri to set 8digit code to lock the system

### **Setting of Electronic Gear Ratio**

Setting the electronic gear is to set different data unit for different machines. Different axis of the same machine can be set based on different unit. For example, axis A can be set as mm, axis B can be set as angle, and axis C can be set as round.

How to set the numerator and denominator of electronic gear ratio:

Pulse needed for the motor to turn one round to the same direction

Distance moved when the motor turn one round to the same direction( $\mu\text{m}$ )

Numerator and denominator both should be integer between 1 and 99999.

Ex. 1 Screw Transmission

Stepper motor stepping is 5000, or servo motor 5000 pulse/round, screw pitch is 6mm, reduction ratio is 1:1, then,

$$5000 \rightarrow 5$$

$$6 \times 1000 \times 1.0 \rightarrow 6$$

Ex. 2 Rack and Pinion

Stepper motor stepping is 6000, or servo motor 6000 pulse/round, gear teeth number is 20,  $m = p/\pi = 2$ , then

$$6000 \rightarrow 1 \rightarrow 107 \rightarrow 107$$

$$1000 \times 20 \times 2 \times 3.14159265 \rightarrow 20.943951 \rightarrow 2241.00276 \rightarrow 2241$$

Ex. 3 Rotary Angle

Stepper motor stepping is 5000, or servo motor 5000 pulse/round, reduction ratio is 1:30, then,

$$5000 \times 30 \rightarrow 5$$

$$360 \times 1000 \rightarrow 12$$

### 3.3.2 Speed Parameters

Hsped-X: The highest speed of x axis motor. When the system is operating, speed will not exceed this number no matter what F you set.

Hsped-Y: The highest speed of Y axis motor. When the system is operating, speed will not exceed this number no matter what F you set.

Hsped-Z: The highest speed of Z axis motor. When the system is operating, speed will not exceed this number no matter what F you set.

Hsped-C: The highest speed of C axis motor. When the system is operating, speed will not exceed this number no matter what F you set.

StartSpd(mm/min)Speed during Speed+Time

Man Hspd: Manual high speed

Man Lspd: Manual low speed

Jog Spd: Jog speed

BZHSpd:Go to machine zero at high speed.

BZLSpd:Go back to machine zero first at high speed, through zero switch and move back at low speed. Finally slider will stop on the switch.

BZMode:two modes to go back to machine zero, trough switch or not. Through switch: slider will stop on switch. Not trough switch: Slider will stop before the switch.

X+ Coor:X axis positive limit coordinates

X-Coor:X axis negative limit coordinates

Y+ Coor:Y axis positive limit coordinates Y-Coor:Y

axis negative limit coordinates

Z+Coor:Z axis positive limit coordinates

Z-Coor:Z axis negative limit coordinates

C+Coor:C axis positive limit coordinates C-Coor:C

axis negative limit coordinates

#### 4. Auto Run

Auto Run: press this automatically operate programs opened last time.

Dry: Press the key and it become negative display, then press Auto Run to start running without load.

Step: Positive display means consecutive operation. Negative display means operate command by command. When it is negative display, press Actl Run once, one command will be executed.

Stop: Press this to end the program and go back to the first line of the command.

#### 5. Manual


**Speed:** Negative display means manual high speed, positive display means manual low speed.

Define manual high speed and manual low speed in Parameters-Speed-Man Hspd/Lspd.

**Jog:** Negative display means jog. Press direction key to jog once. Jog amount is set in Parameters-Control-Jog+No.; Jog speed will be set in Parameters-Speed-Jog Spd

**Program Zero:** Press this key all axis go back to reference point at highest speed. Define the highest speed in Parameters-Speed.

**Note: Machine Zero**

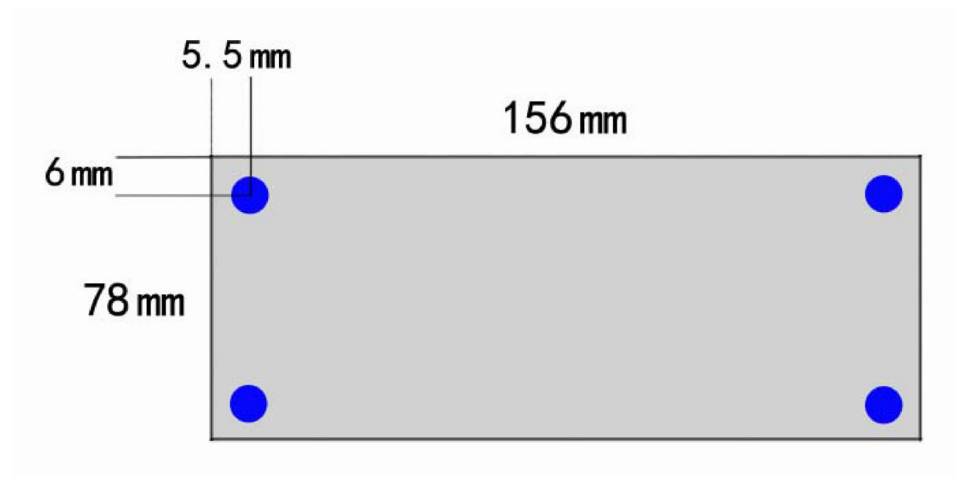
Machine zero key is in the panel , press this key, then press direction key of an axis, this axis will go back to machine zero at high speed, after touching the switch, this axis will move at

low speed(This machine zero mode is trough switch). Define high speed and low speed of go back to machine zero in Parameters-Speed. Define machine zero in I/O-System.

Press key 1 to return X axis coordinates to reference point, Press key 3 to return Y axis coordinates to reference point, Press key 3 to return Z axis coordinates to reference point, Press key 6 to return C axis coordinates to reference point. Define reference point in Parameters-Control.

Define the mode of going back to machine zero in Parameters-Speed-BZMode.

## 6. Installation Size



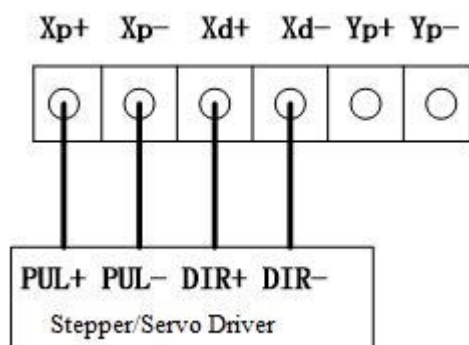
### Reference 1 Wiring Definition

X Axis	XP+	X axis pulse positive output
	XP-	X axis pulse negative output
	XD+	X axis direction positive output
	XD-	X axis direction negative output
YAxis	YP+	Y axis pulse positive output
	YP -	Y axis pulse negative output
	YD+	Y axis direction positive output
	YD-	Y axis direction negative output
Z Axis	ZP+	Z axis pulse positive output
	ZP -	Z axis pulse negative output
	ZD+	Z axis direction positive output
	ZD-	Z axis direction negative output

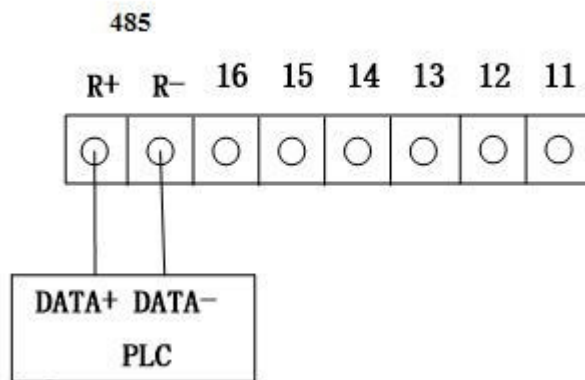


C Axis	CP+	C axis pulse positive output
	CP-	C axis pulse negative output
	CD+	C axis direction positive output
	CD-	C axis direction negative output
Output	01~08	Output 01-08, Connect to power 24V+ through Relay or solenoid valve
Input	01~16	Connect to power 24V- through machine or switch
485	R+	485 connect DATA+
	R-	485 connect DATA-
System Power	24V	System Power Supply+
	0V	System Power Supply-
IO Power	V	I/O Power Supply+
	G	I/O Power Supply-
	USB	Downloading Port
	Encoder	Used to make special machine controller (This controller do not support encoder unless customer specially said they need it)
	I/O Extension	Connect to I/O extension connection

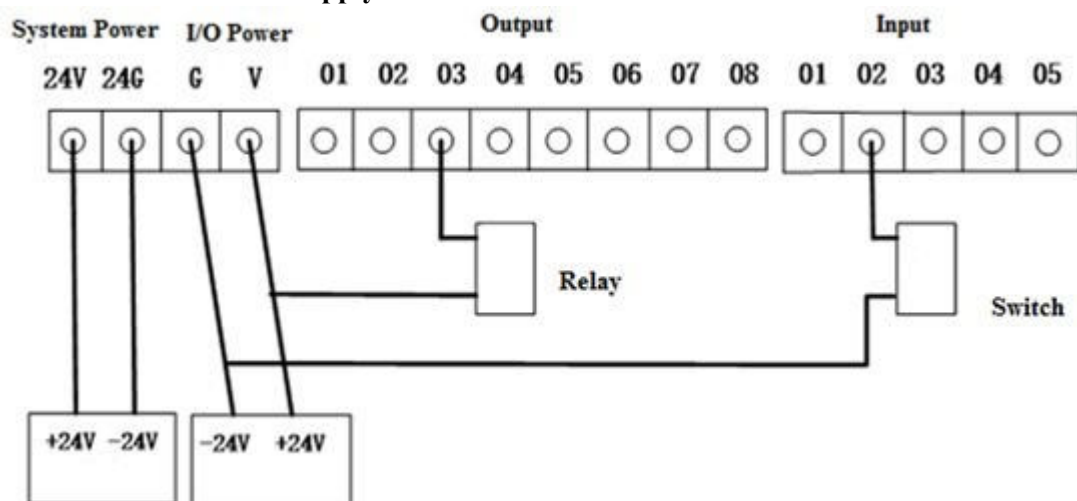
### 1. Connect with servo or stepper driver



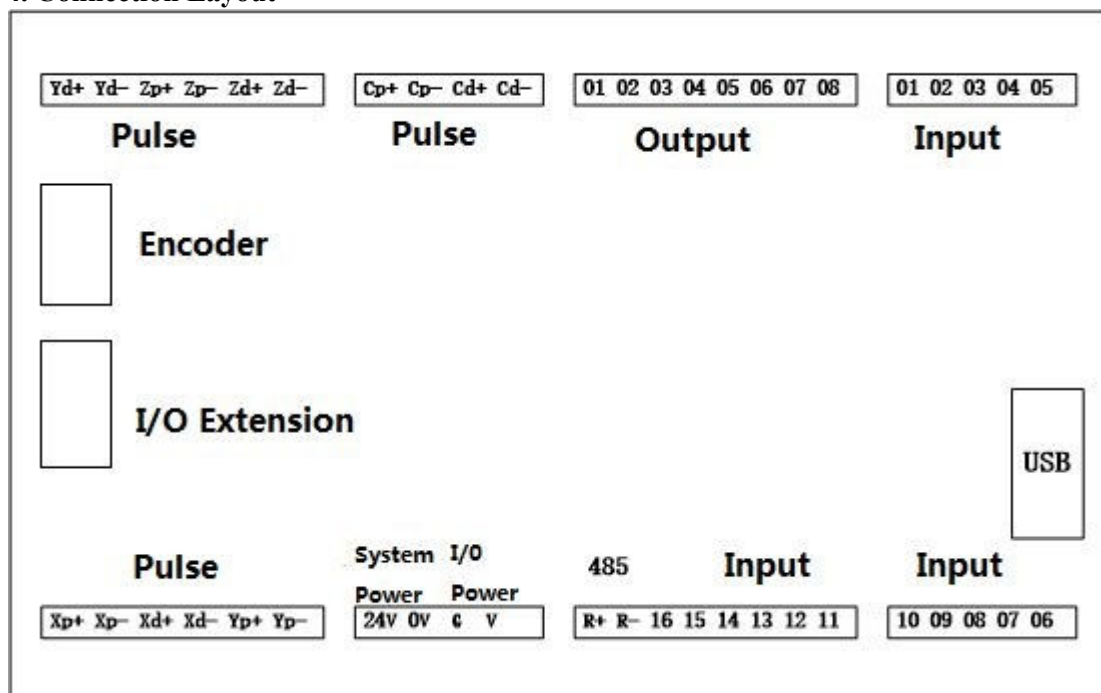
### 2. Connect with PLC



### 3. Connect with Power Supply



### 4. Connection Layout



## Reference 2 I/O Port

### 1. System Set

This function enable user to set various kind of switch easily. Define the I/O port according following form. Press I/O key on the panel to enter this interface.

Functions	Interpretation	Methods
X Axis Lim+	X axis Positive limit setting	<p>External Big switch is needed to finish external control. External switch is connected in the way of normal open. Press Shift to change <i>off</i> into <i>on</i>, and choose N.O.(Normal Open). Then choose the IO Port number.</p> <p>Note: For safety consideration, limit and emergency stop input is usually set as N.C.(Normal Close).</p>
X Axis Lim-	X axis Negative limit setting	
Y Axis Lim+	Y axis Positive limit setting	
Y Axis Lim-	Y axis Negative limit setting	
Z Axis Lim+	Z axis Positive limit setting	
Z Axis Lim-	Z axis Negative limit setting	
C Axis Lim+	C axis Positive limit setting	
C Axis Lim-	C axis Negative limit setting	
AlerInpu	Alert Input	
EmStInpu	Emergency Stop Input	
X 0	X axis zero switch setting	
Y 0	Y axis zero switch setting	
Z 0	Z axis zero switch setting	
C 0	C axis zero switch setting	
OutStart	Outside(External) Start Switch Setting	
Out EmSt	Outside(External) Emergency Stop Setting	
Spd+Inpu	Speed Increase Outside Switch	
Spd-Inpu	Speed Decrease Outside Switch	
OutPt 1-8	External input port control output port	

### 2. Jog Set

This function is normally used in manual adjusting parameters of machine to reach a optimal situation.

Functions	Interpretation	Methods
Man X+	X axis clockwise spinning outside manual switch	Choose on or off or Choose N(Negative) P(Positive)
Man X-	X axis counter clockwise spinning outside manual switch	
X HSup	X axis high speed up	

X HSdown	X axis high speed down	
X LSup	X axis low speed up	
X LSdown	X axis low speed down	
Man Y+	Y axis clockwise spinning outside manual switch	
Man Y-	Y axis counter clockwise spinning outside manual switch	
Y HSup	Y axis high speed up	
Y HSdown	Y axis high speed down	
Y LSup	Y axis low speed up	
Y LSdown	Y axis low speed down	
Man Z+	Z axis clockwise spinning outside manual switch	
Man Z-	Z axis counter clockwise spinning outside manual switch	
Z HSup	Z axis high speed up	
Z HSdown	Z axis high speed down	
Z LSup	Z axis low speed up	
Z LSdown	Z axis low speed down	
Man C+	C axis clockwise spinning outside manual switch	
Man C-	C axis counter clockwise spinning outside manual switch	

C HSup	C axis high speed up
C HSdown	C axis high speed down
C LSup	C axis low speed up
C LSdown	C axis low speed down
X ZeroSt	X axis Machine zero external manual switch
Y ZeroSt	Y axis Machine zero external manual switch
Z ZeroSt	Z axis Machine zero external manual switch
C ZeroSt	C axis Machine zero external manual switch
Auto UI	Auto operation UI
Manual UI	Manual operation UI
Prog Zero	All axis go back to Program zero

## Reference 2 Q&A

### **Is TC55V a G code based controller?**

A: No. It is a conversational programming based controller. You do not need to understand G code to use it. Instead of G00, it uses Fast Positioning. And you program by filling blank.

### **Can I change the boot picture of this controller?**

A: Yes, you can use a software provided by us to change by yourself, or you can send us 320\*240 pixel picture and we will load the picture before sending to you.

### **Can this controller receive feedback from an encoder.**

A: No. The basic product can not receive feedback from an encoder, but we can develop for customer.

### **Can this controller support Condition Input?**

A: Yes. You can use the program code Judge.

How do we have more I/O port?

A: We have extension board which will add the I/O ports to 32 and 24.



