



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Πολυτεχνική Σχολή  
πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού  
(Εισαγωγική Κατεύθυνση Βιομηχανικού Σχεδιασμού)

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

**“ SLOT MILLING ME ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΑ  
ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ &  
ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ”**

Του: **Καλούμενου Εμμανουήλ**



Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Κυράτσης

Κοζάνη 2021

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	2
Περίληψη.....	3
Κεφάλαιο 1 – Παρουσίαση κομματιών,εργαλείων και εξοπλισμού .....	4
1.1 Παρουσίαση κομματιών .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1.1 Παρουσίαση εργαλείων.....	8
1.1.1.1 Παρουσίαση εξοπλισμού .....	19
Κεφάλαιο 2 – Στήσιμο κατεργασιών .....	23
2.1 Τοποθέτηση και μηδενισμός μέγγενης.....	23
2.1.1 Στήσιμο και μηδενισμός κομματιών.....	26
2.1.1.1 Σετάρισμα και μηδένισμα εργαλείων .....	32
Κεφάλαιο 3 – Προγραμματισμός εργαλειομηχανής και τραχυμέτρηση.....	37
3.1 Σύνταξη cam μοντέλου και επιλογή συνθηκών κοπής.....	37
3.1.1 Παρουσίαση τραχυμέτρου και λειτουργία .....	39
Κεφάλαιο 4 – Τελικές επισημάνσεις.....	43
4.1 Αποτελέσματα .....	43
4.2 Διαγράμματα .....	61
4.3 Συμπεράσματα.....	69
Βιβλιογραφία.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ “Α” (Τίτλος Παραρτήματος Α).....	72

## Περίληψη

Η εργασία αυτή αποτυπώνει μια κατεργασία η οποία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής (CNC). Σε τρία τετραγωνικά κομμάτια διαφορετικού υλικού, γίνεται κατεργασία slot milling, δημιουργία δηλαδή καναλιών πάνω στην επιφάνεια του κάθε υλικού. Για την ακρίβεια στο κάθε υλικό γίνονται είκοσι επτά κανάλια, εκ των οποίων η πρώτη εννιάδα κόβεται από κονδύλια διαμέτρου 8mm, η δεύτερη εννιάδα κόβεται από κονδύλια διαμέτρου 10mm και η τρίτη εννιάδα κόβεται από κονδύλια διαμέτρου 12mm. Τα κανάλια της κάθε εννιάδας, παρουσιάζουν το καθένα διαφορετικές συνθήκες κοπής, διαφορετικές δηλαδή ταχύτητες και προώσεις. Οι συνθήκες αυτές είναι διαφορετικές σε κάθε υλικό. Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι εννέα, τρία για το κάθε κομμάτι, διαμέτρων όπως είπαμε 8mm, 10mm και 12mm αντίστοιχα. Η ροή των εργασιών για να πραγματοποιηθεί η κατεργασία ξεκινά με το στήσιμο και τον μηδενισμό των κομματιών και εργαλείων στην εργαλειομηχανή και έπειτα ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με την χρήση περιβάλλοντος CAM. Στο τέλος των κατεργασιών, όταν οι κοπές στα κομμάτια είναι έτοιμες, με την βοήθεια ταχυμέτρου παίρνουμε μετρήσεις από τα κανάλια όλων των κομματιών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι μέσω αυτών των μετρήσεων να καταλάβουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η τραχύτητα των επιφανειών που μετρήσαμε και να συγκρίνουμε μέσω των παραμέτρων που έχουμε (ταχύτητα, πρόωση, μέγεθος κοπτικού, υλικό) τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

## Summary

This thesis is all about a machining which took place by using a digitally guided machine tool, well known as CNC (Computer Numerical Control). We took 3 square pieces, composed by different material and we did slot milling, which means that we did slots at the surface of each piece. Actually, in each piece we make 27 slots, of which the first nine are being cutted by cutting tools, which have diameter 8mm, the second nine are being cutted by cutting tools, which have diameter 10mm and the third nine are being cutted by cutting tools, which have diameter 12mm. The nine slots of each piece demonstrate different cutting conditions, which means different speeds (rpm) and different feed rates. These cutting conditions are different in each part. The cutting tools that we used are 9 in total, 3 for each part, with diameters of 8mm, 10mm and 12mm respectively. The flow of works, to achieve this experiment, begins with the right set and zeroing of the pieces and the cutting tools at the CNC. Then we have to make a program that the CNC can read via portable computer or laptop. This program is being developed by using CAM (Computer Aided Manufacturing) environment. At the end of the works, and when the pieces are ready, we take measurements of roughness at the slot surfaces of all parts that we did by using a special appliance called "roughness meter". The purpose of this thesis is to understand the factors that affect the roughness, through the measurements that we took from the surfaces of the slots we made and to compare the results, taking into consideration all the parameters that we used as data (speeds, feed rates, size of cutting tools and material).

## Κεφάλαιο 1 – Παρουσίαση κομματιών, εργαλείων και εξοπλισμού

### 1.1 Παρουσίαση κομματιών

Τα κομμάτια τα οποία κατεργάστηκαν είναι τρία και είναι διαφορετικού υλικού. Το πρώτο κομμάτι είναι αλουμίνιο 7075, το δεύτερο είναι ένας εργαλειοχάλυβας ck60 και το τρίτο είναι ανοξείδωτος χάλυβας, του οποίου το κράμα συγκεκριμένα είναι το εξής: GX4CrNi13-4. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές ιδιότητες και χρήσεις των τριών αυτών υλικών.

Ξεκινώντας από το αλουμίνιο 7075, γενικά έχουμε να πούμε ότι κράματα αλουμινίου όπως το 7075 είναι ανθεκτικά και ταυτόχρονα ελαφριά, ευρέως χρησιμοποιούμενα στην βιομηχανική αγορά. Όπως είναι ήδη γνωστό τα κράματα είναι μίξεις μετάλλων, τα οποία όταν αναμιγνύονται προσφέρουν στο τελικό κράμα ιδιότητες που δεν παρουσίαζαν μόνα τους. Στην σημερινή εποχή που υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις από τα υλικά που κατεργαζόμαστε, καταλαβαίνετε πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη των κραμάτων για την βιομηχανία και για εμάς τους μηχανικούς. Το αλουμίνιο 7075 αποτελείται από 90.0% αλουμίνιο, 5.6% ψευδάργυρο, 2.5% μαγνήσιο, 1.6% χρώμιο και 0.23% χαλκό. Η πυκνότητα του είναι  $2.81 \text{ g/cm}^3$  ( $0.102 \text{ lb/in}^3$ ), η οποία είναι σχετικά χαμηλή για ένα μέταλλο. Το αλουμίνιο 7075 είναι από τα δυνατότερα διαθέσιμα κράματα αλουμινίου, το οποίο βγάζει μεγάλη αξία όταν ασχολούμαστε με καταπονήσεις υψηλής κλίμακας. Η περιεκτικότητά του σε χαλκό αυξάνει την ευαισθησία του στην διάβρωση, αλλά είναι ένα μέτρο αναγκαίο για να επιτευχθεί ένα τόσο ανθεκτικό και ταυτόχρονα λειτουργικό υλικό. Μπορούμε μέσω θερμικής επεξεργασίας (σκλήρυνσης), να δώσουμε ακόμα μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο αλουμίνιο 7075. Αυτό επιτυγχάνεται με την αναδιάταξη της κρυσταλλικής δομής του μετάλλου σε θερμοκρασίες 300-500°C. Βέβαια αυτή η διαδικασία έχει μεγάλο ρισκό γιατί δεν υπάρχει μέση όδος, το υλικό ή πετυχαίνει την μέγιστη ανθεκτικότητα ή σπάει. Υπάρχουν πολλές τεχνικές σκλήρυνσεις στο αλουμίνιο 7075, αλλά η πιο γνωστή είναι η T6 που τυχαίνει να είναι και η πλάκα που κατεργαστήκαμε. Η T6 σκλήρυνση δίνει στο αλουμίνιο 7075 τις δικές του ξεχωριστές τιμές και χαρακτηριστικά. Όσο αφορά τις μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου 7075 έχουμε:

Μηχανικές ιδιότητες	Τιμές
Απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό (UTS)	572 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (TS)	503 MPa
Αντοχή σε διάτμηση (T)	331 MPa
Δύναμη καταπόνησης ( $\sigma_v$ )	159 MPa
Μέτρο ελαστικότητας (E)	71.7 GPa
Μέτρο διάτμησης (G)	26.9 GPa

Πίνακας 1. Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου 7075

Όλες οι παραπάνω ιδιότητες καθιστούν το αλουμίνιο 7075 από τα ανθεκτικότερα κράματα αλουμινίου με μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό (>500MPa) και χαμηλή πυκνότητα, κάνει το υλικό τέλειο για εφαρμογές σε μέρη αεροσκαφών ή μέρη τα



οποία υπόκεινται σε βαριά φθορά,παρόλο την ευαισθησία του στην διάβρωση.Μερικές σημαντικές εφαρμογές του αλουμινίου 7075 είναι:

- Μέρη αεροσκαφών,
- Γρανάζια και άξονες,
- Εξαρτήματα πυραύλων,
- Ρυθμιστικά μέρη βαλβιδών,
- Ατέρμονα γρανάζια,
- Αεροδιαστημική και αμυντικές εφαρμογές.

Το επόμενο υλικό που κατεργαστήκαμε είναι ο εργαλειοχάλυβας ck60. Ο ck60 είναι ένας χάλυβας με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα,συγκεκριμένα η χημική περιεκτικότητα του σε βάρος % είναι: 0.57-0.65 σε άνθρακα, 0.40 σε πυρίτιο, 0.60-0.90 σε μαγγάνιο, 0.035 σε θείο, 0.030 σε φώσφορο και μικρότερο ίσο του 0.63 σε χρώμιο,μολυβδαίνιο και νικέλιο μαζί ( $Cr+Mo+Ni \leq 0.63$ ). Σαν χάλυβας με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα έχει μεγάλη σκληρότητα αλλά δεν είναι ιδιαίτερα ελατός. Επιπλέον έχει μεγάλη αντίσταση στην φθορά και στις μεγάλες καταπονήσεις, ως αποτέλεσμα των θερμικών επεξεργασιών που συνήθως υπόκεινται. Επίσης είναι πολύ ευαίσθητος στην διάβρωση,σκουριάζει πολύ εύκολα εκτος αν προστατευτεί. Η μηχανική του λειτουργηκότητα είναι χαμηλή σε σχέση με άλλα κράματα,δηλαδή δεν κόβεται με άνεση και ευκολία απο τα εργαλεία και τα μηχανήματα. Η πυκνότητά του είναι  $321 \text{ kg/dm}^3$  στους  $136^\circ\text{C}$  και το όριο ελαστικότητάς του είναι  $867\text{GPa}$  στους  $813^\circ\text{C}$ .Μερικές ακόμα μηχανικές ιδιότητες είναι οι εξής:

Όριο διαρροής ( $\rho$ )	556 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (TS)	367 MPa
Επιμήκυνση(A%)	42
Σκληρότητα κατα Brinell(HBW)	332

**Πίνακας 2. Μηχανικές ιδιότητες εργαλειοχάλυβα ck60**

Εφαρμογές:

- Άξονες,
- Δακτύλιους,
- Μπιέλες,
- Ελατήρια,
- Γεωργικά εργαλεία,
- Μεγάλα σφυρήλατα,
- Κοπτικά εργαλεία,σύρματα και μήτρες.

Το τρίτο και τελευταίο υλικό που καταργαστήκαμε είναι ανοξείδωτος χάλυβας της σειράς GX4CrNi13-4+QT1. Η χημική του σύσταση % είναι η εξής: 0.06 σε άνθρακα, 1.00 σε μαγγάνιο, 1.00 σε πυρίτιο, 0.025 σε θείο, 12.0-13.0 σε χρώμιο, 3.50-5.00 σε νικέλιο και 0.70 σε μολυβδαίνιο. Παρακάτω έχουμε μερικές φυσικές ιδιότητες. Η πυκνότητά του είναι 7.7 kgs/dm<sup>3</sup>, η θερμική αγωγιμότητά του είναι 26 W στους 50°C, η ειδική του θερμότητα είναι 460 J στους 20°C και η μέση θερμική του διαστολή είναι 10.5 10<sup>-6</sup>k<sup>-1</sup> από 20°C έως 100°C. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες γενικά ως γνωστόν έχουν αντοχή στην διάβρωση λόγω της προσμιζής τους σε χρώμιο, το οποίο δημιουργεί ένα στρώμα σωματιδίων που προστατεύει από την διάβρωση. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι οι ανοξείδωτοι χάλυβες δεν σκουριάζουν, απλα δεν είναι τόσο εμφανές όπως σε άλλα υλικά. Επιπλέον οι ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, είναι πολύ ανθεκτικοί και ανακυκλώσιμοι. Επίσης έχουν αντοχή στην θερμότητα και έχουν καλή μορφοποιησιμότητα. Όσο αφορά τις μηχανικές ιδιότητες έχουμε:

Αντοχή διαρροής	350-550 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (TS)	650-880 MPa
Επιμήκυνση(A%)	8-25
Δύναμη καταπόνησης (σ <sub>v</sub> )	275MPa
Σκληρότητα κατά Brinell(HBW)	221

**Πίνακας 3. Μηχανικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4**

Εφαρμογές:

- Χυτά αντλιών,
- Χυτά βαλβιδών,
- Χύτευση υδροστροβίλων,
- Συστήματα εναλλάκτη θερμότητας,

Αυτές ήταν μερικές χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα κομμάτια. Προχωρώντας στο πείραμα οι διαστάσεις του κάθε κομματιού είναι οι εξής:

Κομμάτια	Al 7075	Ck 60	Inox GX4CrNi13-4
Μήκος (mm)	153	154	152
Πλάτος (mm)	125	125	123
Ύψος (mm)	20	20	30

**Πίνακας 4. Διαστάσεις κομματιών**

Παρακάτω θα παρουσιάσει φωτογραφικό υλικό από τα κομμάτια, όπως βλέπουμε στην εικόνα 1.



(α)



(β)

**Εικόνα 1. Εικόνες των κομματιών όπυ: (α) αλουμίνιο 7075, (β) εργαλειοχάλυβας ck60, (γ) ανοξείδωτος χάλυβας GX4CrNi13-4.**



(γ)

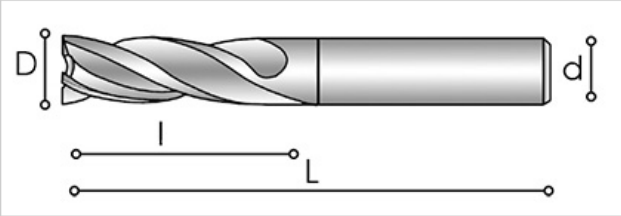
### 1.1.1 Παρουσίαση εργαλείων

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες είναι εννέα, τρία δηλαδή για το κάθε κομμάτι. Τα κοπτικά αυτά ονομάζονται κονδύλια (end mills). Για τον εργαλειοχάλυβα ck60 και τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4 χρησιμοποιήθηκαν 2 ίδιες τριάδες κονδυλιών καρβιδίου διαμέτρων οκτώ, δέκα και δώδεκα χιλιοστών, τετράπτερα της εταιρίας DHF (Design Honesty Future), όπως βλέπουμε στην εικόνα 9. Για το αλουμίνιο 7075 χρησιμοποιήθηκε μια τριάδα κονδυλιών καρβιδίου για αλουμίνιο διαμέτρων οκτώ, δέκα και δώδεκα χιλιοστών, τρίπτερα της εταιρίας ZCC-CT (Zhu Zhou Cemented Carbide Cutting tools), όπως βλέπουμε στην εικόνα 8. Ο λόγος που στο αλουμίνιο 7075 χρησιμοποιήσαμε διαφορετικά κονδύλια είναι ότι στο αλουμίνιο συνήθως για να το κόψουμε σωστά και να αφήσουμε καλή επιφάνεια χρειαζόμαστε ειδικά κονδύλια και να είναι τρίπτερα.

Al 7075	Ck60	Inox GX4CrNi13-4
Κονδύλια καρβιδίου για αλουμίνιο ZCC-CT, τρίπτερα σε διαμέτρους οκτώ, δέκα και δώδεκα χιλιοστών.	Κονδύλια καρβιδίου DHF τετράπτερα σε διαμέτρους οκτώ, δέκα και δώδεκα χιλιοστών.	Κονδύλια καρβιδίου DHF τετράπτερα σε διαμέτρους οκτώ, δέκα και δώδεκα χιλιοστών.

Πίνακας 5. Αντιστοίχιση κομματιών-κονδυλιών

Παρακάτω θα προσθέσουμε με φωτογραφικό υλικό με μερικές τεχνικές πληροφορίες και συνθήκες κοπής για τα κονδύλια που χρησιμοποιήθηκαν ένα προς ένα, όπως θα δούμε παρακάτω στις εικόνες 2, 3, 4, 5, 6 και 7.



Technical Data	
Z :	4
D (mm) :	8.0
L (mm) :	60.0
l (mm) :	20.0
d (mm) :	8.0
Material :	Carbide
Origin :	Taiwan

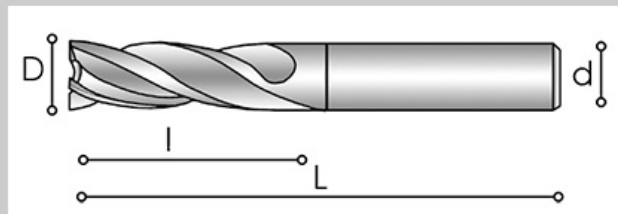
(α)

## Cutting Conditions

Carbon Steels / Cast Iron						
Extension Length(mm)	Cutting Speed (m/min)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	Depth of Cut	Width of Cut	Milling Type
27	120	4500~5000	1000~1200	0.05~0.12	7~8	溝研(Slotting)
27	110	4200~4700	900~1200	1.4~2	8	溝研(Slotting)
27	110	4200~4700	700~900	2~3	8	溝研(Slotting)
27	110	4200~4700	800~1100	8~16	0.05~0.12	側研(Side milling)
27	110	4200~4700	1400~1600	8~16	1.4~2	側研(Side milling)
27	110	4200~4700	700~900	8~16	2~3	側研(Side milling)
Alloy Tool Steels / Carbon Tool Steels						
27	120	4500~5000	1000~1200	0.05~0.12	7~8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	900~1200	1.4~2	8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	700~900	2~3	8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	600~800	8~16	0.05~0.12	側研(Side milling)
27	105	4000~4500	1200~1400	8~16	1.4~2	側研(Side milling)
27	105	4000~4500	700~900	8~16	2~3	側研(Side milling)
Prehardened Steels						
27	120	4500~5000	1000~1200	0.05~0.12	7~8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	500~700	1.4~2	8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	400~600	2~3	8	溝研(Slotting)
27	105	4000~4500	600~800	8~16	0.05~0.12	側研(Side milling)
27	105	4000~4500	500~700	8~16	1.4~2	側研(Side milling)
27	105	4000~4500	400~600	8~16	2~3	側研(Side milling)

(β)

Εικόνα 2. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 4z DHF 8mm και (β) συνθήκες κοπής για 4z DHF 8mm



## Technical Data

Z :	4
D (mm) :	10.0
L (mm) :	75.0
l (mm) :	25.0
d (mm) :	10.0
Material :	Carbide
Origin :	Taiwan

(α)



S50c(HRc18)/SS400							
刀具伸長量 ExtenWion Length	切削速度 (m/min) Cutting Speed	迴轉速度 Wspeed (min <sup>-1</sup> )	進給速度 Feed (mm/min)	加工深度(Aa) Cut of depth	加工寬度(Ap) Cut of width	cooling type	milling type
34mm	125	4000	1000~1200	0.05~0.15	9	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finishing(face slotting)
34mm	100	3200	900~1200	0~2	10	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(face slotting)
34mm	100	3200	700~900	2~2.5	10	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(face slotting)
34mm	125	4000	800~1100	10	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finsihing(side milling)
34mm	130	4200	900~1200	20	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finsihing(side milling)
34mm	115	3600	1400~1600	10	0~2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
34mm	100	3200	700~900	10	2~2.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)

模具用鋼 P3,P5,P20 (HRc32)							
刀具伸長量 ExtenWion Length	切削速度 (m/min) Cutting Speed	迴轉速度 Wspeed (min <sup>-1</sup> )	進給速度 Feed (mm/min)	加工深度(Aa) Cut of depth	加工寬度(Ap) Cut of width	冷卻方式	加工方式
34mm	110	3500	1000~1200	0.05~0.15	9	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finishing(face slotting)
34mm	110	3500	800~1000	0~2	10	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(face slotting)
34mm	110	3500	600~800	2~2.5	10	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(face slotting)
34mm	110	3500	600~800	10	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finsihing(side milling)
34mm	110	3500	600~800	20	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	finsihing(side milling)
34mm	110	3500	700~1000	10	0~2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
34mm	110	3500	600~900	10	2~2.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)

(β)

Εικόνα 3. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 4z DHF 10mm και (β) συνθήκες κοπής για 4z DHF 10mm

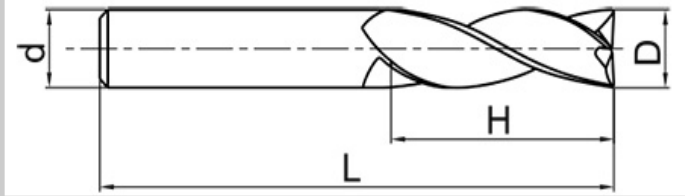
Technical Data	
Z :	4
D (mm) :	12.0
L (mm) :	75.0
l (mm) :	30.0
d (mm) :	12.0
Material :	Carbide
Origin :	Taiwan

(α)

S50c(HRc18)/SS400							
刀具伸長量 Extension Length	切削速度 (m/min) Cutting Speed	迴轉速度 Speed (min <sup>-1</sup> )	進給速度 Feed (mm/min)	加工深度(Aa) Cut of depth	加工寬度(Ap) Cut of width	cooling type	milling type
37mm	125	3300	900~1100	0.05~0.2	11	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Finishing(face slotting)
37mm	100	2650	500~700	0~2	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	100	2650	300~400	2~2.5	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	100	2650	200~300	2.5~3.5	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	125	3300	600~900	12~24	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Finishing(side milling)
37mm	100	2650	500~700	12	0~2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
37mm	100	2650	300~400	12	2~2.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
37mm	100	2650	200~300	12	2.5~3.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
模具用鋼 P3, P5, P20 (HRc32)							
刀具伸長量 Extension Length	切削速度 (m/min) Cutting Speed	迴轉速度 Speed (min <sup>-1</sup> )	進給速度 Feed (mm/min)	加工深度(Aa) Cut of depth	加工寬度(Ap) Cut of width	冷卻方式	加工方式
37mm	115	3000	900~1100	0.05~0.2	11	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Finishing(face slotting)
37mm	95	2500	500~700	0~2	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	95	2500	300~400	2~2.5	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	95	2500	200~300	2.5~3.5	12	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(Slotting)
37mm	95	2500	600~900	12~24	0.05~0.2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Finishing(side milling)
37mm	95	2500	500~700	12	0~2	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
37mm	95	2500	300~400	12	2~2.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)
37mm	95	2500	200~300	12	2.5~3.5	Dry Air Cooling//MQL(Mist)	Roughing(side milling)

(β)

Εικόνα 4. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 4z DHF 12mm και (β) συνθήκες κοπής για 4z DHF 12mm



Technical Data	
D (mm) :	8.0
d (mm) :	8.0
H (mm) :	20.0
L (mm) :	60.0
Material :	Carbide

(α)

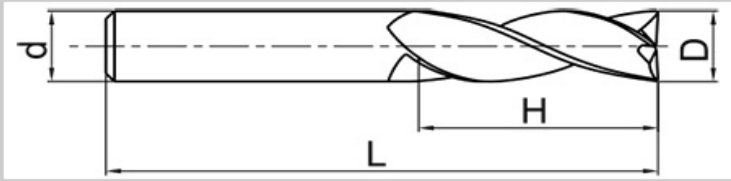
# Solid carbide milling Recommended cutting data

## End mill – AL series

Material group	Composition / structure / heat treatment	Brinell hardness HB	Machining group	Starting values for cutting speed $v_c$ [m/min]					
				AL-1E AL-2E ALG-2E AL-3E		Slot milling			Shoulder milling
				$\emptyset$ [mm]	$a_p$ max	$\emptyset$ [mm]	$a_e$ max		
				$0 < x < 12$	$0,5 \times D$	$0 < x \leq 20$	$< 0,5 \times D$		
				$12 \leq x \leq 20$	$1,0 \times D$				
				YK30F / YK40F					
				$a_e / D$				f-group	
				1/1	1/2	1/10			
<b>N</b>	Aluminium wrought alloys	cannot be hardened		60	22	920	1100	1200	4
		hardenable	hardened	100	23	555	660	720	4
	Cast aluminium alloys	$\leq 12\%$ Si, cannot be hardened		75	24	370	440	480	4
		$\leq 12\%$ Si, hardenable	hardened	90	25	460	550	600	4
		$> 12\%$ Si, cannot be hardened		130	26	140	165	180	4
	Copper and copper alloys (bronze/brass)	machining steel, PB > 1%		110	27	280	330	360	4
CuZn, CuSnZn		90	28	325	385	420	4		
CuSn, Pb-free copper, electrolytic copper		100	29	280	330	360	4		

(β)

Εικόνα 5. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 3z ZCC-CT 8mm και (β) συνθήκες κοπής για 3z ZCC-CT 8mm



Technical Data	
D (mm) :	10.0
d (mm) :	10.0
H (mm) :	30.0
L (mm) :	75.0
Material :	Carbide

(α)



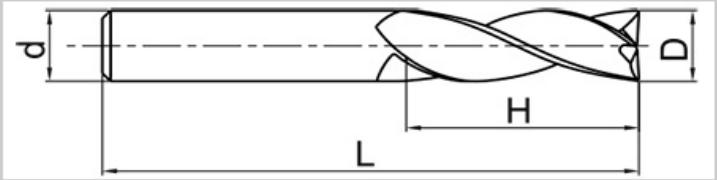
# Solid carbide milling Recommended cutting data

## End mill – AL series

Material group	Composition / structure / heat treatment		Brinell hardness HB	Machining group	Starting values for cutting speed $v_c$ [m/min]				
					AL-1E AL-2E ALG-2E AL-3E				
					Slot milling		Shoulder milling		
					$\varnothing$ [mm]	$a_p$ max	$\varnothing$ [mm]	$a_e$ max	
					$0 < x < 12$	$0.5x D$	$0 < x \leq 20$	$< 0.5x D$	
				$12 \leq x \leq 20$	$1.0x D$				
				YK30F / YK40F					
				$a_e / D$					
				1/1	1/2	1/10	f-group		
N	Aluminium wrought alloys	cannot be hardened		60	22	920	1100	1200	4
		hardenable	hardened	100	23	555	660	720	4
	Cast aluminium alloys	$\leq 12\% \text{ Si}$ , cannot be hardened		75	24	370	440	480	4
		$\leq 12\% \text{ Si}$ , hardenable	hardened	90	25	460	550	600	4
		$> 12\% \text{ Si}$ , cannot be hardened		130	26	140	165	180	4
	Copper and copper alloys (bronze/brass)	machining steel, PB > 1%		110	27	280	330	360	4
CuZn, CuSnZn		90	28	325	385	420	4		
CuSn, Pb-free copper, electrolytic copper		100	29	280	330	360	4		

(β)

Εικόνα 6. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 3z ZCC-CT 10mm και (β) συνθήκες κοπής για 3z ZCC-CT 10mm



Technical Data	
D (mm) :	12.0
d (mm) :	12.0
H (mm) :	32.0
L (mm) :	75.0
Material :	Carbide

(α)

# Solid carbide milling Recommended cutting data

## End mill – AL series

Material group	Composition / structure / heat treatment	Brinell hardness HB	Machining group	Starting values for cutting speed $v_c$ [m/min]				
				Slot milling		Shoulder milling		
				$\varnothing$ [mm]	$a_p$ max	$\varnothing$ [mm]	$a_e$ max	
				$0 < x < 12$	$0.5xD$	$0 < x \leq 20$	$< 0.5xD$	
				$12 \leq x \leq 20$	$1.0xD$			
				YK30F / YK40F				
				$a_e / D$				
				1/1	1/2	1/10	f-group	
N	Aluminium wrought alloys	cannot be hardened	60	22	920	1100	1200	4
		hardenable	100	23	555	660	720	4
	Cast aluminium alloys	$\leq 12\% \text{ Si}$ , cannot be hardened	75	24	370	440	480	4
		$\leq 12\% \text{ Si}$ , hardenable	90	25	460	550	600	4
		$> 12\% \text{ Si}$ , cannot be hardened	130	26	140	165	180	4
	Copper and copper alloys (bronze/brass)	machining steel, PB > 1%		110	27	280	330	360
CuZn, CuSnZn		90	28	325	385	420	4	
CuSn, Pb-free copper, electrolytic copper		100	29	280	330	360	4	

(β)

Εικόνα 7. Εικόνες όπου: (α) τεχνικές πληροφορίες για 3z ZCC-CT 12mm και (β) συνθήκες κοπής για 3z ZCC-CT 12mm

Παρακάτω θα προσθέσουμε φωτογραφικό υλικό απο τα κονδύλια που χρησιμοποιήθηκαν, όπως φαίνεται παρακάτω στις φωτογραφίες 8, 9, 10, 11, 12 και 13.



Εικόνα 8. Τριάδα κονδυλιών 3z καρβιδίου για αλουμίνιο, διαμέτρων οκτώ,δέκα και δώδεκα χιλιοστών



Εικόνα 9. Τριάδα κονδυλιών 4z καρβιδίου, διαμέτρων οκτώ,δέκα και δώδεκα χιλιοστών





Εικόνα 10. Όλα τα κονδύλια που χρησιμοποιήθηκαν



(α)



(β)

**Εικόνα 11. Κονδύλια καρβιδίου για  
αλουμίνιο 3z όπου: (α) Φ8,  
(β) Φ10,  
(γ) Φ12**



(γ)



(α)



(β)





Εικόνα 12. Κονδύλια καρβιδίου 4z όπου:

- (α) Φ8,
- (β) Φ10,
- (γ) Φ12

(γ)



Εικόνα 13. Όλα τα κονδύλια εκτός συσκευασίας

### 1.1.1.1 Παρουσίαση εξοπλισμού

Η πραγματοποίηση των κατεργασιών έγινε με την βοήθεια ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής (CNC). Συγκεκριμένα το cnc που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Haas Automation Inc. Το μοντέλο είναι το Vf6, πρόκειται για μια εργαλειομηχανή της οποίας η κεφαλή είναι κάθετη σε σχέση με το τραπέζι κατεργασίας (Vertical milling machine). Επιπλέον είναι τριαξονική, έχει κίνηση δηλαδή σε τρεις άξονες, στον x, στον y και στον z. Στον x άξονα το τραπέζι κινείται οριζόντια, στον y άξονα το τραπέζι κινείται κάθετα και στον z άξονα η κεφαλή κινείται κάθετα ως προς το τραπέζι κατεργασίας. Μπορεί να γίνει και τετραξονική με την προσθήκη φορητού διαιρέτη, προσθέτοντας περιστροφική κίνηση στον άξονα a. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής με φωτογραφικό υλικό, όπως θα δούμε στην συνέχεια στις φωτογραφίες 14, 15, 16, 17 και 18.

TRAVELS	S.A.E	METRIC
X Axis	64.0 in	1626 mm
Y Axis	32.0 in	813 mm
Z Axis	30.0 in	762 mm
Spindle Nose to Table (~ max)	34.0 in	864 mm
Spindle Nose to Table (~ min)	4.0 in	102 mm

Εικόνα 14. Διαδρομές αξόνων της εργαλειομηχανής

SPINDLE	S.A.E	METRIC
Max Rating	30.0 hp	22.4 kW
Max Speed	8100 rpm	8100 rpm
Max Torque	90.0 ft-lbf @ 2000 rpm	122.0 Nm @ 2000 rpm
Max Torque w/opt Gearbox	250 ft-lbf @ 450 rpm	339 Nm @ 450 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Taper	CT or BT 40	CT or BT 40
Bearing Lubrication	Air / Oil Injection	Air / Oil Injection
Cooling	Liquid Cooled	Liquid Cooled

Εικόνα 15. Τεχνικά χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής

<b>TABLE</b>	<b>S.A.E</b>	<b>METRIC</b>
Length	64.0 in	1626 mm
Width	28.0 in	711 mm
T-Slot Width	0.626 in to 0.630 in	15.90 mm to 16.00 m
T-Slot Center Distance	4.92 in	125 mm
Number of Std T-Slots	5	5
Max Weight on Table (evenly distributed)	4000 lb	1814 kg

**Εικόνα 16. Χαρακτηριστικά τραπεζιού της εργαλειομηχανής**

<b>FEEDRATES</b>	<b>S.A.E</b>	<b>METRIC</b>
Max Cutting	500 ipm	12.7 m/min
Rapids on X	600 ipm	15.2 m/min
Rapids on Y	600 ipm	15.2 m/min
Rapids on Z	600 ipm	15.2 m/min

**Εικόνα 17. Προώσεις της εργαλειομηχανής**

<b>AXIS MOTORS</b>	<b>S.A.E</b>	<b>METRIC</b>
Max Thrust X	3400 lbf	15124 N
Max Thrust Y	3400 lbf	15124 N
Max Thrust Z	5600 lbf	24910 N

**Εικόνα 18. Δύναμη κινητήρα του άξονα της εργαλειομηχανής**



Παρακάτω θα γίνει προσθήκη φωτογραφικού υλικού του Vf6 στον χώρο πραγματοποίησης των κατεργασιών, όπως έχουμε στις εικόνες 19, 20, 21 και 22.



**Εικόνα 19. Vf6**



**Εικόνα 20. Χειριστήριο του Vf6**



**Εικόνα 21. Vf6**





Εικόνα 22. Τραπέζι του Vf6

## Κεφάλαιο 2 – Στήσιμο κατεργασιών

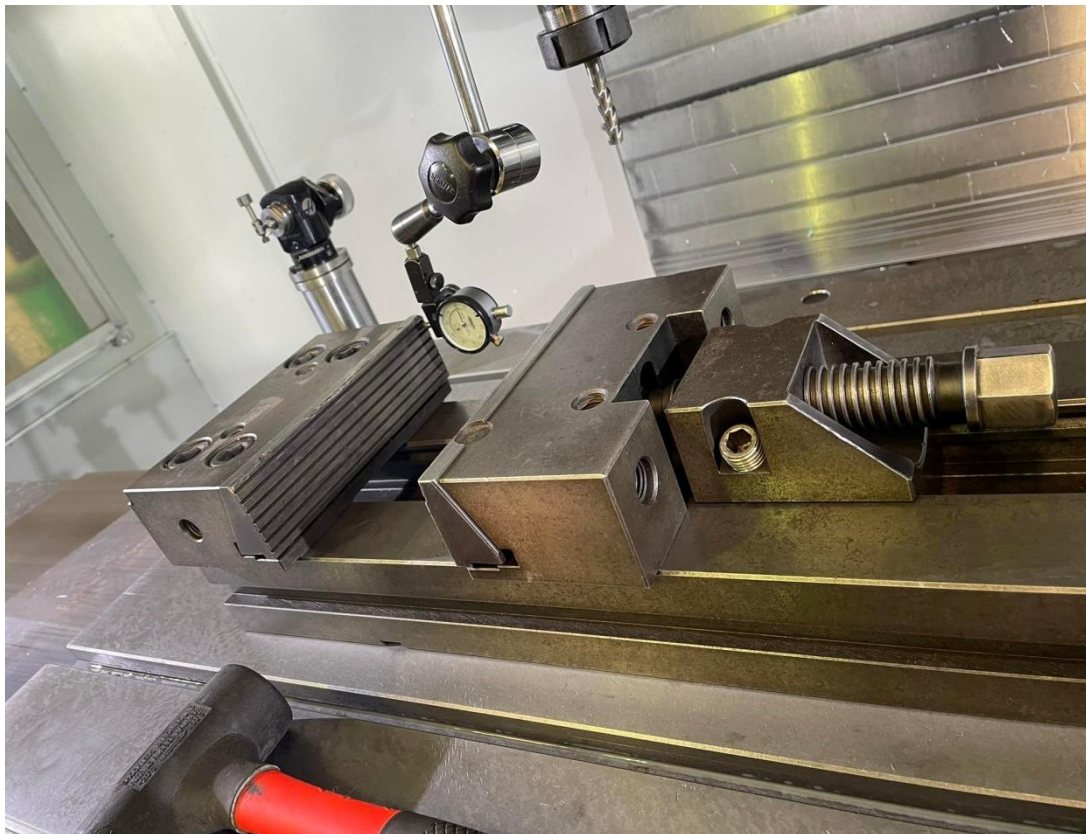
### 2.1 Τοποθέτηση και μηδενισμός μέγγενης

Για να ξεκινήσουμε τις κατεργασίες μας, πρέπει αρχικά να στήσουμε σωστά τα κομμάτια τα οποία πρέπει να κατεργαστούμε. Γενικά το στήσιμο σε μια κατεργασία είναι μια πάρα πολύ σημαντική διαδικασία και πρέπει να δοθεί η κατάλληλη προσοχή, ώστε να μην υπάρξει κάποια αστοχία κατά την διάρκεια της κοπής των κομματιών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η μέγγενη, η οποία είναι ένα εργαλείο στήριξης με δύο σκέλη τα οποία ανοίγουν και κλείνουν με την βοήθεια μιας βίδας. Έτσι θα καταφέρουμε να σταθεροποιήσουμε τα κομμάτια μας για να δουλέψουμε πάνω σε αυτά με άνεση και ευκολία. Παίρνουμε την μέγγενη με την βοήθεια της γερανογέφυρας, επειδή είναι βαριά και δεν μπορούμε να την σηκώσουμε με τα χέρια και την τοποθετούμε πάνω στο τραπέζι κατεργασίας. Εκεί λύνουμε λίγο τα πάσα της βίδας, ώστε να μπορέσουμε να περάσουμε τα παπουτσάκια στα καναλάκια του τραπεζιού. Έπειτα βιδώνουμε τα δύο παπουτσάκια που τοποθετήσαμε με δύο βίδες, ώστε να πακτωθεί καλά η μέγγενη πάνω στο τραπέζι κατεργασίας.

Επόμενο βήμα είναι ο μηδενισμός της μέγγενης, να πατήσει δηλαδή η μέγγενη σωστά πάνω στο τραπέζι, όπως φαίνεται στην φωτογραφία 23. Αυτό θα επιτευχθεί με την βοήθεια ενός ρολογιού, τοποθετημένο σε έναν ευέλικτο βραχίονα, τον οποίο μπορούμε να προσαρμόσουμε όπως θέλουμε, αυτό το βλέπουμε καθαρά στην εικόνα 24. Ο βραχίονας έχει στην βάση του ένα μαγνητάκι, το οποίο βοηθάει στο να τοποθετηθεί πάνω στη κεφαλή της εργαλειομηχανής, γεγονός το οποίο φαίνεται καλά στην εικόνα 25. Στη συνέχεια πηγαίνουμε με την βοήθεια του χειριστήριου του cnc

την μύτη του ρολογιού στην επιφάνεια της μιας σιαγόνας, της μέγγενης. Εκεί πατάμε σε ένα ίσιο πρόσωπο της σιαγόνας και παϊρνάμε το ρολόι μεχρι το τέλος της επιφάνειας της,ωστε να συμπεράνουμε αν πατάει ίσια η μέγγενη. Για να είναι μηδέν η μέγγενη πρέπει απο την αρχή μέχρι το τέλος της επιφάνειας το ρολόι να γράφει μηδέν. Αν έχουμε αποκλίσεις σε δέκατα, για να φέρουμε την μέγγενη σε μηδενικό σημείο, την βαράμε από μπροστά ή από πίσω με την ματσόλα, ανάλογα με το πού χάνει, στην φωτογραφία 26 βλέπουμε το ρολόι κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής. Το γεγονός αυτό το καταλαβαίνουμε με την βοήθεια του ρολογιού, με το αν είναι στα θετικά ή στα αρνητικά νούμερα. Την διασικασία αυτήν την πετυχένουμε με την ματσόλα επειδή κατα το στησιμό της μέγγενης έχουμε δημιουργήσει μοχλό, ωστε να μπορούμε να την φέρουμε στο σημείο που θέλουμε.

Παρακάτω θα προστεθεί φωτογραφικό υλικό απο την διαδικασία της τοποθέτησης και του μηδενισμού της μέγγενης.

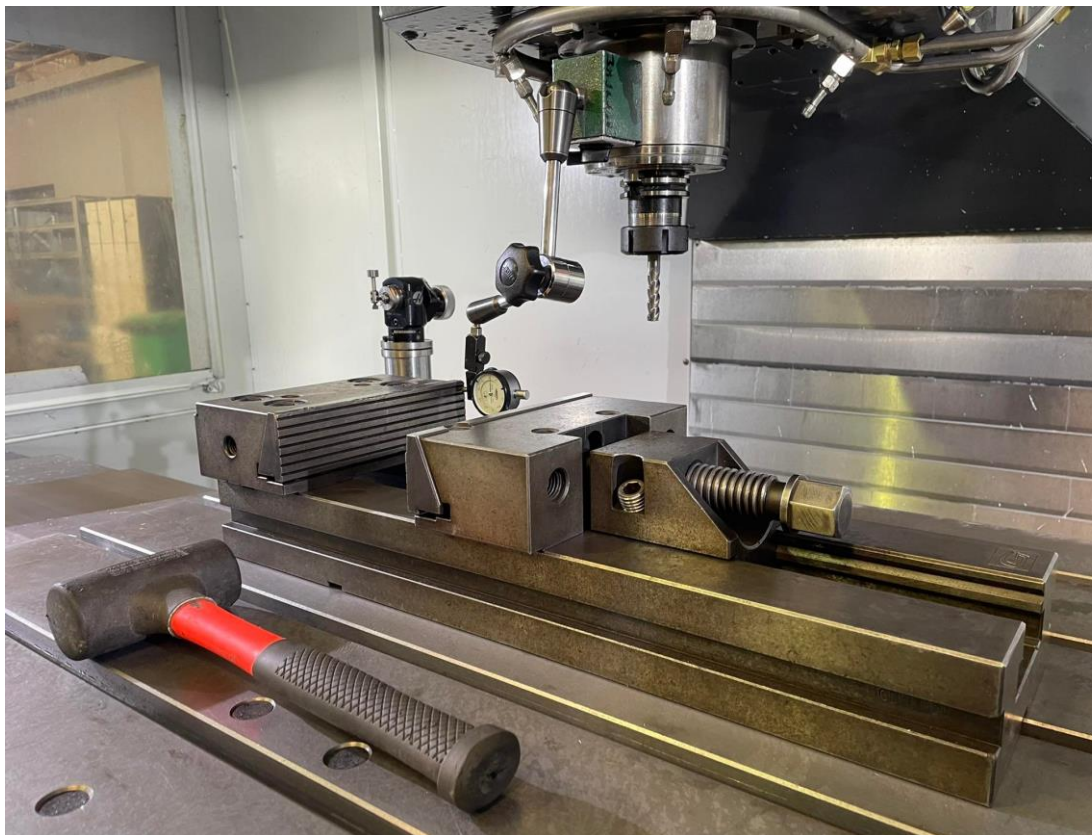


**Εικόνα 23. Τοποθέτηση και μηδενισμός της μέγγενης**





**Εικόνα 24. Μηδενισμός της μέγγενης με την βοήθεια του ρολογίου**



**Εικόνα 25. Σύνολο μηδενισμού: Το ρολόι πατάει πάνω στην επιφάνεια της σιαγόνας με την βοήθεια του βραχίονα, ο οποίος είναι πακτωμένος στην κεφαλή**



Εικόνα 26. Το ρολόι κατά την διάρκεια του μηδενισμού

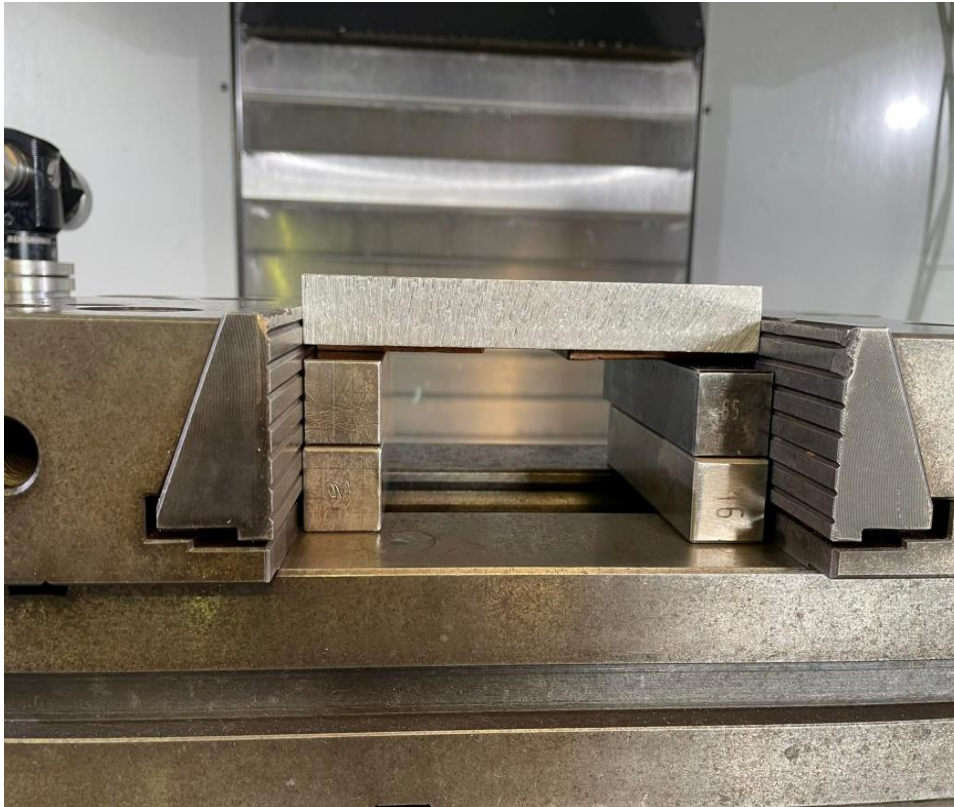
### 2.1.1 Στήσιμο και μηδενισμός κομματιών

Το επόμενο βήμα είναι να τοποθετήσουμε και να μηδενίσουμε τα κομμάτια. Στην τοποθέτηση του κομματιού πάνω στην μέγγενη χρησιμοποιούμε απο δύο δοκίμια στην κάθε σιαγόνα της μέγγενης, για να μας δώσουν το ύψος που θέλουμε. Στο στήσιμο του αλουμινίου προστέθηκαν επιπλέον δύο λαμάκια για να πατήσει καλύτερα το κομμάτι, σύμφωνα με την εικόνα 27. Έπειτα σφίγγουμε το κομμάτι στην μέγγενη, ώστε να είναι σταθερό και είμαστε έτοιμοι για να μηδενίσουμε το κάθε κομμάτι, όπως βλέπουμε στην εικόνα 28. Έχουμε τρία κομμάτια, αρα οι διαδικασία αυτή θα πραγματοποιηθεί τρεις φορές. Ο μηδενισμός των κομματιών γίνεται με την βοήθεια του touch probe. Το εργαλείο αυτό είναι στην ουσία μια εύκαμπτη βελόνα που στο τέλος της έχει μια κόκκινη μύτη, με την οποία ακουμπάμε τις επιφάνειες του κομματιού κατά την διάρκεια του μηδενισμού, όπως βλέπουμε στην εικόνα 29. Με το εργαλείο αυτό πρέπει να είμαστε γενικά πολύ προσεκτικοί στον χειρισμό του γιατί είναι πολύ ευαίσθητο. Και τα τρία μας κομμάτια είναι τετραγωνικά, αρα για να τα μηδενίσουμε πρέπει να πάρουμε την αρχή και το τέλος του άξονα x (οριζόντια), την αρχή και το τέλος του άξονα y (κάθετα) και το ύψος z σε οποιαδήποτε επιφάνεια του κομματιού. Την διαδικασία αυτή την πετυχαίνουμε εύκολα απο το χειριστήριο της εργαλειομηχανής μας, πηγαίνοντας στο λεγόμενο κέντρο των εργασιών (work center). Εκεί διαλέγουμε τις κινήσεις που πρέπει να κάνει η πρόμπα. Υπάρχουν έτοιμες κινήσεις και εμείς διαλέγουμε αυτές που μας κάνουν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παίρνουμε όπως είπαμε την αρχή και το τέλος των αξόνων x και y (rocket x, rocket y) και το ύψος του άξονα z (single surface). Τέλος να αναφερθεί οτι πριν τον



μηδενισμό του εργαλειογάλυβα ck60 έγινε χειροκίνητο πέρασμα με κεφαλή για να έχουμε λεία επιφάνεια.

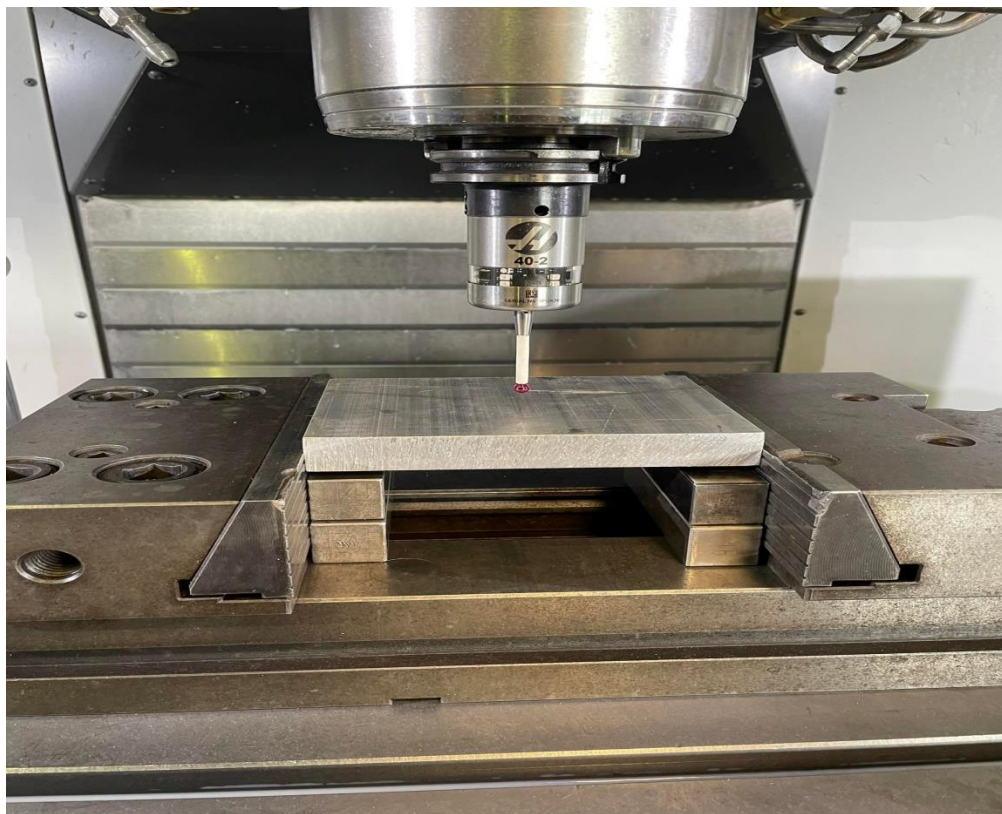
Παρακάτω θα προστεθεί φωτογραφικό υλικό απο τα στησίματα και τα μηδένισματα των κομματιών, όπως χρησιμοποιήσαμε σαν αναφορές στο κείμενο το κομμάτι του αλουμινίου 7075 με τις εικόνες 27, 28 και 29 τις ίδιες διαδικασίες βλέπουμε στις εικόνες 30, 31 και 32 για τον εργαλειογάλυβα ck60 και στις εικόνες 33, 34 και 35 για τον ανοξείδωτο γάλυβα.



**Εικόνα 27. Στησιμο αλουμινίου 7075**



**Εικόνα 28. Στήσιμο αλουμινίου 7075 απο άλλη γωνία**

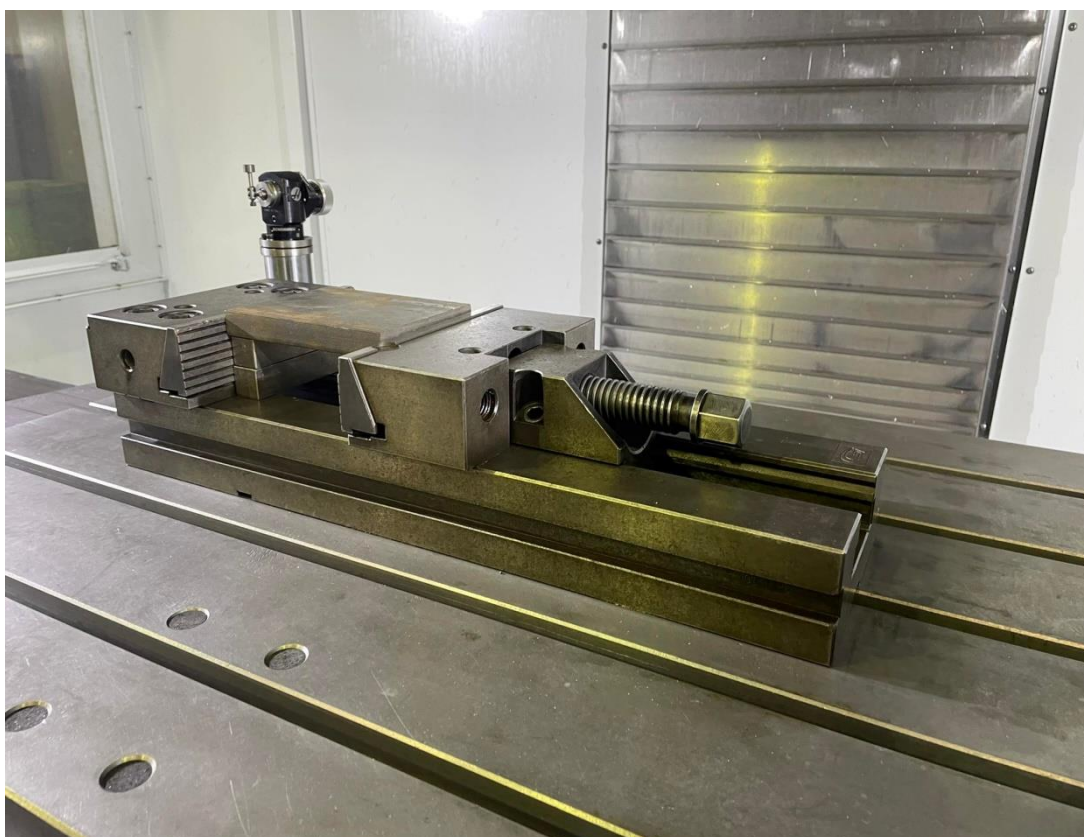


**Εικόνα 29. Touch probe μετά τον μηδενισμό του αλουμινίου 7075**

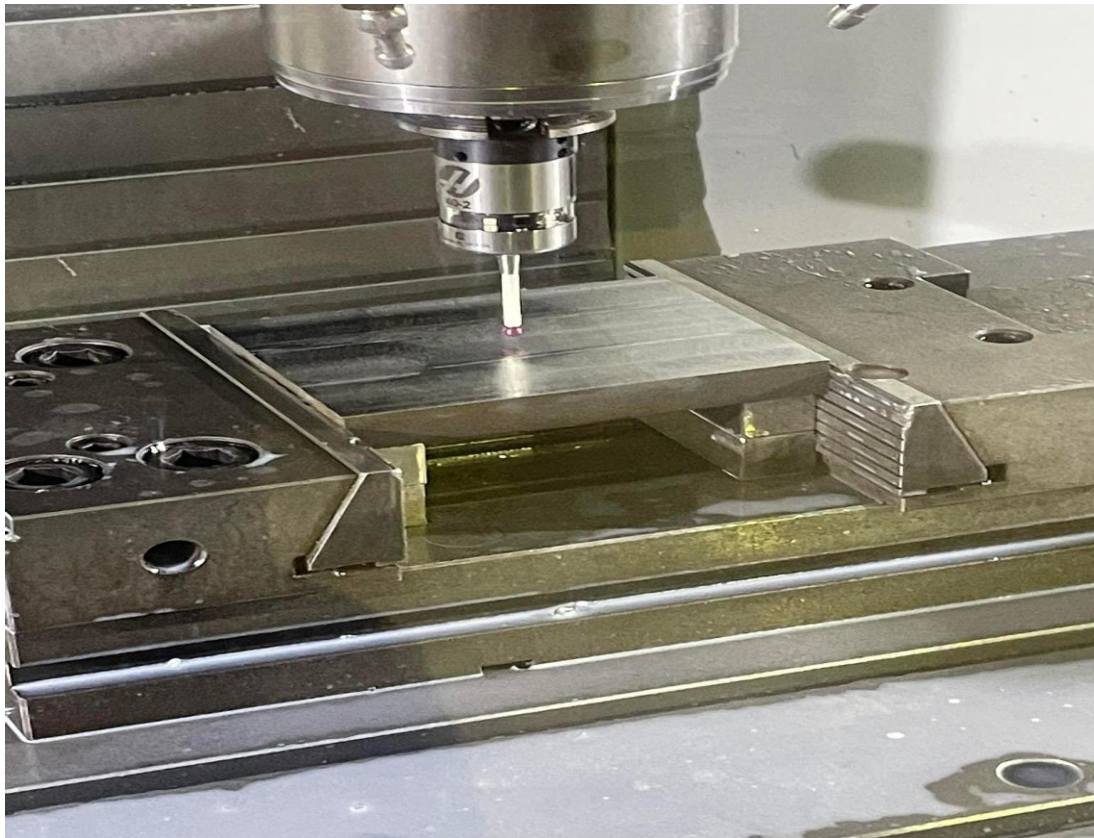




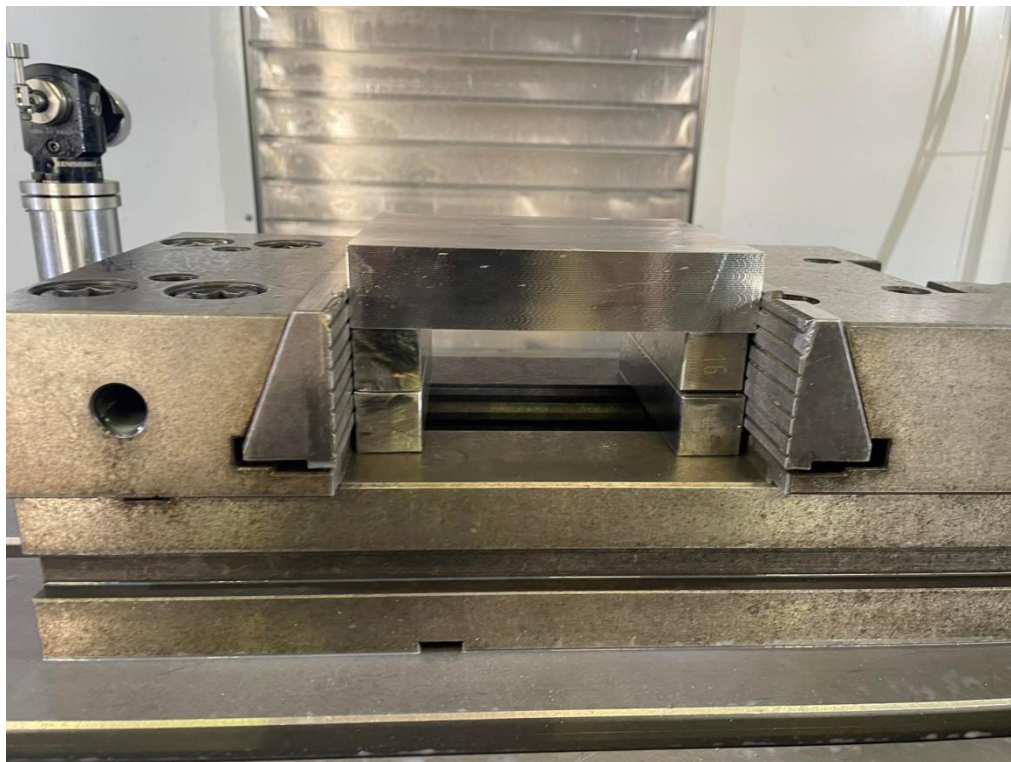
**Εικόνα 30. Στήσιμο εργαλειογάλβα ck60**



**Εικόνα 31. Στήσιμο εργαλειογάλβα ck60 απο άλλη γωνία**

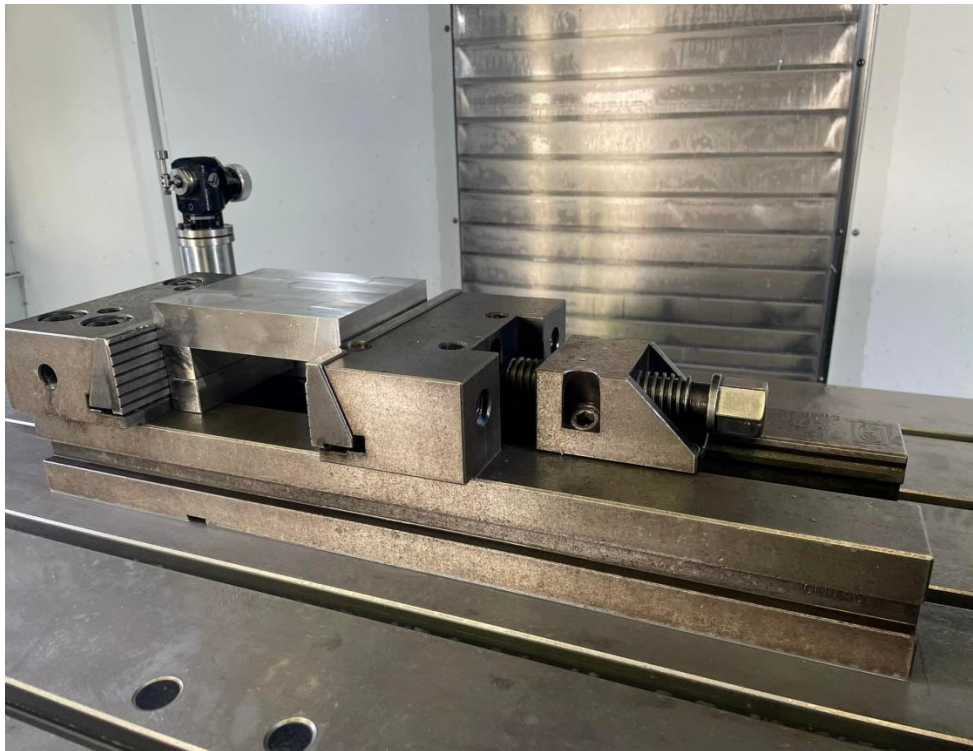


**Εικόνα 32. Touch probe μετά τον μηδενισμό του εργαλειοχάλυβα ck60**



**Εικόνα 33. Στήσιμο ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4**





Εικόνα 34. Στήσιμο ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4 απο άλλη γωνία



Εικόνα 35. Touch probe μετά τον μηδενισμό του ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4

### 2.1.1.1 Σετάρισμα και μηδένισμα εργαλείων

Αφού μηδενίστηκαν τα κομμάτια, σειρά έχουν τα κοπτικά μας εργαλεία, δηλαδή τα κονδύλια. Ξεκινάμε αρχικά σετάρνοντας τα κονδύλια. Το σετάρισμα είναι και αυτό πολύ σημαντικό για την πραγματοποίηση μιας κατεργασίας και πρέπει να δοθεί η κατάλληλη προσοχή. Σετάρισμα είναι η τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου στον κώνο, όπως βλέπουμε στις εικόνες 36, 37, 38 και 39. Για να βάλουμε το κονδύλι στον κώνο πρέπει να έχουμε το κατάλληλο collet. Το collet είναι στην ουσία η θήκη του κονδυλιού μέσα στον κώνο και πάνω από αυτό βιδώνει το καπάκι του κώνου. Το collet πρέπει να είναι ίδιο με την διάμετρο του κονδυλιού για να είναι σταθερό. Για παράδειγμα, για ένα κονδύλι 8mm πρέπει να πάρουμε ένα collet 7-8 και όχι 9-10. Η σωστή τοποθέτηση και αλλαγή του κονδυλιού στον κώνο απαιτεί καλό καθάρισμα του κώνου και του collet, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν σκουπιδάκια ή γρέζια τα οποία μπορούν να μας δημιουργήσουν πρόβλημα. Το πιο σωστό είναι να χρησιμοποιούμε το πιστόλι αέρα και ένα πανάκι για τον καθαρισμό. Οι κώνοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι ER40 και ER32, δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη διαφορά απλά όπως δηλώνουν και τα νούμερα ο πρώτος είναι πιο φαρδύς από τον δεύτερο. Ο κάθε κώνος ξεβιδώνει με διαφορετικό κλειδί όπως και είναι λογικό. Έπειτα πολύ σημαντικό συνήθως είναι το μήκος του κονδυλιού και πόσο το βυθίζουμε μέσα στο collet. Το μήκος αυτό το λέμε (L), στις συγκεκριμένες κατεργασίες που έχουμε να κάνουμε δεν κουμπώνουμε το κονδύλι σε κάποιο συγκεκριμένο μήκος, απλά προσέχουμε το κονδύλι να είναι αρκετά μέσα στο collet, λίγο πριν τις ραβδώσεις του κονδυλιού, ώστε να είναι σταθερό και να μην έχουμε τυχόν τρέμουλα. Στα κονδύλια καρβιδίου που χρησιμοποιούμε, το συγκεκριμένο σημείο είναι μαύρο και διακρίνεται εύκολα οπτικά, στα κονδύλια αλουμινίου που χρησιμοποιούμε επίσης δεν είναι μαύρο, αλλά ξεχωρίζουν οι ραβδώσεις. Έτσι εφόσον ο κώνος μας και το collet είναι καθαρά, τοποθετούμε το collet στον κώνο και από πάνω βιδώνουμε το καπάκι ελαφρά, ώστε να βάλουμε και το κονδύλι μέσα. Αφού το βάλουμε στο μήκος που θέλουμε, με το κλειδί του κώνου βιδώνουμε καλά το σύστημα collet-καπακι-κονδύλι και έτσι έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία του σεταρίσματος.

Σειρά τώρα έχει το μηδένισμα των εργαλείων, δηλαδή των κονδυλιών. Για να μηδενίσουμε τα εργαλεία μας πρέπει αρχικά να κουμπόσουμε τους σεταρισμένους κώνους μας πάνω στη κεφαλή της εργαλειομηχανής. Έπειτα πάμε από το χειριστήριο στο κέντρο των εργαλείων (tool center), όπου μηδενίζουμε τα εργαλεία μας. Το κέντρο των εργαλείων είναι και αυτό ένα εργαλείο πακτωμένο και μηδενισμένο κατάλληλα πάνω στο τραπέζι της εργαλειομηχανής. Στο πάνω άκρο του έχει ένα μικρό βραχιονάκι, το οποίο έχει στο τέλος του μια μικρή στρογγυλή επιφάνεια, πάνω στην οποία έρχεται και ακουμπάει με στροφές το κονδύλι, όπως βλέπουμε στην εικόνα 40 για τα κονδύλια αλουμινίου και στην εικόνα 41 για τα κονδύλια καρβιδίου. Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία του μηδενισμού των εργαλείων, πρέπει πηγαίνοντας στο tool center να δώσουμε τις κατάλληλες παραμέτρους όπως το είδος του εργαλείου (ball mill, end mill), την ακτίνα του (R) και πόσα χιλιοστά να κατέβει το εργαλείο. Έτσι με αυτή την μέθοδο μπορούμε να πάρουμε τα μηδενικά των κονδυλιών μας και να προχωρήσουμε στην κατεργασία μας.

Παρακάτω θα ακολουθήσει φωτογραφικό υλικό από μερικά σεταρίσματα και κατεβάσματα των κονδυλιών στο tool center.



**Εικόνα 36. Σετάρισμα των κονδυλιών αλουμινίου**



**Εικόνα 37. Σετάρισμα κονδυλιού αλουμινίου 8mm**



**Εικόνα 38. Σετάρισμα κονδυλιού αλουμινίου 10mm**



**Εικόνα 39. Σετάρισμα κονδυλιού αλουμινίου 12mm**





(α)



(β)



(γ)

**Εικόνα 40. Εικόνες των κονδυλιών αλουμινίου  
στο tool center όπου: α) 8mm**

**β) 10mm**

**γ) 12mm**



(α)



(β)

**Εικόνα 41. Εικόνες του κονδυλιού καρβιδίου  
12mm στο tool center**



(γ)



## Κεφάλαιο 3 – Προγραμματισμός εργαλειομηχανής και τραχυμέτρηση

### 3.1 Σύνταξη cam μοντέλου και επιλογή συνθηκών κοπής

Αφού έχουμε κάνει όλες τις παραπάνω διαδικασίες και όλα είναι έτοιμα για να κόψουμε τα κομμάτια μας, σειρά έχει ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής. Αρχικά, το πρόγραμμα που δουλεύουμε είναι το solid works. Σχεδιάζουμε το κομμάτι στο cam περιβάλλον του solid works, το οποίο είναι το solid cam. Εκεί φτιάχνουμε την κατεργασία που θα γίνει, δηλαδή τα καναλάκια (slots) στα κατάλληλα μεγέθη. Στο κάθε κομμάτι έχουμε 27 κοπές, 9 κοπές των 8mm, 9 κοπές των 10mm και 9 κοπές των 12mm, όλες με διαφορετικές συνθήκες κοπής (πρώσεις, στροφές). Δίνοντας τις κατάλληλες παραμέτρους ο σκοπός μας είναι να φτάσουμε στην δημιουργία του κώδικα G. Αυτός είναι στην ουσία ο κώδικας που θα διαβάσει η εργαλειομηχανή. Αφού διαλέξουμε τις συνθήκες κοπής παίρνουμε το πρόγραμμα που έχουμε φτιάξει σε ένα στικάκι και πάμε στο χειριστήριο της εργαλειομηχανής για να το εγκαταστήσουμε και σε αυτήν. Έτσι είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε το πρόγραμμα. Να πούμε επιπλέον ότι το βάθος κοπής των καναλιών είναι 0,5 χιλιοστά σε όλα τα κομμάτια.

Παρακάτω θα συζητηθεί πως επιλέχθηκαν οι συνθήκες κοπής. Οι συνθήκες κοπής επιλέχθηκαν με βάση τα υλικά που είχαμε στην διάθεση μας και τις συνθήκες των κονδυλιών που πήραμε από τον κατασκευαστή. Με βάση αυτούς τους δύο παράγοντες προσπαθήσαμε να πάρουμε όσο το δυνατό καλύτερες συνθήκες κοπής, δηλαδή να πραγματοποιήσουμε τις κατεργασίες μας όσο πιο ομαλά γίνεται, ώστε να μην ταλαιπωρήσουμε τα εργαλεία και να αφήσουμε την καλύτερη δυνατή επιφάνεια στα κομμάτια. Γενικά στο αλουμίνιο 7075 είχαμε μεγαλύτερες στροφές σε σχέση με τα άλλα δύο υλικά (εργαλειοχάλυβας ck60, ανοξείδωτος χάλυβας) κυρίως λόγω σκληρότητας. Ο εργαλειοχάλυβας ck60 και ο ανοξείδωτος χάλυβας GX4CrNi13-4 είχαν παρόμοιες συνθήκες κοπής, με τον ανοξείδωτο χάλυβα να έχει λίγο μικρότερες στροφές και πρώσεις σε σχέση με τον εργαλειοχάλυβα ck60. Επίσης οι συνθήκες κοπής έχουν κλιμακωτή αύξηση στις στροφές και στις πρώσεις όπως διακρίνεται παρακάτω, ανεβαίνουν δηλαδή κατά ένα σταθερό νούμερο.

Παρακάτω θα παρατεθεί πινακάκι, σε μορφή φωτογραφίας, με τις συνθήκες κοπής που επιλέχθηκαν για το κάθε υλικό, ακολουθεί η εικόνα 42 με τις συνθήκες κοπής που επιλέχθηκαν.

AL7075

CK60

INOX

8mm	10mm	12mm	8mm	10mm	12mm	8mm	10mm	12mm
1)S=3000 rpm  F=700 mm/min	1)S=3000 rpm  F=700 mm/min	1)S=3000 rpm  F=700 mm/min	1)S=1600 rpm  F=400 mm/min	1)S=1600 rpm  F=400 mm/min	1)S=1600 rpm  F=400 mm/min	1)S=900 rpm  F=300 mm/min	1)S=900 rpm  F=300 mm/min	1)S=900 rpm  F=300 mm/min
2)S=3000 rpm  F=900 mm/min	2)S=3000 rpm  F=900 mm/min	2)S=3000 rpm  F=900 mm/min	2)S=1600 rpm  F=700 mm/min	2)S=1600 rpm  F=700 mm/min	2)S=1600 rpm  F=700 mm/min	2)S=900 rpm  F=500 mm/min	2)S=900 rpm  F=500 mm/min	2)S=900 rpm  F=500 mm/min
3)S=3000 rpm  F=1100 mm/min	3)S=3000 rpm  F=1100 mm/min	3)S=3000 rpm  F=1100 mm/min	3)S=1600 rpm  F=1000 mm/min	3)S=1600 rpm  F=1000 mm/min	3)S=1600 rpm  F=1000 mm/min	3)S=900 rpm  F=700 mm/min	3)S=900 rpm  F=700 mm/min	3)S=900 rpm  F=700 mm/min
4)S=4000 rpm  F=700 mm/min	4)S=4000 rpm  F=700 mm/min	4)S=4000 rpm  F=700 mm/min	4)S=2000 rpm  F=400 mm/min	4)S=2000 rpm  F=400 mm/min	4)S=2000 rpm  F=400 mm/min	4)S=1500 rpm  F=300 mm/min	4)S=1500 rpm  F=300 mm/min	4)S=1500 rpm  F=300 mm/min
5)S=4000 rpm  F=900 mm/min	5)S=4000 rpm  F=900 mm/min	5)S=4000 rpm  F=900 mm/min	5)S=2000 rpm  F=700 mm/min	5)S=2000 rpm  F=700 mm/min	5)S=2000 rpm  F=700 mm/min	5)S=1500 rpm  F=500 mm/min	5)S=1500 rpm  F=500 mm/min	5)S=1500 rpm  F=500 mm/min
6)S=4000 rpm  F=1100 mm/min	6)S=4000 rpm  F=1100 mm/min	6)S=4000 rpm  F=1100 mm/min	6)S=2000 rpm  F=1000 mm/min	6)S=2000 rpm  F=1000 mm/min	6)S=2000 rpm  F=1000 mm/min	6)S=1500 rpm  F=700 mm/min	6)S=1500 rpm  F=700 mm/min	6)S=1500 rpm  F=700 mm/min
7)S=5000 rpm  F=700 mm/min	7)S=5000 rpm  F=700 mm/min	7)S=5000 rpm  F=700 mm/min	7)S=2400 rpm  F=400 mm/min	7)S=2400 rpm  F=400 mm/min	7)S=2400 rpm  F=400 mm/min	7)S=2100 rpm  F=300 mm/min	7)S=2100 rpm  F=300 mm/min	7)S=2100 rpm  F=300 mm/min
8)S=5000 rpm  F=900 mm/min	8)S=5000 rpm  F=900 mm/min	8)S=5000 rpm  F=900 mm/min	8)S=2400 rpm  F=700 mm/min	8)S=2400 rpm  F=700 mm/min	8)S=2400 rpm  F=700 mm/min	8)S=2100 rpm  F=500 mm/min	8)S=2100 rpm  F=500 mm/min	8)S=2100 rpm  F=500 mm/min
9)S=5000 rpm  F=1100 mm/min	9)S=5000 rpm  F=1100 mm/min	9)S=5000 rpm  F=1100 mm/min	9)S=2400 rpm  F=1000 mm/min	9)S=2400 rpm  F=1000 mm/min	9)S=2400 rpm  F=1000 mm/min	9)S=2100 rpm  F=700 mm/min	9)S=2100 rpm  F=700 mm/min	9)S=2100 rpm  F=700 mm/min

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΟΠΗΣ

Εικόνα 42. Πίνακας συνθηκών κοπής

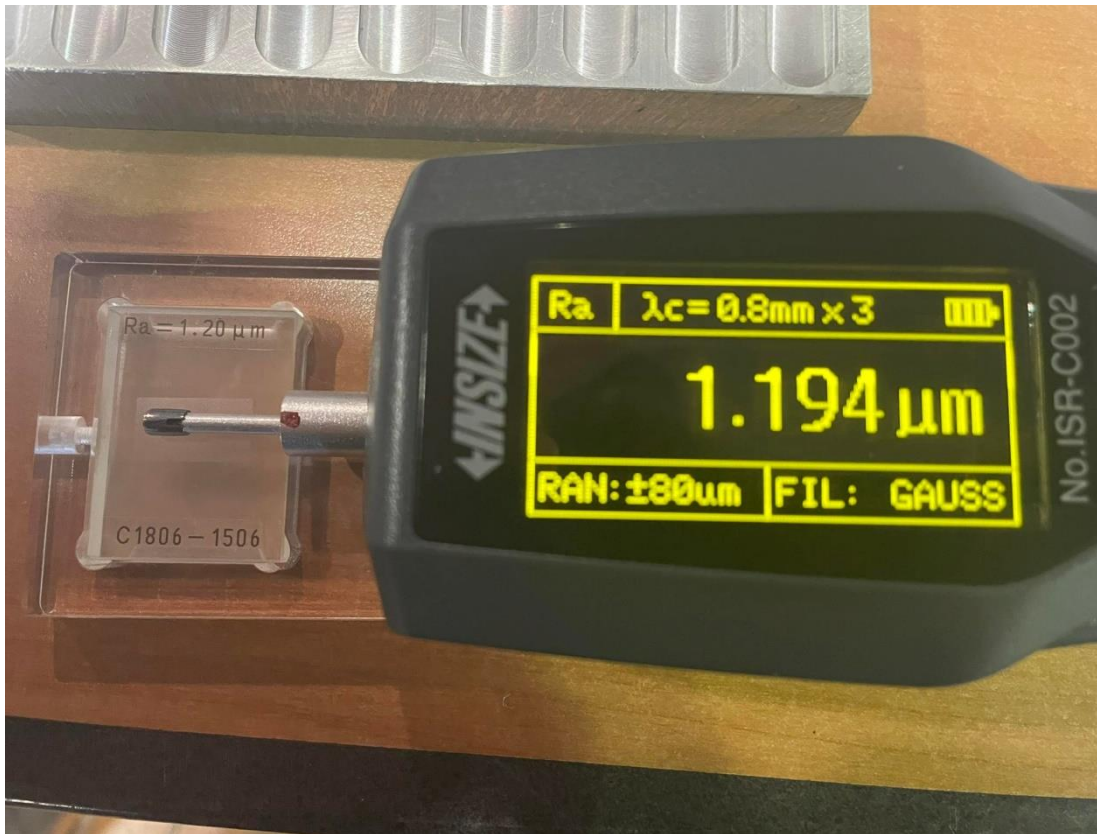
### 3.1.1 Παρουσίαση τραχυμέτρου και λειτουργία

Στο τέλος των κατεργασιών και αφού τα κομμάτια μας είναι έτοιμα, φτάνουμε στο σημαντικότερο μέρος του πειράματος που θα μας δώσει τα συμπεράσματα που πρέπει να πάρουμε. Οι μετρήσεις που πρέπει να κάνουμε θα πραγματοποιηθούν με την βοήθεια του τραχυμέτρου, το οποίο βλέπουμε στις εικόνες 43, 44, 45 και 46. Το τραχύμετρο είναι ένα όργανο το οποίο μετράει την τραχύτητα μίας επιφάνειας. Το όργανο αυτό μοιάζει με χειριστήριο, το οποίο έχει στο κέντρο του ένα καντράν, όπου φαίνονται οι ενδείξεις και στην άκρη του έναν δείκτη, με τον οποίο παίρνουμε τις μετρήσεις. Ο σωστός τρόπος μέτρησης είναι να ακουμπάς το τραχύμετρο σε μια επιφάνεια ίσου ύψους με το κομμάτι μας, ώστε αυτό να είναι σταθερό κατά την διάρκεια της μέτρησης. Η μέτρηση πραγματοποιείται με την κίνηση του δείκτη αρχικά μπροστά και έπειτα πίσω στην επιφάνεια. Όταν τελειώσει αυτή η κίνηση κάνει ένα χαρακτηριστικό ήχο και μας δίνει την τιμή της μέτρησης στο καντράν. Το σύμβολο της τραχύτητας είναι το  $R_a$  και η μονάδα μέτρησης στο τραχύμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το  $\mu\text{m}$  (μικρόμετρο). Στο κάθε κομμάτι έχουμε 27 κοπές και στο σύνολο έχουμε τρία κομμάτια. Τα καναλάκια που δημιουργήθηκαν είναι σύνολο 81. Στο κάθε καναλάκι πήραμε 5 μετρήσεις κατά μήκος τους και από αυτές βγήκε ο μέσος όρος για το κάθε ένα από αυτά. Στο σύνολο δηλαδή πάρθηκαν 405 μετρήσεις και βγήκαν 81 μέσοι όροι τιμών τραχύτητας.

Παρακάτω έχουμε φωτογραφικό υλικό από το τραχύμετρο στην θήκη του και κατά την διάρκεια των μετρήσεων.



Εικόνα 43. Τραχύμετρο στην θήκη του



**Εικόνα 44. Δοκιμή, αν το τραχύμετρο μετράει σωστά στο δοκιμαστικό πλακίδιο**



Εικόνα 45. Ένδειξη του τραχυμέτρου όταν μετράει





Εικόνα 46. Τραχύμετρο κατά την διάρκεια μέτρησης στο κομμάτι αλουμινίου 7075 μετά την κατεργασία

## Κεφάλαιο 4 – Τελικές επισημάνσεις

### 4.1 Αποτελέσματα

Αφού πήραμε και τις μετρήσεις απο όλα τα κομμάτια με την βοήθεια του τραχυμέτρου απο όλα τα κομμάτια, έχουμε τα εξείς αποτελέσματα:

α) Για το αλουμίνιο 7075

#### AL 7075

	8mm	10mm	12mm
<u>1)</u>	S=3000,F=700 1)R <sub>α1</sub> =1,165μm 2)R <sub>α2</sub> =1,309μm 3)R <sub>α3</sub> =1,365μm 4)R <sub>α4</sub> =1,383μm 5)R <sub>α5</sub> =1,444μm 6)R <sub>α</sub> =1,333μm	S=3000,F=700 1)R <sub>α1</sub> =0,917μm 2)R <sub>α2</sub> =0,721μm 3)R <sub>α3</sub> =1,017μm 4)R <sub>α4</sub> =1,029μm 5)R <sub>α5</sub> =1,007μm 6)R <sub>α</sub> =0,938μm	S=3000,F=700 1)R <sub>α1</sub> =0,539μm 2)R <sub>α2</sub> =0,656μm 3)R <sub>α3</sub> =1,282μm 4)R <sub>α4</sub> =1,382μm 5)R <sub>α5</sub> =0,866μm 6)R <sub>α</sub> =0,945μm
<u>2)</u>	S=3000,F=900 1)R <sub>α1</sub> =1,625μm 2)R <sub>α2</sub> =1,600μm 3)R <sub>α3</sub> =1,688μm 4)R <sub>α4</sub> =1,726μm 5)R <sub>α5</sub> =1,615μm 6)R <sub>α</sub> =1,650μm	S=3000,F=900 1)R <sub>α1</sub> =1,059μm 2)R <sub>α2</sub> =1,124μm 3)R <sub>α3</sub> =0,923μm 4)R <sub>α4</sub> =1,180μm 5)R <sub>α5</sub> =1,085μm 6)R <sub>α</sub> =1,074μm	S=3000,F=900 1)R <sub>α1</sub> =0,775μm 2)R <sub>α2</sub> =0,881μm 3)R <sub>α3</sub> =0,951μm 4)R <sub>α4</sub> =1,010μm 5)R <sub>α5</sub> =1,718μm 6)R <sub>α</sub> =1,067μm
<u>3)</u>	S=3000,F=1100 1)R <sub>α1</sub> =1,799μm 2)R <sub>α2</sub> =1,882μm 3)R <sub>α3</sub> =1,600μm 4)R <sub>α4</sub> =2,064μm 5)R <sub>α5</sub> =1,966μm 6)R <sub>α</sub> =1,862μm	S=3000,F=1100 1)R <sub>α1</sub> =1,504μm 2)R <sub>α2</sub> =1,625μm 3)R <sub>α3</sub> =1,319μm 4)R <sub>α4</sub> =1,284μm 5)R <sub>α5</sub> =1,440μm 6)R <sub>α</sub> =1,434μm	S=3000,F=1100 1)R <sub>α1</sub> =1,263μm 2)R <sub>α2</sub> =1,397μm 3)R <sub>α3</sub> =1,778μm 4)R <sub>α4</sub> =2,248μm 5)R <sub>α5</sub> =2,466μm 6)R <sub>α</sub> =1,830μm



<u>4)</u>	S=4000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =1,345μm 2)R <sub>a2</sub> =1,486μm 3)R <sub>a3</sub> =1,290μm 4)R <sub>a4</sub> =1,337μm 5)R <sub>a5</sub> =1,306μm 6)R <sub>a</sub> =1,352μm	S=4000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,755μm 2)R <sub>a2</sub> =0,837μm 3)R <sub>a3</sub> =0,955μm 4)R <sub>a4</sub> =1,004μm 5)R <sub>a5</sub> =1,083μm 6)R <sub>a</sub> =0,926μm	S=4000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,495μm 2)R <sub>a2</sub> =0,520μm 3)R <sub>a3</sub> =0,510μm 4)R <sub>a4</sub> =0,538μm 5)R <sub>a5</sub> =0,560μm 6)R <sub>a</sub> =0,524μm
<u>5)</u>	S=4000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =1,473μm 2)R <sub>a2</sub> =1,613μm 3)R <sub>a3</sub> =1,600μm 4)R <sub>a4</sub> =1,525μm 5)R <sub>a5</sub> =1,738μm 6)R <sub>a</sub> =1,589μm	S=4000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =0,884μm 2)R <sub>a2</sub> =0,980μm 3)R <sub>a3</sub> =1,005μm 4)R <sub>a4</sub> =0,998μm 5)R <sub>a5</sub> =1,150μm 6)R <sub>a</sub> =1,034μm	S=4000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =0,485μm 2)R <sub>a2</sub> =0,550μm 3)R <sub>a3</sub> =0,829μm 4)R <sub>a4</sub> =1,140μm 5)R <sub>a5</sub> =1,353μm 6)R <sub>a</sub> =0,871μm
<u>6)</u>	S=4000,F=1100 1)R <sub>a1</sub> =1,264μm 2)R <sub>a2</sub> =2,061μm 3)R <sub>a3</sub> =2,090μm 4)R <sub>a4</sub> =1,850μm 5)R <sub>a5</sub> =1,969μm 6)R <sub>a</sub> =1,846μm	S=4000,F=1100 1)R <sub>a1</sub> =1,039μm 2)R <sub>a2</sub> =1,180μm 3)R <sub>a3</sub> =1,224μm 4)R <sub>a4</sub> =1,268μm 5)R <sub>a5</sub> =1,252μm 6)R <sub>a</sub> =1,192μm	S=4000,F=1100 1)R <sub>a1</sub> =0,549μm 2)R <sub>a2</sub> =0,612μm 3)R <sub>a3</sub> =1,899μm 4)R <sub>a4</sub> =2,094μm 5)R <sub>a5</sub> =2,260μm 6)R <sub>a</sub> =1,482μm
<u>7)</u>	S=5000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =1,095μm 2)R <sub>a2</sub> =1,547μm 3)R <sub>a3</sub> =1,449μm 4)R <sub>a4</sub> =1,632μm 5)R <sub>a5</sub> =1,455μm 6)R <sub>a</sub> =1,435μm	S=5000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,831μm 2)R <sub>a2</sub> =0,792μm 3)R <sub>a3</sub> =0,876μm 4)R <sub>a4</sub> =0,982μm 5)R <sub>a5</sub> =1,038μm 6)R <sub>a</sub> =0,903μm	S=5000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,409μm 2)R <sub>a2</sub> =0,427μm 3)R <sub>a3</sub> =0,448μm 4)R <sub>a4</sub> =0,492μm 5)R <sub>a5</sub> =0,501μm 6)R <sub>a</sub> =0,455μm
<u>8)</u>	S=5000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =1,436μm 2)R <sub>a2</sub> =1,500μm 3)R <sub>a3</sub> =1,379μm	S=5000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =0,857μm 2)R <sub>a2</sub> =0,952μm 3)R <sub>a3</sub> =1,113μm	S=5000,F=900 1)R <sub>a1</sub> =0,478μm 2)R <sub>a2</sub> =0,523μm 3)R <sub>a3</sub> =0,628μm

	4) $R_{a4}=1,356\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,150\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,555\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,549\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,010\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,658\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,444\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,016\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,568\mu\text{m}$
<b>9)</b>	<b>S=5000,F=1100</b>	<b>S=5000,F=1100</b>	<b>S=5000,F=1100</b>
	1) $R_{a1}=1,343\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,869\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,512\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=1,461\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,920\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,753\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,429\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,008\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,708\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,667\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,012\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,016\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,658\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,180\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,798\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,511\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,997\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,957\mu\text{m}$

**β) Για τον εργαλειοχάλυβα ck60**

### CK60

	<b>8mm</b>	<b>10mm</b>	<b>12mm</b>
<b>1)</b>	<b>S=1600,F=400</b>	<b>S=1600,F=400</b>	<b>S=1600,F=400</b>
	1) $R_{a1}=1,504\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=2,550\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,301\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=1,074\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,973\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,701\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,286\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,771\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,886\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,115\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,618\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,908\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,362\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,766\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,874\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,268\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,935\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,930\mu\text{m}$
<b>2)</b>	<b>S=1600,F=700</b>	<b>S=1600,F=700</b>	<b>S=1600,F=700</b>
	1) $R_{a1}=1,359\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,917\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,374\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=1,542\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=2,185\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,884\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,485\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,940\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,025\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,629\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,846\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,044\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,729\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,793\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,107\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,548\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,936\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,086\mu\text{m}$

<u>3)</u>	S=1600,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =1,466μm 2)R <sub>a2</sub> =1,587μm 3)R <sub>a3</sub> =1,597μm 4)R <sub>a4</sub> =1,721μm 5)R <sub>a5</sub> =1,682μm 6)R <sub>ā</sub> =1,610μm	S=1600,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =1,703μm 2)R <sub>a2</sub> =1,851μm 3)R <sub>a3</sub> =2,344μm 4)R <sub>a4</sub> =2,212μm 5)R <sub>a5</sub> =2,113μm 6)R <sub>ā</sub> =2,044μm	S=1600,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =1,663μm 2)R <sub>a2</sub> =0,854μm 3)R <sub>a3</sub> =1,742μm 4)R <sub>a4</sub> =1,503μm 5)R <sub>a5</sub> =1,681μm 6)R <sub>ā</sub> =1,488μm
<u>4)</u>	S=2000,F=400 1)R <sub>a1</sub> =0,920μm 2)R <sub>a2</sub> =1,112μm 3)R <sub>a3</sub> =1,310μm 4)R <sub>a4</sub> =1,291μm 5)R <sub>a5</sub> =1,373μm 6)R <sub>ā</sub> =1,201μm	S=2000,F=400 1)R <sub>a1</sub> =2,358μm 2)R <sub>a2</sub> =1,556μm 3)R <sub>a3</sub> =1,371μm 4)R <sub>a4</sub> =1,367μm 5)R <sub>a5</sub> =1,468μm 6)R <sub>ā</sub> =1,624μm	S=2000,F=400 1)R <sub>a1</sub> =1,357μm 2)R <sub>a2</sub> =0,589μm 3)R <sub>a3</sub> =0,727μm 4)R <sub>a4</sub> =0,614μm 5)R <sub>a5</sub> =0,790μm 6)R <sub>ā</sub> =0,815μm
<u>5)</u>	S=2000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,858μm 2)R <sub>a2</sub> =1,292μm 3)R <sub>a3</sub> =1,508μm 4)R <sub>a4</sub> =1,968μm 5)R <sub>a5</sub> =1,977μm 6)R <sub>ā</sub> =1,520μm	S=2000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =2,327μm 2)R <sub>a2</sub> =1,742μm 3)R <sub>a3</sub> =1,515μm 4)R <sub>a4</sub> =1,422μm 5)R <sub>a5</sub> =1,428μm 6)R <sub>ā</sub> =1,686μm	S=2000,F=700 1)R <sub>a1</sub> =1,346μm 2)R <sub>a2</sub> =0,818μm 3)R <sub>a3</sub> =0,789μm 4)R <sub>a4</sub> =0,931μm 5)R <sub>a5</sub> =0,929μm 6)R <sub>ā</sub> =0,962μm
<u>6)</u>	S=2000,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =0,984μm 2)R <sub>a2</sub> =1,547μm 3)R <sub>a3</sub> =1,544μm 4)R <sub>a4</sub> =1,925μm 5)R <sub>a5</sub> =1,809μm 6)R <sub>ā</sub> =1,561μm	S=2000,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =2,150μm 2)R <sub>a2</sub> =1,747μm 3)R <sub>a3</sub> =1,834μm 4)R <sub>a4</sub> =1,870μm 5)R <sub>a5</sub> =1,873μm 6)R <sub>ā</sub> =1,890μm	S=2000,F=1000 1)R <sub>a1</sub> =1,424μm 2)R <sub>a2</sub> =0,834μm 3)R <sub>a3</sub> =1,089μm 4)R <sub>a4</sub> =1,224μm 5)R <sub>a5</sub> =1,255μm 6)R <sub>ā</sub> =1,159μm
<u>7)</u>	S=2400,F=400 1)R <sub>a1</sub> =0,641μm 2)R <sub>a2</sub> =0,485μm 3)R <sub>a3</sub> =1,250μm	S=2400,F=400 1)R <sub>a1</sub> =2,174μm 2)R <sub>a2</sub> =1,087μm 3)R <sub>a3</sub> =1,216μm	S=2400,F=400 1)R <sub>a1</sub> =1,199μm 2)R <sub>a2</sub> =0,469μm 3)R <sub>a3</sub> =0,527μm

	4) $R_{a4}=1,087\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,095\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,478\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,138\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,111\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,797\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=0,920\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,336\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,694\mu\text{m}$
<b>8)</b>	<b>S=2400,F=700</b>	<b>S=2400,F=700</b>	<b>S=2400,F=700</b>
	1) $R_{a1}=0,779\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=2,270\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,200\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=0,728\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,744\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,589\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,055\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,306\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,644\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,297\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,324\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,732\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,519\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,309\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,759\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,075\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,590\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,800\mu\text{m}$
<b>9)</b>	<b>S=2400,F=1000</b>	<b>S=2400,F=1000</b>	<b>S=2400,F=1000</b>
	1) $R_{a1}=1,009\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=2,294\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,368\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=1,062\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,608\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,769\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,478\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,516\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,855\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,560\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,528\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,208\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,575\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,413\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,533\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,336\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,670\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,144\mu\text{m}$

γ) Για τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4

#### INOX GX4CrNi13-4

	8mm	10mm	12mm
<b>1)</b>	<b>S=900,F=300</b>	<b>S=900,F=300</b>	<b>S=900,F=300</b>
	1) $R_{a1}=0,624\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,854\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,492\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=0,864\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,374\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,604\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=0,927\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,468\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,617\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,014\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,404\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,641\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=0,911\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,280\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,059\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=0,876\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,476\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,682\mu\text{m}$



<u>2)</u>	S=900,F=500 1)R <sub>a1</sub> =1,376μm 2)R <sub>a2</sub> =1,191μm 3)R <sub>a3</sub> =1,518μm 4)R <sub>a4</sub> =1,454μm 5)R <sub>a5</sub> =1,475μm 6)R <sub>ā</sub> =1,402μm	S=900,F=500 1)R <sub>a1</sub> =2,521μm 2)R <sub>a2</sub> =1,536μm 3)R <sub>a3</sub> =2,053μm 4)R <sub>a4</sub> =1,950μm 5)R <sub>a5</sub> =1,854μm 6)R <sub>ā</sub> =1,982μm	S=900,F=500 1)R <sub>a1</sub> =1,028μm 2)R <sub>a2</sub> =1,097μm 3)R <sub>a3</sub> =1,154μm 4)R <sub>a4</sub> =1,302μm 5)R <sub>a5</sub> =1,246μm 6)R <sub>ā</sub> =1,165μm
<u>3)</u>	S=900,F=700 1)R <sub>a1</sub> =2,083μm 2)R <sub>a2</sub> =1,553μm 3)R <sub>a3</sub> =1,848μm 4)R <sub>a4</sub> =1,786μm 5)R <sub>a5</sub> =1,935μm 6)R <sub>ā</sub> =1,841μm	S=900,F=700 1)R <sub>a1</sub> =2,492μm 2)R <sub>a2</sub> =1,748μm 3)R <sub>a3</sub> =2,295μm 4)R <sub>a4</sub> =2,451μm 5)R <sub>a5</sub> =2,432μm 6)R <sub>ā</sub> =2,283μm	S=900,F=700 1)R <sub>a1</sub> =1,850μm 2)R <sub>a2</sub> =1,868μm 3)R <sub>a3</sub> =1,315μm 4)R <sub>a4</sub> =1,792μm 5)R <sub>a5</sub> =1,770μm 6)R <sub>ā</sub> =1,719μm
<u>4)</u>	S=1500,F=300 1)R <sub>a1</sub> =0,454μm 2)R <sub>a2</sub> =0,511μm 3)R <sub>a3</sub> =0,647μm 4)R <sub>a4</sub> =0,665μm 5)R <sub>a5</sub> =0,692μm 6)R <sub>ā</sub> =0,593μm	S=1500,F=300 1)R <sub>a1</sub> =1,563μm 2)R <sub>a2</sub> =1,134μm 3)R <sub>a3</sub> =1,132μm 4)R <sub>a4</sub> =1,189μm 5)R <sub>a5</sub> =1,150μm 6)R <sub>ā</sub> =1,233μm	S=1500,F=300 1)R <sub>a1</sub> =0,499μm 2)R <sub>a2</sub> =0,420μm 3)R <sub>a3</sub> =0,602μm 4)R <sub>a4</sub> =0,680μm 5)R <sub>a5</sub> =0,569μm 6)R <sub>ā</sub> =0,554μm
<u>5)</u>	S=1500,F=500 1)R <sub>a1</sub> =0,620μm 2)R <sub>a2</sub> =0,820μm 3)R <sub>a3</sub> =0,961μm 4)R <sub>a4</sub> =0,904μm 5)R <sub>a5</sub> =0,803μm 6)R <sub>ā</sub> =0,821μm	S=1500,F=500 1)R <sub>a1</sub> =1,945μm 2)R <sub>a2</sub> =1,661μm 3)R <sub>a3</sub> =1,491μm 4)R <sub>a4</sub> =1,421μm 5)R <sub>a5</sub> =1,344μm 6)R <sub>ā</sub> =1,572μm	S=1500,F=500 1)R <sub>a1</sub> =0,617μm 2)R <sub>a2</sub> =0,792μm 3)R <sub>a3</sub> =0,614μm 4)R <sub>a4</sub> =0,683μm 5)R <sub>a5</sub> =1,002μm 6)R <sub>ā</sub> =0,741μm
<u>6)</u>	S=1500,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,932μm 2)R <sub>a2</sub> =1,204μm 3)R <sub>a3</sub> =1,302μm	S=1500,F=700 1)R <sub>a1</sub> =1,687μm 2)R <sub>a2</sub> =1,733μm 3)R <sub>a3</sub> =1,770μm	S=1500,F=700 1)R <sub>a1</sub> =0,813μm 2)R <sub>a2</sub> =0,865μm 3)R <sub>a3</sub> =1,163μm

	4) $R_{a4}=1,290\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,810\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,117\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,260\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,787\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,229\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,197\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,767\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,037\mu\text{m}$
<b>7)</b>	<b>S=2100,F=300</b>	<b>S=2100,F=300</b>	<b>S=2100,F=300</b>
	1) $R_{a1}=0,627\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,075\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,240\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=0,506\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,843\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,218\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=0,712\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,770\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,488\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=0,661\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,633\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,563\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=0,620\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,622\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,567\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=0,625\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,788\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,415\mu\text{m}$
<b>8)</b>	<b>S=2100,F=500</b>	<b>S=2100,F=500</b>	<b>S=2100,F=500</b>
	1) $R_{a1}=0,614\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,573\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,269\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=0,643\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,137\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,378\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=0,989\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,261\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,551\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,078\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,159\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,644\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=0,939\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,178\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,591\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=0,851\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,261\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,486\mu\text{m}$
<b>9)</b>	<b>S=2100,F=700</b>	<b>S=2100,F=700</b>	<b>S=2100,F=700</b>
	1) $R_{a1}=1,013\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=1,684\mu\text{m}$	1) $R_{a1}=0,384\mu\text{m}$
	2) $R_{a2}=1,033\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=1,231\mu\text{m}$	2) $R_{a2}=0,371\mu\text{m}$
	3) $R_{a3}=1,264\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=1,485\mu\text{m}$	3) $R_{a3}=0,581\mu\text{m}$
	4) $R_{a4}=1,162\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=1,404\mu\text{m}$	4) $R_{a4}=0,761\mu\text{m}$
	5) $R_{a5}=1,254\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=1,361\mu\text{m}$	5) $R_{a5}=0,850\mu\text{m}$
	6) $R_{\bar{a}}=1,145\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=1,433\mu\text{m}$	6) $R_{\bar{a}}=0,589\mu\text{m}$

Αυτές είναι οι τιμές που πήραμε από το πείραμα. Όπως προαναφέρθηκε 405 μετρήσεις (81x5) κατά μήκος όλων το καναλιών και 81 (81x1) μέσοι όροι. Να αναφέρουμε τέλος, ότι ο λόγος που πήραμε πολλές μετρήσεις στο κάθε κανάλι είναι ότι δεν έχουμε ίδια τραχύτητα σε όλη την επιφάνεια, για αυτό βγάλαμε και μέσο όρο. Στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων θα δείξουμε επίσης τα κονδύλια όπως ήταν στην αρχή και πως κατέληξαν στο τέλος για να καταλάβουμε αν είχαν μικρή, μεγάλη ή σχεδόν καθόλου καταπόνηση, γεγονός το οποίο θα σηζητηθεί περισσότερο στα συμπεράσματα.

Παρακάτω θα ακολουθήσει φωτογραφικό υλικό με τα κονδύλια πριν και μετά την κατεργασία, ακολουθούν οι φωτογραφίες 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 και 55 όπου έχουμε για τα 9 κονδύλια που χρησιμοποιήσαμε στις κατεργασίες μας.

Ξεκινάμε με τα κονδύλια αλουμινίου πριν και μετά την κατεργασία στο αλουμινίου 7075.



(α)



(β)

**Εικόνα 47. Εικόνα όπου: α) κονδύλι αλουμινίου 8mm πριν την κατεργασία  
β) κονδύλι αλουμινίου 8mm μετά την κατεργασία**



(α)

(β)

**Εικόνα 48. Εικόνα όπου: α) κονδύλι αλουμινίου 10mm πριν την κατεργασία  
β) κονδύλι αλουμινίου 10mm μετά την κατεργασία**





(α)



(β)

**Εικόνα 49. Εικόνα όπου: α) κονδύλι αλουμινίου 12mm πριν την κατεργασία  
β) κονδύλι αλουμινίου 12mm μετά την κατεργασία**

Συνεχίζουμε με τα κονδύλια καρβιδίου πριν και μετά την κατεργασία στον εργαλειογάλυβα ck60.



(α)



(β)

**Εικόνα 50. Εικόνα όπου: α) κονδύλι καρβιδίου 8mm πριν την κατεργασία στον ck60  
β) κονδύλι καρβιδίου 8mm μετά την κατεργασία στον ck60**





(α)



(β)

**Εικόνα 51. Εικόνα όπou: α) κονδύλι καρβιδίου 10mm πριν την κατεργασία στον ck60  
β) κονδύλι καρβιδίου 10mm μετά την κατεργασία στον ck60**



(α)

(β)

**Εικόνα 52. Εικόνα όπου: α) κονδύλι καρβιδίου 12mm πριν την κατεργασία στον ck60  
β) κονδύλι καρβιδίου 12mm μετά την κατεργασία στον ck60**



Συνεχίζουμε με τα κονδύλια καρβιδίου πριν και μετά την κατεργασία στον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4.



(α)



(β)

**Εικόνα 53. Εικόνα όπου: α)κονδύλι καρβιδίου 8mm πριν την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4  
β) κονδύλι καρβιδίου 8mm μετά την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4**





(α)



(β)

**Εικόνα 54. Εικόνα όπου: α) κονδύλι καρβιδίου 10mm πριν την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4**

**β) κονδύλι καρβιδίου 10mm μετά την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4**





(α)



(β)

**Εικόνα 55. Εικόνα όπου: α) κονδύλι καρβιδίου 12mm πριν την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4**

**β) κονδύλι καρβιδίου 12mm μετά την κατεργασία στον inox GX4CrNi13-4**

Τέλος, στα αποτελέσματα πρέπει να δείξουμε τα κομμάτια μετά τις κατεργασίες, όπως έχουμε στις φωτογραφίες 56, 57 και 58. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε κανονικά σαπουνέλαιο κατά την διάρκεια των κατεργασιών. Παρακάτω θα προστεθεί φωτογραφικό υλικό απο τα τελικά κομμάτια.



**Εικόνα 56. Τελικό κομμάτι, αλουμίνιο 7075**





**Εικόνα 57. Τελικό κομμάτι, εργαλειοχάλυβας ck60**



**Εικόνα 58. Τελικό κομμάτι, ανοξείδωτος χάλυβας GX4CrNi13-4**

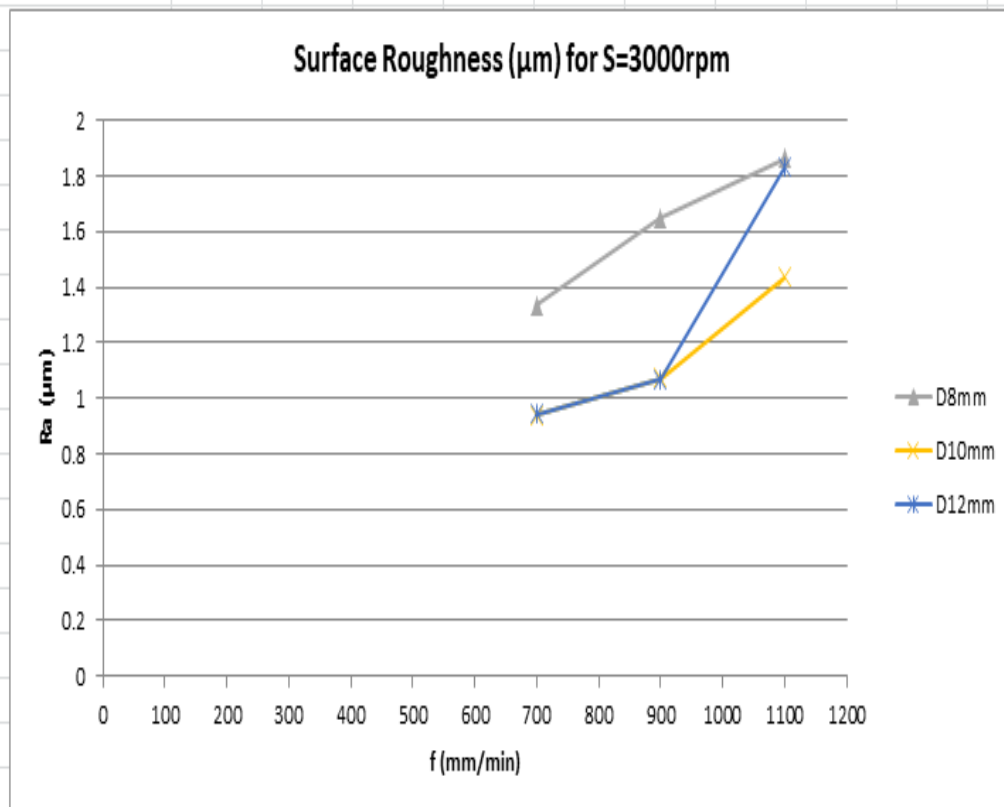
## 4.2 Διαγράμματα

Από τις τιμές των μετρήσεων παίρνουμε τους μέσους όρους που βγάλαμε για το κάθε υλικό. Με αυτές τις τιμές θα δημιουργήσουμε τρία διαγράμματα με βάση τις τρεις διαφορετικές τιμές των στροφών (rpm) που χρησιμοποιήθηκαν για το κάθε υλικό, άρα θα βγάλουμε σύνολο εννέα διαγράμματα, όπως θα δούμε στις εικόνες 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 και 67. Στην συνέχεια θα παραθέσουμε τα διαγράμματα αυτά με φωτογραφικό υλικό.

Ξεκινάμε με το αλουμίνιο 7075:

α) S=3000 rpm

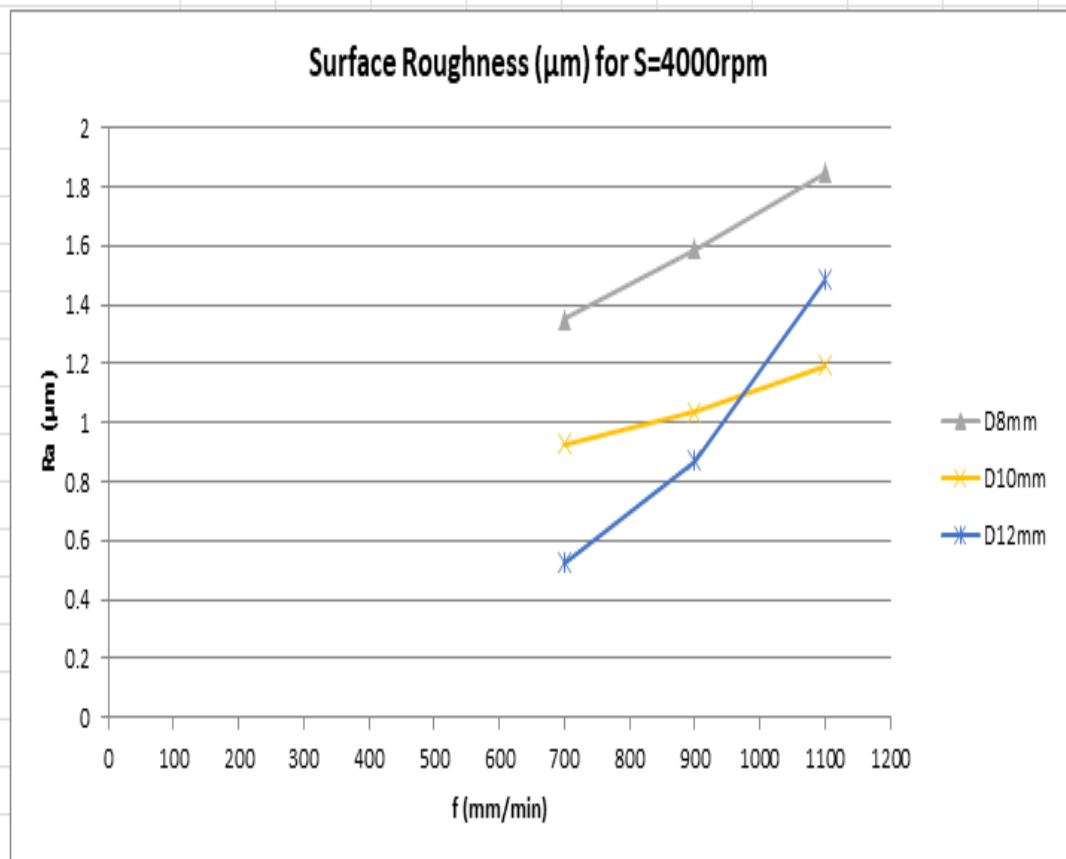
Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
700	1.333	0.938	0.945	
900	1.65	1.074	1.067	
1100	1.862	1.434	1.83	



Εικόνα 59. Διάγραμμα για το αλουμίνιο 7075 με S=3000rpm

β) S=4000 rpm

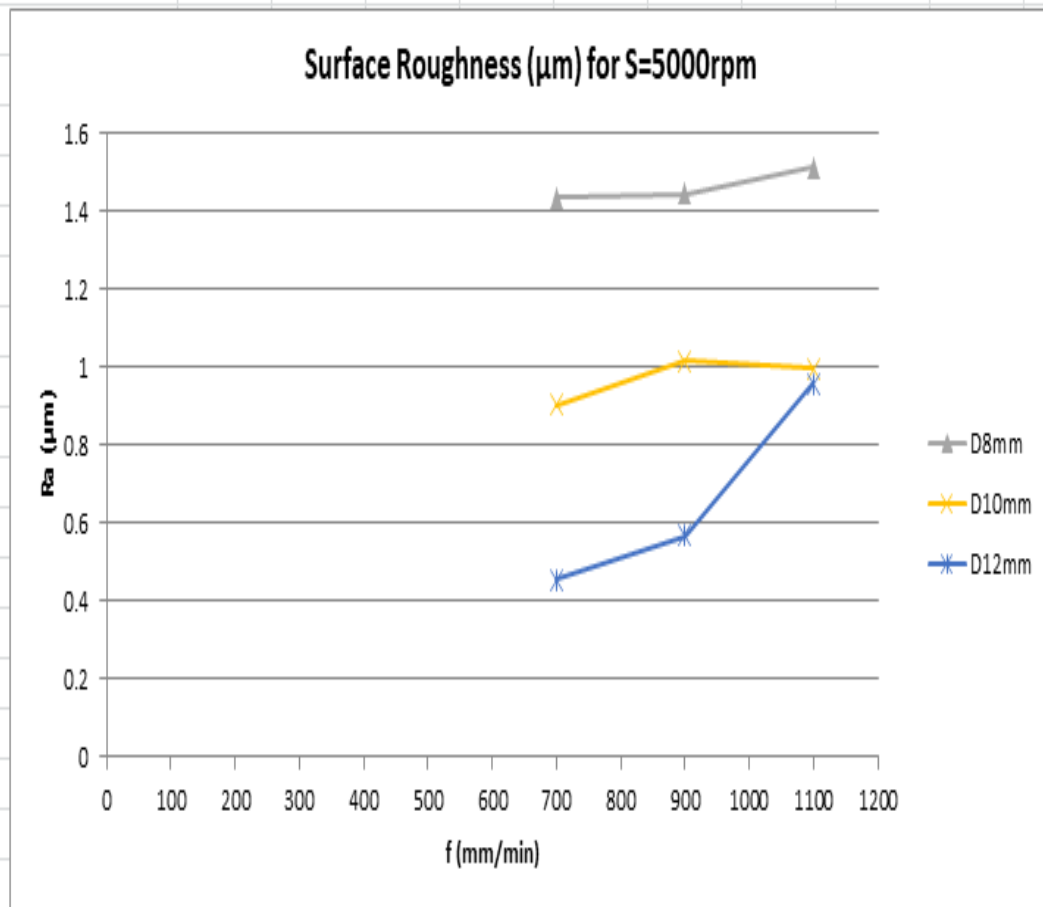
Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
700	1.352	0.926	0.524	
900	1.589	1.034	0.871	
1100	1.846	1.192	1.482	



Εικόνα 60. Διάγραμμα για το αλουμίνιο 7075 με S=4000rpm

γ) S=5000 rpm

Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
700	1.435	0.903	0.455	
900	1.444	1.016	0.568	
1100	1.511	0.997	0.957	



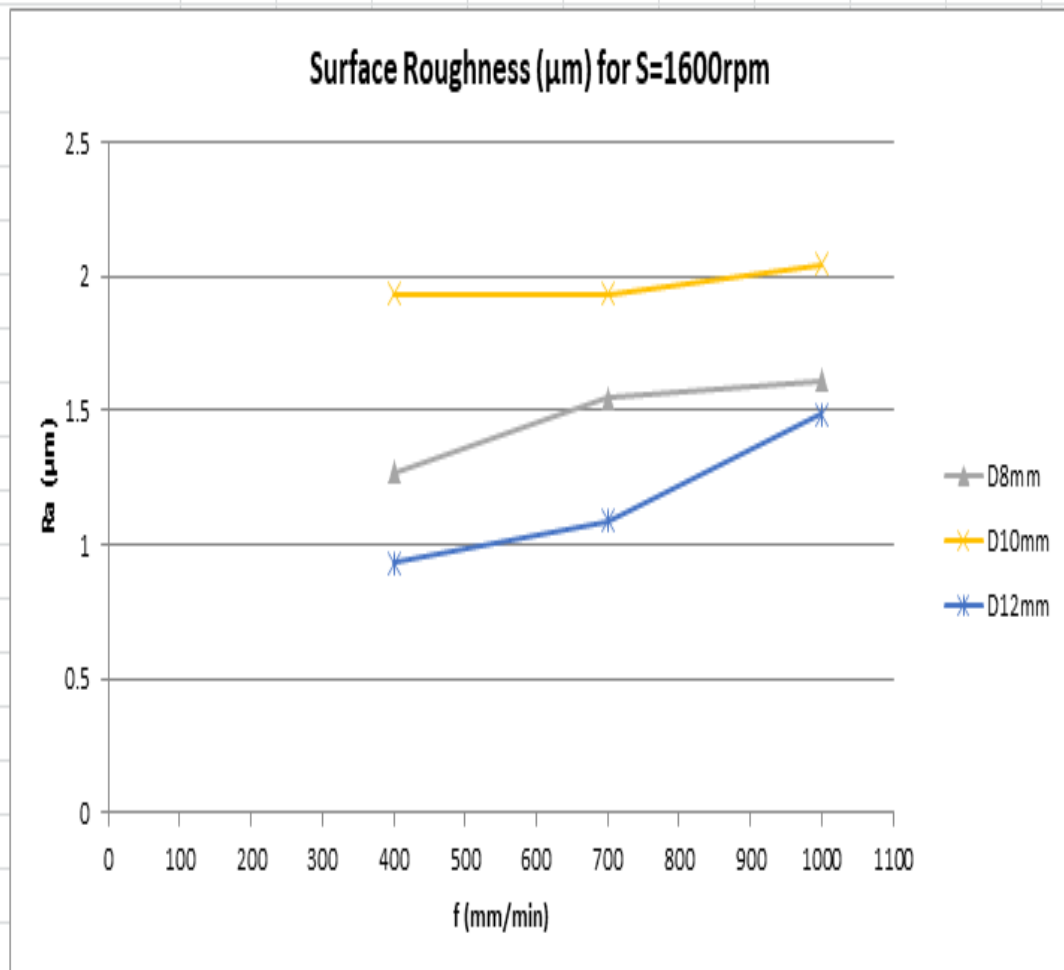
Εικόνα 61. Διάγραμμα για το αλουμίνιο 7075 με S=5000rpm



Συνεχίζουμε με τον εργαλειοχάλυβα ck60:

α) S=1600 rpm

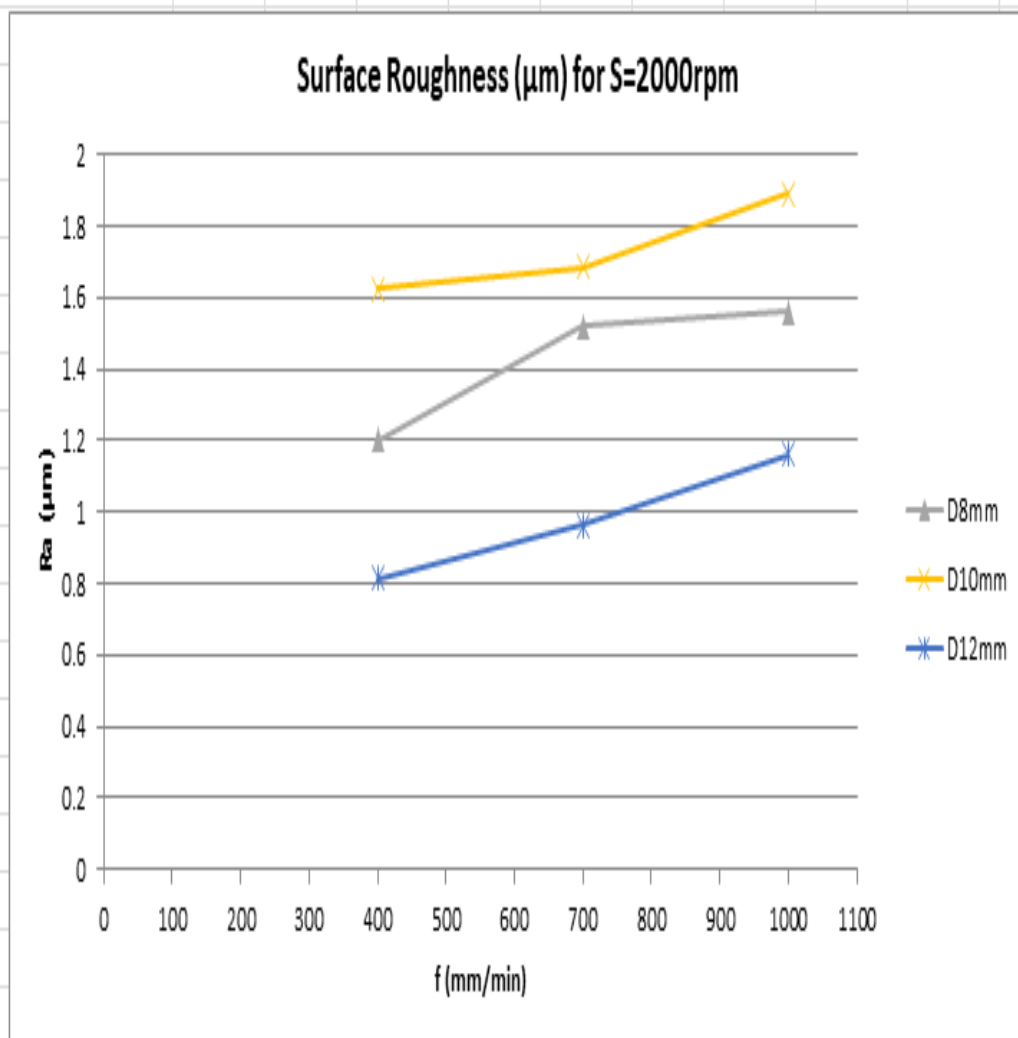
Ra(μm)										
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm							
400	1.268	1.935	0.93							
700	1.548	1.936	1.086							
1000	1.61	2.044	1.488							



Εικόνα 62. Διάγραμμα για τον εργαλειοχάλυβα ck60 με S=1600rpm

β) S=2000 rpm

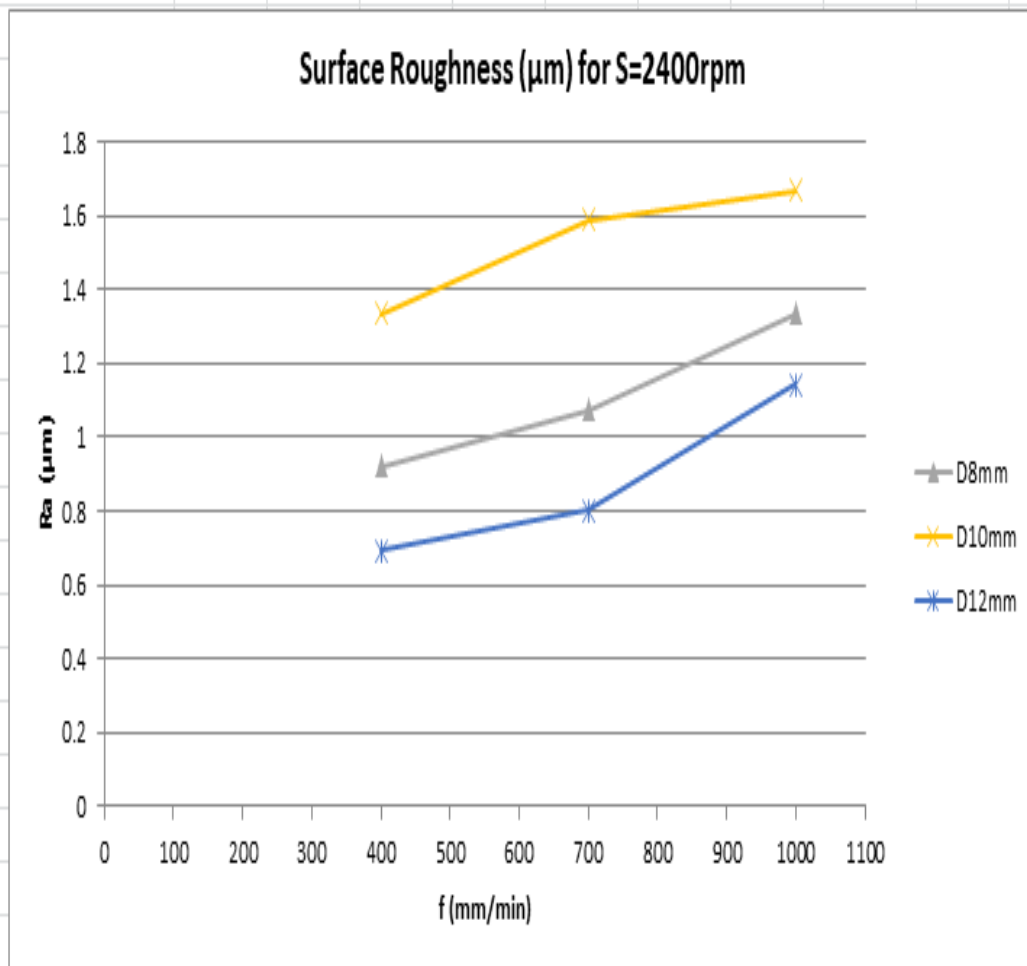
Ra(μm)									
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm						
400	1.201	1.624	0.815						
700	1.52	1.686	0.962						
1000	1.561	1.89	1.159						



Εικόνα 63. Διάγραμμα για τον εργαλειοχάλυβα ck60 με S=2000rpm

γ) S=2400 rpm

Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
	400	0.92	1.336	0.694
	700	1.075	1.59	0.8
	1000	1.336	1.67	1.144

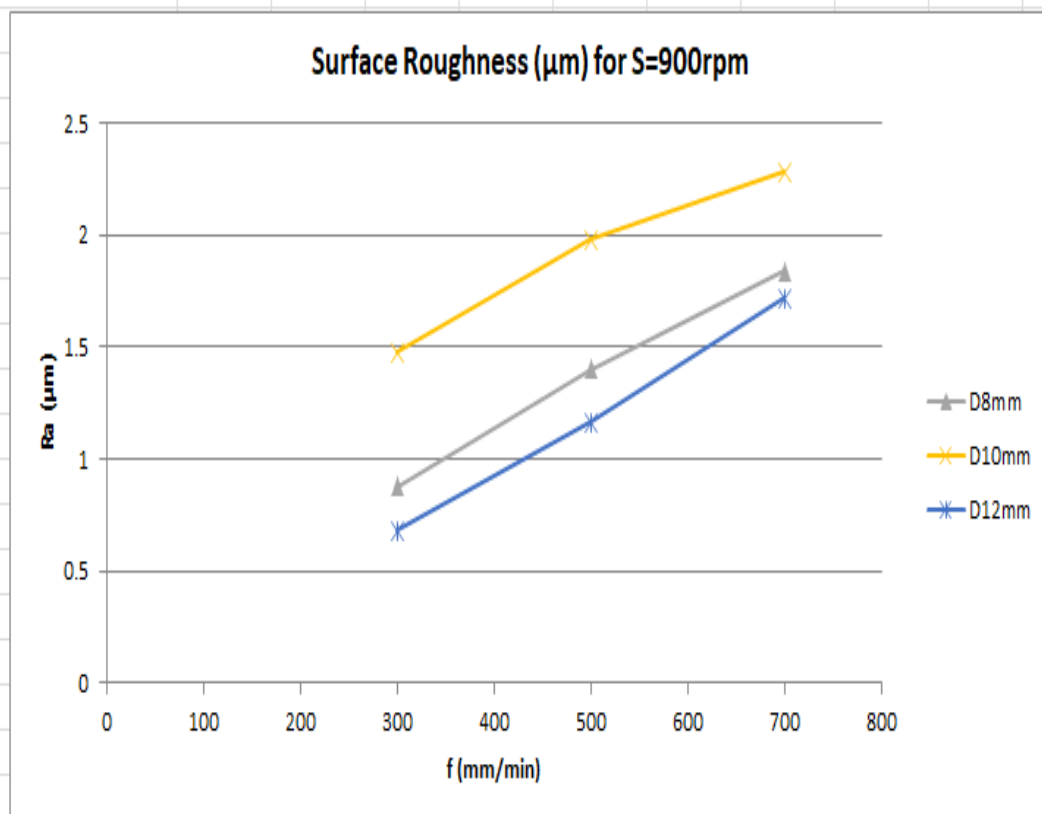


Εικόνα 64. Διάγραμμα για τον εργαλειοχάλοβα ck60 με S=2400rpm

Και τελειώνουμε με τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4 :

α) S=900 rpm

Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
300	0.876	1.476	0.682	
500	1.402	1.982	1.165	
700	1.841	2.283	1.719	

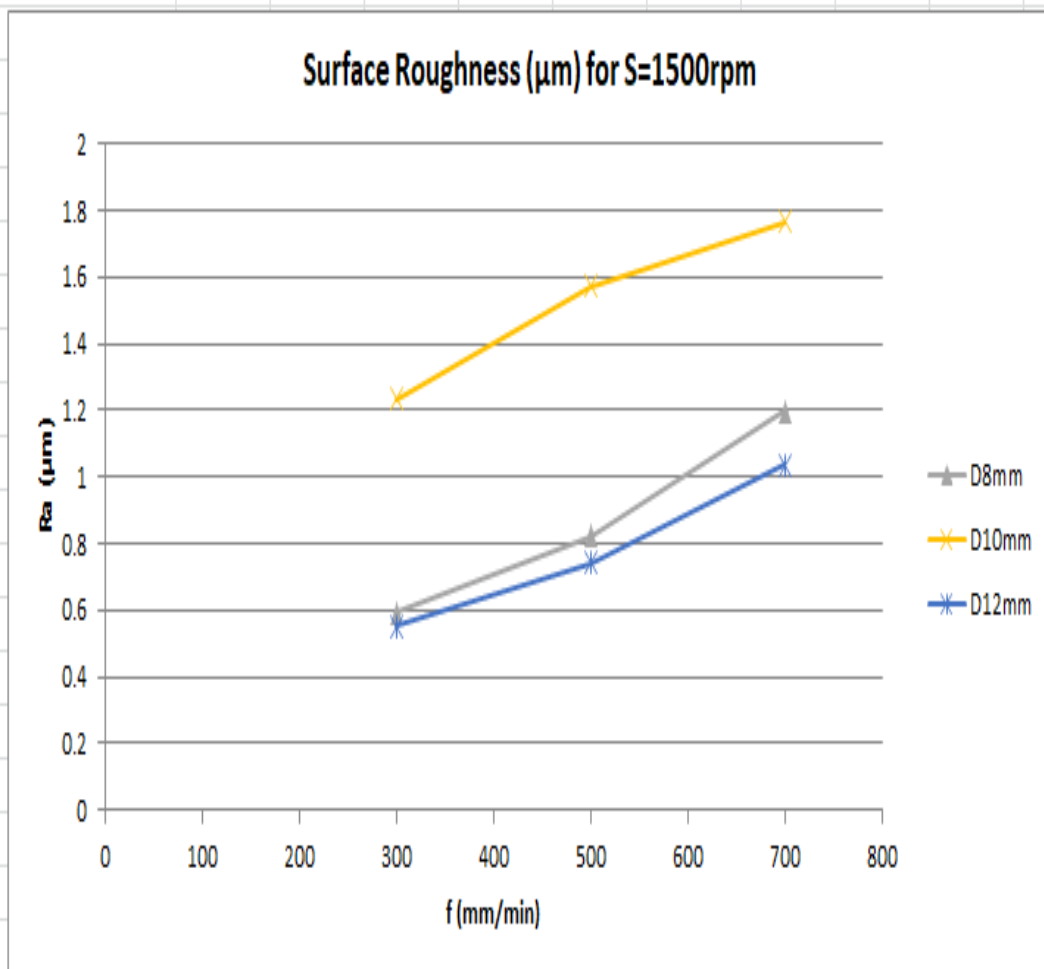


Εικόνα 65. Διάγραμμα για τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4 με S=900rpm

β) S=1500 rpm



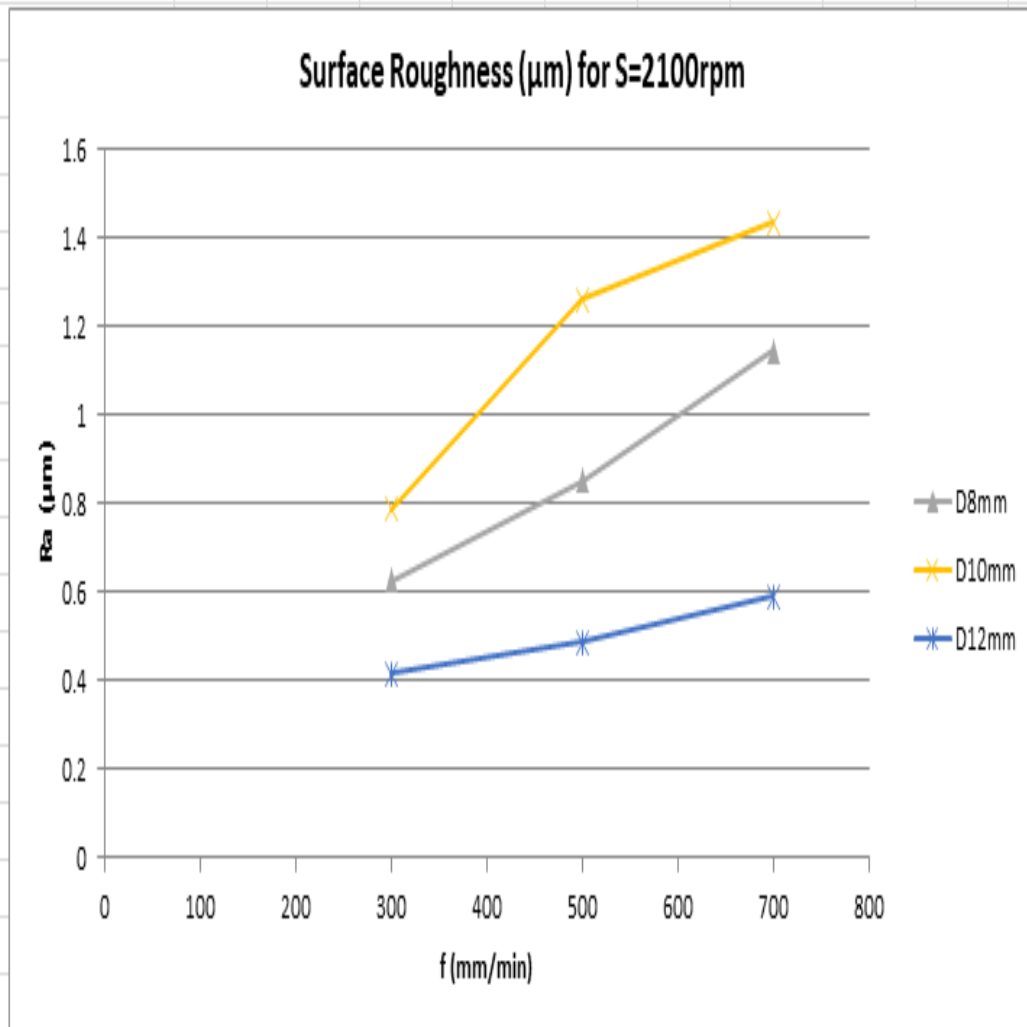
Ra(μm)									
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm						
300	0.593	1.233	0.554						
500	0.821	1.572	0.741						
700	1.197	1.767	1.037						



Εικόνα 66. Διάγραμμα για τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4 με S=1500rpm

γ) S=2100 rpm

Ra(μm)				
Πρόωση f (mm/min)	D8mm	D10mm	D12mm	
300	0.625	0.788	0.415	
500	0.851	1.261	0.486	
700	1.145	1.433	0.589	



Εικόνα 67. Διάγραμμα για τον ανοξείδωτο χάλυβα GX4CrNi13-4 με S=2100rpm

### 4.3 Συμπεράσματα

Γενικά τα συμπεράσματα που βγάζουμε απο το πείραμα αυτό σχετίζονται κυρίως με τις τιμές της τραχύτητας που πήραμε με το τραχύμετρο και την κατάσταση των

κονδυλιών μετά τις κατεργασίες. Ξεκινώντας από τις τιμές της τραχύτητας, αυτό που παρατηρούμε έντονα από τις μετρήσεις είναι ότι σε όλα τα κομμάτια, όσο έχουμε αύξηση της πρόωσης, έχουμε και αύξηση της τραχύτητας, γεγονός λογικό. Η μοναδική περίπτωση που δεν επιβεβαιώθηκε η παρατήρηση αυτή είναι στο αλουμίνιο 7075 όπου στις 5000 στροφές με πρόωση 700 είχαμε μεγαλύτερη τιμή τραχύτητας από ότι με αυτή που είχαμε, με πρόωση 1100. Βέβαια η δύο τιμές ήταν πολύ κοντά, οπότε μπορεί να θεωρηθεί και τυχαίο (1,016 με 0,997). Τώρα, για το κάθε κομμάτι ξεχωριστά έχουμε κάποια ενδιαφέροντα στατιστικά. Στο αλουμίνιο 7075 ο μεγαλύτερος μέσος όρος που παρουσιάστηκε είναι το 1,862μm στον συνδιασμό S=3000 και F=1100, με 8mm κονδύλι και η μεγαλύτερη τιμή που βρέθηκε είναι το 2,466 στον ίδιο συνδιασμό με πρίν αλλά με 12mm κονδύλι. Στην συνέχεια έχουμε τον εργαλειοχάλυβα ck60 όπου σαν μεγαλύτερο μέσο όρο έχουμε το 2,044μm με συνδιασμό S=1600 και F=1000, με κονδύλι 10mm και σαν μεγαλύτερη τιμή το 2,550 με συνδιασμό S=1600 και F=400. Τέλος στον ανοξείδωτο χάλυβα ο μεγαλύτερος μέσος όρος είναι το 2,283μm με συνδιασμό S=900 και F=700 με κονδύλι 10mm και μεγαλύτερη τιμή έχουμε το 2,492μm που βρίσκουμε στον ακριβώς ίδιο συνδιασμό με τον μέσο όρο. Μέσα από αυτά τα στατιστικά επιβεβαιώνουμε την παρατήρηση μας, διότι οι μεγαλύτεροι μέσοι όροι που βγήκαν από το κάθε κομμάτι, ήταν σε συνδιασμούς με τις μεγαλύτερες πρόψεις που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ένα από αυτά. Όσο αφορά το μέγεθος του κάθε κονδυλιού και κατά πόσο αυτό επηρεάζει την τραχύτητα, δεν μπορούμε να βγάλουμε κάποιο ιδιαίτερο συμπέρασμα. Αυτό που παρατηρούμε βάση των διαγραμμάτων και των μετρήσεων είναι πάλι κάποια στατιστικά όπως είχαμε και πρίν. Στο αλουμίνιο 7075 από όλους τους συνδιασμούς στροφών και προώσεων, οι μεγαλύτερες τιμές ήταν με το κονδύλι 8mm. Αντιθέτως, στον εργαλειοχάλυβα ck60 και στον ανοξείδωτο χάλυβα από όλους τους συνδιασμούς στροφών και προώσεων, οι μεγαλύτερες τιμές ήταν με το κονδύλι 10mm. Επιπλέον όσο αφορά το κονδύλι των 12mm, βάση διαγραμμάτων, είχαμε σχεδόν σε όλα τα κομμάτια, σε όλους τους συνδιασμούς, τις μικρότερες τιμές τραχύτητας. Άρα, το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε για το μέγεθος των κονδυλιών είναι ότι ανάλογα με το υλικό, το μέγεθος (επιφάνεια) επηρεάζει διαφορετικά την τραχύτητα. Για τις στροφές παρατηρούμε ότι δίνουν μικρές τιμές τραχύτητας (σχετικά με άλλες των μετρήσεων) σε όλα τα υλικά όταν αυτές αυξάνονται αλλά σε συνδιασμό με την μικρότερη πρόωση που έχουμε για το κάθε υλικό.

Συνεχίζουμε με την κατάσταση των κονδυλιών μετά τις κατεργασίες. Γενικά, έχουμε να πούμε ότι από τις κατεργασίες δεν υπήρξαν έντονες καταπονήσεις στα εργαλεία μας. Αντιθέτως τα φορτία ήταν χαμηλά και όλες οι κατεργασίες, σε όλα τα κομμάτια κύλισαν με πολύ καλό αποτέλεσμα. Στα κονδύλια, όπως παρατηρούμε και από τις φωτογραφίες πριν και μετά των κατεργασιών στα αποτελέσματα, δεν παρατηρείται κάποια εμφανής φθορά. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα κονδύλια είναι σαν καινούρια. Βέβαια, κατά τις κατεργασίες του αλουμινίου 7075, του εργαλειοχάλυβα ck60 και του ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4, αυτή που φάνηκε πιο δύσκολη είναι του ανοξείδωτου χάλυβα GX4CrNi13-4. Γενικά το υλικό είχε μεγάλη σκληρότητα και επειδή ήταν χυτό σε ορισμένα σημεία υπήρξε λίγο παραπάνω ήχος και τρέμουλο όταν το κονδύλι έβρισκε πιθανόν πάνω σε κόκκους από άμμο.

Εν τέλει αυτό που κρατάμε από την εργασία αυτή είναι ότι όσο είχαμε αύξηση της πρόωσης είχαμε και αύξηση της τραχύτητας και ότι τα εργαλεία μας ανταποκρίθηκαν πολύ καλά στις κατεργασίες που υποβλήθηκαν. Τα cnc είναι το μέλλον στην παραγωγή και είναι ένας απέραντος κόσμος που όσα χρόνια και αν δουλεύεις πάνω σε αυτά, θα είσαι πάντα μαθητής.

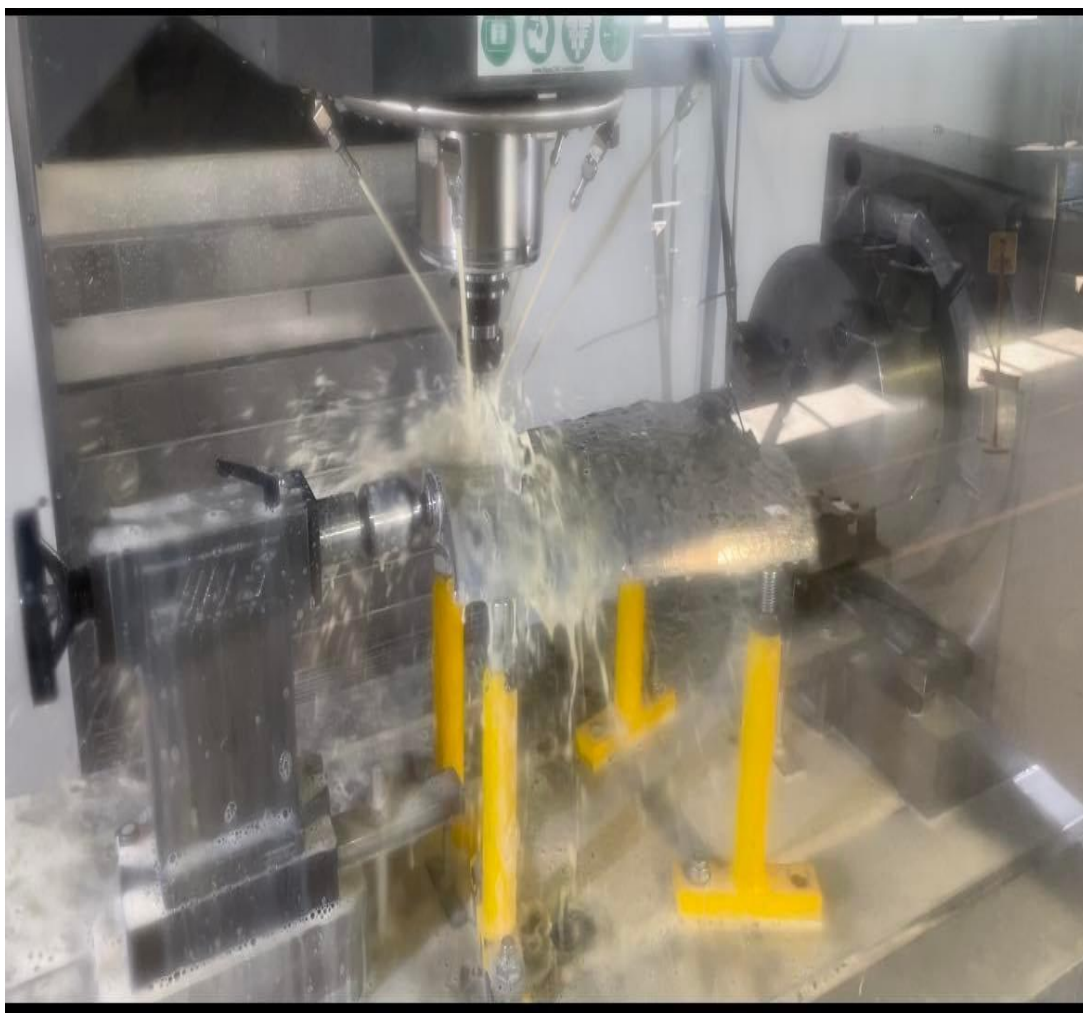
## Βιβλιογραφία

1. <https://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Carbon-Steel/Ck60-.html?fbclid=IwAR0pWJAIXBpXsQbiGPjFOOTdUqbuPgKhWJUNvV5RWKPqy690FGsRiIEqB7s> (προσβάσιμο στις 7 Ιανουαρίου 2022)
2. <https://matmatch.com/learn/material/carbon-steel?fbclid=IwAR36CWnqcrWkP4r4dSMncPJGDskbwzk tsBXsfA6qyGgztB85uovqCjpnWU> (προσβάσιμο στις 7 Ιανουαρίου 2022)
3. <https://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Carbon-Steel/Ck60-.html?fbclid=IwAR0pWJAIXBpXsQbiGPjFOOTdUqbuPgKhWJUNvV5RWKPqy690FGsRiIEqB7s> (προσβάσιμο στις 7 Ιανουαρίου 2022)
4. <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/all-about-7075-aluminum-properties-strength-and-uses/?fbclid=IwAR2NEV3XXwpMcuBpri9SD-nFm9tbmDHxIOI3O-5s4A-fAIA5IFbyET1Clou> (προσβάσιμο στις 7 Ιανουαρίου 2022)



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ “Α” (CNC)

Στο παράρτημα θα πούμε λίγα λόγια για τα cnc. Μπορεί για εμάς τους μηχανικούς η λέξη cnc να είναι κατι γνώριμο, αλλά για κάποιον εξωτερικό αναγνώστη μπορεί να ακουστεί περίεργο. Τα cnc (Computerized Numerical Control) είναι η λειτουργία στην ουσία μιας μηχανής με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Συνήθως τα υλικά που δουλεύουμε στα μηχανήματα αυτά είναι μέταλλα, πλαστικά και ξύλα. Τα μηχανήματα αυτά βοηθάνε πάρα πολύ στην παραγωγή μιας βιομηχανίας προσφέροντας με τον σωστό χειρισμό, ευκολία και ακρίβεια σε οποιαδήποτε κατεργασία. Έτσι και στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία αυτή. Οι δυνατότητες που μας δίνει με την κατάλληλη τεχνογνωσία είναι απίστευτες, παράδειγμα αποτελεί η εικόνα 68.



**Εικόνα 68. Φωτογραφία απο την άσκηση της πρακτικής μου εργασίας, όπου έχουμε κατεργασία σε υδροηλεκτρικό πτερύγιο guide vane σε τέσσερις άξονες με την βοήθεια του διαιρέτη και της πόντας, στο Vf6.**