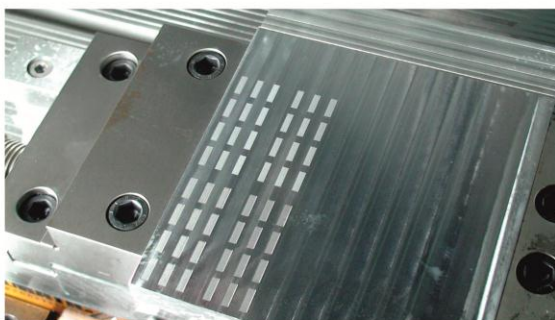




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ  
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ  
ΜΙΚΡΟ-ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ  
A17075-T6**



**ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ**  
**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 24**

**ΧΑΝΙΑ 2013**

**Στο Χρήστο, που δεν τα παράτησε ποτέ..  
Στη Ρούλα, με τη μεγάλη καρδιά..  
Στον Κωστή, τον αγαπημένο μου μάγκα..**

**..και στη μνήμη του παππού μου, του Κώστα.**

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας κλείνει ο κύκλος σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στην ακαδημαϊκή μου αυτή προσπάθεια, αλλά και κάποιους που διαμόρφωσαν την προσωπικότητά μου.

Θα ήθελα, πρώτα, να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, για την απίστευτη βοήθεια, στήριξη και εμπιστοσύνη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας, αποδεικνύοντας πως ακόμα υπάρχουν παιδαγωγοί με όλη τη σημασία της λέξης.

Επίσης, τα παιδιά του εργαστηρίου Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης, το Δρ. Νίκο Ταπόγλου και τον Υπ. Δρ. Ταξιάρχη Μπελή.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ στον Υπ. Δρ. Δημήτρη Βακόνδιο, του οποίου η βοήθεια ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Στο κομμάτι της ζωής μου στα Χανιά όλα αυτά τα χρόνια, θέλω να πω ευχαριστώ σε πολλούς ανθρώπους και πάλι, όμως, λίγοι θα είναι. Ξεχωρίζοντας αυτούς που με διαμόρφωσαν σαν άνθρωπο θέλω να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου:

Τα «αδέρφια» μου, πλέον, Σταθάρα, Πανάγο και Μήτσο. Τα αθηναϊκά αλάνια, Κουτσούκο, Μακρόπουλο, Πετρόπουλο, Αυγουστίνο και Μιχάλη. Τους «παλιούς» αλλά όχι ξεχασμένους Καναβάκη, Βρυζώνη, Θωμά, Φουντούλη και Πλουμή. Σπάνιους ανθρώπους, όπως, την Εφάρα, την Άννα- Μαρία, τη Βερόη, την Ισμήνη, τον Κυρούση και τον Σεραφείμ. Παιδιά όπως το Ζόγκα και το Λάμπρο.

Το Σαββινάκι για την υπομονή της, δίνοντάς της μια υπόσχεση που αυτή ξέρει ποια είναι.

Τέλος, δε μπορώ να ξεχάσω τον Κυριακάκη, τη «μαμά» Λίτσα και το Βασίλη το Λιόντο που με έκαναν να αισθάνομαι σαν παιδί τους.

Μα το μεγαλύτερο ευχαριστώ αισθάνομαι ότι πρέπει να το απευθύνω σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που ο δεσμός μου μαζί τους δεν ήταν φιλικός ή κάτι άλλο, παρά συντροφικός μέσω της συλλογικότητας της Ενωτικής Πρωτοβουλίας. Σε όλους αυτούς τους συντρόφους μου, που ακολούθησα τα βήματά τους στο δρόμο του αγώνα, σε όλους αυτούς τους συντρόφους μου, που πιασμένοι χέρι- χέρι βαδίσουμε το δρόμο της ανατροπής, σε όλους αυτούς τους συντρόφους μου, που θα βαδίσουμε προς το χτίσιμο ενός κόσμου που θα χωράει τις ανάγκες μας. Γιατί αυτό το σύστημα δεν τις χωράει. Κι αυτό είναι από τα μεγαλύτερα μαθήματα που έμαθα στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Αυτό, τελικά, το ευχαριστώ δε θα το απευθύνω γιατί θα είναι σα να αφήνω αυτό το κομμάτι της ζωής μου να μπει στο χρονοντούλαπο της ιστορίας μου. Το ευχαριστώ μου σε όλους τους συντρόφους μου θα είναι μια υπόσχεση.

Με φωτεινό αστέρι την Ενωτική Πρωτοβουλία, δίνω την υπόσχεση να μη χάσω τη διαδρομή μου και να τα ξαναπούμε εκεί που γίνονται οι μεγάλοι αγώνες: στο δρόμο.

Ψηλά το κεφάλι, σύντροφοι, να φαίνεται η αξιοπρέπεια μας.

Ψηλά τη γροθιά, να φαίνεται η δύναμή μας.

ΘΑ ΝΙΚΗΣΟΥΜΕ...

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ.....	5
2.1 Μικροκατεργασίες.....	5
2.1.1 Μικροφραιζάρισμα.....	5
2.1.2 Κοπτικά εργαλεία σφαιρικής απόληξης (Ball-end milling).....	6
2.1.3 Συνθήκες κατεργασίας.....	7
2.2 Επιφανειακή τραχύτητα.....	8
2.2.1 Επιφανειακή τραχυμέτρηση.....	9
2.2.2 Προφίλ τραχύτητας.....	10
2.3 Ψηφιακή καθοδήγηση.....	11
2.4 Φραιζάρισμα.....	13
3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	16
3.1 Κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco.....	16
3.2 Συσκευή προρύθμισης εργαλείων MICROSET Uno 115 eco.....	17
3.3 Εργαλεία σφαιρικής απόληξης.....	18
3.4 Τρισδιάστατος ανιχνευτής ακμών ή edge finder.....	20
3.5 Υλικό AI 7075-T6/651.....	21
3.6 Τραχύμετρο DIAVITE COMPACT.....	22
3.7 Εργαλειομηχανή LASERTEC 40.....	24
4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	26
4.1 Σχεδιασμός πειραμάτων.....	26
4.2 Εκτέλεση πειραμάτων.....	28
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	33
6. ΣΥΝΟΨΗ.....	51
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	54

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα σχεδιομελέτης και παραγωγής με χρήση Η/Υ (CAD/CAM) έχουν ως κύριο στόχο τη μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής και την κατεργασία τους σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης συμβάλλοντας στην αύξηση της ποιότητας και της παραγωγικότητας.

Η ανάγκη για πρόβλεψη της ποιότητας του τελικού προϊόντος και η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων είναι απαραίτητη στη μείωση του κόστους παραγωγής. Ένας σημαντικός παράγοντας ποιότητας είναι η τραχύτητα της επιφάνειας του κάθε τεμαχίου μια και για τη συναρμολόγηση σύνθετων κατασκευών πολλών τεμαχίων απαιτείται καλής ποιότητας επιφάνεια των προς σύζευξη μελών.

Η παραγωγή των προϊόντων συχνά επιτυγχάνεται μέσω κατεργασιών αφαίρεσης υλικού. Ως αποτέλεσμα της αφαίρεσης υλικού είναι η δημιουργία επιφάνειας με ορισμένη τραχύτητα στην επίτευξη της οποίας σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι διάφορες συνθήκες κοπής που εφαρμόζονται κατά την κατεργασία. Τέτοιες συνθήκες είναι το ακτινικό και το αξονικό βάθος κοπής, η ταχύτητα κοπής, η πρόωση, η διάμετρος του κοπτικού κ.λπ.. Έτσι, η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών κατεργασίας αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα στην επίτευξη της τελικής ποιότητας της επιφάνειας.

Η γεωμετρία και η κινηματική του κοπτικού εργαλείου καθώς και το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου, αποτελούν επίσης βασικούς παράγοντες της εμφανιζόμενης τραχύτητας επιφάνειας. Για την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας επιφανείας, είναι απαραίτητος ο σωστός συνδυασμός των συνθηκών κοπής.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να πραγματοποιηθούν πειράματα κοπής ντουραλουμινίου Al 7075-T651 στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco του εργαστηρίου Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα με βάση τις συνθήκες κοπής. Τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν είναι κονδύλια σφαιρικής απόληξης διαμέτρου 2 mm, 1 mm και 0,5 mm μιας και επιθυμείται η διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών κοπής στην τραχύτητα σε αποπεράτωση επιφάνειας. Θα επιλεγθούν τέσσερις τιμές πρόωσης ( $f_z$ ), τρεις τιμές ακτινικού βάθους ( $t_{xy}$ ) και το βάθος κοπής ( $t_z$ ) όπου τέθηκε παντού σταθερό και ίσο με 0,1 mm. Θα εφαρμοστούν οι μέγιστες δυνατές στροφές ατράκτου ( $S = 8000 \text{ rpm}$ ) σύμφωνα με τις οποίες προκύπτουν οι ταχύτητες κοπής  $V_c$ . Η εφαρμογή θα διεξαχθεί μόνο σε κάθετη στρατηγική φραιζαρίσματος τόσο στο ομόρροπο όσο και στο αντίρροπο φραιζάρισμα.

Η προκύπτουσα μέση τραχύτητα ( $R_z$ ) θα καταγραφεί με τη χρήση τραχυμέτρου στυλίσκου και θα παρθεί φωτογραφία της τρισδιάστατης επιφάνειας από το κέντρο κατεργασίας LASERTEC 40. Τέλος, από τις μετρήσεις της τραχύτητας της επιφάνειας θα διεξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το πως επιδρά ο κάθε παράγοντας κοπής στην τραχύτητα επιφάνειας.

## 2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

### 2.1 Μικροκατεργασίες

Είναι πλέον διαδεδομένη η φράση "ο κόσμος γίνεται όλο και μικρότερος." Ωστόσο, δεν είναι μόνο ότι ο κόσμος γίνεται όλο και μικρότερος. Σχεδόν όλα τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται καθημερινά γίνονται όλο και μικρότερα. Από τους υπολογιστές μέχρι τις τηλεοράσεις και από τα κινητά τηλέφωνα μέχρι τα τσιπάκια που τοποθετούνται ακόμα και στο ανθρώπινο σώμα.

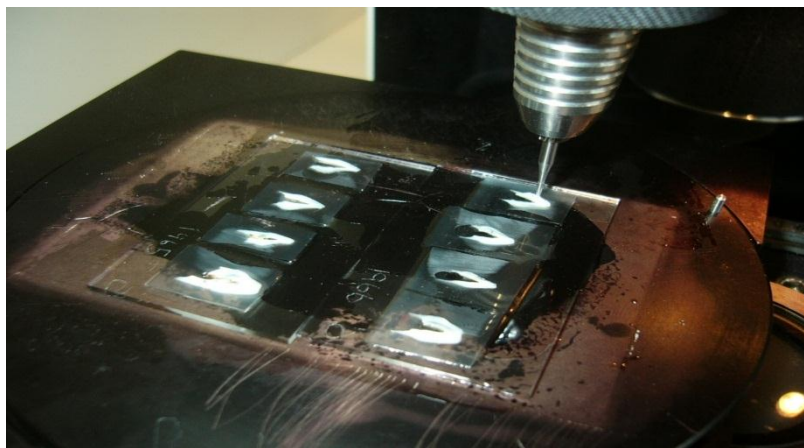
Την ίδια στιγμή, είναι η εγγενής πολυπλοκότητα των μικρο-συστατικών που επιφέρει νέες ευκαιρίες για τους κατασκευαστές καλουπιών. Σε μια εποχή κατά την οποία η παραγωγή των απλών και μεσαίων πολύπλοκων καλουπιών μετατοπίζεται προς τις χώρες με χαμηλό κόστος εργασίας, οι Αμερικανοί και Ευρωπαίοι κατασκευαστές καλουπιών μπορεί να στραφούν σε πιο προηγμένες τεχνολογίες, όπως το μικρο-φραιζάρισμα για να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους.

Οι ιδιότητες της επιφάνειας αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα της τελικής ποιότητας των προϊόντων, επειδή επηρεάζουν χαρακτηριστικά όπως η διαστατική ακρίβεια, ο συντελεστής τριβής, η φθορά, η εμφάνιση και ειδικά το κόστος. Η τραχύτητα επιφάνειας συνήθως μετράται αφότου έχει γίνει η κατεργασία και χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του προϊόντος. Η καλής ποιότητας επιφάνεια είναι βασικό ζητούμενο που απαιτείται στο σχεδιασμό μηχανολογικών προϊόντων.

Η ποιότητα της επιφάνειας που παράγεται από το φραιζάρισμα εξαρτάται από ποικίλες τεχνολογικές παραμέτρους, όπως τις συνθήκες κοπής και τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου και τις ιδιότητες του υλικού του τεμαχίου κατεργασίας.

#### 2.1.1 Μικροφραιζάρισμα

Το μικροφραιζάρισμα είναι απ' τις πιο γνωστές κατεργασίες σε μικροκλίμακα και χρησιμοποιείται στις περισσότερες βιομηχανίες ως μέθοδος κατεργασίας λόγω της υψηλής παραγωγικότητας της με μικρό κόστος. Παράδειγμα μικροφραιζαρίσματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 : Κατεργασία μικροφραιζαρίσματος

Στην κατεργασία του φραιζαρίσματος παίζουν καθοριστικό ρόλο η γεωμετρία και οι συνθήκες κοπής, η δυναμική συμπεριφορά της εργαλειομηχανής και του κοπτικού εργαλείου καθώς και η στρατηγική της κατεργασίας. Στη μικροκλίμακα, όμως, λαμβάνουν χώρα κάποια φαινόμενα που καταργούν ακόμα και βασικές αρχές της μηχανουργικής τεχνολογίας στη μάκρο διάσταση. Οι διαφορές μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- ❖ Στο φραιζάρισμα μπορεί να διαπιστωθεί φθορά των κοπτικών εργαλείων ενώ στη μικροκλίμακα συχνά τα μικροσκοπικά κοπτικά εργαλεία πρέπει να φθάσουν στο όριο λυγισμού τους για να φθαρούν.
- ❖ Υπάρχει ο παράγοντας της τριβής μεταξύ κοπτικού εργαλείου-τεμαχίου στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου.
- ❖ Στις κατεργασίες σε μικροκλίμακα, όταν μειώνεται το μέγεθος της διαμέτρου των κοπτικών εργαλείων πρέπει να αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής για να αντισταθμιστεί η απώλεια της περιφερειακής ταχύτητας κοπής.
- ❖ Στο μικροφραιζάρισμα, το πάχος του αποβλίπτου δε μπορεί να είναι μεγαλύτερο απ' την ακτίνα καμπυλότητας της κοπτικής ακμής του εργαλείου γιατί, αλλιώς, θα υπάρξει αστοχία του κοπτικού εργαλείου.
- ❖ Λόγω του ότι στη μικρο διάσταση η οποιαδήποτε αστοχία του κοπτικού εργαλείου δε μπορεί να διαπιστωθεί με γυμνό μάτι, είναι αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας.
- ❖ Στις μικροκατεργασίες εμφανίζονται φαινόμενα ταλαντώσεων μεγάλης έκτασης που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα.
- ❖ Στο μικροφραιζάρισμα οι δυνάμεις τριβής μετρούνται με προχωρημένες μεθόδους όπως FFM (Friction Force Microscopy) ενώ στη μακρο κλίμακα με απλά όργανα μέτρησης τάσεων.
- ❖ Στο μικροφραιζάρισμα η φθορά μετράται με προχωρημένες μεθόδους όπως η AFM (Atomic Force Microscopy) και πραγματοποιείται σε μοριακό ή ατομικό επίπεδο, ενώ στη μακρο διάσταση με μεθόδους SEM (Scanning Microellipsometry) και είναι ορατή ακόμα και με γυμνό μάτι.
- ❖ Στην κατεργασία του μικροφραιζαρίσματος το κοπτικό εργαλείο φθείρεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα το πάχος του αποβλίπτου να είναι μικρότερο απ' το ελάχιστο πάχος του αποβλίπτου που μπορεί να δημιουργηθεί επικρατώντας μια κατάσταση όπου το κοπτικό περιστρέφεται χωρίς να αφαιρεί υλικό.

Στο μικροφραιζάρισμα απαιτείται η βέλτιστη επιλογή των συνθηκών κοπής ώστε να αντιμετωπίζονται όλες οι δυσάρεστες επιπτώσεις των ιδιοτεροτήτων της μικροκλίμακας. Στην περίπτωση των μικρο κατεργασιών τα περιθώρια βελτίωσης σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζουν το 65%.

### **2.1.2 Κοπτικά εργαλεία σφαιρικής απόληξης (Ball-end milling)**

Σε κάθε είδος φραιζαρίσματος χρησιμοποιούνται διαφορετικά κοπτικά εργαλεία. Συνήθως κατασκευάζονται από ταχυχάλυβα γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής απ' τους κοινούς χάλυβες εργαλείων. Συχνή είναι και η χρήση πλακιδίων σκληρομετάλλων. Οι συνήθειες μορφές κοπτήρων μετάλλων είναι:

- Κυλινδρικοί
- Δισκοειδής
- Πριονοειδής
- Κοπτήρες μορφής
- Κοχλιωτοί
- Κονδύλια

Ανάλογα με τον αριθμό των κοπτικών ακμών οι κοπτήρες διακρίνονται σε μιας κόψης, δίκοποι ή τρίκοποι, ενώ ανάλογα με την κατεργασία που θα καλεστούν να κάνουν σε ελαφρού ή βαρέως τύπου (Σχήμα 2.2).

Μια ευρέως διαδεδομένη κατεργασία για τη μορφοποίηση της τελικής επιφάνειας είναι η διαδικασία του φραιζαρίσματος με εργαλείο σφαιρικής απόληξης (Ball-end milling). Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και οι διαδρομές του εργαλείου είναι βασικοί παράγοντες της τοπομορφίας της κατεργασμένης επιφάνειας και της τραχύτητας. Μελέτες έχουν εστιάσει στην επίδραση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου πάνω στην τραχύτητα

της τελικής επιφάνειας. Η δημιουργία των διαδρομών του κοπτικού, στο φραιζάρισμα με εργαλείο σφαιρικής απόληξης, η κλίση του κοπτικού εργαλείου σε σχέση με το κατεργαζόμενο τεμάχιο και την κατεύθυνση της πρόωσης επηρεάζουν την επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Η στρατηγική φραιζαρίσματος απορρέει από τις σχετικές θέσεις του κοπτικού και του τεμαχίου κατεργασίας. Μοντέλα που μπορούν να καθορίσουν την τοπομορφία μιας επιφάνειας που έχει παραχθεί από φραιζάρισμα με εργαλείο σφαιρικής απόληξης έχουν ήδη αναπτυχθεί.



Σχήμα 2.2 : Κοπτικά εργαλεία σφαιρικής απόληξης

Στο φραιζάρισμα με εργαλείο σφαιρικής απόληξης, η ταχύτητα κοπής ποικίλει ανάλογα με το σημείο επαφής της κοπτικής ακμής σε σχέση με το τεμάχιο. Η ρύθμιση των κλίσεων του τεμαχίου και του κοπτικού εργαλείου μπορούν να βελτιώσουν την επίδοση του κοπτικού και την τραχύτητα της επιφάνειας. Η τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου διαφοροποιείται ανάλογα με τις κλίσεις μεταξύ τεμαχίου και κοπτικού και την κατεύθυνση της πρόωσης. Παρατηρώντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού εργαλείου στο φραιζάρισμα με εργαλείο σφαιρικής απόληξης έχουν δημιουργηθεί θεωρητικά μοντέλα τραχύτητας της επιφάνειας ενώ ταυτόχρονα έχουν εκπονηθεί εφαρμογές βασισμένες σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για την κατεργασία αυτή.

### **2.1.3 Συνθήκες κατεργασίας**

Αναφορικά με τις συνθήκες κατεργασίας αξίζει να καταγραφούν τα εξής:

Η επιθυμητή ταχύτητα κοπής καθορίζει τον αριθμό των στροφών του κοπτικού εργαλείου και αντιπροσωπεύει την κίνηση του κοπτικού δοντιού στο χρόνο. Η ταχύτητα κοπής εκφράζει το ρυθμό κοπής στην κύρια κίνηση.

Στο φραιζάρισμα τεμαχίου με κοπτικό εργαλείο διαμέτρου  $D$  (mm), το οποίο περιστρέφεται με  $n$  στροφές το λεπτό (rpm), η ταχύτητα κοπής  $V_c$ , ισούται με:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Η πρόωση αντιστοιχεί στη μετατόπιση του τραπεζιού της εργαλειομηχανής, και κατά συνέπεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου, ανά λεπτό. Λόγω του ότι εκφράζεται ως η ταχύτητα κίνησης του τραπεζιού της εργαλειομηχανής καλείται ταχύτητα πρόωσης. Εξαρτάται απ' το κοπτικό εργαλείο, το κατεργαζόμενο υλικό, το βάθος κοπής και την επιδιωκόμενη ποιότητα επιφάνειας. Η πρόωση στο φραιζάρισμα δίνεται με δύο μορφές:

1. Πρόωση ανά λεπτό  $f$ : είναι η μετατόπιση του τραπεζιού σ' ένα λεπτό.
2. Πρόωση ανά δόντι  $f_z$ : είναι η μετατόπιση του τραπεζιού στο διάστημα απ' την

εισχώρηση ενός δοντιού της φραιζας μέχρι την εισχώρηση του επόμενου. Η σχέση που συνδέει τις δύο αυτές προώσεις προκύπτει ως εξής: έστω φραιζα με  $z$  δόντια, η οποία περιστρέφεται με  $n$  στροφές το λεπτό και το τραπέζι της μετατοπίζεται με πρόωση ανά λεπτό  $f_z$ . Τότε το τραπέζι της φραιζας προχωρά με  $f_z$  χιλιοστά το λεπτό. Επειδή σε ένα λεπτό η φραιζα κάνει  $n$  στροφές και κάθε στροφή αντιστοιχεί στην κοπή  $z$  δοντιών, προκύπτει μετατόπιση ανά δόντι. Άρα ο τύπος που συνδέει τις δύο προώσεις είναι:

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$

Το βάθος (ή πλάτος) κοπής  $t$ , δηλαδή το μήκος της εισόδου της κύριας κόψης του εργαλείου στο κατεργασμένο τεμάχιο. Στο περιφερικό φραιζάρισμα αντιστοιχεί στο πλάτος κοπής, ενώ στο μετωπικό στο αξονικό βάθος κοπής.

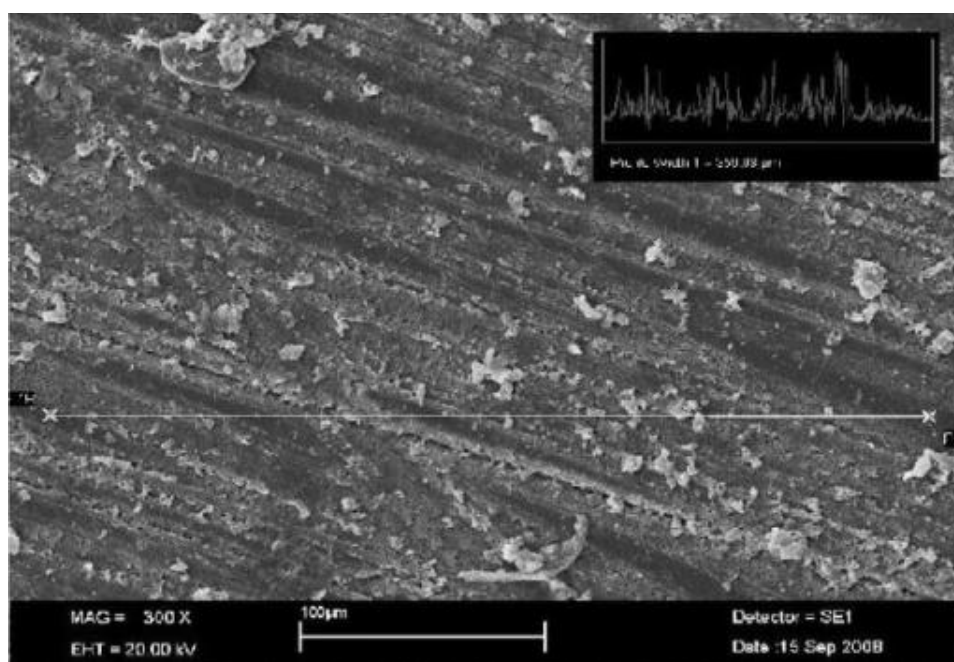
Τέλος, υπάρχει κι ο χρόνος κοπής που είναι το πηλίκο της απόστασης που διανύει το τραπέζι της εργαλειομηχανής δια την ταχύτητα της πρόωσης.

## 2.2 Επιφανειακή τραχύτητα

Η τραχύτητα επιφάνειας, αποτελεί ένα μέτρο της υψής μιας επιφάνειας. Ως τραχύτητα ορίζεται το μέτρο των κάθετων αποκλίσεων της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανικής μορφής επιφάνεια. Εάν αυτές οι αποκλίσεις είναι μεγάλες, τότε η επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως τραχιά. Στην αντίθετη περίπτωση που οι αποκλίσεις είναι μικρές, τότε η επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως λεία. Παράδειγμα τραχύτητας επιφάνειας φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

Η τραχύτητα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του πώς ένα πραγματικό αντικείμενο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Αδρές επιφάνειες συνήθως φθείρονται πιο γρήγορα και έχουν υψηλότερους συντελεστές τριβής από τις λείες επιφάνειες. Η τραχύτητα είναι συχνά μία καλή ένδειξη της απόδοσης ενός μηχανικού εξαρτήματος, δεδομένου ότι σφάλματα στην επιφάνεια μπορούν να αποτελέσουν κέντρα συγκέντρωσης ρωγμών ή διάβρωσης.

Παρά το ότι η τραχύτητα είναι συνήθως ανεπιθύμητη, είναι δύσκολος και δαπανηρός ο έλεγχός της στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Η μείωση της τραχύτητας της επιφάνειας αυξάνει εκθετικά το κόστος κατασκευής του προϊόντος.

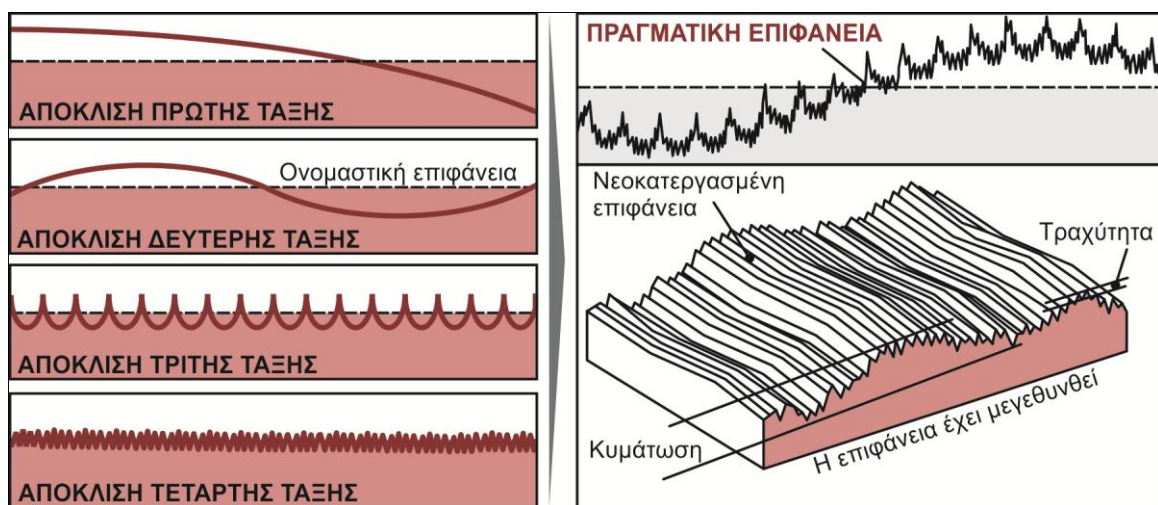


### Σχήμα 2.3 : Τραχύτητα επιφάνειας

Οι παράγοντες, που επηρεάζουν την τραχύτητα μιας κατεργασμένης επιφάνειας είναι οι ακόλουθοι:

1. Η κινηματική της κατεργασίας.
2. Το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
3. Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, η τραχύτητα των κοπτικών επιφανειών του και η φθορά του.
4. Οι συνθήκες κατεργασίας.
5. Το υγρό κοπής, αν χρησιμοποιείται.
6. Η κατάσταση της μηχανής, όσον αφορά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια.
7. Οι ταλαντώσεις του συστήματος.

Κάθε μέθοδος κατεργασίας έχει ως αποτέλεσμα αποκλίσεις της νεοκατεργασμένης επιφάνειας από τη θεωρητική της μορφή. Η τραχύτητα αναφέρεται στις αποκλίσεις από την ονομαστική επιφάνεια. Οι αποκλίσεις αυτές χωρίζονται σε 5 κατηγορίες (1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup>, 3<sup>ης</sup>, 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> & ανώτερης τάξης) και παρατίθενται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4 : Αποκλίσεις επιφανειών

Οι αποκλίσεις 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> τάξης αποτελούν αυτό που καλείται τραχύτητα επιφάνειας. Ανάλογα με τη μέθοδο κατεργασίας που εφαρμόζεται, τα εξαρτήματα που κατασκευάζονται παρουσιάζουν τιμές τραχύτητας που βρίσκονται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους τιμών.

#### 2.2.1 Τραχυμέτρηση

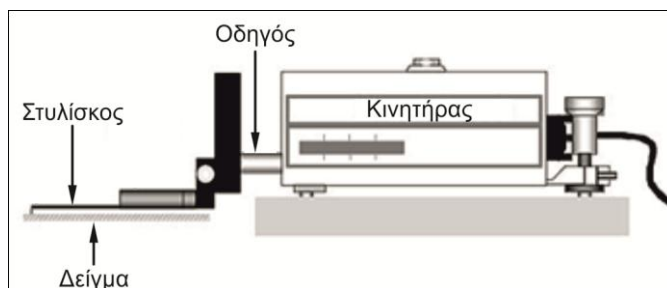
Για την εκτίμηση και τον υπολογισμό της τραχύτητας μιας επιφάνειας, το πόσο δηλαδή λεία ή τραχιά είναι, έχουν σχεδιαστεί ειδικά όργανα μέτρησης. Τα όργανα τραχυμέτρησης ταξινομούνται σε δυο ομάδες:

- Στη πρώτη ομάδα (όργανα μέτρησης) ανήκουν όργανα, τα οποία επιτρέπουν την ποσοτική ανάλυση της τραχύτητας. Τα όργανα αυτά μετρούν αριθμητικώς κάποιο ή κάποια μεγέθη της τραχύτητας ή δίνουν και το πραγματικό καταγράφημα της τραχύτητας υπό μεγάλες σχετικά μεγεθύνσεις. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα μηχανικά όργανα, τα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα, τύπου στυλίσκου (Σχήμα 2.5) και τα οπτικά όργανα.
- Στη δεύτερη ομάδα (όργανα σύγκρισης) περιλαμβάνονται όργανα, τα οποία παρουσιάζουν εικόνα της επιφάνειας σε μεγέθυνση, επιτρέποντας μια ποιοτική ανάλυση της επιφάνειας ή συγκρίνουν την προς μελέτη επιφάνεια με άλλη

πρότυπη προς αυτήν, χωρίς όμως σε καμιά περίπτωση να δίνουν αριθμητικές μετρήσεις. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα το μικροσκόπιο συγκρίσεως διπλού προσοφθαλμίου και τα μεταλλογραφικά μικροσκόπια.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι μέτρησης περιλαμβάνουν τη μετρολογία στυλίσκου επαφής, τη σάρωση με μικροσκόπιο ατομικής δύναμης και τη χρήση οπτικού προφίλομέτρου. Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη χρήση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών.

Στις τραχυμετρήσεις με επαφή, ένα διαμάντι ακίδας κινείται κατακόρυφα μέχρι να έρθει σε επαφή με το δείγμα και στη συνέχεια μετατοπίζεται πάνω στην επιφάνεια του δείγματος με συγκεκριμένη φορά και συγκεκριμένη δύναμη για προκαθορισμένη απόσταση. Ένα τέτοιο τραχύμετρο μπορεί να μετρήσει μικρές ανωμαλίες της επιφάνειας με την μετατόπιση της ακίδας συναρτήσει της θέσης. Η θέση και το ύψος του διαμαντιού παράγει ένα αναλογικό σήμα, το οποίο μετατρέπεται σε ψηφιακό. Η ακτίνα της αδαμάντινης ακίδας κυμαίνεται από 20 νανόμετρα έως 25  $\mu\text{m}$  και η οριζόντια ανάλυση ελέγχεται από την ταχύτητα σάρωσης. Ένα τυπικό τραχύμετρο μπορεί να μετρήσει κάθετα χαρακτηριστικά επιφάνειας που κυμαίνονται από 10 νανόμετρα μέχρι 1 χιλιοστό.



Σχήμα 2.5 : Τραχύμετρο στυλίσκου

Το τραχύμετρο στυλίσκου βρίσκει τις ανωμαλίες της επιφάνειας με τη βοήθεια μιας ακίδας. Η αρχή λειτουργίας του είναι η ακόλουθη: Ένα πέλδιλο ακολουθεί τη γενική μορφή της επιφάνειας και δίνει την κεντρική γραμμή της. Ο στυλίσκος ακολουθεί κάθε ανωμαλία της επιφάνειας και με πολύ μικρή διακριτοποίηση της κίνησης. Την κίνηση εξασφαλίζει ένας προωθητής ο οποίος οδηγεί το στυλίσκο με αδαμάντινη ακίδα πάνω στην επιφάνεια και ανάλογα με τις ανωμαλίες εμφανίζονται αλλαγές στην κίνηση της ακίδας. Οι αλλαγές αυτές μετατρέπονται σε μεταβολές τάσης και εμφανίζονται ως αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή.

### **2.2.2 Προφίλ τραχύτητας**

Σύμφωνα με τις μετρήσεις της επιφάνειας, όλες οι παράμετροι της τραχύτητας μπορούν να υπολογιστούν εύκολα είτε στις δύο είτε στις τρεις διαστάσεις. Κάθε τιμή της παραμέτρου της τραχύτητας αντιπροσωπεύει τη μετρούμενη επιφάνεια. Η τραχύτητα μιας επιφάνειας χαρακτηρίζεται κανονικά από τις παραμέτρους  $R_a$  (αριθμητικός μέσος τραχύτητας) και  $R_t/R_{\max}$  (μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα). Για τη δημιουργία μιας καλής ποιότητας επιφάνειας και βελτιωμένης τελικής κατεργασίας, είναι απαραίτητη η ελαχιστοποίηση των παραμέτρων τραχύτητας. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, δύο διαφορετικές στρατηγικές έχουν λάβει χώρα: Η πρώτη είναι η στρατηγική σύμφωνα με την οποία βελτιστοποιούνται οι παράμετροι της κοπής και η δεύτερη στηρίζει τη δημιουργία μοντέλων που μπορούν να απαντήσουν απευθείας για την τιμή της τραχύτητας βασισζόμενα στις παραμέτρους κοπής.

Οι παράμετροι εύρους είναι οι σημαντικότεροι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την τοπογραφία μιας επιφάνειας. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των κάθετων

χαρακτηριστικών από τις αποκλίσεις της επιφάνειας και φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

Παράμετρος	Ονομασία	Τύπος υπολογισμού
$R_a$	Μέσο αριθμητικό ύψος	$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i $
$R_q$	Μέση τετραγωνική ρίζα	$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$
$R_z$	Μέσο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i)$ $R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} (\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i)$
$R_p$	Μέγιστο ύψος κορυφής	$R_p = \max_i y_i$
$R_v$	Μέγιστο βάθος κοιλάδας	$R_v = \min_i y_i$
$R_{pm}$	Μέσο ύψος κορυφών	$R_{pm} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n p_i)$
$R_{vm}$	Μέσο βάθος κοιλάδων	$R_{vm} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n v_i)$
$R_t/R_{max}$	Μέγιστο ύψος του προφίλ	$R_t = R_p + R_v$
$R_{ti}$	Μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{ti} = R_{pi} + R_{vi}$
$R_{tm}$	Μέσο μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{tm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ti}$
$R_y$	Μεγαλύτερο από κορυφή σε κοιλάδα ύψος	$R_y = \max_i R_{ti}$
$R_{3y}$	Τρίτου σημείου ύψος	$R_{3y} = \frac{1}{5} (\sum_{i=1}^5 R_{3yi})$
$k$	Παράγοντας στερεότητας προφίλ	$k = \frac{R_v}{R_{max}}$
$R_{sk}$	Ασυμμετρία	$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{+\infty} y^3 p(y) dy$ $R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} (\sum_{i=1}^N Y_i^3)$
$R_{ku}$	Κύρτωση	$R_{sk} = \frac{1}{R_q^4} \int_{-\infty}^{+\infty} y^4 p(y) dy$ $R_{sk} = \frac{1}{NR_q^4} (\sum_{i=1}^N Y_i^4)$

Πίνακας 2.1 : Παράμετροι τραχύτητας

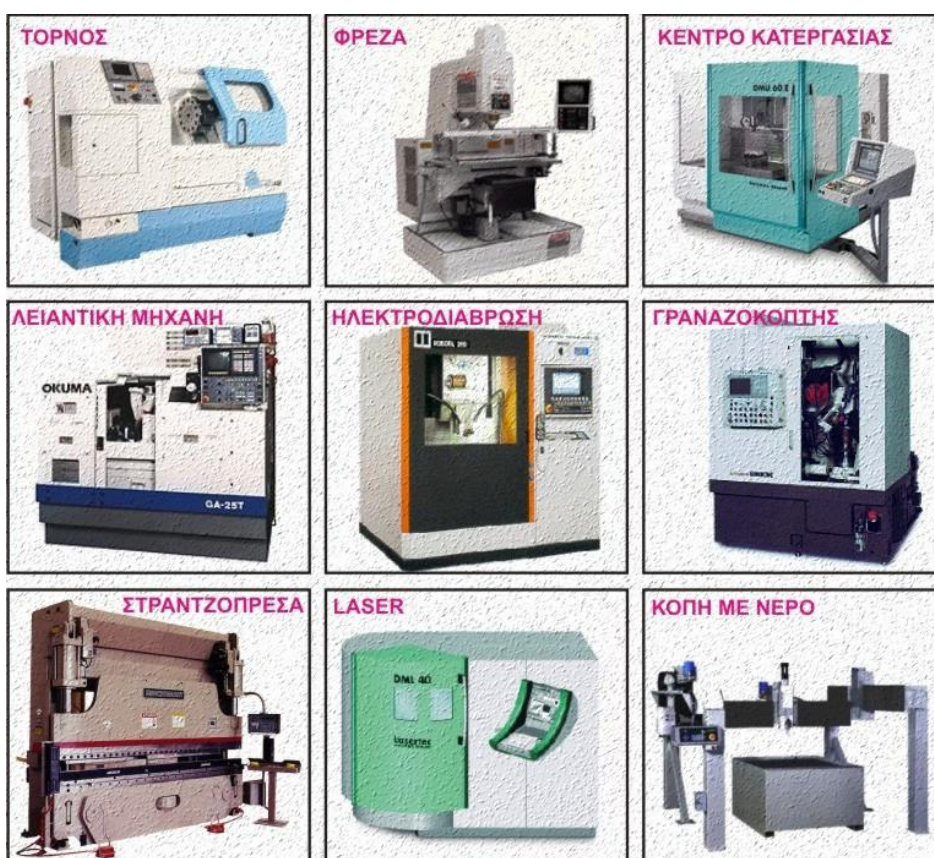
### 2.3 Ψηφιακή καθοδήγηση

Τα τελευταία χρόνια είναι αισθητή η ανάγκη παραγωγής μεγάλων παρτίδων πανομοιότυπων τεμαχίων, με μικρό κόστος κατασκευής και επαναληπτικότητα στην ακρίβεια κατασκευής. Οι παραγωγικές δυνατότητες των συμβατικών εργαλειομηχανών περιορίζονται από την ικανότητα του χειριστή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ποιότητα και η παραγωγή μιας παρτίδας συγκεκριμένων τεμαχίων να εξαρτάται από την εμπειρία,

την εκπαίδευση, τη φυσική κατάσταση αλλά ακόμα και τη ψυχολογική κατάσταση και διάθεση του τεχνίτη.

Η αναγκαιότητα περιορισμού του ποσοστού συμμετοχής του χειριστή και ο αυτόματος έλεγχος οδήγησαν σε μια νέα γενιά εργαλειομηχανών οι οποίες λειτουργούν βασιζόμενες στον αριθμητικό έλεγχο (Numerical Control), δηλαδή στη δυνατότητα επικοινωνίας και καθοδήγησης της εργαλειομηχανής από το χειριστή μέσω ενός κώδικα. Οι συγκεκριμένες εργαλειομηχανές ονομάζονται ψηφιακά καθοδηγούμενες (NC) (Σχήμα 2.6). Στην περίπτωση που η επικοινωνία και η καθοδήγηση γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, η εργαλειομηχανή ονομάζεται ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC).

Σήμερα οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές είναι ευρέως διαδεδομένες και χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της παραγωγικής διαδικασίας καθώς έχουν τη δυνατότητα συνεργασίας με συστήματα σχεδίασης (CAD) και συστήματα κατεργασιών (CAM), ενώ ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα ένταξής τους σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής (CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS).



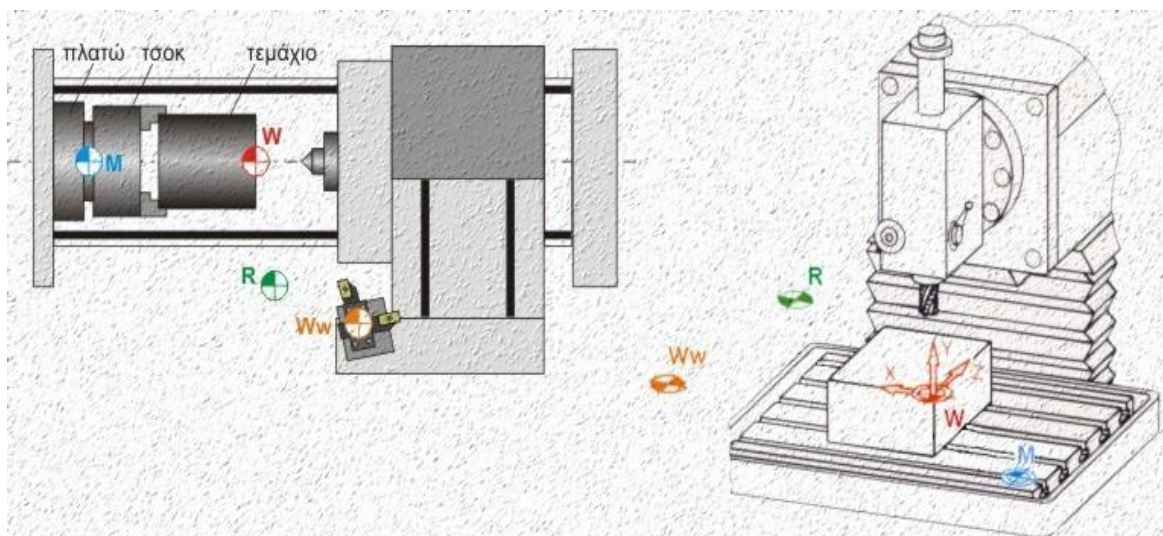
Σχήμα 2.6 : Ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές

Ο κώδικας επικοινωνίας και καθοδήγησης μιας ψηφιακά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής είναι γνωστός με την ονομασία G-code. Κάθε εντολή του συγκεκριμένου κώδικα εκτελεί μια συγκεκριμένη κίνηση-κατεργασία σύμφωνα με τις παραμέτρους που δίνονται στο χειριστήριο της μηχανής. Τον κώδικα της μηχανής τον συμπληρώνουν οι εντολές βοηθητικών λειτουργιών, γνωστές ως M-code.

Ο αριθμητικός έλεγχος (NC) είναι ένας τύπος ελέγχου των μηχανών βασιζόμενος σε ψηφιακές πληροφορίες. Οι εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου είναι κατάλληλες για μικρούς και μεσαίους όγκους παραγωγής, για πολύπλοκες μορφές, διαστάσεις,

κατεργασίες και μεθόδους παραγωγής αντικειμένων. Στις εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου οι διάφορες πληροφορίες που απαιτούνται για την κατεργασία, η κίνηση της μηχανής, οι συνθήκες κατεργασίας, η πορεία των εργαλείων, η χρήση των ψυκτικών κ.λ.π., παρέχονται υπό τη μορφή αριθμητικών πληροφοριών που αποτυπώνονται στη μνήμη του υπολογιστή. Η κίνηση των εργαλείων ή του αντικειμένου εξαρτάται από ψηφιακά σήματα που οδηγούν το φορέα της μηχανής ή του εργαλείου. Ο αριθμητικός έλεγχος είναι μια τεχνολογία που πρωτοπαρουσιάστηκε πριν από πενήντα περίπου χρόνια όταν ακόμα η τεχνολογία των υπολογιστών βρισκόταν σε νηπιακό στάδιο.

Εκτός από τους τύπους του αριθμητικού ελέγχου καθοριστικό ρόλο έπαιζαν από τα πρώτα βήματα αυτής της τεχνολογίας και ορισμένοι κανονισμοί που κωδικοποιούσαν τις βασικές παραμέτρους της κοπής, οι οποίες προφανώς έπρεπε να ελεγχθούν. Οι κανονισμοί αυτοί ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στις ΗΠΑ οι οποίες και σε αυτόν τον τομέα της τεχνολογίας βρίσκονταν στην πρωτοπορία πολλές δεκαετίες πριν.



Σχήμα 2.7 : Συστήματα εργαλειομηχανών

Οι κανονισμοί αυτοί αφορούν καταρχήν τους άξονες και τις κινήσεις της μηχανής. Αναφορικά με τις κινήσεις της μηχανής, το πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί είχε να κάνει καταρχήν με την επιλογή του άξονα (X, Y ή Z) που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη κίνηση και κατά δεύτερο λόγο με το ποια φορά θα έπρεπε να χαρακτηριστεί θετική και ποια αρνητική. Ο τρόπος λειτουργίας των αξόνων παρατίθεται στο Σχήμα 2.7.

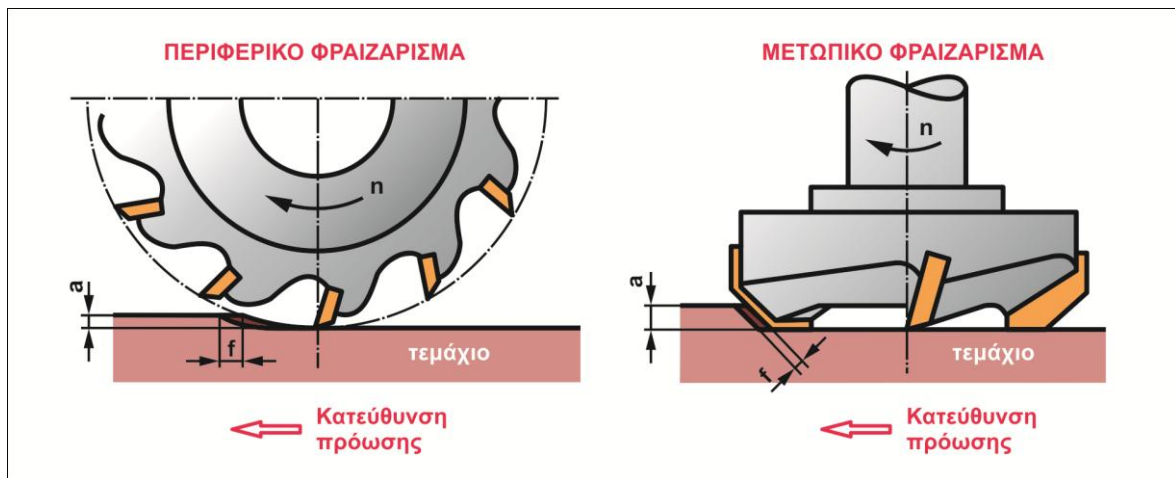
## 2.4 Φραιζάρισμα

Η συνήθης κατεργασία κοπής με εργαλείο πολλαπλής σημειακής επαφής είναι το φραιζάρισμα. Ως φραιζάρισμα καλείται η διεργασία κοπής με τη χρήση ενός περιστρεφόμενου κοπτικού εργαλείου. Το φραιζάρισμα στηρίζεται σε δύο βασικές κινήσεις. Η πρώτη είναι η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου, η οποία ονομάζεται και κύρια κίνηση κοπής, και η δεύτερη είναι η ταχύτητα της πρόωσης, δηλαδή η μετατόπιση του κατεργαζόμενου κομματιού.

Τα είδη φραιζαρίσματος μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα του κοπτικού εργαλείου. Τα δυο είδη φραιζαρίσματος είναι:

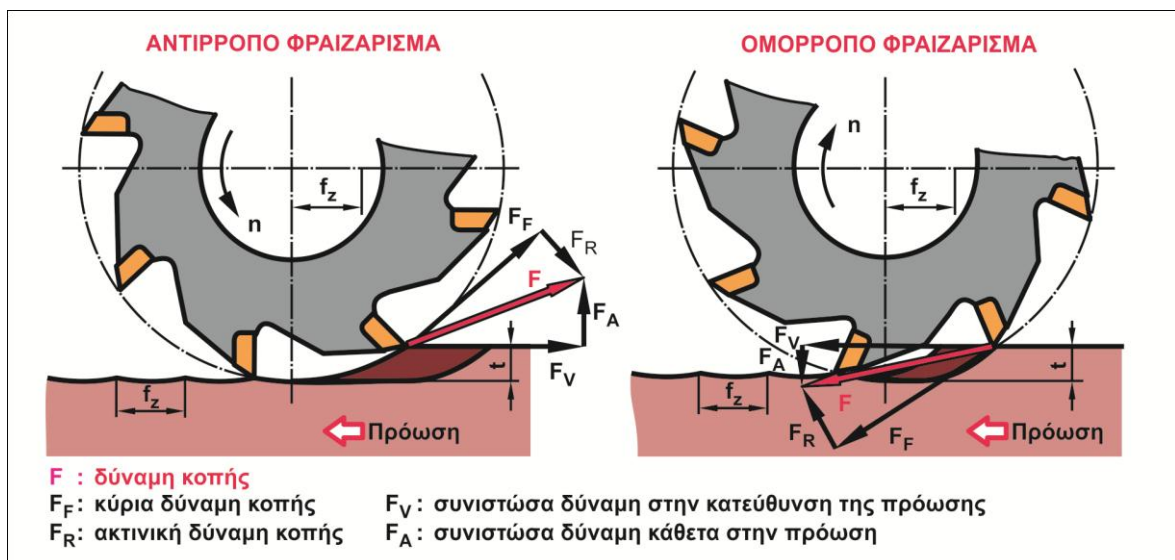
- Το περιφερικό ή περιφερειακό φραιζάρισμα όπου η κατεργαζόμενη επιφάνεια δημιουργείται από τα δόντια τα οποία βρίσκονται στην περιφέρεια του κοπτικού εργαλείου και ο άξονας περιστροφής του κοπτικού είναι παράλληλος προς την επεξεργαζόμενη επιφάνεια (Σχήμα 2.8).

- Το μετωπικό φραιζάρισμα όπου το κοπτικό τοποθετείται σε άξονα κάθετο προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια και η κατεργαζόμενη επιφάνεια είναι το αποτέλεσμα κοπής των κοπτικών ακμών που βρίσκονται στην περιφέρεια αλλά και στο εμπρός πρόσωπό του (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 : Περιφερικό και μετωπικό φραιζάρισμα

Το περιφερειακό φραιζάρισμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως αντίρροπο, όπου το μέγιστο πάχος αποβλήτου βρίσκεται στο τέλος της κόψης, ή ομόρροπο, όπου το μέγιστο πάχος αποβλήτου βρίσκεται στην αρχή της κόψης. Καθότι στο ομόρροπο φραιζάρισμα ξεκινά από χοντρό απόβλιττο, το κοπτικό εργαλείο δέχεται μεγαλύτερες καταπονήσεις κατά την είσοδό του στο τεμάχιο. Αυτό το γεγονός αυξάνει τον κίνδυνο θραύσης του κοπτικού. Παρόλα αυτά η πίεση που προσφέρει στο τεμάχιο καθιστά πιο σταθερή την κοπή και ως εκ τούτου το ομόρροπο φραιζάρισμα προσφέρει καλύτερη ποιότητα επιφάνειας (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9 : Αντίρροπο και ομόρροπο φραιζάρισμα

Αντίθετα προς τις άλλες συμβατικές κατεργασίες κοπής, στο φραιζάρισμα, το απόβλιττο έχει διατομή μεταβαλλόμενου πάχους, που είναι συνέπεια της επαλληλίας της περιστροφής του κοπτικού εργαλείου και της πρόωσης του τεμαχίου. Ανάλογα με τον

τρόπο σχηματισμού του αποβλίττου, το περιφερειακό φραιζάρισμα διακρίνεται σε αντίρροπο και ομόρροπο. Είναι προφανές ότι στο αντίρροπο φραιζάρισμα το πάχος της διατομής του αποβλίττου μεταβάλλεται από μηδενική σε μια μέγιστη τιμή, ενώ στο ομόρροπο φραιζάρισμα από τη μέγιστη τιμή του στη μηδενική.

### 3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

#### 3.1 Κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco

Οι πιο κοινές εργαλειομηχανές στην ψηφιακή καθοδήγηση είναι τα κέντρα κατεργασίας, τα οποία έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μπορούν να κατεργαστούν πολύπλευρα τεμάχια με ένα δέσιμο σε τέσσερις ή πέντε πλευρές χρησιμοποιώντας ψηφιακά καθοδηγούμενους άξονες.
- Μπορούν να πραγματοποιηθούν όλοι οι τύποι κατεργασιών.
- Το απαραίτητο εργαλείο τοποθετείται στη θέση κοπής με αυτόματο τρόπο.
- Μπορεί να υποστηρίζεται από εξαρτήματα για φόρτωση και εκφόρτωση των προς κατεργασία τεμαχίων.

Το κέντρο κατεργασίας πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα είναι το γενικής χρήσης CNC DMU 50 eco που βρίσκεται στο εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1. Στην κοπή του δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν κοπτικά εργαλεία σφαιρικής απόληξης διαμέτρου D2, D1 και D0,5 και μεταβλητές ταχύτητες κοπής σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 3.1 : Κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco

Το κέντρο κατεργασίας που αναφέρθηκε πρόκειται για μια φραιζα τελευταίας τεχνολογίας 3+2 αξόνων. Ο χώρος κατεργασίας της μηχανής είναι περικλειστος και υπάρχει αντλία ψυκτικού υγρού με αυτόματη λειτουργία. Είναι εξοπλισμένο με ισχυρή άτρακτο μέχρι 8.000

rpm και χαρακτηριστικά: 83 Nm (40% ED), ισχύς ατράκτου 13 kW (40% ED) και 12 m/min γρήγορη μετατόπιση. Το περιστρεφόμενο τραπέζι του καθιστά εφικτή την κατασκευή πολύ σύνθετων τεμαχίων κατεργασίας. Η υδραυλική σύσφιξη εμπεριέχεται στο περιστρεφόμενο τραπέζι και η περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°) καθιστά εφικτές κλίσεις μέχρι 20°. Ο εργαλειοφορέας με 16 θέσεις και το αποσπώμενο χειριστήριο καθιστούν εφικτή την απλή και άνετη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών φραιζαρίσματος. Η κατασκευή είναι με χυτοσίδηρο σκελετό, για μέγιστη ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών. Το εργονομικό DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", SIEMENS 810D powerline και λογισμικό ShopMill καθιστούν εφικτό τον απλό προγραμματισμό και την τρισδιάστατη προσομοίωση.

Το σύστημα ελέγχου SIEMENS 810D powerline με λογισμικό ShopMill ενσωματωμένο στο DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15" και πλήρες πληκτρολόγιο, διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που βοηθούν στον προγραμματισμό, στην προσομοίωση και στην εκτέλεση οποιουδήποτε προγράμματος αριθμητικού ελέγχου. Το πληκτρολόγιο της μονάδας ελέγχου είναι χωρισμένο στις κάτωθι κατηγορίες: μία με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες και σύμβολα, μία με ένα αριθμητικό πληκτρολόγιο, μία με πλήκτρα που ελέγχουν τις πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη, μία με πλήκτρα άμεσου ψηφιακού ελέγχου των κινήσεων της μηχανής, μία με πλήκτρα σεταρίσματος της μηχανής και, τέλος, μία με πλήκτρα που εκτελούν διάφορες άλλες λειτουργίες.

### 3.2 Συσσκευή προρύθμισης εργαλείων MICROSET Uno 115 eco

Πριν τοποθετηθεί οποιοδήποτε εργαλείο στο κέντρο κατεργασίας εισέρχεται πρώτα σε μια συσκευή προρύθμισης εργαλείων, MICROSET Uno 115 Eco (Σχήμα 3.2). Η συσκευή αυτή προσφέρει σημαντική οικονομία χρόνου και ακρίβεια στις μετρήσεις των εργαλείων και την έγκαιρη αναγνώριση φθαρμένων εργαλείων. Η συσκευή εργάζεται με το λογισμικό Microvision II IT και διαθέτει: Edge finder για γρήγορο εντοπισμό της κοπτικής ακμής, στιβαρή κατασκευή της βάσης από χυτό, πνευματική σύσφιξη και στους 2 άξονες, ελεύθερα κινούμενους γραμμικούς οδηγούς, CMOS ψηφιακή κάμερα με τηλεσκοπικούς φακούς, 19" TFT- έγχρωμη οθόνη για τα καλύτερα αποτελέσματα των μετρήσεων, επιπρόσθετο σύστημα μέτρησης, σταθερά υψηλή ποιότητα στην παραγωγική διαδικασία, απλή λειτουργία με ένα ποντίκι, και, προαιρετικά, διαθέσιμο ντουλάπι εργαλείων.

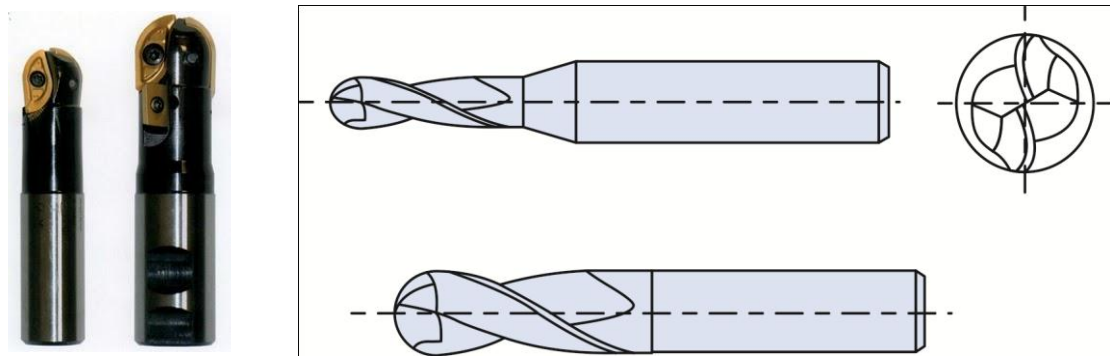


Σχήμα 3.2 : Microset Uno 115 eco

Με τη χρήση της συσκευής προρύθμισης μετράται το μήκος και η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου. Τα δύο αυτά μεγέθη εισέρχονται στη μνήμη του κέντρου κατεργασίας και χρησιμοποιούνται για αντιστάθμιση του εργαλείου σε μήκος και ακτίνα. Στη συνέχεια τοποθετείται το εργαλείο στο εργαλειοφορέιο του κέντρου κατεργασίας ώστε να χρησιμοποιηθεί στην κατεργασία αφαίρεσης υλικού. Στη διάρκεια των πειραμάτων, ανά τακτά χρονικά διαστήματα και μετά από μια σειρά κατεργασιών, τοποθετούνται τα εργαλεία στη συσκευή προρύθμισης για να διαπιστωθεί αν έχουν υποστεί κάποια αλλοίωση ή απορύθμιση είτε λόγω των συνθηκών κατεργασίας είτε λόγω της μη αντοχής. Εφόσον, επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα επανατοποθετείται το εργαλείο στο κέντρο κατεργασίας και συνεχίζονται τα πειράματα.

### 3.3 Εργαλεία σφαιρικής απόληξης

Τα εργαλεία σφαιρικής απόληξης (ball-end mills) είναι ιδανικά για μηχανουργικές κατεργασίες αποπεράτωσης σε τρεις κατευθύνσεις, όπως καλούπια και μήτρες. Χρησιμοποιούνται επίσης σε επιφάνειες που είναι κάθετες μεταξύ τους, για να δημιουργηθεί κοίλη επιφάνεια έτσι ώστε να μειωθούν συγκεντρωμένες τάσεις. Τέτοια εργαλεία είναι και αυτά των Σχημάτων 3.3 και 3.4.



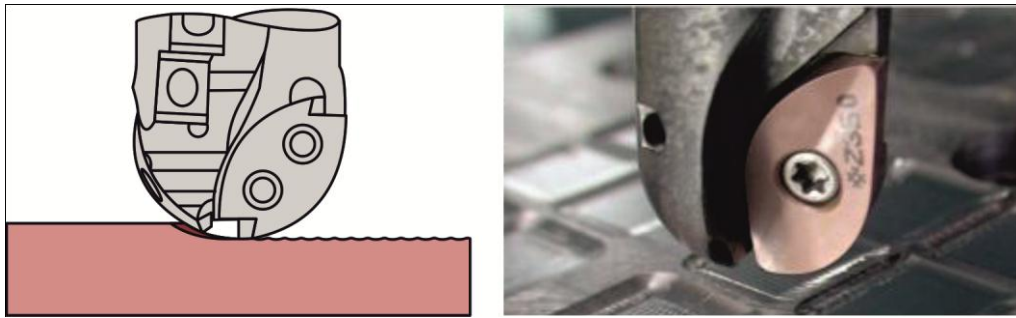
Σχήμα 3.3 : Εργαλεία σφαιρικής απόληξης

Τα εργαλεία αυτά μπορεί να είναι συμπαγώς κατασκευασμένα ή διαιρετά χρησιμοποιώντας ένθετα πλακίδια σφαιρικής μορφής. Τα σφαιρικής απόληξης κοπτικά εργαλεία είναι κατάλληλα για την κατεργασία πολλών ειδών υλικών, από πλαστικό μέχρι και κράματα χάλυβα και τιτανίου. Η σκληρότητα και η αντοχή της αιχμής του εργαλείου είναι πολύ υψηλή λόγω της στρογγυλεμένης σχεδίασης του άκρου.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του τρόπου σχεδίασης ενός κοπτικού με σφαιρική απόληξη, είναι ότι μπορεί να υποστεί πολύ ψηλές τιμές πρόωσης, που σημαίνει ότι μπορεί να κατεργαστεί το υλικό πολύ γρήγορα. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη παραγωγικότητα και ευρεία χρήση στις σημερινές απαιτητικές εφαρμογές. Επίσης, η καλή γεωμετρία της κοπτικής ακμής μεταφράζεται σε χαμηλότερες δυνάμεις, γεγονός το οποίο δίνει στο κοπτικό εργαλείο πρόσθετη αντοχή κάτω από συνθήκες πίεσης. Καθώς είναι λιγότερο πιθανό να σπάσει υπό κανονικές δυνάμεις, το κοπτικό εργαλείο σφαιρικής απόληξης είναι πολύ αποδοτικό από πλευράς κόστους για τις εφαρμογές τις οποίες είναι κατάλληλο.

Τα κοπτικά εργαλεία σφαιρικής απόληξης σχεδόν πάντα είναι κατασκευασμένα από καρβίδιο βολφραμίου, που είναι κράμα υψηλής αντοχής. Συνήθως τα εργαλεία αυτά παράγονται με μια προστατευτική επικάλυψη που περιέχει τιτάνιο αναμιγμένο με άλλα στοιχεία, όπως τον άνθρακα και το αλουμίνιο. Οι επιστρώσεις αυτές εφαρμόζονται για να μειωθεί η φθορά ενώ μπορεί να προσφέρουν υψηλή σκληρότητα στην επιφανειακή στοιβάδα. Για παράδειγμα, το επίχρυσο χρώμα αποτελεί επικάλυψη νιτρικού τιτανίου και

βοηθά στο να αποφευχθεί συγκόλληση μικρών κομματιών από το κατεργασμένο υλικό στη φραιζα, υπό υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή ενισχύει την αποφυγή της ψευδόκοψης.



Σχήμα 3.4 : Εργαλείο σφαιρικής απόληξης

Στον προγραμματισμό μιας εργαλειομηχανής με ψηφιακή καθοδήγηση (CNC) σημαντικό ρόλο έχουν οι στροφές του κοπτικού εργαλείου ( $n$  σε rpm), η ταχύτητα της πρόωσης ( $f$  σε mm/min) και η προγραμματιζόμενη θέση του κοπτικού εργαλείου στον άξονα της ατράκτου. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται προσοχή στον υπολογισμό αυτών των τιμών.

Σε κάθε κατεργασία κοπής είναι επιθυμητή σταθερή ταχύτητα κοπής  $V_c$  (σε m/min) η οποία εξαρτάται κυρίως από το κατεργαζόμενο υλικό. Η ταχύτητα κοπής είναι συνήθως γνωστή από πίνακες υλικών και έτσι το σημαντικό μέγεθος που υπολογίζεται από τον τύπο υπολογισμού της ταχύτητας κοπής είναι οι στροφές της ατράκτου  $n$  σε rpm.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Με βάση τις στροφές της ατράκτου υπολογίζεται και η ταχύτητα πρόωσης από τη σχέση:

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$

όπου  $f_z$  είναι η πρόωση ανά δόντι και  $z$  ο αριθμός των δοντιών του κοπτικού που λαμβάνουν μέρος κατά την κατεργασία αφαίρεσης υλικού.

Στον τύπο της ταχύτητας κοπής, ως  $D$  συμβολίζεται η διάμετρος του κοπτικού σε mm. Για εργαλείο σφαιρικής απόληξης ως διάμετρος λαμβάνεται η ενεργή διάμετρος  $D_m$  και ο τύπος γράφεται ως εξής:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_m \cdot n}{1000}$$

Η ενεργή διάμετρος υπολογίζεται με βάση το τόξο επαφής του εργαλείου στο τεμάχιο κατεργασίας και προφανώς διαφέρει στην περίπτωση που το εργαλείο βρίσκεται σε κάθετη θέση πάνω από το τεμάχιο.



### 3.5 Υλικό Al 7075 – T6/T651

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα υλικά που χρησιμοποιείται ευρέως στη δόμηση και στη βιομηχανία. Δε βρίσκεται στη φύση στη μεταλλική του μορφή, λόγω της υψηλής χημικής δραστηριότητάς του, αλλά ένα σημαντικό μέρος του φλοιού της γης (περίπου το 7,5%) αποτελείται από ενώσεις αλουμινίου. Ο βωξίτης είναι το πιο σημαντικό ορυκτό από το οποίο εξάγεται το αλουμίνιο, περιέχει οξείδια σιδήρου και πυρίτιο και είναι πλούσιο σε οξείδιο του αλουμινίου ή αλουμίνη. Για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου χρειάζονται δύο τόνοι αλουμίνης που εξάγονται από τέσσερις τόνους βωξίτη.

Το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο που έχει μια σειρά χαρακτηριστικών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος:

- έχει πολύ χαμηλό ειδικό βάρος
- είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού
- είναι άριστος αγωγός θερμότητας και κατά συνέπεια είναι το πιο κατάλληλο υλικό για την κατασκευή μονάδων αγωγής θερμότητας, καλοριφέρ κ.λ.π
- με καλή πλαστικότητα και εύκολα κατεργάσιμο
- αντέχει καλά τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες
- το αλουμίνιο και το μεγαλύτερο μέρος των κραμάτων του, αυτό-οξειδώνεται αποκτώντας με αυτόν τον τρόπο πολύ μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, η οποία αυξάνει με την αύξηση του βαθμού καθαρότητας του μετάλλου
- είναι αδρανές όταν έρχεται σε επαφή με τρόφιμα και με μεγάλο μέρος υγρών, λόγος για τον οποίο βρίσκει ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία συσκευασίας τροφίμων και υγρών
- έχει μεγάλη αντανάκλαστική ικανότητα όλων των ακτινοβολιών

Παρ' όλα αυτά όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι όταν χρησιμοποιείται το αλουμίνιο για την κατασκευή δομικών στοιχείων που υπόκεινται σε πιέσεις, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω του χαμηλού συντελεστή ελαστικότητας και πιθανώς να εμφανιστούν προβλήματα αστάθειας. Οι βιομηχανικές εφαρμογές του καθαρού αλουμινίου είναι περιορισμένες. Σε πάρα πολλές περιπτώσεις, για να αναπληρωθεί η ανεπάρκεια της μηχανικής του αντοχής, χρησιμοποιείται ως επένδυση πιο οικονομικών μετάλλων ή μετάλλων μεγαλύτερης αντοχής.

Μεγάλο εύρος χρήσης όμως έχουν τα κράματα αλουμινίου: διακρίνονται από καλά μηχανικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με χαμηλό ειδικό βάρος. Ένας συνδυασμός που εκτιμάται ιδιαίτερα στην αεροναυπηγική και στη βιομηχανία μέσων μεταφοράς.

Το κράμα αλουμινίου το οποίο επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων είναι το ντουραλουμίνιο Al 7075-T651, ένα κράμα αλουμινίου με πρωταρχικό στοιχείο κράματος τον ψευδάργυρο, του οποίου τεμάχια φαίνονται στο Σχήμα 3.7. Τα κράματα της σειράς 7000, έχουν καλή μηχανική αντοχή, σε σημείο που ανταγωνίζονται τον χάλυβα διατηρώντας το πλεονέκτημα του χαμηλού ειδικού βάρους, κατεργασιμότητα, θερμική αγωγιμότητα, ελαφρότητα, παραμορφωσιμότητα, καταλληλότητα στις επιφανειακές κατεργασίες και ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Τα όρια αυτών των κραμάτων εντοπίζονται στη δυσκολία μορφοποίησης και στη ακόμη μεγαλύτερη δυσκολία συγκόλλησης.

Βάση αυτών των ιδιοτήτων το κράμα αυτό έχει τα εξής πεδία χρήσης: μηχανικές εφαρμογές, κατεργασίες με πλαστική παραμόρφωση, κατασκευή δομικών εξαρτημάτων κυρίως στις αεροναυπηγικές και διαστημικές εφαρμογές, αεροπορική βιομηχανία, σιδηροδρομική βιομηχανία και γενικότερα σε όλες τις εφαρμογές όπου απαιτείται μια υψηλή σχέση αντοχής/ βάρους.

Το T6 στον κωδικό ονομασίας του αλουμινίου αφορά τον τύπο της θερμικής κατεργασίας που υφίσταται το υλικό, που σ' αυτή την περίπτωση υφίσταται σκλήρυνση με

κατακρήμνιση λόγω γήρανσης. Με τον όρο σκλήρυνση εννοείται η σκλήρυνση που οφείλεται στο σχηματισμό μαρτενσίτη. Η συγκεκριμένη θερμική κατεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: διαλυτοποίηση, υπερβαφή και γήρανση.



Σχήμα 3.7 : Τεμάχια Al707 – T6/T651

Η χημική σύσταση και οι μηχανικές ιδιότητες του Al7075-T6 παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 3.1.

Χημική σύσταση Al7075-T6 (wt.%)

Si.....	0.40	Mg.....	2.1-2.9
Fe.....	0.50	Cr.....	0.18-0.28
Cu.....	1.2-2.0	Zn.....	5.1-6.1
Mn.....	0.30	Ti.....	0.20

Μηχανικές ιδιότητες

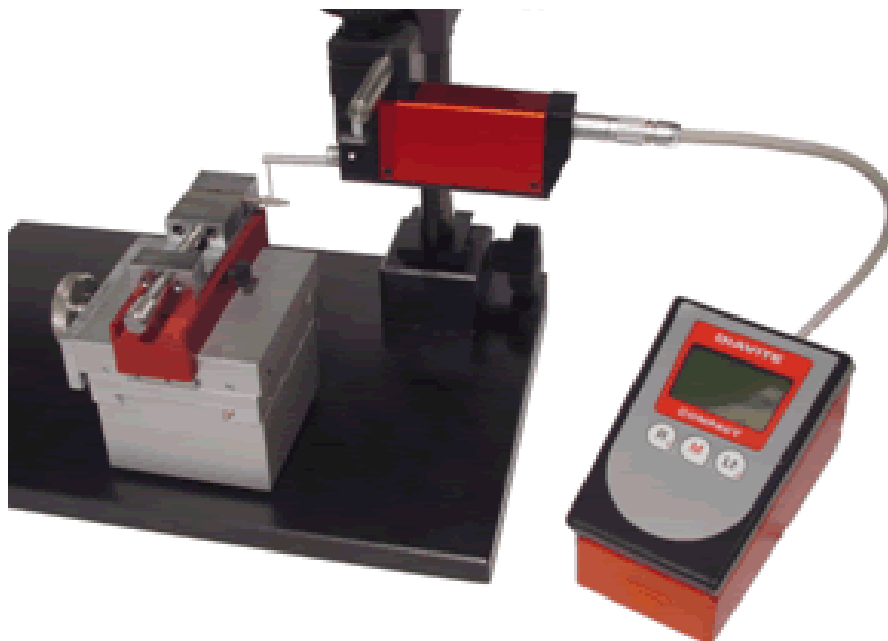
	Πάχος in. (mm)	Αντοχή σε εφελκυσμό ksi (MPa)	Όριο διαρροής ksi (MPa)	Επιμήκυνση %
Al7075-T6 φύλλο	0.008-0.249 (0.203-6.32)	74-78 (510-538)	63-69 (434-476)	5-8

Πίνακας 3.1 : Ιδιότητες Al7075 - T6

### 3.6 Τραχύμετρο DIAVITE COMPACT

Για τις μετρήσεις της τραχύτητας στην προκύπτουσα επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο τραχυμέτρησης το οποίο ανήκει στα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα τύπου στυλίσκου και είναι το Diavite Compact (Σχήμα 3.8), το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με έναν υπολογιστή με τη βοήθεια ενός USB και συνεργάζεται με το λειτουργικό σύστημα DIASOFT BASIC. Ο στυλίσκος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στις τραχυμετρήσεις της παρούσας εργασίας είναι για γενικές μετρήσεις τύπου SH. Το συγκεκριμένο όργανο κατασκευάστηκε είτε για λειτουργία ενός χεριού με ιχνηθέτη ενσωματωμένο στην κύρια

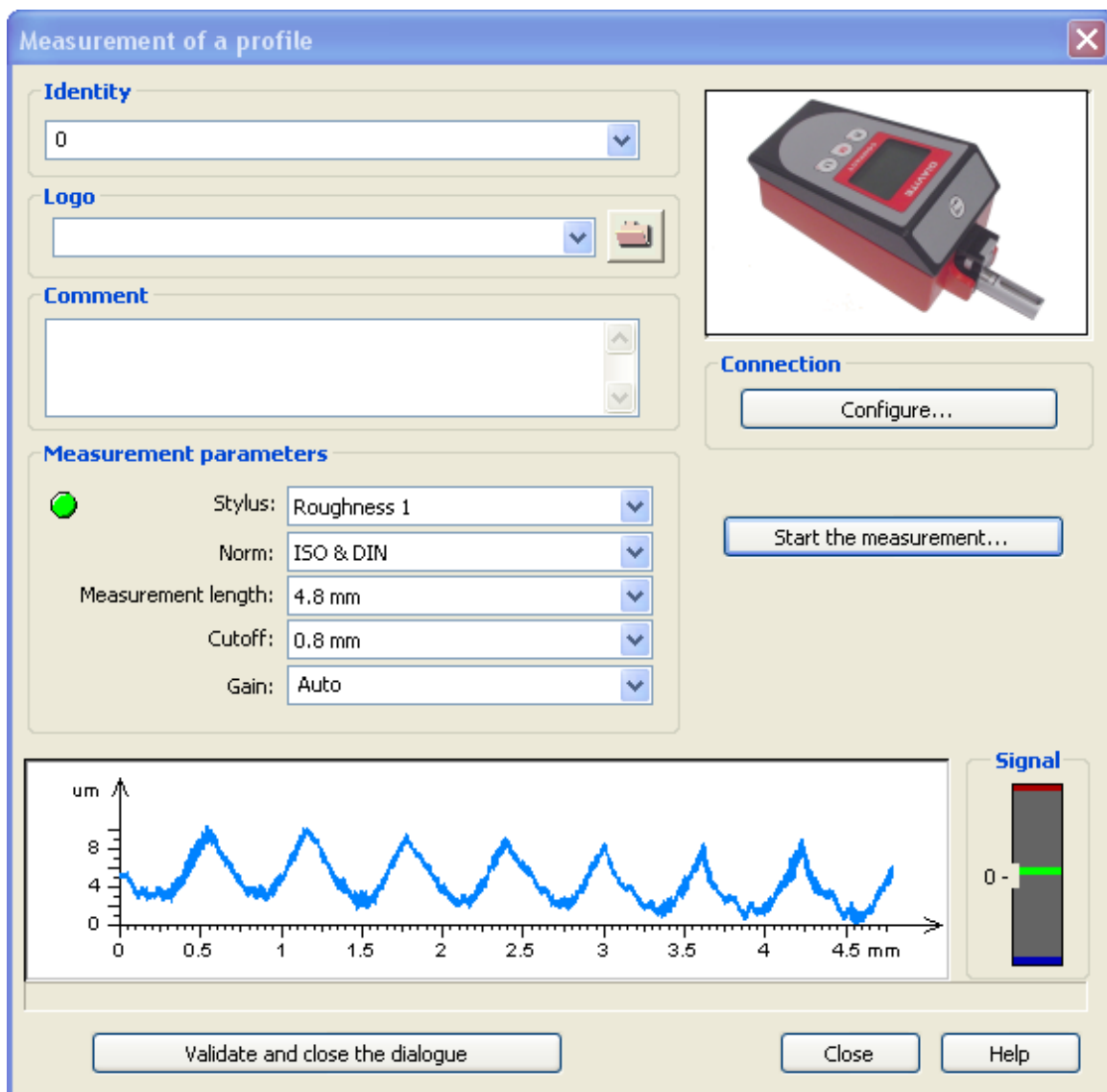
μονάδα ή εναλλακτικά είναι εφοδιασμένο με προσαρμογέα και καλώδιο μέτρησης για χρήση σαν ένα πολύ ευπροσάρμοστο μετρητή επιφανειακής τραχύτητας. Όταν χρησιμοποιείται για λειτουργία ενός χεριού, η εγκάρσια μονάδα με εισηγμένο ιχνηθέτη τραχύτητας είναι απευθείας συνδεδεμένη στην υποδοχή του περιβλήματος του οργάνου.



Σχήμα 3.8 : Τραχύμετρο Diavite Compact

Η συσκευή είναι κατάλληλη για την πραγματοποίηση μετρήσεων τραχύτητας ακόμη και για καμπύλες επιφάνειες και τροφοδοτείται με έναν προσαρμογέα, ο οποίος, στη θέση της εγκάρσιας μονάδας, συνδέεται άμεσα με την υποδοχή μέσου, καθώς, και με ένα καλώδιο επέκτασης για τη μέτρηση ευθείας με τη μικρότερη εγκάρσια μονάδα. Αυτό επιτρέπει τις ελεύθερες μετρήσεις, για να φθάσει σε δύσκολα προσβάσιμα σημεία μέτρησης, καθώς και για την πραγματοποίηση των μετρήσεων με τη βοήθεια μιας καλής μετρητικής υποστήριξης αποφεύγοντας μετρήσεις με λαξευμένους ιχνηθέτες. Για πολλές εφαρμογές μέτρησης, ο προσαρμογέας είναι απαραίτητο να συνδέεται με το καλώδιο που οδηγεί στην εγκάρσια μονάδα εφιστώντας, έτσι, δυνατές τις μετρήσεις με ειδικούς ιχνηθέτες και τις μετρήσεις υποστήριξης. Ως επιλογή, αυτός ο προσαρμογέας με καλώδιο επέκτασης με την εγκάρσια μονάδα μπορεί επίσης να παρέχονται για το DIAVITE Compact.

Το λογισμικό DiaSoft Basic 5.0 είναι συμπλήρωμα και επέκταση του τραχυμέτρου DIAVITE COMPACT και περιλαμβάνει περαιτέρω παραμέτρους τραχύτητας και μπορεί να παρουσιάσει και να απομνημονεύει προφίλ. Αυτές μπορούν να αναλυθούν και να συγκριθούν με το άλλο. Προφίλ του συγκεκριμένου λογισμικού φαίνεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9 : Λογισμικό DiaSoft Basic

### 3.7 Εργαλειομηχανή LASERTEC 40

Το κέντρο κατεργασίας στο οποίο πάρθηκαν οι φωτογραφίες μετά το πέρας της κατεργασίας του δοκιμίου ήταν η LASERTEC 40, μια εργαλειομηχανή Laser engraving 3 γραμμικών και 2 οπτικών αξόνων με αυτοματοποιημένη καθοδήγηση CNC (Σχήμα 3.10). Διαθέτει παλμικό fibre τύπο laser με ισχύ 20Watt, πλήρη προστασία καμπίνας και παράθυρο ασφαλείας Laser safety glass 1 και σύστημα ελέγχου CNC με λογισμικό προγραμματισμού με δυνατότητα εισαγωγής stl και dxf αρχείων.

Με τη LASERTEC 40 κατεργάζονται λεπτά σχήματα και κοιλότητες όπως και πολύπλοκα κομμάτια με απότομα τοιχώματα, με υψηλή ακρίβεια και χωρίς κόστος εργαλείων. Έχει τη δυνατότητα κατεργασίας διαφόρων υλικών όπως σκληροί χάλυβες, κεραμικά, γραφίτη, καρβίδια, CBN και PCD, με υψηλή ποιότητα επιφανείας ( $R_a = 0.8 \mu\text{m}$  σε PCD και πάνω από  $R_a = 1.0 \mu\text{m}$  σε σκληρούς χάλυβες)



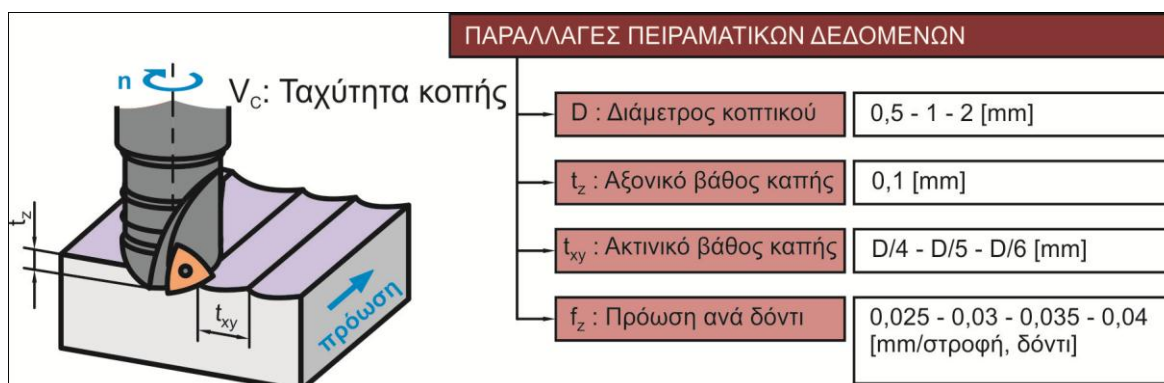
Σχήμα 3.10 : Εργαλειομηχανή Lasertec 40

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι δυνατότητες της Lasertec για να παρθούν φωτογραφίες μεγάλης ανάλυσης και υψηλής ευκρίνειας από το δοκίμιο. Σκοπός ήταν να υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης ενδεχόμενων αστοχιών κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Γι αυτό το λόγο, πάρθηκαν 72 φωτογραφίες στη LASERTEC όσα και τα παραλληλόγραμμα που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο.

## 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

### 4.1 Σχεδιασμός πειραμάτων

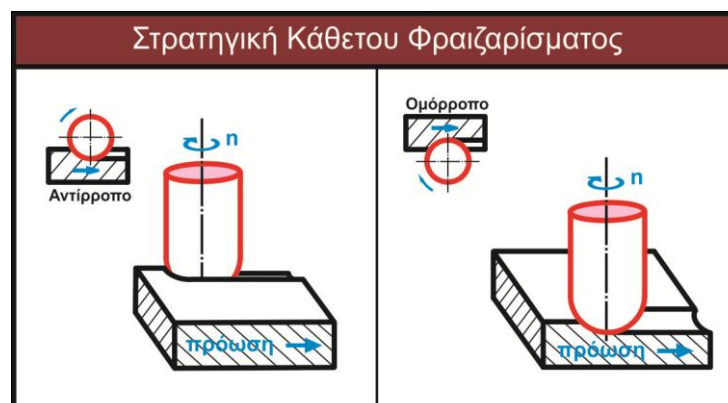
Αρχικά πρέπει να επιλεγούν τα κοπτικά εργαλεία και οι προς μελέτη συνθήκες που θα εφαρμοσθούν στα πειράματα κοπής, οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Πειραματικά δεδομένα

Τα εργαλεία που χρησιμοποιηθήκαν είναι κονδύλια σφαιρικής απόληξης διαμέτρου 2 mm, 1 mm και 0,5 mm. Πριν από αυτά χρησιμοποιήθηκε εργαλείο φραιζαρίσματος προσώπου για τη λείανση του αλουμινίου έτσι ώστε να επιτευχτεί όσον το δυνατόν καλύτερη επιφάνεια κατά την κατεργασία.

Τα πειράματα έγιναν με στρατηγική κάθετου φραιζαρίσματος και εφαρμόστηκαν τόσο σε αντίρροπο όσο και σε ομόρροπο φραιζάρισμα (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2 : Στρατηγική φραιζαρίσματος

Για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες στροφές της ατράκτου ( $S = 8000 \text{ rpm}$ ) του κέντρου κατεργασίας DMU 50 eco. Αφού πρώτα υπολογίστηκαν οι τιμές των ενεργών διαμέτρων των τριών κοπτικών με βάση το αντίστοιχο αξονικό βάθος κοπής ( $t_z = 0,1 \text{ mm}$ ) υπολογίζονται οι τιμές των ταχυτήτων κοπής  $V_c$  με βάση τον τύπο.

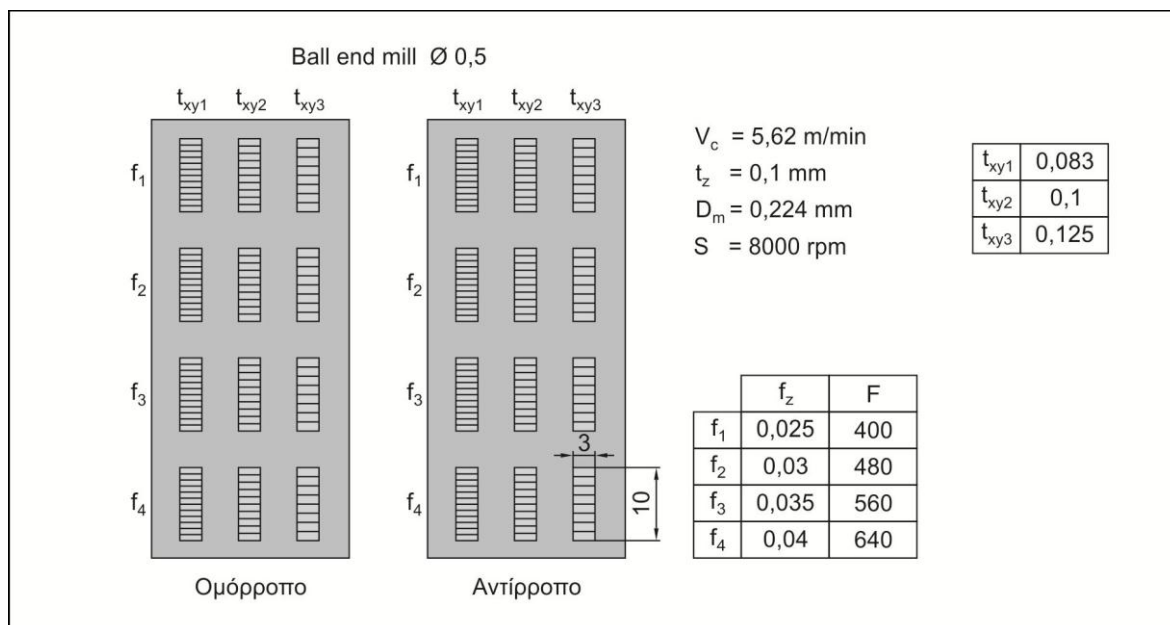
$$v_c = \frac{\pi \cdot D_m \cdot n}{1000}$$

Εφαρμόζονται τρία διαφορετικά ακτινικά βάθη κοπής για το κάθε εργαλείο. Πιο συγκεκριμένα επιλέγεται το 1/6, 1/5 και 1/4 της διαμέτρου του κάθε εργαλείου. Επίσης χρησιμοποιούνται τέσσερις τιμές πρόωσης ανά δόντι 0.025, 0.03, 0.035

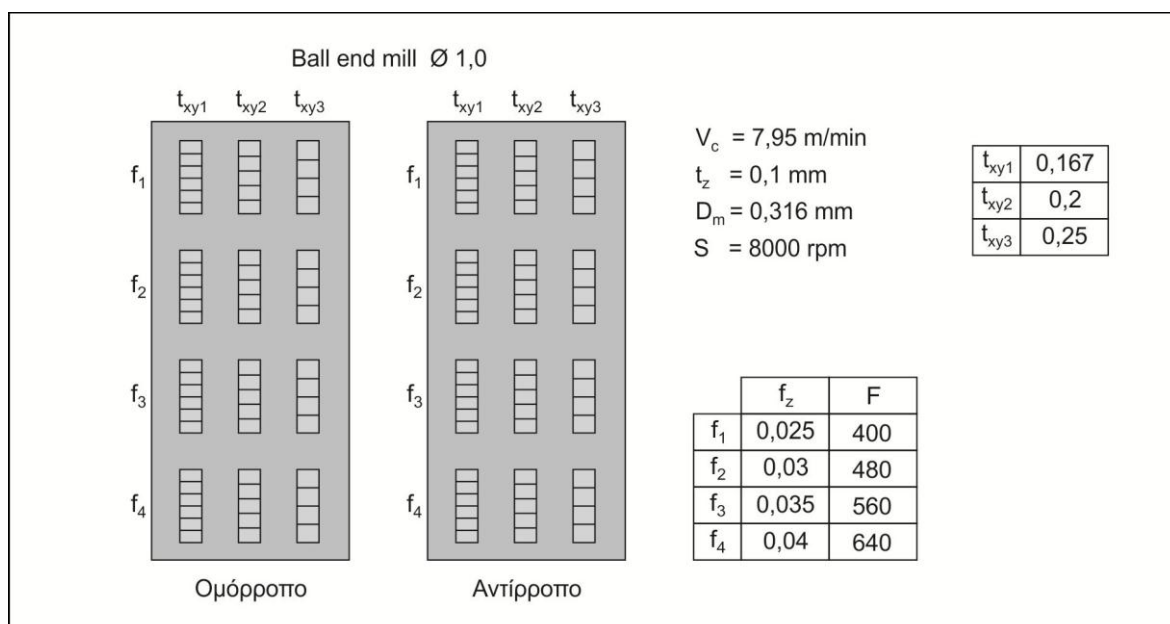
και 0.04. Η προγραμματιζόμενη πρόωση δίνεται από τον τύπο:

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$

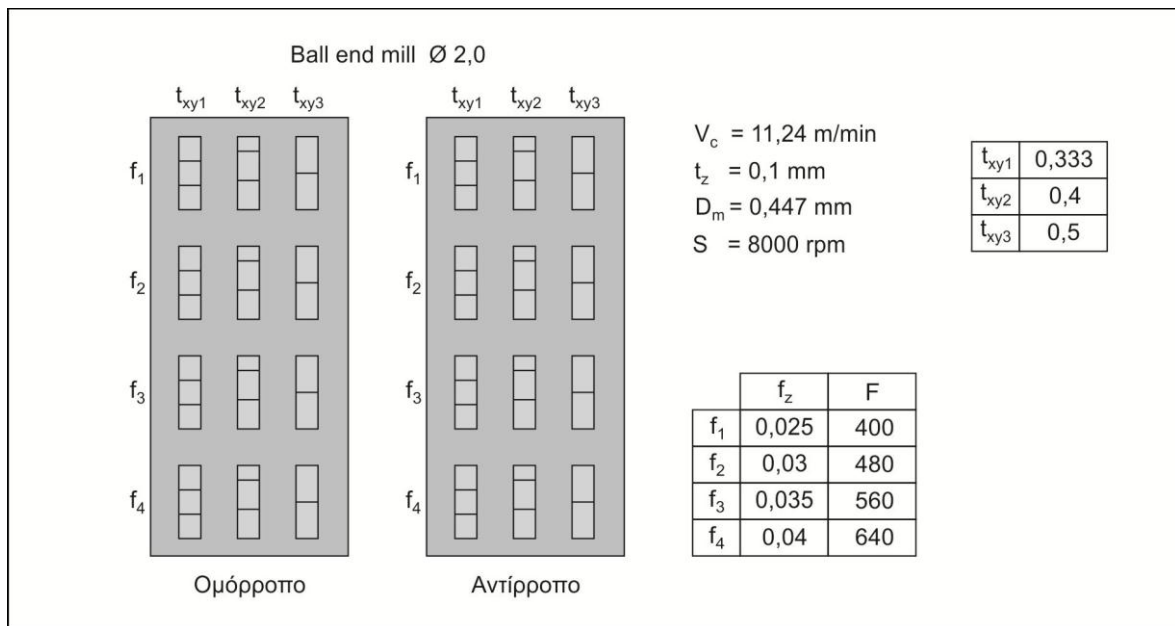
Στα ακόλουθα σχήματα 4.3, 4.4 και 4.5 παρουσιάζονται τα πειράματα και οι συνθήκες κοπής του κάθε πειράματος. Το κάθε πείραμα εκτελείται σε ένα παραλληλόγραμμο διαστάσεων 3×10. Συνολικά έγιναν 72 πειράματα κοπής.



Σχήμα 4.3 : Παράμετροι και συνθήκες κοπής κοπτικού εργαλείου 0,5 mm



Σχήμα 4.4 : Παράμετροι και συνθήκες κοπής κοπτικού εργαλείου 1 mm

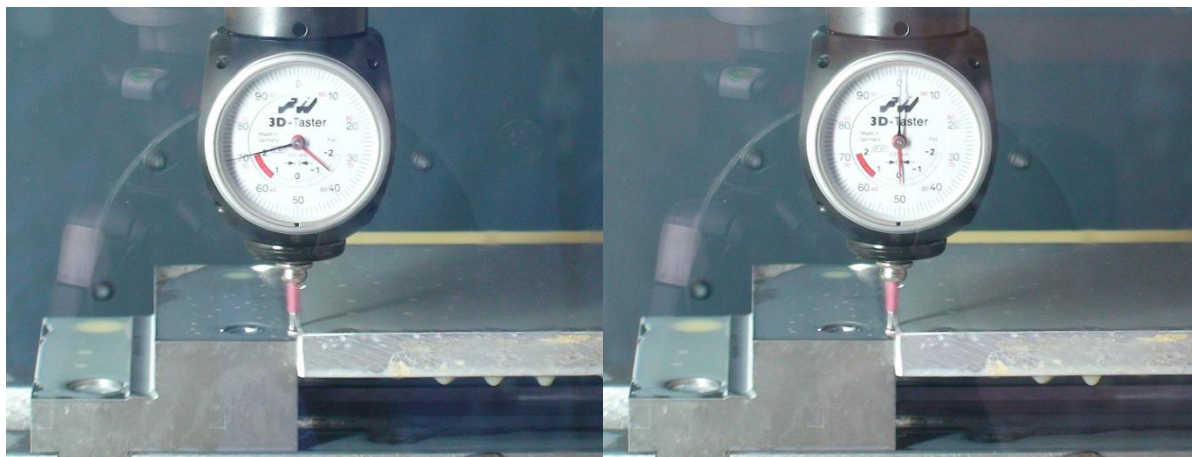


Σχήμα 4.5 : Παράμετροι και συνθήκες κοπής κοπτικού εργαλείου 2 mm

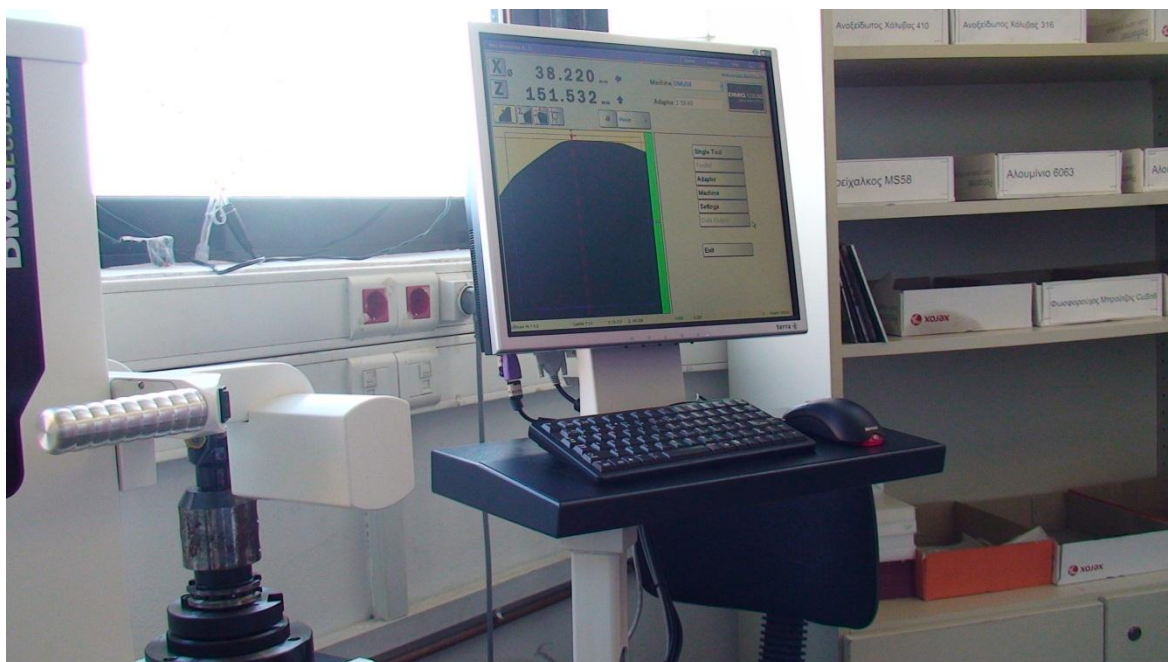
## 4.2 Εκτέλεση πειραμάτων

Η κατεργασία του δοκιμίου έγινε στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco της DMG που βρίσκεται στο εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.. Το υλικό του τεμαχίου που κατεργάστηκε είναι αλουμίνιο Al-7075 T651. Η πρώτη ενέργεια κατεργασίας των τεμαχίων κατά σειρά προτεραιότητας ήταν η εκχόνδρισή τους (FACE MILLING) και, δεύτερη, η κύρια επεξεργασία του δοκιμίου με εργαλεία σφαιρικής απόληξης.

Αρχικά το δοκίμιο έπρεπε να στηριχτεί στην τράπεζα της φραιζας ώστε να μην υπάρχουν ταλαντώσεις και αστοχίες κατά τη διάρκεια της κατεργασίας και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί σφικτήρες. Στη συνέχεια το δοκίμιο μηδενίστηκε (Σχήμα 4.6) και ξεκίνησε η διαδικασία της εκχόνδρισης (Face Mill), ώστε να καθαριστεί η αρχική επιφάνεια και να προκύψει η αναγκαία επιπεδότητα η οποία απαιτείται, για να επιτευχθεί το σωστό βάθος κοπής σε όλη την επιφάνεια κατεργασίας. Μετά το πέρας της διαδικασίας της εκχόνδρισης, αλλάχθηκε το κοπτικό εργαλείο, και προσδέθηκαν κατά σειρά τα εργαλεία σφαιρικής απόληξης, τα οποία μετρήθηκαν στο ειδικό κέντρο μέτρησης DMG MICROSET UNO 115 eco (Σχήμα 4.7)

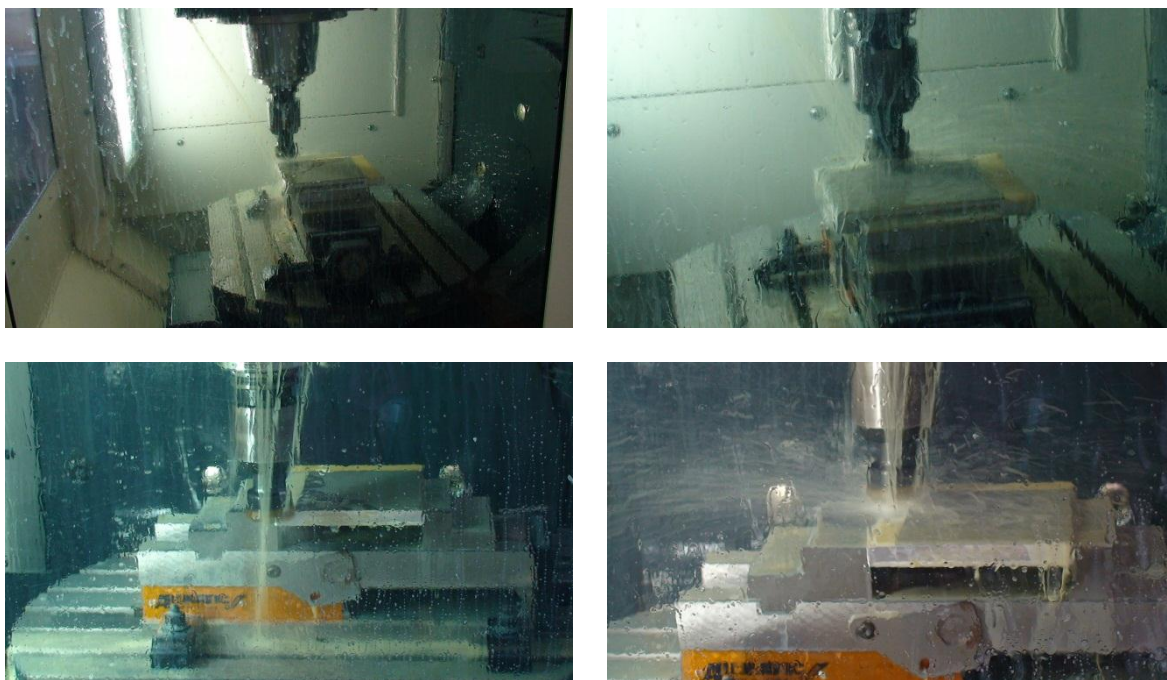


Σχήμα 4.6 : Μηδανισμός τεμαχίου κατεργασίας



Σχήμα 4.7 : Μέτρηση κοπτικού εργαλείου

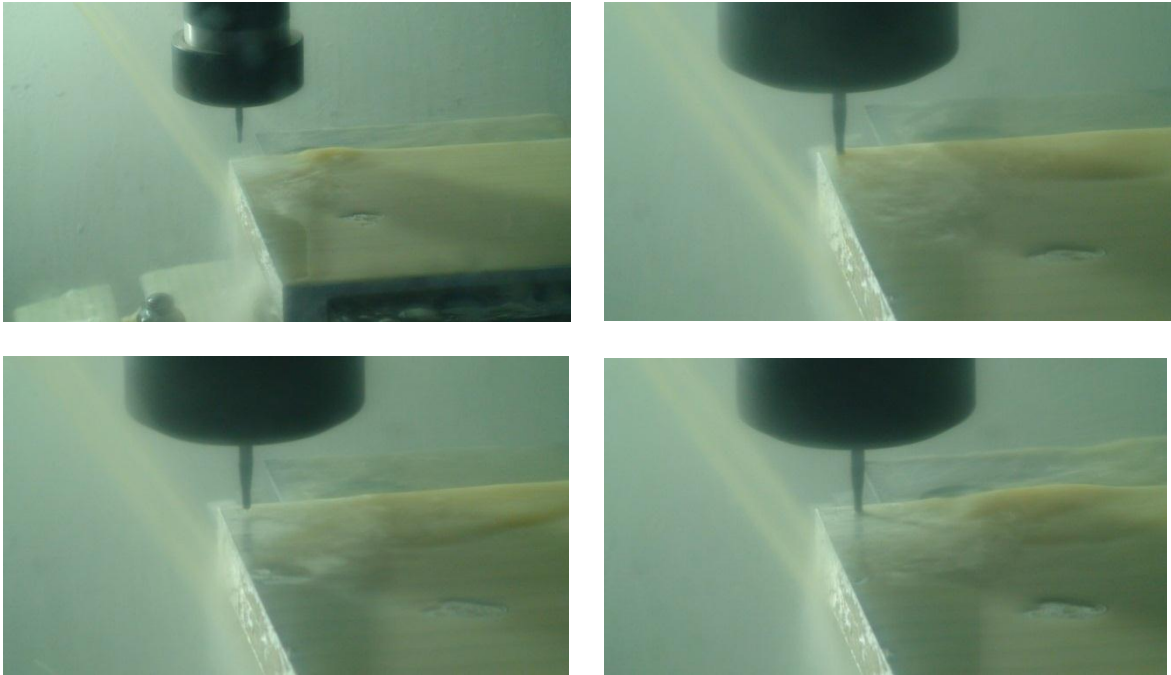
Για την εκχόνδριση του δοκιμίου χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Dodeka Face Mill (Program) της KENNAMETAL με διάμετρο D40 στις εξής συνθήκες κοπής: διαστάσεις αλουμινίου (X:145, Y:150, Z:-0,5)  $f_z = 0,1\text{mm}/\delta\text{όντι}$ ,  $V_c = 120\text{m/min}$ , βάθος κοπής 0,5 mm για ένα πέρασμα, ακτινικό βάθος κοπής  $t_{xy} = 25\%$  της διαμέτρου και φορά κοπής προς τα εμπρός κατά τέτοιον τρόπο ώστε η κοπή να γίνεται με μεγαλύτερη χρήση λιπαντικού υγρού (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8 : Φραιζάρισμα προσώπου

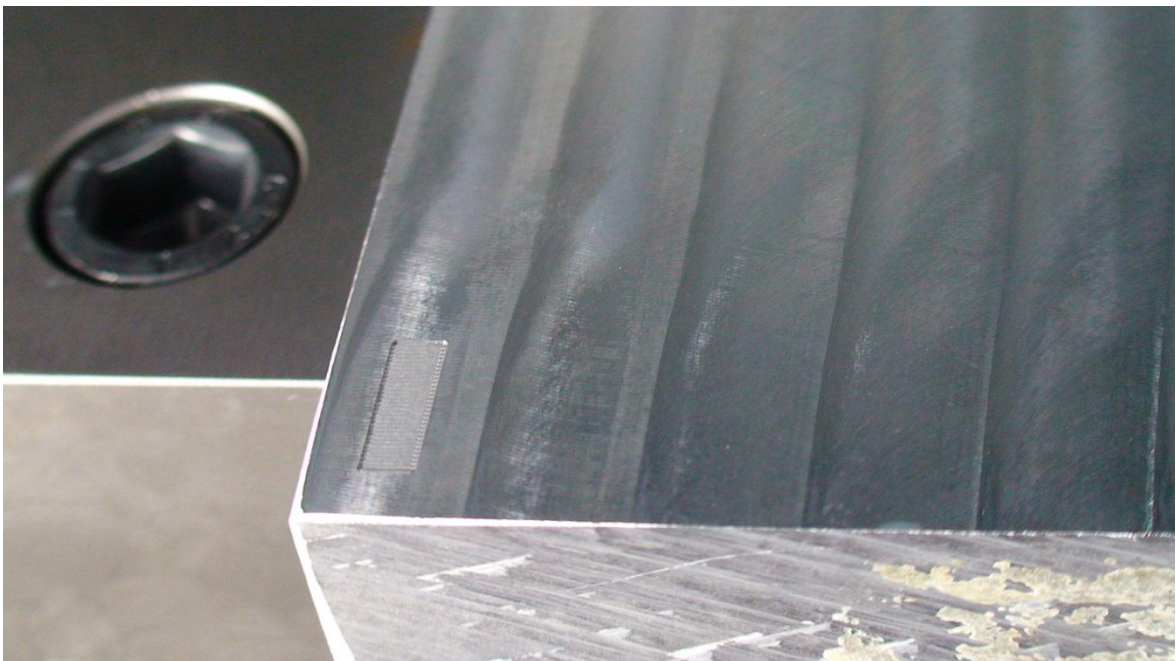
Στη συνέχεια εκτελούνται τα πειράματα κοπής για τις συγκεκριμένες συνθήκες που έχουν

προαναφερθεί. Τα πρώτα πειράματα που εκτελέστηκαν ήταν με εργαλείο διαμέτρου 2 mm και εφαρμόστηκαν στο ομόρροπο φραιζάρισμα (Σχήμα 4.9).



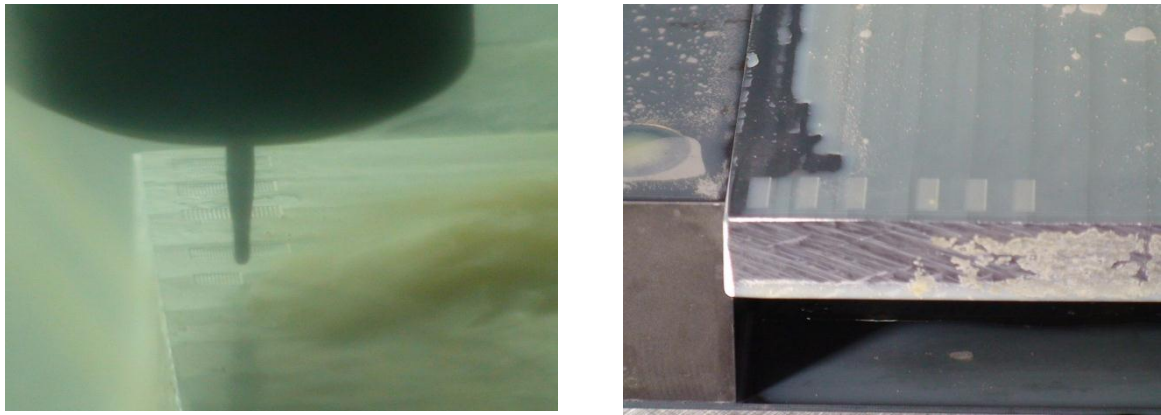
Σχήμα 4.9 : Πείραμα 1,  $D = 2 \text{ mm}$ ,  $t_z = 0.1$ ,  $t_{xy} = 0.333$ ,  $f_z = 0.04$ , Ομόρροπο

Μετά το πέρας της κατεργασίας προκύπτει η τελική επιφάνεια όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10.

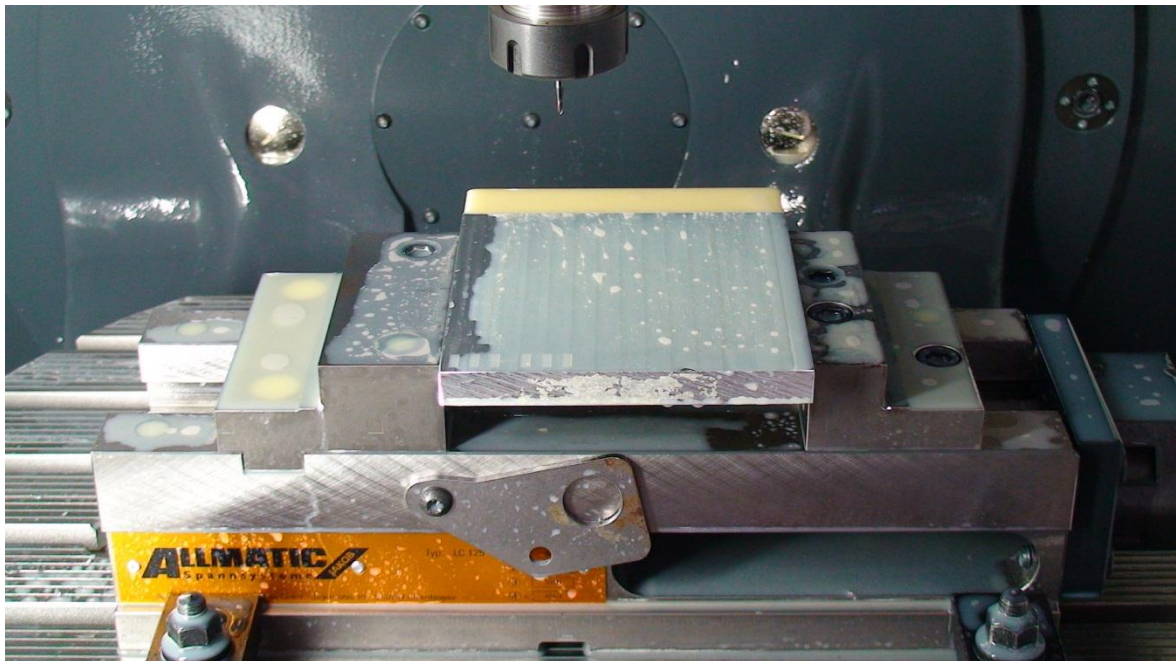


Σχήμα 4.10 : Προκύπτουσα επιφάνεια πειράματος 1

Τα πειράματα εκτελούνται με διαδοχική σειρά βασισμένα πρώτα απ' όλα στο εργαλείο που βρίσκεται πάνω στην άτρακτο έτσι ώστε να μην γίνεται συνεχώς αλλαγή του κοπτικού. Μετά την εκτέλεση του κάθε πειράματος γίνεται έλεγχος του εργαλείου ως προς την φθορά του. Ακολουθούν τα πειράματα που έχουν την ίδια πρόωση και εκτελούνται τόσο σε ομόρροπο όσο και σε αντίρροπο φραιζάρισμα διαδοχικά, έτσι ώστε να δημιουργούνται εξάδες πειραμάτων σε μία σειρά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τις υπόλοιπες τιμές πρόωσης και τα επόμενα κοπτικά εργαλεία (Σχήματα 4.11, 4.12, 4.13).



Σχήμα 4.11 : Πρώτη σειρά πειραμάτων για  $D = 2 \text{ mm}$ ,  $t_z = 0.1$ ,  $f_z = 0.04$



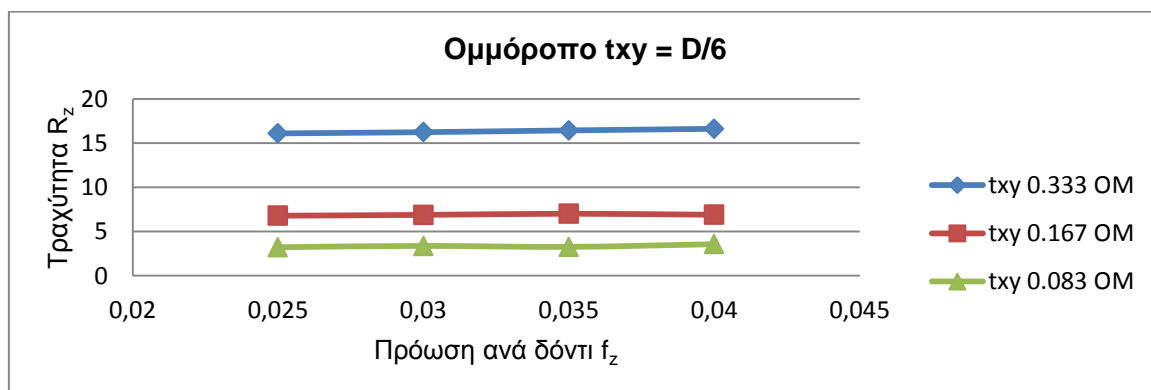
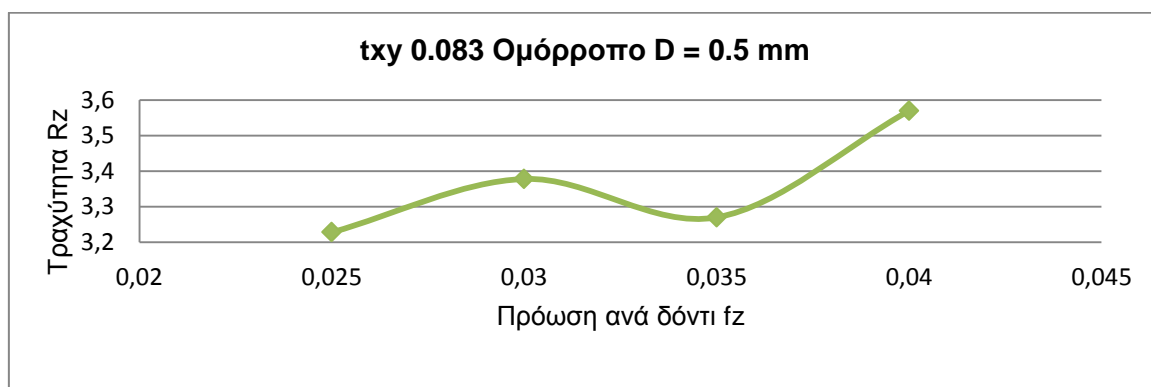
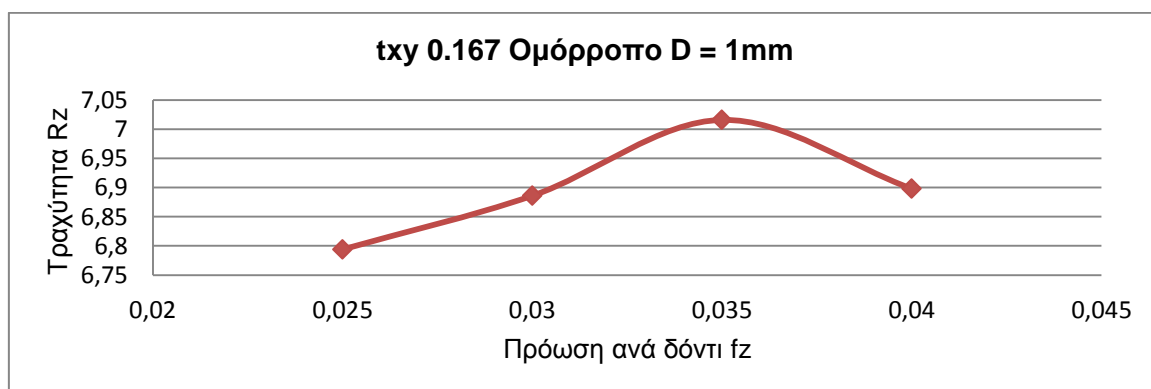
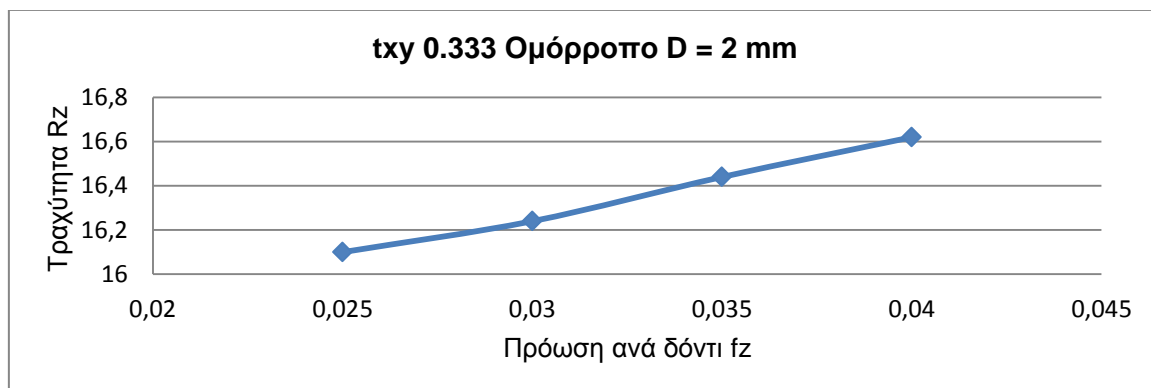
Σχήμα 4.12 : Πρώτη σειρά πειραμάτων

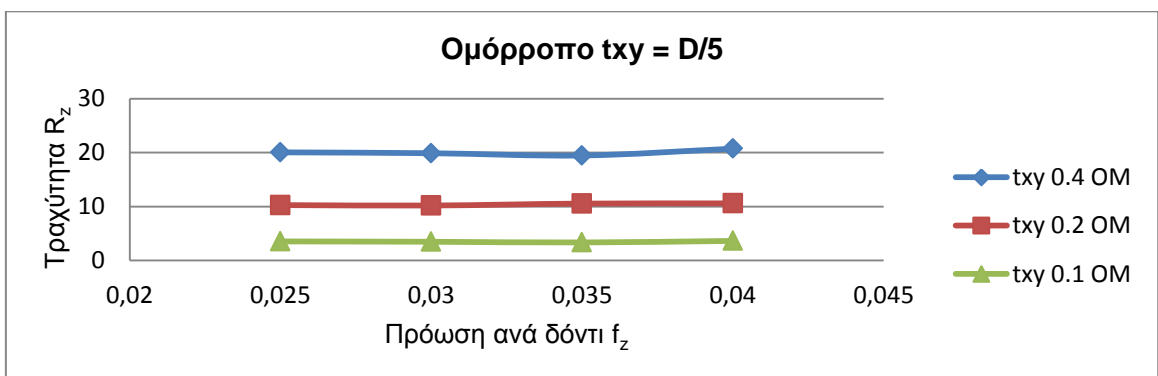
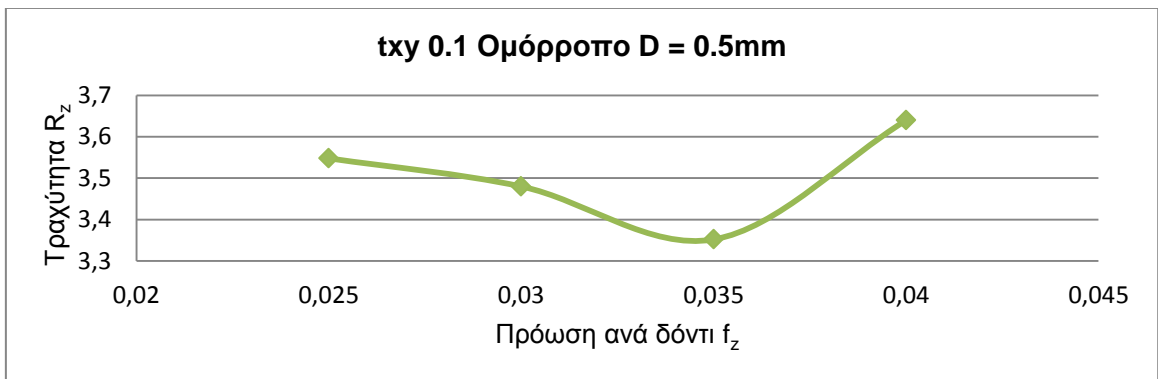
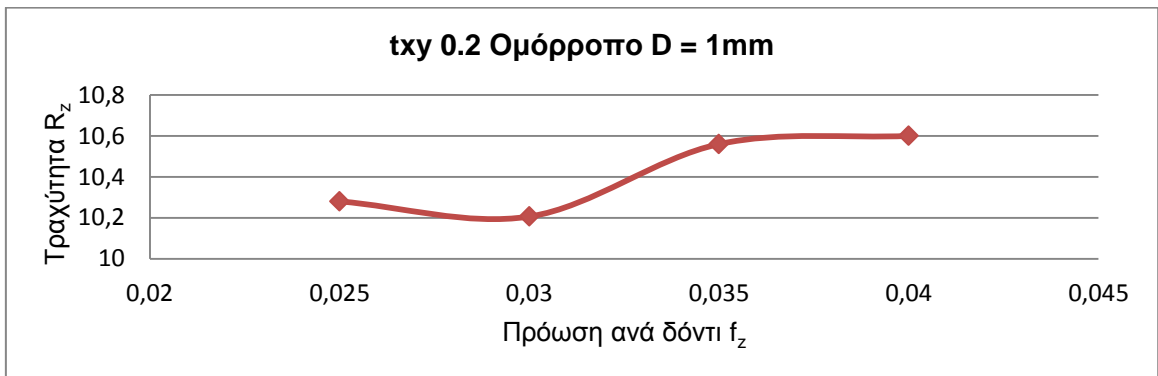
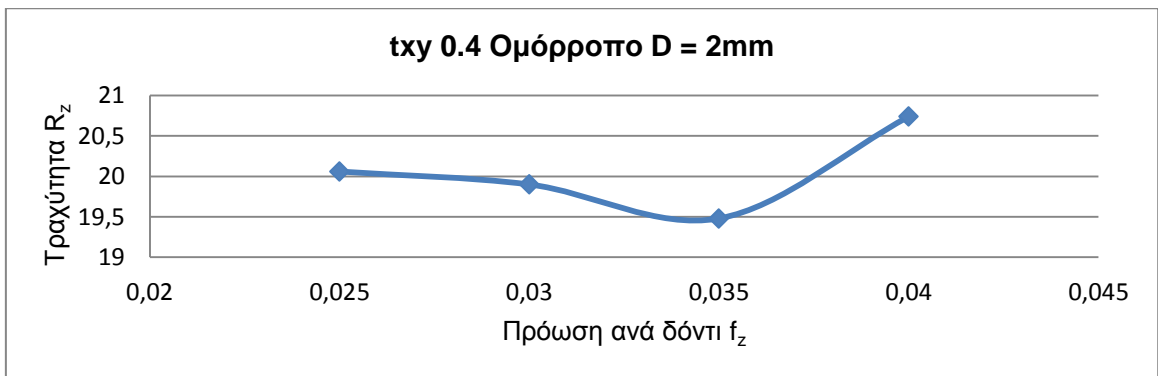


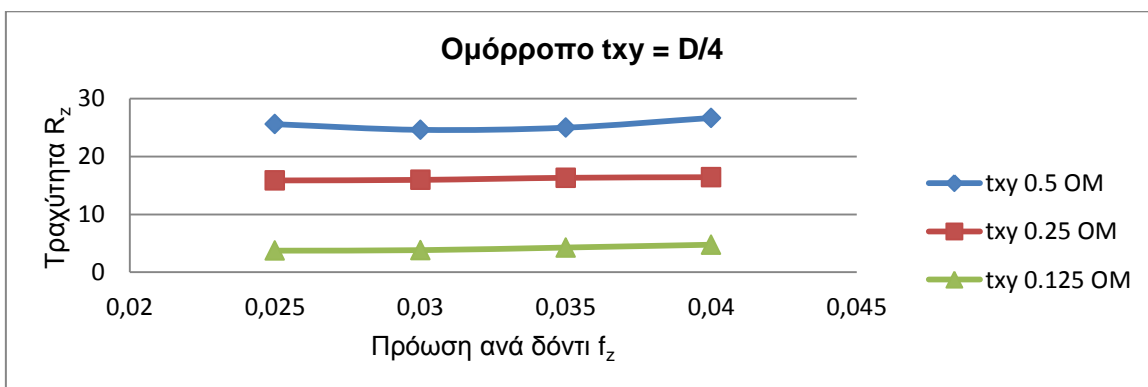
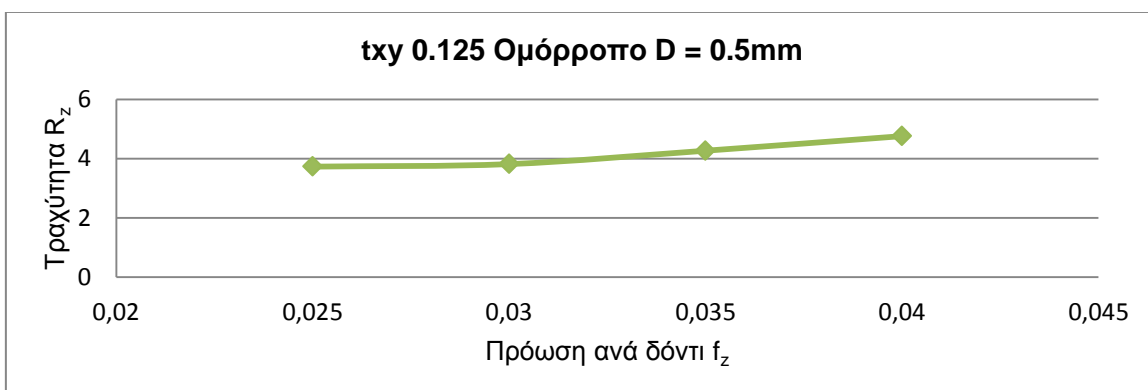
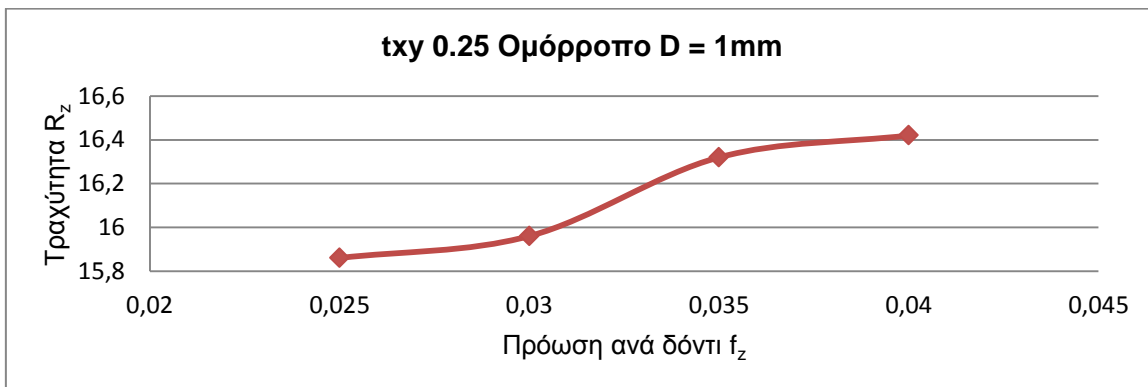
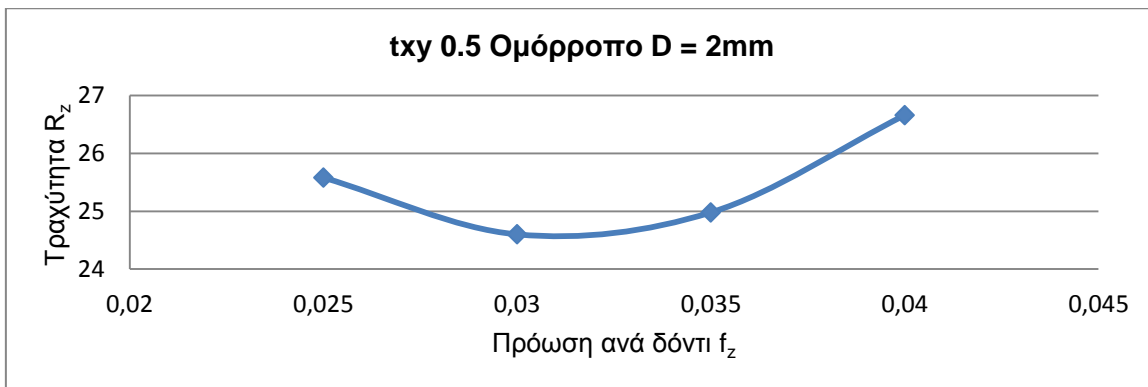
Σχήμα 4.13 : Ολοκληρωμένα πειράματα για εργαλεία 2 και 1 mm

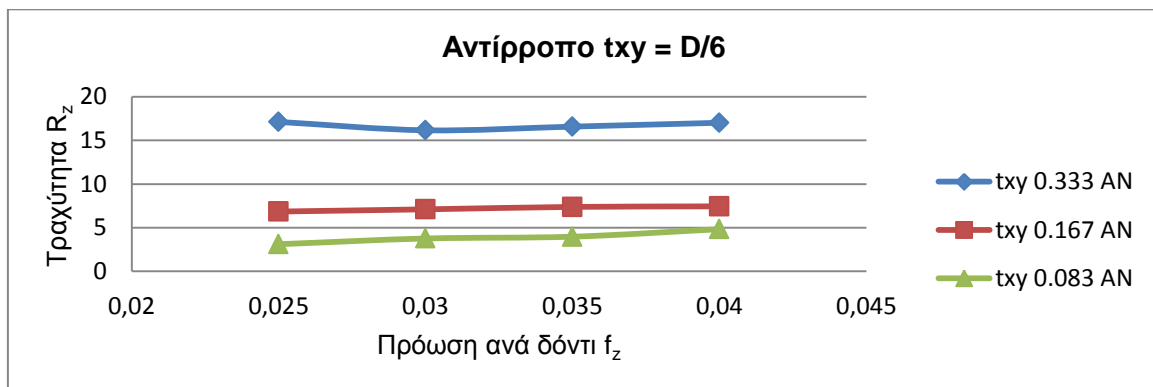
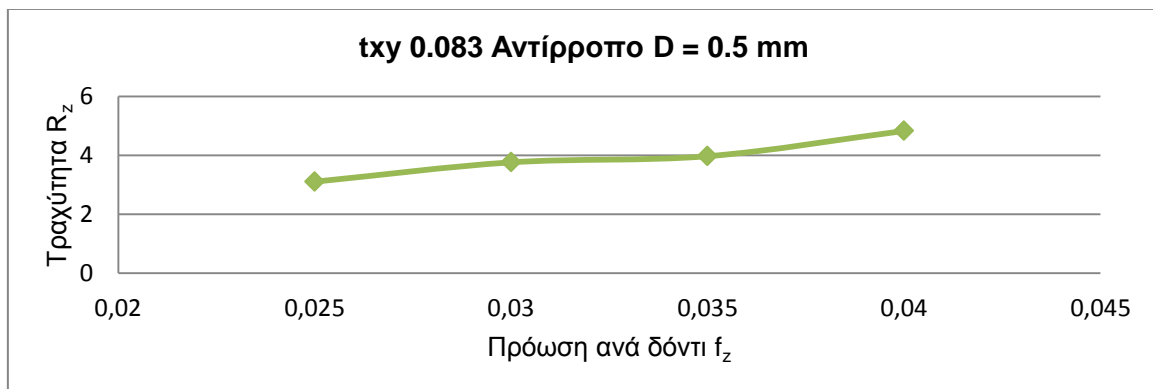
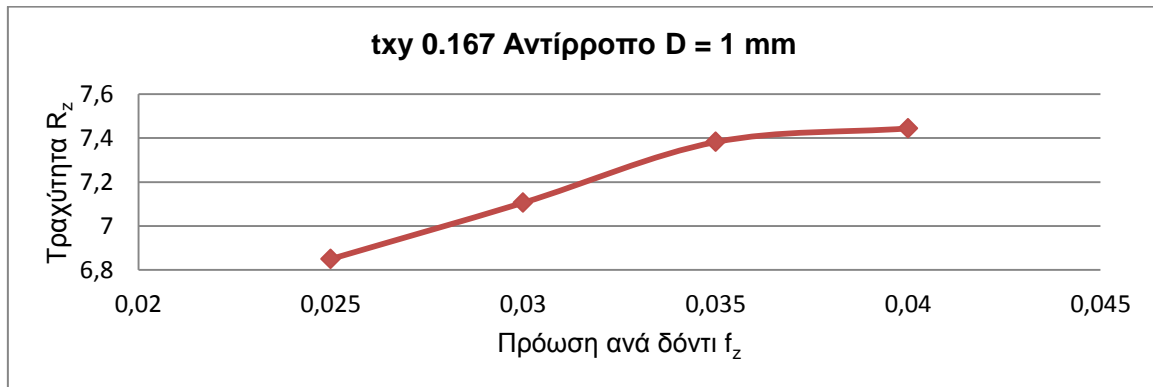
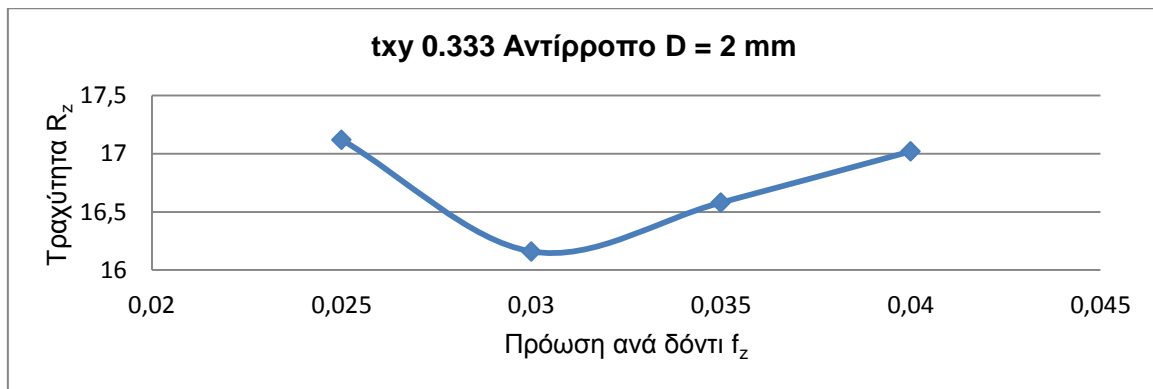
## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

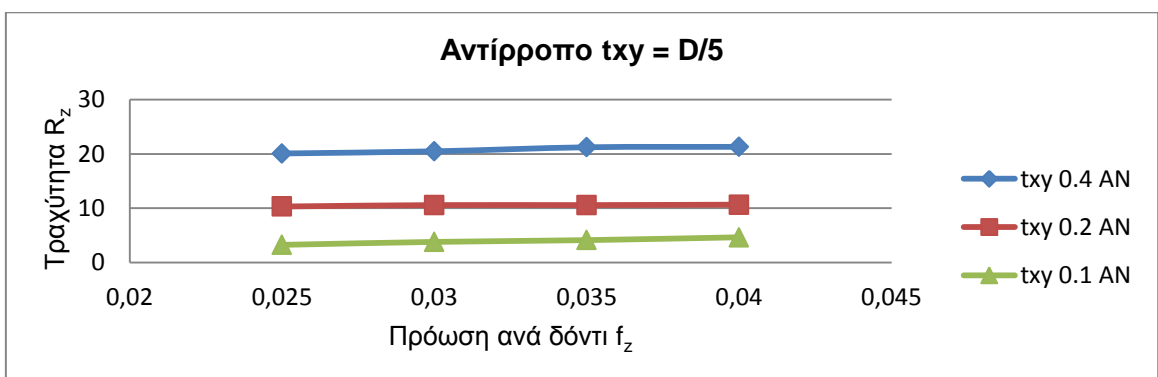
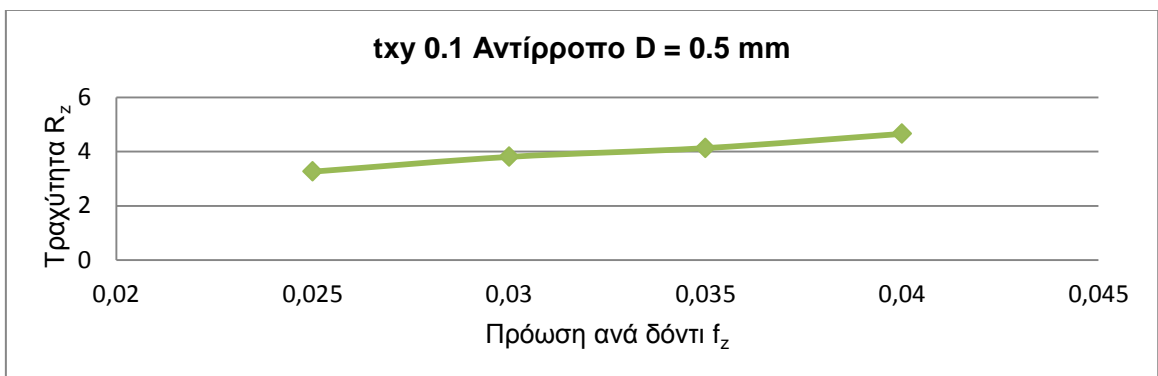
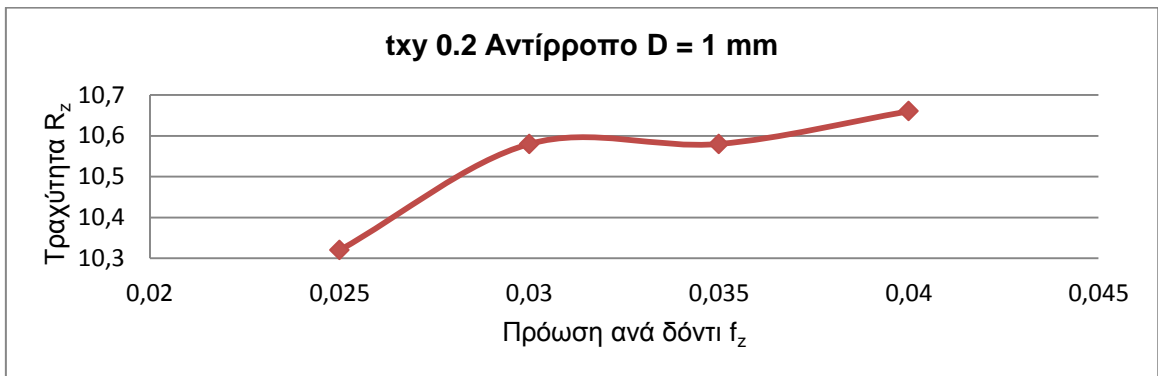
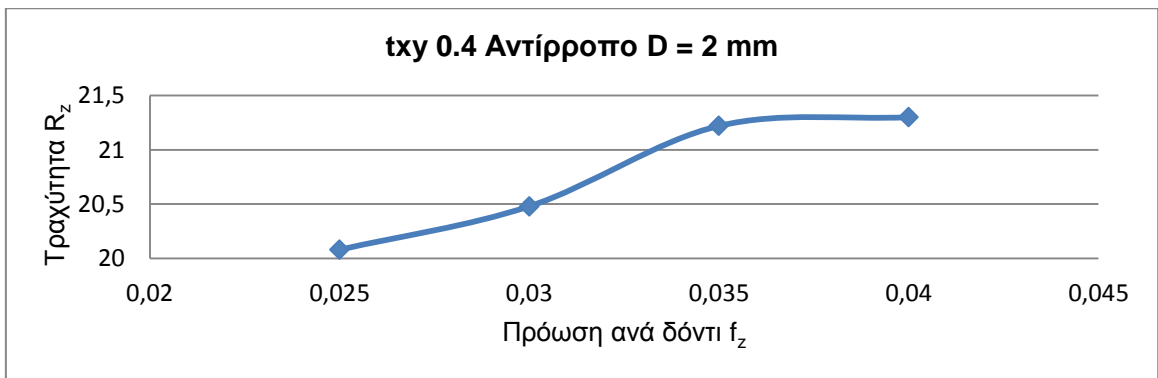
Σύμφωνα με τις τραχυμετρήσεις που έγιναν στο κάθε πείραμα, εξάγεται η τιμή της μέσης τραχύτητας  $R_z$  της επιφάνειας. Οι τιμές που καταγράφονται στις τραχυμετρήσεις είναι η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή. Σε κάθε πείραμα έγιναν πέντε τραχυμετρήσεις κάθετα στη φορά της πρόωσης σε ίσες αποστάσεις.

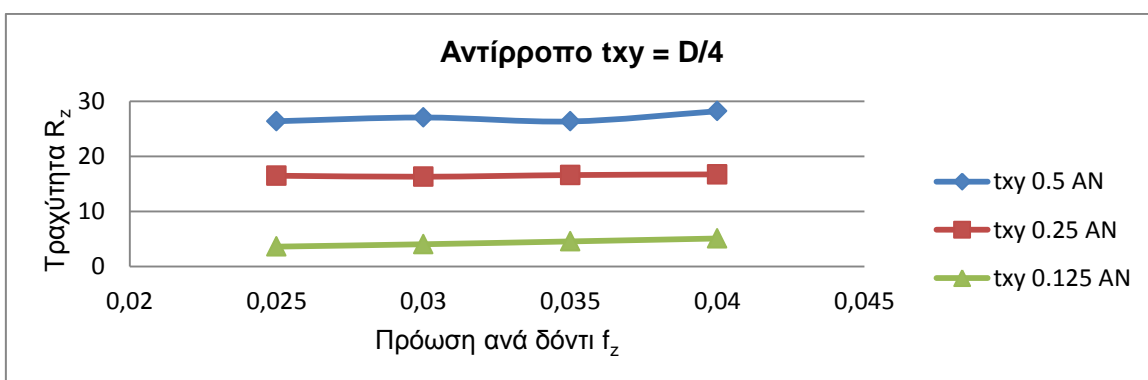
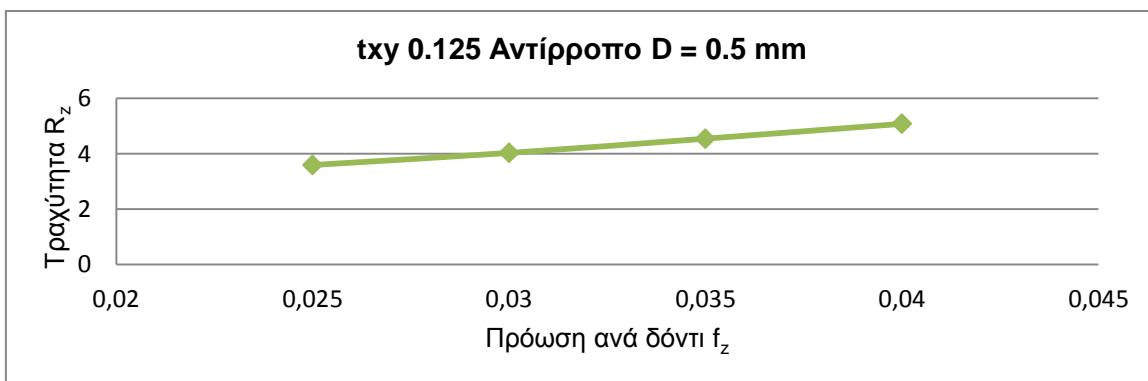
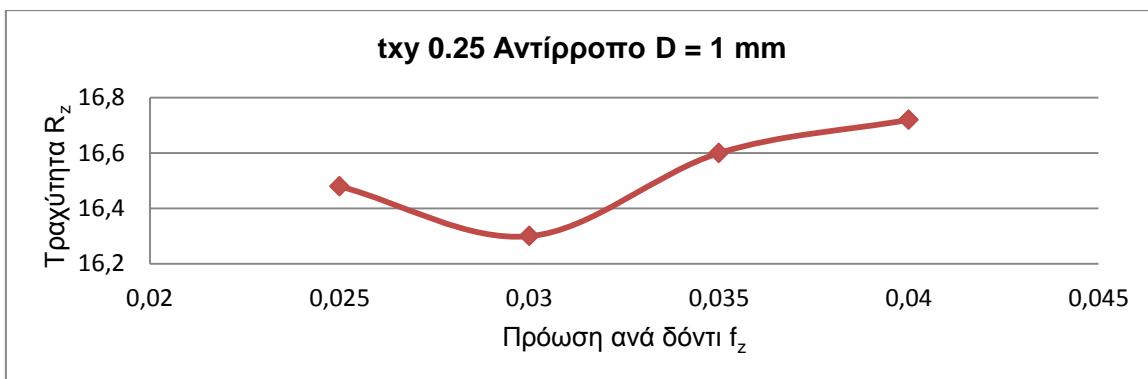
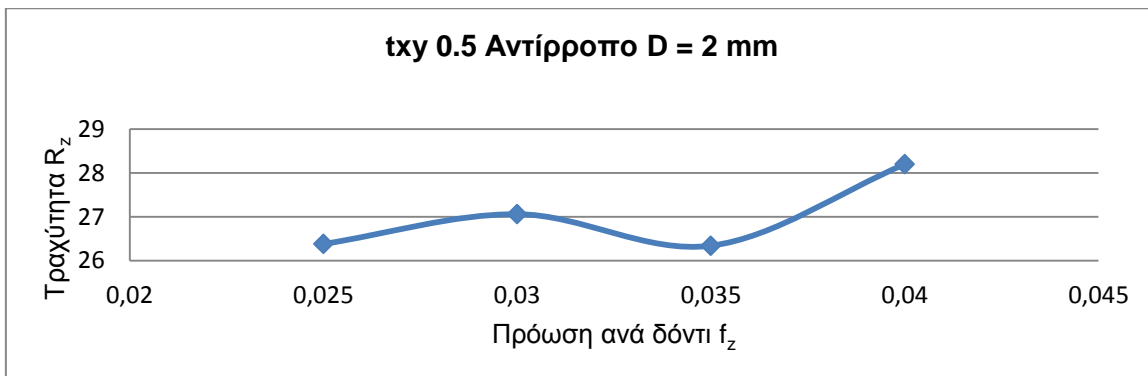


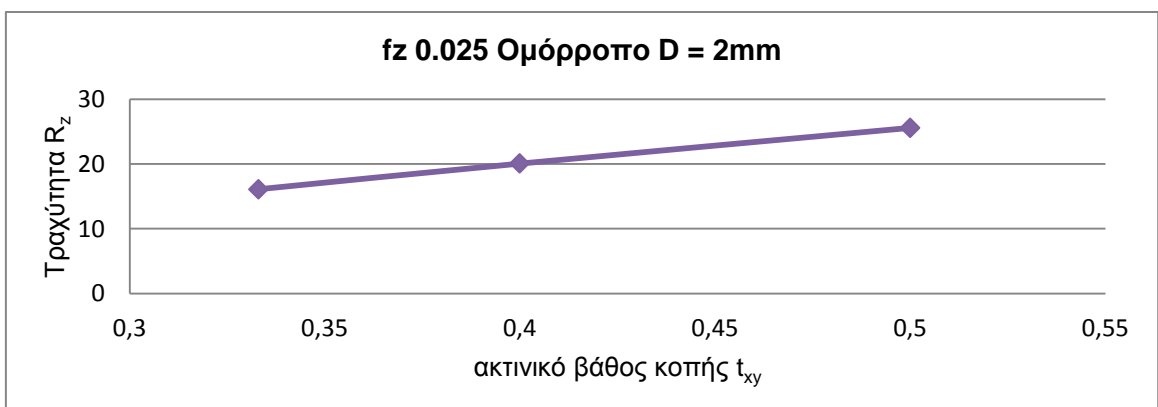
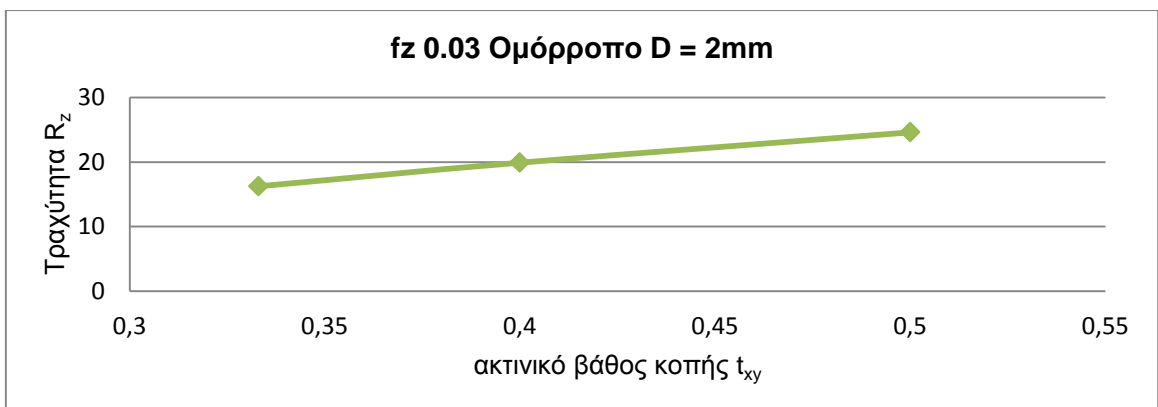
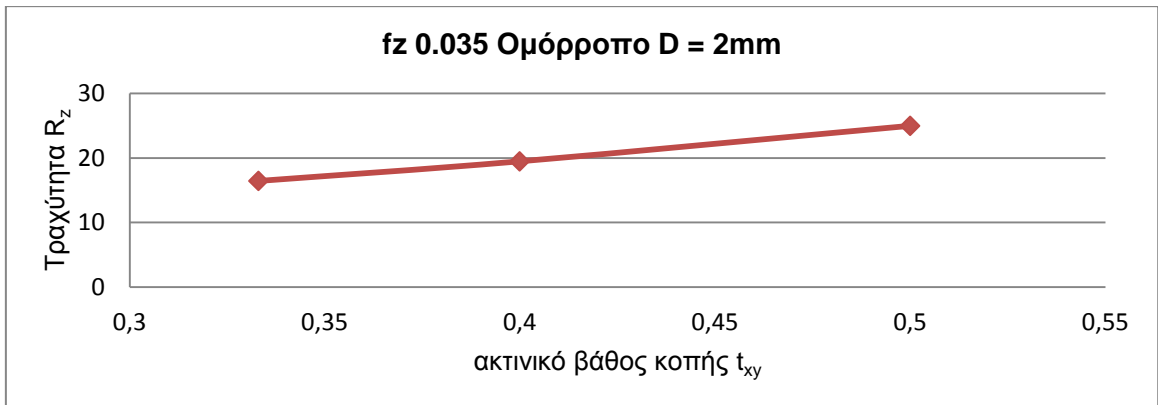
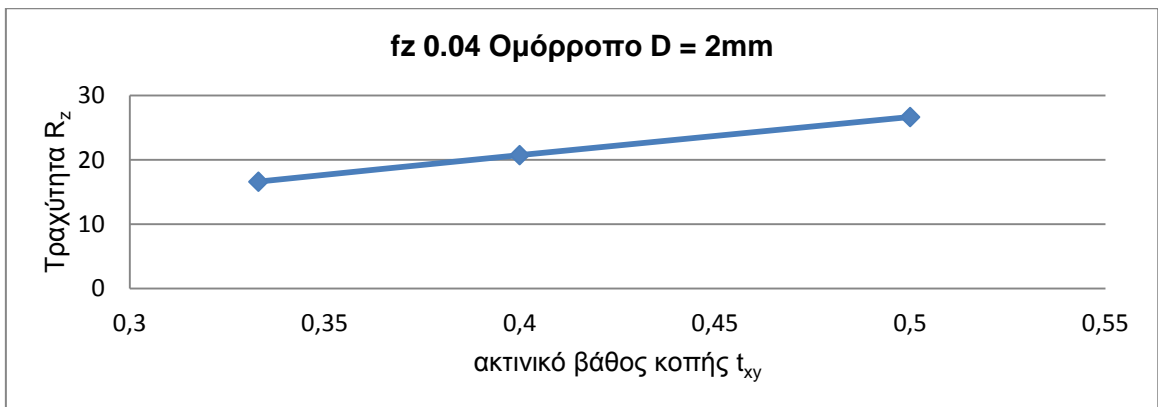


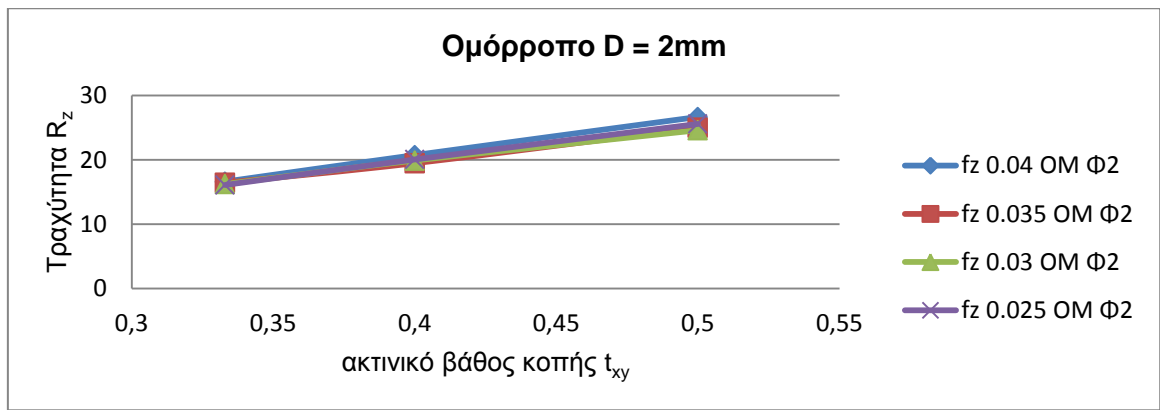


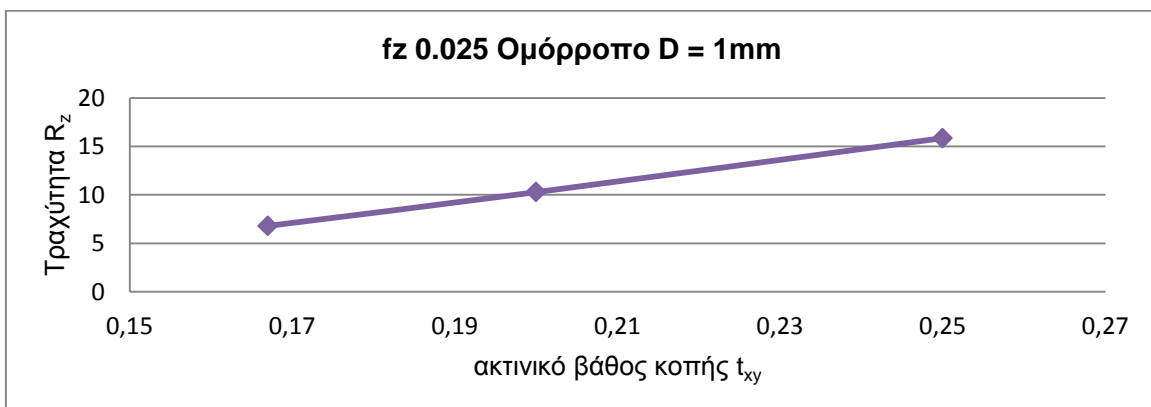
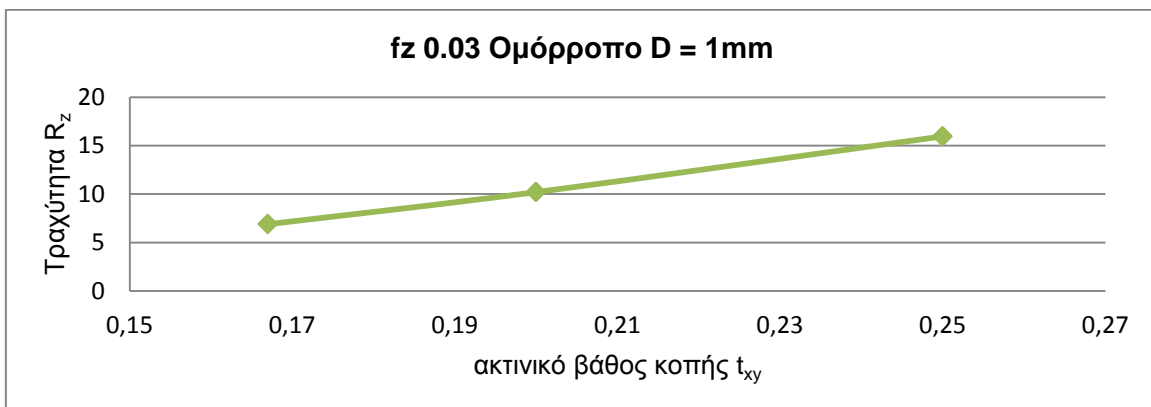
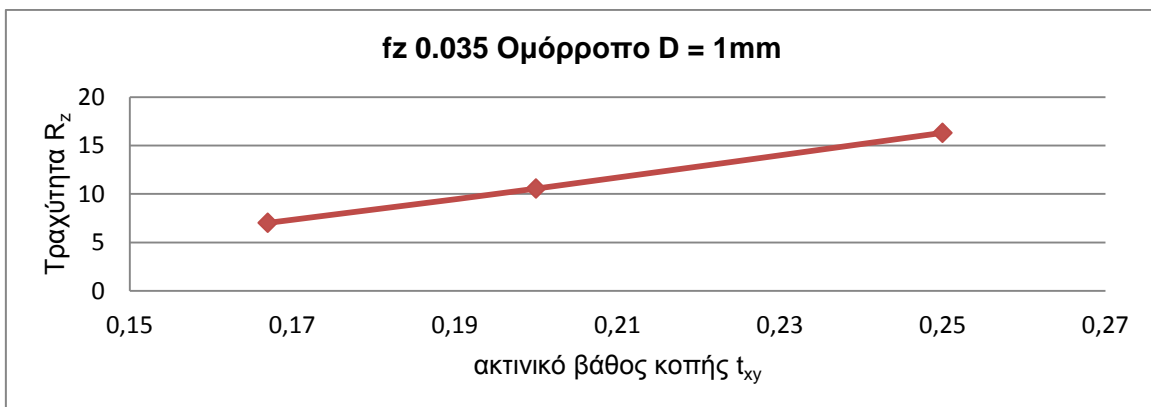
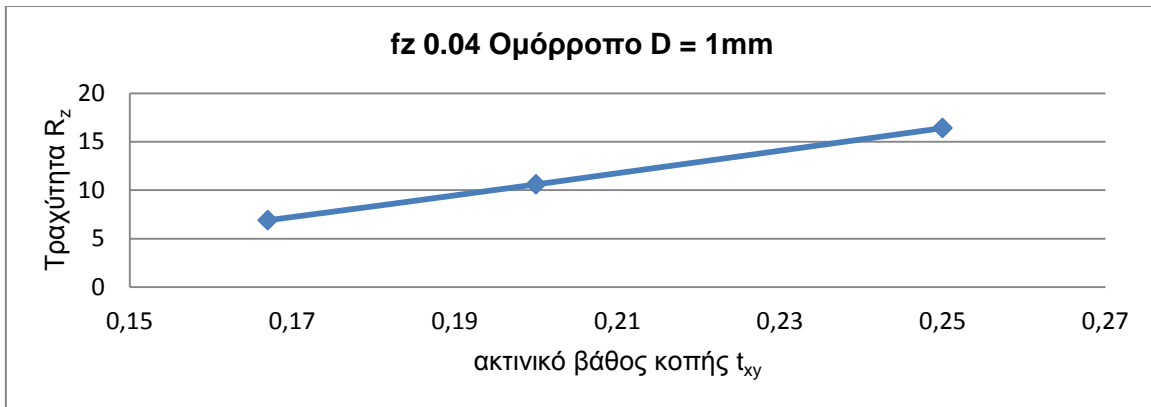


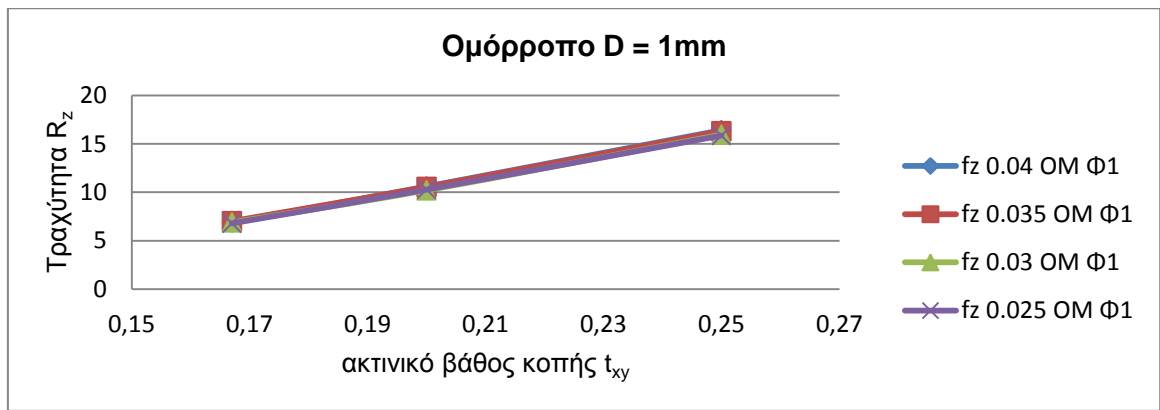


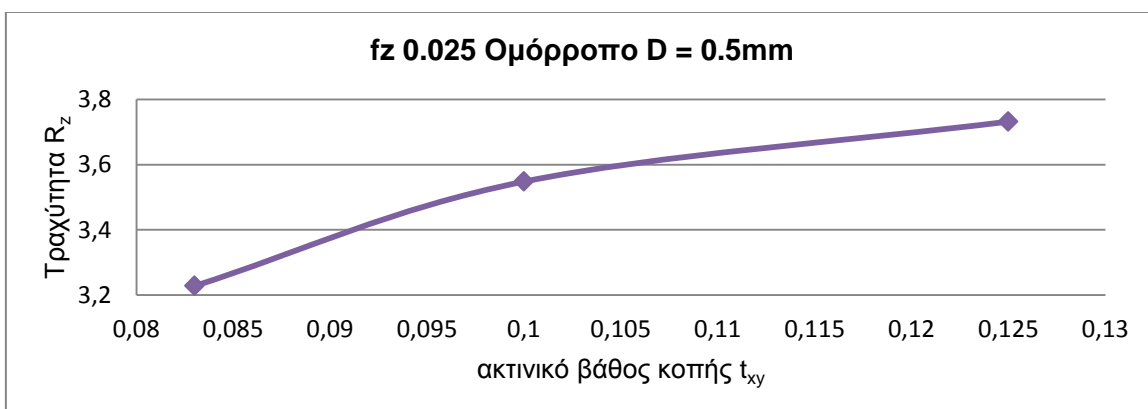
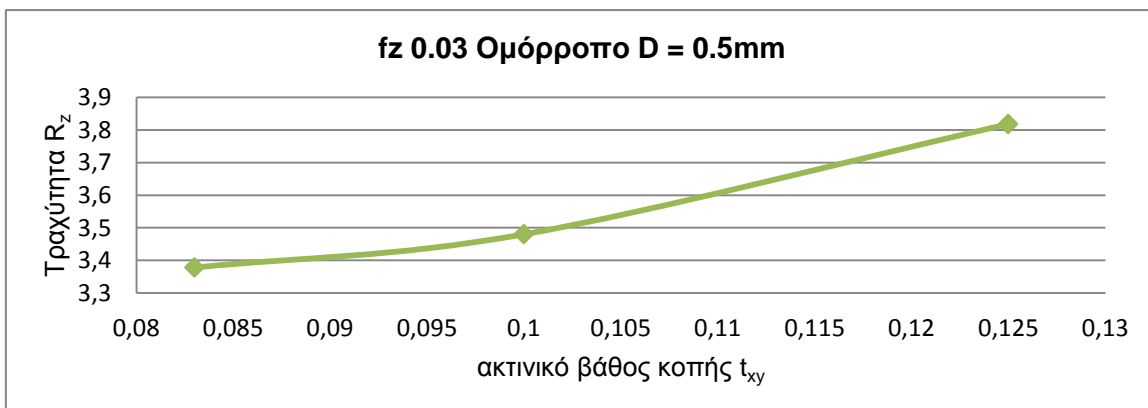
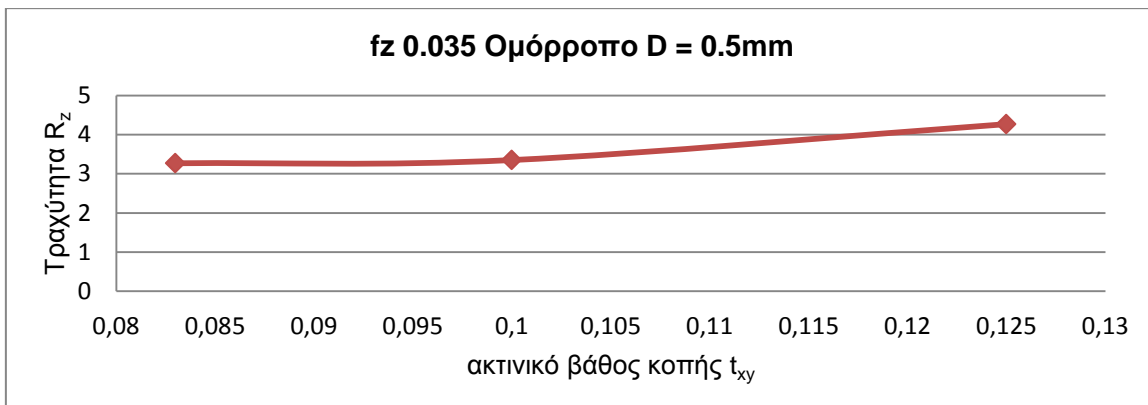
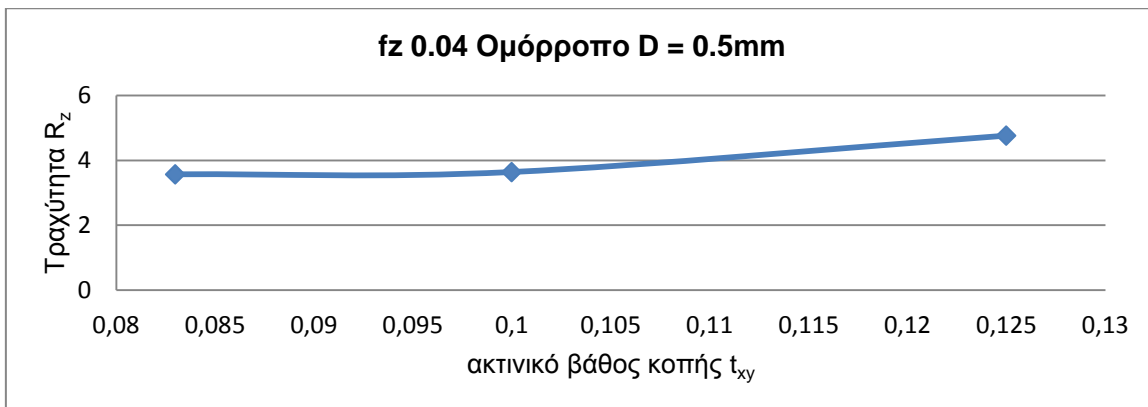


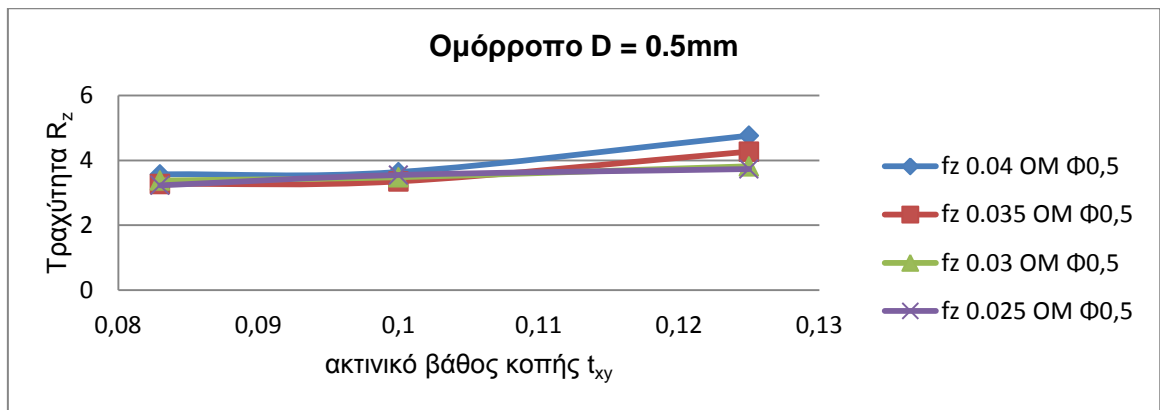


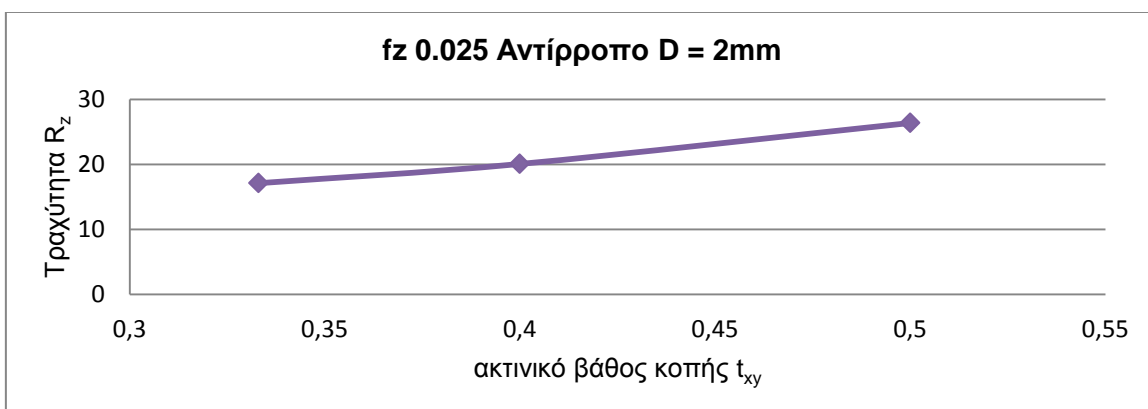
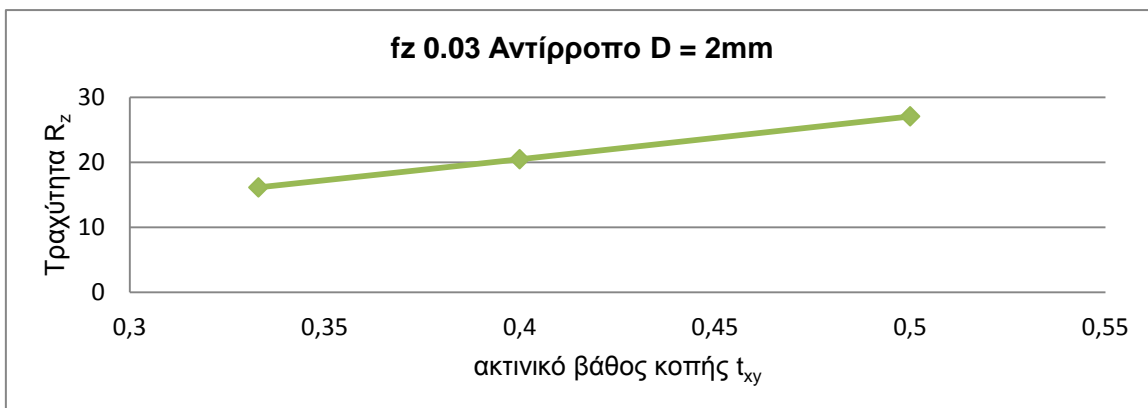
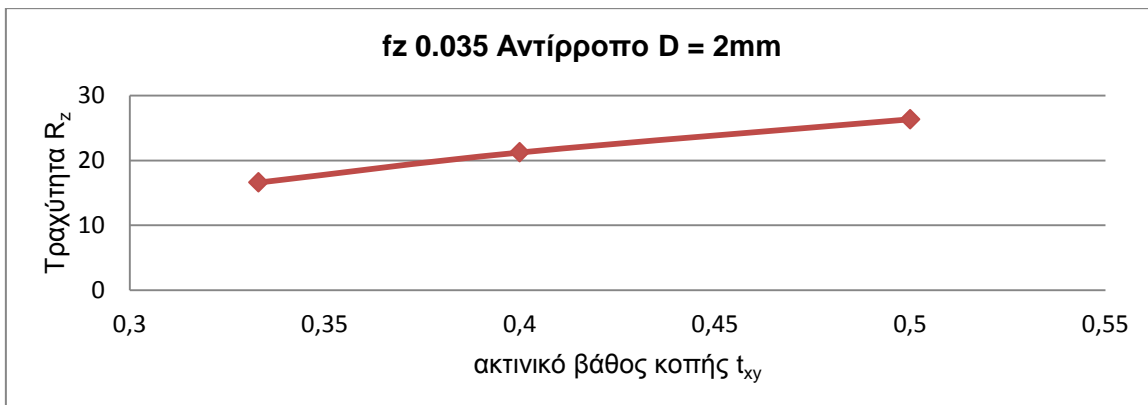
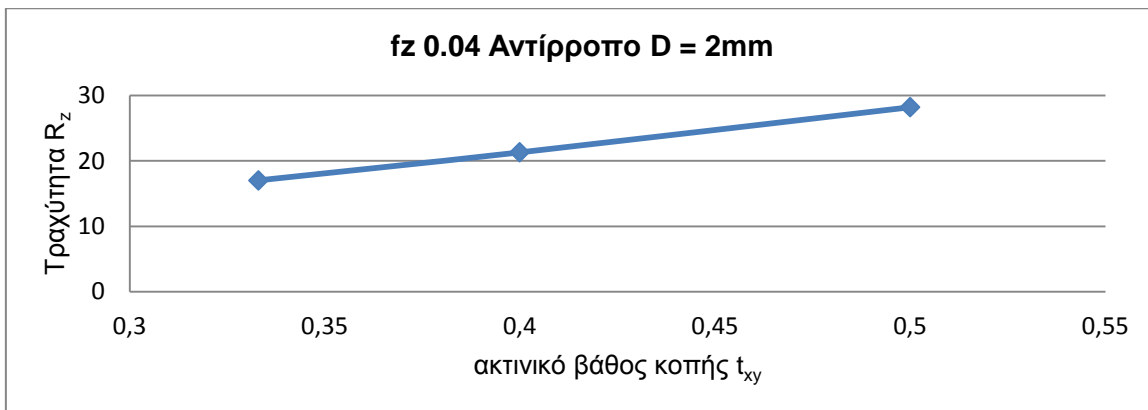


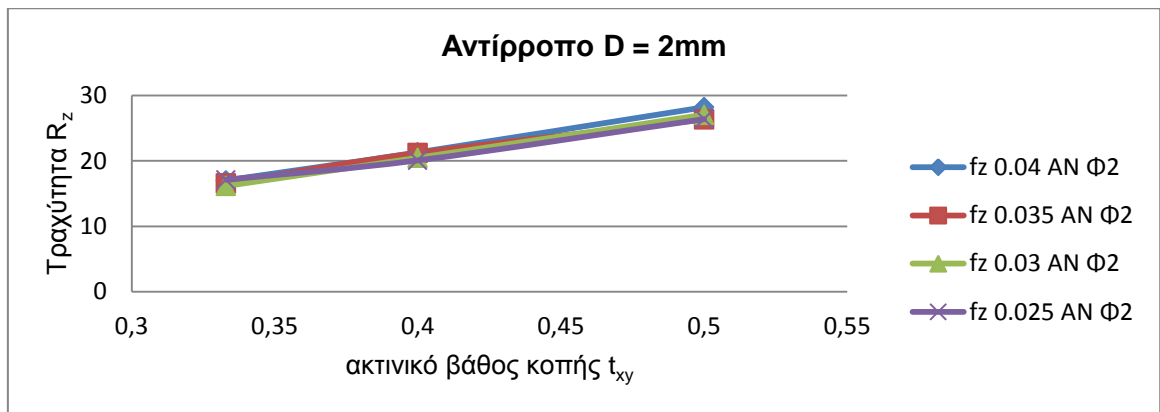


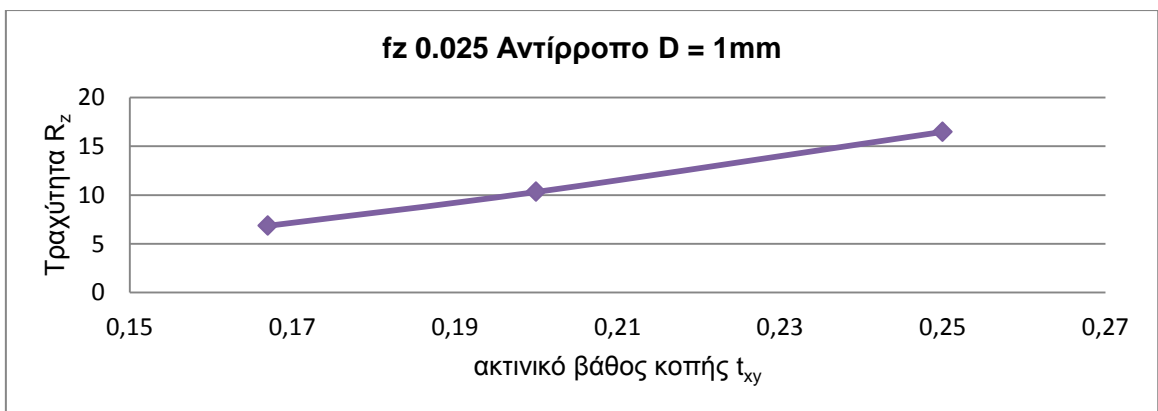
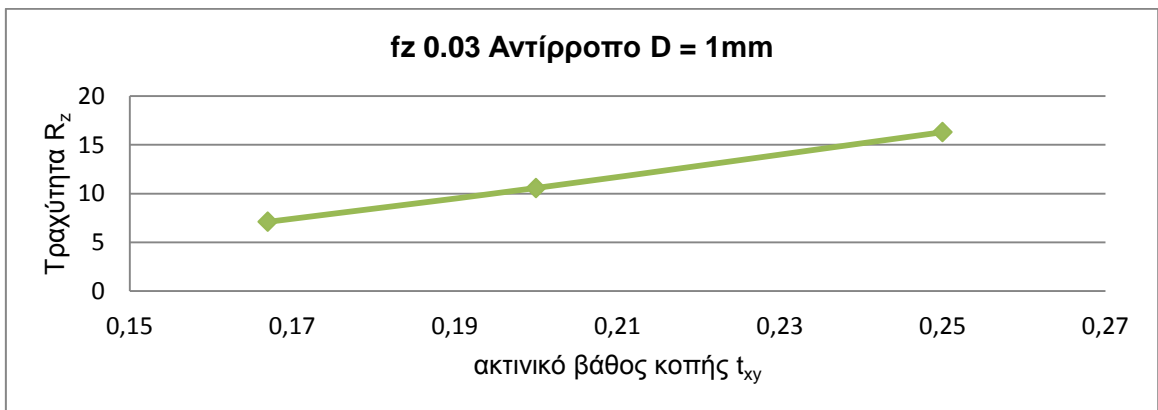
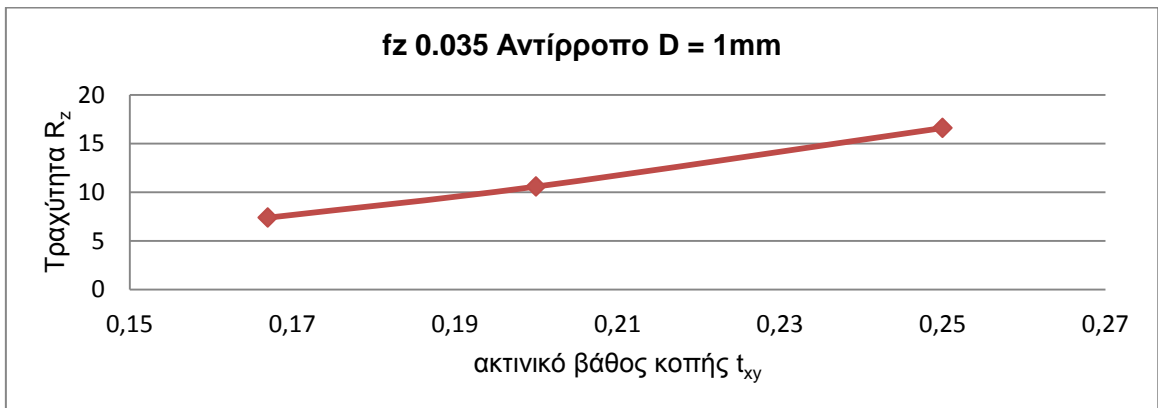
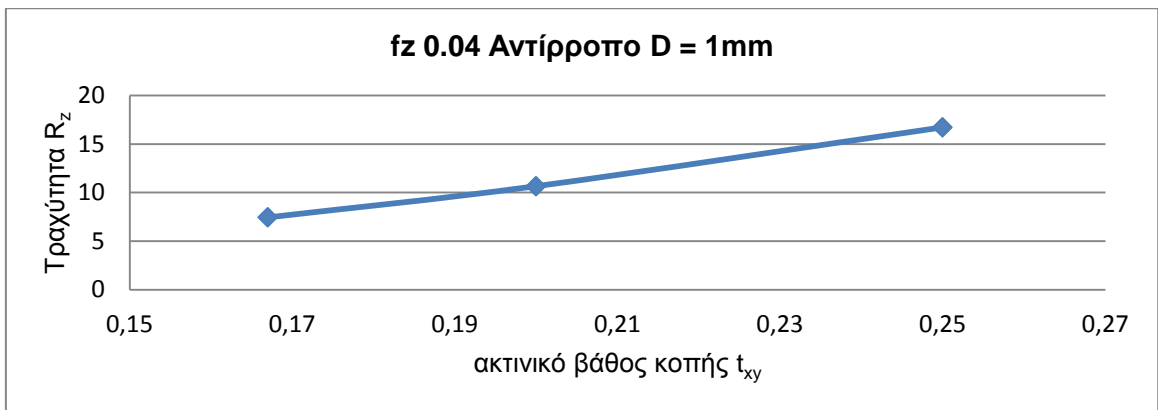


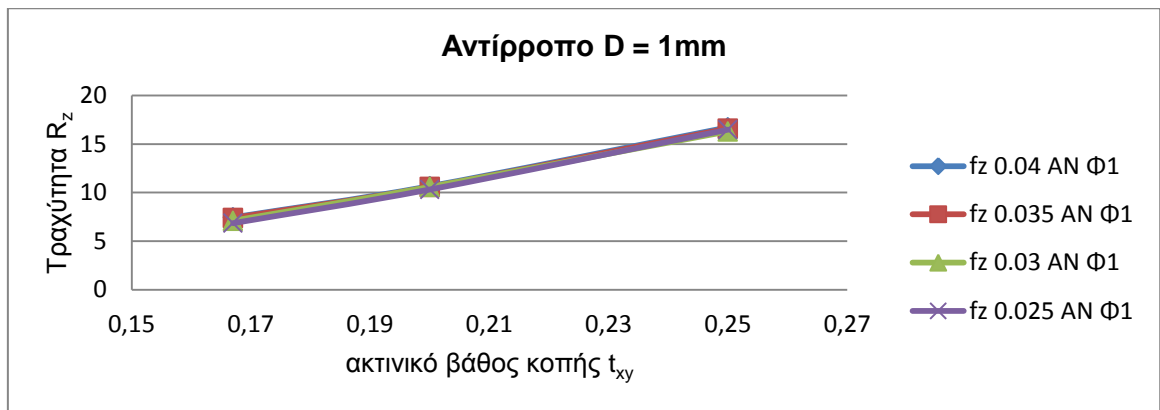


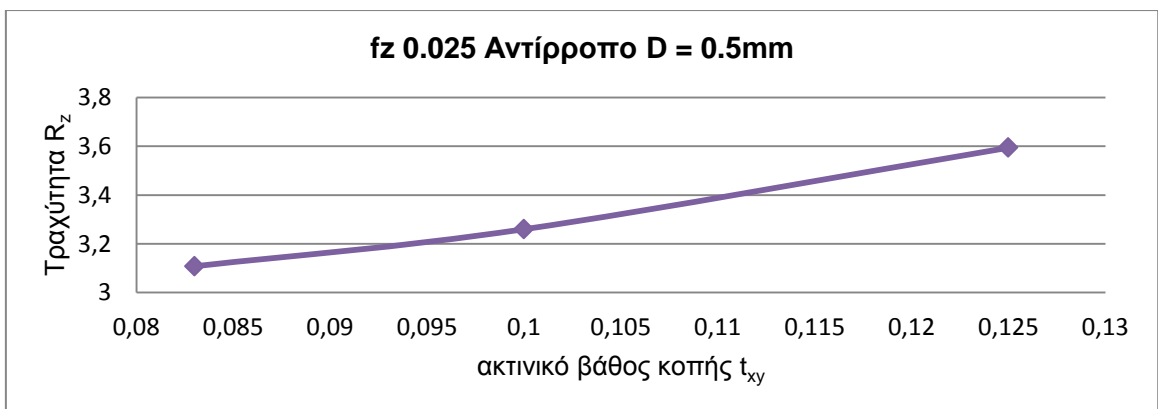
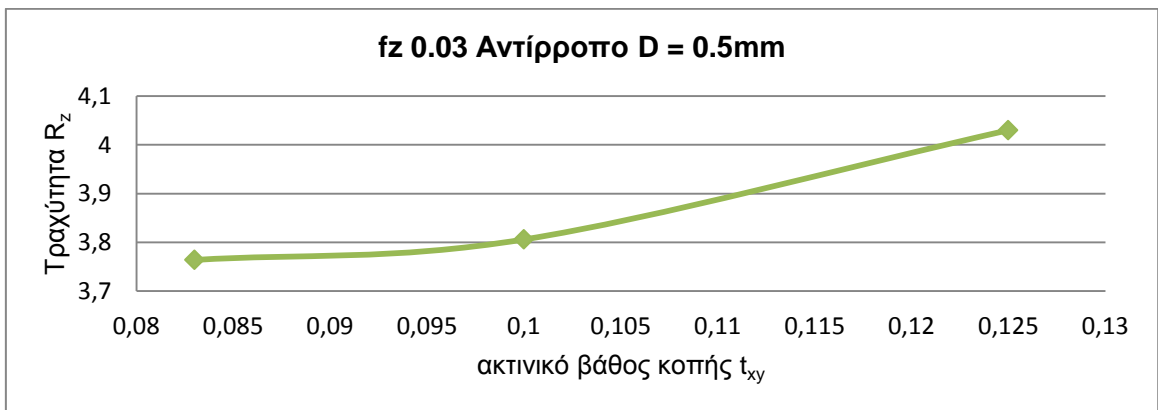
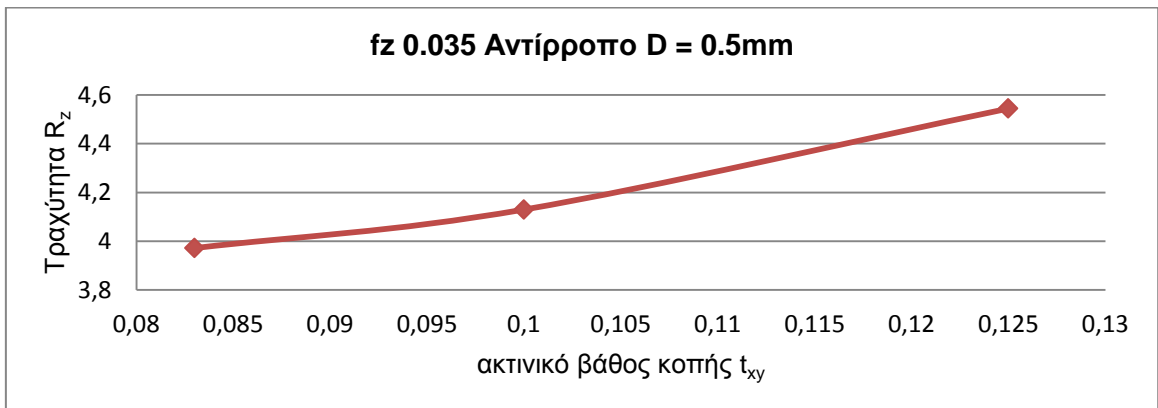
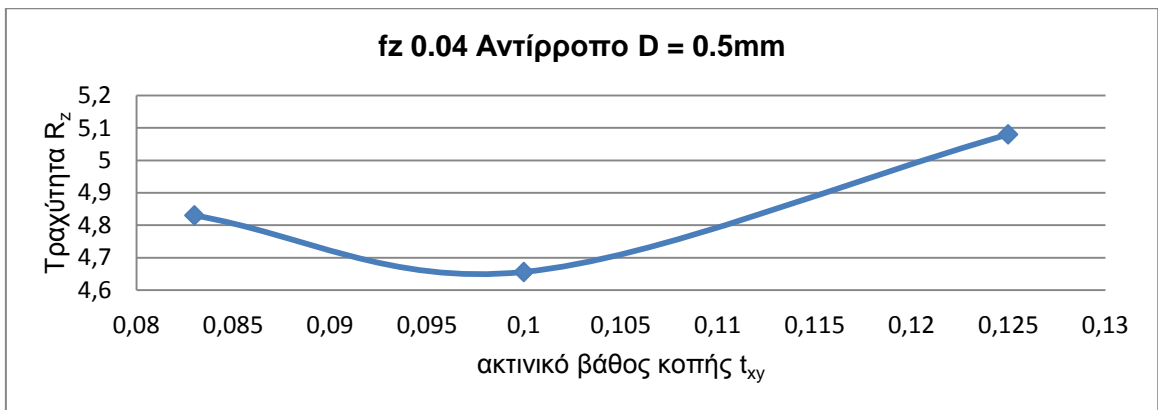


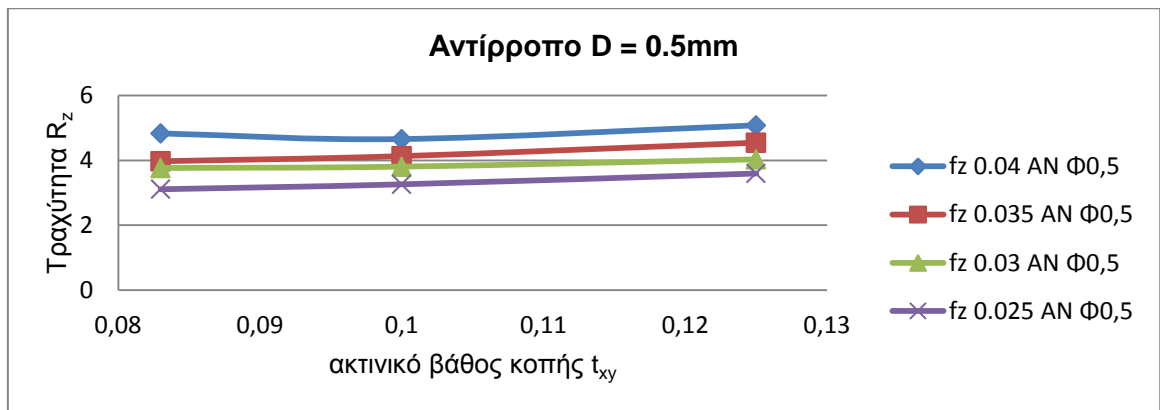












## 6. ΣΥΝΟΨΗ

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε προσπάθεια να αναλυθεί μέσω των παραπάνω πειραματικών αποτελεσμάτων, η επίδραση των συνθηκών κοπής στην ποιότητα επιφάνειας αλουμινίου AL-7075 T651 σε φραιζάρισμα με εργαλεία σφαιρικής απόληξης διαμέτρου 2, 1 και 0,5 χιλιοστών και να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα που να συνδέουν την επίδραση της κινηματικής της κοπής στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας, δηλαδή την τραχύτητα αυτής.

Συγκεκριμένα, από τα διαγράμματα των αλληλεπιδράσεων είναι φανερό ότι η αύξηση του ακτινικού βάθους κοπής ( $t_{xy}$ ) οδηγεί σε όλες τις περιπτώσεις σε μεγαλύτερες τιμές τραχύτητας. Ένα συμπέρασμα το οποίο δεν προκύπτει σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά στις περισσότερες από αυτές, είναι ότι οι μικρές τιμές προώσεως ανά δόντι ( $f_z$ ) έχουν ως αποτέλεσμα καλής ποιότητας επιφάνεια τόσο στο ομόρροπο όσο και στο αντίρροπο φραιζάρισμα.

Επειδή σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές του αξονικού βάθους κοπής ( $t_z$ ) ήταν οι ίδιες δεν εξάγεται κάποιο γενικό συμπέρασμα από τη συγκεκριμένη συνθήκη κατεργασίας.

Μια ακόμη παρατήρηση που μπορεί να γίνει, είναι το ότι το ομόρροπο φραιζάρισμα παρουσιάζει μικρότερες τιμές τραχύτητας σε σχέση με το αντίρροπο. Αυτό οφείλεται στο μηχανισμό σχηματισμού του αποβλήτου. Στο αντίρροπο φραιζάρισμα υπάρχει δυσκολία στην εισχώρηση του κοπτικού στο υλικό με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικροταλαντώσεις οι οποίες επηρεάζουν δυσμενώς την τραχύτητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας.

Παρατηρείται ότι η τραχύτητα αυξάνεται κατά πολύ καθώς αυξάνονται το ακτινικό βάθος κοπής, η ταχύτητα πρόωσης του κοπτικού εργαλείου και η μέση ενεργή διάμετρος.

Από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα είναι ότι όσο μικρότερο είναι το κοπτικό εργαλείο, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η διάμετρός του, τόσο μικρότερη τραχύτητα δημιουργείται στην επιφάνεια του δοκιμίου.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι στις συγκεκριμένες συνθήκες κοπής δεν δημιουργήθηκε καμιά αστοχία ή απορύθμιση των κοπτικών εργαλείων.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Capitalizing on the Growing Demand for Micro-Milling: A Mold Maker's Guide.
- Groover M.P., 2004. *Fundamentals of modern manufacturing: materials processes and systems*. New York, Society of Manufacturing Engineers (2nd edition), Wiley.
- ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ Θ. ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ, Μηχανουργική Τεχνολογία, Τόμος Β' Κατεργασίες Κοπής, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Kiliçkap E., Çakir Q., Aksoy M. and İnan A., 2005. Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenized SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 862-867.
- Grzesik W., 2008. Influence of tool wear on surface roughness in hard turning using differently shaped ceramic tools. *Wear*, 265, 327-335.
- Chen J.S.B., Huang Y.K. and Chen M.S., 2005. Feedrate optimization and tool profile modification for the high-efficiency ball-end milling process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1070-1076.
- Kang M.C., Kim K.K., Lee D.W., Kim J.S. and Kim N.K., 2001. Characteristics of inclined planes according to the variations of cutting direction in high-speed ball-end milling. *International journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 323-329.
- Antoniadis A., Savakis C., Bilalis N. and Balouktsis A., 2003. Prediction of surface topomorphy and roughness in ball-end milling. *International journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 965-971.
- Ko T.J., Kim H.S. and Lee S.S., 2001. Selection of the machining inclination angle in high speed ball end milling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 163-170.
- Quintana G., Ciurana J. DE and Ribatallada J., 2010. Surface roughness generation and material removal rate in ball end milling operations. *Materials and Manufacturing Processes*, 25, 386-398.
- Quintana G., Garcia-Romeu M.L. and Ciurana J., 2011. Surface roughness monitoring application based on artificial neural network for ball end milling operations. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 607-617.
- Poon C.Y. and Bhushan B., 1995. Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler, AFM and non-contact optical profiler. *Wear*, 190, 76-88.
- Jang D.Y., Choi Y.G., Kim H.G. and Hsiao A., 1996. Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an on-line roughness measuring technique in hard turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36, 453-464.
- Farshad F.F., Pesacreta T.C., Garber J.D. and Bikki S.R., 2001. A comparison of surface of pipes as measured by two profilometers and atomic force microscopy. *The journal of scanning microscopies*, 23 241-248.

- Üçtaşlı M.B., Bala O. and Güllü A., 2004. Surface roughness of flowable and packable composite resin materials after finishing with abrasive discs. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31, 1197-1202.
- Tholt B., Miranda-Junior W.G., Prioli R., Thompson J. and Oda M., 2006. Surface roughness in ceramics with different finishing techniques using atomic force microscope and profilometer. *Operative Dentistry*, 31-4, 442-449.
- Tsukada T. and Kanada T., 1986. Evaluation of two- and three-dimensional surface roughness profiles and their confidence. *Wear*, 109, 69-78.
- Quinsat Y., Sabourin L. and Lartigue C., 2008. Surface topography in ball end milling process: Description of a 3D surface roughness parameter. *Journal of Materials Processing Technology*, 195, 135-143.
- Vijayaraghavan A., Hoover A.M., Hartnett J. and Dornfeld D.A., 2009. Improving endmilling surface finish by workpiece rotation and adaptive toolpath spacing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49, 89-98.
- Suresh P.V.S., Venkateswara Rao P. and Deshmukh S.G., 2002. A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 675-680.
- Davim J.P. and Mata F., 2005. Optimization of surface roughness on turning fibre-reinforced plastics (FRPs) with diamond cutting tools. *International journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 319-323.
- Gadelmawla E.S., Koura M.M., Maksoud T.M.A., Elewa I.M. and Soliman H.H., 2002. Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 133-145.
- Sandvik Coromant, 1996. *Modern Metal Cutting – a practical handbook*. Fair Lawn NJ, Sandvik Coromant.
- Τεχνικά Θέματα, Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των υλικών, Σεπτέμβριος- Οκτώβριος 2005.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

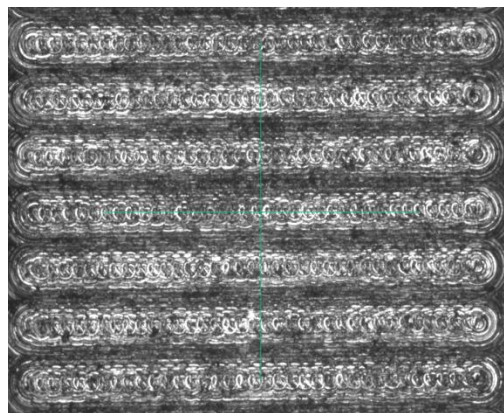
**2**

**1**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

**AL-7075 T6**

$t_z$	<b>0.1</b>	mm
$t_{xy}$	<b>0.333</b>	mm
$f_z$	<b>0.04</b>	mm/r,z
$v_c$	<b>11.24</b>	m/min



$R_{max}$	16.90
$R_{min}$	16.10
$R_z$	16.62

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.7	16.5	16.9	16.9	16.1

↑↑ 1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**2**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

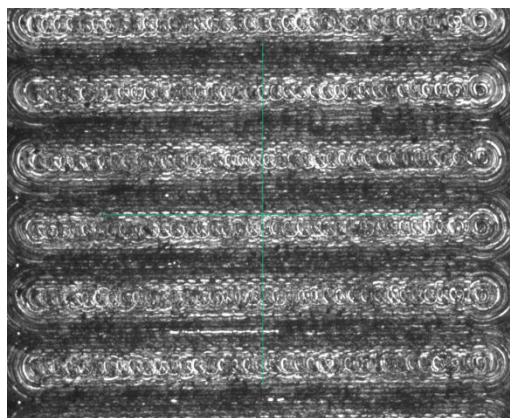
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	21.50
$R_{min}$	20.20
$R_z$	20.74

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	20.2	20.2	21	21.5	20.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**3**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

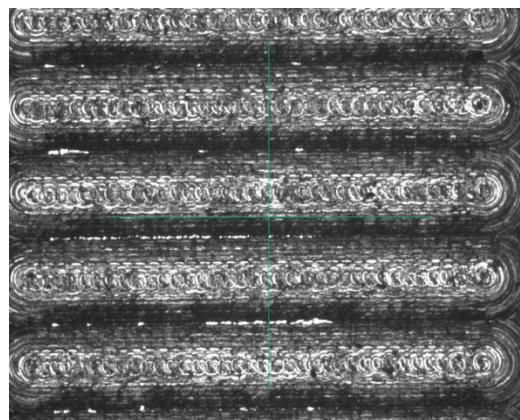
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.5** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	28.00
$R_{min}$	25.10
$R_z$	26.66

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	25.1	25.5	28	27.4	27.3

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
↑↑ 3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**4**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

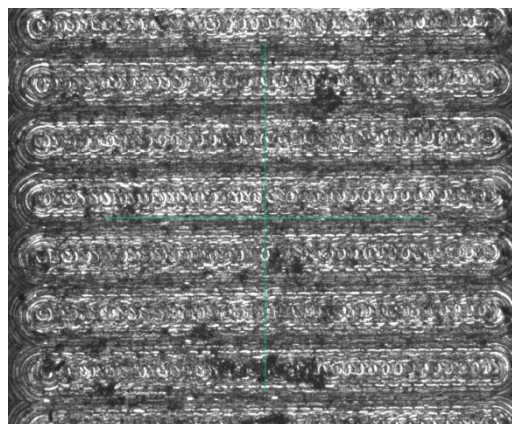
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.333** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	17.50
$R_{min}$	16.70
$R_z$	17.02

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	17.5	16.7	17	16.8	17.1

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
↕ 4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**5**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

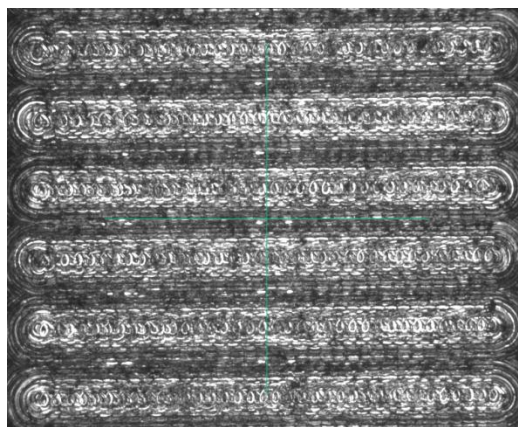
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	21.90
$R_{min}$	20.80
$R_z$	21.30

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	21.3	20.8	21.5	21.9	21

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
↓ 5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**6**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

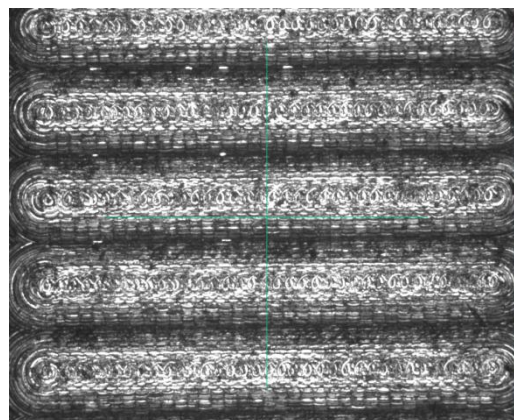
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.5** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	28.70
$R_{min}$	27.10
$R_z$	28.20

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	27.1	28.7	28.5	28.3	28.4

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
↓ 6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**7**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

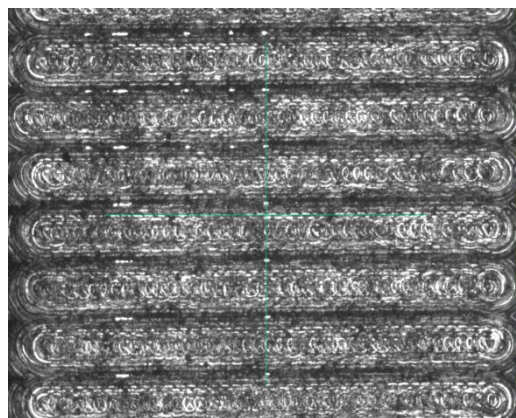
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.333** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	16.70
$R_{min}$	16.30
$R_z$	16.44

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.7	16.4	16.5	16.3	16.3

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2

2

8

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

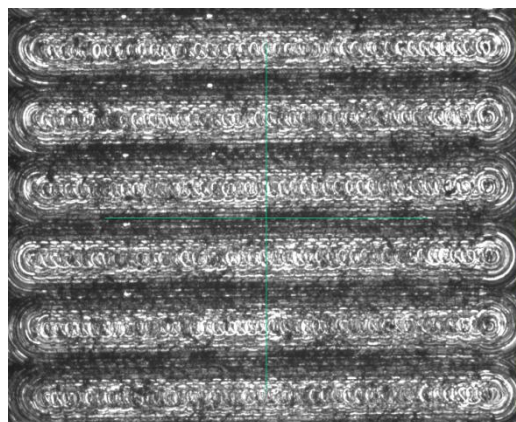
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.4 mm

$f_z$  0.035 mm/r,z

$v_c$  11.24 m/min



$R_{max}$	21.30
$R_{min}$	18.60
$R_z$	19.48

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	19.2	18.6	21.3	19.4	18.9

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2

2

9

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

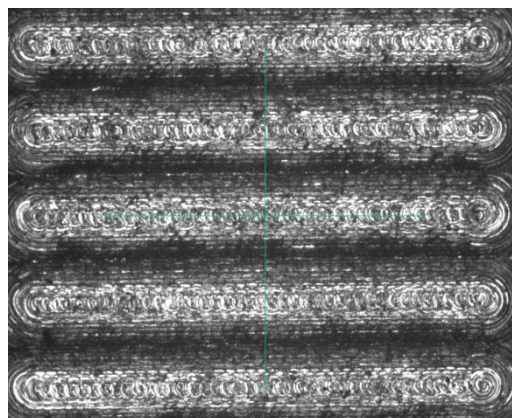
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.5 mm

$f_z$  0.035 mm/r,z

$v_c$  11.24 m/min



$R_{max}$	25.90
$R_{min}$	24.10
$R_z$	24.98

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	24.1	24.5	25.2	25.9	25.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**10**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

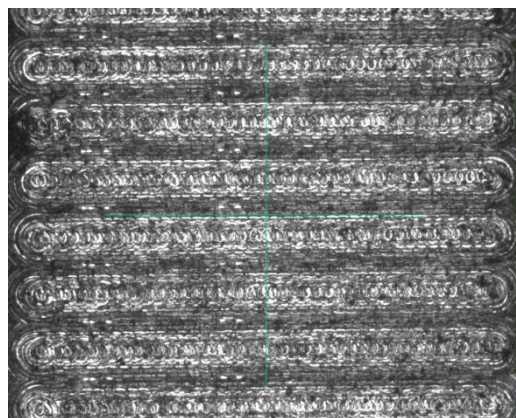
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.333** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	17.60
$R_{min}$	15.40
$R_z$	16.58

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	15.4	16.9	16.5	16.5	17.6

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**11**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

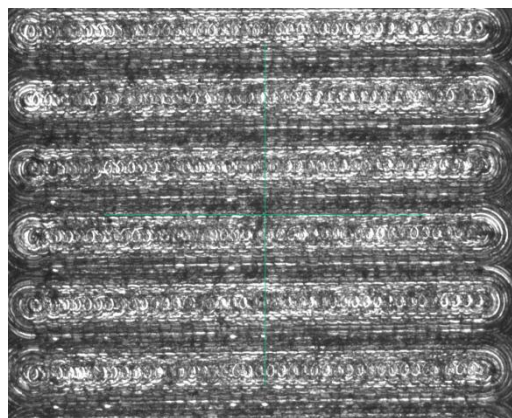
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	21.80
$R_{min}$	20.40
$R_z$	21.22

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	20.4	21.8	21.1	21.6	21.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



#### ΕΡΓΑΛΕΙΟ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ

ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ

ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ

ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ

ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**12**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

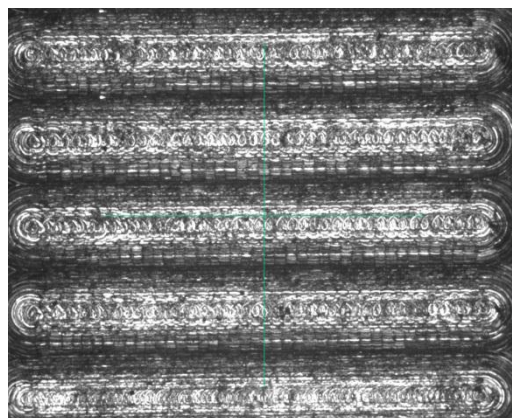
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.5** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	26.90
$R_{min}$	25.40
$R_z$	26.34

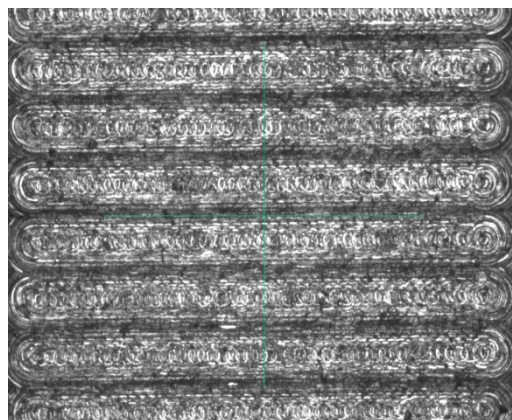
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	26	26.7	26.9	25.4	26.7

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
	13	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.333	mm
$f_z$	0.03	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	16.50
$R_{min}$	16.00
$R_z$	16.24

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.4	16	16.5	16.3	16

1	7	↑↑ 13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**14**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

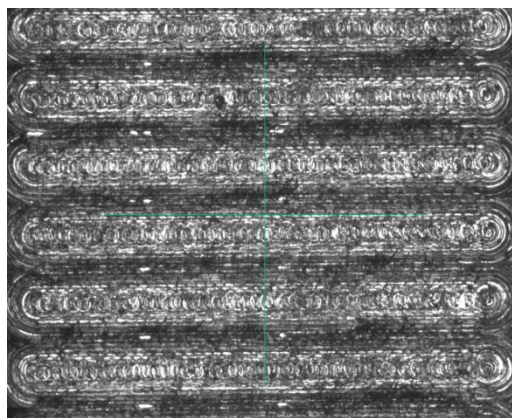
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	21.00
$R_{min}$	19.00
$R_z$	19.90

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	19.5	21	19	19	21

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	†† 14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**15**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

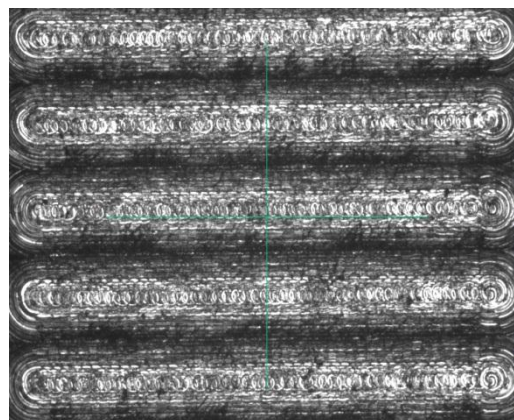
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.5** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	25.20
$R_{min}$	23.90
$R_z$	24.60

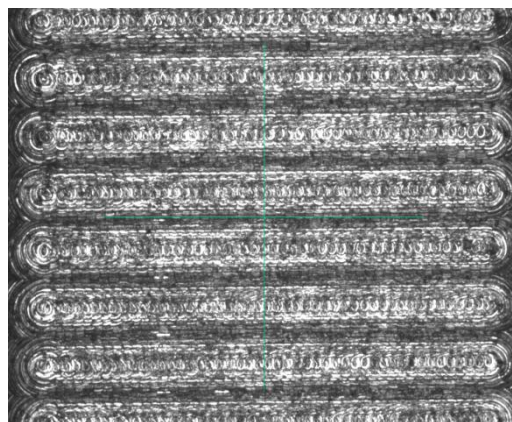
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	25.2	24.8	24.3	23.9	24.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
16		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.333	mm
$f_z$	0.03	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	17.50
$R_{min}$	14.90
$R_z$	16.16

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	17.5	16.8	15.2	14.9	16.4

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**17**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

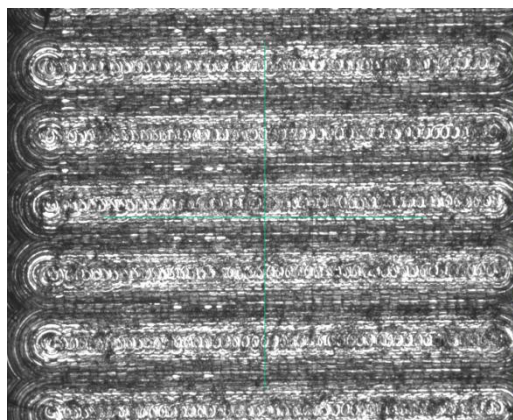
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	21.50
$R_{min}$	18.90
$R_z$	20.48

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	19.4	21.5	21.4	18.9	21.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**18**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

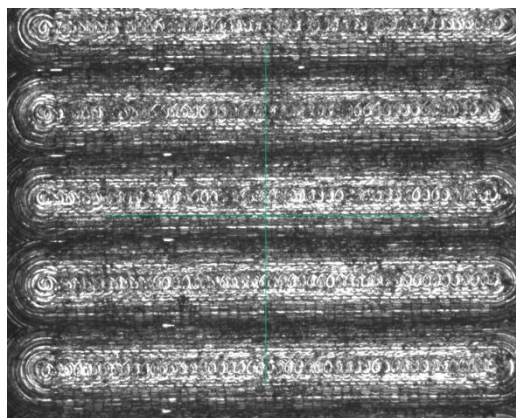
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.5** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	28.50
$R_{min}$	25.80
$R_z$	27.06

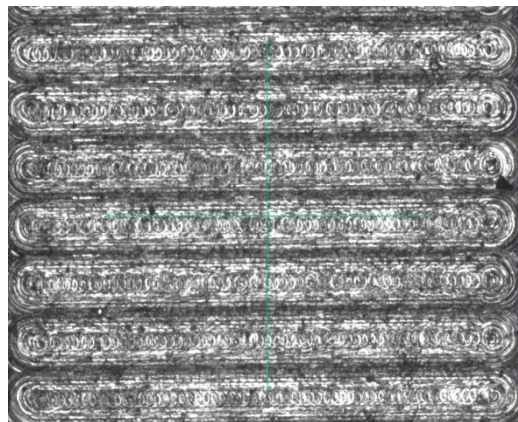
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	26.1	28.5	27.7	25.8	27.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
	19	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.333	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	16.90
$R_{min}$	15.10
$R_z$	16.10

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	15.1	15.1	16.7	16.9	16.7

1	7	13	↑↑ 19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø2**

**2**

**20**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

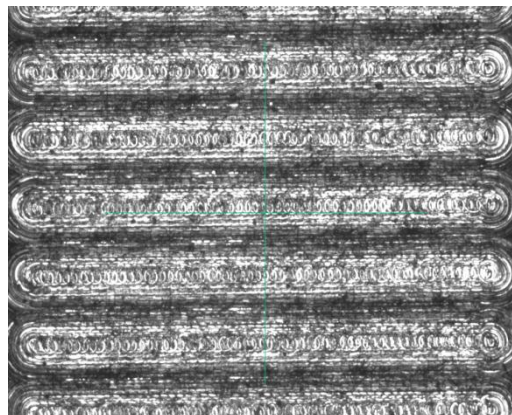
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.4** mm

$f_z$  **0.025** mm/r,z

$v_c$  **11.24** m/min



$R_{max}$	20.60
$R_{min}$	19.20
$R_z$	20.06

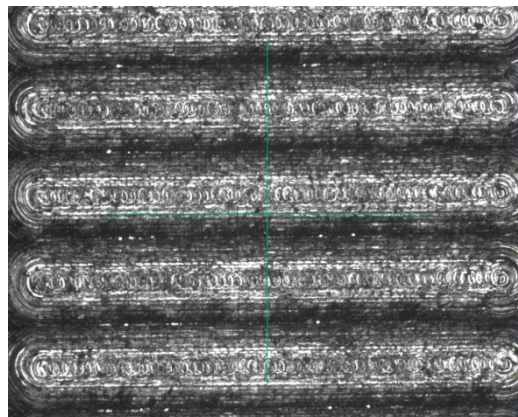
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	19.3	20.6	20.6	20.6	19.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	↑ 20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
	21	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.5	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	26.80
$R_{min}$	24.20
$R_z$	25.58

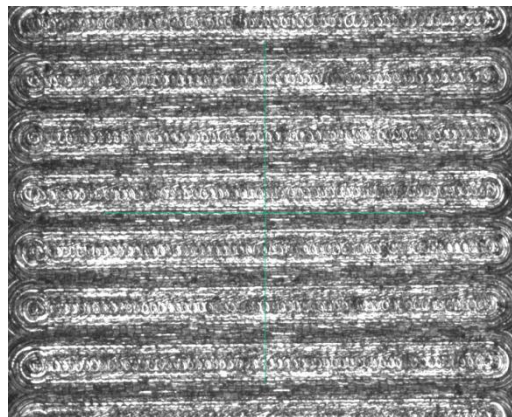
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	24.3	24.2	26.7	26.8	25.9

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	↑↑ 21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
2		
22		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.333	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	17.40
$R_{min}$	16.90
$R_z$	17.12

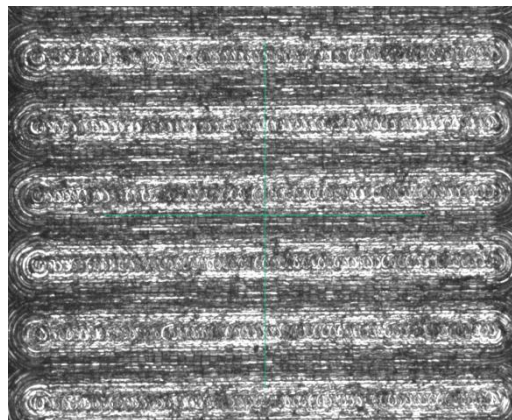
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.9	17.1	17.4	17.1	17.1

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	↓ 22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
	23	
ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.4	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	21.00
$R_{min}$	19.00
$R_z$	20.08

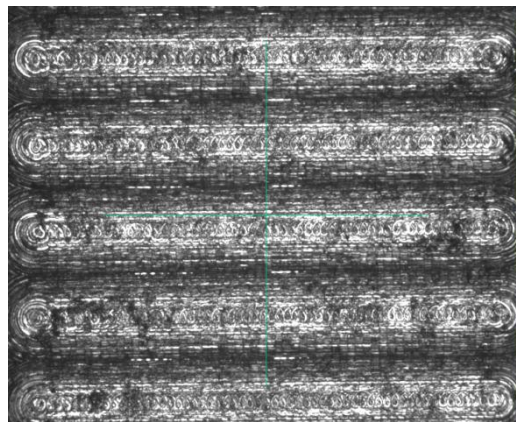
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	20.7	20.7	19	21	19

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	↓ 23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø2		
	2	
	24	
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.5	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	11.24	m/min



$R_{max}$	27.40
$R_{min}$	24.70
$R_z$	26.38

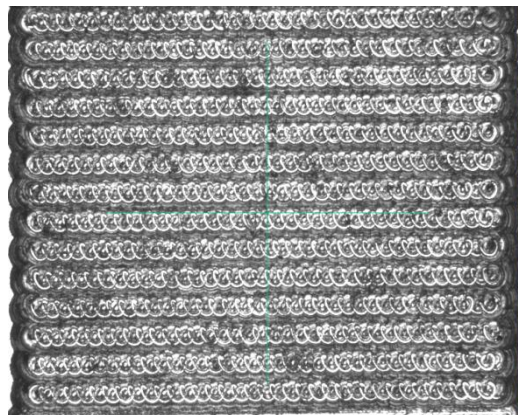
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	24.7	25.4	27.4	27.2	27.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	↓ 24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
25		
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.167	mm
$f_z$	0.04	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	6.980
$R_{min}$	6.760
$R_z$	6.898

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	6.93	6.76	6.89	6.98	6.93

1	7	13	19	↑ 25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

2

26

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

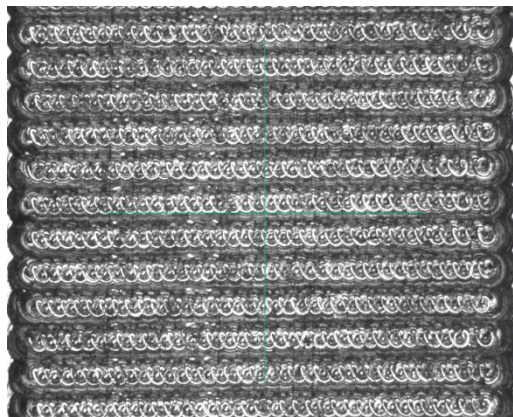
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.2 mm

$f_z$  0.04 mm/r,z

$v_c$  7.95 m/min



$R_{max}$	10.80
$R_{min}$	10.30
$R_z$	10.60

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.6	10.7	10.6	10.8	10.3

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	↑↑ 26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ

ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ

ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ

ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ

ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

2

27

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

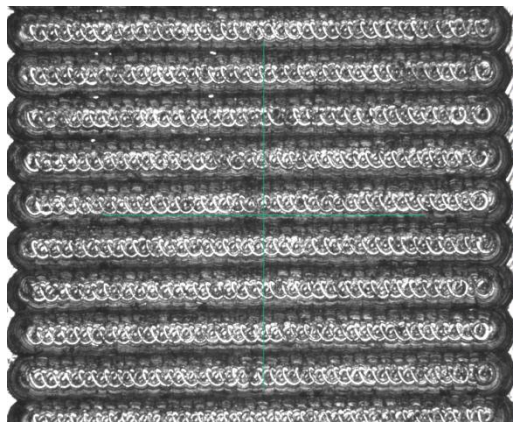
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.25 mm

$f_z$  0.04 mm/r,z

$v_c$  7.95 m/min



$R_{max}$	16.70
$R_{min}$	16.10
$R_z$	16.42

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.4	16.1	16.7	16.5	16.4





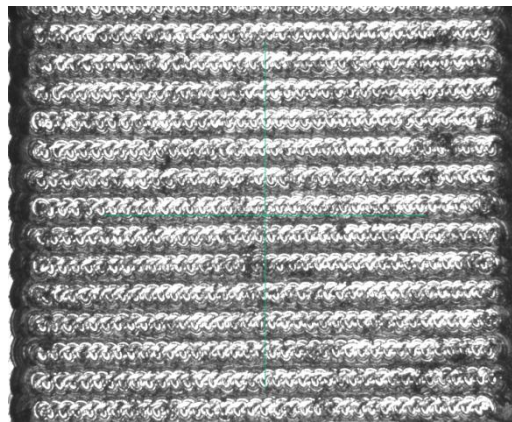
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
28		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.167	mm
$f_z$	0.04	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	7.720
$R_{min}$	7.220
$R_z$	7.444

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	7.72	7.43	7.32	7.22	7.53

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

2

29

ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ

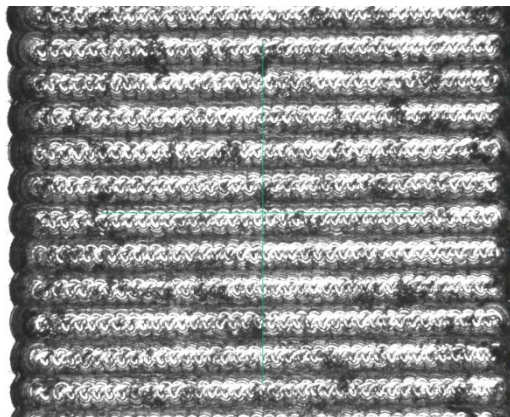
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.2 mm

$f_z$  0.04 mm/r,z

$v_c$  7.95 m/min



$R_{max}$	11.00
$R_{min}$	10.20
$R_z$	10.66

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.4	10.8	11	10.2	10.9

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	↓ 29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

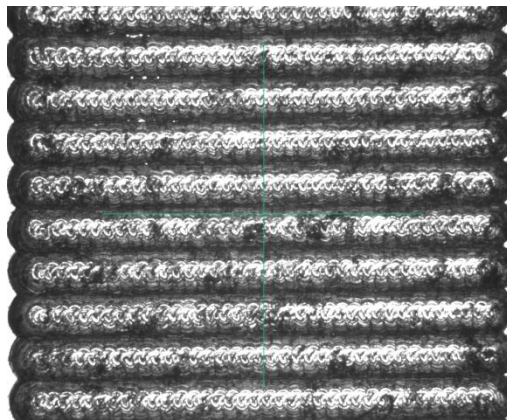
2

30

ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ

AL-7075 T6

$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.04	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	16.90
$R_{min}$	16.40
$R_z$	16.72

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.6	16.9	16.8	16.4	16.9

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	↓ 30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



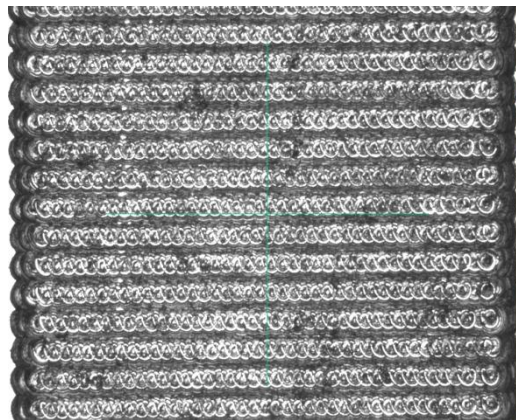
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1
2
31
ΟΜΟΡΡΟΠΟ
AL-7075 T6
$t_z$ 0.1 mm
$t_{xy}$ 0.167 mm
$f_z$ 0.035 mm/r,z
$v_c$ 7.95 m/min



$R_{max}$	7.160
$R_{min}$	6.830
$R_z$	7.016

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	7.16	7	7.05	7.04	6.83

1	7	13	19	25	↑↑ 31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



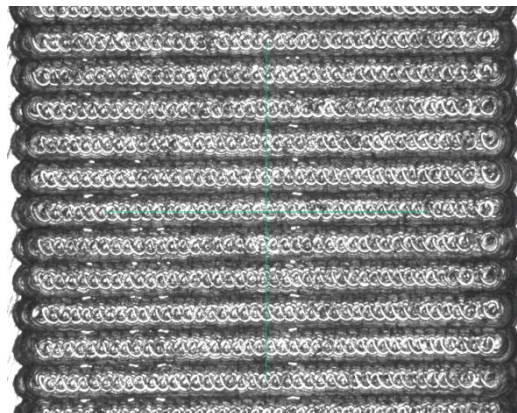
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	32	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.2	mm
$f_z$	0.035	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	11.60
$R_{min}$	10.00
$R_z$	10.56

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.4	11.6	10.5	10.3	10

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	↑↑ 32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



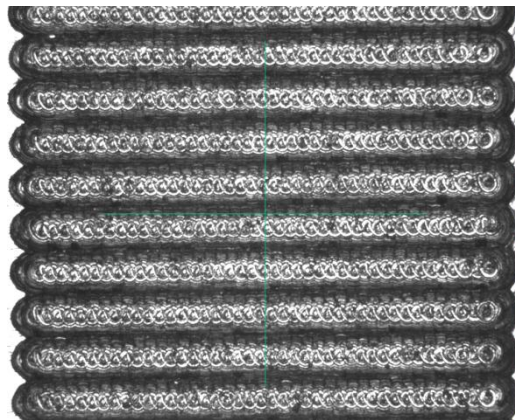
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	33	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.035	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	16.50
$R_{min}$	16.20
$R_z$	16.32

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.2	16.5	16.2	16.5	16.2

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	↑↑ 33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



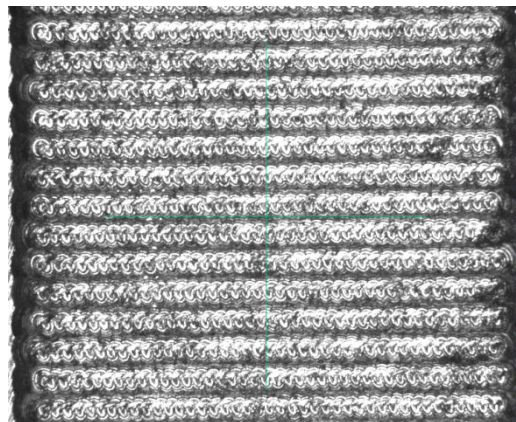
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1
2
34
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ
AL-7075 T6
$t_z$ 0.1 mm
$t_{xy}$ 0.167 mm
$f_z$ 0.035 mm/r,z
$v_c$ 7.95 m/min



$R_{max}$	7.550
$R_{min}$	7.100
$R_z$	7.382

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	7.1	7.55	7.19	7.52	7.55

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	↕ 34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



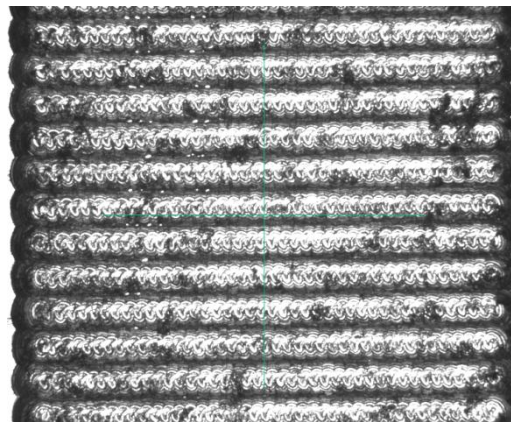
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
35		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.2	mm
$f_z$	0.035	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	11.00
$R_{min}$	10.20
$R_z$	10.58

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.2	11	10.7	10.5	10.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	↓ 35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



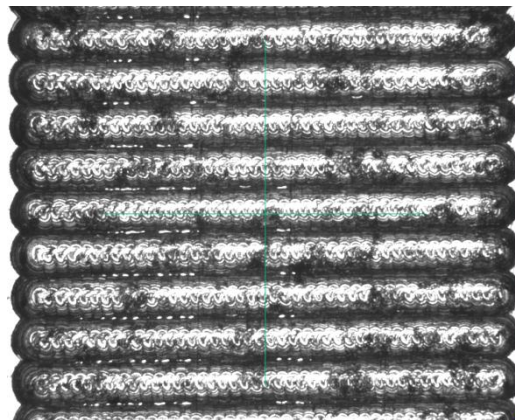
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
36		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.035	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	17.00
$R_{min}$	16.20
$R_z$	16.60

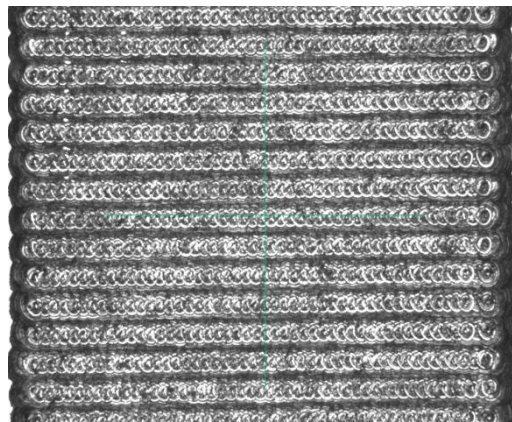
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.6	16.2	16.6	16.6	17

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	↓ 36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	37	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.167	mm
$f_z$	0.03	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	6.920
$R_{min}$	6.830
$R_z$	6.886

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	6.83	6.9	6.88	6.9	6.92

1	7	13	19	25	31	↑↑ 37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

2

38

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

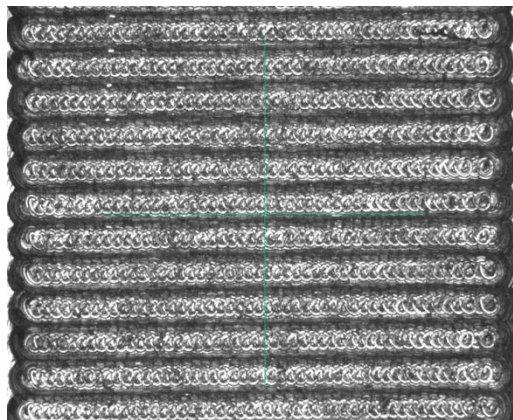
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.2 mm

$f_z$  0.03 mm/r,z

$v_c$  7.95 m/min



$R_{max}$	10.400
$R_{min}$	9.930
$R_z$	10.206

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.3	10.2	10.4	10.2	9.93

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	↑↑ 38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

2

39

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

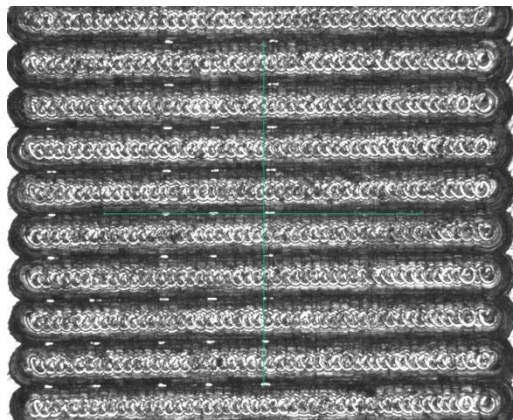
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.25 mm

$f_z$  0.03 mm/r,z

$v_c$  7.95 m/min



$R_{max}$	16.40
$R_{min}$	15.40
$R_z$	15.96

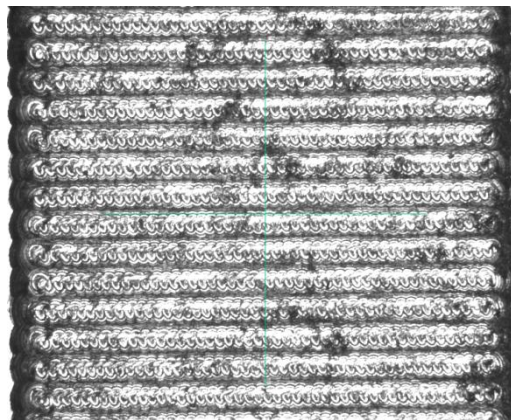
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.2	15.7	16.4	15.4	16.1

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	↑↑ 39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
40		
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.167	mm
$f_z$	0.03	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	7.260
$R_{min}$	6.920
$R_z$	7.106

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	7.24	7.1	7.26	6.92	7.01

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø1**

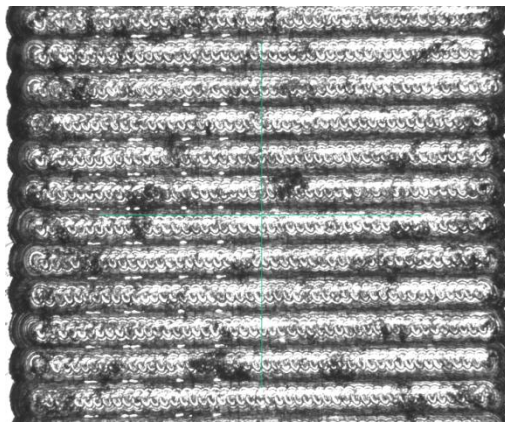
**2**

**41**

**ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ**

**AL-7075 T6**

$t_z$	<b>0.1</b>	mm
$t_{xy}$	<b>0.2</b>	mm
$f_z$	<b>0.03</b>	mm/r,z
$v_c$	<b>7.95</b>	m/min



$R_{max}$	10.70
$R_{min}$	10.50
$R_z$	10.58

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.5	10.7	10.5	10.7	10.5

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	↓ 41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1

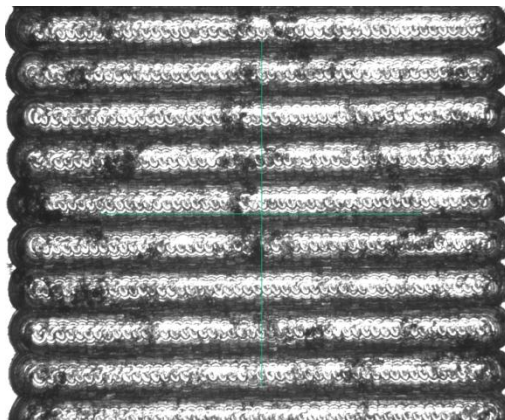
2

42

ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ

AL-7075 T6

$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.03	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	16.80
$R_{min}$	15.40
$R_z$	16.30

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.4	16.3	16.6	15.4	16.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



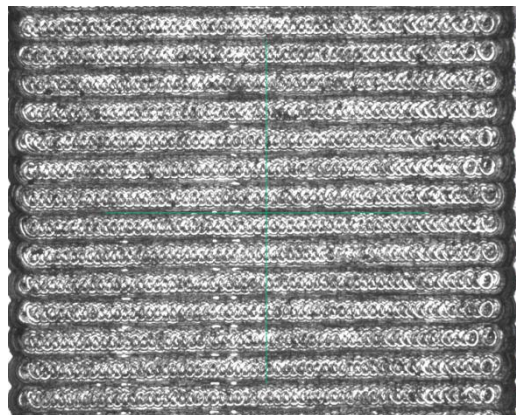
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	43	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.167	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	6,650
$R_{min}$	7,130
$R_z$	6,794

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	6,76	7,13	6,65	6,78	6,65

1	7	13	19	25	31	37	↑↑ 43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



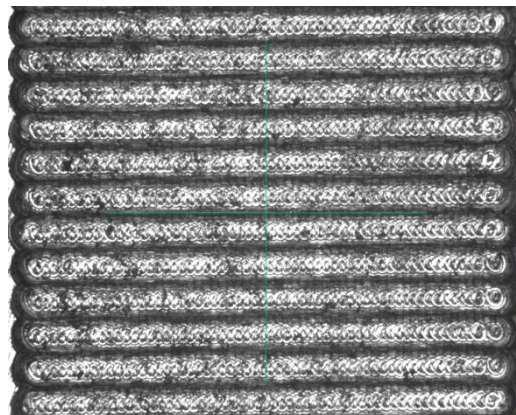
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
44		
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.2	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	10,50
$R_{min}$	10,10
$R_z$	10,28

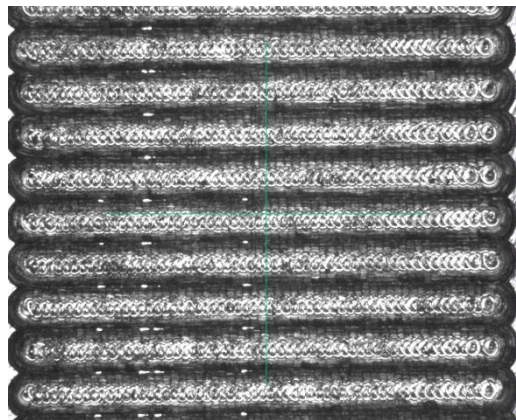
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10,5	10,1	10,2	10,2	10,4

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	45	
ΟΜΟΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	16,00
$R_{min}$	15,60
$R_z$	15,86

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16	15,7	16	16	15,6

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



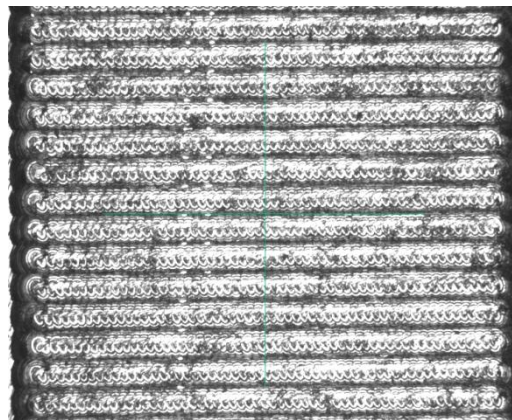
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1
2
46
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ
AL-7075 T6
$t_z$ 0.1 mm
$t_{xy}$ 0.167 mm
$f_z$ 0.025 mm/r,z
$v_c$ 7.95 m/min



$R_{max}$	7.070
$R_{min}$	6.710
$R_z$	6.850

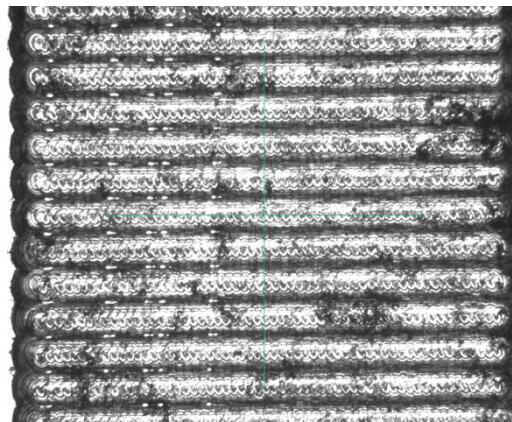
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	6.86	6.72	7.07	6.71	6.89

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
2		
47		
ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.2	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	10.70
$R_{min}$	10.10
$R_z$	10.32

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	10.4	10.2	10.7	10.2	10.1

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



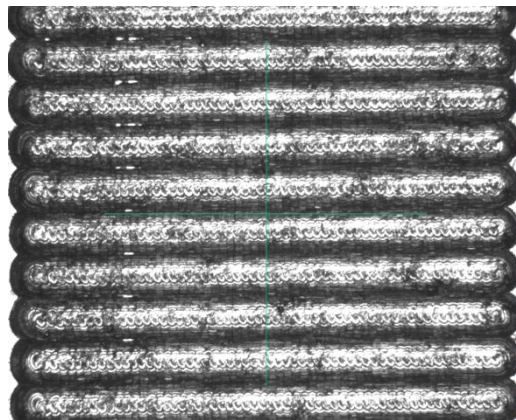
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø1		
	2	
	48	
ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ		
AL-7075 T6		
$t_z$	0.1	mm
$t_{xy}$	0.25	mm
$f_z$	0.025	mm/r,z
$v_c$	7.95	m/min



$R_{max}$	16.80
$R_{min}$	16.10
$R_z$	16.48

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	16.1	16.7	16.4	16.4	16.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

49

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

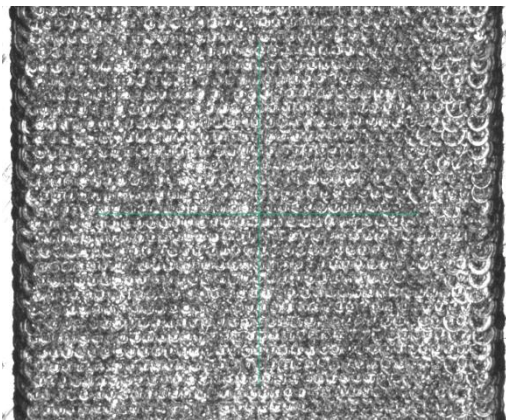
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.083 mm

$f_z$  0.04 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.710
$R_{min}$	3.430
$R_z$	3.570

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.58	3.43	3.47	3.71	3.66

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
↑↑ 49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

50

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

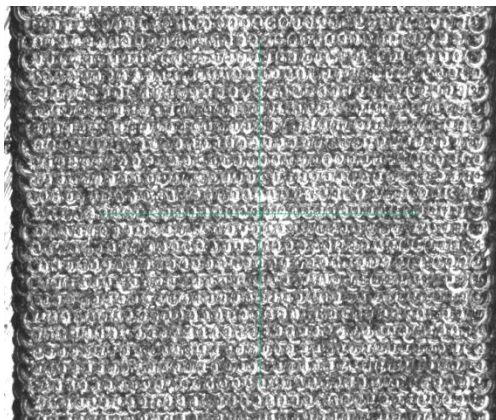
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.1 mm

$f_z$  0.04 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.750
$R_{min}$	3.580
$R_z$	3.640

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.75	3.59	3.58	3.62	3.66

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
↑↑ 50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**51**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

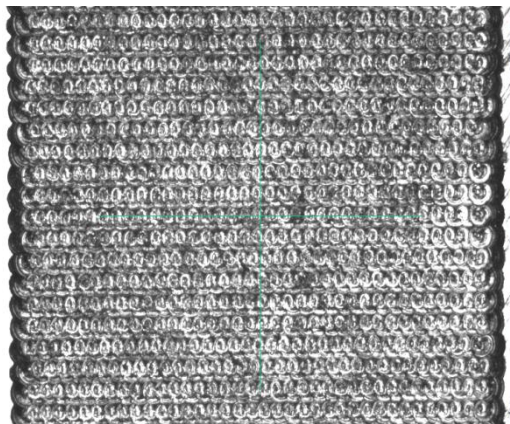
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	5.180
$R_{min}$	4.510
$R_z$	4.762

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	5.18	4.74	4.51	4.63	4.75

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
↑↑ 51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**52**

**ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ**

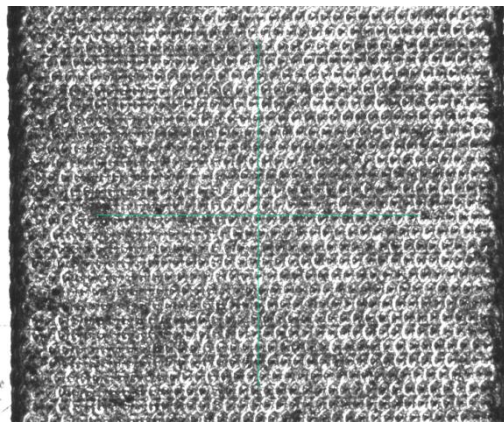
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.083** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	5.230
$R_{min}$	4.290
$R_z$	4.830

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	5.12	4.67	4.84	5.23	4.29

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
↕ 52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**53**

**ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ**

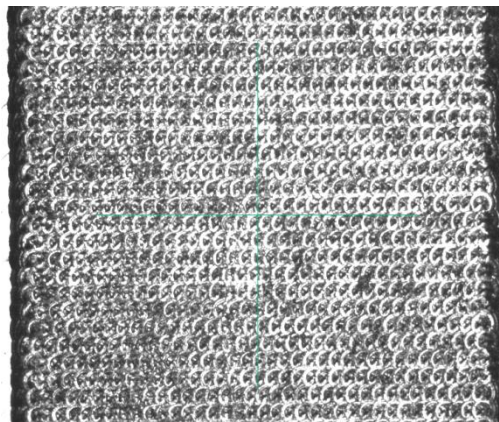
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.1** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.880
$R_{min}$	4.140
$R_z$	4.656

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.83	4.88	4.64	4.14	4.79

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
↕ 53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**54**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

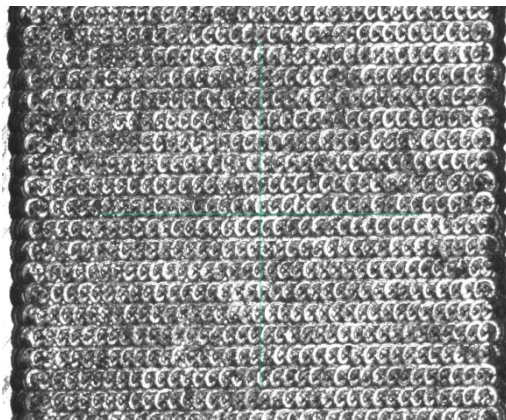
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.04** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	5.450
$R_{min}$	4.730
$R_z$	5.080

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	5.14	4.73	5.21	5.45	4.87

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
↕ 54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**55**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

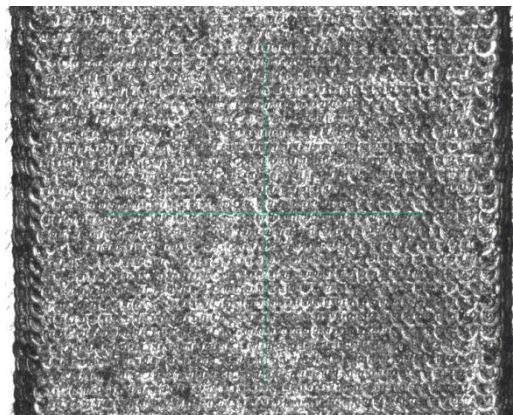
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.083** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.420
$R_{min}$	3.110
$R_z$	3.270

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.11	3.34	3.42	3.26	3.22

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

56

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

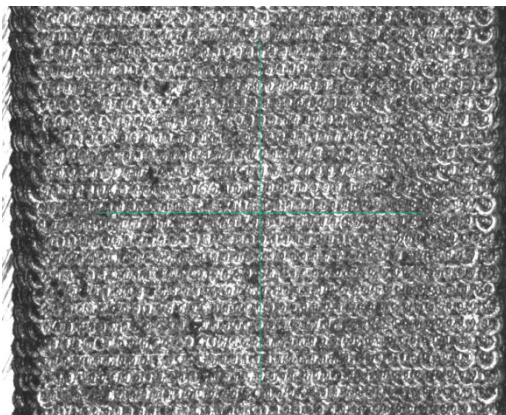
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.1 mm

$f_z$  0.035 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.490
$R_{min}$	3.130
$R_z$	3.352

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.49	3.47	3.34	3.33	3.13

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**57**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

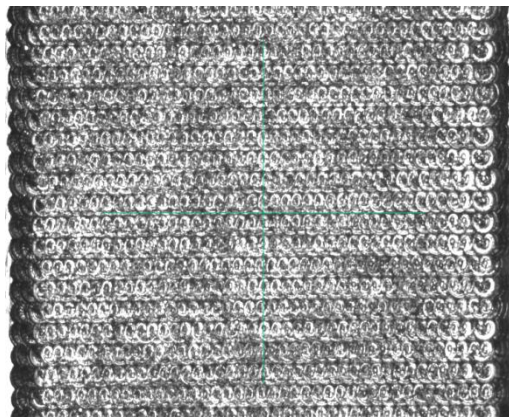
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.610
$R_{min}$	3.940
$R_z$	4.270

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.53	4.25	3.94	4.61	4.02

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	†† 57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**58**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

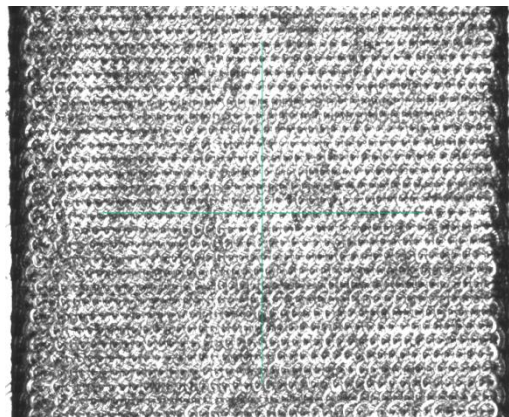
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.083** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.360
$R_{min}$	3.640
$R_z$	3.972

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.85	3.96	4.05	3.64	4.36

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**59**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

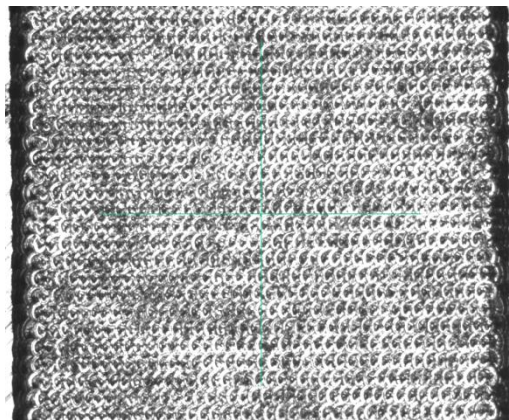
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.1** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.38
$R_{min}$	3.80
$R_z$	4.13

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.19	4.12	4.38	4.16	3.8

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**60**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

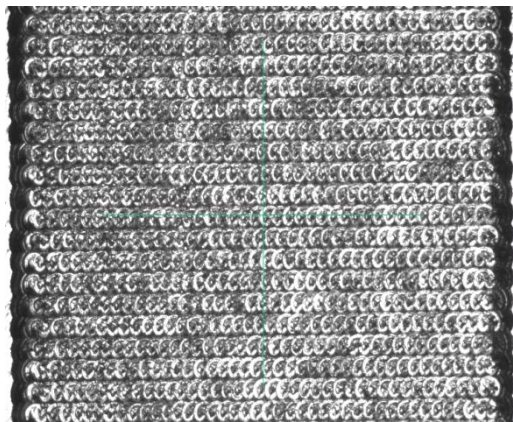
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.035** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.850
$R_{min}$	4.230
$R_z$	4.544

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.85	4.39	4.23	4.66	4.59

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**61**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

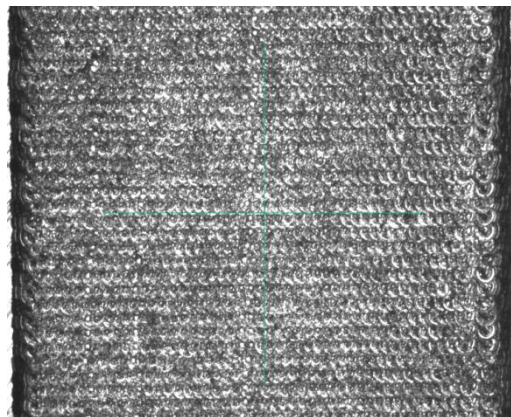
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.083** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.900
$R_{min}$	3.000
$R_z$	3.378

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.9	3.19	3	3.4	3.4

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	↑↑ 61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**62**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

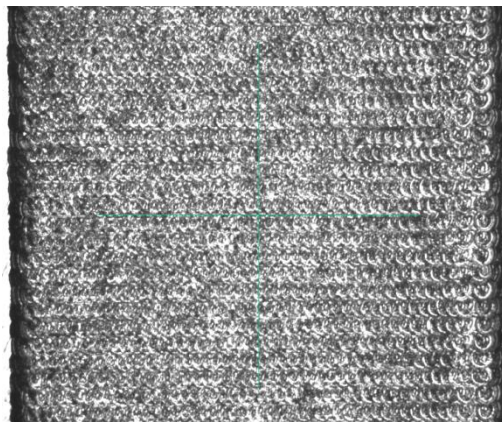
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.1** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.690
$R_{min}$	3.380
$R_z$	3.480

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.41	3.44	3.38	3.69	3.48

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**63**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

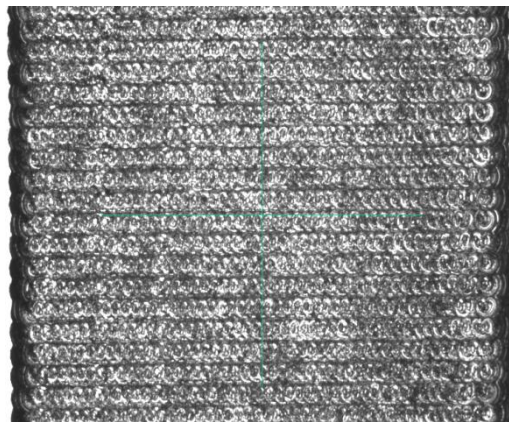
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.940
$R_{min}$	3.680
$R_z$	3.818

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.94	3.82	3.68	3.92	3.73

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

64

ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ

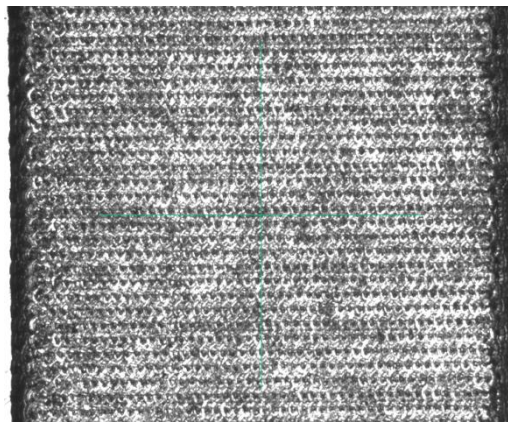
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.083 mm

$f_z$  0.03 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	4.040
$R_{min}$	3.650
$R_z$	3.764

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.74	3.65	3.66	3.73	4.04

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**65**

**ΑΝΤΙΠΡΟΠΟ**

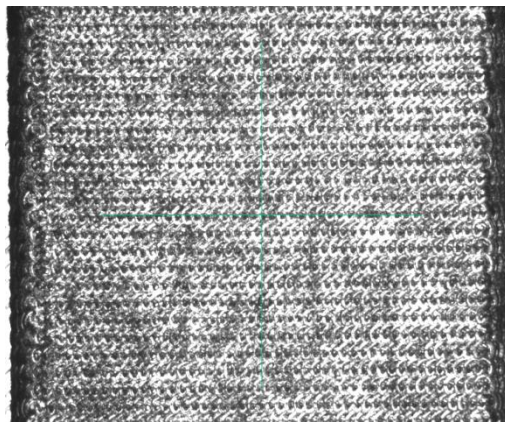
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.1** mm

$f_z$  **0.03** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	4.240
$R_{min}$	3.530
$R_z$	3.806

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.24	3.74	3.94	3.58	3.53

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	↓ 65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

66

ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ

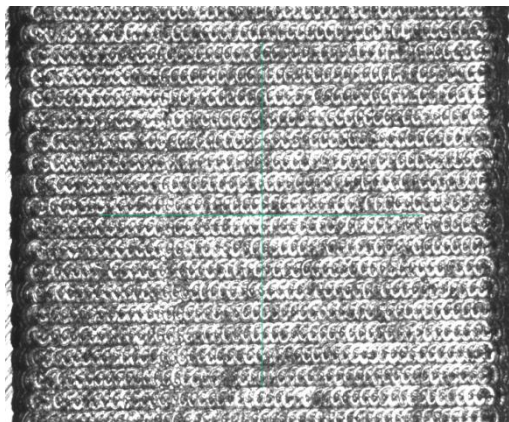
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.125 mm

$f_z$  0.03 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	4.27
$R_{min}$	3.78
$R_z$	4.03

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	4.27	4.23	3.78	3.99	3.88

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	↓66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

67

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

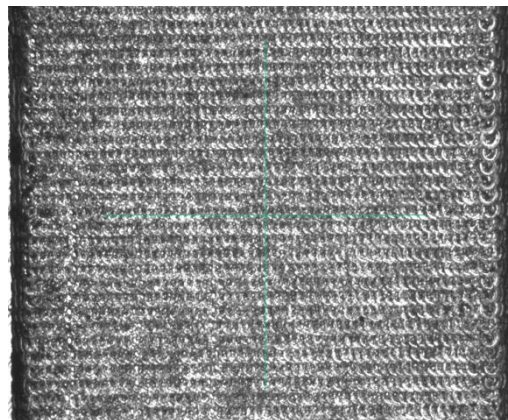
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.083 mm

$f_z$  0.025 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.400
$R_{min}$	2.880
$R_z$	3.228

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.4	3.38	3.22	2.88	3.26

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	↑↑ 67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

68

ΟΜΟΡΡΟΠΟ

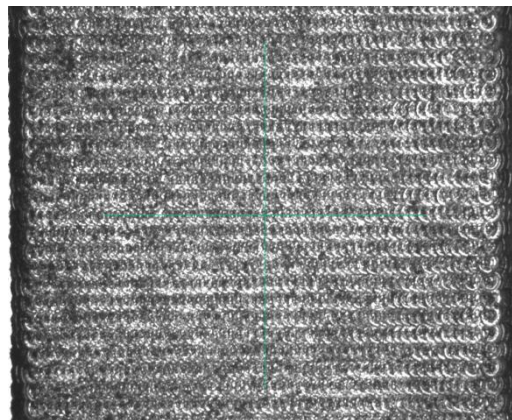
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.1 mm

$f_z$  0.025 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.990
$R_{min}$	3.110
$R_z$	3.548

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.11	3.59	3.59	3.99	3.46

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**69**

**ΟΜΟΡΡΟΠΟ**

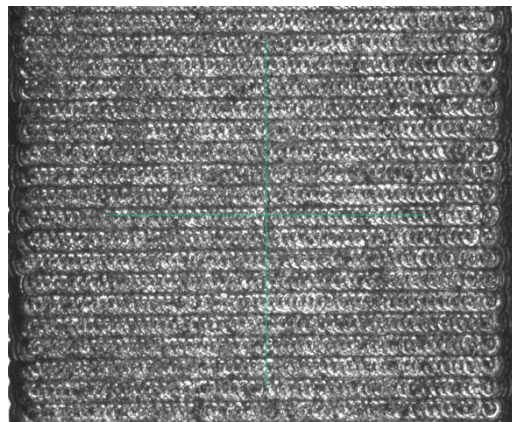
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.125** mm

$f_z$  **0.025** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.990
$R_{min}$	3.360
$R_z$	3.732

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.73	3.99	3.36	3.98	3.6

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**70**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

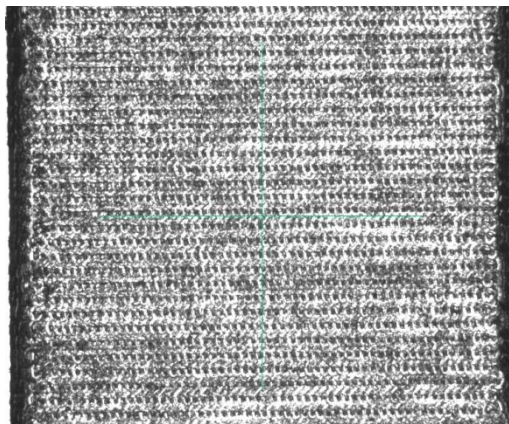
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.083** mm

$f_z$  **0.025** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.470
$R_{min}$	2.790
$R_z$	3.108

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.4	2.8	3.08	3.47	2.79

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	↓ 70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

**BALL - Ø0.5**

**2**

**71**

**ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ**

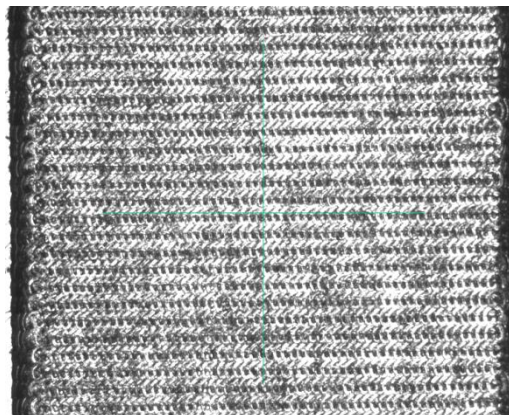
**AL-7075 T6**

$t_z$  **0.1** mm

$t_{xy}$  **0.1** mm

$f_z$  **0.025** mm/r,z

$v_c$  **5.62** m/min



$R_{max}$	3.40
$R_{min}$	3.14
$R_z$	3.26

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.14	3.23	3.37	3.4	3.16

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΨΕΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΙΔΟΣ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΑΞΟΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΑΚΤΙΝΙΚΟ ΒΑΘΟΣ
ΠΡΟΩΣΗ (ανά στρφ & δόντι)
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ

BALL - Ø0.5

2

72

ΑΝΤΙΡΡΟΠΟ

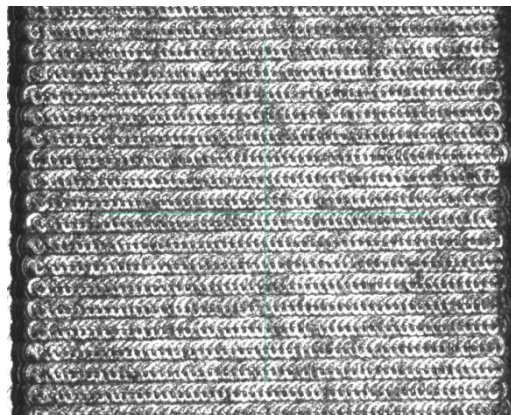
AL-7075 T6

$t_z$  0.1 mm

$t_{xy}$  0.125 mm

$f_z$  0.025 mm/r,z

$v_c$  5.62 m/min



$R_{max}$	3.900
$R_{min}$	3.280
$R_z$	3.594

Μετρήσεις	1	2	3	4	5
$R_z$	3.9	3.59	3.67	3.28	3.53

1	7	13	19	25	31	37	43
2	8	14	20	26	32	38	44
3	9	15	21	27	33	39	45
4	10	16	22	28	34	40	46
5	11	17	23	29	35	41	47
6	12	18	24	30	36	42	48
49	55	61	67				
50	56	62	68				
51	57	63	69				
52	58	64	70				
53	59	65	71				
54	60	66	72				