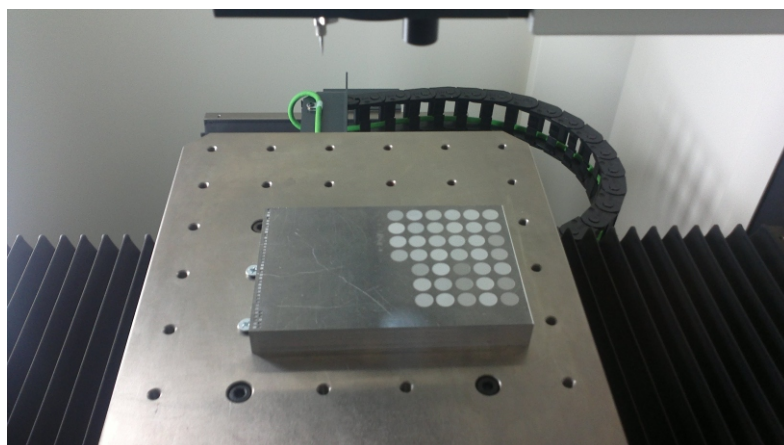




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
ΣΤΗ ΧΑΡΑΞΗ ΜΕ LASER
(Laser engraving)**



ΠΑΤΕΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

**στους γονείς μου
Άγγελο και Ελευθερία**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αριστομένη Αντωνιάδη για την καθοδήγηση και τη βοήθεια καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, τον Διπλ. Μηχανικό Π. & Δ. Φώτη Αγαλιανό για την άριστη συνεργασία και τους Υποψήφιους Διδάκτορες Νίκο Ταπόγλου και Ταξιάρχη Μπελή για τη βοήθεια που μου παρείχαν όποτε τους χρειάστηκα.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2. ΧΑΡΑΞΗ ΜΕ LASER	6
2.1 Βασικά στοιχεία του Laser.....	6
2.1.1 Ιστορική αναδρομή	6
2.1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας	6
2.2 Χάραξη με Laser (Laser Engraving)	7
2.2.1 Λειτουργία και μέθοδοι.....	7
2.2.2 Τύποι Laser	7
2.2.3 Υλικά που μπορούν να χαραχθούν	8
2.2.4 Εφαρμογές.....	8
2.3 Στάθμη των Γνώσεων.....	9
2.3.1 Εισαγωγή	9
2.3.2 Χάραξη με Laser σε C45 χάλυβα	9
2.3.3 Μαρκάρισμα με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304	10
2.3.4 Μελέτη διαδικασίας μαρκαρίσματος με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα	10
2.3.5 Χάραξη με Laser σε ξύλο	11
2.3.6 Επίδραση της ταχύτητας και της ισχύος του Laser στο βάθος χάραξης και στη διαφορά χρώματος (contrast) σε λεπτά φύλλα Moso Bamboo	11
3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	13
3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανής	13
3.1.1 Μοντέλο και διαστάσεις.....	13
3.1.2 Χώρος εργασίας.....	14
3.1.3 Χαρακτηριστικά laser	14
3.2 LpsWin	15
3.2.1 Εισαγωγή αρχείου	15
3.2.2 Επεξεργασία μεγέθους αντικειμένου και ορισμός σημείου «μηδέν»	17
3.2.3 Έλεγχος επιφάνειας	19
3.2.4 Ορισμός χαρακτηριστικών των τριγώνων	20
3.2.5 Ορισμός χαρακτηριστικών των επιφανειών	20
3.2.6 Δημιουργία border fence	22
3.2.7 Επιλογές Segmenting	23
3.2.8 Επιλογές Caving	24
3.2.9 Αποθήκευση του project σε ini αρχείο και της επιφάνειας σε trf αρχείο.....	25
3.2.10 Προγραμματισμός.....	25
3.2.11 Ορισμός σημείου μέτρησης	26
3.2.12 Χρήση του L4D Viewer για τον έλεγχο του προγράμματος.....	27
3.3 Lasersoft3D.....	28
3.3.1 Εισαγωγή.....	28

3.3.2	Ορισμός σημείου «μηδέν» στο τεμάχιο	28
3.3.3	Υπολογισμός ισχύος	31
3.3.4	Έναρξη κατεργασίας	33
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	37
4.1	Εισαγωγή	37
4.2	Αλουμίνιο	37
4.2.1	Ιδιότητες και χρήσεις	37
4.2.2	Αλουμίνιο 7075 – T6	38
4.2.3	Πειραματική διαδικασία αλουμινίου 7075 – T6.....	38
4.2.4	Αλουμίνιο 6063	41
4.2.5	Πειραματική διαδικασία αλουμινίου 6063.....	41
4.3	Ορείχαλκος	44
4.3.1	Ιδιότητες και χρήσεις	44
4.3.2	Ορείχαλκος MS58.....	45
4.3.3	Πειραματική διαδικασία ορείχαλκου MS58	45
4.4	Μπρούτζος	48
4.4.1	Ιδιότητες και χρήσεις	48
4.4.2	Φωσφορούχος μπρούτζος CuSn6.....	49
4.4.3	Πειραματική διαδικασία φωσφορούχου μπρούτζου CuSn6.....	49
4.5	Χαλκός.....	51
4.5.1	Ιδιότητες και χρήσεις	51
4.5.2	Πειραματική διαδικασία χαλκού	52
5.	ΣΥΝΟΨΗ	55
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες ανάγκες για την παραγωγή νέων και βελτιωμένων προϊόντων, επέφερε καινοτομίες και βελτιώσεις στην διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος. Μια από τις μεγαλύτερες καινοτομίες αποτέλεσε η χρήση του Laser στις μεθόδους παραγωγής. Η ποιότητα του προϊόντος, καθώς και η οικονομία αποτελούν ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση του Laser έναντι των συμβατικών μεθόδων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κατεργασίες με Laser σε μικρό-κλίμακα, οι οποίες αποτελούν πλέον μια ώριμη τεχνολογία που εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις βιομηχανίες κατασκευής προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, όπως τηλεπικοινωνίες, βιοτεχνολογία, ιατρικών εξαρτημάτων, ενώ συνεχώς βρίσκει εφαρμογή και σε νέους τομείς. Σημαντική περιοχή των κατεργασιών με Laser αποτελεί η διαδικασία χάραξης με χρήση Laser (Laser Engraving), αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της διαδικασίας χάραξης και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν οι παράμετροι της διαδικασίας την ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η συχνότητα παλμού, η ταχύτητα χάραξης και το πάχος στρώματος του υλικού που αφαιρεί το Laser. Συνοπτικά λοιπόν:

Στο κεφάλαιο 2, θα γίνει μια αναφορά στον τρόπο λειτουργίας του Laser και στην τεχνική χάραξης με Laser.

Στο κεφάλαιο 3, θα γίνει αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής Laser που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση των πειραμάτων, και θα παρουσιαστεί ένας οδηγός χειρισμού των προγραμμάτων της μηχανής.

Στο κεφάλαιο 4, θα παρουσιαστεί η πειραματική διαδικασία, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, καθώς και οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο κεφάλαιο 5, θα γίνει μια αναφορά στα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία.

2. ΧΑΡΑΞΗ ΜΕ LASER

2.1 Βασικά στοιχεία του Laser

2.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η λέξη LASER προέρχεται από τα αρχικά (στην Αγγλική γλώσσα) των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, που σημαίνουν ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας.

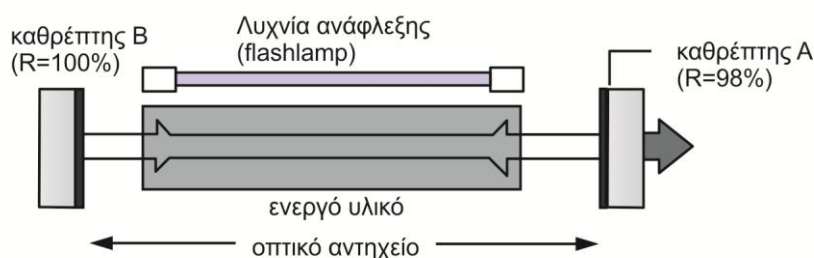
Ήδη από το 1917 ο Albert Einstein είχε δείξει τη δυνατότητα ύπαρξης της λεγόμενης εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των Laser, αλλά μόλις το 1960 ο T. H. Maiman πέτυχε πρώτος τη λειτουργία Laser Ρουμπινίου. Ενώ η αυστηρή ανάλυση της Φυσικής του Laser είναι αρκετά δύσκολη, η βασική αρχή λειτουργίας και η κατασκευή του είναι σχετικά εύκολη και αυτός είναι ο λόγος που δημιουργεί την απορία γιατί καθυστέρησε στο ξεκίνημά της η εφεύρεση του Laser. Πάντως η ανάπτυξη των Laser από το 1960 και πέρα υπήρξε εκπληκτικά ραγδαία, ενώ σήμερα παρουσιάζονται νέες εφαρμογές των Laser σχεδόν καθημερινά.

2.1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί τύποι laser, καθένας εκ των οποίων έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και κατασκευαστικές λεπτομέρειες, εν τούτοις είναι δυνατόν να υποδειχθούν ορισμένες βασικές αρχές στη λειτουργία τους που είναι κοινές για όλους τους τύπους. Έτσι η μελέτη όλων των τύπων Laser δείχνει ότι σε κάθε ένα από αυτά διακρίνονται τα εξής τμήματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 :

- Το ενεργό υλικό
- Το οπτικό αντηχείο (ή κοιλότητα συντονισμού)
- Λυχνία ανάφλεξης

Το ενεργό υλικό, είναι το υλικό που παρέχει τις στάθμες ενέργειας του για μεταπτώσεις ηλεκτρονίων που οδηγούν σε δράση Laser. Το υλικό αυτό δρα σαν ένας ενισχυτής στην οπτική ακτινοβολία που περνάει διαμέσου αυτού. Η ακτινοβολία αυτή εγκλωβίζεται στο λεγόμενο οπτικό αντηχείο (ή κοιλότητα συντονισμού), το οποίο αποτελείται από δύο καθρέπτες. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται το φαινόμενο της ανάδρασης (feedback) στην παραγόμενη οπτική ακτινοβολία, έτσι ώστε το Laser να λειτουργεί σε μια αυτοσυντηρούμενη ταλάντωση. Τέλος, με τη λεγόμενη διαδικασία άντλησης είναι δυνατόν να μεταφέρεται ενέργεια μέσα στα άτομα του ενεργού υλικού, έτσι ώστε να διατηρείται μια συντηρούμενη ταλάντωση μέσα στο οπτικό αντηχείο παρά την ύπαρξη απωλειών της οπτικής ενέργειας εξ αιτίας είτε της (σκόπιμης) χρήσιμης απώλειας εξόδου, είτε εξ' αιτίας (ανεπιθύμητων) παρασιτικών απωλειών που οφείλονται στην ίδια την κατασκευή του Laser.



Σχήμα 2.1 : Αναπαράσταση Laser συνηχητή

Στο διάγραμμα του Σχήματος 2.1 έχουμε το ενεργό υλικό ανάμεσα σε δύο καθρέπτες Α και Β που αποτελούν το οπτικό αντηχείο. Μία οπτική ακτινοβολία που διαδίδεται διαμέσου του ενεργού υλικού, βγαίνει κατά πολύ ενισχυμένη μέσα από αυτό. Αυτό συμβαίνει γιατί το ενεργό υλικό διοχετεύει την ενέργεια που δέχεται με τη διαδικασία άντλησης στο πεδίο της ακτινοβολίας που σχηματίζεται. Στη συνέχεια η ακτινοβολία διαδίδεται επάνω στον καθρέπτη Α. Ο καθρέπτης Α είναι κατασκευασμένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ένα μικρό κλάσμα της ακτινοβολίας που πέφτει επάνω του να είναι δυνατόν να περάσει διαμέσω αυτού. Η ακτινοβολία αυτή αποτελεί τη χρήσιμη ακτινοβολία εξόδου του Laser. Η ακτινοβολία που παραμένει ανακλάται και επιστρέφει στο οπτικό αντηχείο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ακτινοβολία ενισχύεται ξανά με το πέρασμά της διαμέσου του ενεργού υλικού, οπότε προσπίπτοντας στον καθρέπτη Β ανακλάται ολόκληρη και επιστρέφει ξανά ακολουθώντας την ίδια διαδρομή. Ο καθρέπτης Β είναι κατασκευασμένος (σε αντίθεση με τον καθρέπτη Α) ώστε να έχει ανακλαστικότητα ίση με 100%.

2.2 Χάραξη με Laser (Laser Engraving)

2.2.1 Λειτουργία και μέθοδοι

Χάραξη με Laser (Laser Engraving) είναι η πρακτική της χρησιμοποίησης Laser για να χαραχθεί ή να σηματοδοτηθεί ένα αντικείμενο. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι ότι δεν περιλαμβάνει την χρήση κοπτικών εργαλείων που να έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια προς χάραξη και να φθείρονται. Η διαδικασία πραγματοποιείται με την χρησιμοποίηση μιας ακτίνας Laser υψηλής ενέργειας, η οποία εξαερώνει ένα μικρό πάχος στρώματος από την επιφάνεια. Ο χειρισμός γίνεται μέσω ενός λογισμικού από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το επιθυμητό αποτέλεσμα δημιουργείται έπειτα από έναν συγκεκριμένο αριθμό περασμάτων της ακτίνας Laser, ανάλογα με το επιθυμητό τελικό βάθος.

Οι δύο βασικές μέθοδοι για χάραξη σε ένα αντικείμενο είναι:

1. Raster Engraving
2. Vector Engraving

Στην μέθοδο Raster το Laser κινείται σαν εκτυπωτής και χαράζοντας αφαιρεί υλικό ώστε να σχηματιστεί η εικόνα ή το γράφημα που επιθυμείται. Τα raster αρχεία δημιουργούνται από μικρά τετράγωνα, γνωστά ως pixels. Τα pixels τα οποία χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση της εικόνας, χωρίζονται σε σειρές. Η κάθε σειρά αποτελεί μια λωρίδα δεδομένων που αντιστοιχούν στα pixels της εικόνας. Το σύνολο αυτό των σειρών στοιβάζεται από πάνω προς τα κάτω, δημιουργώντας την εικόνα. Το σύστημα του Laser χρησιμοποιεί τις αποχρώσεις του γκρι, ώστε να προσδιορίσει το πόση ενέργεια θα χρησιμοποιήσει για κάθε pixel και να καθορίσει την ποσότητα του υλικού που θα αφαιρέσει για κάθε ένα από αυτά κατά τη διαδικασία της χάραξης.

Αντίθετα, στην μέθοδο Vector οι πληροφορίες μιας εικόνας δεν αποθηκεύονται ως pixels αλλά σαν σειρά γραμμών και καμπυλών. Αυτό σημαίνει ότι το αρχείο δημιουργείται από ένα σύνολο καθορισμένων και με μεγάλη ακρίβεια αντικειμένων, κάθε ένα από τα οποία έχει αρχή και τέλος. Έτσι δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης και μετατροπής του μεγέθους τέτοιων αρχείων, χωρίς να μεταβάλλεται η ποιότητά της

2.2.2 Τύποι Laser

Οι τύποι Laser που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

1. CO₂ Laser
2. Nd:YAG Laser
3. Fiber Laser

Τα CO_2 Laser χρησιμοποιούνται για επιφανειακή και σε βάθος χάραξη, αλλά κυρίως για μη μεταλλικά υλικά όπως πλαστικό, δέρμα και καουτσούκ καθώς το μήκος κύματος τους δεν είναι αρκετό για την κατεργασία μετάλλων.

Τα Nd:YAG Laser είναι κατάλληλα για τη χάραξη επιφανειών διαφόρων υλικών. Το μήκος κύματός τους που αγγίζει τα 1.06μm και είναι περισσότερο αποτελεσματικά στη χάραξη μετάλλων. Μη μεταλλικά υλικά, όπως ξύλο και πλαστικό, δεν μπορούν να κατεργαστούν με μεγάλη αποτελεσματικότητα εξαιτίας του μήκος κύματος, το οποίο δεν απορροφάται σε μεγάλο βαθμό από αυτά.

Τα Fiber Laser χρησιμοποιούνται κυρίως για χάραξη μετάλλων. Μη μεταλλικά υλικά δεν μπορούν να υποστούν χάραξη με αυτά τα Laser.

2.2.3 Υλικά που μπορούν να χαραχθούν

Φυσικά Υλικά

Η δημιουργία εικόνων σε ξύλο, αποτελούσε από τις πρώτες χρήσεις της χάραξης με Laser. Η ισχύς που απαιτείται σε αυτή την περίπτωση είναι συνήθως μικρότερη από 10 watt, ανάλογα με τον τύπο Laser που χρησιμοποιείται. Σκληρά ξύλα όπως καρυδιά, βελανιδιά, μόνι και το σφένδαμνο, δίνουν καλά αποτελέσματα. Αντίθετα, στα μαλακά ξύλα υπάρχει δυνατότητα χάραξης, όμως η ταχύτητα κοπής θα πρέπει να είναι μεγάλη, η ισχύς μικρή και να υπάρχει αρκετή παροχή αέρα, ώστε να προλαμβάνονται οι αναφλέξεις. Δέρματα, συνθετικά καουτσούκ και σκληρά χαρτικά μπορούν επίσης να χαραχθούν.

Πλαστικά

Καλούπια ακρυλικού πλαστικού, ακρυλικά πλαστικά φύλλα και άλλα καλούπια ρητίνης, μπορούν γενικά να χαραχθούν με Laser. Το στυρόλιο και πολλά παρόμοια πλαστικά, τείνουν να λιώνουν στις άκρες γύρω από το σημείο χάραξης.

Μέταλλα

Τα μέταλλα που παραδοσιακά ήταν τα καλύτερα υλικά για χάραξη, αρχικά υπήρξε μια δυσκολία στην χάραξη τους με την χρήση Laser, λόγω του μεγάλου μήκους κύματος των Laser CO_2 . Το πρόβλημα όμως λύθηκε με την χρήση των Laser Yb: Fiber, Nd:YVO₄ και Nd:YAG που έχουν σχεδόν υποδεκαπλάσιο μήκος κύματος από τα Laser CO_2 .

Γυαλί

Η χάραξη του γυαλιού εξαρτάται από τον κατασκευαστή και τον τύπο που χρησιμοποιείται. Η περιεκτικότητα σε μόλυβδο αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς χαμηλής περιεκτικότητας προτιμώνται για χάραξη.

Είναι σημαντικό η χάραξη να πραγματοποιείται σε καθαρή επιφάνεια, καθώς ακαθαρσίες και λάδια επηρεάζουν την εμφάνιση της χάραξης. Το γυαλί πρέπει να καθαρίζεται μετά τη διαδικασία της χάραξης, ώστε να απομακρύνονται μικρά μόρια τα οποία έχουν προσκολληθεί σε αυτό. Το τρίψιμο του γυαλιού θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθούν γρατζουνιές.

Επικαλυμένα μέταλλα

Με την κατάλληλη επιλογή ισχύος, εξαιρετικής ποιότητας χαράξεις μπορεί να επιτευχθούν, καθώς το σμάλτο αφαιρείται με σχετική καθαρότητα.

2.2.4 Εφαρμογές

Η χάραξη με Laser, βρίσκει ευρεία εφαρμογή τόσο σε εμπορικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο, ενώ η χρήση της αυξάνεται ολοένα και περισσότερο στους δύο τομείς.

Γνωστές εμπορικές χρήσεις αποτελούν η χάραξη σε μπρελόκ, σε τρόπαια και βραβεία. Τα Laser παρέχουν τη δυνατότητα χάραξης στο κρύσταλλο από ένα όνομα μέχρι ένα πρόσωπο. Η χάραξη σε ένα τρόπαιο ή βραβείο από κρύσταλλο, αποτελεί εναλλακτική στα παραδοσιακά μεταλλικά. Γνωστή εμπορική εφαρμογή, αποτελεί και η χάραξη σε κοσμήματα. Υπογραφές και μηνύματα στο πίσω μέρος ρολογιών, όπως και προσωπικά μηνύματα στο εσωτερικό δαχτυλιδιών, αποτελούν ορισμένες εφαρμογές.

Εκτός από τις εμπορικές, αναρίθμητες είναι και οι βιομηχανικές εφαρμογές στις οποίες εφαρμόζεται. Η χάραξη μίας εικόνας κάτω από την επιφάνεια ενός στερεού υλικού, συνήθως γυαλί, αποτελεί μία από αυτές. Επίσης, οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών υπολογιστών, συχνά χαράζουν στα τσιπ πυριτίου, πληροφορίες όπως ονόματα και σειριακούς αριθμούς. Μία άλλη εφαρμογή έχει να κάνει με την απευθείας χάραξη στα τρόφιμα, της ημερομηνίας λήξης τους. Σημαντική είναι και η δημιουργία καλουπιών και μητρών, τα οποία δημιουργούνται με τη διαδικασία χάραξης με Laser.

2.3 Στάθμη των Γνώσεων

2.3.1 Εισαγωγή

Η χάραξη και το μαρκάρισμα με Laser αποτελούν σύγχρονες μεθόδους κατεργασίας έχοντας βρει ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία και όχι μόνο. Η ποιότητα του αποτελέσματος που προκύπτει εφαρμόζοντας τις παραπάνω μεθόδους σε κάποιο υλικό, εξαρτάται από τον τύπο του Laser που θα χρησιμοποιηθεί, αλλά και από άλλες παραμέτρους του Laser όπως η ταχύτητα χάραξης, η συχνότητα του παλμού και η ισχύς.

Κατά καιρούς έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για τη διαδικασία χάραξης και μαρκάρισματος με Laser σε διάφορα υλικά για διάφορες παραμέτρους και παράλληλα έχουν εξαχθεί χρήσιμα συμπεράσματα. Μερικές από αυτές τις έρευνες, καθώς και τα αποτελέσματά τους παρατίθενται στο παρόν κεφάλαιο.

2.3.2 Χάραξη με Laser σε C45 χάλυβα

Η εργασία που πραγματοποιήθηκε, από τους S. Genna, C. Leone, V. Lopresto, L.Santo, F. Trovalusci, είχε σαν σκοπό τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν οι παράμετροι της διαδικασίας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού και την τραχύτητα της επιφάνειας στο συγκεκριμένο υλικό. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η συχνότητα παλμού, η ταχύτητα της ακτίνας, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων, ο αριθμός επαναλήψεων του γεωμετρικού σχεδίου και η στρατηγική σάρωσης (μόνο οριζόντιες γραμμές ή οριζόντιες και κάθετες μαζί).

Οι δοκιμές σάρωσης πραγματοποιήθηκαν με fibre Laser Yb:YAG με μήκος κύματος 1070 nm, διάρκεια παλμού 100 ns, συχνότητα παλμού από 20-100 kHz και ενέργεια παλμού έως 1 mJ. Ο τρόπος λειτουργίας ήταν παλμικός Q-switched. Η διάμετρος της ακτίνας ήταν περίπου 80 μm .

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε C45 χάλυβα διαστάσεων 150x150x25 mm³ και χαράχτηκαν τετράγωνα 5x5 mm², με ταχύτητα 100 και 200 mm/s και συχνότητα σε ένα εύρος από 20-50 kHz. Ο αριθμός των σαρώσεων καθορίστηκε σε 2, 10 και 20. Ο αριθμός μεταξύ των γραμμών σάρωσης ορίστηκε 20 και 40 μm . Στη συνέχεια μετρήθηκε το βάθος και η τραχύτητα επιφάνειας για κάθε περίπτωση.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την χρησιμοποίηση Q-switched fibre Laser Yb:YAG για χάραξη σε C45 χάλυβα ήταν τα εξής :

- Το βάθος χάραξης εξαρτάται σημαντικά από τη συχνότητα, τον αριθμό σαρώσεων και την ταχύτητα σάρωσης, ενώ πρακτικά παραμένει ανεξάρτητο από τη στρατηγική σάρωσης που επιλέγεται.
- Η τραχύτητα εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των γραμμών σάρωσης, την ταχύτητα και τη συχνότητα, ενώ παραμένει αναλλοίωτη μετά το πέρασμα 10 σαρώσεων
- Με την κατάλληλη επιλογή παραμέτρων, μπορούν να επιτευχθούν υψηλές τιμές ρυθμού αφαίρεσης υλικού όπως και καλή ποιότητα επιφάνειας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για ταχύτητα 200 mm/s, συχνότητα 30-40 kHz και απόσταση μεταξύ των γραμμών σάρωσης 0,04 mm επιτυγχάνεται καλή ποιότητα επιφάνειας και υψηλός ρυθμός αφαίρεσης υλικού.

2.3.3 Μαρκάρισμα με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304

Η μελέτη, που εκπονήθηκε, από τους C. Leone, S. Genna, G. Caprino και I. De Iorio, είχε ως στόχο τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων κατεργασίας (συχνότητα παλμού, ταχύτητα χάραξης, έντασης) και του οπτικού αποτελέσματος αυτών στην κατεργασία.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304 πάχους 2 mm. Ο τύπος του Laser που χρησιμοποιήθηκε ήταν diode-pumped Nd:YAG, με τρόπο λειτουργίας παλμικό Q-switched και μήκος κύματος στα 1064 nm.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν για την ταχύτητα χάραξης 50, 100, 200 mm/s, το εύρος της συχνότητας 1-30 kHz και η ένταση 35 και 45 A. Για κάθε πείραμα χαράχθηκε με ένα πέρασμα γραμμή μήκους 50 mm, ενώ για κάθε πειραματική συνθήκη, πραγματοποιήθηκαν πέντε δοκιμές.

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, αρχικά μετρήθηκε η τραχύτητα της επιφάνειας σε συνάρτηση με τη συχνότητα, για κάθε ταχύτητα και ένταση που χρησιμοποιήθηκε.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, ήταν τα εξής :

- Το οπτικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται εξαρτάται σε υψηλό βαθμό από τις παραμέτρους τις διαδικασίας που χρησιμοποιούνται
- Για την επίτευξη καλού οπτικού αποτελέσματος, πρέπει να χρησιμοποιούνται χαμηλές τιμές συχνότητας και ισχύος
- Το οπτικό αποτέλεσμα επηρεάζεται από την τραχύτητα της επιφάνειας και την οξείδωση

2.3.4 Μελέτη διαδικασίας μαρκάριατος με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα

Σκοπός της μελέτης που πραγματοποιήθηκε από τους J. Ka, K.L. Wang και Y.M. Zhu, ήταν να βρεθεί η σχέση μεταξύ της συχνότητας των παλμών του Laser και των χαρακτηριστικών ποιότητας, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα να επιτευχθεί μαρκάρισμα υψηλής ποιότητας στο συγκεκριμένο υλικό.

Το Laser που χρησιμοποιήθηκε ανήκε στην κατηγορία της στερεής κατάστασης και είναι το Nd:YAG, ενώ ο τρόπος λειτουργίας του είναι παλμικός Q-switched. Η ποιότητα στο

μαρκάρισμα που θα δημιουργηθεί αξιολογείται από το βάθος, το πλάτος και τη χρωματική αντίθεση (contrast).

Το συμπέρασμα που προέκυψε από την συγκεκριμένη μελέτη είναι πως μεταβάλλοντας τη συχνότητα του Q-switched Nd:YAG, υπάρχουν σημαντικές επιδράσεις στην ποιότητα μαρκαρίσματος, κάτι το οποίο είναι εμφανή παρατηρώντας τα αποτελέσματα των παραπάνω διαγραμμάτων.

2.3.5 Χάραξη με Laser σε ξύλο

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, των C. Leone, V. Lopresto και I. De Iorio, ήταν να ερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν οι παράμετροι της διαδικασίας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού σε διάφορους τύπους ξύλου. Οι παράμετροι οι οποίες εξετάστηκαν ήταν η ισχύς, εξαρτώμενη από την τιμή της συχνότητας, η ταχύτητα χάραξης και η επαναληψιμότητα του Laser, δηλαδή ο αριθμός των παλμών ανά δευτερόλεπτο.

Το Laser που χρησιμοποιήθηκε ανήκε στην κατηγορία diode-pumped Nd:YAG στερεής κατάστασης με διπλασιασμένη συχνότητα. Το μήκος κύματος είναι 532 nm, η διάρκεια παλμού 150 ns και η ενέργεια ανά παλμό 1,4 mJ. Ο τρόπος λειτουργίας παλμικό Q-switched.

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας, η χάραξη πραγματοποιήθηκε σε ελάσματα πάχους 10 mm από διαφορετικά είδη ξύλου. Οι τύποι που επιλέχθηκαν ήταν καρυδιά, μαόνι, λεύκα, πεύκο και καστανιά.

Τετράγωνες κοιλότητες διαστάσεων $5 \times 5 \text{ mm}^2$ δημιουργήθηκαν σαν παραδείγματα χάραξης, με συχνότητες παλμών από 2500-35000 Hz, ταχύτητα χάραξης 10,40,70,100, 200 mm/s και οι επαναλήψεις από 1-10.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν μετά την ολοκλήρωση και τη μελέτη των πειραμάτων είναι τα εξής :

- Q-switched Laser diode-pumped Nd:YAG, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί χάραξη σε διαφορετικά είδη ξύλου χωρίς να συμβεί ανθρακοποίηση της επιφάνειας
- Δεν είναι όλα τα είδη ξύλου κατάλληλα για χάραξη, καθώς η δομή και η ποιότητα της επιφάνειάς τους παίζουν σημαντικό ρόλο
- Η ανθρακοποίηση της επιφάνειας οφείλεται σε λάθος επιλογή παραμέτρων χάραξης και για τη συγκεκριμένη περίπτωση συμβαίνει για ταχύτητα ακτίνας κάτω από 10 mm/s
- Για ταχύτητα μεγαλύτερη από 40 mm/s, το βάθος χάραξης είναι αρκετά χαμηλό και χρειάζονται αρκετά περάσματα από το Laser για να αυξηθεί
- Το βάθος κοπής επηρεάζεται σημαντικά από την ισχύ, τη συχνότητα, την ταχύτητα της ακτίνας και τον αριθμό των επαναλήψεων

2.3.6 Επίδραση της ταχύτητας και της ισχύος του Laser στο βάθος χάραξης και στη διαφορά χρώματος (contrast) σε λεπτά φύλλα Moso Bamboo

Στη μελέτη που εκπονήθηκε, από τους Cheng-Jung Lin, Yi-Chung Wang, Lang-Dong Lin, Chyi-Rong Chiou, Ya-Nan Wang και Ming-Jer Tsai, η χάραξη πραγματοποιήθηκε σε λεπτά φύλλα Moso Bamboo. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τιμές ισχύος του

Laser σε συνδυασμό με διάφορες ταχύτητες κοπής, ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση αυτών των παραμέτρων στο βάθος χάραξης και στη διαφορά χρώματος.

Τα bamboo κόπηκαν σε λωρίδες και επεξεργάστηκαν ώστε να σχηματίζουν λείες επιφάνειες. Οι διαστάσεις τους ήταν 200 mm (μήκος) x 25 mm (πλάτος) x 7.5 mm (ακτίνα) και ήταν δύο ειδών, αυτά που υπέστησαν επεξεργασία με ατμό (S) και αυτά χωρίς (N).

Οι τιμές των ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκαν και οι συχνότητες, φαίνονται στο σχήμα 2.2. Κάθε ταχύτητα συνδυάστηκε με κάθε συχνότητα και κάθε πείραμα επαναλήφθηκε 20 φορές. Μετά τη χάραξη πραγματοποιήθηκε μέτρηση του βάθους και της διαφοράς χρώματος (διαφορές στην ένταση της κλίμακας του γκρι). Η διαφορά χρώματος ορίστηκε ως (pixels πριν τη χάραξη) – (pixels μετά τη χάραξη) και η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με ειδικό σαρωτή και πρόγραμμα.

Ρυθμός χάραξης (S)	Ισχύς Laser (P)
10% [780 mm/min]	10 (W)
20% [1560 mm/min]	20 (W)
30% [2340 mm/min]	30 (W)
40% [3120 mm/min]	40 (W)
50% [3900 mm/min]	50 (W)
60% [4680 mm/min]	60 (W)
70% [5460 mm/min]	70 (W)
80% [6240 mm/min]	80 (W)
90% [7020 mm/min]	90 (W)
100% [7800 mm/min]	100 (W)

Σχήμα 2.2 : Τιμές ρυθμού χάραξης και ισχύος που χρησιμοποιήθηκαν

Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την παρούσα μελέτη είναι:

- Το βάθος χάραξης γίνεται μεγαλύτερο είτε αυξάνοντας την ισχύ, είτε μειώνοντας το ποσοστό της ταχύτητας χάραξης
- Οι τιμές της διαφοράς χρώματος αυξάνονται όσο υψηλότερη είναι η ισχύς και μειώνονται όσο μικρότερο είναι το ποσοστό της ταχύτητας χάραξης, ενώ παράλληλα έχουν καφετί χρώμα στη ζώνη χάραξης

3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία σύντομη περιγραφή της μηχανής LASERTEC 40, με την οποία είναι εξοπλισμένο το M3 και με την οποία έγιναν τα πειράματα και θα παρουσιαστεί ένας οδηγός χρήσης της μηχανής, η οποία γίνεται μέσω των προγραμμάτων Lasersoft 3D και LpsWin.

3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανής

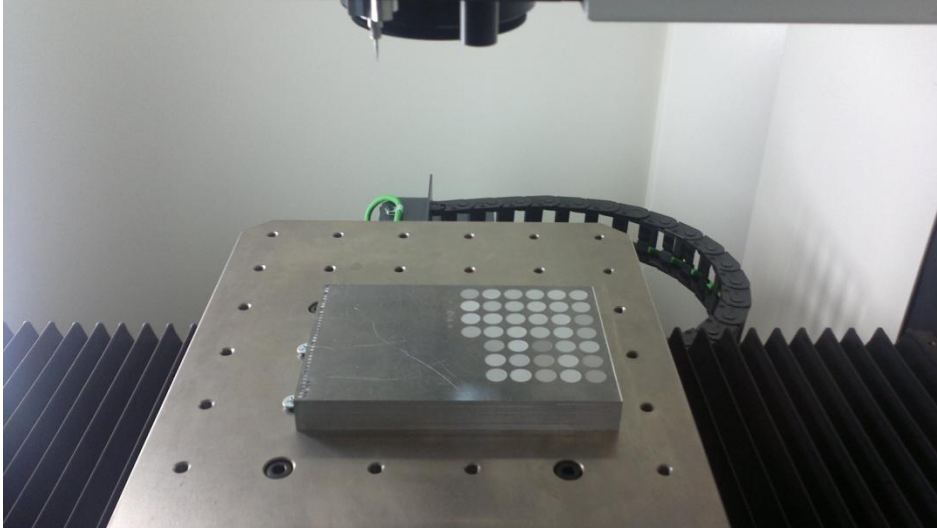
3.1.1 Μοντέλο και διαστάσεις



Σχήμα 3.1 : LASERTEC 40

- Ύψος : 2370mm
- Μήκος : 2850mm
- Πλάτος: 2476mm
- Βάρος : 2200kg

3.1.2 Χώρος εργασίας



Σχήμα 3.2 : Τράπεζα εργασίας

- Διαστάσεις τράπεζας : 400x300mm
- Μέγιστο φορτίο : 50kg
- Κίνηση τράπεζας στον X άξονα : 400mm
- Κίνηση τράπεζας στον Y άξονα : 300mm
- Κίνηση τράπεζας στον Z άξονα : 500mm

3.1.3 Χαρακτηριστικά laser

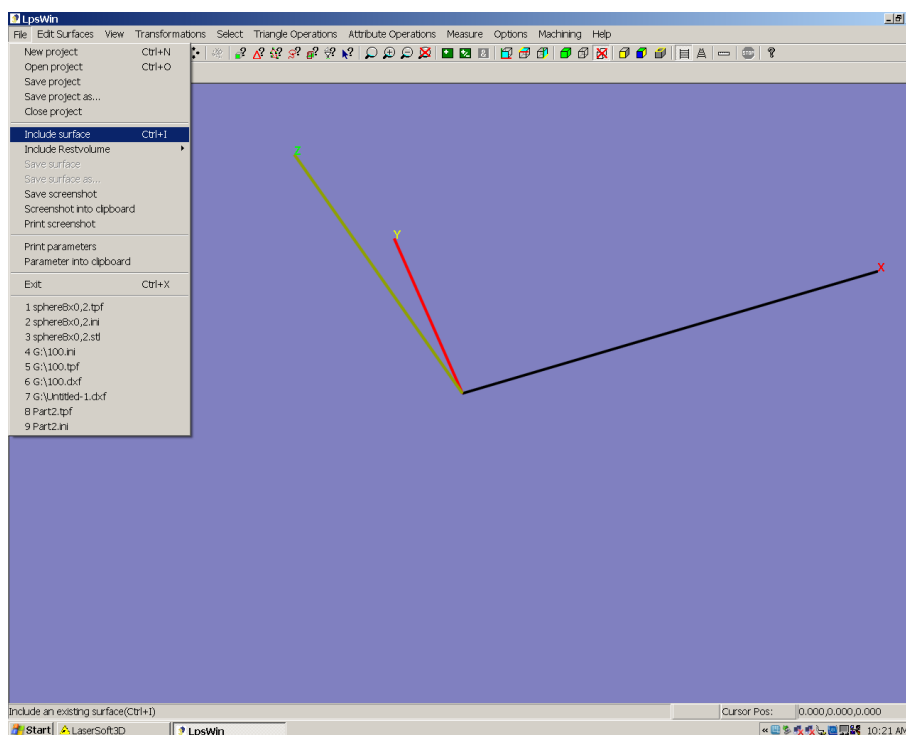
- Τύπος : παλμικό fibre με ισχύ 20Watt
- Διάμετρος ακτίνας laser : 0.04 – 0.1mm
- Πλήρης προστασία καμπίνας και παράθυρο ασφαλείας Laser safety glass 1
- Σύστημα ελέγχου CNC με λογισμικό προγραμματισμού με δυνατότητα εισαγωγής stl και dxf αρχείων.
- TFT οθόνη 15"
- Κλιματιζόμενη καμπίνα ηλεκτρικών
- Control με 32-bit επεξεργαστή
- Μνήμη με σκληρό δίσκο 40Gb
- Internet interface

3.2 LpsWin

Το πρόγραμμα LpsWin χρησιμοποιείται για τον καθορισμό κάποιων παραμέτρων και για τη δημιουργία στρωματοποίησης του αντικειμένου, προτού δοθεί στην μηχανή για την κατεργασία. Το πρόγραμμα αναγνωρίζει μόνο αρχεία τύπου STL και DXF. Ένα αρχείο STL (STereoLithography) αναπαριστά το αντικείμενο ως πλέγμα συνδεδεμένων τριγώνων, αποδίδοντας έτσι τη γεωμετρία της επιφάνειας του τρισδιάστατου αντικειμένου χωρίς καμία εκπροσώπηση του χρώματος, της υφής αλλά και άλλων κοινών χαρακτηριστικών του αντικειμένου. Τα DXF αρχεία αναπαριστούν δισδιάστατα ή τρισδιάστατα σχέδια καθώς και εικόνες, τα οποία όμως αποδίδονται και αυτά με τη μορφή πλέγματος συνδεδεμένων τριγώνων. Το πρόγραμμα LpsWin, με το άνοιγμα ενός STL ή DXF αρχείου, αυτόματα δημιουργεί ένα TPF αρχείο. Το είδος του αρχείου αυτού σε αντίθεση με τα παραπάνω, εκτός από τη θέση των σημείων των τριγώνων, δίνει τη δυνατότητα να αποθηκευτούν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που θα εκτελεστεί η κατεργασία, καθώς και τις παραμέτρους που θα οριστούν απευθείας στο αρχείο της επιφάνειας.

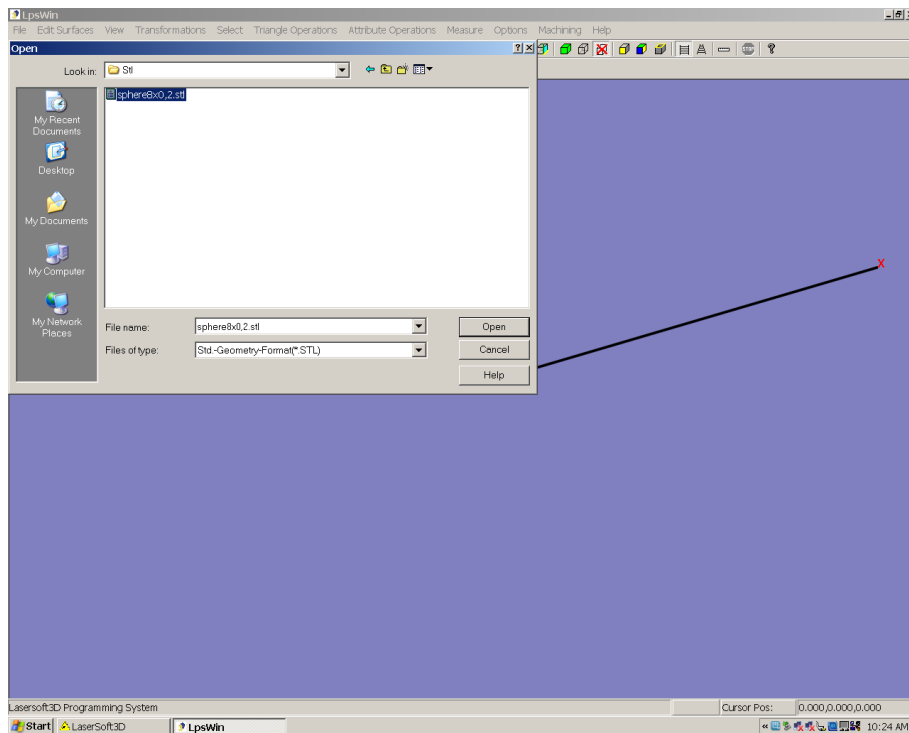
3.2.1 Εισαγωγή αρχείου

Αφού ανοίξει το πρόγραμμα LpsWin, από το μενού *File*, επιλέγεται *Include surface*, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.



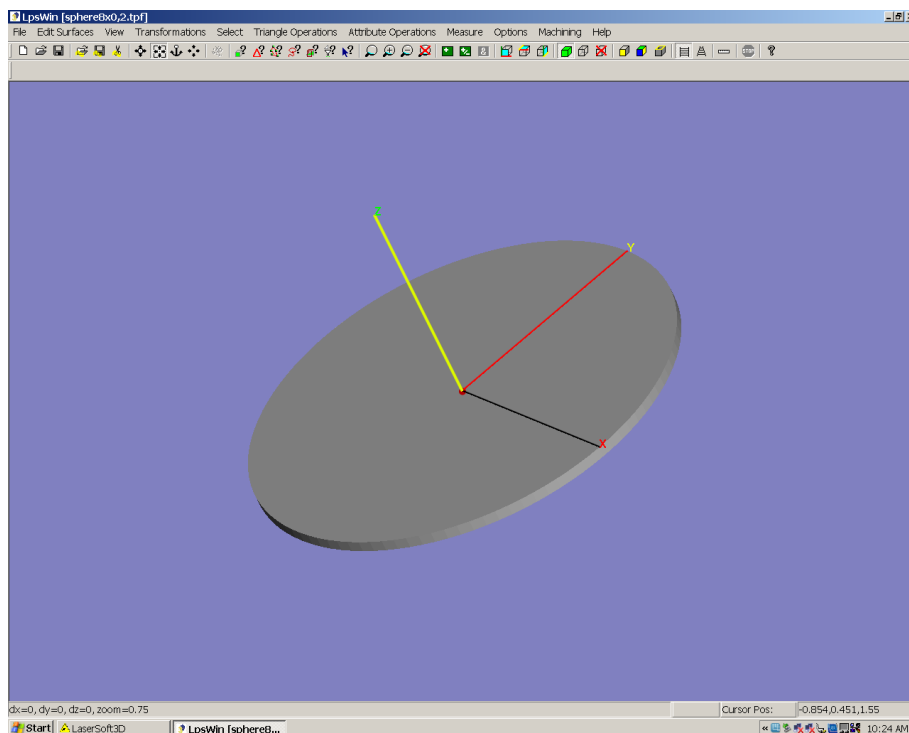
Σχήμα 3.3 : Εισαγωγή αρχείου STL ή DXF

Επιλέγετε το αρχείο STL ή DXF από τον φάκελο που το είναι αποθηκευμένο και πατάμε *Open*. (Σχήμα 3.4)



Σχήμα 3.4 : Φόρτωση αρχείου

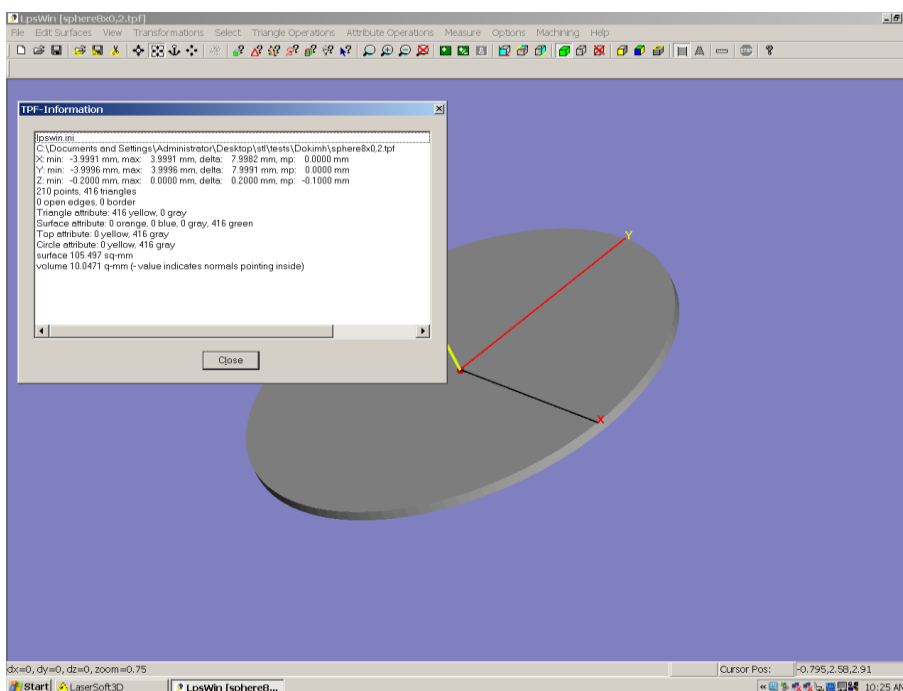
Μόλις φορτωθεί το αρχείο, αυτόματα από το πρόγραμμα δημιουργείται στον ίδιο φάκελο που υπάρχει το αρχείο STL ή DXF, ένα αρχείο TPF όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το οποίο θα είναι και το αρχείο στο οποίο θα γίνει όλη η διαδικασία. Στο συγκεκριμένο οδηγό, το αντικείμενο που θα χρησιμοποιηθεί, θα είναι ένας κύκλος, ο οποίος μετά την φόρτωση, εμφανίζεται στην οθόνη (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 : Αντικείμενο στο LpsWin

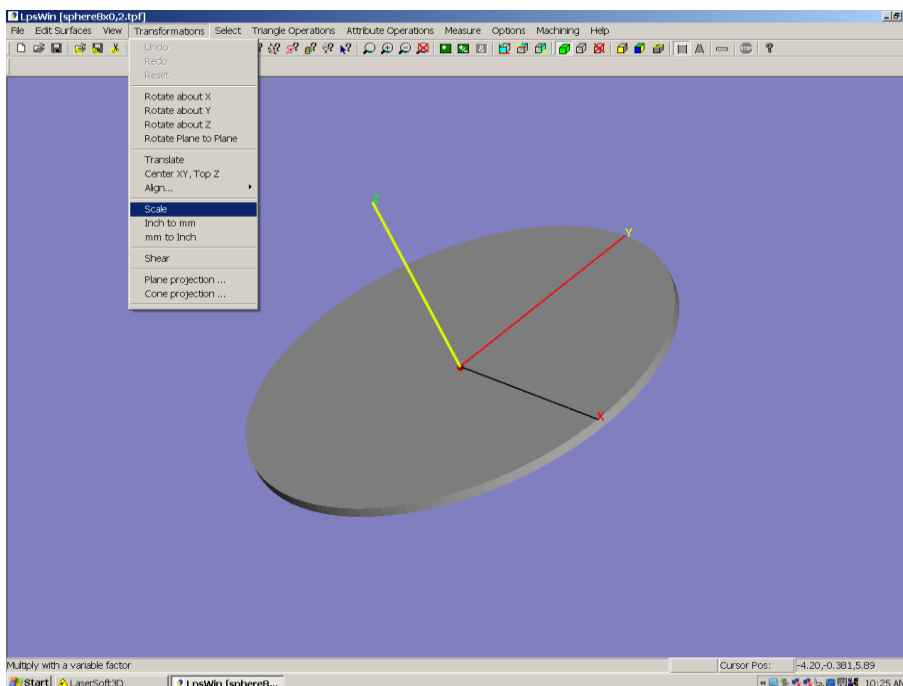
3.2.2 Επεξεργασία μεγέθους αντικειμένου και ορισμός σημείου «μηδέν»

Ένα αρχείο STL ή DXF έχει συγκεκριμένες διαστάσεις προτού εισαχθεί στο LpsWin, αλλά αυτές μπορούν να αλλαχθούν και από το LpsWin, εάν επιθυμεί ο χρήστης. Οι διαστάσεις του αντικειμένου εμφανίζονται, πατώντας στο πληκτρολόγιο *Ctrl + F* (σχήμα 3.6).

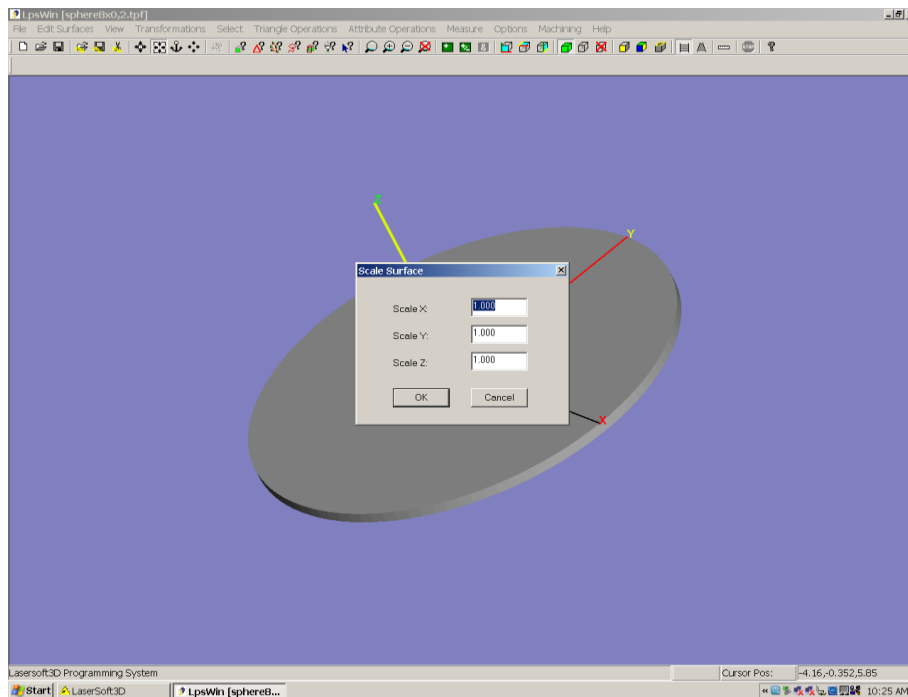


Σχήμα 3.6 : Διαστάσεις αντικειμένου

Εάν ο χρήστης επιθυμεί την αλλαγή των διαστάσεων του αντικειμένου, επιλέγοντας το μενού *Transformations* και έπειτα την επιλογή *Scale*, εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας, όπου βάζοντας την κατάλληλη τιμή για κάθε άξονα, μπορεί να τροποποιήσει τις διαστάσεις του αντικειμένου (σχήμα 3.7 & σχήμα 3.8).

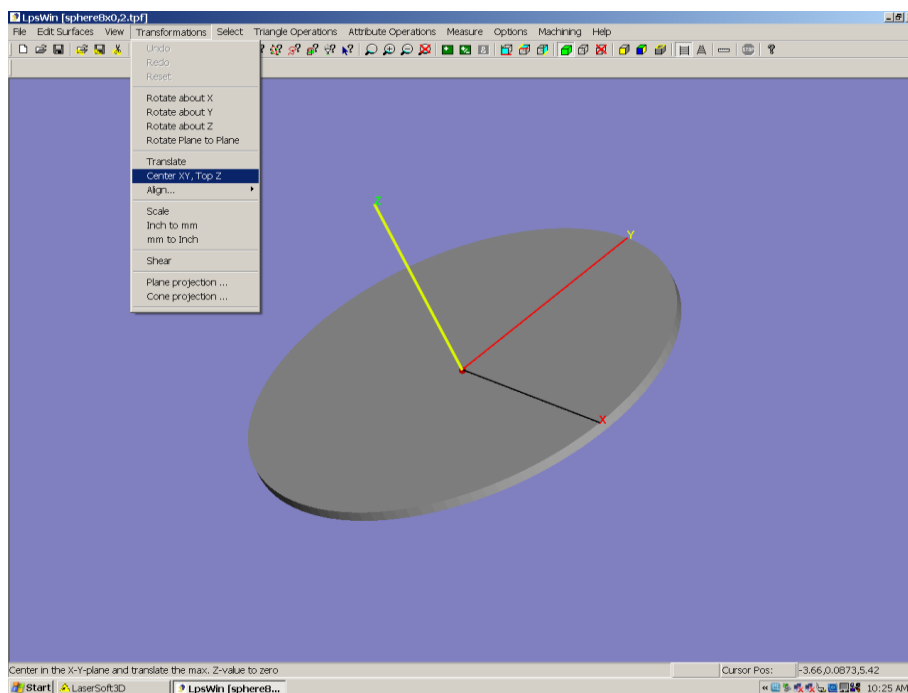


Σχήμα 3.7 : Transformations → Scale



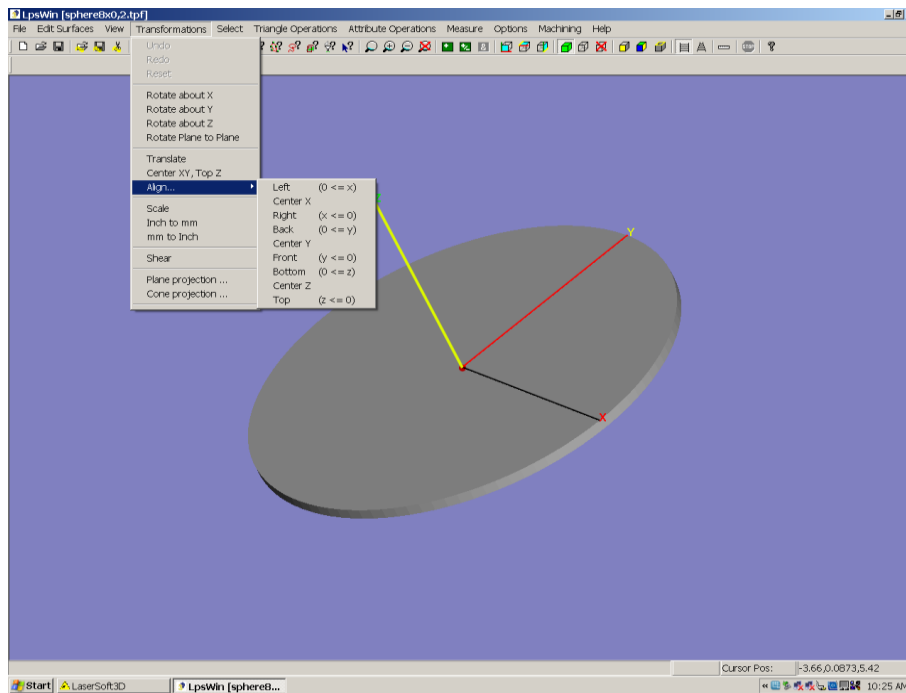
Σχήμα 3.8 : Scale Surface

Πολύ σημαντικό είναι στην όλη διαδικασία, είναι ο ορισμός του σημείου «μηδέν» πάνω στο αντικείμενο. Το πιο σύνηθες σημείο που επιλέγεται, είναι το μέσο του X και Y άξονα και το μέγιστο σημείο του Z. Αυτό ορίζεται πατώντας στο μενού *Transformations* και έπειτα *Center XY, Top Z* (σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9 : Ορισμός σημείου «μηδέν» στο κέντρο των X, Y αξόνων και στο μέγιστο σημείο του άξονα Z.

Φυσικά, αν ο χρήστης επιθυμεί μπορεί να ορίσει το σημείο «μηδέν» σε κάποιο άλλο σημείο του αντικειμένου. Οι επιλογές που υπάρχουν εμφανίζονται επιλέγοντας *Transformations* → *Align...* (σχήμα 3.10).

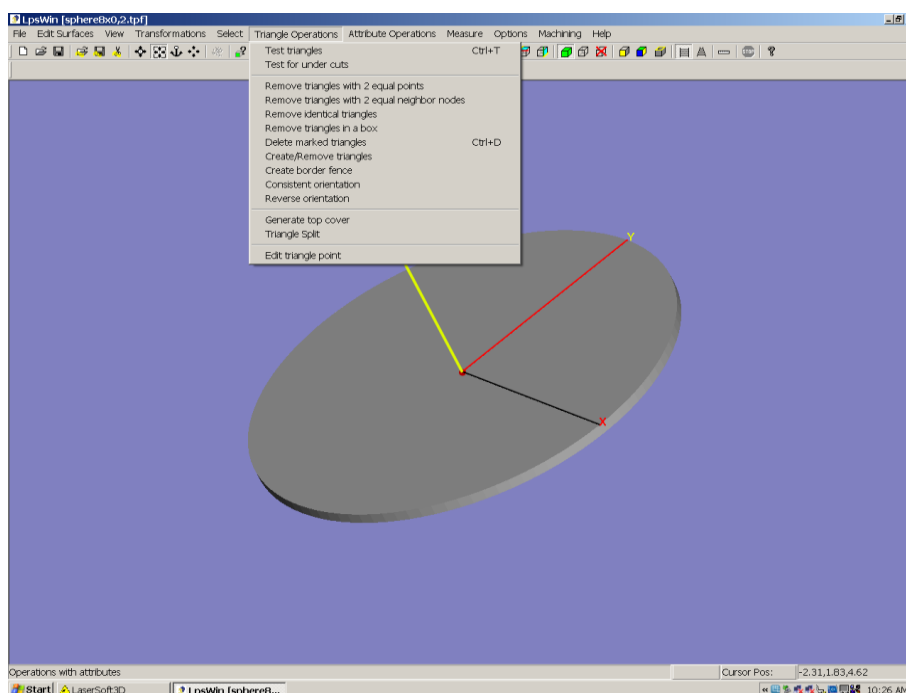


Σχήμα 3.10 : Ορισμός σημείου «μηδέν»

3.2.3 Έλεγχος επιφάνειας

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει έλεγχος της επιφάνειας και πιο συγκεκριμένα έλεγχος των τριγώνων που αποτελούν την επιφάνεια καθώς και αφαίρεση αυτών που φέρουν δύο ίδια σημεία, δύο ίδιους γειτονικούς κόμβους και αυτά που είναι όμοια.

Η διαδικασία αυτή είναι συγκεκριμένη και θα πρέπει να γίνεται κάθε φορά, πριν το επόμενο στάδιο. Επιλέγεται λοιπόν το μενού *Triangle Operations* και έπειτα οι ακόλουθες επιλογές με την συγκεκριμένη σειρά : *Test triangles*, *Remove triangles with 2 equal points*, *Remove triangle with 2 equal neighbor nodes*, *Remove identical triangles* (σχήμα 3.11).



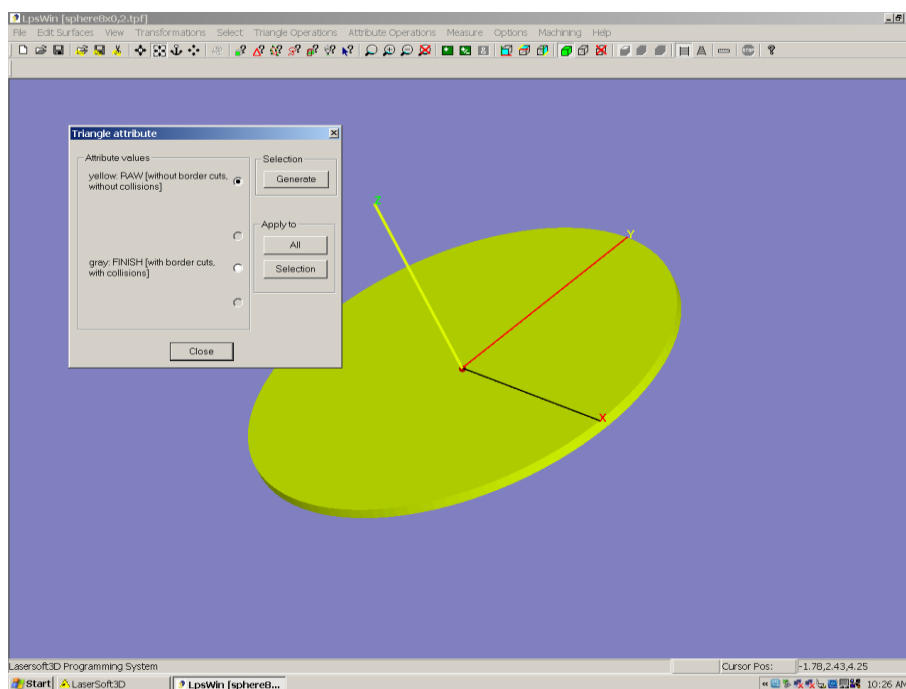
Σχήμα 3.11 : Έλεγχος και αφαίρεση τριγώνων

3.2.4 Ορισμός χαρακτηριστικών των τριγώνων

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι να οριστούν τα χαρακτηριστικά των τριγώνων, δηλαδή τα χαρακτηριστικά αυτά που επιτρέπουν στο λογισμικό να διακρίνει ποιες επιφάνειες θα αφαιρεθούν και ποιες θα δημιουργηθούν από το laser. Οι επιλογές είναι δύο, α) RAW για τις επιφάνειες που αφαιρούνται από το laser και απεικονίζονται με κίτρινο και β) FINISH για τις επιφάνειες που δημιουργούνται από το laser. Οι επιφάνειες RAW δεν ελέγχονται για συγκρούσεις και δεν δημιουργείται border cut για αυτές τις επιφάνειες. Χρησιμοποιώντας border cut, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στις γωνίες, το πώς λειτουργεί θα εξηγηθεί παρακάτω.

Επιλέγοντας λοιπόν *Attribute operations* → *Triangle attribute* εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο όπως φαίνεται στο [σχήμα 3.12](#). Στην συνέχεια επιλέγεται *Generate* και έπειτα *Apply to All* για εφαρμογή σε όλα τα τρίγωνα του αντικειμένου ή *Apply to Selection* για εφαρμογή των χαρακτηριστικών μόνο σε συγκεκριμένα τρίγωνα που πρέπει να έχουν επιλεγεί προηγουμένως φυσικά.

*Η επάνω επιφάνεια ορίζεται πάντα ως RAW, καθώς είναι αυτή που αφαιρείται από το laser, ενώ οι πλαϊνές μπορούν να οριστούν και με τις δύο επιλογές, αναλόγως αν ο χρήστης θέλει να δημιουργηθεί border cut ή όχι.



Σχήμα 3.12 Ορισμός χαρακτηριστικών τριγώνων

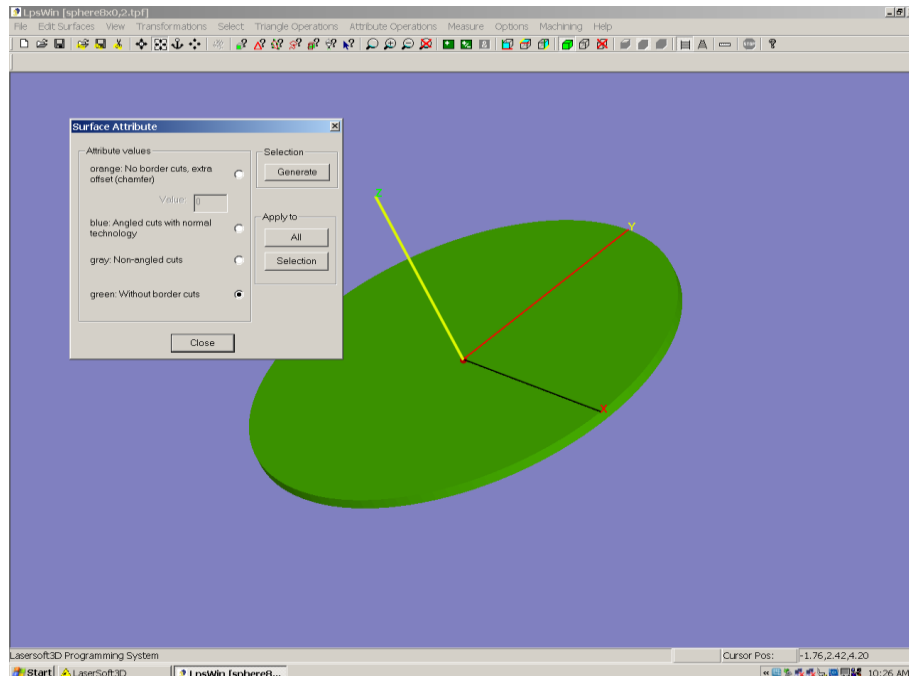
3.2.5 Ορισμός χαρακτηριστικών των επιφανειών

Εκτός από τα χαρακτηριστικά των τριγώνων, θα πρέπει να οριστούν και τα χαρακτηριστικά των επιφανειών, με παρόμοιο τρόπο, καθώς δεν μπορούν να κατασκευαστούν όλα τα αντικείμενα με την ίδια στρατηγική. Με τα χαρακτηριστικά των επιφανειών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές στρατηγικές σε ένα αντικείμενο. Οι πιο σημαντικές εξ αυτών είναι :

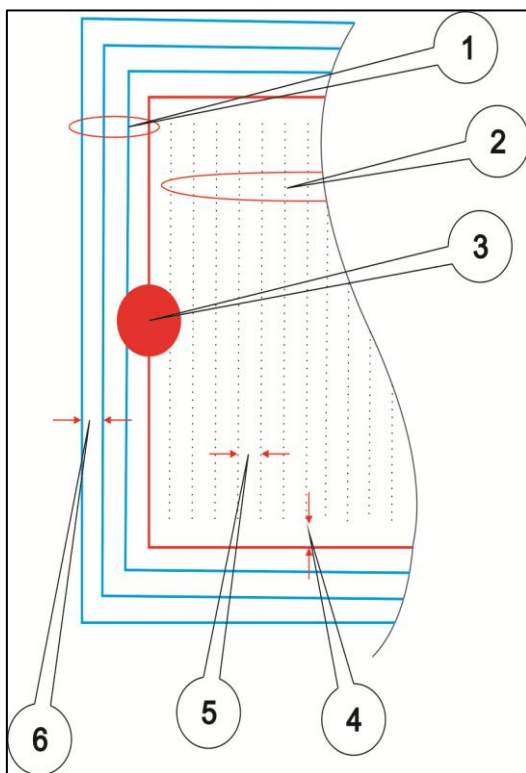
- Angled border cuts (απεικονίζεται με μπλε). Χρησιμοποιείται για τοιχώματα με γωνία από 80° έως 90° και ύψος πάνω από 0,1mm.
- Non angled border cuts (απεικονίζεται με γκρι). Χρησιμοποιείται για επίπεδα με ύψος λιγότερο από 0,1mm. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σε γωνίες είναι καλύτερη απ' ότι χωρίς border cuts.

- Without border cuts, only hatch tracks (απεικονίζεται με πράσινο). Χρησιμοποιείται για όλες τις επιφάνειες μεταξύ 0° και 80° .

Επιλέγοντας *Attribute operations* → *Surface attribute*, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13 και από εκεί επιλέγεται ποια από τις τρεις στρατηγικές θα εφαρμοστούν στο αντικείμενο ή σε κάθε κομμάτι του αντικειμένου.



Σχήμα 3.13 : Ορισμός χαρακτηριστικών των επιφανειών



Σχήμα 3.14 : Hatch track και border cuts

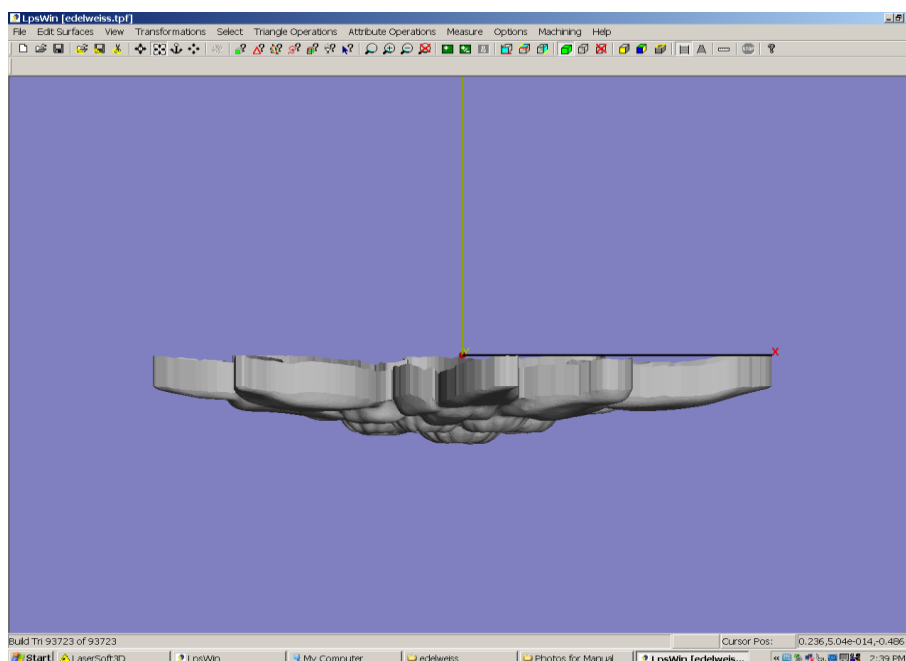
Για καλύτερη κατανόηση του hatch track, του border cut καθώς και του border fence που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το σχήμα 3.14.

1. Border cuts: 4 υπάρχουν στο σχήμα
2. Hatch Tracks
3. Εστίαση δέσμης Laser
4. Απόσταση μεταξύ περιοχής hatch και εσωτερικού border cut
5. Απόσταση μεταξύ των hatch tracks
6. Απόσταση μεταξύ των border cuts

3.2.6 Δημιουργία border fence

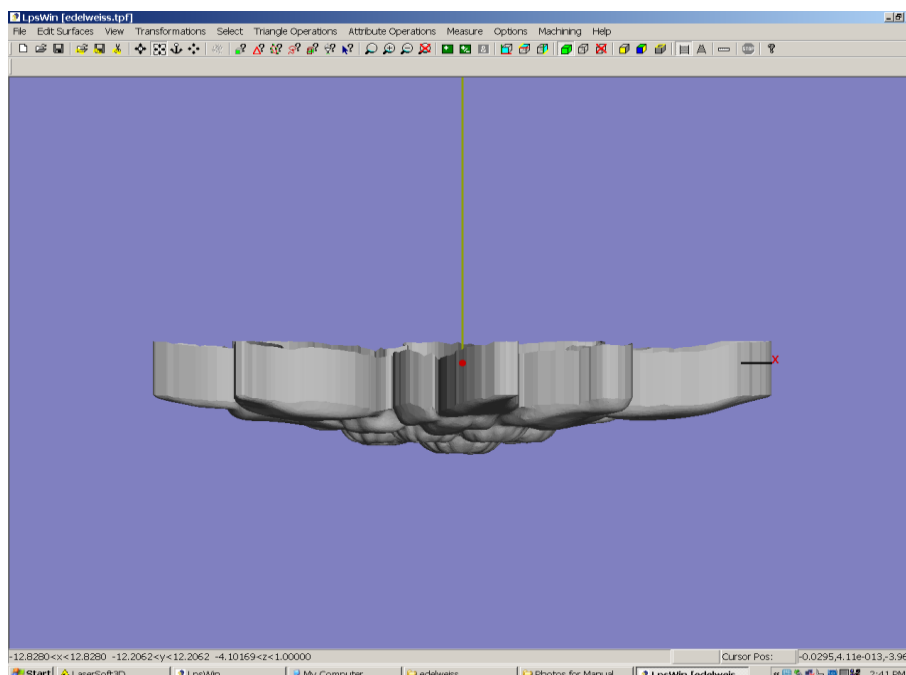
Στην περίπτωση που δεν εμφανίζονται κενά μεταξύ του άξονα $Z=0$ και του αντικειμένου, τότε δεν χρειάζεται border fence και το βήμα αυτό παρακάμπτεται.

Στην περίπτωση όμως που κάτι τέτοιο συμβαίνει, όπως στο σχήμα 3.15, τότε ένα border fence είναι απαραίτητο.



Σχήμα 3.15 : Αντικείμενο πριν την δημιουργία border fence

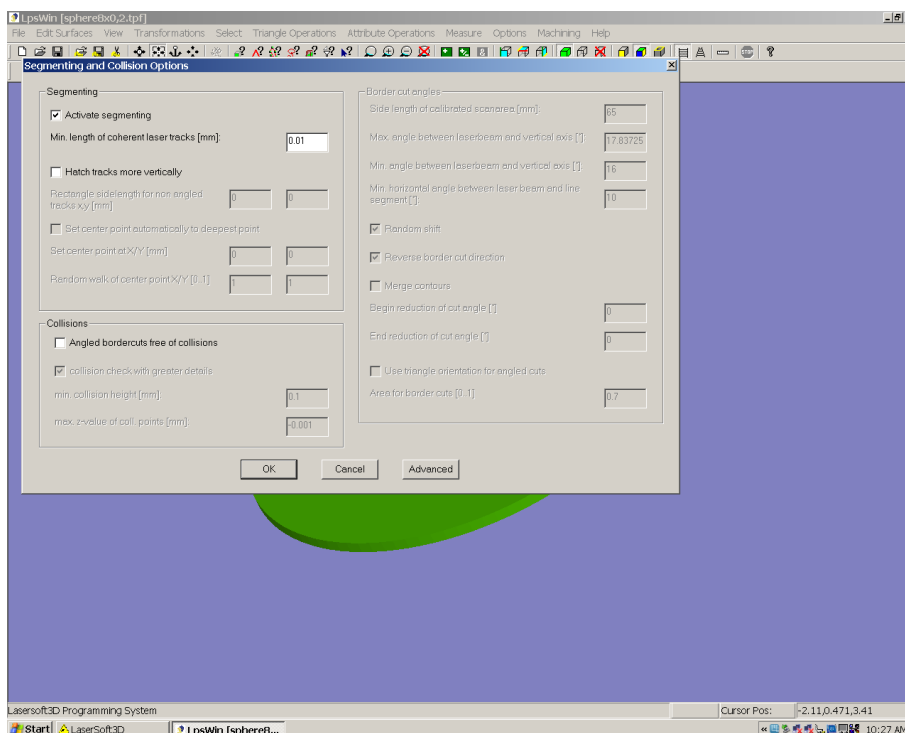
Για να δημιουργηθεί το border fence, επιλέγεται από το μενού *Triangle operations* → *Create border fence* και στο παράθυρο που εμφανίζεται, τοποθετείται η κατάλληλη τιμή, έτσι ώστε να δημιουργηθεί border fence προς τα πάνω (άξονας Z εδώ), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.16.



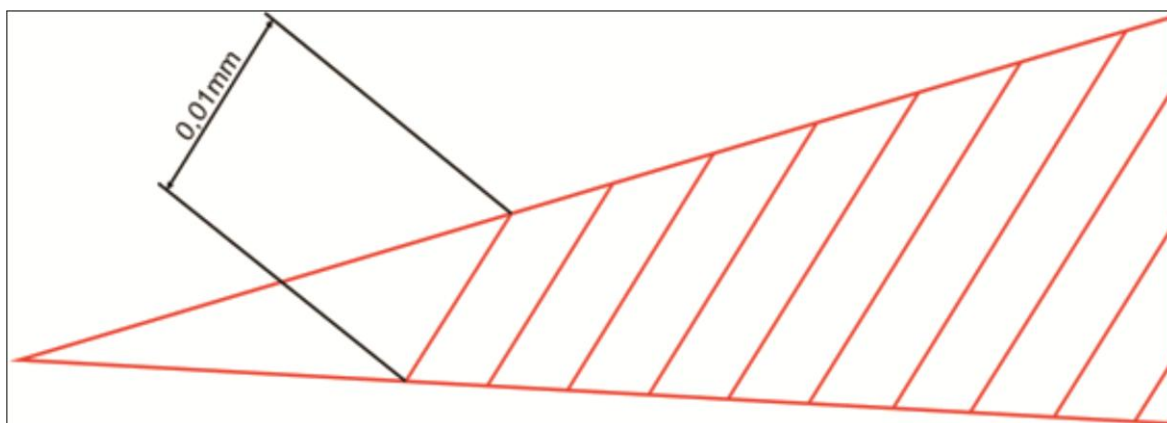
Σχήμα 3.16 : Αντικείμενο μετά την δημιουργία border fence

3.2.7 Επιλογές Segmenting

Αφού έχουν οριστεί όλα τα προηγούμενα, η επόμενη διαδικασία που απαιτείται, είναι η ρύθμιση των επιλογών Segmenting. Επιλέγοντας *Options* → *Segmenting and Collision Options*, εμφανίζεται το παράθυρο όπως στο σχήμα 3.17 και επιλέγεται η επιλογή Activate segmenting. Στο κουτάκι *Min. length of coherent Laser tracks(mm)* ορίζεται η τιμή 0.01. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως τα hatch tracks του Laser με τιμές μικρότερες από την παραπάνω θα διαγράφονται. Θέτοντας την τιμή αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια σε αρκετά μικρές λεπτομέρειες (σχήμα 3.18).



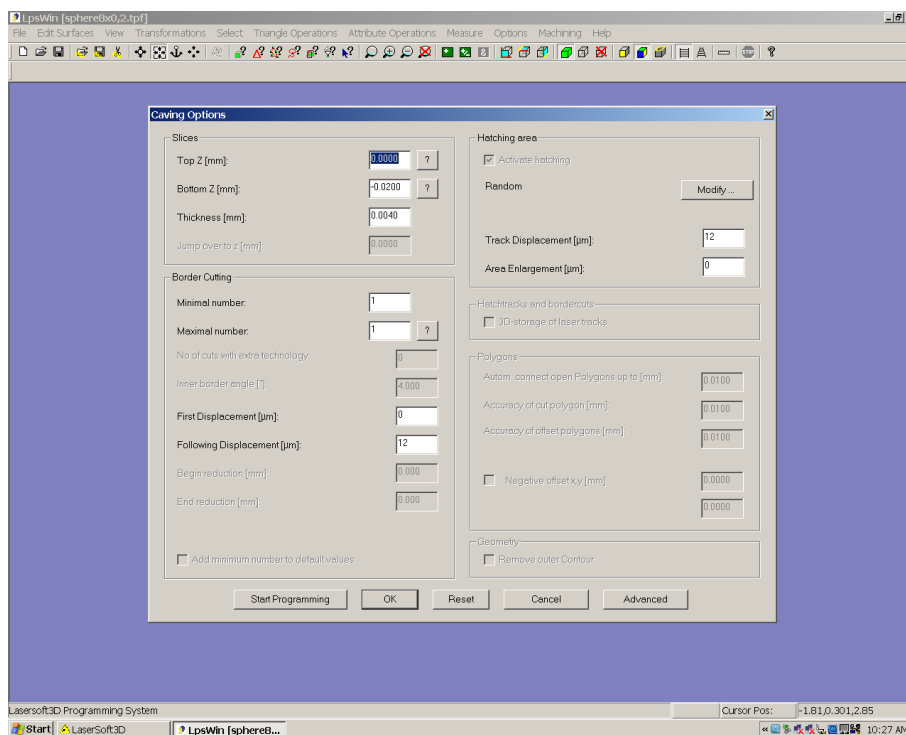
Σχήμα 3.17 Επιλογές Segmenting



Σχήμα 3.18 : Ελάχιστο μήκος των hatch tracks

3.2.8 Επιλογές Caving

Για τη ρύθμιση των επιλογών Caving, επιλέγοντας *Options* → *Caving Options*, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 3.19).



Σχήμα 3.19 Caving Options

Slices

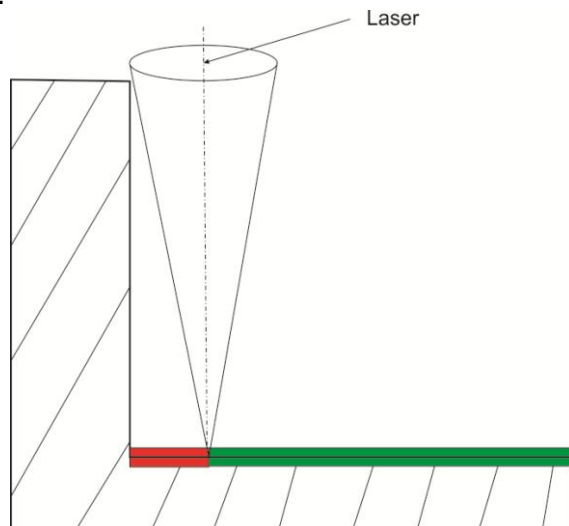
- *Top Z [mm]* : Ορίζεται η θέση του πρώτου επιπέδου που προκύπτει από τη στρωματοποίηση. Πατώντας πάνω στο ερωτηματικό δίπλα από το κελί όπου εισάγεται η τιμή, ορίζεται αυτόματα.
- *Bottom Z [mm]* : Ορίζεται η θέση του τελευταίου επιπέδου που προκύπτει από τη στρωματοποίηση. Πατώντας το ερωτηματικό δίπλα από το κελί όπου εισάγεται η τιμή, ορίζεται αυτόματα
- *Thickness [mm]* : Ορίζεται το πάχος του στρώματος.

Border cut

- *Max. number* : Ορίζεται ο μέγιστος αριθμός των border cuts. Πατώντας το κουμπί δίπλα από το κελί όπου εισάγεται η τιμή, ορίζεται αυτόματα.
- *Min. number* : Ορίζεται ο ελάχιστος αριθμός των border cuts ίδιος με του *Max. Number*.
- *First Displacement* : Αν το κομμάτι είναι μεγάλο, ορίζεται ένα offset. Το πρώτο border cut μπορεί να μετακινηθεί στο εσωτερικό του προγράμματος. Η πρότυπη τιμή εδώ είναι 0.
- *Following Displacement* : Η απόσταση μεταξύ των border cuts. Η πρότυπη τιμή εδώ είναι 12.

Η ακτίνα Laser έχει κωνική μορφή και για την αποφυγή των συγκρούσεων με τα κάθετα τοιχώματα, δίνουμε την εντολή στο πρόγραμμα να ορίσει μόνο του τον απαιτούμενο αριθμό των border cuts, ώστε να υπάρχει ασφάλεια. Στο σχήμα 3.20, με κόκκινο ορίζεται

η περιοχή η οποία θα καλυφθεί με border cuts, ενώ με πράσινο ορίζεται η περιοχή με τα hatch tracks του Laser.



Σχήμα 3.20

Hatching Area

- Track displacement : Η απόσταση μεταξύ των τροχιών του Laser στην περιοχή του hatch. Η πρότυπη τιμή εδώ είναι 12.
- Area enlargement : Για να επιτευχθεί καλύτερη επικάλυψη μεταξύ των border cuts και του hatch, οι τροχιές του hatch μετακινούνται λιγάκι προς τα μέσα στα border cuts. Η πρότυπη τιμή εδώ είναι 25 όταν χρησιμοποιείται border cut και 0 όταν δεν χρησιμοποιείται.

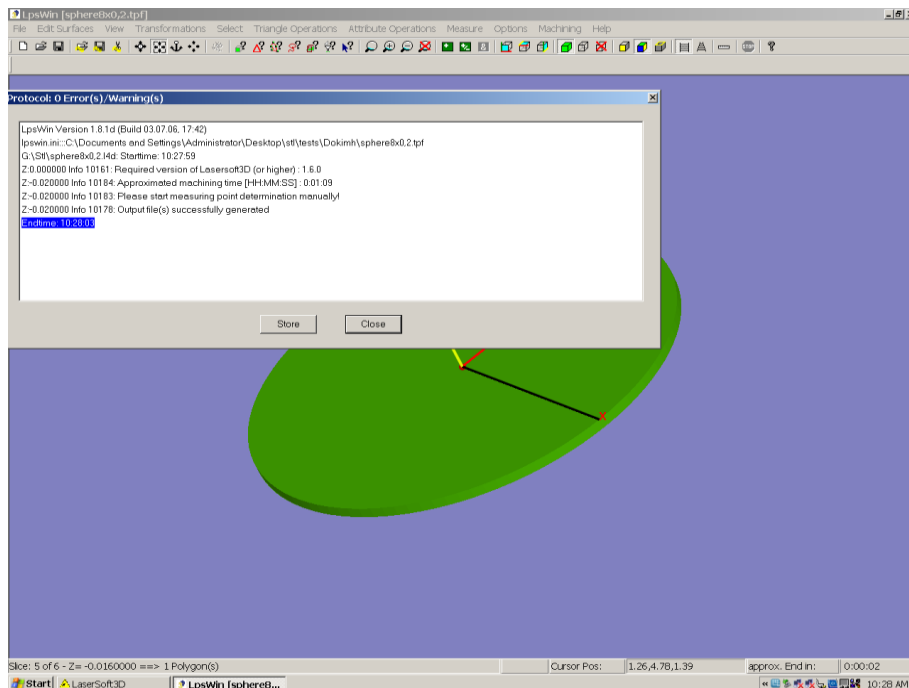
3.2.9 Αποθήκευση του project σε ini αρχείο και της επιφάνειας σε trf αρχείο.

Προτού συνεχιστεί η διαδικασία και ξεκινήσει ο προγραμματισμός της εργασίας, πάντα πρώτα πρέπει να γίνεται αποθήκευση του project σε ini αρχείο και της επιφάνειας σε trf αρχείο. Αυτό γίνεται πατώντας *File* → *Save surface* και *File* → *Save project* και τα αρχεία αποθηκεύονται στον φάκελο που βρίσκεται και το αρχικό STL ή DXF αρχείο.

3.2.10 Προγραμματισμός

Αφού ολοκληρώθηκαν όλα τα προηγούμενα βήματα, ήρθε η ώρα να γίνει ο προγραμματισμός του project και πιο συγκεκριμένα η στρωματοποίηση. Αυτό γίνεται πατώντας *Machining* → *Start Programming* και θα δημιουργηθεί ένα αρχείο *l4d*, που θα αποθηκευτεί στο φάκελο μαζί με όλα τα υπόλοιπα αρχεία.

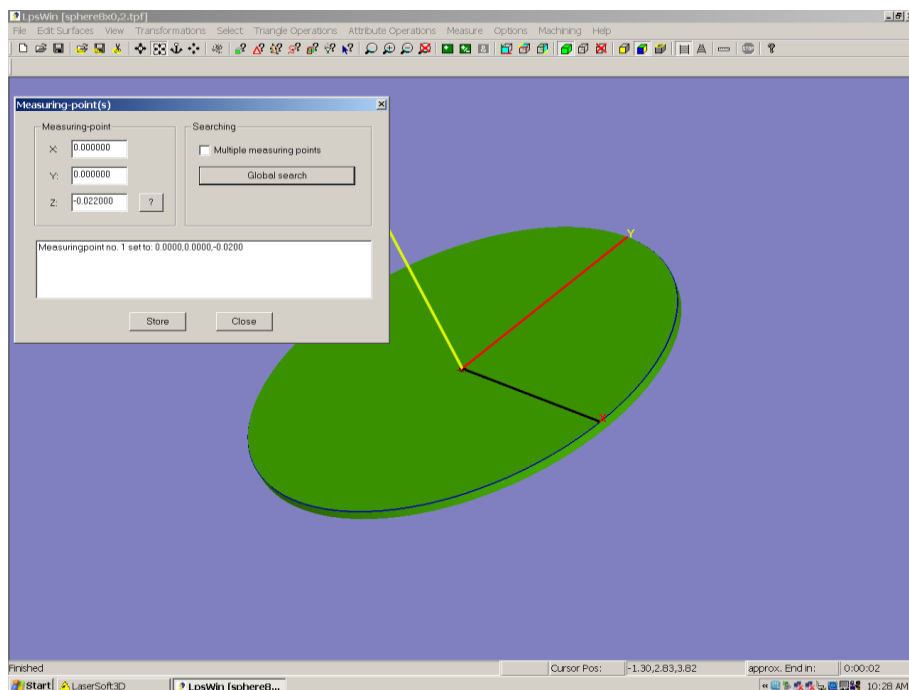
Όταν ολοκληρωθεί ο προγραμματισμός, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 3.21).



Σχήμα 3.21 Ολοκλήρωση προγραμματισμού

3.2.11 Ορισμός σημείου μέτρησης

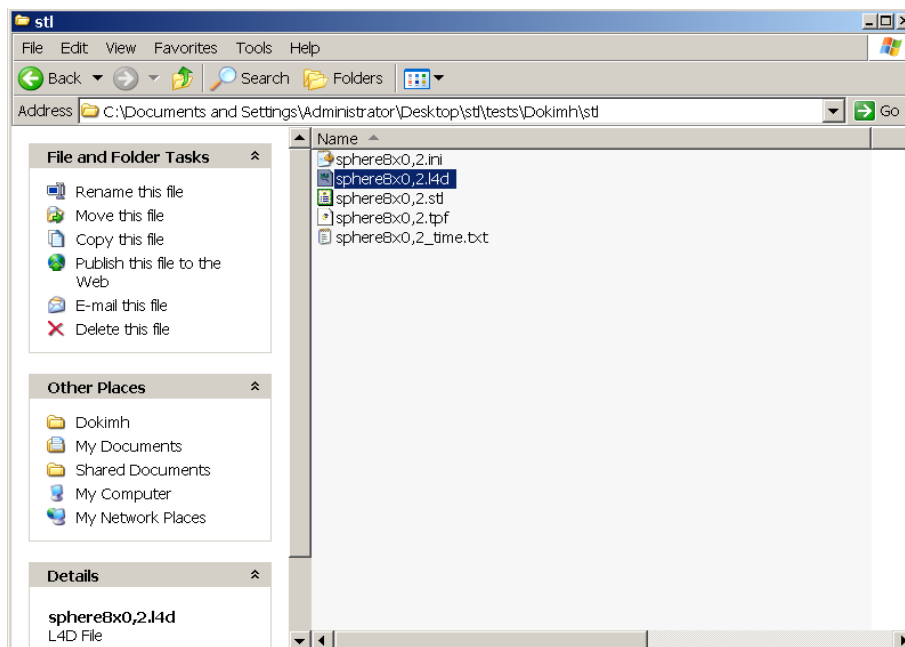
Για να υπάρχει ακρίβεια στο τελικό βάθος και το αποτέλεσμα να μην αποκλίνει από το επιθυμητό κατά την διάρκεια της κατεργασίας το βάθος ελέγχεται σε τακτά διαστήματα. Το σημείο που ελέγχεται το βάθος, πρέπει να είναι κάθε φορά το ίδιο και ορίζεται με την παρακάτω διαδικασία. Από το μενού επιλέγοντας *Machining* → *Set measuring point(s)* και ανοίγοντας το αρχείο l4d που έχει δημιουργηθεί από τον προγραμματισμό προηγουμένως, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 3.22) . Επιλέγοντας Global search ορίζεται το σημείο μέτρησης και εν συνεχεία επιλέγεται Store για αποθήκευση.



Σχήμα 3.22 : Ορισμός σημείου μέτρησης

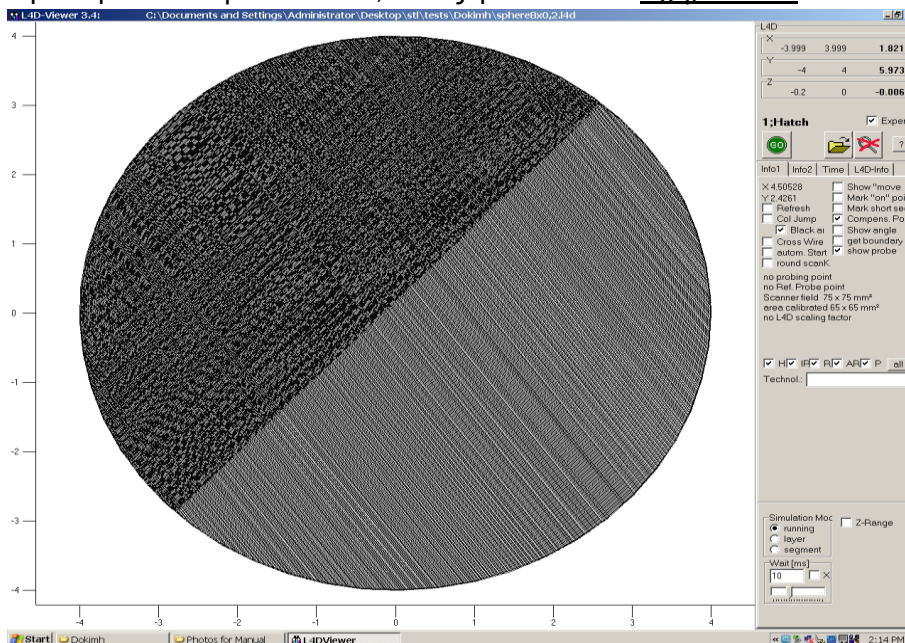
3.2.12 Χρήση του L4D Viewer για τον έλεγχο του προγράμματος

Ο προγραμματισμός έχει τώρα ολοκληρωθεί και το κομμάτι είναι έτοιμο να περάσει στην μηχανή για να ξεκινήσει η κατεργασία, αλλά πριν συμβεί αυτό, θα πρέπει να γίνει έλεγχος αν έχουν γίνει όλα σωστά. Αυτό γίνεται με την βοήθεια του προγράμματος L4D Viewer. Τα αρχεία που πρέπει να υπάρχουν στον φάκελο από όλες τις προηγούμενες διαδικασίες, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3.23).



Σχήμα 3.23

Με διπλό κλικ στο αρχείο l4d, ανοίγει το πρόγραμμα L4D Viewer και επιλέγοντας GO, αρχίζει να προσομοιώνει τη διαδικασία, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.24.

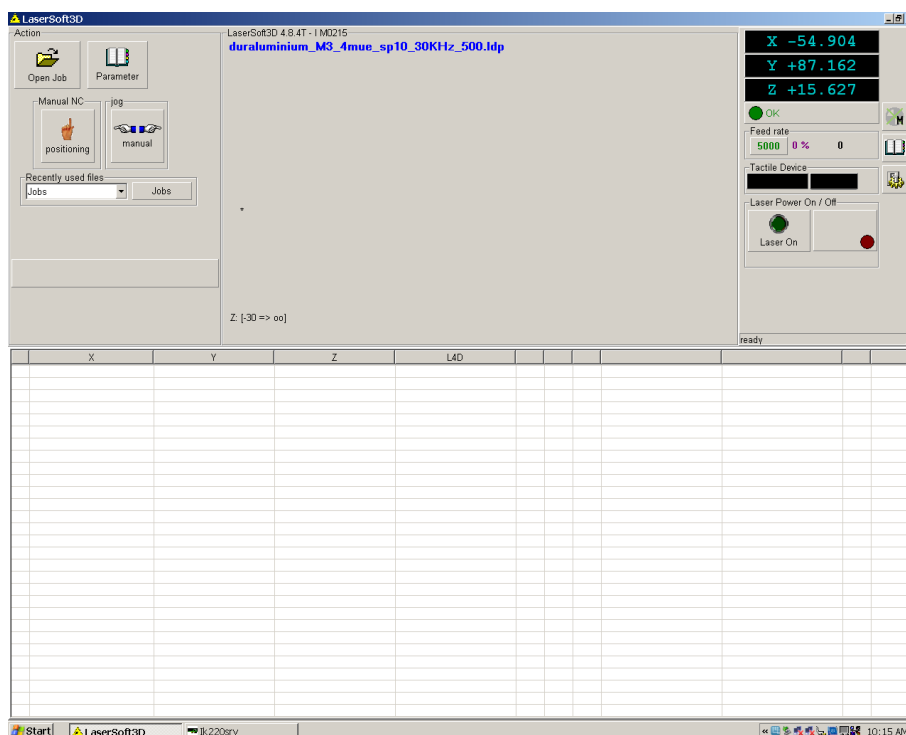


Σχήμα 3.24 : Προσομοίωση την διαδικασίας μέσω του L4D Viewer

3.3 Lasersoft3D

3.3.1 Εισαγωγή

Το Lasersoft3D είναι το βασικό πρόγραμμα με το οποίο πραγματοποιείται ο κυρίως χειρισμός της μηχανής. Οι πιο βασικές λειτουργίες του προγράμματος, είναι ο ορισμός της θέσης πάνω στο κομμάτι με την βοήθεια της κάμερας που διαθέτει η μηχανή, καθώς και η ρύθμιση της κατάλληλης ισχύος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση δεδομένου πάχους του υλικού για συγκεκριμένες παραμέτρους. Οι διαδικασίες αυτές θα αναλυθούν στην συνέχεια. Επίσης και η μετακίνηση της τράπεζας εργασίας γίνεται μέσω αυτού του προγράμματος. Το περιβάλλον του προγράμματος φαίνεται στο σχήμα 3.25.

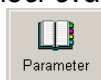


Σχήμα 3.25 : Περιβάλλον Lasersoft3D

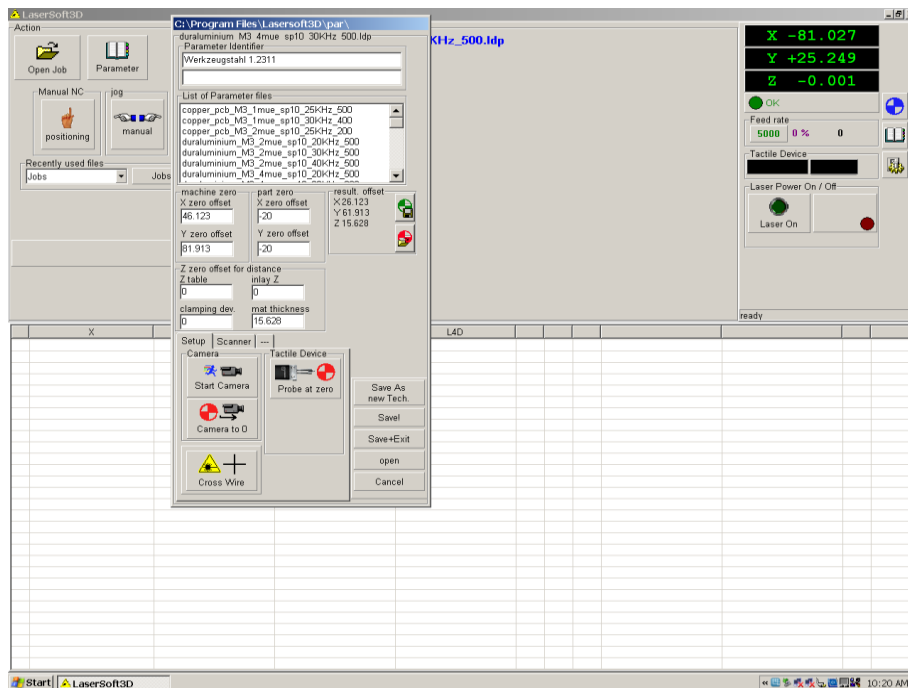
3.3.2 Ορισμός σημείου «μηδέν» στο τεμάχιο

Η μηχανή έχει αποθηκευμένο ένα δικό της μηδενικό σημείο, αλλά ο χρήστης κάθε φορά που τοποθετεί ένα τεμάχιο πρέπει να ορίσει ένα σημείο «μηδέν» πάνω στο τεμάχιο που

θα επεξεργαστεί. Πατώντας στο εικονίδιο



ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 3.26).

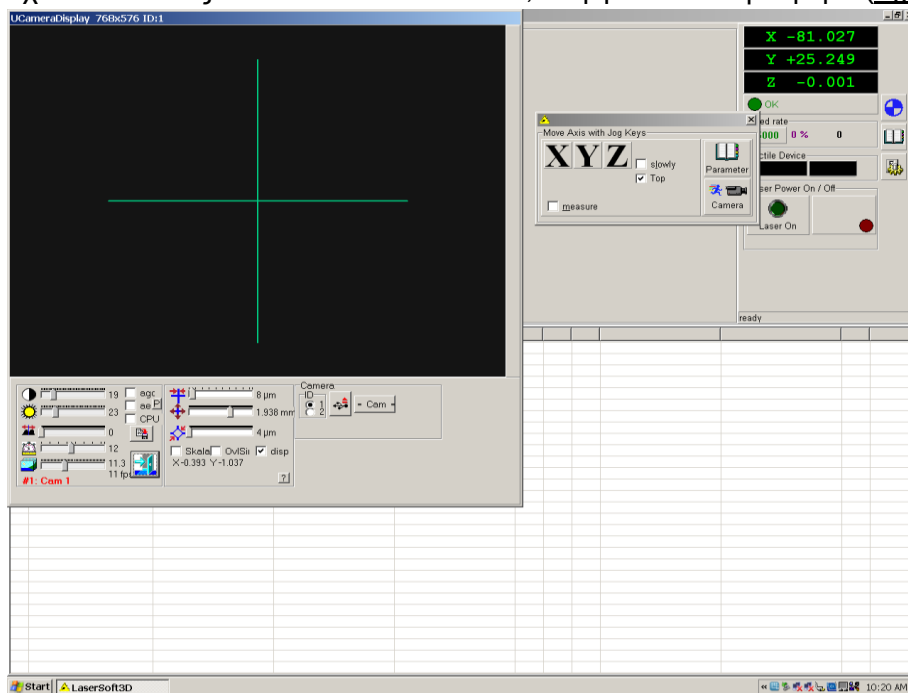


Σχήμα 3.26

Και εν συνεχεία πατώντας στο εικονίδιο



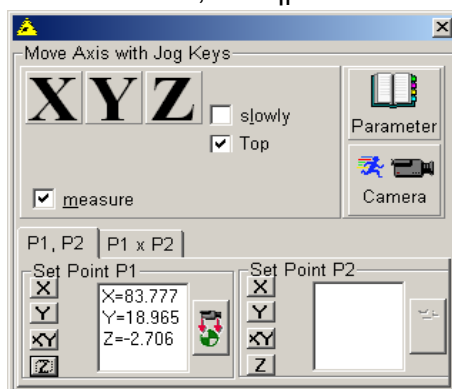
, ενεργοποιείται η κάμερα (σχήμα 3.27).



Σχήμα 3.27

Μετακινώντας την τράπεζα στους άξονες X, Y, Z και χρησιμοποιώντας την κάμερα, ο χρήστης φέρνει τον σταυρό της κάμερας πάνω από το τεμάχιο και τον ευθυγραμμίζει με ένα σημείο του τεμαχίου που εκείνος επιλέγει. Συνήθως, επιλέγεται μία από τις γωνίες του τεμαχίου. Στην συνέχεια στο παράθυρο που βρίσκεται δίπλα στην οθόνη της κάμερας (σχήμα 3.28), πατώντας την επιλογή *measure* και έπειτα πάνω στα γράμματα X, Y, Z

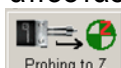
εμφανίζονται στην οθόνη οι συντεταγμένες του σημείου πάνω από το οποίο βρίσκεται η κάμερα. Πατώντας πάνω στο εικονίδιο , το σημείο αυτό αποθηκεύεται.

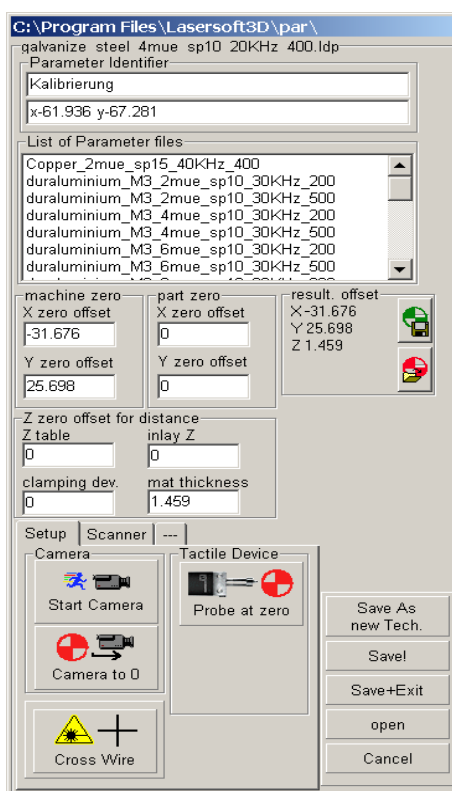


Σχήμα 3.28 : Αποθήκευση συντεταγμένων

Το παράθυρο αυτό κλείνει και επανέρχεται το αρχικό παράθυρο (σχήμα 3.29), όπου

πατώντας πάνω στο εικονίδιο , το probe κατεβαίνει ώστε να μετρήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια και να επιβεβαιώσει την απόσταση από το σημείο «μηδέν». Στη

συνέχεια ο χρήστης πατάει πάνω στο εικονίδιο , για την ρύθμιση με ακρίβεια της απόστασης στον άξονα Z και αν η τιμή του σφάλματος της μέτρησης υπερβαίνει το 0.001, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η τιμή του σφάλματος να είναι 0.001 ή ακόμα καλύτερα 0.



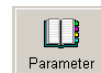
Σχήμα 3.29 : Μέτρηση απόστασης στον άξονα Z

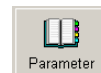
Αφού λοιπόν έχει αποθηκευτεί το σημείο «μηδέν» που επιθυμεί ο χρήστης, επιστρέφοντας πάλι πίσω στο αρχικό παράθυρο (σχήμα 3.29), ο χρήστης μπορεί να μετατοπίσει το σημείο «μηδέν» χωρίς την χρήση της κάμερας αυτή τη φορά, εισάγοντας τις ανάλογες

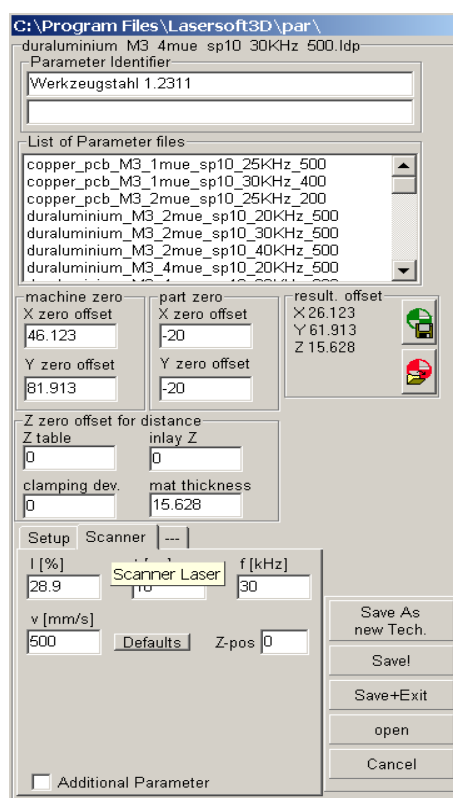
τιμές στα κελιά *X zero offset* και *Y zero offset* και επαναλαμβάνοντας την μέτρηση με το probe. Πατώντας save, η αλλαγή αποθηκεύεται.

3.3.3 Υπολογισμός ισχύος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μία από τις σημαντικές λειτουργίες που γίνονται μέσω του προγράμματος Lasersoft3D είναι ο υπολογισμός της ισχύος. Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα για δεδομένες τιμές της ταχύτητας πρόωσης και συχνότητας, να υπολογίζει την ισχύ (επί τοις εκατό της συνολικής ισχύος του Laser) που απαιτείται για την αφαίρεση συγκεκριμένου πάχους υλικού ανά layer. Αυτή είναι μία διαδικασία που πρέπει να γίνεται για κάθε διαφορετικό υλικό προς κατεργασία, καθώς και κάθε φορά που γίνεται αλλαγή των παραμέτρων ταχύτητας πρόωσης και συχνότητας. Η διαδικασία αυτή λέγεται Technology και γίνεται ως εξής:



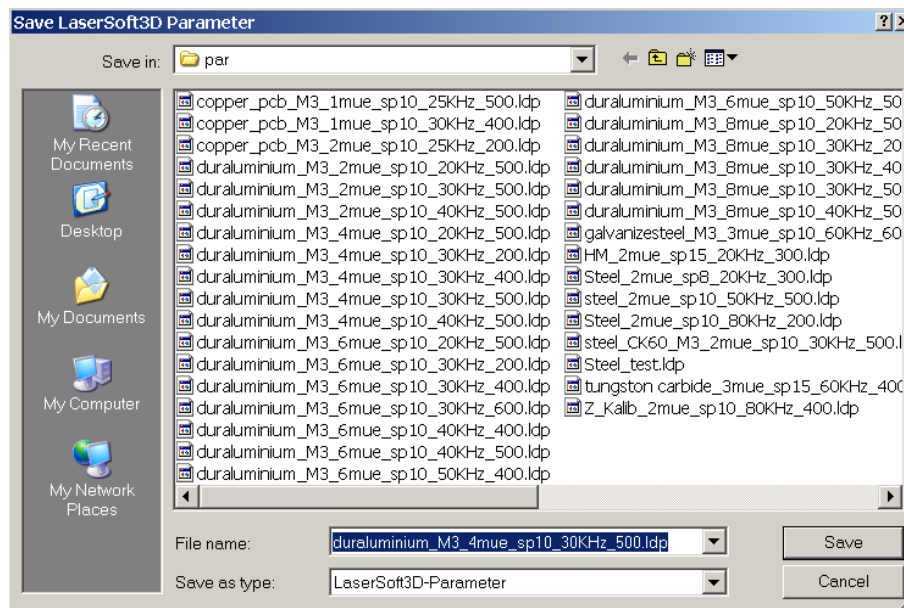
Από το αρχικό παράθυρο του λογισμικού, πατώντας πάλι στο εικονίδιο  ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 3.26, αλλά αυτή την φορά θα χρησιμοποιηθεί η καρτέλα με την ένδειξη *scanner*, όπως φαίνεται στο [σχήμα 3.30](#).



Σχήμα 3.30 : Scanner

Η ισχύς *I[%]* είναι αυτή που υπολογίζεται, αλλά ο χρήστης οφείλει εδώ να ορίσει μία αρχική τιμή εκκίνησης, το κελί με την ένδειξη *t[us]* είναι ο χρόνος του παλμού με πρότυπη τιμή 10 και ο χρήστης ορίζει κάθε φορά την επιθυμητή συχνότητα και ταχύτητας πρόωσης στα κελιά με τις ενδείξεις *f[kHz]* και *v[mm/s]* αντίστοιχα.

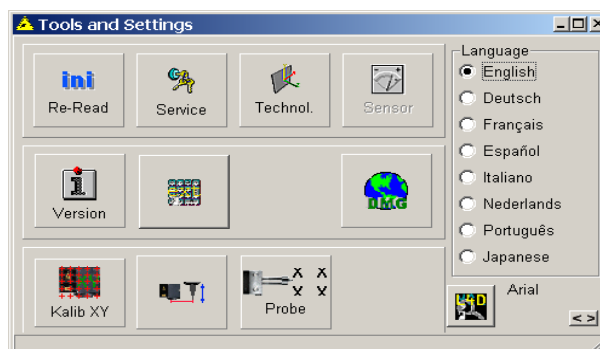
Πατώντας πάνω στο εικονίδιο , εμφανίζεται το παράθυρο όπως στο [σχήμα 3.31](#), ο χρήστης πληκτρολογεί το επιθυμητό όνομα για το νέο Technology, συνήθως δίνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες για την ταχύτητα πρόωσης, την συχνότητα και το πάχος του υλικού που θα αφαιρεθεί ανά layer και έπειτα Save για αποθήκευση.



Σχήμα 3.31 : Παράθυρο αποθήκευσης νέου Technology

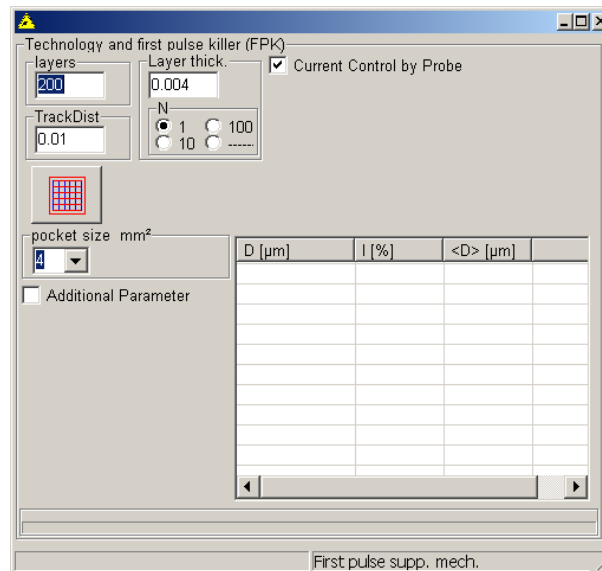
Στην συνέχεια ο χρήστης κλείνει όλα τα παράθυρα και με την διαδικασία που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ορίζει ένα σημείο «μηδέν» πάνω στο τεμάχιο, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία Technology για τον υπολογισμό της ισχύος.

Από το αρχικό περιβάλλον του λογισμικό τώρα, πατώντας πάνω στο εικονίδιο  που βρίσκεται στα δεξιά της οθόνης, ανοίγει το παρακάτω παράθυρο. (σχήμα 3.32)



Σχήμα 3.32 Tools and Settings

Και στη συνέχεια πάνω στο εικονίδιο  , ανοίγει το από κάτω παράθυρο (σχήμα 3.33).



Σχήμα 3.33 : Παράμετροι Technology

Στο κελί με την ένδειξη *layers*, ορίζεται η ανώτατη τιμή που θα σταματήσει η διαδικασία (πρότυπη τιμή 500), στο κελί *TrackDist* η πρότυπη τιμή είναι 0.01 και στο *N* επιλέγεται η τιμή 1. Στο κελί με την ένδειξη *Layer thick.* εισάγεται (σε mm πάντα) η τιμή του πάχους που επιθυμεί ο χρήστης να αφαιρεί το Laser ανά layer. Στην ένδειξη *pocket size* ορίζεται μία τιμή που αναφέρεται στην πλευρά τετραγώνου που θα δημιουργήσει το Technology, το οποίο πρέπει να είναι ανάλογο με το μέγεθος του αντικειμένου που θα δημιουργηθεί.

Σε περίπτωση μικρών αντικειμένων με λεπτεπίλεπτες λεπτομέρειες επιφάνειας, χρησιμοποιείται μέγεθος μικρότερο από 5mm μήκος πλευράς, ενώ σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται μεγαλύτερο.

Η διαδικασία γίνεται ως εξής:

Μόλις δημιουργηθεί το πρώτο στρώμα, το probe μετράει αν το πάχος του είναι όμοιο με αυτό που έχει οριστεί. Αν όχι, τότε επαναλαμβάνει τη διαδικασία με άλλη τιμή ισχύος και συγκεκριμένα αν είναι μικρότερο τότε αυξάνει την ισχύ και αν είναι μεγαλύτερο τότε τη μειώνει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί η τιμή της ισχύος που να αφαιρεί το συγκεκριμένο πάχος που έχει ορίσει ο χρήστης στο συγκεκριμένο υλικό.

Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, εμφανίζεται ένα μήνυμα στην οθόνη και ο χρήστης καλείται να αποθηκεύσει ή να ακυρώσει το Technology που πραγματοποιήθηκε. Πατώντας *save*, εμφανίζεται πάλι το παράθυρο του σχήματος 3.31 και ο χρήστης επιλέγει το όνομα του Technology που αποθήκευσε πριν και το αντικαθιστά. Η απαιτούμενη ισχύς έχει τώρα υπολογιστεί και αποθηκευτεί και η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

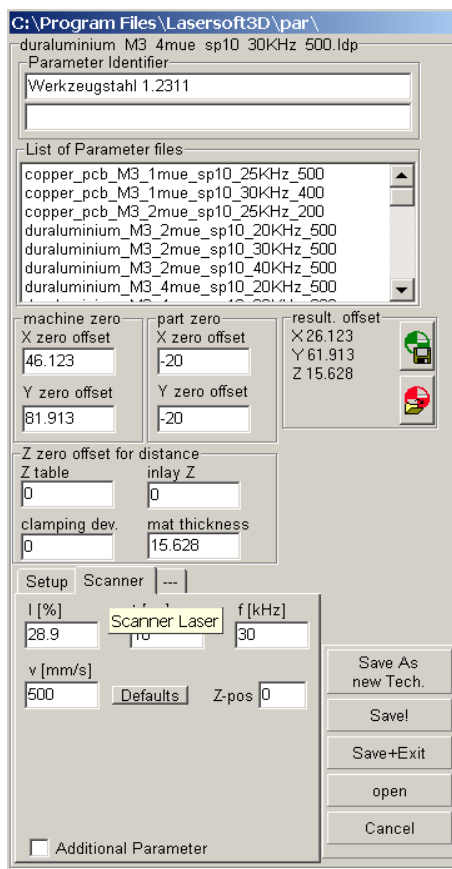
3.3.4 Έναρξη κατεργασίας

Αφού έχουν πραγματοποιηθεί όλα τα προηγούμενα βήματα, δηλαδή,

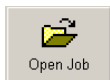
- 1) Επεξεργασία αντικειμένου (ορισμός χαρακτηριστικών, στρωματοποίηση κτλ) στο πρόγραμμα LpsWin (Κεφάλαιο 3.2)
- 2) Υπολογισμός ισχύος (Technology) για συγκεκριμένο υλικό και παραμέτρους (Κεφάλαιο 3.3.3)

Το επόμενο και τελευταίο βήμα, είναι η εισαγωγή του αντικειμένου στην μηχανή, μέσω του Lasersoft3D για να ξεκινήσει η κατεργασία. Αφού ο χρήστης ορίσει ένα σημείο «μηδέν» πάνω στο τεμάχιο με την διαδικασία που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3.3.2, πρέπει να επιλέξει το κατάλληλο Technology από την λίστα *List of Parameter files*, όπως φαίνεται

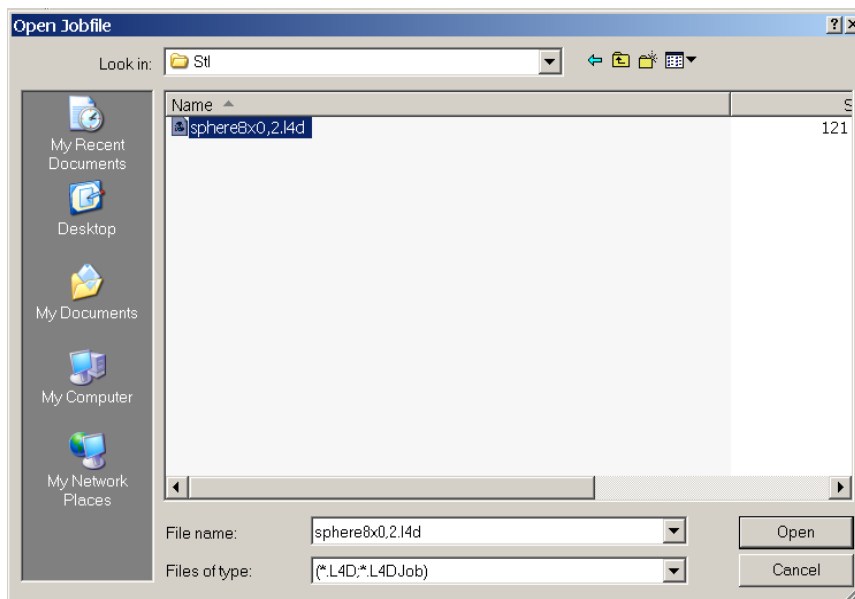
στο σχήμα 3.34 και έπειτα πατώντας *Save+Exit*, αποθηκεύονται η ταχύτητα πρόωσης και η συχνότητα που ο χρήστης επιθυμεί, καθώς φυσικά και η απαιτούμενη ισχύς που έχει υπολογιστεί προηγουμένα από το Technology.



Σχήμα 3.34 : Επιλογή παραμέτρων κατεργασίας



Πατώντας τώρα στο εικονίδιο από το αρχικό περιβάλλον του προγράμματος, ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 3.35) και ο χρήστης επιλέγει το αρχείο *l4d* και πατάει *open*.

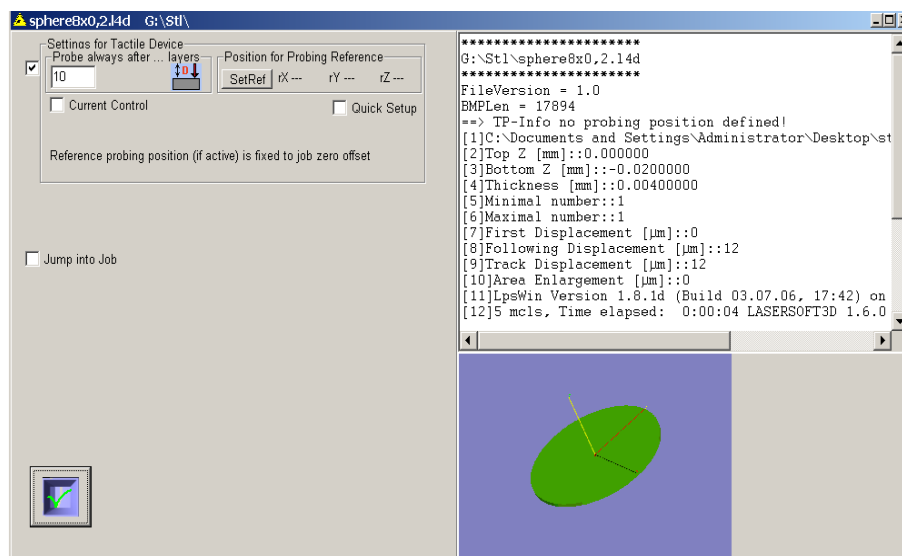


Σχήμα 3.35

Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο με τις πληροφορίες του προς κατεργασία αντικειμένου (σχήμα 3.36). Επιλέγεται πάντα η επιλογή *Probe always after ... layers* και στο κελί από κάτω δίνεται μία τιμή, η οποία ορίζει κάθε πόσα layers θα κατεβαίνει το probe για να μετρήσει το βάθος που έχει δημιουργηθεί μέχρι εκείνη την στιγμή. Πατώντας



στο εικονίδιο, το παράθυρο κλείνει και η διαδικασία είναι έτοιμη να ξεκινήσει.



Σχήμα 3.36

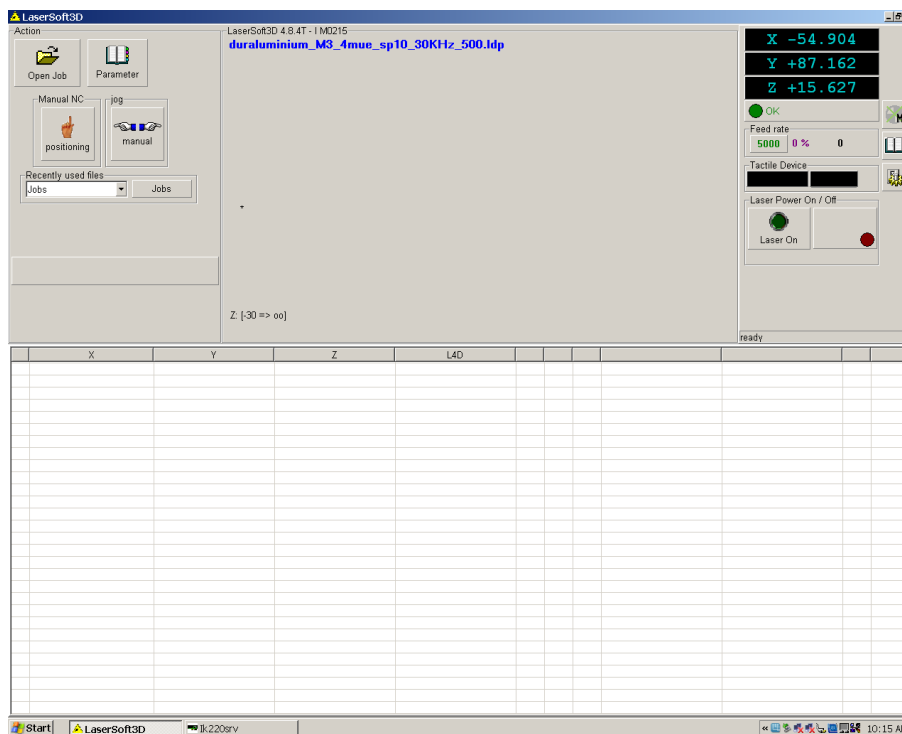
Από το αρχικό περιβάλλον του Lasersoft3D (σχήμα 3.37), πατώντας στο εικονίδιο



, το laser ενεργοποιείται και έπειτα πατώντας στο εικονίδιο



η κατεργασία ξεκινάει.



Σχήμα 3.37

Αφού η διαδικασία ολοκληρωθεί, το laser απενεργοποιείται πατώντας πάνω στο εικονίδιο



Η πόρτα της μηχανής απελευθερώνεται γυρνώντας δεξιά σε οριζόντια θέση το κλειδί που

βρίσκεται δεξιά πάνω στο πληκτρολόγιο και έπειτα πατώντας πάνω στο εικονίδιο



4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας πειραματικής διαδικασίας, είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι παράμετροι της διαδικασίας χάραξης με Laser επηρεάζουν την τραχύτητα της επιφάνειας και κατ' επέκταση την ποιότητα της σε πέντε διαφορετικά υλικά. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Αλουμίνιο 7075 - T6
- Αλουμίνιο 6063
- Ορείχαλκος MS58
- Μπρούτζος CuSn6
- Χαλκός

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν είναι η συχνότητα παλμού, η ταχύτητα χάραξης και το πάχος του στρώματος του υλικού που αφαιρείται σε κάθε πέρασμα. Για κάθε πείραμα, χαράχθηκε κύκλος διαμέτρου 120 mm και πάχους 200 μm .

Η μηχανή Laser με την οποία πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα είναι fiber Yb:YAG με μήκος κύματος στα 1070 nm και ισχύς 20 W. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι παλμικό Q-switched. Το εύρος της συχνότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην Lasertec 40 είναι 20 – 80 kHz, της ταχύτητας χάραξης 50 – 1000 mm/s και το πάχος στρώματος του υλικού που μπορεί να αφαιρεθεί ανά πέρασμα κυμαίνεται από 1 – 15 μm . Φυσικά, για κάθε υλικό οι τιμές αυτές περιορίζονται σε ένα μικρότερο εύρος, ανάλογα με τις ιδιότητες του υλικού.

4.2 Αλουμίνιο

4.2.1 Ιδιότητες και χρήσεις

Το αλουμίνιο είναι το χημικό στοιχείο με σύμβολο Al και ατομικό αριθμό 13. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο στοιχείο που ανήκει στην ομάδα III_A (13) του περιοδικού συστήματος μαζί με το βόριο. Είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και συνολικά το τρίτο (3^ο) πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Το μεταλλικό αλουμίνιο έχει (φαινομενικά) μεγάλη ικανότητα στο να αντιστέκεται στη διάβρωση. Αυτό στην ουσία συμβαίνει γιατί με την έκθεση του μετάλλου στην ατμόσφαιρα σχηματίζει στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό, μη ορατό, στρώμα οξειδίου του, που εμποδίζει τη βαθύτερη διάβρωσή του (φαινόμενο της παθητικοποίησης). Επίσης, εξαιτίας της σχετικά χαμηλής του πυκνότητας και της μεγάλης του ικανότητας να δημιουργεί μεγάλη ποικιλία κραμάτων, έγινε στρατηγικό μέταλλο για την αεροδιαστημική (και όχι μόνο) βιομηχανία. Είναι, επίσης, εξαιρετικά χρήσιμο στη χημική βιομηχανία, τόσο αυτούσιο ως καταλύτης, όσο και με τη μορφή διαφόρων ενώσεών του.

Τα κράματα αλουμινίου με 2,5-6,3% κ.β. χαλκό ονομάζονται ντουραλουμίνια. Περιέχουν συνήθως ως πρόσθετα κραματικά στοιχεία μαγνήσιο και σπανιότερα, μαγγάνιο και πυρίτιο. Παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες οφείλονται στη σκλήρυνσή τους με δημιουργία κατακρημνισμάτων και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική, λόγω του χαμηλού τους βάρους και της εξαιρετικής τους αντοχής. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική και σε άλλες εφαρμογές όπου το χαμηλό βάρος και οι καλές μηχανικές ιδιότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι ζητούμενα κράματα αλουμινίου-λιθίου.

Άλλα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία αθλητικών ειδών και τη ναυπηγική.

Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή των κουτιών για ποτά, του αλουμινόχαρτου και άλλων υλικών και εργαλείων της κουζίνας.

Το οξείδιο του αργιλίου, η αλουμίνα, βρίσκεται στη φύση με τη μορφή του ρουμπινιού, του ζαφειριού και του κορούνδιου. Το κορούνδιο έχει σκληρότητα στην κλίμακα Mohs ίση με 9, πράγμα που το κάνει ένα από τα σκληρότερα υλικά στη φύση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ως λειαντικό ή συνθετική αλουμίνα. Τα οξείδια του αργιλίου χρησιμοποιούνται επίσης στην υαλουργία και την κατασκευή λείζερ. Κρύσταλλοι ρουμπινιού χρησιμοποιούνται επίσης ως αισθητήρες πίεσης για υψηλές πιέσεις.

Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται επίσης συχνά από αλουμίνιο, καθώς έχει μικρότερο βάρος και κόστος από το χαλκό (αν και όχι τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα).

Οι στυπτηρίες, κρυσταλλικές ενώσεις (άλατα) του αργιλίου με το γενικό χημικό τύπο $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ χρησιμοποιούνται ως στυπτικά καθώς και στη βαφική.

4.2.2 Αλουμίνιο 7075 – T6

Το Al-7075 συγκεκριμένα, αποτελεί κράμα αλουμινίου με βασικό στοιχείο τον ψευδάργυρο. Συγκεκριμένα, η σύνθεσή του, περιλαμβάνει 5.1-6.1% ψευδάργυρο, 2.1-2.9% μαγνήσιο, 1.2-2.0% χαλκό και σε ποσοστό λιγότερο από 0.5%, περιέχει πυρίτιο, σίδηρο, μαγγάνιο, τιτάνιο, χρώμιο και άλλα μέταλλα.

Έχει πυκνότητα 2.810 kg / m^3 και αντοχή στον εφελκυσμό 74 - 78000 psi (510 - 538 MPa).

Έχει υψηλές τιμές αντοχής και πυκνότητας, σε σύγκριση με πολλούς χάλυβες, καλό μέσο όρο κατεργασιμότητας, υψηλότερη αντίσταση στη φθορά και ελαφρότητα. Αυτά τα πλεονεκτήματα σε συνδυασμό με τη χαμηλή τιμή του, οδηγούν σε αύξηση της χρήσης του σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας.

Η ναυτιλία, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροπορία και η αεροδιαστημική, αποτελούν ορισμένα πεδία των εφαρμογών του. Εξοπλισμοί αναρρίχησης και τμήματα ποδηλάτων φτιάχνονται από αυτό το υλικό. Επίσης, ενδιαφέρουσα εφαρμογή αποτελεί και η χρησιμοποίησή του για την κατασκευή των όπλων M16 από τον αμερικανικό στρατό. Εξαιτίας των ιδιοτήτων του, σημαντική είναι και η ευρέως χρησιμοποίησή του για τη κατασκευή καλουπιών, εργαλείων και όχι μόνο.

4.2.3 Πειραματική διαδικασία αλουμινίου 7075 – T6

Το εύρος των τιμών που σύμφωνα με το εγχειρίδιο της μηχανής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το αλουμίνιο είναι: Συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 200 – 500 mm/s και πάχος στρώματος αφαίρεσης υλικού 1 – 8 μm . Ωστόσο, κατά της πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές των παραμέτρων εκτός των ορίων που το εγχειρίδιο πρότεινε. Συγκεκριμένα το εύρος των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ως εξής:

- Συχνότητα: 20 – 40 kHz
- Ταχύτητα χάραξης: 200 – 1000 mm/s
- Πάχος στρώματος: 2 – 8 μm

Στο σχήμα 4.1 και σχήμα 4.2 παρουσιάζονται τα δύο δοκίμια αλουμινίου 7075 – T6, πάνω στα οποία έγιναν τα πειράματα και οι κύκλοι που χάραχθηκαν με διαφορετικές

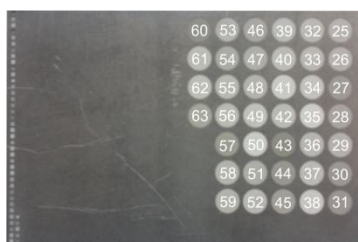
παραμέτρους ο καθένας και στην συνέχεια μετρήθηκε η τραχύτητα τους. Οι κύκλοι είναι αριθμημένοι και δίπλα παρουσιάζεται ένας πίνακας στο οποίο αναφέρονται οι παράμετροι με τις οποίες χαράχθηκε κάθε ένας από αυτούς.



	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
1	20	500	2
2	20	500	4
3	20	500	6
4	30	600	6
5	40	400	6
6	50	400	6
7	40	500	6
8	50	500	6
9	30	500	2
10	20	500	8
11	40	500	2
12	30	400	2

	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
13	30	400	4
14	30	400	6
15	30	400	8
16	30	500	4
17	30	500	6
18	30	500	8
19	30	200	2
20	30	200	4
21	30	200	6
22	30	200	8
23	40	500	4
24	40	500	8

Σχήμα 4.1 : Δοκίμιο Α' ΑΙ 7075 – T6 και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

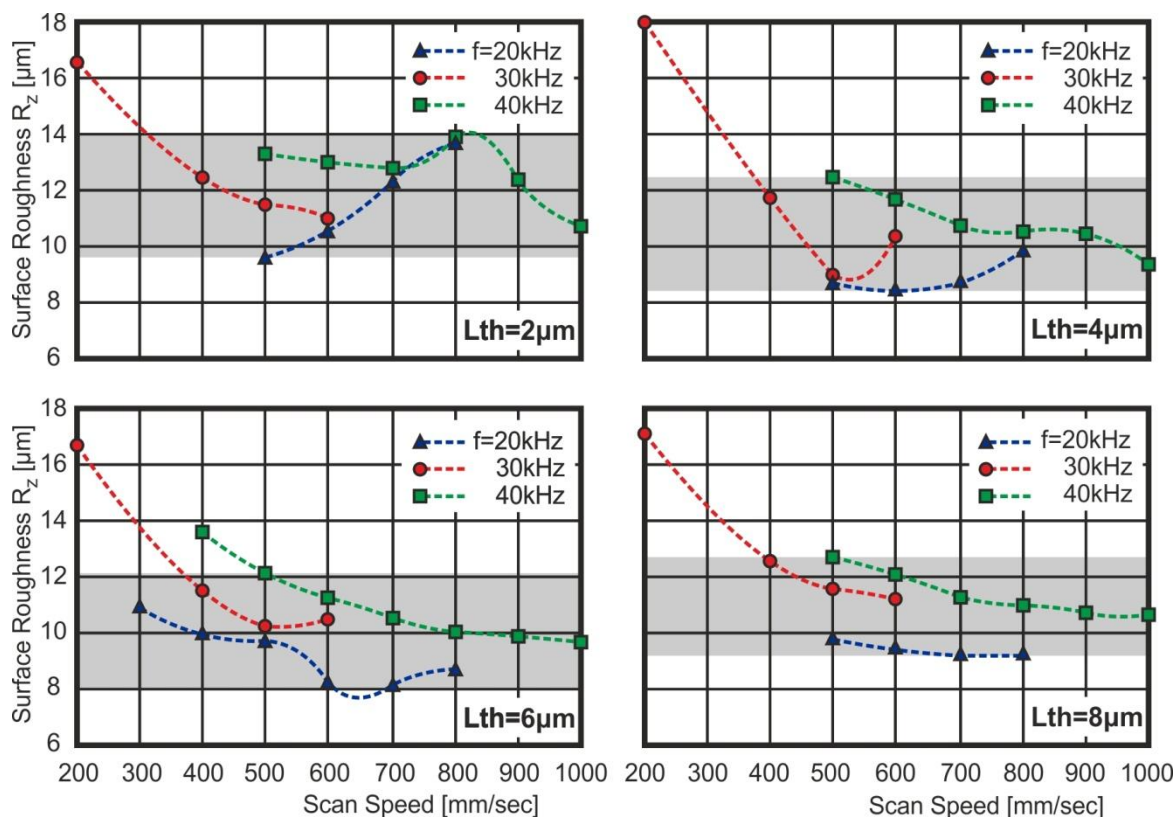


	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
25	30	600	2
26	30	600	4
27	30	600	8
28	20	400	6
29	20	600	6
30	30	600	6
31	20	300	6
32	20	700	6
33	20	800	6
34	20	600	2
35	20	600	4
36	20	600	8
37	20	700	2
38	20	700	4
39	20	700	8
40	20	800	2
41	20	800	4
42	20	800	8
43	40	400	6
44	40	600	6

	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
45	40	700	6
46	40	800	6
47	40	900	6
48	40	1000	6
49	40	1000	2
50	40	1000	4
51	40	1000	8
52	40	900	2
53	40	900	4
54	40	900	8
55	40	700	2
56	40	700	4
57	40	700	8
58	40	600	2
59	40	600	4
60	40	600	8
61	40	800	2
62	40	800	4
63	40	800	8

Σχήμα 4.2 : Δοκίμιο Β' ΑΙ 7075 – T6 και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.3 παρουσιάζονται τέσσερα διαγράμματα, ένα για κάθε πάχος στρώματος, με άξονα Υ την τραχύτητα της επιφάνειας, άξονα Χ την ταχύτητα χάραξης και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί στις συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.3 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – ταχύτητας χάραξης για συχνότητες 20, 30, 40 kHz

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται εύκολα ότι η τραχύτητα έχει μικρότερες τιμές, όταν η συχνότητα είναι 20 kHz, η ταχύτητα χάραξης κυμαίνεται μεταξύ 500 – 600 mm/s και το πάχος στρώματος είναι 4 μm και 6 μm.

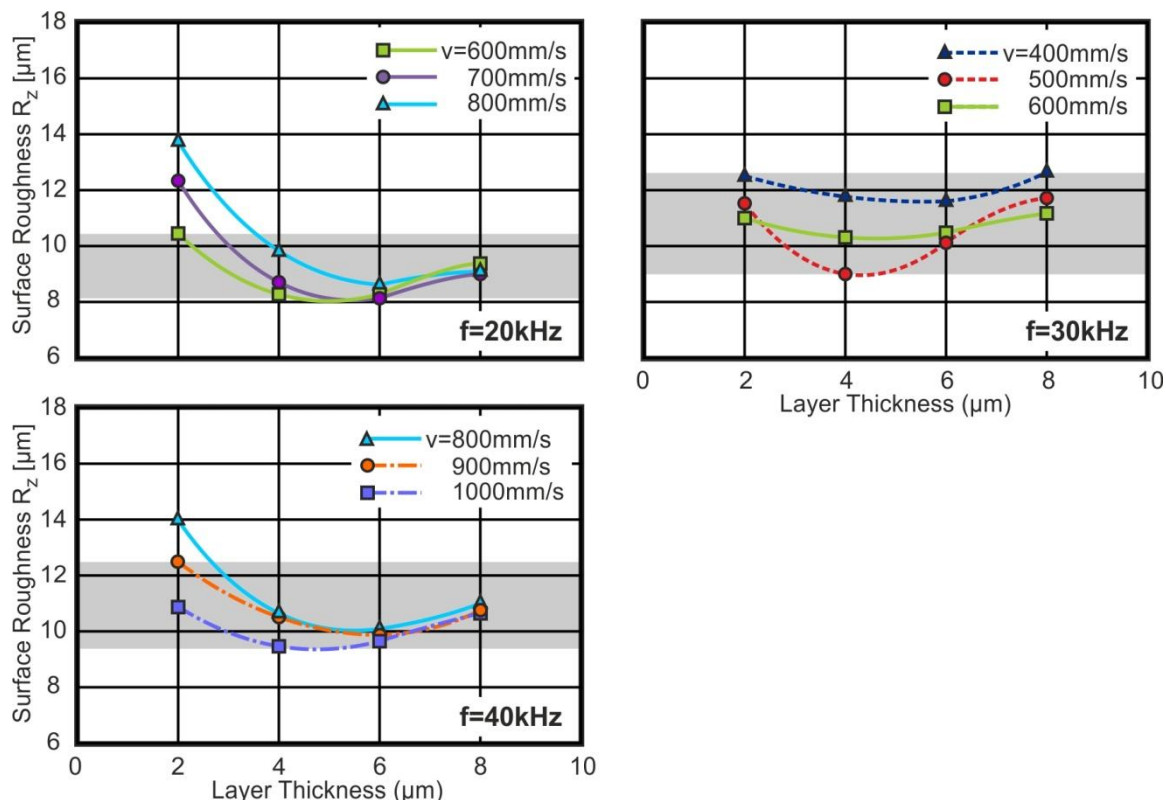
Πιο αναλυτικά, στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 2 μm, όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz, η τραχύτητα αυξάνεται καθώς η ταχύτητα χάραξης αυξάνεται από 500 mm/s έως 800 mm/s. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 30 kHz, η τραχύτητα μειώνεται καθώς η ταχύτητα χάραξης αυξάνεται από 200 mm/s έως 600 mm/s. Για συχνότητα 40 kHz, τραχύτητα παραμένει σταθερή όταν η ταχύτητα χάραξης αυξάνεται από 500 mm/s έως 700 mm/s, αυξάνεται για την συνέχεια όταν η ταχύτητα χάραξης είναι 800 mm/s και μειώνεται ακολούθως μέχρι η ταχύτητα να γίνει 1000 mm/s.

Στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 4 μm, όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 30 kHz, η τραχύτητα μειώνεται σχεδόν γραμμικά για ταχύτητες χάραξης από 200 mm/s έως 500 mm/s, ενώ αυξάνεται για ταχύτητα 600 mm/s. Για συχνότητα 20 kHz, η τραχύτητα αυξάνεται συνεχώς με μικρό ρυθμό όμως, από ταχύτητες χάραξης 500mm/s έως 800 mm/s, ενώ για συχνότητα 40 kHz η τραχύτητα μειώνεται με μικρό ρυθμό πάλι, για ταχύτητες χάραξης από 500mm/s έως 1000 mm/s.

Στα διαγράμματα για 6 μm και 8 μm, εμφανίζεται παρόμοια συμπεριφορά, καθώς για συχνότητα 30 kHz, η τραχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα χάραξης από 200 mm/s έως 600 mm/s, όπως επίσης μειώνεται και για συχνότητα 40 kHz καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Μικρή διαφορά παρατηρείται για συχνότητα 20 kHz, όπου στο διάγραμμα για 6 μm η τραχύτητα μειώνεται αισθητά με την αύξηση της ταχύτητας χάραξης, ενώ στο διάγραμμα για 8 μm παραμένει σχεδόν σταθερή στις μεταβολές τις ταχύτητας.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζονται τρία διαγράμματα, για κάθε συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε, όπου στον άξονα Y είναι η τραχύτητα επιφάνειας, στον X το πάχος

στρώματος που αφαιρείται και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα χάραξης. Στα διαγράμματα αυτά τοποθετηθήκαν μόνο τρεις ταχύτητες χάραξης, εκείνες για τις οποίες βρέθηκαν οι μικρότερες τιμές τραχύτητας.



Workpiece material: **Al7075 T6**

Σχήμα 4.4 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – πάχους στρώματος για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης

Από παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται ότι όταν χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 20 kHz και 40 kHz, για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης σε κάθε συχνότητα, εμφανίζεται η ίδια συμπεριφορά καθώς μεταβάλλεται το πάχος στρώματος που αφαιρείται. Για συχνότητα 30 kHz, όταν χρησιμοποιούνται οι ταχύτητες χάραξης 400 mm/s και 500 mm/s οι μεταβολές της τραχύτητας είναι μικρές, ενώ όταν χρησιμοποιείται ταχύτητα χάραξης 600 mm/s οι τιμές της τραχύτητας αυξομειώνονται αισθητά με την μεταβολή του πάχους στρώματος.

4.2.4 Αλουμίνιο 6063

Το αλουμίνιο 6063 είναι ένα κράμα αλουμινίου με μαγνήσιο και πυρίτιο. Έχει γενικά καλές μηχανικές ιδιότητες και είναι θερμικά επεξεργάσιμο και συγκολλησιμο. Χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην κατασκευή κουφωμάτων, σωληνώσεων και σε στέγες. Παράγεται συνήθως με πολύ λείες επιφάνειες.

Το ειδικό του βάρος είναι 2,68.

4.2.5 Πειραματική διαδικασία αλουμινίου 6063

Το εύρος των τιμών που σύμφωνα με το εγχειρίδιο της μηχανής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το αλουμίνιο είναι, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, είναι: Συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 200 – 500 mm/s και πάχος στρώματος αφαίρεσης υλικού 1 – 8 μm. Ωστόσο, κατά της πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν κάποιες

τιμές των παραμέτρων εκτός των ορίων που το εγχειρίδιο πρότεινε. Συγκεκριμένα το εύρος των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ως εξής:

- Συχνότητα: 20 – 40 kHz
- Ταχύτητα χάραξης: 400 – 1000 mm/s
- Πάχος στρώματος: 2 – 8 μm

Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται το δοκίμιο αλουμινίου 6063, πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα και οι κύκλοι που χάραχθηκαν πάνω στο δοκίμιο με διαφορετικές παραμέτρους ο καθένας και στην συνέχεια μετρήθηκε η τραχύτητα τους. Οι κύκλοι είναι αριθμημένοι και δίπλα παρουσιάζεται ένας πίνακας στο οποίο αναφέρονται οι παράμετροι με τις οποίες χάραχθηκε κάθε ένας από αυτούς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως ο αριθμός των πειραμάτων που έγιναν στο αλουμίνιο 6063, ήταν αρκετά μικρότερος από τα υπόλοιπα υλικά, καθώς η συμπεριφορά του ήταν παρόμοια με το αλουμίνιο 7075 – T6 το οποίο μελετήθηκε διεξοδικά και έτσι ήταν δυνατή η εύρεση της μικρότερης τραχύτητας και η εξαγωγή συμπερασμάτων, χωρίς την πραγματοποίηση πολύ μεγάλου αριθμού πειραμάτων.

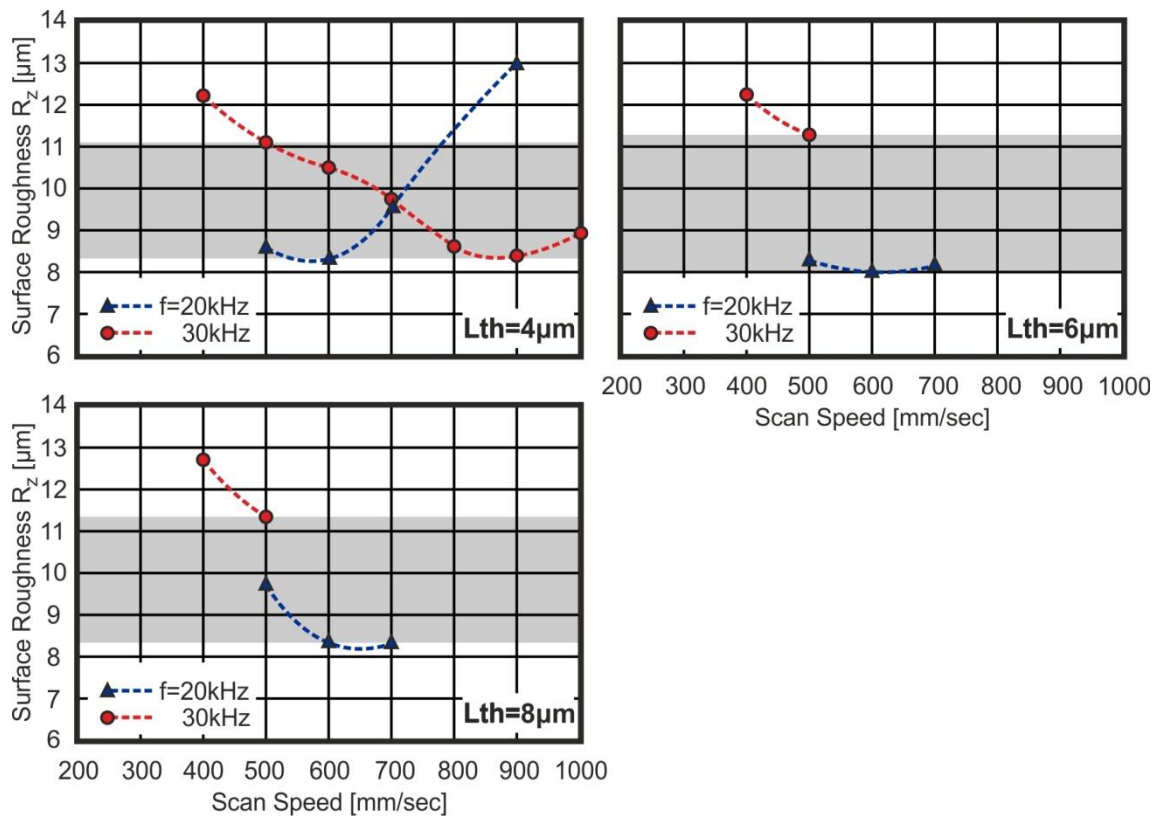


	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
1	30	500	4
2	30	500	6
3	30	500	8
4	30	500	2
5	30	400	2
6	30	400	4
7	30	400	6
8	30	400	8
9	20	500	4
10	40	500	4
11	30	600	4
12	30	700	4
13	30	800	4
14	30	900	4
15	30	1000	4

	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
16	20	900	4
17	20	600	4
18	20	700	4
19	20	600	2
20	20	600	6
21	20	600	8
22	20	500	6
23	20	700	6
24	20	500	8
25	20	700	8
26	10	600	6

Σχήμα 4.5 : Δοκίμιο Al 6063 και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

Στο σχήμα 4.6 ακολούθως παρουσιάζονται τρία διαγράμματα, το κάθε ένα για τιμές πάχους στρώματος 4, 6, 8 μm αντίστοιχα, όπου στον άξονα Y είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, στον X οι ταχύτητα χάραξης και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί στις συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν.



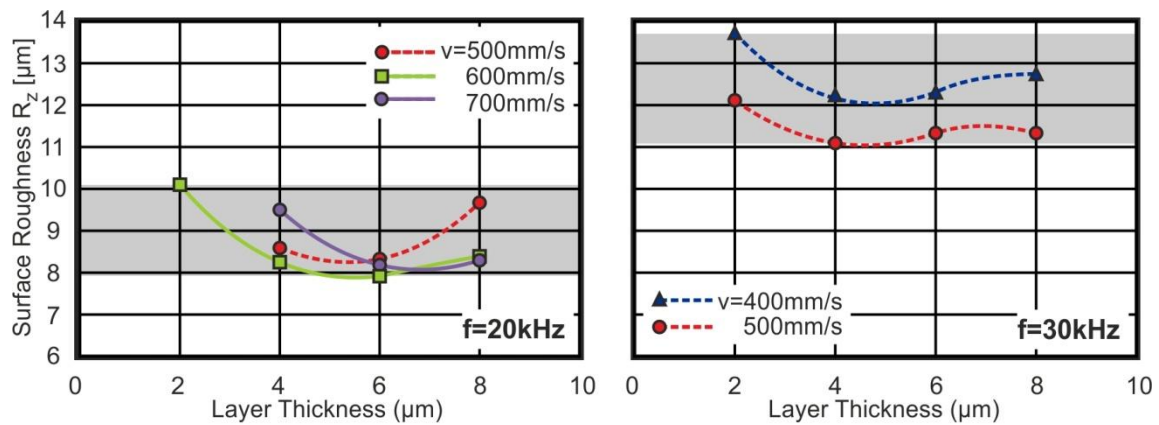
Workpiece material: **Al 6063**

Σχήμα 4.6 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – ταχύτητας χάραξης για κάθε συχνότητα, για πάχη στρώματος 2, 4, 6 μm

Παρατηρείται εύκολα πως οι μικρότερες τιμές τραχύτητας παρουσιάζονται όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz και ταχύτητα χάραξης 500 – 700 mm/s, ενώ το πάχος στρώματος δεν διαφοροποιεί σχεδόν καθόλου την τραχύτητα της επιφάνειας, όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη συχνότητα και ταχύτητες χάραξης.

Πιο συγκεκριμένα, στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 4 μm, παρατηρείται πως όταν η συχνότητα είναι 20 kHz, η τραχύτητα της επιφάνειας αυξάνεται, καθώς η ταχύτητα χάραξης αυξάνεται από 600 mm/s σε 1000 mm/s., ενώ αντίθετα για συχνότητα 30 kHz η τραχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Για πάχη στρώματος 6 μm και 8 μm, είναι επίσης προφανές, ότι οι μικρότερες τιμές τραχύτητας συναντιούνται όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz και ταχύτητες χάραξης 600 – 700mm/s.

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.7 παρουσιάζονται δύο διαγράμματα, για κάθε συχνότητα αντίστοιχα, όπου στον άξονα Y είναι η τραχύτητα επιφάνειας, στον X το πάχος στρώματος που αφαιρείται και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα χάραξης. Στα διαγράμματα αυτά τοποθετηθήκαν μόνο τρεις ταχύτητες χάραξης, εκείνες για τις οποίες βρέθηκαν οι μικρότερες τιμές τραχύτητας.



Workpiece material: **Al 6063**

Σχήμα 4.7 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – πάχους στρώματος για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τα παραπάνω διαγράμματα, οι τιμές της τραχύτητας χάραξης για συχνότητα 20 kHz είναι πολύ μικρότερες από ότι για συχνότητα 30 kHz. Στο διάγραμμα για συχνότητα 20 kHz, όταν χρησιμοποιείται ταχύτητα χάραξης 500 mm/s, η τραχύτητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος, ενώ μειώνεται καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος, όταν χρησιμοποιούνται ταχύτητες χάραξης 600 mm/s και 700 mm/s. Αντίθετα στο διάγραμμα για συχνότητα 30 kHz η τραχύτητα έχει μεγαλύτερες τιμές για πάχος στρώματος 2 μm, μειώνεται για πάχος στρώματος 4 μm και αυξάνεται στην συνέχεια, ανεξάρτητα ποιά ταχύτητα χάραξης χρησιμοποιείται.

4.3 Ορείχαλκος

4.3.1 Ιδιότητες και χρήσεις

Ο ορείχαλκος είναι κράμα χαλκού–ψευδαργύρου που χρησιμοποιείται από την ελληνοιστική εποχή μέχρι τις ημέρες μας σε πάρα πολλές εφαρμογές. Η περιεκτικότητα του ορείχαλκου σε ψευδάργυρο καθορίζει και τις ιδιότητες του μετάλλου. Για περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο έως και 35% κ.β. περίπου, η φάση που δημιουργείται είναι ο α-Cu, δηλ. ένα στερεό διάλυμα Zn εντός Cu. Για περιεκτικότητα 32–39% κ.β. Zn, η φάση α συνυπάρχει με την φάση β, ενώ για περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 39% κ.β. Zn δημιουργείται και η φάση γ, που είναι εύθραυστη.

Το χρώμα του ορείχαλκου αλλάζει επίσης αναλόγως με την περιεκτικότητά του σε ψευδάργυρο. Όταν η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο είναι χαμηλή, ο ορείχαλκος έχει ένα καφεκόκκινο χρώμα που πλησιάζει το κεραμιδί χρώμα του χαλκού. Για περιεκτικότητα σε Zn περίπου 30% κ.β., ο ορείχαλκος έχει το χρώμα του χρυσού, αλλά, για ακόμα πιο υψηλή περιεκτικότητα σε Zn, το χρώμα του γίνεται και πάλι καφεκόκκινο.

Οι ορείχαλκοι με Zn < 35% κ.β. (ορείχαλκοι α) παρουσιάζουν καλή μηχανική αντοχή και καλή αντοχή στην διάβρωση. Οι ορείχαλκοι με 32% κ.β. < Zn < 39% κ.β. (ορείχαλκοι α+β) έχουν ακόμα καλύτερη μηχανική αντοχή, μεγαλύτερη ελαστικότητα και μεγαλύτερη ολκιμότητα, αλλά κάπως μειωμένη αντοχή στην διάβρωση σε σύγκριση με τους ορείχαλκους α. Οι ορείχαλκοι με Zn > 39% κ.β. (ορείχαλκοι β) παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή, αλλά είναι ευκατέργαστοι μόνον εν θερμώ· σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν μικρή ολκιμότητα.

Ο ορείχαλκος χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές: στην παραγωγή βαλβίδων και τριβείων (ρουλεμάν), στην παραγωγή σωλήνων χωρίς ραφή και άλλων εξαρτημάτων ύδρευσης, στην κατασκευή όπλων και εξαρτημάτων μηχανών, στην κατασκευή πνευστών μουσικών οργάνων, κ.ά. Οι πιο κοινοί ορείχαλκοι είναι οι εξής:

- ορείχαλκος επιχρύσωσης (αγγλ., gilding 95%): Zn = 5,0% κ.β.
- εμπορικός μπρούντζος (αγγλ., commercial bronze): Zn = 10,0% κ.β.
- μπρούντζος κοσμηματοποιίας (αγγλ., jewelery bronze): Zn = 12,5% κ.β.
- ερυθρός ορείχαλκος (αγγλ., red brass): Zn = 15,0% κ.β.
- ορείχαλκος καλύκων (αγγλ., cartridge brass): Zn = 30,0% κ.β.
- μέταλλο Muntz (αγγλ., Muntz metal): Zn = 40,0% κ.β.

Ορείχαλκοι με περιεκτικότητα σε Zn > 15% κ.β., όταν βρεθούν σε στάσιμα όξινα νερά, παθαίνουν διάβρωση με αποψευδαργύρωση: ο περιεχόμενος ψευδάργυρος διαλύεται και το παραμένον μέταλλο γίνεται πορώδες και εύθραυστο. Ο ορείχαλκος επίσης παθαίνει εργοδιάβρωση όταν βρίσκεται υπό μηχανική καταπόνηση σε περιβάλλον που περιέχει αμμωνία, αμίνες ή υδράργυρο.

Η αποψευδαργύρωση αντιμετωπίζεται με την προσθήκη κασσίτερου στο κράμα. Οι κασσιτερούχοι ορείχαλκοι περιέχουν 2–40% κ.β. Zn και 0,2–3,0% κ.β. Sn. Κασσιτερούχος ορείχαλκος είναι, π.χ., ο ορείχαλκος του Ναυαρχείου ή ναυτικός ορείχαλκος (αγγλ., admiralty brass/naval brass) περιέχει 30–40% κ.β. Zn και 1% κ.β. Sn. Επίσης, με προσθήκη μαγγανίου, βελτιώνεται η αντοχή του ορείχαλκου στην διάβρωση, γι' αυτό και μαγγανιούχοι ορείχαλκοι βρίσκουν εφαρμογή σε ναυπηγικές χρήσεις, π.χ. στην χύτευση προπελών.

Συχνά στους ορείχαλκους προστίθεται και μόλυβδος σε πολύ μικρό ποσοστό (< 3,5% κ.β.). Ο μόλυβδος δεν διαλύεται στις κύριες φάσεις του ορείχαλκου, αλλά δημιουργεί μικρά κατακρημνίσματα στα όρια των κρυστάλλων. Η παρουσία των κατακρημνισμάτων μολύβδου κάνει τον ορείχαλκο πιο ευκατέργαστο σε μηχανουργικές κατεργασίες.

Οι πυριτιούχοι ορείχαλκοι είναι ορείχαλκοι α φάσης (Zn < 20% κ.β.) στους οποίους έχει γίνει προσθήκη πυριτίου έως 6% κ.β. Οι ορείχαλκοι αυτοί είναι εξαιρετικά μεγάλης αντοχής και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πολύ ανθεκτικών βαλβίδων.

4.3.2 Ορείχαλκος MS58

Ο ορείχαλκος MS58 ή αλλιώς CuZn39Pb3 είναι κράμα αλουμινίου με ψευδάργυρο και με μόλυβδο σε πολύ μικρό ποσοστό. Χρησιμοποιείται πιο συχνά για μηχανουργικές κατεργασίες υψηλής ταχύτητας. Έχει αντοχή σε εφελκυσμό 370 – 440 N/mm².

4.3.3 Πειραματική διαδικασία ορείχαλκου MS58

Στον ορείχαλκο το εύρος των τιμών των παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με το εγχειρίδιο είναι: Συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 200 – 500 mm/s και πάχος στρώματος υλικού που αφαιρείται 1 -10 μm. Βέβαια και εδώ στα πλαίσια της εύρεσης της μικρότερης τιμής της τραχύτητας επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές εκτός του προτεινόμενου εύρους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

- Συχνότητα: 20 – 40 kHz
- Ταχύτητα χάραξης: 300 – 1000 mm/s
- Πάχος στρώματος: 2 – 8 μm

Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται το δοκίμιο ορείχαλκου MS58, πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα και οι κύκλοι που χαράχθηκαν πάνω στο δοκίμιο με διαφορετικές παραμέτρους ο καθένας και στην συνέχεια μετρήθηκε η τραχύτητα τους. Οι κύκλοι είναι αριθμημένοι και δίπλα παρουσιάζεται ένας πίνακας στο οποίο αναφέρονται οι παράμετροι με τις οποίες χαράχθηκε κάθε ένας από αυτούς.

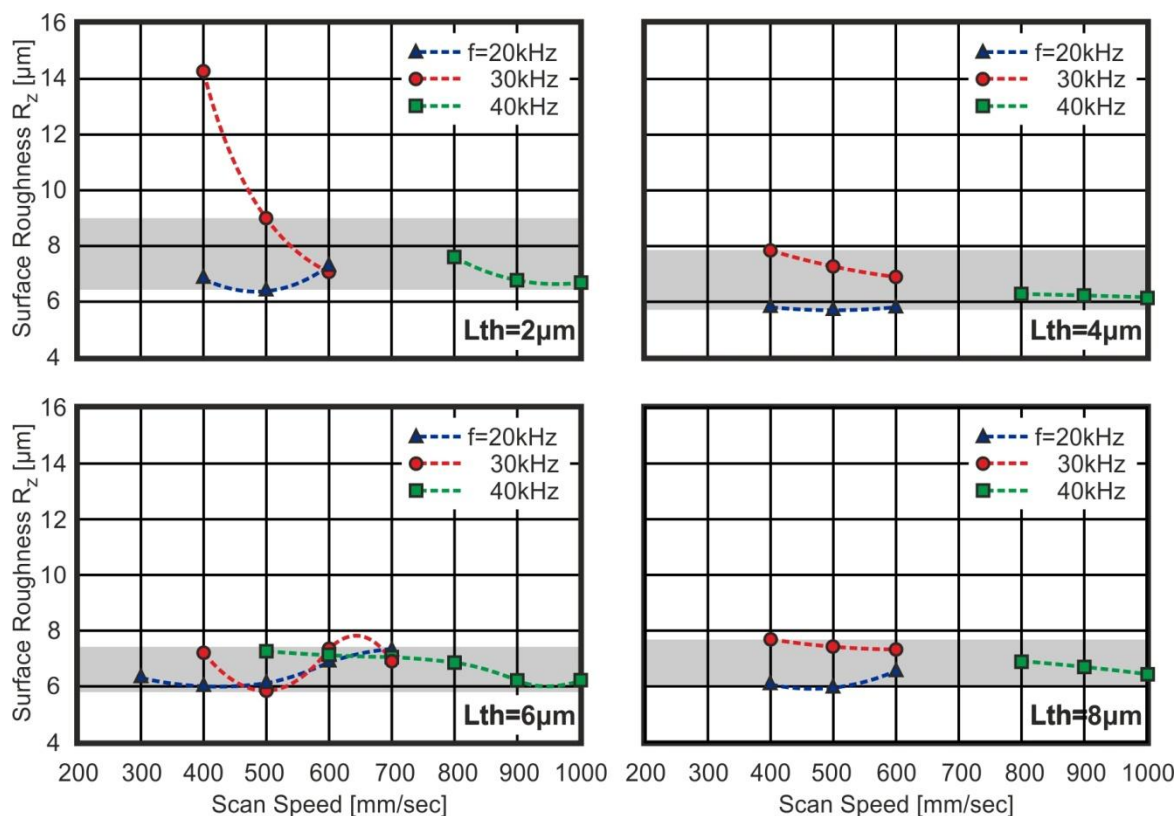


	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
1	30	500	2
2	30	500	4
3	30	500	6
4	30	500	8
5	30	400	6
6	30	600	6
7	30	700	6
8	20	600	6
9	40	600	6
10	30	400	4
11	30	400	8
12	30	600	4
13	30	600	8
14	20	500	6
15	20	700	6
16	40	500	6
17	40	700	6
18	20	400	6
19	40	800	6
20	20	300	6

	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
21	40	900	6
22	40	1000	6
23	20	400	4
24	20	400	8
25	20	500	4
26	20	500	8
27	20	600	4
28	20	600	8
29	20	400	2
30	20	500	2
31	20	600	2
32	40	900	4
33	40	900	8
34	40	800	4
35	40	800	8
36	40	1000	4
37	40	1000	8
38	40	1000	2
39	40	800	2
40	40	900	2

Σχήμα 4.8 : Δοκίμιο MS58 και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.9, παρουσιάζονται 4 διαγράμματα, ένα για κάθε πάχος στρώματος, όπου στον άξονα Y είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, στον X οι ταχύτητα χάραξης και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία συχνότητα από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.9 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – ταχύτητας χάραξης για συχνότητες 20, 30, 40 kHz

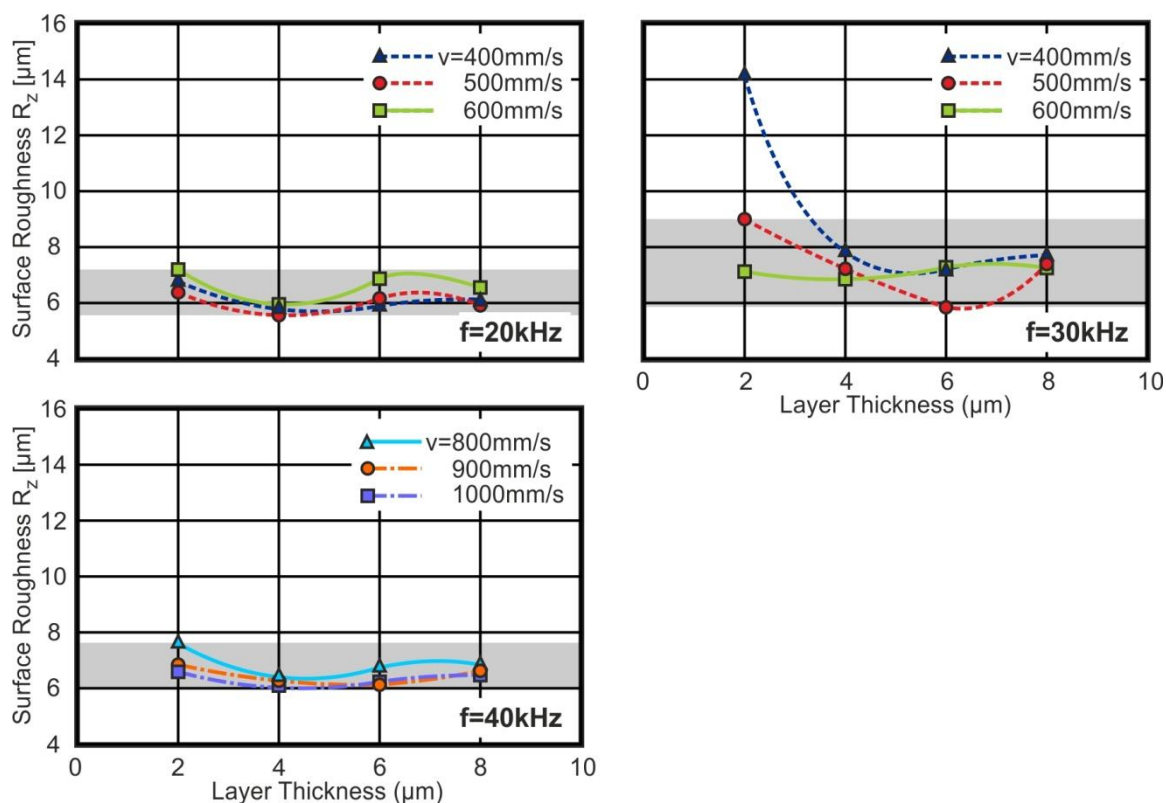
Οι μικρότερες τιμές τραχύτητας παρατηρούνται όπως φαίνεται στα άνωθεν διαγράμματα για συχνότητα 20 kHz, ταχύτητα χάραξης 400 – 600 mm/s, ενώ και εδώ το πάχος στρώματος δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την τραχύτητα για την συγκεκριμένη συχνότητα και ταχύτητες χάραξης.

Συγκεκριμένα στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 2 μm , όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 30 kHz, για ταχύτητα 400 mm/s η τιμή της τραχύτητας είναι μεγάλη αλλά μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα χάραξης. Ενώ όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz και 40 kHz, η τραχύτητα παραμένει σταθερή στις μεταβολές της ταχύτητας.

Ακριβώς το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στα διαγράμματα για πάχη στρώματος 4 μm και 8 μm , όπου επίσης οι τιμές τραχύτητας παρουσιάζουν ελάχιστη διαφορά στις μεταβολές της ταχύτητας.

Το ίδιο περίπου συμβαίνει και στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 6 μm , μόνο που εδώ λόγω μεγαλύτερου αριθμού πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, δίνεται η δυνατότητα να παρατηρηθεί πως για συχνότητα 20 kHz η τραχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα χάραξης, ενώ για συχνότητα 40 kHz η τραχύτητα αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας. Για συχνότητα 30 kHz, οι τιμές της τραχύτητας αυξομειώνονται ανάλογα με την μεταβολή της ταχύτητας.

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.10 παρουσιάζονται τρία διαγράμματα, για κάθε συχνότητα αντίστοιχα, όπου στον άξονα Υ είναι η τραχύτητα επιφάνειας, στον Χ το πάχος στρώματος που αφαιρείται και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα χάραξης. Στα διαγράμματα αυτά τοποθετηθήκαν μόνο τρεις ταχύτητες χάραξης, εκείνες για τις οποίες βρέθηκαν οι μικρότερες τιμές τραχύτητας.



Workpiece material: **MS58**

Σχήμα 4.10 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – πάχους στρώματος για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης

Παρατηρείται ότι στο διάγραμμα για συχνότητα 20 kHz, για τις δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης, η τραχύτητα μεταβάλλεται ελάχιστα. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και στο διάγραμμα για συχνότητα 40 kHz, για διαφορετικές ταχύτητες χάραξης βέβαια. Αντίθετα στο διάγραμμα για συχνότητα 30 kHz, όταν χρησιμοποιείται ταχύτητα χάραξης 400 mm/s η τιμή της τραχύτητας της επιφάνειας μειώνεται καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος,

όπως και όταν χρησιμοποιείται ταχύτητα χάραξης 500 mm/s, ενώ για ταχύτητα χάραξης 600 mm/s παραμένει σχεδόν αμετάβλητη.

4.4 Μπρούτζος

4.4.1 Ιδιότητες και χρήσεις

Το κρατέρωμα (κοινώς μπρούντζος ή μπρούτζος) είναι κράμα χαλκού–κασσίτερου, αν και ο όρος χρησιμοποιείται και για πολλά άλλα κράματα χαλκού.

Συχνά το κρατέρωμα συγχέεται με τον ορείχαλκο, που είναι κατά βάση κράμα χαλκού–ψευδαργύρου. Η σύγχυση στην αδιάκριτη χρήση της λέξης μπρούντζος τόσο για κρατερώματα όσο και για ορείχαλκους δεν γίνεται μόνον στα ελληνικά, αλλά και σε άλλες γλώσσες όπως π.χ. στα αγγλικά, όπου το κρατέρωμα αποκαλείται bronze και ο ορείχαλκος αποκαλείται brass. Αυτό συμβαίνει επειδή συνήθως η διάκριση γίνεται κυρίως με βάση το χρώμα: στην γλώσσα της αγοράς, «μπρούντζοι» ή «κρατερώματα» αποκαλούνται τα πιο καφε-κόκκινα κράματα χαλκού, ενώ τα κράματα χαλκού με χρώμα κιτρινό-χρυσό αποκαλούνται ορείχαλκοι.

Η περιεκτικότητα του κρατερώματος σε κασσίτερο καθορίζει και τις ιδιότητες του κράματος. Για περιεκτικότητα έως 10,5% κ.β. Sn, η φάση που δημιουργείται είναι ο α-Cu, δηλ. ένα στερεό διάλυμα Sn εντός Cu. Για περιεκτικότητα 10,5–15% κ.β. Sn, δημιουργείται η φάση δ, που είναι εύθραυστη. Πάντως, για περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 15% κ.β. Sn το κράμα γίνεται πιο εύηκτο.

Στα συνήθη κρατερώματα, η περιεκτικότητα σε κασσίτερο κυμαίνεται από 0,5 έως 11% κ.β. Σ' αυτά τα κρατερώματα, συνήθως προστίθεται και φώσφορος από 0,01 έως 0,35% κ.β. για καλύτερη αντοχή στην μηχανική φθορά και για μεγαλύτερη σκληρότητα. Επίσης, στο κοινό κρατέρωμα (αγγλ., common bronze) συχνά προστίθεται και μόλυβδος (έως 3% κ.β.). Ο μόλυβδος κατακρημνίζεται στα όρια των κόκκων α, οπότε το κράμα γίνεται πιο μαλακό στην κατεργασία. Η παρουσία του μολύβδου κάνει επίσης το κράμα πιο εύηκτο. Ο μπρούτζος χρησιμοποιείται στην γλυπτική, την κατασκευή μεγάλων χυτών αντικειμένων (π.χ. καμπάνες εκκλησιών, κανόνια, κ.λπ.), την νομισματοκοπία, την κατασκευή εξαρτημάτων μηχανών, την κατασκευή ελατηρίων, κ.ά.

Παλαιότερα, ένας τύπος κρατερώματος με ψευδάργυρο (10–14% κ.β. Sn, 2–3% κ.β. Zn, 0–0,8% κ.β. P), που στα αγγλικά ήταν γνωστό ως red brass ή gunmetal, χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή όπλων επειδή είναι πολύ ανθεκτικό. Το κράμα αυτό, που στα ελληνικά έγινε γνωστό ως ερυθρός ορείχαλκος ή ορείχαλκος πυροβόλων, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στην γλυπτική, στην κατασκευή φθηνών ωρολογίων, κουμπιών, κ.λπ.

Σε σύγκριση με τους ορείχαλκους («εμπορικός μπρούντζος», κ.ά.), τα κρατερώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην μηχανική φθορά και στην χημική διάβρωση. Ωστόσο τα κρατερώματα είναι πιο σκληρά και έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς. Το κράμα που είναι γνωστό ως πιάτερ, λευκό μέταλλο Βίκερς ή βρετανικό μέταλλο (αγγλ. pewter, Vickers white metal, Britannia (sic) metal· γαλλ., peautre, métal blanc, laitton blanc, Britannium (sic)· γερμ., hartzinn, Britanniametall) και που χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή οικιακών σκευών (κουτάλια, πιάτα, κ.λπ.), είναι σχεδόν καθαρός κασσίτερος (85–99% κ.β.) με μικρές προσμίξεις από αντιμόνιο (1–8% κ.β.) και χαλκό (0,35–3% κ.β.). Οι προσμίξεις προσδίνουν σκληρότητα στο κράμα. Παλαιότερα στο κράμα πιάτερ έβαζαν και μόλυβδο (έως και 15% κ.β.) για να διατηρεί το μέταλλο την λάμψη του. Σήμερα το κράμα πιάτερ χρησιμοποιείται για την παρασκευή μικρών διακοσμητικών αντικειμένων, ενώ αντί για μόλυβδο προστίθεται βισμούθιο, επειδή ο μόλυβδος προκαλεί σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο.

4.4.2 Φωσφορούχος μπρούτζος CuSn6

Ο φωσφορούχος μπρούτζος CuSn6 έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός και έχει πολύ υψηλή αντοχή στην διάβρωση. Αποτελείται κυρίως από χαλκό, με πρόσμιξη κασσίτερου 6%. Χρησιμοποιείται κυρίως σε ηλεκτρολογικές εφαρμογές, όπως τα θερμαντικά στοιχεία και στην κατασκευή καλωδίων.

Έχει αντοχή σε εφελκυσμό 470-530 N/mm², όριο ελαστικότητας 380-460 N/mm², αγωγιμότητα 7.5 S*m/mm², αντίσταση 0.1333 Ohm*mm²/m και συντελεστή θερμικής αντίστασης 550-750 1E-6/K.

4.4.3 Πειραματική διαδικασία φωσφορούχου μπρούτζου CuSn6

Στον μπρούτζο το εύρος των τιμών των παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με το εγχειρίδιο είναι το ίδιο με τον ορείχαλκο, αφού πρόκειται για παρόμοια υλικά, δηλαδή: Συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 200 – 500 mm/s και πάχος στρώματος υλικού που αφαιρείται 1 -10 μm. Βέβαια και εδώ στα πλαίσια της εύρεσης της μικρότερης τιμής της τραχύτητας επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές εκτός του προτεινόμενου εύρους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

- Συχνότητα: 20 – 40 kHz
- Ταχύτητα χάραξης: 300 – 900 mm/s
- Πάχος στρώματος: 2 – 8 μm

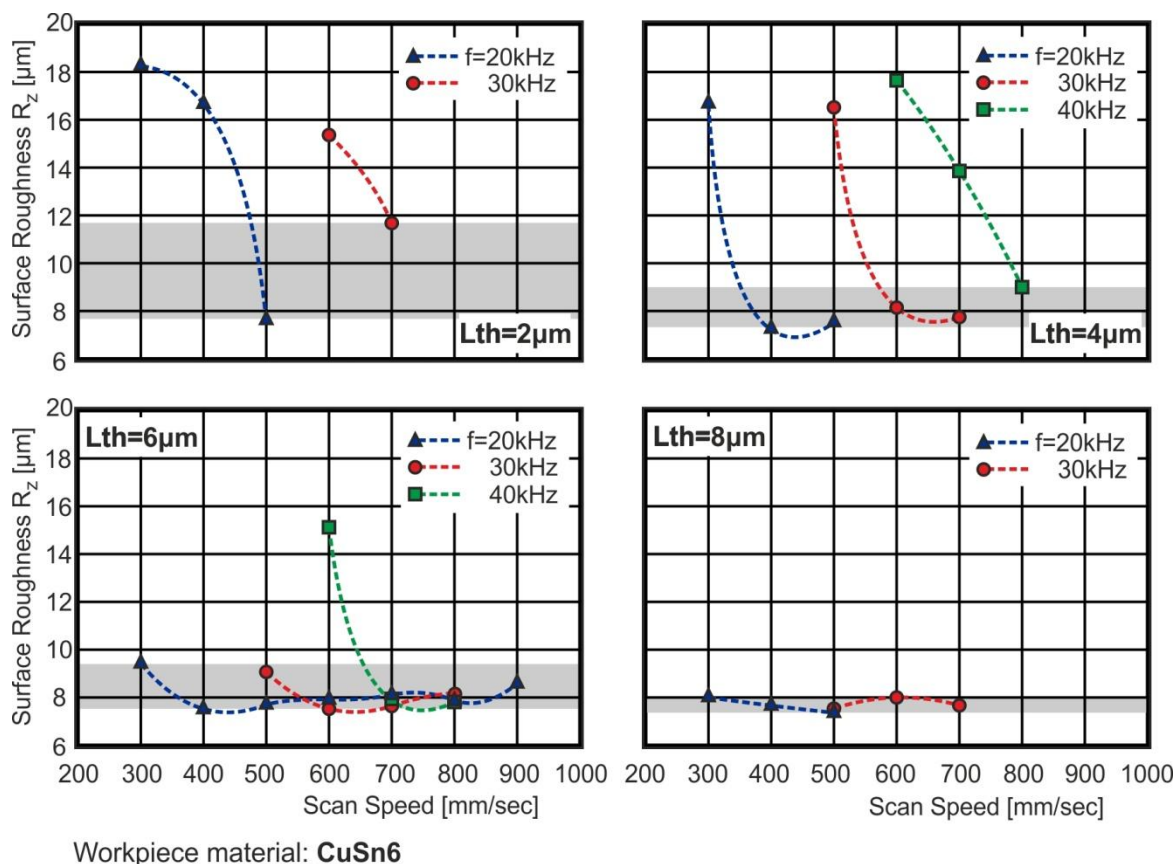
Στο σχήμα 4.11 παρουσιάζεται το δοκίμιο μπρούτζου CuSn6, πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα και οι κύκλοι που χαράχθηκαν πάνω στο δοκίμιο με διαφορετικές παραμέτρους ο καθένας και στην συνέχεια μετρήθηκε η τραχύτητα τους. Οι κύκλοι είναι αριθμημένοι και από δίπλα παρουσιάζεται ένας πίνακας στο οποίο αναφέρονται οι παράμετροι με τις οποίες χαράχθηκε κάθε ένας από αυτούς.



	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.		Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)	A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
1	30	600	2	18	20	400	4
2	30	600	4	19	20	400	8
3	30	600	6	20	20	300	4
4	30	600	8	21	20	300	8
5	30	500	6	22	20	500	4
6	30	700	6	23	20	500	8
7	30	800	6	24	20	400	2
8	20	700	6	25	20	500	2
9	40	700	6	26	30	500	4
10	20	600	6	27	30	500	8
11	20	800	6	28	30	700	4
12	40	600	6	29	30	700	8
13	40	800	6	30	40	700	4
14	20	500	6	31	40	800	4
15	20	900	6	32	40	600	4
16	20	400	6	33	20	300	2
17	20	300	6	34	30	700	2

Σχήμα 4.11 : Δοκίμιο CuSn6 και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

Στο σχήμα 4.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται τέσσερα διαγράμματα, ένα για κάθε πάχος στρώματος που επιλέχθηκε, δηλαδή 2, 4, 6, 8 μm, στον άξονα Y είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, στον άξονα X η ταχύτητα χάραξης και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία συχνότητα από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.12 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – ταχύτητας χάραξης για συχνότητες 20, 30, 40 kHz

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, μπορεί να επιτευχθεί μικρή τιμή στην τραχύτητα της επιφάνειας χρησιμοποιώντας και τις τρεις συχνότητες, δηλαδή 20, 30, 40 kHz καθώς και ένα αρκετά μεγάλο εύρος ταχυτήτων χάραξης σε κάθε συχνότητα. Είναι εμφανές ακόμα, ότι για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης σε κάθε συχνότητα, το πάχος στρώματος που αφαιρείται δεν επηρεάζει σημαντικά την τραχύτητα της επιφάνειας.

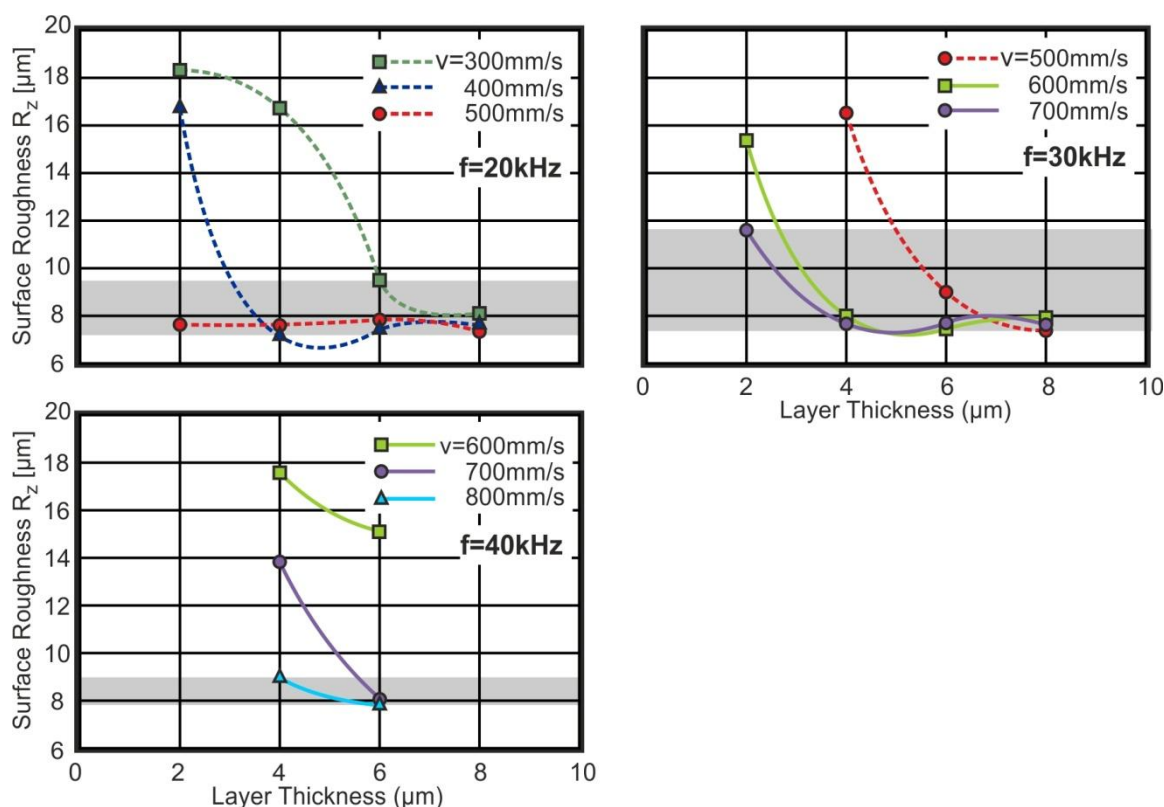
Πιο συγκεκριμένα, στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 2 μm και στις δύο συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή 20 kHz και 30 kHz, είναι εμφανές ότι οι τιμές της τραχύτητας είχαν πτωτικές τάσεις, καθώς η ταχύτητα χάραξης αυξανόταν.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται σχεδόν και στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 4 μm.

Αντίθετα, στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 6 μm, εκτός από μία περίπτωση, για όλες τις συχνότητες και ταχύτητες χάραξης που χρησιμοποιήθηκαν, οι τιμές της τραχύτητας παρέμειναν μικρές και με μικρές διακυμάνσεις.

Ακριβώς το ίδιο συνέβη και στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 8 μm, όπου σε όλες τις συχνότητες και τις ταχύτητες χάραξης που χρησιμοποιήθηκαν, οι τιμές της τραχύτητας παρέμειναν μικρές και με σχεδόν αμελητέες διακυμάνσεις.

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.13 παρουσιάζονται τρία διαγράμματα, για κάθε συχνότητα αντίστοιχα, όπου στον άξονα Y είναι η τραχύτητα επιφάνειας, στον X το πάχος στρώματος που αφαιρείται και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα χάραξης. Στα διαγράμματα αυτά τοποθετηθήκαν μόνο τρεις ταχύτητες χάραξης, εκείνες για τις οποίες βρέθηκαν οι μικρότερες τιμές τραχύτητας.



Workpiece material: **CuSn6**

Σχήμα 4.13 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – πάχους στρώματος για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης

Να σημειωθεί ότι για συχνότητα 40 kHz, δεν υπήρχε η δυνατότητα να γίνει χάραξη με μεγάλες ταχύτητες για στρώμα πάχους 8 μm, παρά μόνο για πολύ χαμηλές ταχύτητες χάραξης (που όμως εμφάνιζαν υψηλότερες τιμές τραχύτητας), καθώς η ισχύς της Lasertec 40, δεν επαρκούσε για την αφαίρεση τέτοιου πάχους στρώματος στο συγκεκριμένο υλικό.

Όπως φάνηκε και στο σχήμα 5.12, ο μπρούτζος CuSn6 εμφάνισε μια ιδιαίτερη συμπεριφορά. Στο διάγραμμα για συχνότητα 20 kHz, όταν χρησιμοποιούνται οι ταχύτητες 300 mm/s και 400 mm/s, η τραχύτητα μειώνεται, καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος, ενώ παραμένει σχεδόν σταθερή όταν η ταχύτητα χάραξης είναι 500 mm/s. Αντίθετα, στο διάγραμμα για συχνότητα 30 kHz και για τις τρεις ταχύτητες που χρησιμοποιήθηκαν, η τραχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος. Το ίδιο συμβαίνει και στο διάγραμμα για συχνότητα 40 kHz για τις αντίστοιχες ταχύτητες που χρησιμοποιήθηκαν.

4.5 Χαλκός

4.5.1 Ιδιότητες και χρήσεις

Το χημικό στοιχείο χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546 . Έχει θερμοκρασία τήξης 1084,6 °C και θερμοκρασία βρασμού 2567 °C. Το σύμβολό του είναι Cu. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός.

Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα (ερυθρό του χαλκού) και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2.5-3 στην Κλίμακα Mohs δύστηκτος (σ.τήξεως 1084,6° C, σημείο βρασμού 2562° C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα, τον οποίο αποβάλλει ψυχόμενος, δεν μπορούν να κατασκευασθούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει

μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού (φαινόμενο Galvani).

Ο χαλκός εμφανίζει δύο αριθμούς οξειδωσης (+1 και +2). Δεν είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο γι' αυτό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως αναγωγικό. Στον ατμοσφαιρικό αέρα καλύπτεται αρχικά από οξειδίο του, το οποίο, με το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό χαλκό, προσδίνοντάς του πρασινωπό χρώμα. Αντιδρά με οξυγόνο, θείο και αλογόνα προς τις αντίστοιχες ενώσεις. Δεν προσβάλλεται από αραιά οξέα ούτε από πυκνό θειικό οξύ, προσβάλλεται από το νιτρικό οξύ (HNO_3).

Ο χαλκός σήμερα χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, όπου κατασκευάζονται πάσης φύσεως αγωγοί (καλώδια), ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, πηνία, ηλεκτρομαγνήτες πάσης φύσεως για ηλεκτροκινητήρες και γεννήτριες κτλ. Χρησιμοποιείται, επίσης, στις κατασκευές κυματοαγωγών.

Ακόμα, λόγω του ότι ο χαλκός είναι βιοστατικό στοιχείο, έχει, δηλ., την ιδιότητα να παρεμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά του, χρησιμοποιείται για την κατασκευή βιοστατικών ινών, για πόμολα θυρών και φίλτρων σε κλιματιστικά, ιδιαίτερα σε νοσοκομειακές εγκαταστάσεις. Παλαιότερα είχε χρησιμοποιηθεί και στην ναυπηγική, επειδή δεν επέτρεπε την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών στα ύφαλα των πλοίων. Επίσης, χρησιμοποιείται στην κατασκευή κτιρίων χρησιμοποιείται για στέγες και σωληνώσεις. Στις εφαρμογές του σε σωληνώσεις στα κτίρια περιλαμβάνονται εκτός από αυτές μεταφοράς θερμού ή ψυχρού νερού οικιακής χρήσης υπό πίεση, επίσης οι σωληνώσεις κεντρικής θέρμανσης με θερμαντικά σώματα με ακτινοβολία, οι σωληνώσεις θέρμανσης δαπέδων καθώς και οι σωληνώσεις φυσικού αερίου ή φωταερίου και είναι βασικό συστατικό στην κατασκευή νομισμάτων (κερμάτων).

4.5.2 Πειραματική διαδικασία χαλκού

Στον χαλκό το εύρος των τιμών των παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με το εγχειρίδιο είναι: Συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 200 – 500 mm/s και πάχος στρώματος υλικού που αφαιρείται 1 - 6 μm . Βέβαια και εδώ στα πλαίσια της εύρεσης της μικρότερης τιμής της τραχύτητας επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές εκτός του προτεινόμενου εύρους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

- Συχνότητα: 20 – 30 kHz
- Ταχύτητα χάραξης: 400 – 900 mm/s
- Πάχος στρώματος: 2 – 6 μm

Να σημειωθεί ότι για συχνότητα 40 kHz για όλες τις ταχύτητες χάραξης και πάχη στρώματος, καθώς και για συχνότητα 30 kHz αλλά μόνο για πάχος στρώματος 6 μm , η Lasertec 40 δεν είχε την δυνατότητα να χαράξει, καθώς η ισχύς της δεν επαρκούσε για να γίνει η χάραξη με τις συγκεκριμένες παραμέτρους, για το συγκεκριμένο υλικό.

Στο σχήμα 4.14 παρουσιάζεται το δοκίμιο του χαλκού, πάνω στο οποίο έγιναν τα πειράματα και οι κύκλοι που χαράχθηκαν πάνω στο δοκίμιο με διαφορετικές παραμέτρους ο καθένας και στην συνέχεια μετρήθηκε η τραχύτητα τους. Οι κύκλοι είναι αριθμημένοι και από δίπλα παρουσιάζεται ένας πίνακας στο οποίο αναφέρονται οι παράμετροι με τις οποίες χαράχθηκε κάθε ένας από αυτούς.

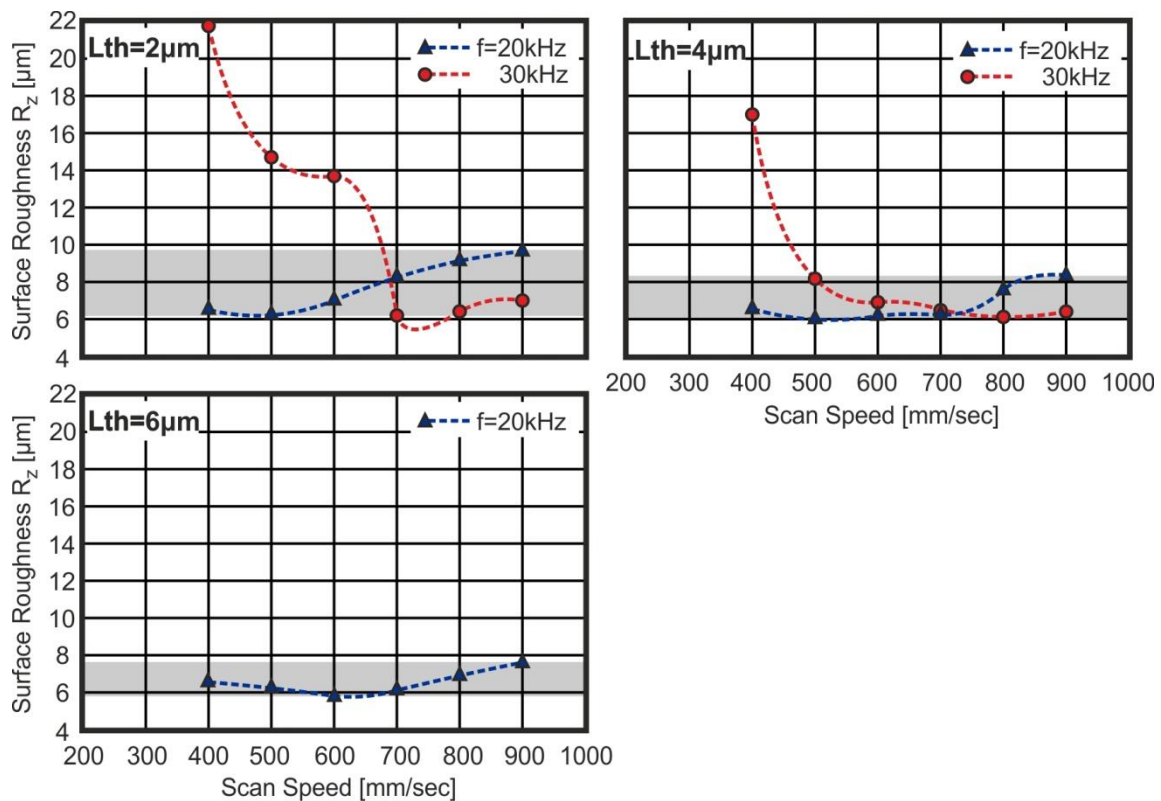


	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
1	30	500	2
2	30	500	4
3	30	600	4
4	30	400	4
5	30	400	2
6	30	600	2
7	20	500	2
8	20	500	4
9	20	500	6
10	20	400	4
11	20	600	4
12	30	700	2
13	30	700	4
14	30	800	2
15	30	800	4

	Συχνότητα	Ταχύτητα	Πάχος στρώμ.
A	f (kHz)	v (mm/s)	L.th. (μm)
16	20	400	2
17	20	400	6
18	20	600	2
19	20	600	6
20	30	900	2
21	30	900	4
22	20	700	2
23	20	700	4
24	20	700	6
25	20	800	2
26	20	800	4
27	20	800	6
28	20	900	2
29	20	900	4
30	20	900	6

Σχήμα 4.14 : Δοκίμιο χαλκού και πίνακας παραμέτρων κάθε κύκλου

Στο σχήμα 4.15 που ακολουθεί παρουσιάζονται τρία διαγράμματα, ένα για κάθε πάχος στρώματος που επιλέχθηκε, δηλαδή 2, 4, 6 μm , στον άξονα Y είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, στον άξονα X η ταχύτητα χάραξης και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία συχνότητα από τις δύο που χρησιμοποιήθηκαν.



Workpiece material: **Copper**

Σχήμα 4.15 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – ταχύτητας χάραξης για συχνότητες 20, 30 kHz

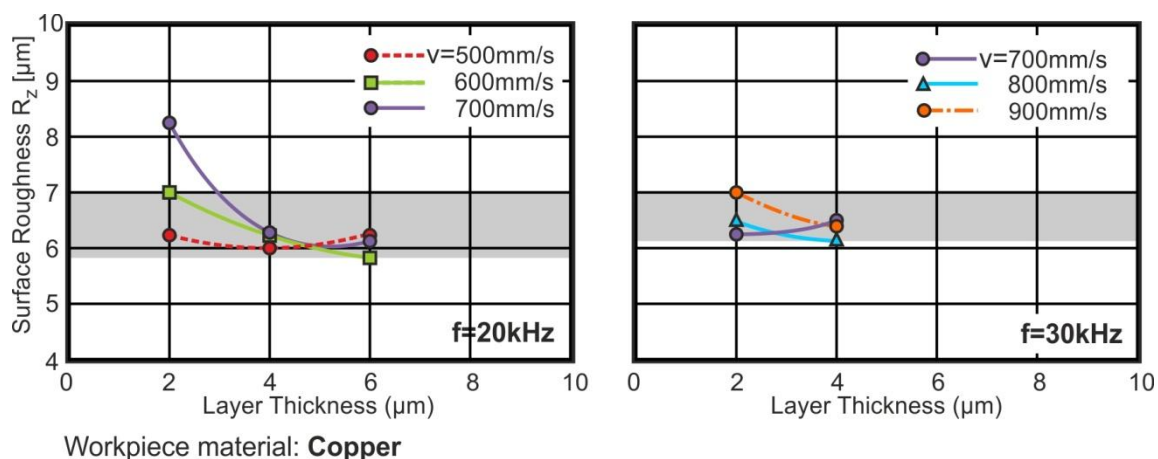
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ο χαλκός παρουσιάζει ιδιαίτερη συμπεριφορά και εμφανίζονται ελάχιστες τιμές τραχύτητας και για τις δύο συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν και σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος ταχυτήτων χάραξης, αλλά είναι προφανές από τα διαγράμματα ότι μπορούν να επιτευχθούν μικρές τιμές τραχύτητας, αν χρησιμοποιηθεί συχνότητα 20 kHz, ταχύτητα χάραξης 500 – 700 mm/s και πάχος στρώματος 4 μm ή 6 μm .

Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα για πάχος 2 μm , όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz, η τραχύτητα αυξάνεται σταδιακά με μικρό σχετικά ρυθμό, από ταχύτητα χάραξης 400 mm/s έως 900 mm/s. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 30 kHz, η τραχύτητα μειώνεται σημαντικά για ταχύτητα χάραξης 400 mm/s έως 700 mm/s, ενώ από εκεί και έπειτα αυξάνεται ελάχιστα.

Στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 4 μm , όταν χρησιμοποιείται συχνότητα 20 kHz και για μικρές ταχύτητες, η τραχύτητα έχει μικρές τιμές, ενώ αυξάνεται ελάχιστα καθώς η ταχύτητα χάραξης αυξάνεται πάνω από 800 mm/s. Αντίθετα, για συχνότητα 30 kHz η τραχύτητα μειώνεται ραγδαία από ταχύτητα χάραξης 400 mm/s σε 500 mm/s και από εκεί και έπειτα μειώνεται ελάχιστα μέχρι 700 mm/s και παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι την ταχύτητα χάραξης 900 mm/s.

Στο διάγραμμα για πάχος στρώματος 6 μm έχουμε μόνο καμπύλη για την συχνότητα 20 kHz, καθώς για συχνότητα 30 kHz η μηχανή δεν έχει την δυνατότητα να χαράξει με πάχος στρώματος 6 μm . Η τραχύτητα λοιπόν εδώ παραμένει σχεδόν σταθερή για ταχύτητες χάραξης από 400 – 700 mm/s, ενώ αυξάνεται ελάχιστα από εκεί και πάνω.

Στην συνέχεια, στο σχήμα 4.16 παρουσιάζονται δύο διαγράμματα, για κάθε συχνότητα αντίστοιχα, όπου στον άξονα Υ είναι η τραχύτητα επιφάνειας, στον Χ το πάχος στρώματος που αφαιρείται και κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα χάραξης. Στα διαγράμματα αυτά τοποθετηθήκαν μόνο τρεις ταχύτητες χάραξης, εκείνες για τις οποίες βρέθηκαν οι μικρότερες τιμές τραχύτητας.



Σχήμα 4.16 : Διαγράμματα τραχύτητας επιφάνειας – πάχους στρώματος για δεδομένες τιμές ταχύτητας χάραξης

Στο διάγραμμα για συχνότητα 20 kHz, για την ταχύτητα 500 mm/s, η τραχύτητα παραμένει σχεδόν σταθερή καθώς μεταβάλλεται το πάχος στρώματος, ενώ για τις ταχύτητες χάραξης 600 mm/s και 700 mm/s, η τραχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται το πάχος στρώματος. Για συχνότητα 30 kHz, ο αριθμός των πειραμάτων για την συγκεκριμένη συχνότητα δεν επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων από το συγκεκριμένο διάγραμμα.

5. ΣΥΝΟΨΗ

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας και την μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, επιβεβαιώνεται πως οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην χάραξη με Laser επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την τραχύτητα της τελικής επιφάνειας. Επίσης, η τραχύτητα της επιφάνειας με την χρησιμοποίηση συγκεκριμένων παραμέτρων διαφέρει από υλικό σε υλικό. Για την επίτευξη δηλαδή της μικρότερης τραχύτητας, ή αλλιώς της καλύτερης ποιότητας επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές παράμετροι για κάθε υλικό.

Ανακεφαλαιώνοντας, για το αλουμίνιο 7075 – T6, για επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή τραχύτητα στην τελική επιφάνεια θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συχνότητα 20 kHz, η ταχύτητα χάραξης θα πρέπει κυμαίνεται μεταξύ 500 – 600 mm/s και το πάχος στρώματος αφαίρεσης του υλικού να είναι 6 μm .

Για το αλουμίνιο 6063, οι ιδανικές παράμετροι που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος, θα πρέπει να είναι: συχνότητα 20 kHz και ταχύτητα χάραξης 500 – 700 mm/s, ενώ το πάχος στρώματος 6 μm .

Όσον αφορά τον ορείχαλκο MS58, για την επίτευξη μικρής τραχύτητας στην επιφάνεια, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συχνότητα 20 kHz, ταχύτητα χάραξης 400 – 600 mm/s, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρία πάχη στρώματος αφαίρεσης υλικού, 2, 4, 6 μm .

Για τον φωσφορούχο μπρούτζο CuSn6, πολλοί συνδυασμοί παραμέτρων έχουν ως αποτέλεσμα μικρή τραχύτητα στην τελική επιφάνεια. Αν χρησιμοποιηθεί συχνότητα 20 kHz, με ταχύτητα χάραξης 400 – 500 mm/s και πάχος στρώματος 4, 6, 8 μm επιτυγχάνεται μικρή τραχύτητα. Όπως και αν χρησιμοποιηθεί συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 600 – 700 mm/s και πάχος στρώματος 4, 6, 8 μm . Και για συχνότητα 40 kHz, καλό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με ταχύτητα χάραξης 700 – 800 mm/s και πάχος στρώματος 6 μm .

Και τέλος για τον χαλκό, μικρή τραχύτητα στην τελική επιφάνεια επιτυγχάνεται αν χρησιμοποιηθεί συχνότητα 20 kHz, ταχύτητα χάραξης 500 – 700 mm/s και πάχος στρώματος 4, 6 μm ή συχνότητα 30 kHz, ταχύτητα χάραξης 700 – 900 mm/s και πάχος στρώματος αφαίρεσης υλικού 2, 4 μm .

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ. Μήτσου, Γενικές ιδιότητες των Laser – Σύγκριση με συμβατικές πηγές φωτός.
2. Andreeta, M. R. B.; Cunha, L. S.; Vales, L. F.; Caraschi, L. C.; Jasinevicius, R. G. (2011). "Bidimensional codes recorded on an oxide glass surface using a continuous wave CO₂ laser".
3. J. Qi, K.L.Wang, Y.N. Zhu. *A study on the Laser marking process of stainless steel*. Journal of Materials Technology 139 (2003), 273-276.
4. Cheng-Jung Lin, Yi-Chung Wang, Lang-Dong Lin, Chyi-Rong Chiou, Ya-Nan Wang και Ming-Jer Tsai. *Effects of feed ratio and Laser power on engraved depth and color differences of Moso bamboo lamina*. Journal of Materials Processing Technology 198 (2008), 419-425.
5. C. Leone, V. Lopresto και I. De Iorio. *Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green Laser*. Optics and Laser in Engineering 47 (2009), 161-168.
6. S. Genna, C. Leone, V. Lopresto, L.Santo, F. Trovalusci. *STUDY OF FIBRE LASER MACHINING OF C45 STEEL : INFLUENCES OF PROCESS PARAMETERS ON MATERIAL REMOVAL RATE AND ROUGHNESS*. Int J Mater Form (2010) Vol 3, 1115-1118.
7. P.M. Harrison, J. Wendland και M. Henry. *LASER ENGRAVING REFLECTIVE METALS TO CREATE SCANNER READABLE BARCODES*. Paper P515.
8. C. Leone, S. Genna, G. Caprino, I. De Iorio. *AISI 304 stainless steel marking by a Q-switched diode pumped Nd:YAG Laser*. Journal of Materials Processing Technology 210 (2010), 1297-1303.
9. Χρυσουλάκης Γ., Παντελής Δ., Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996
10. T Hashimoto, S Jyogan (Showa Aluminium), K Nakata, Y G Kin and M Ushio (Osaka University): FSW joining of high strength Al alloy
11. J. R. Davis et al. (editors), *Metals Handbook*, vol. 2, *Properties of Non-ferrous Alloys*, 10th edition, ASM International, Materials Park, Ohio, USA
12. O. D. Sherby and J. Wadsworth, "Ancient blacksmiths, the Iron Age, Damascus steels, and modern metallurgy", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 117, no. 3, pp. 347–353 (2001).
13. Savage, George, "A Concise History of Bronzes", Frederick A. Praeger, Inc. Publishers, New York, 1968.
14. Caleb Hornbostel, *Construction Materials: Types, Uses and Applications, Second Edition* (New York: John Wiley & Sons, 1991).