



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΟΠΩΝ (kerfs) ΣΤΗ ΧΑΡΑΞΗ ΜΕ LASER (Laser Engraving)



ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 39

ΧΑΝΙΑ 2014

*Αφιερωμένη στους γονείς μου,
Παναγίωτη και Κατερίνα.*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την ομάδα του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης για την πολύτιμη βοήθεια, καθώς και τον κύριο Αντωνιάδη για την αστείρευτη υπομονή του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ	6
2.1 Χάραξη με Laser- Laser Engraving	6
2.2 Μηχανές Laser- Hardware	12
2.3 Έρευνα	19
2.4 Kerfs-Εγκοπές	20
3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	22
3.1 Lasertec 40	22
3.2 Τραχύμετρο-DiaviteCompact	23
3.3 Στερεοσκόπιο-LeicaM125	24
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	25
4.1 Εισαγωγή	25
4.2 Αλουμίνιο	25
4.3 Κοινός Χάλυβας	29
5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	32
5.1 Αλουμίνιο 7076 T6	32
5.2 Ανοξείδωτος χάλυβας 316	38
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	46
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

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 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, ιατρική, αυτοκινητοβιομηχανία, 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 του πλάτους των εγκοπών (kerfs). Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η συχνότητα παλμού, η ταχύτητα χάραξης και το πάχος στρώματος του υλικού που αφαιρεί το Laser.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

2.1 Laser engraving- Χάραξη με Laser

Το Laser είναι μονοχρωματική ενισχυμένη ακτίνα φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Παράγεται από μία πηγή (γεννήτρια) που εκπέμπει ακτινοβολία (φως, στο υπέρυθρο φάσμα) που είναι σύμφωνη (χωρίς διαφορά φάσης), πολωμένη, μονοχρωματική (δηλαδή φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος/χρώμα) η οποία διαδίδεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σχηματίζοντας στενές δέσμες. Γενικά είναι ακτινοβολία συγκεκριμένων, πολύ γειτονικών, συχνοτήτων. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και λέιζερ που εκπέμπουν πλατύ φάσμα συχνοτήτων ή πολλές διαφορετικές μεμονωμένες συχνότητες συγχρόνως.

Πολλοί κοινοί μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη κατασκευή μικροσκοπικών εξαρτημάτων. Η κατεργασία με τη βοήθεια Laser είναι η πιο ισχυρή τεχνική στην ακριβή επεξεργασία υλικού όταν συγκρίθηκε με συμβατικές μεθόδους. Τα συστήματα laser χρησιμοποιούνται κυρίως για ακριβή μηχανική κατεργασία, κοπή, διάτρηση, σήμανση, χάραξη. Το Laser χρησιμοποιείται για την χάραξη μεταλλικών επιφανειών και για την αφαίρεση υλικού γρηγορότερα και βαθύτερα από ότι άλλες συμβατικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή τμημάτων με πολύπλοκη γεωμετρία. Η τεχνική αυτή δεν περιλαμβάνει χρήση μελανιών, καθώς και κοπτικών εργαλείων τα οποία έρχονται σε επαφή με την χαρασσόμενη επιφάνεια και φθείρονται.

Ο όρος χάραξη με laser χρησιμοποιείται επίσης ως γενικός όρος που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από επιφανειακές τεχνικές, όπως εκτύπωση και συγκόλληση με laser. Η τεχνολογία κοπής με Laser παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ακρίβεια. Είναι η μοναδική τεχνολογία που επιτρέπει κοπή ή χάραξη πολύπλοκων σχημάτων
- Εξαιρετική ποιότητα κοπής
- Μικρό πλάτος ίχνους κοπής (Kerf)
- Μεγάλη ταχύτητα κοπής
- Πολύ μικρή ζώνη θερμικού φορτίου σε σύγκριση με άλλες τεχνικές θερμικής κοπής
- Πολύ μικρή εφαρμογή θερμότητας, και αυτή πολύ κοντά στο ίχνος κοπής, με αποτέλεσμα μικρότερη παραμόρφωση του κομμένου υλικού
- Κοπή πολλών διαφορετικών τύπων υλικών
- Κοπή και χάραξη με το ίδιο εργαλείο
- Δυνατότητα κοπής σύνθετων γεωμετρικών σχημάτων, μικρών οπών και φρεζαριστών κοπών
- Καμία επαφή ανάμεσα στο υλικό και το εργαλείο διαμόρφωσής του, επομένως εφαρμογή μηδενικών δυνάμεων στο αντικείμενο που κατεργάζεται
- Εύκολος και άμεσος έλεγχος της ισχύος του λέιζερ σε πλατύ φάσμα ((1-100%) που κάνει δυνατή την μείωση της ισχύος όταν επεξεργάζονται απότομες και πολύ μικρές γωνίες
- Το επίστρωμα οξειδίων στην επιφάνεια κοπής, όταν κατεργάζεται με πυρσό λέιζερ, είναι πολύ λεπτό και εύκολα αφαιρούμενο
- Κατεργασία λέιζερ με υψηλής πίεσης άζωτο κάνει δυνατή τη κοπή χωρίς οξειδώσεις

Μια μηχανή χάραξης με laser μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τρία κύρια μέρη: ένα laser, έναν ελεγκτή και μια επιφάνεια. Το laser είναι σαν ένα μολύβι, η δέσμη που εκπέμπεται από αυτό επιτρέπει στον ελεγκτή να εντοπίσει μοτίβα πάνω στην επιφάνεια. Ο

ελεγκτής (συνήθως ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής) ελέγχει την κατεύθυνση, την ένταση, την ταχύτητα κίνησης και την διάδοση της δέσμης laser που στοχεύει την επιφάνεια. Η επιφάνεια διαλέγεται με βάση το Laser που ενεργεί.

Υπάρχουν τρία κύρια είδη μηχανών χάραξης. Η πιο συνηθισμένη είναι ο πίνακας XY όπου συνήθως το αντικείμενο εργασίας (επιφάνεια) είναι σταθερό και η δέσμη laser κινείται με κατεύθυνση γύρω από το X και Y. Κάποιες φορές είναι σταθερό το τεμάχιο και κινείται η δέσμη του laser στον άξονα X, Y. Ένα δεύτερο είδος είναι για κυλινδρικά τεμάχια (ή επίπεδα τεμάχια τοποθετημένα γύρω από έναν κύλινδρο), όπου το laser σχηματίζει έναν λεπτό έλικα και οι παραγόμενοι παλμοί laser σχηματίζουν την επιθυμητή εικόνα. Κατά την τρίτη μέθοδο, τόσο η δέσμη του laser όσο και το τεμάχιο είναι ακίνητα, και κάτοπτρα τύπου galvo μετακινούν την δέσμη laser πάνω από την επιφάνεια του αντικειμένου.

Το σημείο όπου το laser (οι όροι laser και ακτίνα laser μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξίσου) αγγίζει την επιφάνεια θα πρέπει να είναι στο εστιακό επίπεδο του οπτικού συστήματος του laser. Αυτό το σημείο είναι τυπικά μικρό, ίσως λιγότερο από ένα κλάσμα του χιλιοστού (ανάλογα με το οπτικό μήκος κύματος). Μόνο η περιοχή μέσα σε αυτό το σημείο εστίασης επηρεάζεται σημαντικά όταν η δέσμη laser περνάει πάνω από την επιφάνεια. Η ενέργεια που παρέχεται από το laser τροποποιεί την επιφάνεια του υλικού κάτω από το εστιακό σημείο, θερμαίνοντας την στην συνέχεια το υλικό εξαχνώνεται. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο αφαιρείται το υλικό από την επιφάνεια και δημιουργείται η χάραξη.

Εάν το υλικό της επιφάνειας εξατμίζεται κατά την διάρκεια της χάραξης, τότε είναι απαραίτητη η χρήση εξαερισμού μέσω φυσητήρων ή μιας αντλίας κενού για την απομάκρυνση των βλαβερών καπνών που παράγονται κατά την διαδικασία, καθώς και για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων στην επιφάνεια για να επιτρέψει στο laser να συνεχίσει την χάραξη.

Ένα laser μπορεί να αφαιρέσει υλικό πολύ αποτελεσματικά, επειδή η δέσμη laser μπορεί να σχεδιαστεί για να παρέχει ενέργεια προς την επιφάνεια κατά τρόπο τέτοιο που να μετατρέπει ένα μεγάλο ποσοστό της φωτεινής ενέργειας σε θερμότητα. Η δέσμη είναι εξαιρετικά συγκεντρωμένη και ευθυγραμμισμένη. Στα περισσότερα μη-ανακλαστικά υλικά όπως πλαστικό, ξύλο, σμάλτο, η μετατροπή της φωτεινής δέσμης σε θερμότητα είναι περισσότερο αποτελεσματική. Ωστόσο, λόγω της απόδοσης αυτής, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε χάραξη με laser μπορεί να θερμανθεί αρκετά γρήγορα και απαιτούνται περίτεχνα συστήματα ψύξης. Εναλλακτικά, η δέσμη laser μπορεί να πάλλεται για να μειωθεί η ποσότητα της υπερβολικής θέρμανσης.

Προγραμματίζοντας τον ελεγκτή έτσι ώστε η δέσμη laser να διασχίζει μια συγκεκριμένη διαδρομή κατά την πάροδο του χρόνου μπορούν να χαραχθούν διαφορετικά patterns. Το ίχνος της δέσμης ρυθμίζεται προσεκτικά για να επιτευχθεί ένα σταθερό βάθος αφαίρεσης υλικού, όπως και η ταχύτητα με την οποία μετακινείται η δέσμη κατά μήκος του υλικού, ενώ τροποποιώντας την ένταση και την εξάπλωση της δέσμης επιτρέπεται μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό. Για παράδειγμα, αλλάζοντας το ποσοστό του χρόνου (γνωστό ως κύκλο λειτουργίας) το laser είναι ενεργοποιημένο κατά την διάρκεια κάθε παλμού και η ισχύς που μεταδίδεται στην επιφάνεια χάραξης μπορεί να ελέγχεται κατάλληλα για το υλικό. Δεδομένου ότι είναι η ακριβής θέση του laser γνωστή από τον ελεγκτή, δεν είναι απαραίτητο να προστεθούν φραγμοί στην επιφάνεια για να αποτρέψουν το Laser από το να παρεκκλίνει από το καθορισμένο μοτίβο χάραξης.

Ένα παράδειγμα όπου η τεχνολογία χάραξης με laser έχει υιοθετηθεί στον βιομηχανικό κλάδο είναι η γραμμή παραγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση, η δέσμη Laser κατευθύνεται προς ένα περιστρεφόμενο ή δονούμενο κάτοπτρο. Το κάτοπτρο κινείται με τρόπο ώστε να μπορούν να εντοπισθούν αριθμοί και γράμματα πάνω στην χαρασσόμενη επιφάνεια. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την χάραξη κωδικών, ημερομηνιών λήξεως, καθώς και αρίθμηση παρτίδων των προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής. Η χάραξη με laser επέτρεψε σε υλικά από πλαστικό και γυαλί να χαράσσονται εν κινήσει. Η περιοχή όπου πραγματοποιείται η χάραξη ονομάζεται σταθμός σήμανσης με laser, και βρίσκεται συχνά σε μονάδες συσκευασίας και εμφιάλωσης. Παλαιότερες πιο αργές τεχνολογίες, όπως η σφράγιση και η εκτύπωση rad, έχουν καταργηθεί σε μεγάλο βαθμό και έχουν αντικατασταθεί με χάραξη με laser.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιείται ένα τραπέζι (X,Y) που είναι μια εξελιγμένη εγκατάσταση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση της δέσμης laser. Το laser είναι συνήθως μόνιμα απέναντι από το τραπέζι και εκπέμπει φως προς ένα ζεύγος κινητών κατόπτρων, έτσι ώστε να μπορεί να σαρώνεται κάθε σημείο του τραπεζιού. Στο σημείο χάραξης, η δέσμη laser εστιάζεται μέσω ενός φακού στην επιφάνεια, επιτρέποντας να χαράσσονται πολύ ακριβή και περίπλοκα σχέδια.

Για επιφάνειες που ποικίλουν σε ύψος, έχουν αναπτυχθεί περισσότερο πολύπλοκοι μηχανισμοί εστίασης. Μερικοί είναι γνωστοί ως δυναμικά συστήματα αυτόματης εστίασης. Ρυθμίζουν τις παραμέτρους του laser σε πραγματικό χρόνο για να προσαρμόζονται στις αλλαγές του υλικού καθώς αυτό χαράσσεται. Τυπικά, το ύψος και το βάθος της επιφάνειας παρακολουθείται με άλλες συσκευές εντοπισμού όπως υπερήχους, υπέρυθρες ή ορατό φως. Οι συσκευές αυτές βοηθούν στη καθοδήγηση και προσαρμογή του φακού laser για τον προσδιορισμό του βέλτιστου σημείου της επιφάνειας που πρέπει να εστιάσει για την αποτελεσματική απομάκρυνση του υλικού.

2.1.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την Κοπή Λέιζερ

Τα παρακάτω σημεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για να επιτευχθούν καλά αποτελέσματα κοπής:

- Η Ισχύς του Λέιζερ
- Η συχνότητα Παλμών
- Τύπος και πίεση του αερίου κοπής
- Διάμετρος και τύπος του ακροφυσίου (μπεκ)
- Απόσταση μεταξύ του μπεκ κοπής και της επιφάνειας του υλικού που κόβουμε
- Εστιακή απόσταση των Οπτικών Εστίασης
- Η θέση της Εστίας
- Η ταχύτητα κοπής
- Η επιταχύνσεις του συστήματος
- Το υλικό
- Η επιφάνεια που κατεργάζεται
- Το σχήμα του κομματιού που κατεργάζεται
- Το πάχος του φύλλου που κατεργάζεται
- Η στήριξη του φύλλου που κατεργάζεται

Η ισχύς του laser πρέπει να προσαρμόζεται στον τύπο και το πάχος του αντικειμένου που κατεργάζεται. Η μείωση της ισχύος μπορεί να είναι αναγκαία για να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια όταν επεξεργάζονται πολύπλοκα σχήματα ή πολύ μικρά κομμάτια. Αντιθέτως,

ισχύς Λέιζερ τουλάχιστον 1000 W είναι απαραίτητη για να κοπεί φύλλο ανθρακούχου χάλυβα παχύτερο από 8mm.

Όπως συμβαίνει και με την ισχύ, έτσι και η συχνότητα παλμών πρέπει να ταιριάζει με την ειδική κάθε φορά εργασία κοπής. Για παράδειγμα, συνιστάται η κοπή των μικρών σχημάτων να γίνεται με μειωμένη συχνότητα παλμών. Η συχνότητα παλμών μειώνεται όταν πραγματοποιείται διάτρηση. Η διάτρηση μπορεί να γίνει με πλήρη ισχύ ή σιγά-σιγά χρησιμοποιώντας την «τεχνική της ράμπας» (Ramp Mode). Με αυτή την μέθοδο η ισχύς του laser αυξάνει σιγά-σιγά, διατηρείται σταθερή μέχρι να ολοκληρωθεί η διάτρηση, και μετά βαθμιαία ξαναπέφτει.

Ο τύπος του αερίου και οι απαιτήσεις της ποιότητας κοπής είναι παράγοντες αποφασιστικοί για τον τύπο του αερίου που θα χρησιμοποιηθεί. Εύφλεκτα υλικά, όπως το ξύλο, δεν μπορούν π.χ., να κοπούν με οξυγόνο, αφού το κατεργαζόμενο κομμάτι θα έπιανε φωτιά. Το Οξυγόνο θα έπρεπε να χρησιμοποιείται μόνο σε μεταλλικά κομμάτια με επιφάνεια κοπής απαλλαγμένη από οξειδία. Το Οξυγόνο δημιουργεί μία λεπτή επιφάνεια οξείδωσης κατά την εξώθερμη καύση του υλικού. Όταν κόβονται μεταλλικά αντικείμενα με πυρσό laser (Β' Μέθοδος Κοπής Κοπή Οξείδωσης), η ποιότητα του Οξυγόνου που χρησιμοποιείται είναι αποφασιστικός παράγοντας για την ποιότητα κοπής. Ίχνη υγρασίας ή αζώτου οδηγούν στην δημιουργία γρεζιού. Αυτή η μόλυνση του αερίου με ξένες ουσίες μπορεί να γίνει κατά την αντικατάσταση της φιάλης και την σύνδεση με όχι απόλυτα καθαρές φιάλες. Για αυτό προτιμάται η χρήση Οξυγόνου από δεξαμενή και όχι από φιάλη. Συνιστώμενη καθαρότητα του Οξυγόνου: 99,95% (3,5). Όταν χρησιμοποιείται οξυγόνο καθαρότητας 99,5 (2,5) η ταχύτητα κοπής μειώνεται κατά περίπου 10%. Η ποιότητα του Αζώτου ως αερίου κοπής είναι επίσης πολύ σημαντική για την κοπή ανοξειδωτού χάλυβα με υψηλή πίεση. Ακόμα και ελάχιστα ίχνη οξυγόνου μπορούν να οδηγήσουν στον σχηματισμό ενός λεπτού στρώματος οξειδίου.

Το πάχος του φύλλου του υλικού που κατεργάζεται πρέπει να ταιριάζει με την πίεση του αερίου. Όταν χρησιμοποιείται πυρσός (Β' μέθοδος κοπής), τα λεπτά μεταλλικά κομμάτια κόβονται με υψηλότερη πίεση αερίου απ' ό,τι τα χοντρά. Η πίεση του αερίου πρέπει να ρυθμίζεται πολύ προσεκτικά, γιατί ακόμα και ελάχιστες αλλαγές στην πίεση του οξυγόνου επηρεάζουν την ποιότητα κοπής. Αν η πίεση είναι πολύ χαμηλή, τα υγρά προϊόντα της οξείδωσης παραμένουν στη βάση του υλικού που κατεργάζεται δημιουργώντας μόνιμο γρέζι που μερικές φορές ξανακλείνει το αυλάκι κοπής. Αν η πίεση είναι υπερβολικά υψηλή οι κάτω άκρες της κοπής καίγονται και τις περισσότερες φορές η εργασία αχρηστεύεται. Αντίθετα, με την κοπή υψηλής πίεσης τα παχύτερα αντικείμενα κόβονται με υψηλότερες πιέσεις αερίου.

Η επιλογή του σωστού μπεκ για κάθε κοπή είναι πολύ σημαντική. Για παράδειγμα, στην κοπή υψηλότερης πίεσης χρησιμοποιούνται μπεκ με μεγαλύτερο στόμιο απ' ό,τι στην κανονική κοπή. Παραμορφωμένο στόμιο, π.χ. σχήματος ωοειδούς μετά από κάποια σύγκρουση, έχει το ίδιο αποτέλεσμα με μία κακά εστιασμένη έκκεντρη ακτίνα λέιζερ, δηλαδή κοπή που έχει λάθη κατευθυντικότητας. Γενικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μπεκ που συνιστούν οι κατασκευαστές. Αν το μπεκ είναι λίγο μεγαλύτερο, η κοπή καταναλώνει περισσότερο αέριο, αλλά η ποιότητά της δεν επηρεάζεται αρνητικά σε αισθητό βαθμό.

Αν το μπεκ είναι πολύ μικρό, η κοπή δεν είναι καθαρή και τα υγρά οξείδια κολλάνε στην κάτω άκρη της επιφάνειας κοπής. Σε ακραίες περιπτώσεις η κοπή δεν ολοκληρώνεται και τα αντικείμενα παραμένουν ενωμένα με τη λαμαρίνα. Η απόσταση του μπεκ από την

επιφάνεια του φύλλου που επεξεργάζεται διατηρείται στην προγραμματισμένη τιμή με κάποιο σύστημα ελέγχου του ύψους χωρίς να έρχεται σε επαφή με το κομμάτι που επεξεργάζεται. Η απόσταση αυτή είναι πολύ σημαντική για την ποιότητα κοπής όταν πραγματοποιείται εργασία με λέιζερ. Κατ' αρχήν, όσο μικρότερη είναι, τόσο καλύτερα τα ποιοτικά αποτελέσματα κοπής. Όμως, για λόγους ασφαλείας των εργαλείων, μία ελάχιστη απόσταση, περίπου 0,65 mm, είναι συνετό να τηρείται.

Η ταχύτητα κοπής πρέπει να αντιστοιχεί στον τύπο και το πάχος του υλικού του αντικειμένου της κατεργασίας. Μικρότερη ή μεγαλύτερη ταχύτητα έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας κοπής, δημιουργία γρεζιού και μεγάλες γραμμές πάνω στην επιφάνεια κοπής, τις γραμμές υστέρησης, καθώς ο πυρσός απομακρύνεται από το σημείο κοπής γρηγορότερα απ' ό,τι θα χρειαζόταν για να την ολοκληρώσει.

Η επιτάχυνση είναι μία από τις παραμέτρους που απασχολούσαν τους χειριστές πολύ στο παρελθόν. Οι σύγχρονοι μηχανισμοί αυτόματου ελέγχου όμως, τα CNC, αναλαμβάνουν πλέον τον έλεγχο και ρυθμίζουν την επιτάχυνση αυτόματα.

2.1.2 Επίδραση του υλικού στην Κοπή Λέιζερ

Οι ιδιότητες των υλικών έχουν αποφασιστική επίδραση για την ευκολία κοπής με laser. Η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα και η ανακλαστικότητα είναι τρεις από αυτές. Αυτές οφείλονται στην σύνθεση των υλικών και τις μεθόδους παραγωγής τους. Παρακάτω παρουσιάζονται υλικά που μπορούν να χαραχθούν.

Φυσικά υλικά

Η χάραξη εικόνας σε ξύλο ήταν μερικές από τις πρώτες χρήσεις του laser. Η ισχύς του laser που απαιτείται σε αυτήν την περίπτωση είναι συχνά μικρότερη από 10 Watt, ανάλογα από το laser που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Σκληρά ξύλα όπως η καρυδιά, μαόνι και σφένδαμο παράγουν καλά αποτελέσματα. Τα κωνοφόρα μπορούν να χαραχθούν, αλλά έχουν την τάση να εξατμίζονται πριν από το επιθυμητό βάθος. Καίγοντας ένα μαλακό ξύλο με την χρήση ανεμιστήρα απαιτεί χαμηλότερη ισχύ, γρηγορότερη ταχύτητα κοπής και αρκετό αέρα για να σβήσει. Τα σκληρά χαρτιά καθώς και το δημοσιογραφικό χαρτί θεωρείται ως μαλακή ξυλεία ενώ η γούνα δεν μπορεί να χαραχθεί με laser. Ορισμένες ενώσεις λάτεξ μπορούν να χαραχθούν και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σφραγίδων. Κάποιες φορές χρησιμοποιείται χάρτινη κολλητική ταινία για τον καθαρισμό της ξυλίνης επιφάνειας που έχει χαραχθεί και έτσι αποφεύγεται η χρήση βερνικιού ή χημικών ουσιών.

Πλαστικά

Τα πλαστικά μπορούν να χαραχθούν με επιτυχία, αλλά πάντα συνίσταται η διεξαγωγή ενός πειράματος σε ένα μικρό δείγμα. Ο βακελίτης χαράσσεται εύκολα με laser, όπως και κάποια σκληρά πλαστικά. Πλαστικά με περιεκτικότητα σε χλώριο (βινύλιο, PVC) παράγουν διαβρωτικό αέριο χλωρίου, το οποίο όταν συνδυαστεί με το υδρογόνο στον αέρα δημιουργείται ατμοποιημένο υδροχλωρικό οξύ το οποίο μπορεί να βλάψει ένα σύστημα χάραξης με laser. Τα πλαστικά από σιλικόνη συνήθως δεν λειτουργούν καλά εκτός και αν εμπεριέχει κυτταρίνη, πέτρα ή κάποιο άλλο σταθερό μονωτικό υλικό.

Πολλοί διακόπτες από εταιρείες όπως η Lutron Leviton μπορούν να χαραχθούν με laser, αλλά και πάλι ο πειραματισμός είναι απαραίτητος έτσι ώστε να γίνουν οι σωστές ρυθμίσεις του laser και να μην καταλήξει να τήξει η επιφάνεια. Συχνά, η χάραξη ακολουθείται από βαφή, συμπληρώνοντας την χαραγμένη επιφάνεια ώστε να παράγει μεγαλύτερη αντίθεση

από την περιβάλλουσα επιφάνεια. Συνθετικά υλικά μπορούν να χαραχθούν αλλά και να κοπούν με laser, ωστόσο εκλύουν εξαιρετικά επικίνδυνες αναθυμιάσεις (κυανιούχο αέριο) όταν εξατμίζονται.

Μέταλλα

Τα καλύτερα μέταλλα θεωρούνταν να είναι τα κατάλληλα υλικά για χάραξη με laser αλλά στην πορεία αποδείχθηκε το αντίθετο. Αυτό το πρόβλημα έχει τώρα επιλυθεί χρησιμοποιώντας laser με μικρότερα μήκη κύματος από τα 10640nm που χρησιμοποιούσε η μηχανή τύπου CO₂. Τα μέταλλα τώρα μπορούν να χαραχθούν εύκολα χρησιμοποιώντας εμπορικά συστήματα και μηχανές όπως Yb:fiber laser, Nd:YVO₄ και Nd:YAG σε μήκος κύματος 1064nm.

Γυαλιστερές επιφάνειες, όπως για παράδειγμα τα φύλλα καθαρού αλουμινίου, αντανakλούν έντονα την ακτίνα laser και παρουσιάζουν, για αυτό το λόγο, φτωχά αποτελέσματα. Όταν πραγματοποιείται κοπή με laser, σημάδια και δίπλες ρολαρίσματος, ή σφραγίδες και βουλιάγματα του φύλλου αντανakλούν τις ακτίνες λέιζερ και την ροή του αερίου προς τυχαίες κατευθύνσεις. Αυτό είναι πιο έντονο όταν επεξεργάζεται μεγάλου πάχους λαμαρίνα και έχει ως αποτέλεσμα επιφάνειες κοπής με υπολείμματα και μειωμένη ταχύτητα / απόδοση της μηχανής .

Επικάλυψη με σπρέι και χρώμα ή πλαστικό φύλλο επηρεάζουν τα αποτελέσματα κοπής. Το ίδιο και η μη αποξειδωμένη (όχι πικλαρισμένη) επιφάνεια φύλλων λαμαρίνας θερμής έλασης. Αυτό γιατί τα σωματίδια των οξειδίων, διαφόρων μεγεθών, που καλύπτουν τη λαμαρίνα δεν επιτρέπουν στην ακτίνα να προσβάλλει κατ' ευθείαν την επιφάνεια. Το αέριο κοπής που περιβάλλει την ακτίνα υφίσταται και αυτό περίθλαση και απομακρύνεται προς διάφορες κατευθύνσεις.

Υπολείμματα κόκκων άμμου σε επιφάνειες που έχουν καθαριστεί με αμμοβολή εμποδίζουν την ακτίνα laser και το ανώμαλο πυραμιδοειδές σχήμα τους διαχέει το αέριο κοπής προς όλες τις κατευθύνσεις. Επιπρόσθετα, η άμμος περιέχει πυρίτιο που προκαλεί, και αυτό, προβλήματα όταν κόβουμε με λέιζερ. Η ανώμαλη επιφάνεια των ελασμάτων που έχουν δουλευτεί με κάποια τεχνική λείανσης μπορεί επίσης να δυσκολέψει την ανεμπόδιστη ροή του αερίου προς αυτήν. Μικρές στερεοποιημένες σφαίρες από πιτσιλίσματα λιωμένου υλικού κατά τη διαδικασία ξετρυπήματος έχουν την τάση να κολλάνε στην αμμοβολημένη ή αλλιώς κατεργασμένη επιφάνεια του ελάσματος και να προκαλούν ανωμαλίες στη διαδικασία κοπής ή, αν είναι λίγο μεγαλύτερα, όταν το μπεκ έρχεται σε επαφή μαζί τους και η διαδικασία εμποδίζεται.

Αντίθετα, το λεπτό προστατευτικό στρώμα λαδιού που συχνά υπάρχει στη λαμαρίνα δεν εμποδίζει τη διαδικασία κοπής. Η επίστρωση με λάδι έχει θετικά αποτελέσματα κατά τη διαδικασία της διάτρησης με το 100% της ισχύος του λέιζερ, γιατί μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωση πάνω στο φύλλο των πιτσιλισμάτων του υλικού.

Ανοξειδωτος χάλυβας πάχους μέχρι 3,2 mm με επικάλυψη πλαστικής μεμβράνης μπορεί να κοπεί χωρίς γρέζι με την μέθοδο της κοπής υψηλής πίεσης. Οι προϋποθέσεις είναι:

- Η μεμβράνη να είναι στην επάνω επιφάνεια του ελάσματος
- Να είναι αυτοκόλλητη μεμβράνη πολυαιθυλενίου πάχους 100 μm

Ο γαλβανισμένος χάλυβας μπορεί να κοπεί χωρίς γρέζι μέχρι πάχος 3,2 mm ακολουθώντας την μέθοδο Υψηλής Πίεσης. Οι προϋποθέσεις είναι:

- το στρώμα του γαλβανιού να έχει αποτεθεί ηλεκτρολυτικά
- πάχος στρώματος $60 \text{ g/m}^2 =$ περίπου $8 \text{ }\mu\text{m}$

Το σχήμα του αντικειμένου που επεξεργάζεται, όπως μερικά με λεπτές γέφυρες, απότομες γωνίες ή μικρές οπές (όταν η διάμετρος είναι μικρότερη από το πάχος του φύλλου) μερικές φορές παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους. Τέτοια γεωμετρικά προφίλ κόβονται με μειωμένες τιμές κάποιων παραμέτρων:

- Μειωμένη ισχύς του laser
- Μειωμένη ταχύτητα κοπής
- Μειωμένη συχνότητα παλμών

Διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί υπερθέρμανση στο αντικείμενο που κόβεται και τμήματα του σχεδίου του να καούν.

Όσο μεγαλώνει το πάχος του υλικού, τόσο μεγαλώνουν οι ανωμαλίες στην επιφάνεια κοπής μεταλλικών αντικειμένων και τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ισχύς του laser. Επίσης όσο μεγαλώνει το πάχος του υλικού οι ταχύτητες κοπής, με την ίδια ισχύ της γεννήτριας laser, μειώνονται σημαντικά.

2.2 Μηχανές Laser-Hardware

Δύο από τους πιο κοινούς τύπους laser είναι οι μηχανές τύπου YAG και CO₂. Και οι δύο τύποι Laser δημιουργούν μια συγκεντρωμένη δέσμη φωτός, αλλά διαφοροποιούνται στην χρήση και λειτουργία τους.

Οι μηχανές τύπου YAG και CO₂ αντιδρούν πολύ διαφορετικά σε διαφορετικά υλικά λόγω των διαφορετικών μήκων κύματος των ακτίνων laser. Το μήκος κύματος μιας YAG laser ($1.064 \text{ }\mu\text{m}$) είναι ακριβώς δέκα φορές μικρότερο από το μήκος κύματος του CO₂ ($10.64 \text{ }\mu\text{m}$), το οποίο το καθιστά ιδανικό για την απορρόφηση στα περισσότερα μέταλλα, αλλά ταυτόχρονα αναστέλλει την ικανότητα του να απορροφηθεί από πολλά άλλα υλικά (ξύλο, ακρυλικά, πλαστικά κ.τ.λ.). Μια δέσμη laser CO₂ δεν απορροφάται εύκολα από μέταλλο αλλά μπορεί εύκολα να απορροφηθεί από πολλά οργανικά υλικά, όπως ξύλο, ακρυλικό, καουτσούκ κ.λ.π., ενώ τείνει να αντανάκλαται στις περισσότερες μεταλλικές επιφάνειες. Υπάρχουν επίσης κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο τύπων laser όπως θερμική απόδοση, ελάχιστη και μέγιστη ισχύς εξόδου κ.λ.π. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν επίδραση στα υλικά στα οποία οι δέσμες αντιδρούν.

Το CO₂ κατεργάζεται ορισμένα μέταλλα με διαφορετικούς τρόπους. Κατεργάζεται επικαλυμμένα μέταλλα, όπως χρωματισμένο ορείχαλκο, ανοδιωμένο αλουμίνιο ή οποιοδήποτε άλλο μέταλλο το οποίο έχει επιστρωθεί με κάποιο υλικό. Ακόμη και με χαμηλή ισχύ laser, το CO₂ είναι πολύ αποτελεσματικό στην αφαίρεση χρώματος από τις περισσότερες μεταλλικές επιφάνειες. Ο χρωματισμένος ορείχαλκος είναι ένα πολύ δημοφιλές υλικό χαρκτηκής, διότι διατίθενται σχεδόν όλα τα χρώματα και δημιουργείται υψηλή αντίθεση όταν είναι χαραγμένο. Ένα άλλο μέταλλο που είναι δημοφιλές στην χάραξη με CO₂ laser είναι το ανοδιωμένο αλουμίνιο. Όταν η δέσμη laser αντιδρά με την ανοδιωμένη επιφάνεια, την μετατρέπει σε λευκή με αποτέλεσμα η αντίθεση να είναι έντονη στα διάφορα χρώματα. Τα συστήματα CO₂ είναι συμβατά με βαμμένα και ανοδιωμένα μέταλλα λόγω της υψηλής αντίθεσης που δημιουργούν, της γρήγορης ταχύτητας χάραξης και της χαμηλής απαίτησης σε ισχύ.

Μέχρι πρόσφατα, η σήμανση ανοξείδωτου χάλυβα από ένας χαμηλής ισχύος laser CO2 ήταν δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Το πρόβλημα είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της δέσμης ανακλάται από την επιφάνεια του μετάλλου και μόνο μια μικρή ποσότητα απορροφάται, παρέχοντας μια αμυδρή ή ανύπαρκτη σήμανση. Τα τελευταία χρόνια κάποιες εταιρείες έχουν εισάγει προϊόντα που επιτρέπουν στα CO2 χαμηλής ισχύος laser να δημιουργούν μια μόνιμη χάραξη σε ανοξείδωτο χάλυβα.

Σε αντίθεση με ένα laser CO2, ένα laser YAG είναι συμβατό με ένα περιορισμένο αριθμό υλικών. Λόγω του μικρού μήκους κύματος του, ένα laser YAG μπορεί να χαράξει πολλούς διαφορετικούς τύπους μετάλλων και μερικά πλαστικά, αλλά η αποτελεσματικότητά της σε τυποποιημένα προϊόντα (ξύλο, ακρυλικό, καουτσούκ, κ.λ.π.) είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Η laser YAG έχει κυρίως βιομηχανικές εφαρμογές, με εφαρμογές εξατομίκευσης που περιορίζονται σε υψηλής έντασης χάραξης προϊόντων, όπως για παράδειγμα τους στυλογράφους. Υπάρχουν πολλά προϊόντα από ανοξείδωτο χάλυβα που απαιτούν χάραξη με laser και η χάραξη με laser YAG είναι πολύ δαπανηρή. Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα ενός laser YAG είναι ότι:

- Χαράζει σε μέταλλο
- Είναι ταχύτερη από ένα σύστημα laser CO2

Ενώ τα μειονεκτήματά του είναι ότι:

- Είναι πολύ χρονοβόρο σε έργα τέχνης, ειδικά στην χάραξη γραφικών
- Δεν λειτουργεί καλά σε οργανικά υλικά
- Το κόστος αγοράς καθώς και διατήρησης είναι μεγάλο

Τα οφέλη της Laser CO2 είναι ότι:

- Λειτουργεί καλά σε ξύλο, ακρυλικό, πλαστικό και πολλά άλλα υλικά
- Μπορεί να χαράξει ανοξείδωτο χάλυβα και επικαλυμμένα μέταλλα

Και τα μειονεκτήματά της είναι ότι:

- Δεν είναι τόσο γρήγορη όσο ένα σύστημα YAG (αλλά εξακολουθεί να χαράζει στις 120 ίντσες ανά δευτερόλεπτο)
- Δεν χαράσσει σε μέταλλο αλλά μόνο σε κάποια από αυτά

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις μηχανές χάραξης με laser που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

2.2.1 Μηχανές laser χάραξης επιφάνειας τύπου CO2

TJ CO2-201

Έυρος χάραξης: F110

Ταχύτητα χάραξης: 7000 mm/sec

Πλάτος γραμμής χάραξης: 0.1-0.2 mm

Βάθος χάραξης: 3 mm

Διαστάσεις: 700 mm x 158 mm x 168 mm

Περιγραφή: Υψηλή σταθερότητα, ευρεία χρήση στα αμέταλλα



Σχήμα 2.1 : TJ CO2-201

GS-SE 3028

Διαστάσεις: 800 mm x 530 mm x 400 mm

Βάρος: 50 Kg

Ισχύς laser: 30 W

Ονομαστική ισχύς: 500/1500 W

Μέγιστο μέγεθος χάραξης: 300 mm x 280 mm

Ταχύτητα: 800 mm/sec

Ακρίβεια χάραξης: 0,025 mm



Σχήμα 2.2 : GS-SE 3028

GS-SE 3525

Διαστάσεις: 880 mm x 700 mm x 930 mm

Ισχύς laser: 40 W/60 W CO2 / 10 WRF / 30 WRF

Ονομαστική ισχύς: 500/1500 W

Μέγιστο μέγεθος χάραξης: 300 mm x 240 mm

Μέγιστο μέγεθος κοπής: 26mm x 22 mm

Ταχύτητα: 1200 mm/sec

Ακρίβεια χάραξης: 0.025 mm



Σχήμα 2.3 : GS-SE 3525

G-SQ-10060/12060/12090/12590

Ισχύς laser: 60 W 80W 100W 150W

Εξοπλισμός: σωλήνας laser, παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, κάρτα ελέγχου υψηλής ταχύτητας, σύστημα ψύξης, ειδικό λογισμικό GH

Μέγιστη ταχύτητα χάραξης: 1800 mm/sec (ελεγχόμενη από το λογισμικό)

Ακρίβεια χάραξης: 0,025mm

Απαιτήσεις εργασιακού περιβάλλοντος: να μην υπάρχει ισχυρή δόνηση, σκόνη, καυστικά υγρά και ρύπανση αέρα καθώς και ισχυρή ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή.



Σχήμα 2.4 : G-SQ-10060/12060/12090/12590

G-SQ6545A

Ισχύς laser: 60W

Ονομαστική ισχύς: 800W

Μήκος κύματος laser: 10.6μm

Μέγεθος χάραξης: 650mm x 450mm

Ταχύτητα χάραξης: ≤ 1200 mm/sec

Διαστάσεις: 1480mm x 930mm x 970mm

Συνολικό βάρος: 180Kg



Σχήμα 2.5 : G-SQ6545A

G-SQ6545B

Ισχύς laser: 60W

Ονομαστική ισχύς: 800W

Μήκος κύματος laser: 10.6μm

Μέγεθος χάραξης: 650mm x 450mm

Ταχύτητα χάραξης: ≤ 1200 mm/sec

Διαστάσεις: 1480mm x 930mm x 970mm

Συνολικό βάρος: 180Kg



Σχήμα 2.6 : G-SQ6545B

GS 150130

Ισχύς laser: 60W 80W 100W 150W

Ονομαστική ισχύς: 800W

Μήκος κύματος laser: 10.6μm

Μέγεθος χάραξης: 1450mm x 1150mm

Ταχύτητα χάραξης: 1800mm/sec

Διαστάσεις: 2420mm x 1800mm x 1080mm

Συνολικό βάρος: 400Kg



Σχήμα 2.7 : GS 150130

2.2.2 Μηχανές laser χάραξης επιφάνειας τύπου YAG

TJDB 201

Εύρος χάραξης: F110mm

Ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Πλάτος γραμμής χάραξης: 0,05mm-0.1mm

Βάθος χάραξης: 3mm

Διαστάσεις: 1000mm x 650mm x 750mm

Βάρος: 254 Kg

Περιγραφή: υψηλή σταθερότητα, ευρεία χρήση



Σχήμα 2.8 : TJDB 201

TJDB 201C

Μέγεθος χάραξης: 100mm x 100mm

Ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Πλάτος γραμμής χάραξης: 0.02mm

Βάθος χάραξης: 0.3mm

Διαστάσεις: 1550mm x 750mm x 1100mm

Βάρος: 221Kg

Περιγραφή: ευρεία εφαρμογή, χαμηλό κόστος



Σχήμα 2.9 : TJDB 201C

GS-BN10

Ισχύς laser: 10W 15W

Μήκος κύματος laser: 10,64μm

Κατανάλωση σε ισχύ: 500W

Γραμμική ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Βάθος κοπής: 110mm x 110mm

Λειτουργικό σύστημα: IBM συμβατό με WIN98/2000/NT/XP

Χρησιμοποιείται σε χαρτί, ξύλο, πλαστικά. Ιδανικό για την χάραξη σε κάρτες, ρούχα, είδη καπνίσματος, συσκευασίες οίνου, αριθμοί σειράς και κωδικοί προϊόντων, αυθαίρετα μοτίβα και λέξεις.



Σχήμα 2.10 : GS-BN10

GS-BN30/60/100

Χάραξη σε αμέταλλα

Ισχύς laser: 10W 30W 60W 100W

Μήκος κύματος laser: 10.64μm

Συχνότητα: 20KHz

Βάθος χάραξης: 2mm

Γραμμική ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Ονομαστική ισχύς: 700W 1000W 1800W 2800W

Βιομηχανική εφαρμογή σε ενδύματα και δέρμα, σε διαφήμιση και διακόσμηση, σε ηλεκτρονικά όργανα, σε συσκευασίες τροφίμων και ποτών, σε προϊόντα ξύλου.



Σχήμα 2.11 : GS-BN30/60/100

G-SB50A

Μήκος κύματος laser: 1064nm

Ισχύς laser: 50W

Ρυθμιζόμενη συχνότητα: 0-50KHz

Πλάτος γραμμής χάραξης: 0.02mm

Γραμμική ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Βάθος χάραξης: 0.01-0.2 mm

Ακρίβεια εντοπισμού θέσης: 0,25μm

Βάρος: 220Kg

Πεδίο εφαρμογής: ηλεκτρονικά, βιομηχανία, κοσμήματα, ρολόγια, γυαλιά, έπιπλα κουζίνας, ηλεκτρονικοί υπολογιστές.



Σχήμα 2.12 : G-SB50A

G-SBE20P

Μήκος κύματος laser: 1064nm

Μέση ισχύς παλμού laser: 20W

Συχνότητα: 5-50 KHz

Ταχύτητα χάραξης: 7000mm/sec

Μέγεθος χάραξης: 70-110 mm

Επαναλαμβανόμενη ακρίβεια: ± 0.001

Εφαρμογή σε μέταλλα, κεραμικά, πλαστικό, δέρμα



Σχήμα 2.13 : G-SBE20P

2.3 Έρευνα

Στη βιβλιογραφία των κατεργασιών με Laser, όλες οι μελέτες πραγματοποιήθηκαν στη χαρακτηριστική, τη διάβρωση καθώς και τη σήμανση. Οι περισσότερες από αυτές πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση των παραμέτρων της διαδικασίας για την τραχύτητα της επιφάνειας και το βάθος κοπής. Σε αυτές τις μελέτες χρησιμοποιήθηκαν κυρίως laser CO₂ και Nd:YAG. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες επιλεγμένες μελέτες.

Αρχικά, έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές σήμανσης σε χάλυβα AISI 304 SS προκειμένου να καθοριστούν οι βέλτιστες παράμετροι λειτουργίας για την απόκτηση ορατότητας. Διαπιστώθηκε ότι η σήμανση και η ορατότητα επηρεάζεται από τις συνθήκες λειτουργίας και ότι η επιφανειακή τραχύτητα και η οξείδωση παίζει ρόλο στη διαδικασία της σήμανσης. Με την μελέτη αυτή διερευνήθηκε η επίδραση των παραμέτρων της διαδικασίας (πολλαπλή σάρωση laser, μεταβάλλοντας τη συχνότητα των παλμών, την ταχύτητα σάρωσης και τον αριθμό επαναλήψεων της σάρωσης) στα ποσοστά αφαιρούμενου υλικού με την χρήση του Nd:YAG laser με μήκος κύματος $\lambda=532\text{nm}$. Βρέθηκε ότι το βάθος κοπής επηρεάζεται από την μέση ισχύ, την συχνότητα των παλμών, την ταχύτητα της δέσμης και τον αριθμό των επαναλήψεων.

Μια άλλη ομάδα ερευνητών εργάστηκε πάνω στην επιλεκτική διάβρωση του laser σε χάλυβα AISI 1045. Στις μελέτες τους ήταν σε θέση να προσδιορίσουν την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στην επιφανειακή τραχύτητα και στο βάθος κοπής ανά στρώμα, χρησιμοποιώντας Nd:YAG laser. Αναφέρθηκε ότι οι παράγοντες που επικαλύπτουν την σάρωση, τον παλμό και τις παραμέτρους του laser (ταχύτητα σάρωσης, ισχύς laser, συχνότητα και στρατηγική σάρωσης) έχουν σημαντική επίδραση στην ελάχιστη τραχύτητα επιφάνειας και βάθος κοπής ανά στρώμα.

Η ομάδα ερευνητών Campanelli πραγματοποίησαν ένα σχεδιασμό των πειραμάτων για να διερευνηθεί η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας (ταχύτητα σάρωσης, συχνότητα, ισχύς και στρατηγική σάρωσης) για την τραχύτητα της επιφάνειας και το βάθος του αφαιρούμενου υλικού χρησιμοποιώντας παραγοντική ανάλυση. Όλες οι διαδικασίες

διεξήχθησαν σε δοκίμια κράματος αλουμινίου- μαγνησίου χρησιμοποιώντας μια μηχανή laser χάραξης εξοπλισμένη με ένα παλμικό laser Nd:YVO₄.

Οι Wendland διερεύνησαν την βαθιά χάραξη σε αλουμίνιο 5251 και ανοξείδωτο ατσάλι κατηγορίας 316 χρησιμοποιώντας Nd:YAG laser πηγή. Διερεύνησαν τα υψηλά ποσοστά αφαίρεσης υλικού και την επιφανειακή τροποποίηση σε διαφορετικές συνθήκες της διεργασίας. Συμπέραναν ότι οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται στα πειράματα επηρεάζουν την επιφανειακή τραχύτητα και το ποσοστό αφαίρεσης υλικού.

Οι Qiet διερεύνησαν την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων της μεθόδου (συχνότητα παλμών, ηλεκτρικό ρεύμα, ταχύτητα σάρωσης) στη σήμανση, στο βάθος, στο πλάτος και στην αντίθεση χρησιμοποιώντας ένα Q-switched Nd:YAG laser. Βρήκαν ότι το βάθος σήμανσης, το πλάτος και η αλληλεπίδραση μεταξύ του υλικού και της δέσμης laser, επηρεάζονται από την συχνότητα.

Η μέθοδος του φρεζαρίσματος με laser πραγματοποιείται με σκοπό να επιτευχθεί βαθιά κοιλότητα στην επιφάνεια του αντικειμένου. Επομένως τα πειράματα εφαρμόστηκαν ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση της διαδικασίας. Στην μελέτη αυτή διερευνήθηκε η επιφανειακή τραχύτητα και το βάθος κοπής σε πέντε διαφορετικές γεωμετρίες.

Το βάθος κοπής και η τραχύτητα της επιφάνειας της κατεργασμένης γεωμετρίας αλλάζουν ως συνάρτηση του υλικού του τεμαχίου και των διάφορων παραμέτρων της διεργασίας. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι οι κύριες παράμετροι που παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στο βάθος κοπής και στην τραχύτητα της επιφάνειας κατά την διαδικασία του φρεζαρίσματος με laser είναι η ισχύς του laser, η ταχύτητα σάρωσης και η συχνότητα.

2.4 Kerfs-Εγκοπές

Ως kerf ορίζεται το πλάτος της εγκοπής ή του αυλακίου που δημιουργείται με κάποιο κοπτικό εργαλείο. Οι κατασκευαστές των μηχανών Laser δε δημοσιεύουν τις τιμές των kerfs, καθώς η ποσότητα τους εξαρτάται από τις εξής μεταβλητές:

- Είδος υλικού
- Πάχος υλικού
- Ταχύτητα κοπής
- Ισχύς του laser
- Συχνότητα του laser

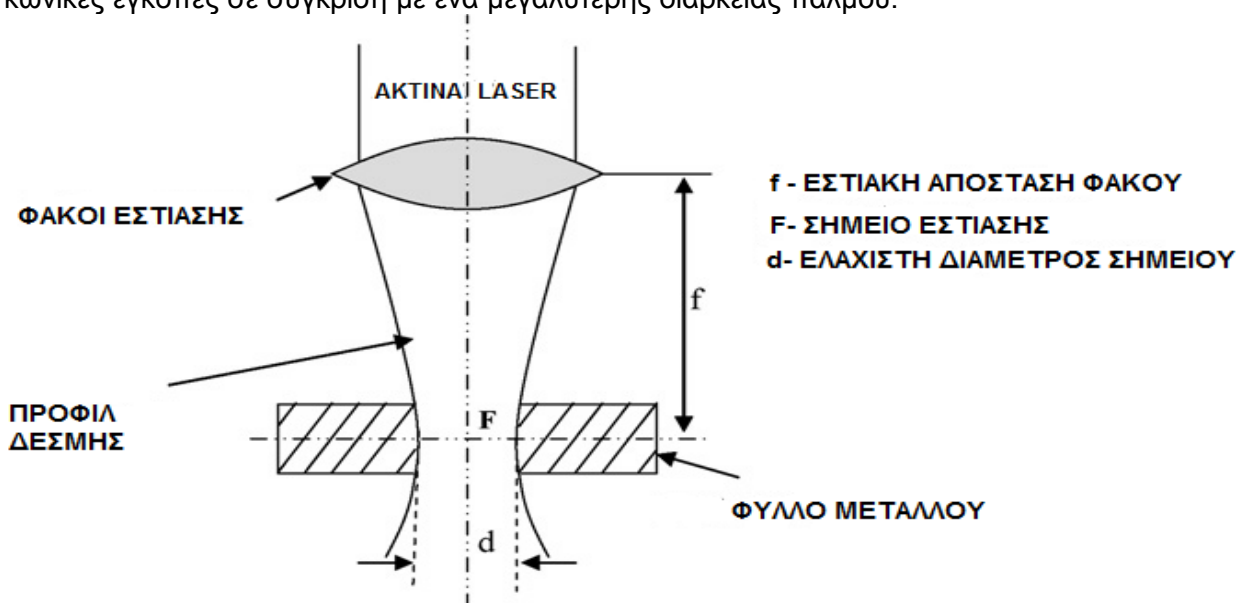
Στην διαδικασία κοπής με δέσμη Laser, η ποιότητα κοπής έχει μεγάλη σημασία. Η ποιότητα των εγκοπών εξαρτάται κυρίως από την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων της διεργασίας. Η σημερινή ζήτηση είναι ενιαία εγκοπή με ελάχιστο πλάτος. Έχει βρεθεί ότι το πλάτος της εγκοπής κατά την διάρκεια της κοπής με laser δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το μήκος της κοπής, και η ανομοιομορφία αυτή παρατηρείται περισσότερο στην περίπτωση του παλμικού Laser. Μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί πειραματική μελέτη για τις ανωμαλίες των εγκοπών ή την αποκλισή τους κατά το μήκος της κοπής.

Στην κοπή με δέσμη laser, χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια του laser για την τήξη και την εξάτμιση του κατεργαζόμενου υλικού. Το τηγμένο υλικό απομακρύνεται με την χρήση κατάλληλου αερίου που βρίσκεται σε υψηλές πιέσεις. Η απόδοση της κατεργασίας με laser εξαρτάται κυρίως από την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων. Λόγω του

συγλίνοντα και αποκλίνοντα προφίλ της δέσμης laser, όπως φαίνεται και στο σχήμα, υπάρχουν πάντα κωνικές εγκοπές. Διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει πειραματικά τις ιδιότητες της κοπής laser, όπως το πλάτος των εγκοπών και την κωνικότητα τους ώστε να αναλυθεί η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων της διαδικασίας σε αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο ερευνητής Chen (1999), κατά την πειραματική διερεύνηση του, διαπίστωσε ότι υπάρχει μεγαλύτερο πλάτος εγκοπής με την αύξηση της ισχύς του laser και τη μείωση της ταχύτητας κοπής κατά την διεργασία με laser σε χάλυβα. Επισήμανε επίσης ότι το οξυγόνο ή ο αέρας δίνουν ευρύτερες εγκοπές, ενώ η χρήση αδρανούς αερίου δίνει πιο στενές εγκοπές.

Οι ερευνητές Ghany και Newishy (2005) παρατήρησαν την ίδια παραλλαγή του πλάτους εγκοπής σε σχέση με την ταχύτητα κοπής, την ισχύ του laser, τον τύπο του αερίου και την πίεση κατά την διάρκεια της πειραματικής μελέτης τους με Nd:YAG laser πάνω σε λαμαρίνα ανοξείδωτου χάλυβα πάχους 1.2 mm. Διαπίστωσαν επίσης ότι με την αύξηση της συχνότητας το πλάτος της εγκοπής μειώνεται. Η ίδια επίδραση της ισχύος του laser και της ταχύτητας κοπής στο πλάτος της εγκοπής σε φύλλα χάλυβα διαφορετικών παχών, παρατηρήθηκε και από άλλους ερευνητές (Lamikiz 2005, Rajaramet 2003, Duley and Gonsalves 1974).

Ο ερευνητής Karatas (2006) διαπίστωσε ότι το πλάτος της εγκοπής μειώνεται στο ελάχιστο όταν ρυθμίζεται η εστίαση και διατηρείται στην επιφάνεια του τεμαχίου για λεπτά φύλλα (1.5 mm) και στο εσωτερικό του τεμαχίου για παχύτερα φύλλα (3.5 mm), κατά την διάρκεια κοπής με laser CO₂ σε ανοξείδωτο χάλυβα. Η πειραματική μελέτη από τον ερευνητή Prasad (1998) έδειξε ότι η κοπή με laser σε φύλλο χάλυβα με πάχος 1 mm και μεταλλική επικάλυψη δίνει ίδιο πλάτος εγκοπής για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό του φακού laser και του μετάλλου, ανεξάρτητα από παραλλαγές στις παραμέτρους της διαδικασίας. Ο ερευνητής Thawari (2005) κατασκεύασε ένα τυπικό σύστημα κοπής για παλμικό laser Nd:YAG από φύλλο 1 mm πάχους και βάση υπέρκρμα νικελίου με σκοπό την έκταση του σημείου επικάλυψης. Διαπίστώθηκε ότι το σημείο επικάλυψης που απαιτείται για την περιοχή κοπής μειώνεται με την αύξηση της ενέργειας του παλμού. Διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται το σημείο επικάλυψης, τόσο αυξάνεται και το πλάτος εγκοπής. Παρατήρησαν επίσης ότι η μικρότερη διάρκεια παλμού αποδίδει χαμηλότερες κωνικές εγκοπές σε σύγκριση με ένα μεγαλύτερης διάρκειας παλμού.



Σχήμα 2.14 : Σχηματική αναπαράσταση του τυπικού προφίλ δέσμης

3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

3.1 Lasertec 40

Η εργαλειομηχανή Lasertec 40 είναι ένα κάθετο κέντρο κατεργασίας 3 γραμμικών και 2 οπτικών αξόνων με αυτοματοποιημένη καθοδήγηση CNC. Διαθέτει παλμικό Ytterbium fibre τύπο laser με ισχύ 20Watt, πλήρη προστασία καμπίνας, παράθυρο ασφαλείας Laser safety glass 1 και σύστημα ελέγχου CNC με λογισμικό προγραμματισμού με δυνατότητα εισαγωγής stl και dxf αρχείων.

Οι διαδρομές που μπορεί να πραγματοποιήσει είναι 400mm στον άξονα X, 300mm στον άξονα Y και 500mm στον άξονα Z, ενώ η μέγιστη ταχύτητα πρόωσης είναι τουλάχιστον 12.000 mm/min. Η περιοχή κατεργασίας είναι 70mm x 70mm και υπάρχει τραπέζι εργασίας ενσωματωμένο στη μηχανή, διαστάσεων 400mm με πλάτος 300mm, πλήρως ελεγχόμενο από το control της μηχανής. Η ακρίβεια τοποθέτησης των γραμμικών αξόνων (X,Y,Z) είναι $P=0.010\text{mm}$ σύμφωνα με το πρωτόκολλο VDI/DGQ 3441. Τέλος, υπάρχουν:

- Γραμμικοί οδηγοί κύλισης (κυλινδρικής διατομής) σε όλους τους γραμμικούς άξονες (X,Y,Z)
- Κεντρική λίπανση
- Ψηφιακά οδηγούμενα μοτέρ A/C
- TFT οθόνη 15"
- Κλιματιζόμενη καμπίνα ηλεκτρικών
- Control με 32-bit processor
- Μνήμη με σκληρό δίσκο 40GB
- Ethernet interface

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



Σχήμα 3.1 : Lasertec 40

3.2 Τραχύμετρο-Diavite compact

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

Η τραχύτητα επιφάνειας, συχνά αναφερόμενη εν συντομία ως τραχύτητα, αποτελεί ένα μέτρο της υψής μιας επιφάνειας. Ως τραχύτητα ορίζεται το μέτρο των κάθετων αποκλίσεων της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανικής μορφής επιφάνεια. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα μιας κατεργασμένης επιφάνειας είναι οι ακόλουθοι:

- Η κινηματική της κατεργασίας (σχετική κίνηση εργαλείου-τεμαχίου).
- Το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
- Η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, η τραχύτητα των κοπτικών επιφανειών του και η φθορά του.
- Οι συνθήκες κατεργασίας (τραχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
- Το υγρό κοπής αν χρησιμοποιείται.
- Η κατάσταση της μηχανής, όσον αφορά την επιταγχνόμενη ακρίβεια.
- Οι ταλαντώσεις του συστήματος (κατεργασία, εργαλειομηχανή, τεμάχιο, εργαλείο).

3.2.1 Τραχύμετρο Diavite Compact

Το πιο αντιπροσωπευτικό και σύγχρονο όργανο μέτρησης της τραχύτητας και αυτό με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις στη συγκεκριμένη μελέτη, είναι το τραχύμετρο με στυλίσκο. Η αρχή λειτουργίας του είναι η ακόλουθη: Ο στυλίσκος, ο οποίος φέρει αδαμάντινη ακίδα, σαρώνει τη θεωρούμενη επιφάνεια με σταθερή ταχύτητα και συγκεκριμένο μήκος. Οι ανωμαλίες της επιφάνειας προκαλούν μετακινήσεις του στυλίσκου που μετατρέπονται κατάλληλα σε μεταβολές τάσης, έντασης οι οποίες ηλεκτρονικά ενισχυμένες και καταγεγραμμένες παρουσιάζονται ως αποκλίσεις του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας από την κεντρική γραμμή Central Line (CL).

Η κεντρική γραμμή στα όργανα αυτά δημιουργείται με τη χρήση ειδικού πέλδου, το οποίο τοποθετείται πριν το στυλίσκο και ολισθαίνει στην επιφάνεια κατά την διάρκεια της μέτρησης. Οι μεταβολές της τάσεως, εντάσεως οι οποίες προκαλούνται από τις μετακινήσεις του στυλίσκου, οδηγούνται σε κυκλώματα ενισχύσεως και ολοκληρώσεως, των οποίων η έξοδος δίνει την μέση της τραχύτητας Ra.

Για τη μέτρηση της τραχύτητας στην προκύπτουσα επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο τραχυμέτρησης το οποίο ανήκει στα μηχανικά-ηλεκτρονικά όργανα τύπου στυλίσκου και είναι το DIAVITE COMPACT VHF του εργαστηρίου μικροκοπής και κατασκευαστικής προσομοίωσης του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης. Το DIAVITE Compact vH κατασκευάστηκε για χρήση με τροχοδεικτικό, ενσωματωμένο στην κύρια μονάδα ή εναλλακτικά εξοπλισμένη με ένα μετασχηματιστή και χρησιμοποιείται ως συσκευή μέτρησης της επιφανειακής τραχύτητας.



Σχήμα 3.2 : Diavite Compact vh

Ο στυλίσκος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι τύπου SH. Στην παρούσα εργασία έγιναν οι μετρήσεις της τραχύτητας με καθορισμένο μήκος L ή αλλιώς εγκάρσιο μήκος μετακίνησης 4.00 mm, ενώ το μήκος κύματος αποκοπής ήταν 0.8 mm.

3.3 Στερεοσκόπιο-LeicaM125

Η στερεοσκοπία είναι μια τεχνική που δημιουργεί την ψευδαίσθηση του βάθους σε μια εικόνα. Στηρίζεται στο ότι η τρισδιάστατη φυσική όραση πραγματοποιείται διότι κάθε μάτι βλέπει το ίδιο αντικείμενο από σχετικά μικρή, αλλά διαφορετική οπτική γωνία, με αποτέλεσμα την ίδια στιγμή ο εγκέφαλος να παραλαμβάνει δύο ελαφρά διαφοροποιημένες εικόνες του ίδιου αντικειμένου. Η διαφοροποίηση αυτή ονομάζεται παράλλαξη. Ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί αυτές τις οπτικές πληροφορίες από τις διάφορες παραλλάξεις, για να προσδιορίσει τη σχετική θέση των αντικειμένων μεταξύ τους και τις αποστάσεις των αντικειμένων από τον παρατηρητή.

Το στερεοσκόπιο LeicaM125 με zoom 12.5:1 έχει την δυνατότητα για μια ευρεία επισκόπηση του δείγματος και των διαρθρωτικών λεπτομερειών με ανάλυση μέχρι $1.15\mu\text{m}$ και είναι ιδανικό για την ανάλυση των πλαστικών, τον έλεγχο τυπωμένων κυκλωμάτων και την προδιαλογή μηχανικών εξαρτημάτων. Πλήρως αποχρωματισμένα διορθωτικά οπτικά παράγουν υψηλής αντίθεσης, φυσικές έγχρωμες εικόνες χωρίς περιθώρια ή χρωματικές αλλοιώσεις.



Σχήμα 3.4 : Στερεοσκόπιο LeicaM125

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

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 τις εγκοπές της επιφάνειας (kerfs) σε δυο διαφορετικά υλικά. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Αλουμίνιο 7075-T6
- Ανοξείδωτος χάλυβας 316

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 ορθογώνιο με διαστάσεις 1mm x 3mm.

Η μηχανή 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 μ m. Φυσικά, για κάθε υλικό οι τιμές αυτές περιορίζονται σε ένα μικρότερο εύρος, ανάλογα με τις ιδιότητες του υλικού.

4.2 Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο ή αργίλιο (Aluminium) είναι το χημικό στοιχείο με σύμβολο Al και ατομικό αριθμό 13. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο στοιχείο που ανήκει στην ομάδα III(13) του περιοδικού συστήματος μαζί με το βόριο. Είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της γης και συνολικά το τρίτο πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά, 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 και αυτό στη ουσία συμβαίνει γιατί με τη έκθεση του μετάλλου στην ατμόσφαιρα σχηματίζει στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό, μη ορατό στρώμα οξειδίου που εμποδίζει τη βαθύτερη διάβρωση 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 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 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 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. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ως λεινατικό ή συνθετική αλουμίνη. Τα οξείδια του αργιλίου χρησιμοποιούνται επίσης στην υαλουργία και την κατασκευή Laser. Κρύσταλλοι ρουμπινιού χρησιμοποιούνται επίσης ως αισθητήρες πίεσης για υψηλές πιέσεις. Τέλος, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται συχνά από αλουμίνιο, καθώς έχει μικρότερο βάρος και κόστος από το χαλκό, αν και όχι τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.

4.2.1 Αλουμίνιο 7075-T6

Το Al-7075 συγκεκριμένα, αποτελεί κράμα αλουμινίου με βασικό στοιχείο τον ψευδάργυρο. Συγκεκριμένα, η σύνθεση 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 74000-78000 psi.

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. Χάρη των ιδιοτήτων του, σημαντική είναι και η ευρεία χρησιμοποίησή του για τη κατασκευή καλουπιών, εργαλείων και όχι μόνο.

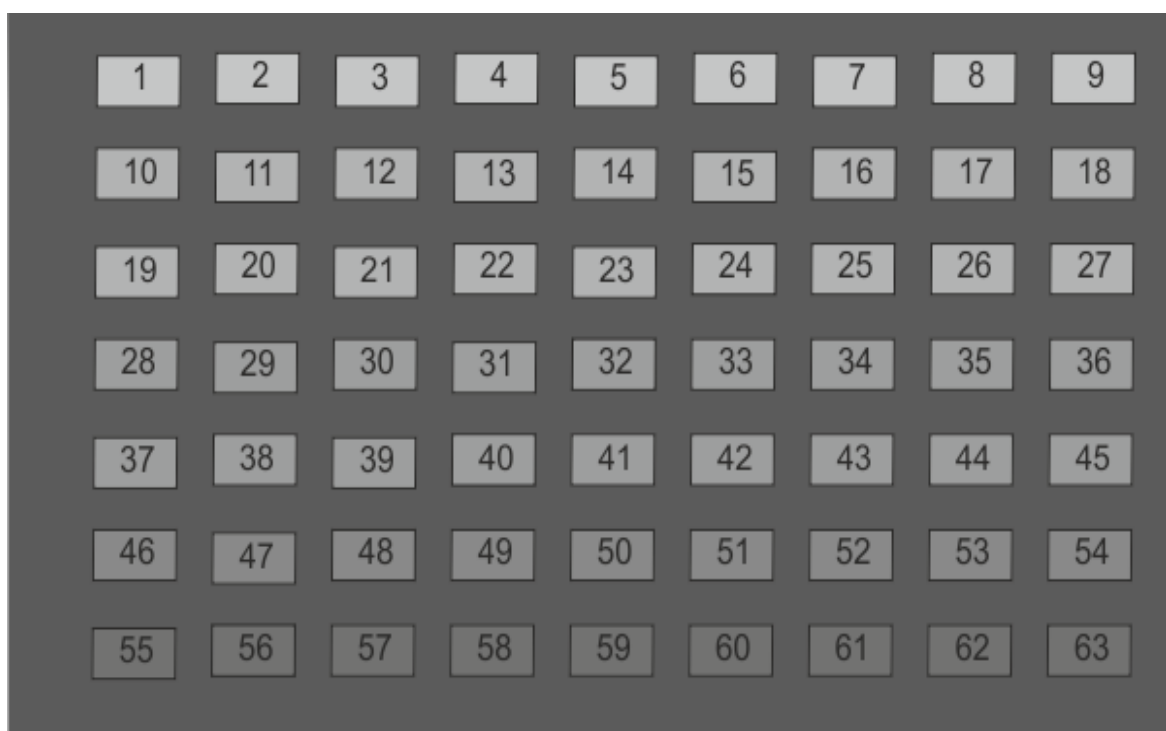
Το εύρος των τιμών που σύμφωνα με το εγχειρίδιο της μηχανής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το αλουμίνιο είναι:

- Συχνότητα: 30 KHz
- Ταχύτητα χάραξης: 200-500 mm/sec
- Πάχος στρώματος αφαίρεσης υλικού 0.001-0.008 mm.

Ωστόσο, κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές των παραμέτρων εκτός των ορίων που το εγχειρίδιο πρότεινε. Συγκεκριμένα το εύρος των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Συχνότητα: 20KHz, 30KHz, 40KHz
- Ταχύτητα χάραξης: 200mm/sec, 350mm/sec, 500mm/sec

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 63 πειράματα στο αλουμίνιο σε επτά διαφορετικά βάθη εγχοπών (100 μm , 200 μm , 300 μm , 400 μm , 600 μm , 800 μm και 1000 μm) και φαίνονται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Σχηματική αναπαράσταση των εγκοπών στο αλουμίνιο

Στον παρακάτω Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε εγκοπή.

α/α	Συχνότητα f (KHz)	Ταχύτητα v (mm/sec)	Πάχος στρώμ. L.th. (mm)	Βάθος κοπής t (μm)
1	20	200	0.01613	100
2	20	350	0.01308	100
3	20	500	0.01192	100
4	30	200	0.01261	100
5	30	350	0.00994	100
6	30	500	0.00872	100
7	40	200	0.00943	100
8	40	350	0.00727	100
9	40	500	0.00618	100
10	20	200	0.01613	200
11	20	350	0.01308	200
12	20	500	0.01192	200
13	30	200	0.01261	200
14	30	350	0.00994	200
15	30	500	0.00872	200
16	40	200	0.00943	200
17	40	350	0.00727	200
18	40	500	0.00618	200
19	20	200	0.01613	300
20	20	350	0.01308	300
21	20	500	0.01192	300
22	30	200	0.01261	300
23	30	350	0.00994	300
24	30	500	0.00872	300

25	40	200	0.00943	300
26	40	350	0.00727	300
27	40	500	0.00618	300
28	20	200	0.01613	400
29	20	350	0.01308	400
30	20	500	0.01192	400
31	30	200	0.01261	400
32	30	350	0.00994	400
33	30	500	0.00872	400
34	40	200	0.00943	400
35	40	350	0.00727	400
36	40	500	0.00618	400
37	20	200	0.01613	600
38	20	350	0.01308	600
39	20	500	0.1192	600
40	30	200	0.01261	600
41	30	350	0.00994	600
42	30	500	0.00872	600
43	40	200	0.00943	600
44	40	350	0.00727	600
45	40	500	0.00618	600
46	20	200	0.01613	800
47	20	350	0.01308	800
48	20	500	0.01192	800
49	30	200	0.01261	800
50	30	350	0.00994	800
51	30	500	0.00872	800
52	40	200	0.00943	800
53	40	350	0.00727	800
54	40	500	0.00618	800
55	20	200	0.01613	1000
56	20	350	0.01308	1000
57	20	500	0.01192	1000
58	30	200	0.01261	1000
59	30	350	0.00994	1000
60	30	500	0.00872	1000
61	40	200	0.00943	1000
62	40	350	0.00727	1000
63	40	500	0.00618	1000

Πίνακας 4.2 : Παράμετροι αλουμινίου 7075-T6

4.3 Κοινός Χάλυβας

Ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2.06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1.0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται πάντου, από την αρχιτεκτονική και την ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα.

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ό,τι χρειαζόταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

4.3.1 Ανοξείδωτος χάλυβας 316

Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 10.5% κ.β. Το χρώμιο δημιουργεί ένα μικροσκοπικό στρώμα (10-100 nm) τριοξειδίου του χρωμίου, το οποίο προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από την οξείδωση και την διάβρωση. Εκτός από χρώμιο, οι ανοξείδωτοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως νικέλιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, κ.λπ..

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικές καμίνους με ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ), σιδηροκραμάτων (π.χ. σιδηροχρώμιο, σιδηρονικέλιο, κ.λπ.) και άλλων μεταλλικών προσθηκών. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στην διάβρωση, παρουσιάζουν επιπλέον και υψηλότερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, είναι πιο σκληροί από τους κοινούς χάλυβες και για αυτό πιο δυσκατέργαστοι. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν επίσης χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες.

Η παρουσία χρωμίου στη σύσταση του ανοξείδωτου χάλυβα προσδίδει την αντοχή στην διάβρωση. Η ποιότητα 316, είναι καλύτερη από την 304, αφού η παρουσία του μολύβδου, προσδίδει αντοχή σε βελονισμούς, θειικό οξύ και θερμά οργανικά οξέα (γαλακτικό οξύ κ.λπ.).

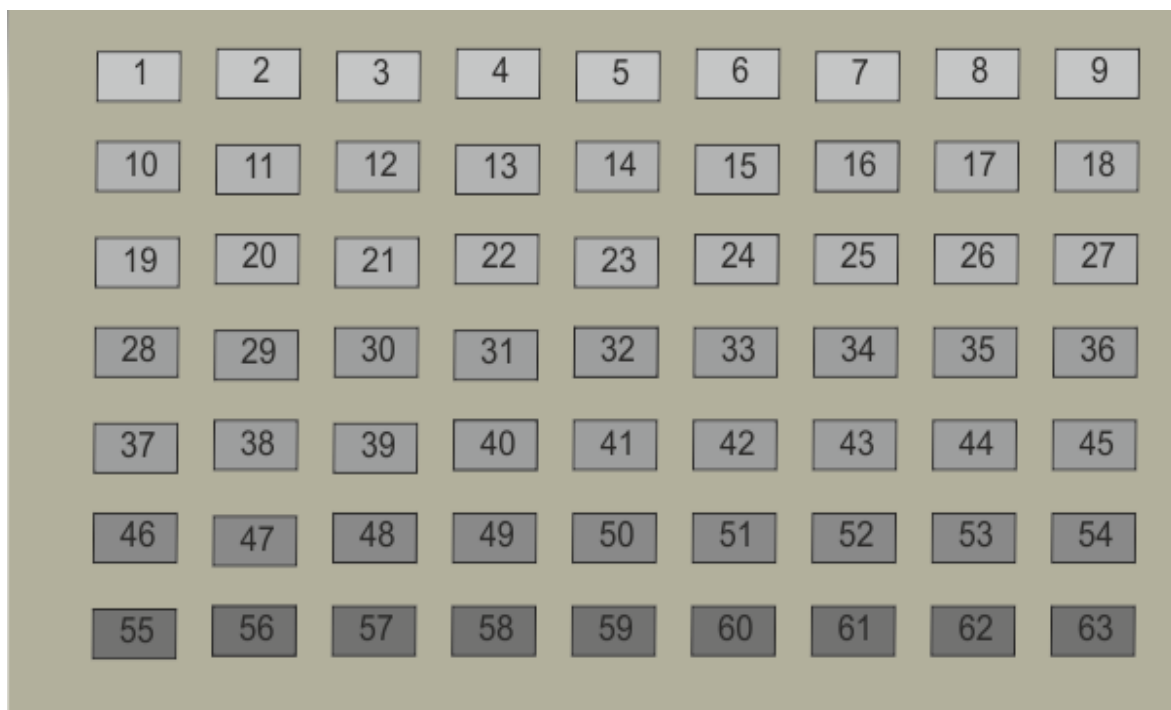
Το εύρος των τιμών που σύμφωνα με το εγχειρίδιο της μηχανής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ανοξείδωτο χάλυβα είναι:

- Συχνότητα: 20-40 KHz
- Ταχύτητα χάραξης: 200 mm/sec
- Πάχος στρώματος αφαίρεσης υλικού 0.001-0.005 mm.

Ωστόσο, κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τιμές των παραμέτρων εκτός των ορίων που το εγχειρίδιο πρότεινε. Συγκεκριμένα το εύρος των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Συχνότητα: 25 KHz, 35 KHz, 45 KHz
- Ταχύτητα χάραξης: 150 mm/sec, 350 mm/sec, 600 mm/sec

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 63 πειράματα στον ανοξείδωτο χάλυβα σε επτά διαφορετικά βάθη εγκοπών (100 μm , 200 μm , 300 μm , 400 μm , 600 μm , 800 μm και 1000 μm) όπως φαίνονται και στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 : Σχηματική αναπαράσταση των εγκοπών στον χάλυβα

Οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διαδικασία του χάλυβα φαίνονται στον Πίνακα 4.4.

α/α	Συχνότητα f (KHz)	Ταχύτητα v (mm/sec)	Πάχος στρώμ. L.th. (mm)	Βάθος κοπής t (μm)
1	25	150	0,00633	100
2	25	350	0,00269	100
3	25	600	0,00167	100
4	35	150	0,00625	100
5	35	350	0,00265	100
6	35	600	0,00155	100
7	45	150	0,00555	100
8	45	350	0,0025	100
9	45	600	0,0014	100
10	25	150	0,00633	200
11	25	350	0,00269	200
12	25	600	0,00167	200
13	35	150	0,00625	200
14	35	350	0,00265	200
15	35	600	0,00155	200

16	45	150	0,00555	200
17	45	350	0,0025	200
18	45	600	0,0014	200
19	25	150	0,00633	300
20	25	350	0,00269	300
21	25	600	0,00167	300
22	35	150	0,00625	300
23	35	350	0,00265	300
24	35	600	0,00155	300
25	45	150	0,00555	300
26	45	350	0,0025	300
27	45	600	0,0014	300
28	25	150	0,00633	400
29	25	350	0,00269	400
30	25	600	0,00167	400
31	35	150	0,00625	400
32	35	350	0,00265	400
33	35	600	0,00155	400
34	45	150	0,00555	400
35	45	350	0,0025	400
36	45	600	0,0014	400
37	25	150	0,00633	600
38	25	350	0,00269	600
39	25	600	0,00167	600
40	35	150	0,00625	600
41	35	350	0,00265	600
42	35	600	0,00155	600
43	45	150	0,00555	600
44	45	350	0,0025	600
45	45	600	0,0014	600
46	25	150	0,00633	800
47	25	350	0,00269	800
48	25	600	0,00167	800
49	35	150	0,00625	800
50	35	350	0,00265	800
51	35	600	0,00155	800
52	45	150	0,00555	800
53	45	350	0,0025	800
54	45	600	0,0014	800
55	25	150	0,00633	1000
56	25	350	0,00269	1000
57	25	600	0,00167	1000
58	35	150	0,00625	1000
59	35	350	0,00265	1000
60	35	600	0,00155	1000
61	45	150	0,00555	1000
62	45	350	0,0025	1000
63	45	600	0,0014	1000

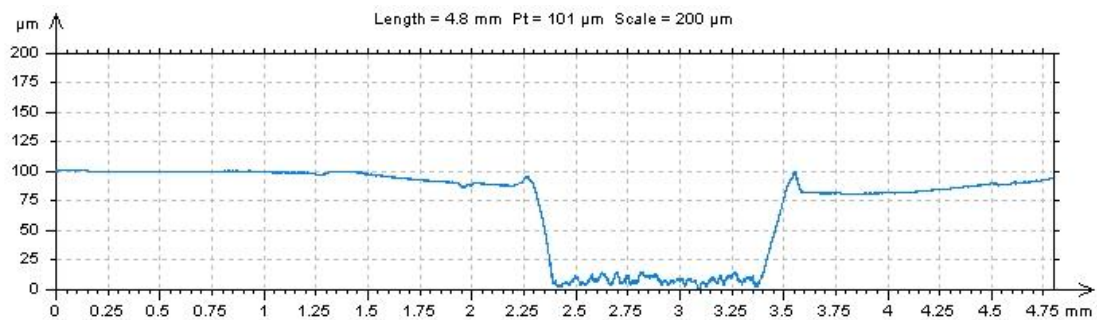
Πίνακας 4.4 : Παράμετροι ανοξείδωτου χάλυβα 316

5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Αλουμίνιο 7075-T6

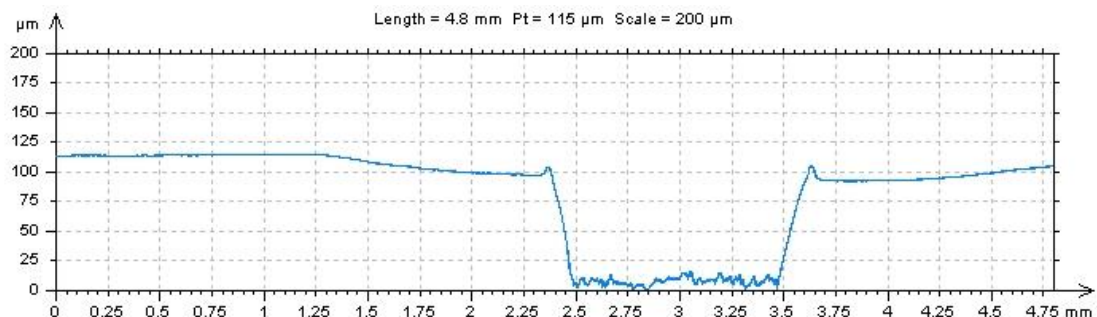
Παρακάτω παρουσιάζονται οι προφίλομετρήσεις των εγκοπών, καθώς και οι παραμέτροι που χρησιμοποιήθηκαν για το αλουμίνιο 7075-T6.

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
1	20	200	0.01613



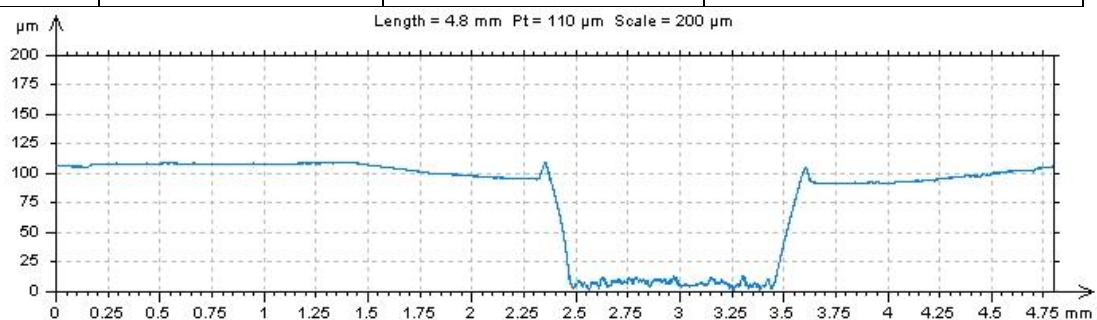
Σχήμα 5.1: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 1

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
2	20	350	0.01308



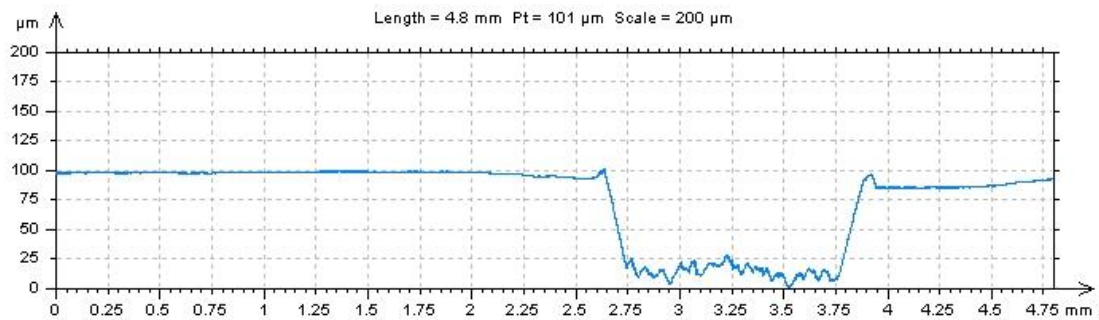
Σχήμα 5.2: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
3	20	500	0.01192



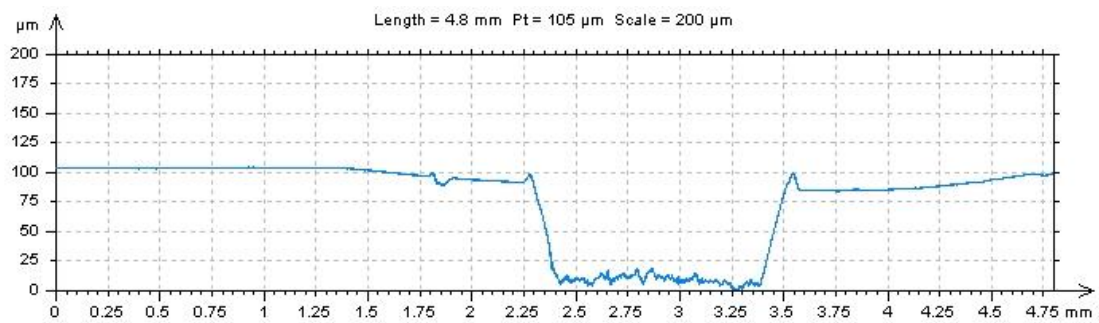
Σχήμα 5.3: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 3

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
4	30	200	0.01261



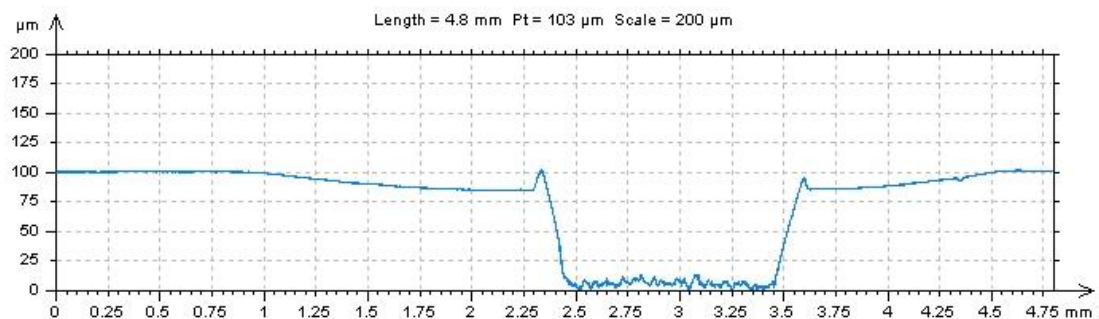
Σχήμα 5.4: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 4

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
5	30	350	0.00994



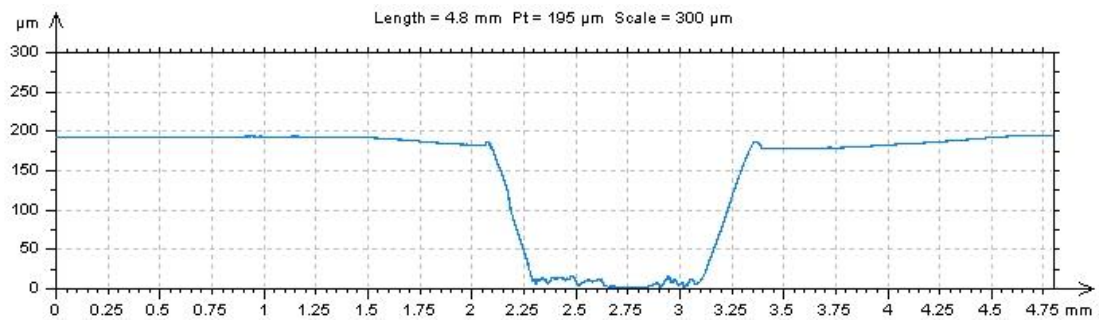
Σχήμα 5.5: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 5

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
6	30	500	0.00872



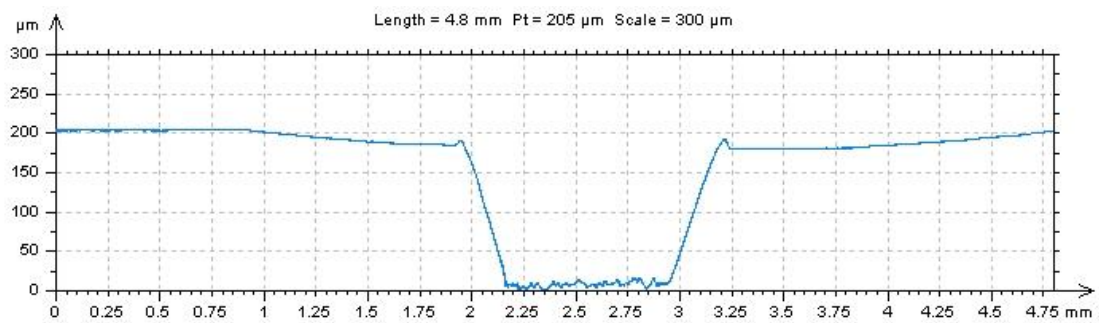
Σχήμα 5.6: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 6

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
7	40	200	0.00943



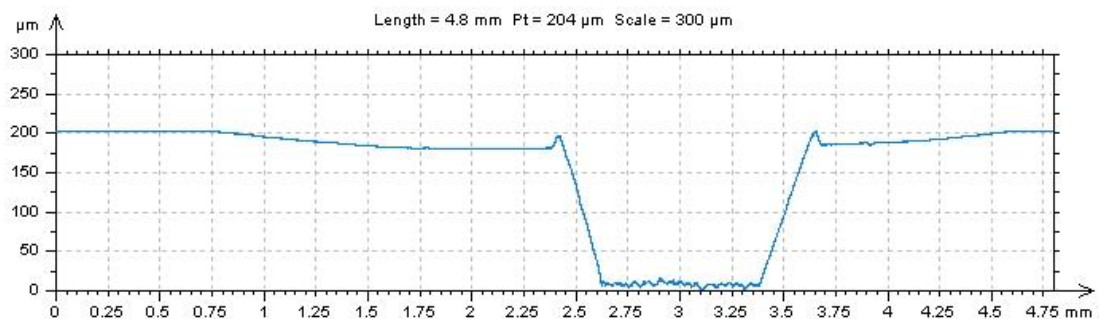
Σχήμα 5.7: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 7

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
8	40	350	0.00727



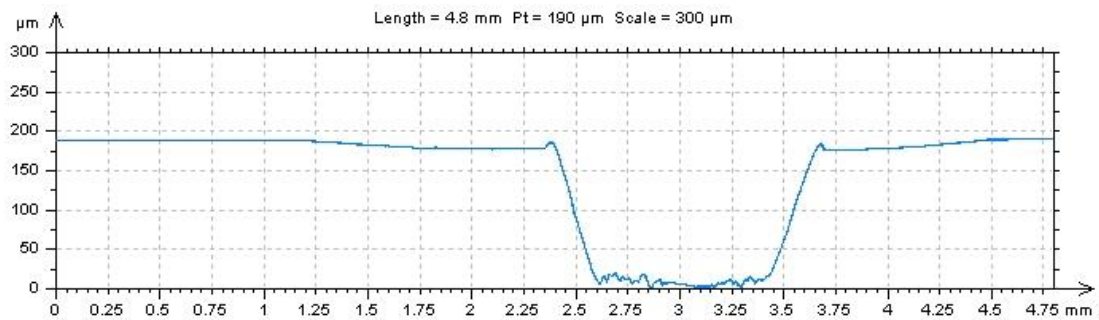
Σχήμα 5.8: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 8

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
9	40	500	0.00618



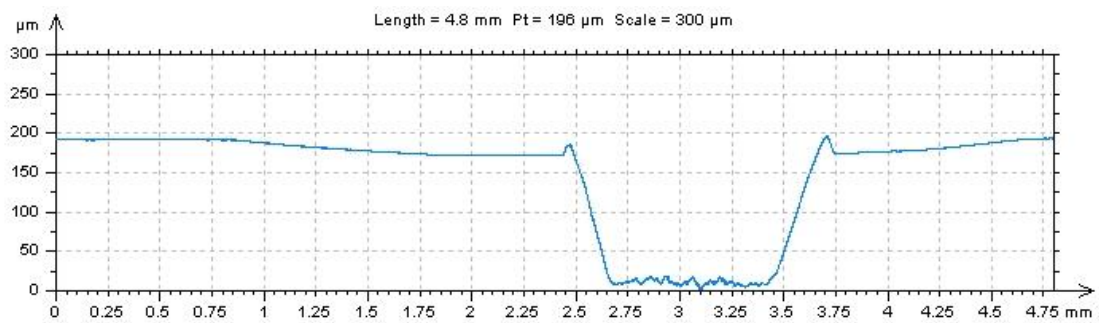
Σχήμα 5.9: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 9

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
10	20	200	0.01613



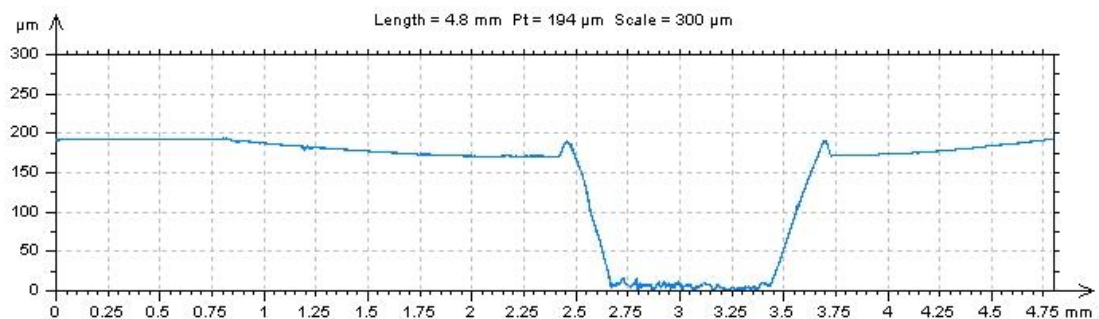
Σχήμα 5.10: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 10

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
11	20	350	0.01308



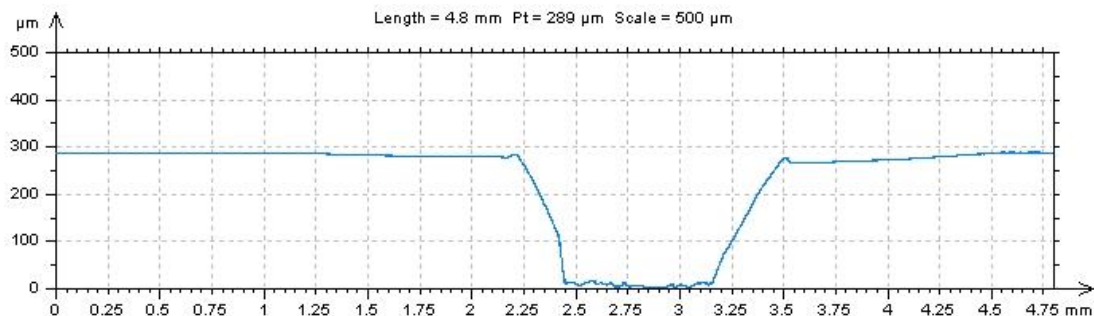
Σχήμα 5.11: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 11

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
12	20	500	0.01192



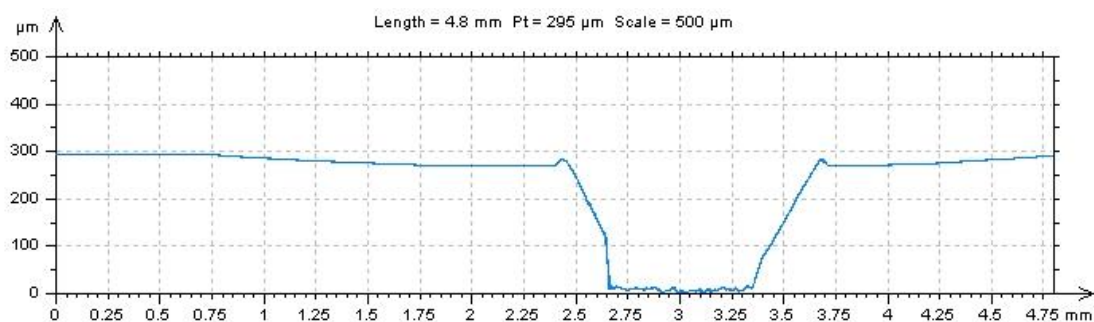
Σχήμα 5.12: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 12

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
13	30	200	0.01261



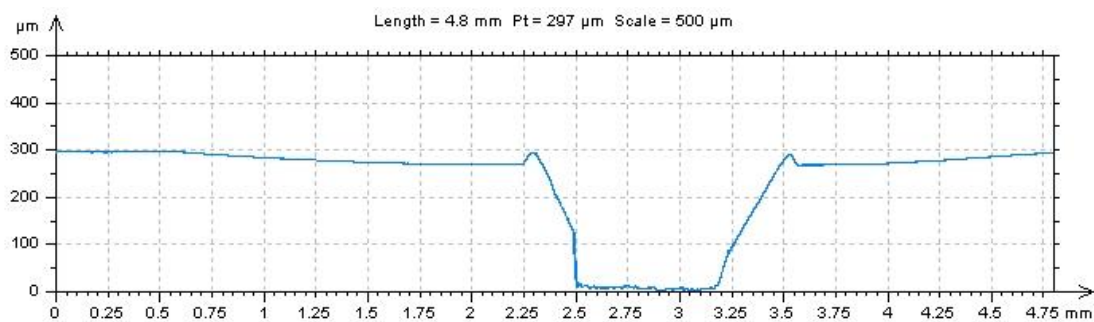
Σχήμα 5.13: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 13

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
14	30	350	0.00994



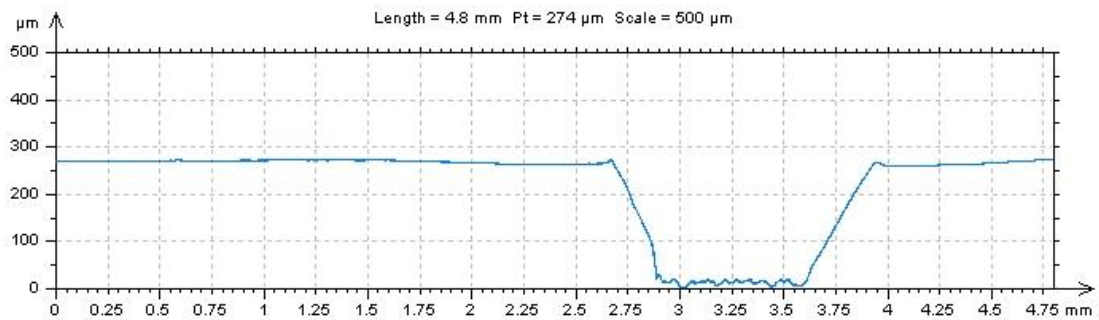
Σχήμα 5.14: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 14

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
15	30	500	0.00872



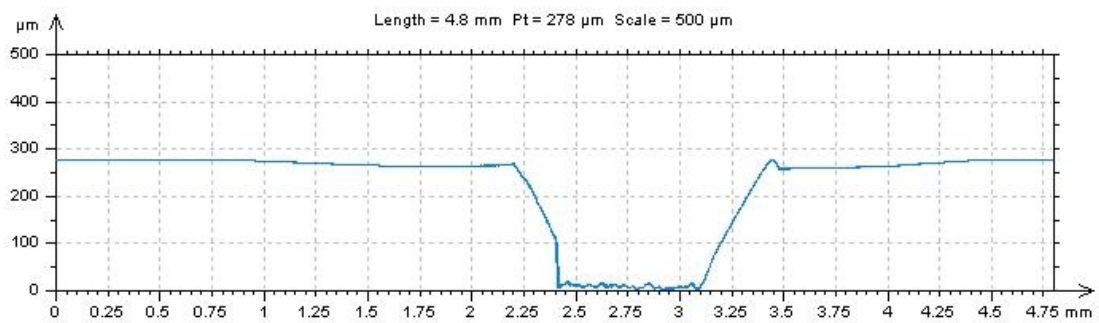
Σχήμα 5.15: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 15

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
16	40	200	0.00943



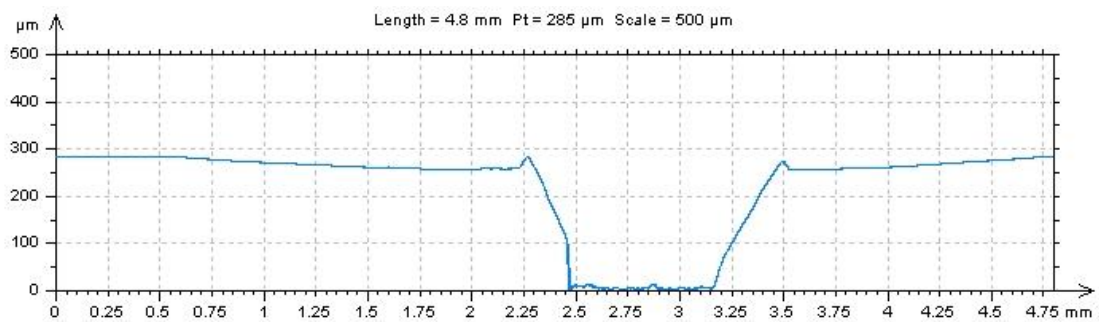
Σχήμα 5.16: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 16

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
17	40	350	0.00727



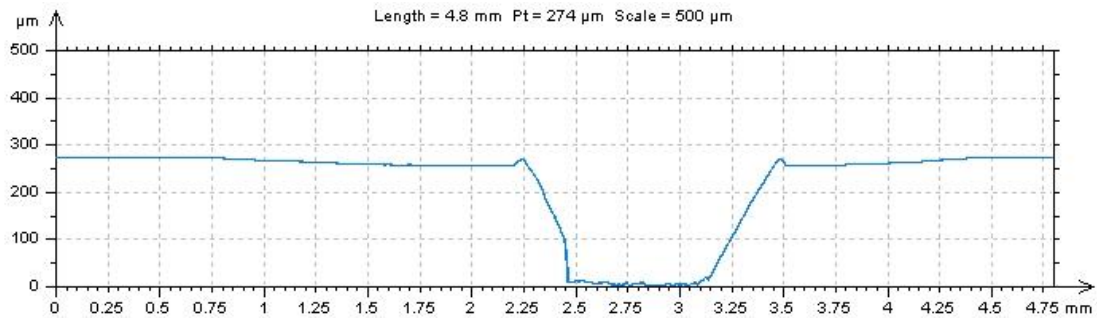
Σχήμα 5.17: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 17

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
18	40	500	0.00618



Σχήμα 5.18: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 18

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
19	20	200	0.01613

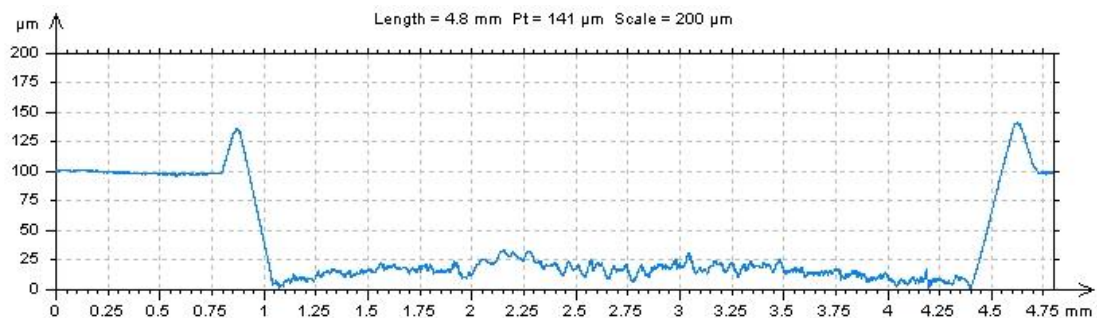


Σχήμα 5.19: Προφίλομέτρηση αλουμινίου για την περιοχή 19

5.2 Ανοξείδωτος χάλυβας 316

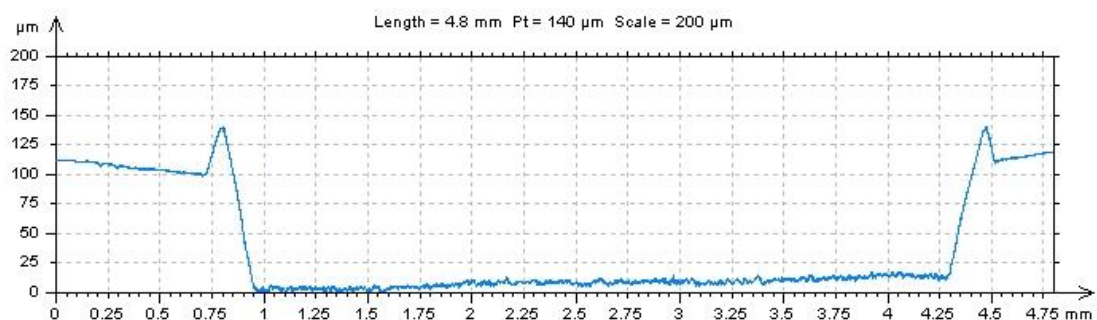
Παρακάτω παρουσιάζονται οι προφίλομετρήσεις των εγκοπών, καθώς και οι παραμέτροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον ανοξείδωτο χάλυβα 316.

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
1	25	150	0.00633



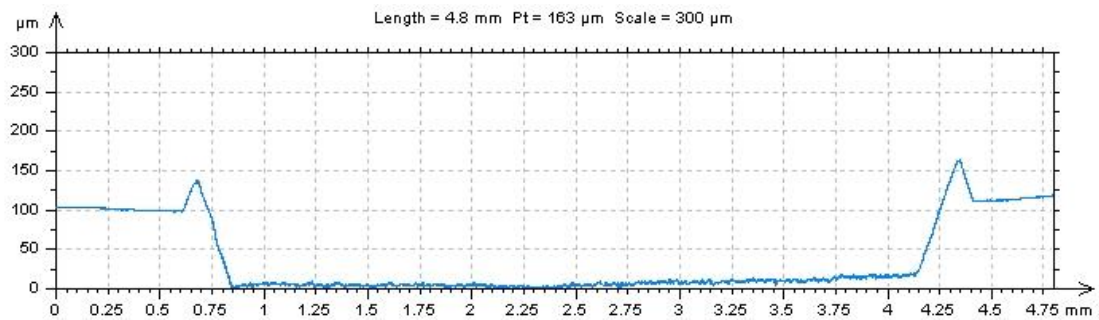
Σχήμα 5.20: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 1

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
2	25	350	0.00269



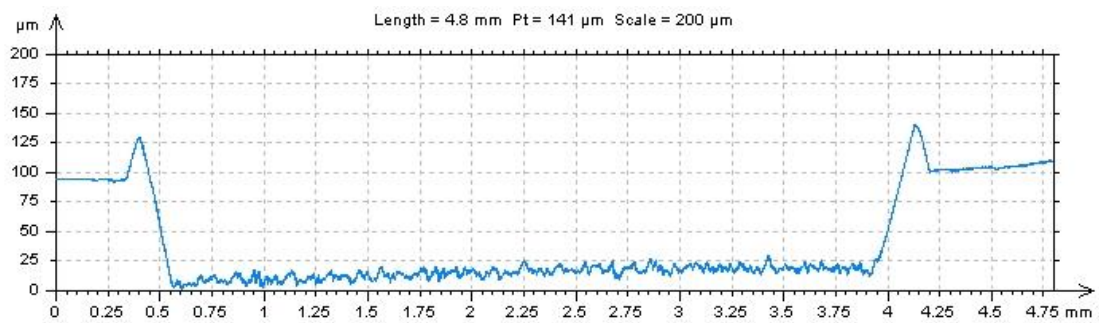
Σχήμα 5.21: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
3	25	600	0.00167



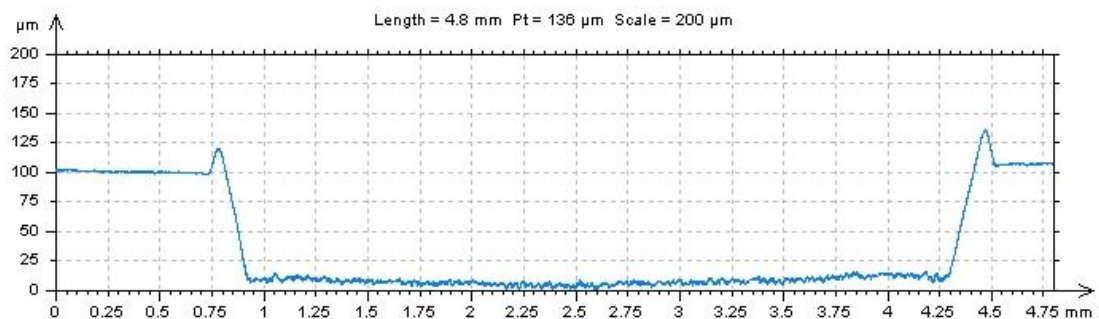
Σχήμα 5.22: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 3

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
4	35	150	0.00625



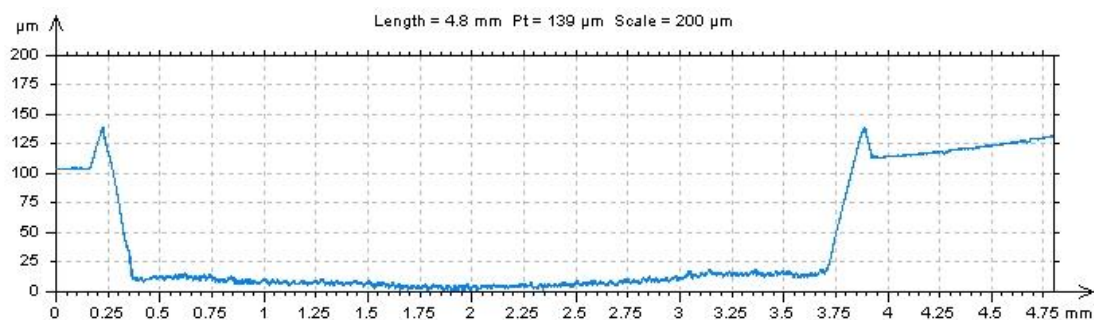
Σχήμα 5.23: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 4

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
5	35	350	0.00265



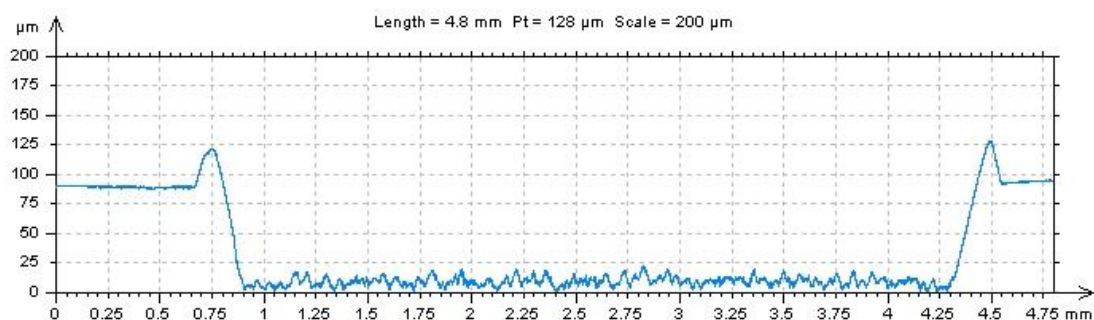
Σχήμα 5.24: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 5

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
6	35	600	0.00155



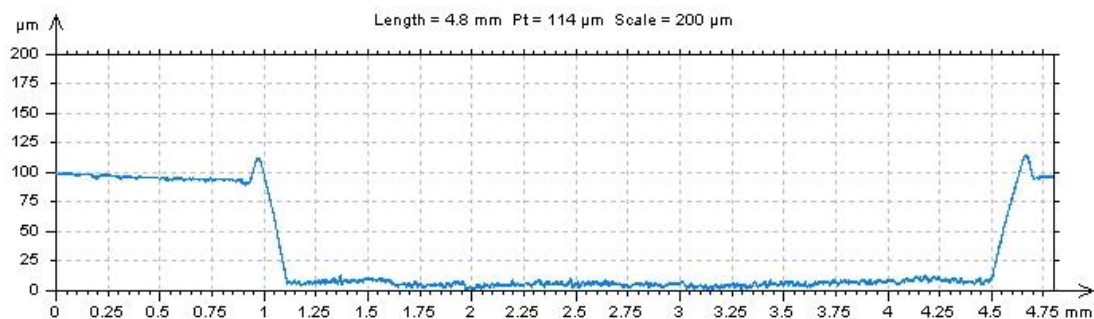
Σχήμα 5.25: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 6

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
7	45	150	0.00555



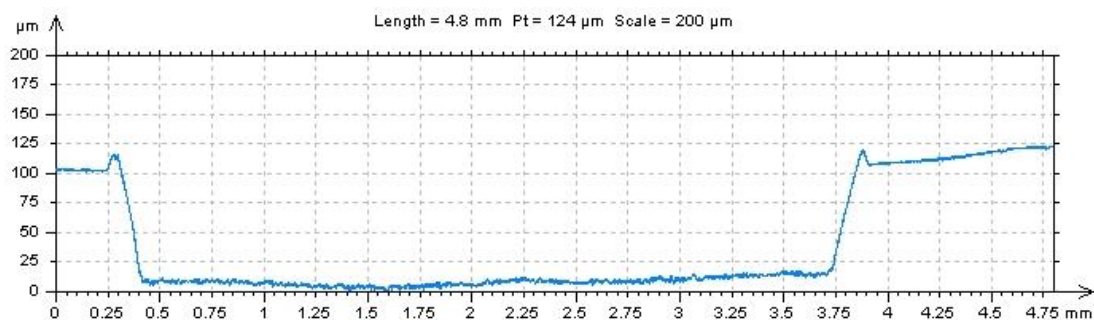
Σχήμα 5.26: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 7

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
8	45	350	0.0025



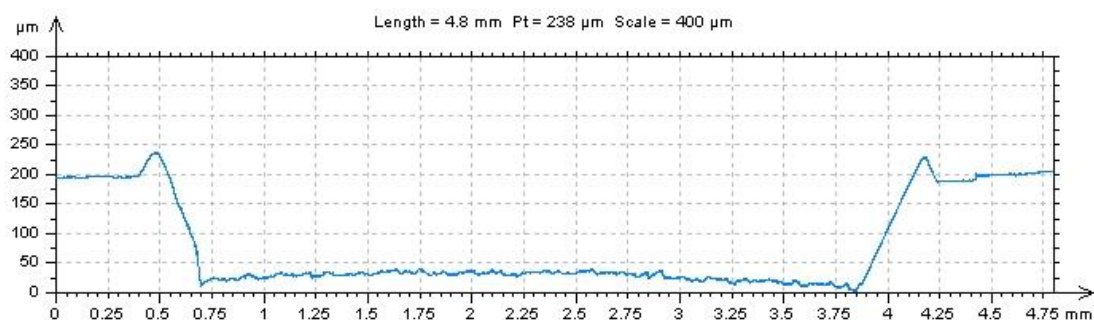
Σχήμα 5.27: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 8

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
9	45	600	0.0014



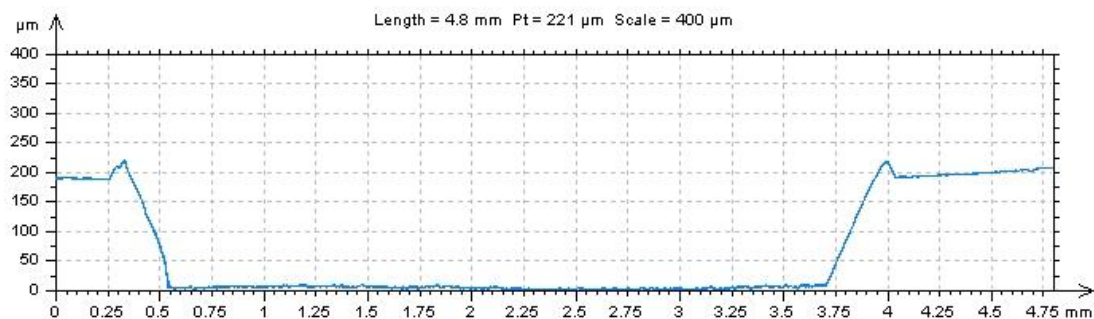
Σχήμα 5.28: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 9

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
10	25	150	0.00633



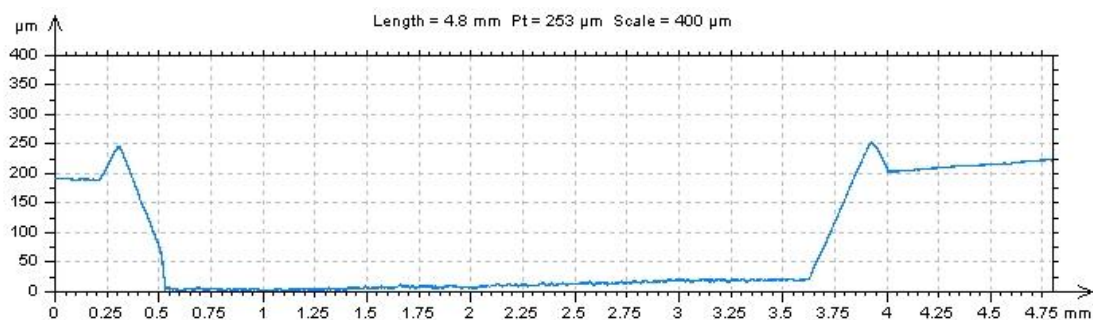
Σχήμα 5.29: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 10

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
11	25	350	0.00269



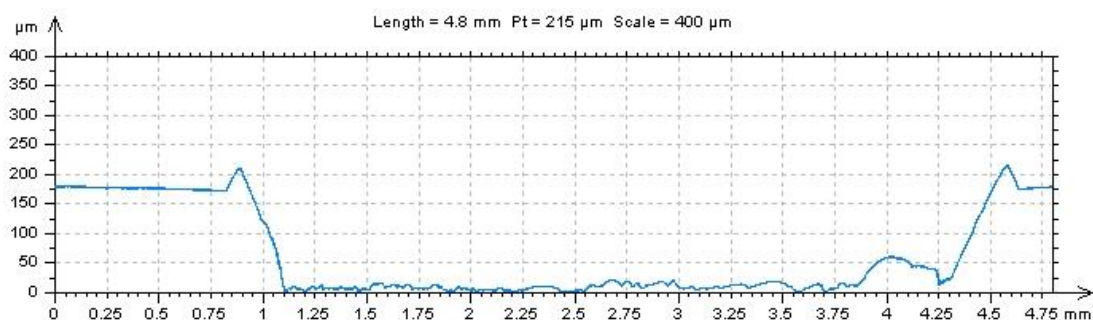
Σχήμα 5.30: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 11

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
12	25	600	0.00167



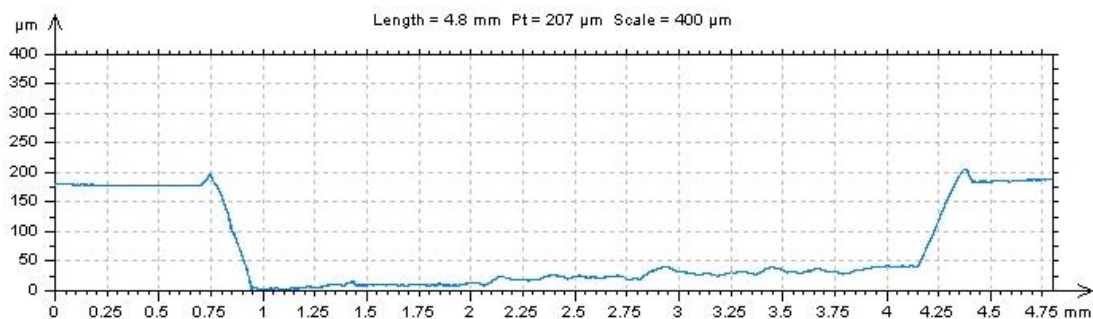
Σχήμα 5.31: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 12

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
13	35	150	0.00625



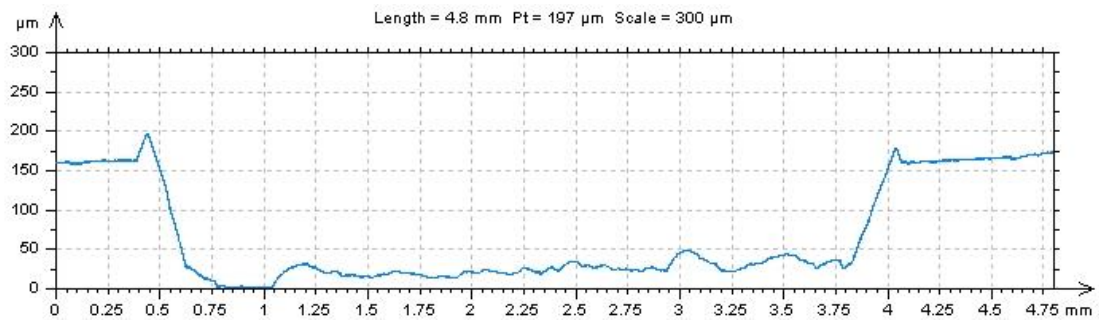
Σχήμα 5.32: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 13

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
14	35	350	0.00265



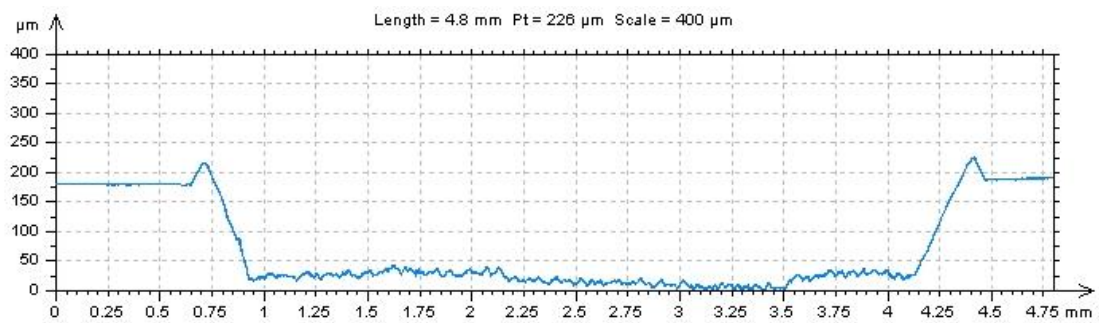
Σχήμα 5.33: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 14

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
15	35	600	0.00155



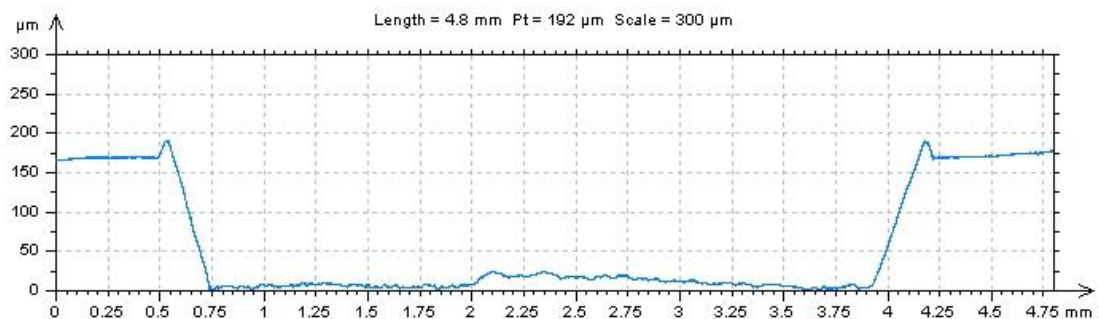
Σχήμα 5.34: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 15

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
16	45	150	0.00555



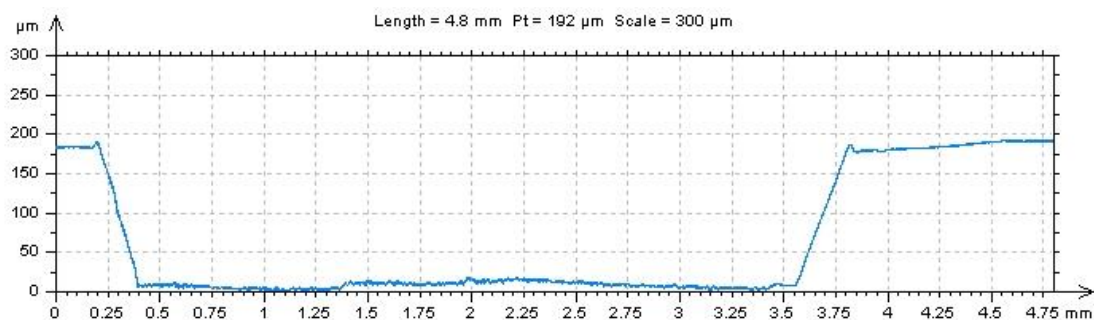
Σχήμα 5.35: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 16

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
17	45	350	0.0025



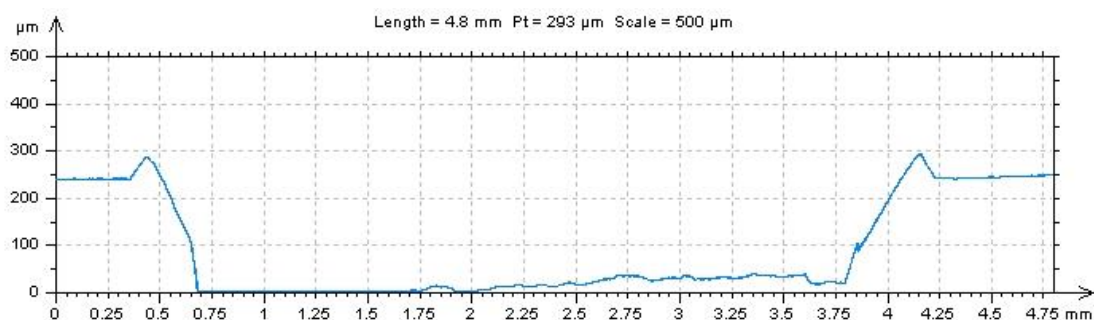
Σχήμα 5.36: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 17

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
18	45	600	0.0014



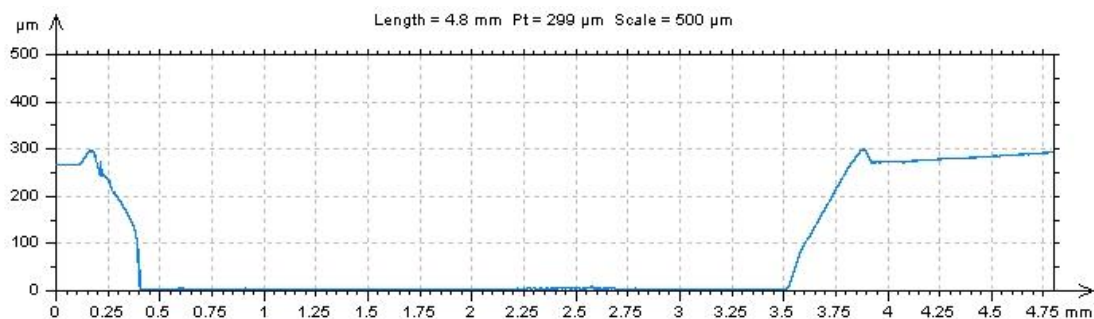
Σχήμα 5.37: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 18

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
19	25	150	0.00633



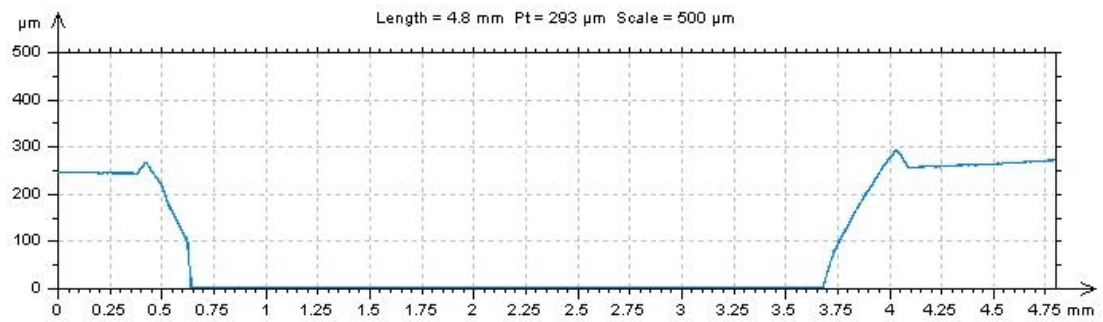
Σχήμα 5.38: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 19

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
20	25	350	0.00269



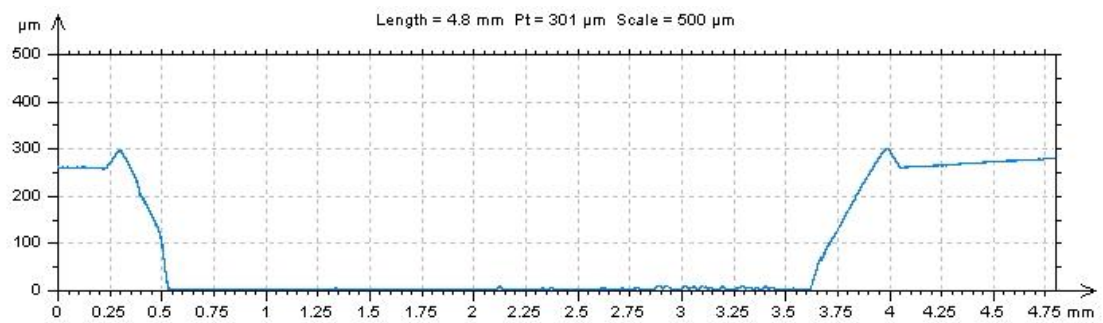
Σχήμα 5.39: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 20

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
21	25	600	0.00167



Σχήμα 5.40: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 21

Περιοχή	Συχνότητα F (KHz)	Ταχύτητα V (mm/sec)	Πάχος Στρώματος (mm)
22	35	150	0.00625

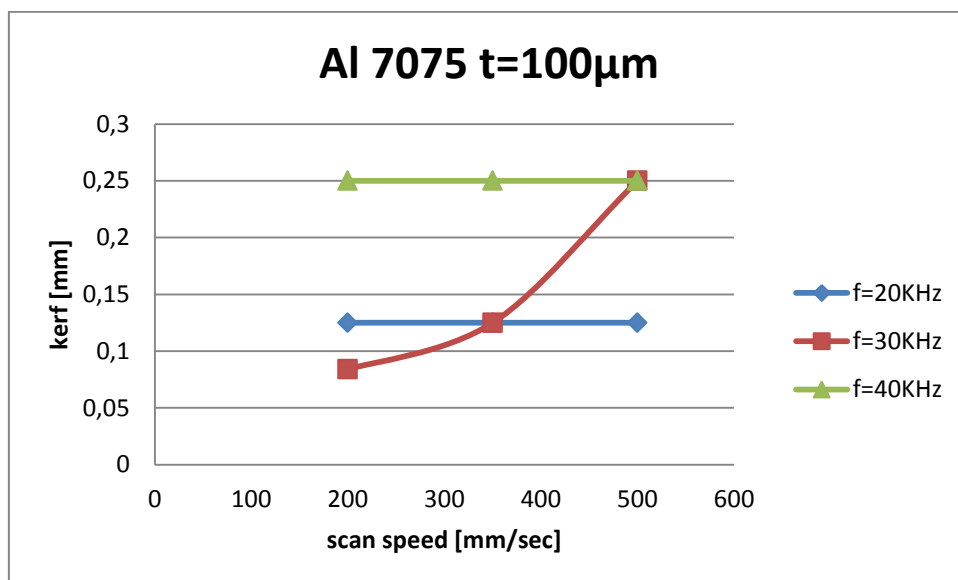


Σχήμα 5.41: Προφίλομέτρηση χάλυβα για την περιοχή 22

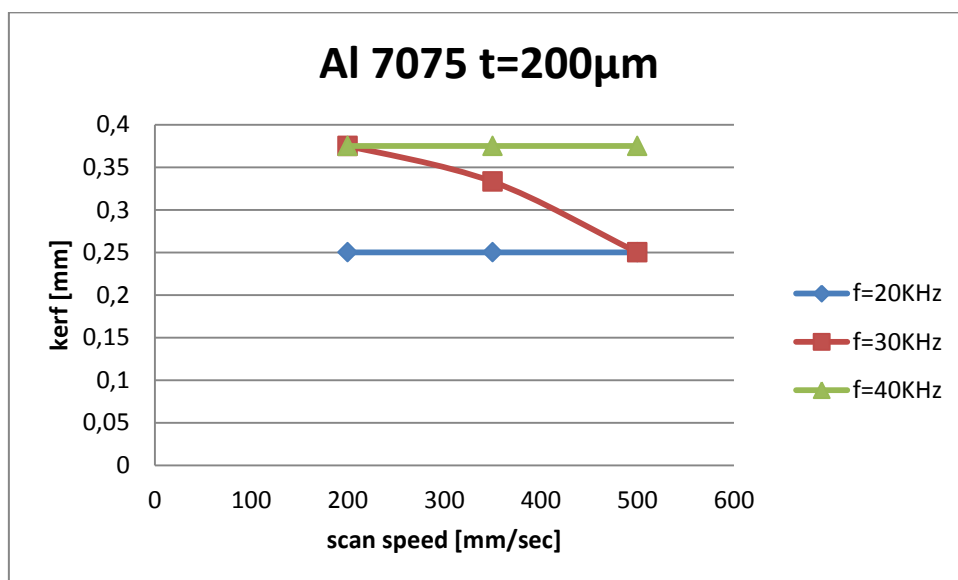
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας και τη μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, επιβεβαιώνεται πως οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην χάραξη με laser επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την τραχύτητα της τελικής επιφάνειας, ενώ επηρεάζει ελάχιστα το πλάτος των εγκοπών (kerfs). Επίσης, το πλάτος των εγκοπών με την χρήση συγκεκριμένων παραμέτρων διαφέρει από υλικό σε υλικό.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την σχέση των kerfs με την ταχύτητα κοπής του υλικού.



Σχήμα 6.1: Γραφική απεικόνιση για το αλουμίνιο με βάθος κοπής 100 μm.

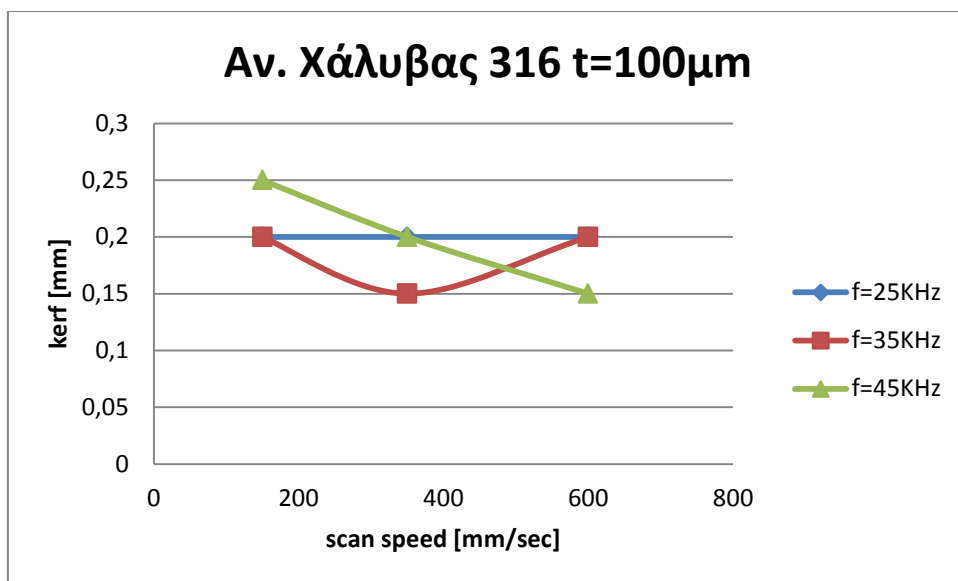


Σχήμα 6.2: Γραφική απεικόνιση για το αλουμίνιο με βάθος κοπής 200 μm.

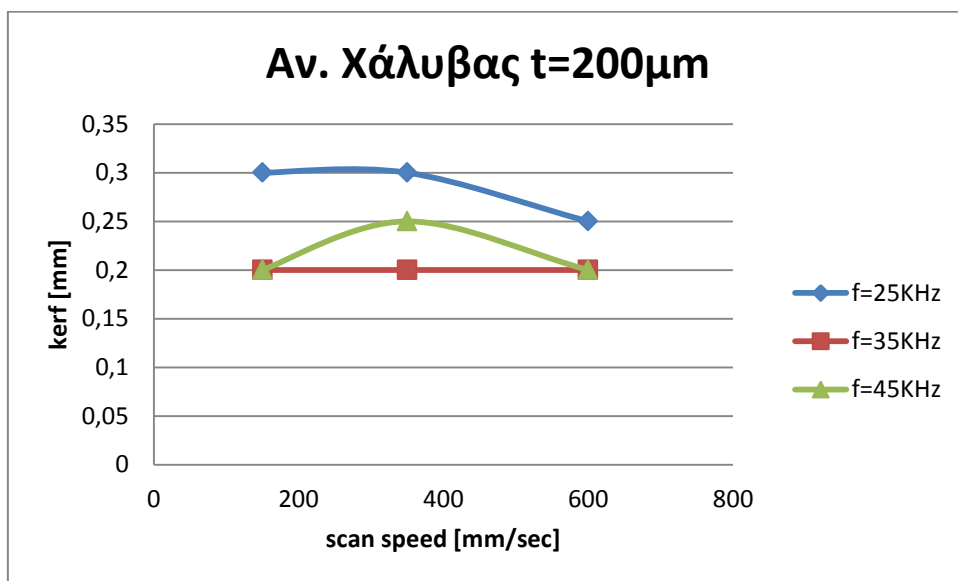
Από τις παραπάνω γραφικές απεικονίσεις, παρατηρείται ότι για συχνότητα 20KHz και 40KHz οι τιμές των kerfs παραμένουν σταθερές ενώ για συχνότητα 30KHz και αύξηση της ταχύτητας σάρωσης παρατηρούνται αυξομειώσεις ανάλογα με το τελικό βάθος κοπής. Δηλαδή, για βάθος κοπής ίσο με 100μm οι τιμές των kerfs αυξάνονται με μέγιστη διαφορά

τα 0.16mm, ενώ για βάθος κοπής ίσο με 200μm οι τιμές μειώνονται στην τάξη των 0,125mm η οποία λαμβάνεται ως αμελητέα.

Για τον ανοξείδωτο χάλυβα 316 η μέγιστη διαφορά στα kerfs παρατηρήθηκε να είναι 0,3 mm και η ελάχιστη 0 mm.



Σχήμα 6.3: Γραφική απεικόνιση για τον ανοξείδωτο χάλυβα με βάθος κοπής 100 μm.

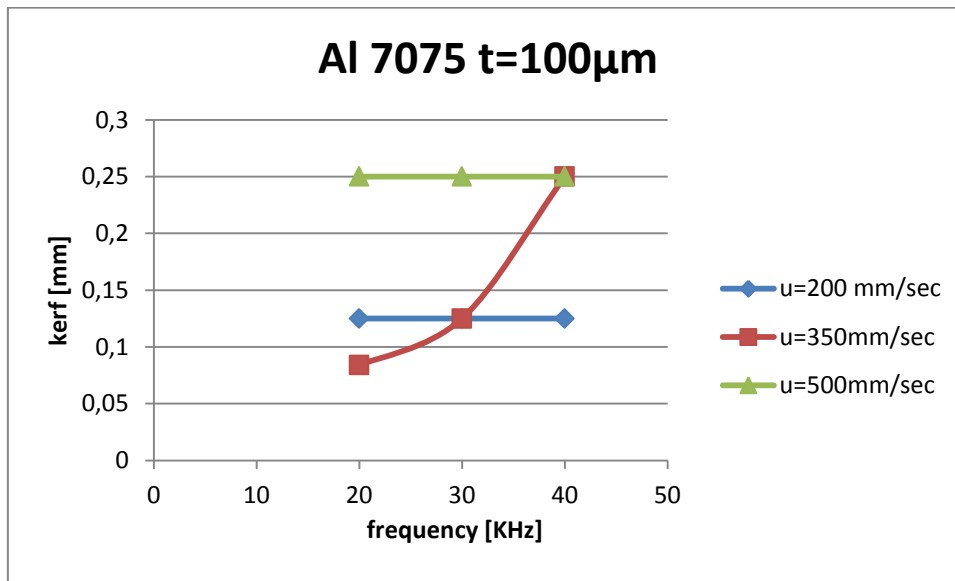


Σχήμα 6.4: Γραφική απεικόνιση για τον ανοξείδωτο χάλυβα με βάθος κοπής 200 μm.

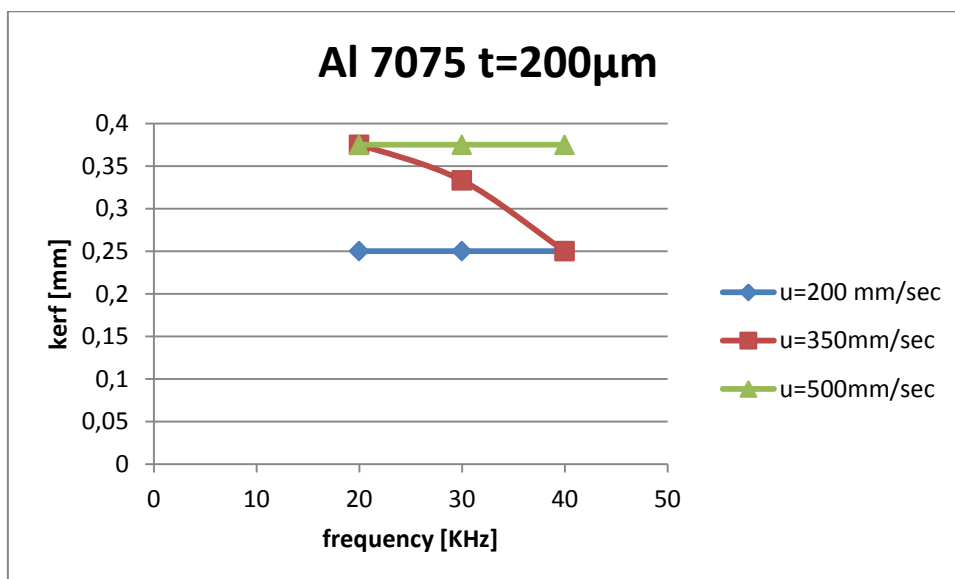
Από τις γραφικές απεικονίσεις για τον ανοξείδωτο χάλυβα παρατηρείται στα 100μm ότι για συχνότητα παλμού ίση με 35KHz οι τιμές των Kerfs παραμένουν σταθερές, για f=45KHz και αύξηση της ταχύτητας οι τιμές μειώνονται στα 0,10mm και τέλος για f=35KHz η τιμή του kerf μειώνεται όταν η ταχύτητα φτάνει τα 350mm/sec, ενώ με την αύξηση της, αυξάνεται και πάλι η τιμή του kerf.

Για το βάθος των 200μm και f=35KHz οι τιμές των kerfs παραμένουν σταθερές, για f=25KHz και αύξηση της ταχύτητας οι τιμές μειώνονται στην τάξη των 0.05mm και για f=45KHz οι τιμές αυξομειώνονται.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τη σχέση των kerfs με την συχνότητα.

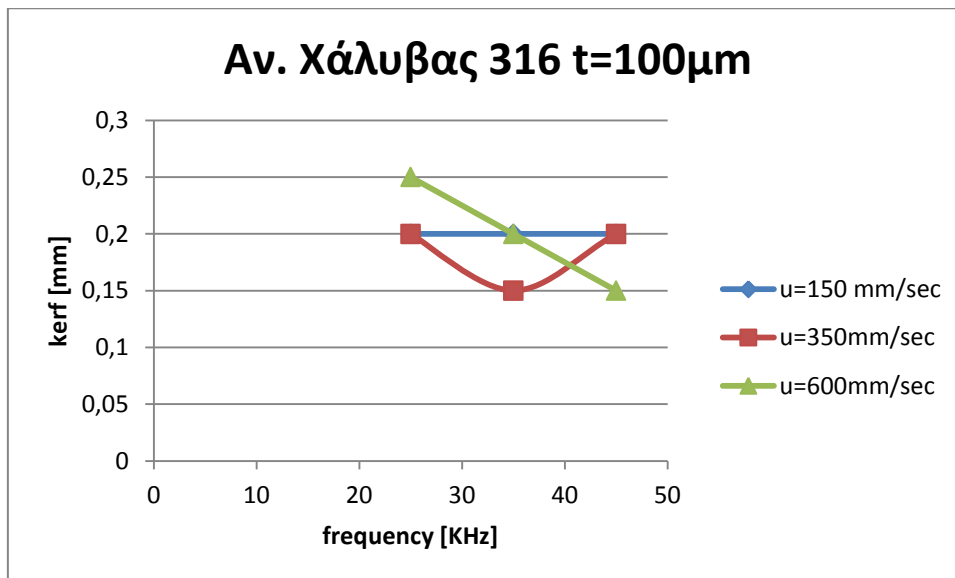


Σχήμα 6.5: Γραφική απεικόνιση για το αλουμίνιο με βάθος κοπής 100 μm.

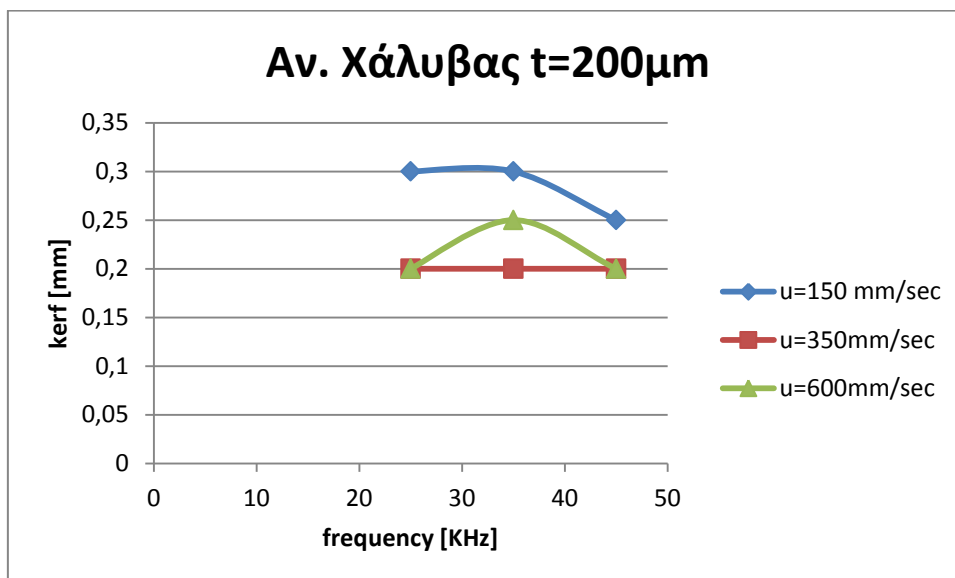


Σχήμα 6.6: Γραφική απεικόνιση για το αλουμίνιο με βάθος κοπής 200 μm.

Όπως παρατηρήθηκε για βάθος κοπής 100μm και για ταχύτητα σάρωσης ίση με 200mm/sec και 500mm/sec οι τιμές των kerfs παραμένουν σταθερές στην τιμή των 0.125mm και 0.25mm αντίστοιχα ενώ για u=350mm/sec και αύξηση της συχνότητας παρατηρείται αύξηση της τάξης των 1,525. Αντίθετα για βάθος κοπής ίσο με 200μm για u=350mm/sec και αύξηση της συχνότητας παρατηρείται μείωση στην τιμή του kerf στα 0.15mm.



Σχήμα 6.7: Γραφική απεικόνιση για τον ανοξείδωτο χάλυβα με βάθος κοπής 100 μm .



Σχήμα 6.8: Γραφική απεικόνιση για το αλουμίνιο με βάθος κοπής 200 μm .

Για τον ανοξείδωτο χάλυβα παρατηρήθηκε για βάθος κοπής 100 μm και για ταχύτητα σάρωσης ίση με 150 mm/sec με την αύξηση της συχνότητας οι τιμές των kerfs παραμένουν σταθερές στα 0.2 mm. Με την αύξηση της ταχύτητας στα 600 mm/sec οι τιμές αυτές μειώνονται.

Για βάθος κοπής 200 μm και $u=350\text{ mm/sec}$ οι τιμές των kerfs δεν επηρεάζονται με την αύξηση της συχνότητας, ενώ για $u=150\text{ mm/sec}$ οι τιμές μειώνονται μόλις 0.05 mm.

Για τα μεγαλύτερα βάθη κοπής δεν υπάρχει δυνατότητα μελέτης, καθώς ο στυλίσκος του τραχύμετρου δεν έχει την δυνατότητα να υπερβεί τα 300 μm .

Όπως διαπιστώνεται, οι διαφορές αυτές είναι αμελητέες για την συγκεκριμένη μελέτη, με τις συγκεκριμένες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Δηλαδή, οι τιμές των συχνοτήτων καθώς και των ταχυτήτων δεν επιδρούν με μεγάλη διαφορά στις τιμές των kerfs

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A.Sharma, “Optimization of kerf quality characteristics during Nd: YAG laser cutting of nickel based superalloy sheet”, Elsevier, 2010
- [2] S.Shirley, “Laser cutting of polymeric materials”, University of Makrysia, 2009
- [3] A.Kaldos, “Laser machining in die making-a modern rapid tooling process”, Ono-von-Guericke-University, 2004
- [4] L.Orazi, “an automated procedure for material removal rate prediction in laser surface micromanufacturing”, Springer-Verlag-London, 2009
- [5] C.Karatas, “Laser cutting of steel sheets: Influence of workpiece thickness and beam waist position on kerf size”, Elsevier, 2005
- [6] B.S. Yilbas, “Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations”, ME Department, KFUPM, 2007
- [7] C.Leone, “Laser engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:Yag green laser”, Optics and Laser in engineering 47, 2009
- [8] C.Hombostel, “Construction materials: Types, Uses and Applications”, Second Edition New York, 1991
- [9] Σ.Πατέλης, “Επίδραση των συνθηκών κατεργασίας στην προκύπτουσα τραχύτητα επιφάνειας στη χάραξη με Laser”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2011