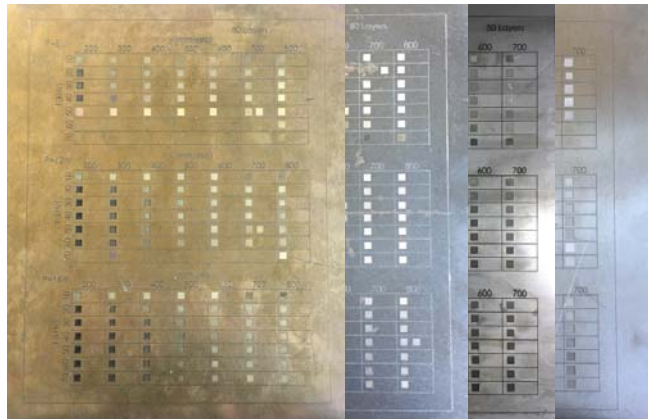


ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΕΓΧΑΡΑΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ LASER ENGRAVING



Καθ. Αριστομένης Αντωνιάδης
Καθ. Νικόλαος Μπιλάλης
Καθ. Γεώργιος Σταυρουλάκης

Χορευτάκης Ιωάννης

Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2019

2019



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2

Πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης των συνθηκών
κατεργασίας στο βάθος εγχάραξης της κατεργασίας Laser Engraving

Εισαγωγή

- Χάραξη με Laser
- Κέντρο κατεργασίας Lasertec 40
- Προγράμματα της εργαλειομηχανής
- Σκοπός της εργασίας

Πειραματική Διαδικασία

- Συνθήκες κατεργασίας
- Δημιουργία πλαισίου
- Διαδικασία Technology
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το εκάστοτε υλικό

Συμπεράσματα

- Διαγράμματα αποτελεσμάτων
- Αξιοσημείωτες παρατηρήσεις
- Προτάσεις περαιτέρω διερεύνησης

2019



Δομή της εργασίας

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης



Χάραξη με Laser (**Laser Engraving**) είναι η κατεργασία η οποία χρησιμοποιεί τη δέσμη laser για να χαράξει ή να σημαδέψει ένα αντικείμενο.

Τα πιο σημαντικά **πλεονεκτήματα** της κατεργασίας αυτής είναι:

- Υψηλή **διαστατική ακρίβεια** σε περίπλοκα γεωμετρικά σχήματα
- Μεγάλο **εύρος υλικών** που μπορεί να κατεργαστεί
- Μικρό **κόστος παραγωγής** καθώς δεν υπάρχει επαφή του κοπτικού εργαλείου με το κατεργαζόμενο τεμάχιο



2019



Laser Engraving

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Η **Lasertec 40** είναι η εργαλειομηχανή CNC η οποία χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας διπλωματικής. Πρόκειται για ένα κάθετο κέντρο κατεργασίας τριών γραμμικών και δύο οπτικών αξόνων. Διαθέτει παλμικό Nd:YAG τύπου laser με μέγιστη μέση ισχύ τα 20 Watt

Χαρακτηριστικά της μηχανής

- Τύπος μετάδοσης Laser: Παλμικός
- Ενεργό μέσο: Ytterbium fibre
- Μέγιστη μέση ισχύς: 20 W
- Διάρκεια παλμού: 100 ns
- Μήκος κύματος: 1064 nm
- Ταχύτητα σάρωσης δέσμης : 50-1000 mm/s
- Διάμετρος δέσμης laser: 30 μ m
- TFT Οθόνη 15 ιντσών.
- Κλιματιζόμενη καμπίνα.
- Μνήμη με σκληρό δίσκο 40 GB.
- Control με 32-bit επεξεργαστή.
- Internet interface



2019



Εργαλειομηχανή DMG Lasertec40

<http://www.m3.tuc.gr>

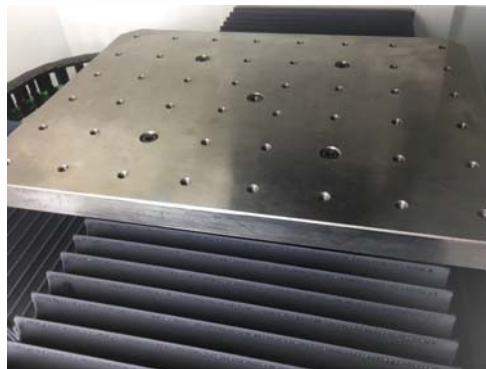


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

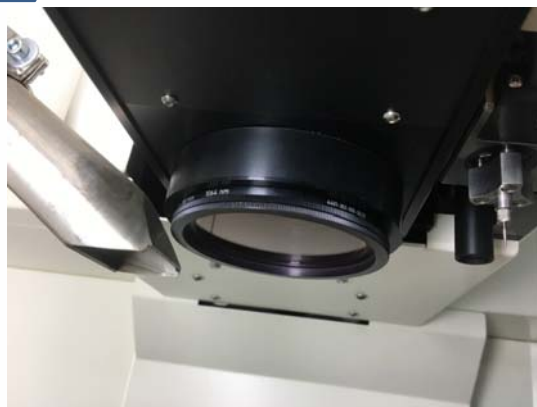
Στο εσωτερικό του θαλάμου κατεργασίας, στο κάτω μέρος υπάρχει η τράπεζα. Πάνω στην οποία τοποθετείται το τεμάχιο που επρόκειτο να επεξεργαστεί. Η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Διαστάσεις τράπεζας	: 400 x 300 mm
Μέγιστο φορτίο	: 50 kg
Κίνηση τράπεζας στον άξονα X	: 400 mm
Κίνηση τράπεζας στον άξονα Y	: 300 mm
Κίνηση τράπεζας στον άξονα Z	: 500 mm
Ταχύτητα κίνησης τράπεζας	: $\approx 12\text{mm/min}$



Στο επάνω μέρος υπάρχουν τα εξής:

- Το ακροφύσιο της σκούπας
- Ο φακός του laser
- Η κάμερα καθοδήγησης - Φακός ρυθμιζόμενης φωτεινότητας
- Το probe



Εσωτερικό καμπίνας εργαλειομηχανής Lasertec 40

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

• LpsWin

Το πρόγραμμα LpsWin το οποίο είναι εγκατεστημένο στο κέντρο κατεργασίας Lasertec40 χρησιμοποιείτε για τη δημιουργία στρωματοποίησης του αντικειμένου πριν δοθεί στην μηχανή για την τελική κατεργασία.

• Lasersoft3D

Το LaserSoft3D είναι το πρόγραμμα καθοδήγησης της εργαλειομηχανής, μέσω του οποίου χειριστής της μηχανής πραγματοποιεί όλες τις κατάλληλες διεργασίες για την πραγματοποίηση της χάραξης. Δηλαδή, τον χειρισμό της τράπεζας, μηδενισμό του τεμαχίου, καθώς και τον ορισμό της ισχύος του laser και των παραμέτρων της κατεργασίας.



Προγράμματα χειρισμού της εργαλειομηχανής Lasertec 40

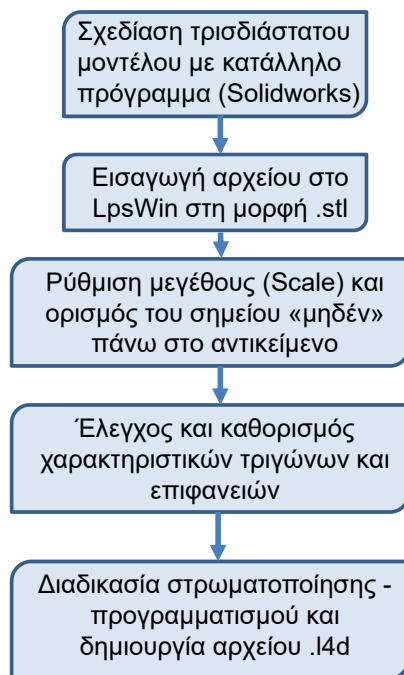
<http://www.m3.tuc.gr>



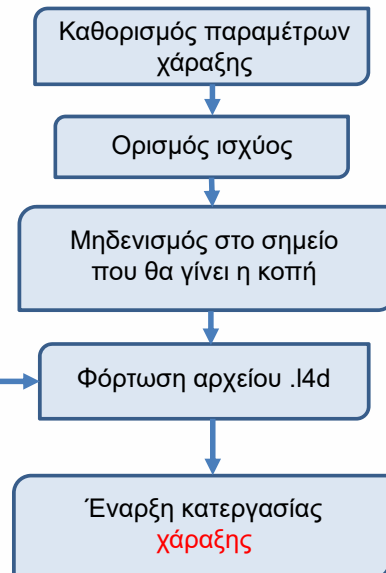
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

LpsWin



Lasersoft3D



Διάγραμμα ροής διεργασιών στο LpsWin και στο Lasersoft3D

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Τελικό επιθυμητό βάθος χάραξης

Πρόγραμμα CAM (LpsWin) Layer thickness= ;

Για να γνωρίζει ο χειριστής της εργαλειομηχανής το layer thickness πρέπει να περάσει από την πειραματική διαδικασία του Technology (Lasersoft3D). Εισάγοντας αρχικές τιμές για τις συνθήκες της συχνότητας, ταχύτητας χάραξης καθώς και το επιθυμητό layer thickness και παίρνοντας από την πειραματική διαδικασία την κατάλληλη ισχύς

Σκοπός και στόχος της εργασίας

<http://www.m3.tuc.gr>

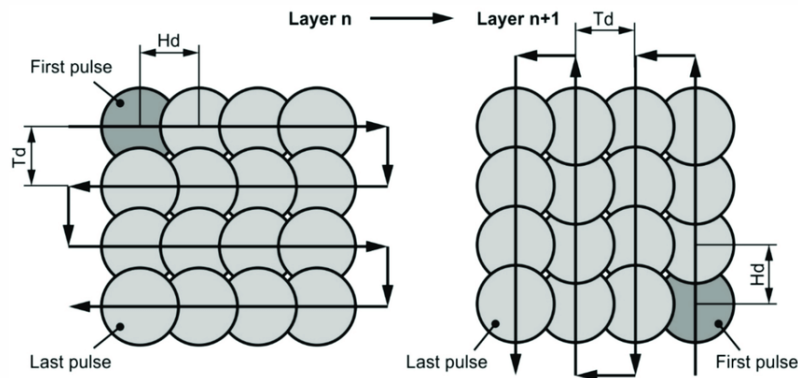
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Οι συνθήκες κατεργασίας που αλλάζουν στη πειραματική διαδικασία είναι:

1. Μέση ένταση Παλμών
2. Ταχύτητα Σάρωσης
3. Συχνότητα των παλμών

- Μέση ένταση Παλμών (Average Output Power) [Μονάδες: W=1 Joule/sec]
- Ταχύτητα Σάρωσης (Scanning Speed) [Μονάδες: mm/sec]
- Συχνότητα των παλμών (Frequency) [Μονάδες: kHz]



$$Hd = \frac{V}{F}, Td = Hd$$

2019



Συνθήκες κατεργασίας

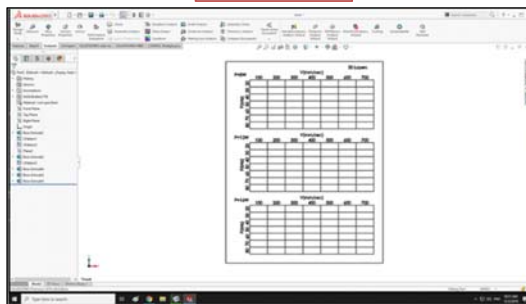
<http://www.m3.tuc.gr>



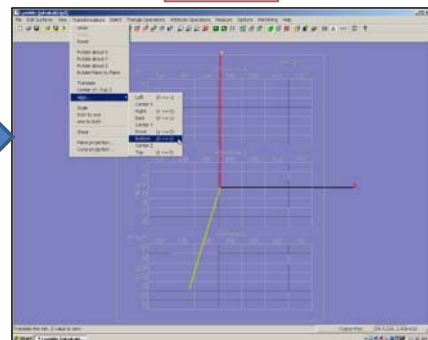
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

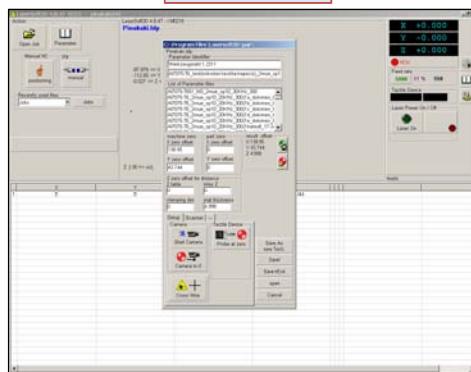
SolidWorks



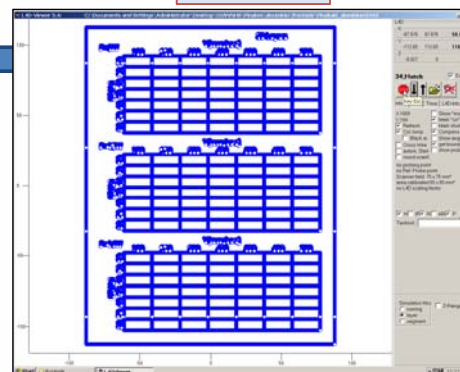
LpsWin



Lasersoft3D



L4DViewer



2019



Δημιουργία πλαισίου

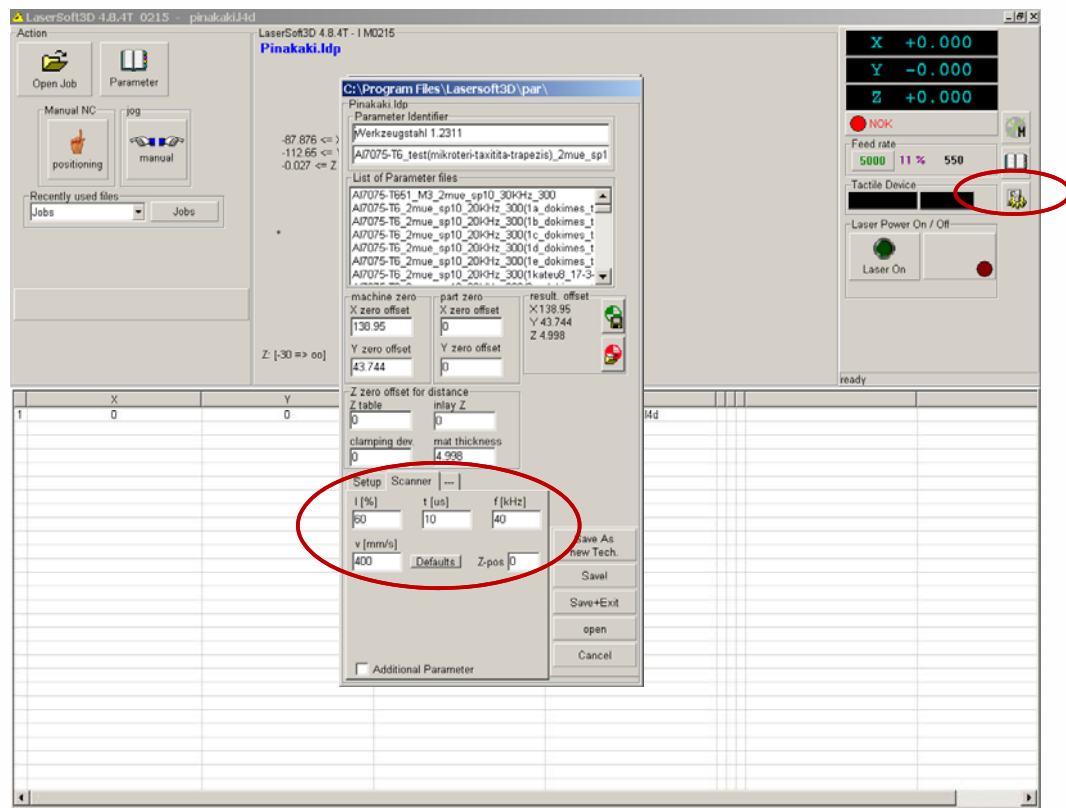
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



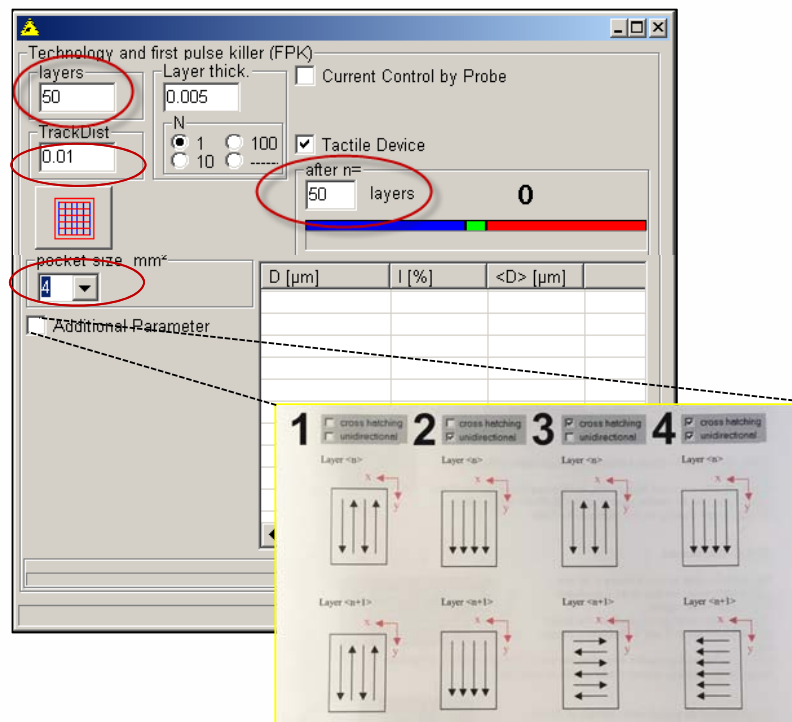
Διαδικασία Technology (1)

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



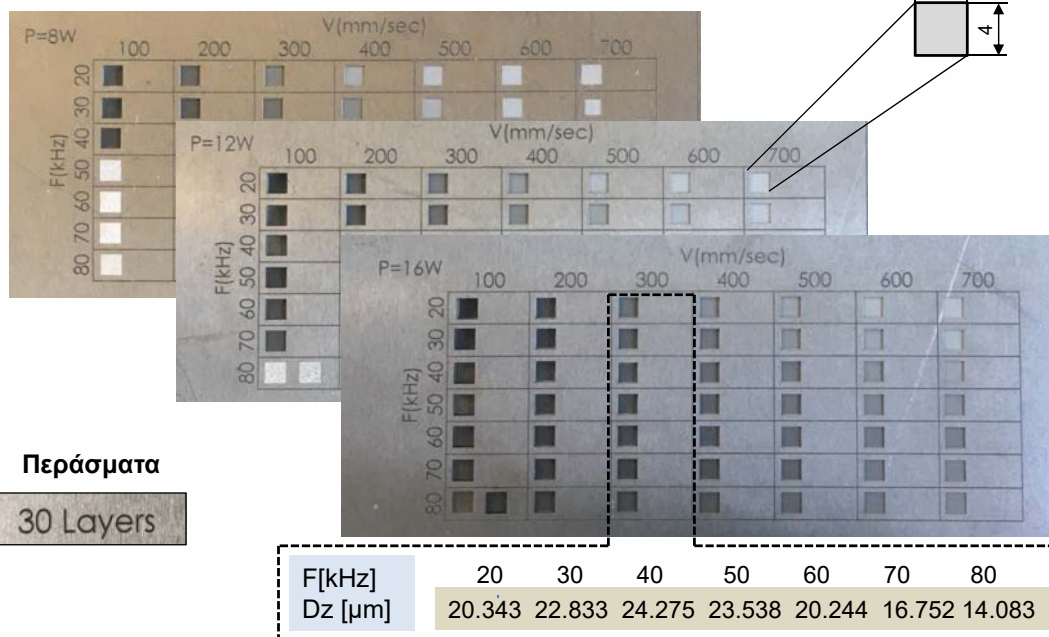
Διαδικασία Technology (2)

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Αλουμίνιο (7075-T6)



2019

Πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης των συνθηκών κατεργασίας στο βάθος εγχάραξης της κατεργασίας Laser Engraving



Παραγόμενο τεμάχιο Αλουμινίου μετά τα πειράματα

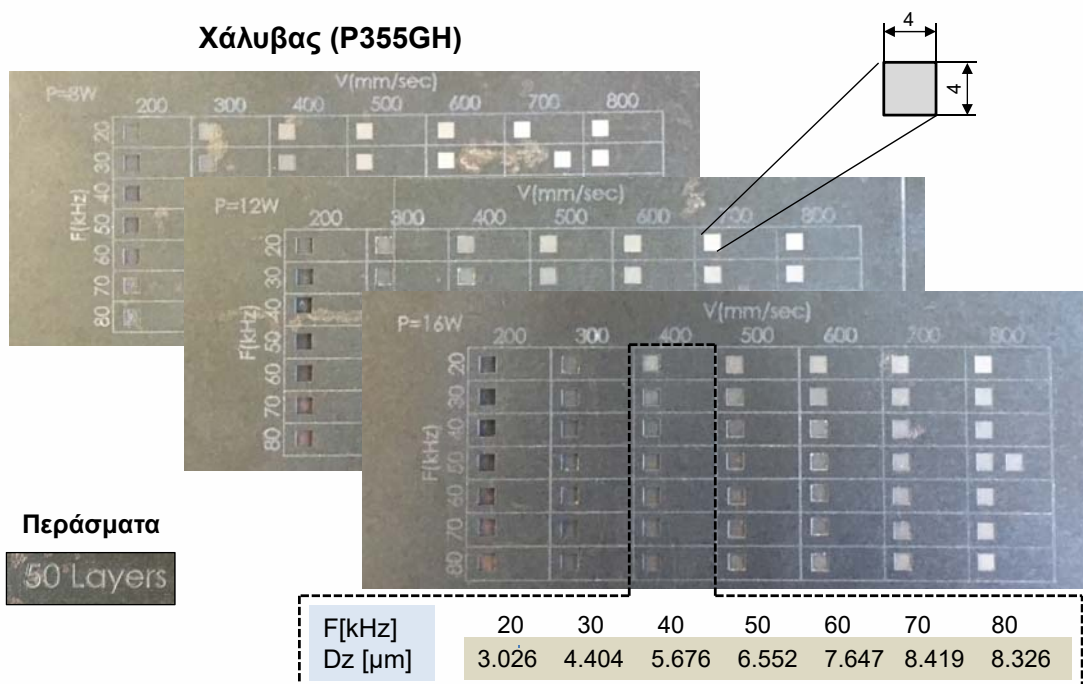
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Χάλυβας (P355GH)



2019

Πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης των συνθηκών κατεργασίας στο βάθος εγχάραξης της κατεργασίας Laser Engraving



Παραγόμενο τεμάχιο Χάλυβα μετά τα πειράματα

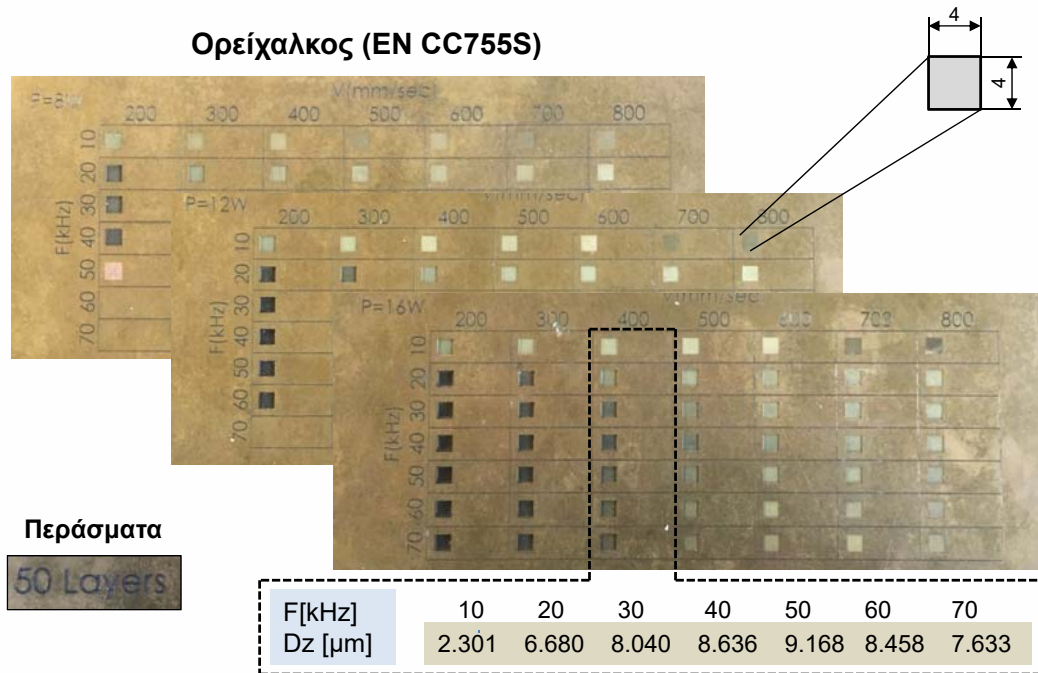
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Ορείχαλκος (EN CC755S)



Παραγόμενο τεμάχιο Ορείχαλκου μετά τα πειράματα

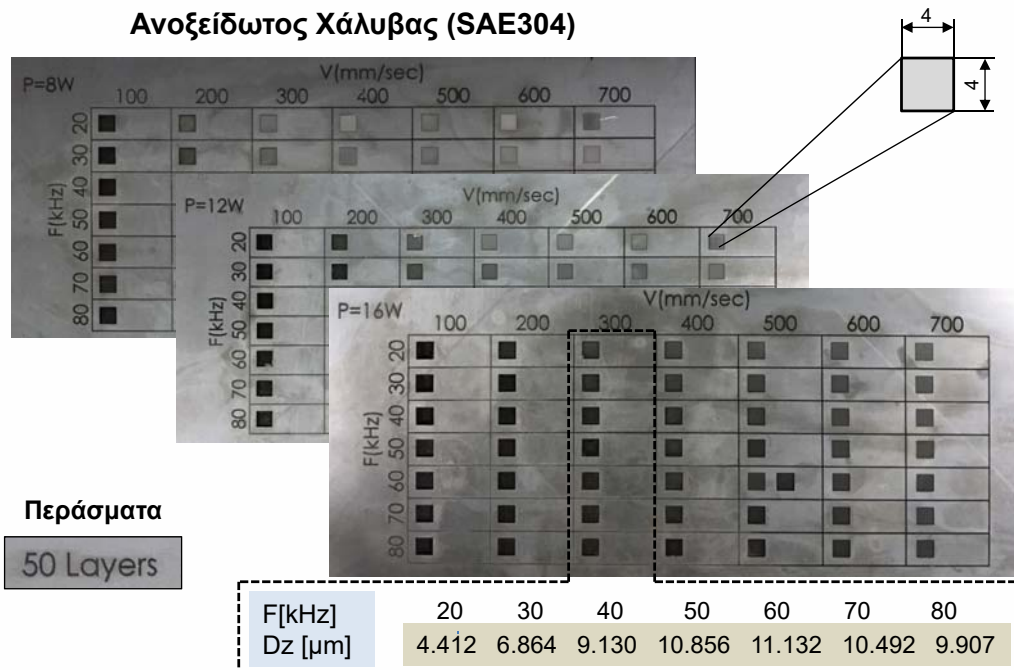
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Ανοξείδωτος Χάλυβας (SAE304)



Παραγόμενο τεμάχιο Ανοξείδωτου Χάλυβα μετά τα πειράματα

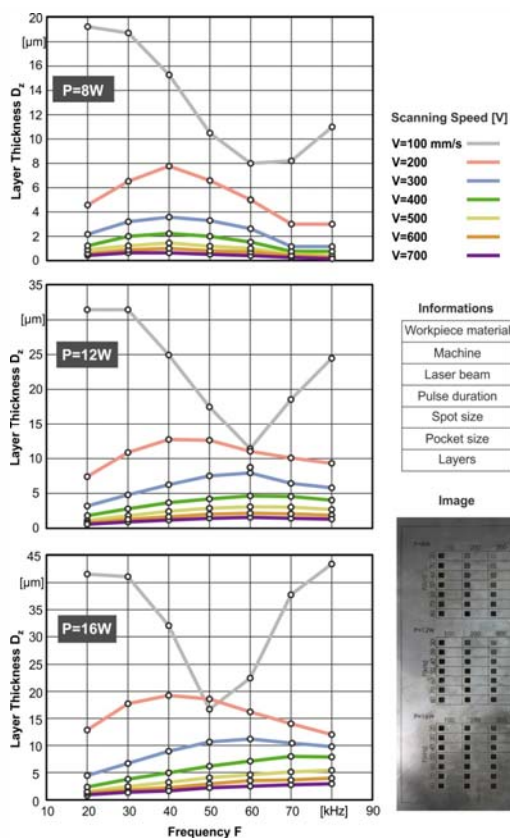
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



Ανοξειδωτος χάλυβας (SAE304):

- Αύξηση ταχύτητας = Μείωση του layer thickness
- Αύξηση μέσης ισχύς = Αύξηση του layer thickness
- Ανεξαρτήτως της ισχύς παρατηρήθηκε ότι για τις ταχύτητες: [200 έως 700 mm/s] εμφανίζεται αύξηση του layer thickness μέχρι κάποια τιμή συχνότητας, όπου και παρατηρείται ένα peak, και μετά για υπόλοιπες τιμές της συχνότητας παρατηρείται σταδιακή μείωσή του.
- Στη ταχύτητα V= 100 mm/sec παρατηρείται μια συνεχή μείωση του layer thickness για τιμές συχνότητας 50 - 60 kHz (ανάλογα την ισχύς), όπου και παρατηρείται η ελάχιστη τιμή. Στη συνέχεια εμφανίζεται πάλι μια απότομη αύξηση.



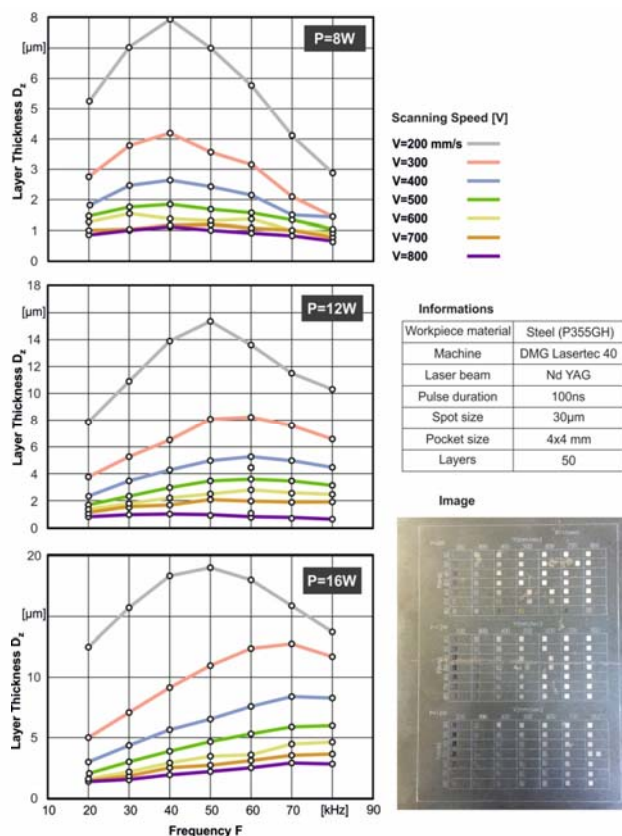
Διαγράμματα αποτελεσμάτων για Ανοξειδωτο Χάλυβα (SAE304)

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



Χάλυβας (P355GH):

- Αύξηση ταχύτητας = Μείωση του layer thickness
- Αύξηση μέσης ισχύς = Αύξηση του layer thickness
- Οι καμπύλες που αντιπροσωπεύουν τις ταχύτητες σάρωσης: [500 έως 800 mm/s] έχουν παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή εμφανίζουν μικρές εναλλαγές του layer thickness σχηματίζοντας έτσι μια κυματοειδή μορφή.
- Στις καμπύλες με ταχύτητα σάρωσης: [200 έως 400 mm/s] παρατηρείται κωδωνοειδή μορφή, δηλαδή εμφανίζει αύξηση του layer thickness για τιμές συχνότητας 40 - 70 kHz (ανάλογα την ένταση), όπου και παρατηρείται ένα peak, και μετά για υπόλοιπες τιμές της συχνότητας παρατηρείται μια σταδιακή και έντονη μείωσή του



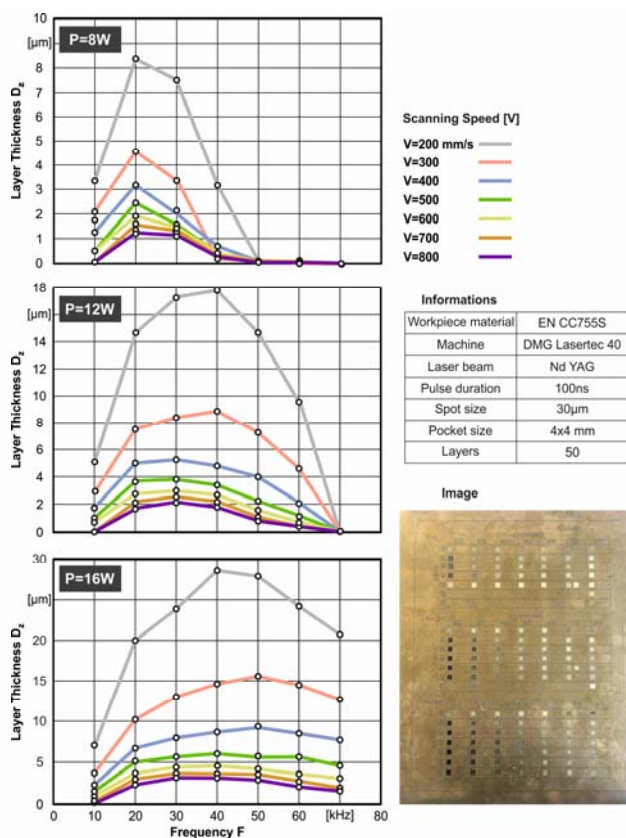
Διαγράμματα αποτελεσμάτων για Χάλυβα (P355GH)

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



Ορείχαλκος (EN CC755S):

- Αύξηση ταχύτητας = Μείωση του layer thickness
- Αύξηση μέσης ισχύος = Αύξηση του layer thickness
- Στις εντάσεις P=12 & 16W ανεξάρτητα από την ταχύτητα σάρωσης παρατηρείται κωδωνοειδή μορφή στις καμπύλες
- Στην ένταση P=8W, παρατηρείται μια απότομη αύξηση το layer thickness μέχρι την συχνότητα F=20 kHz όπου εμφανίζεται και η μέγιστη τιμή για κάθε καμπύλη. Μετά την οποία παρατηρείται απότομη μείωσή του μέχρι που στη συχνότητα των 50 kHz οι τιμές του layer thickness τείνουν στο μηδέν και έτσι αποφασίστηκε να μην γίνουν τα πειράματα μετά την συχνότητα αυτή



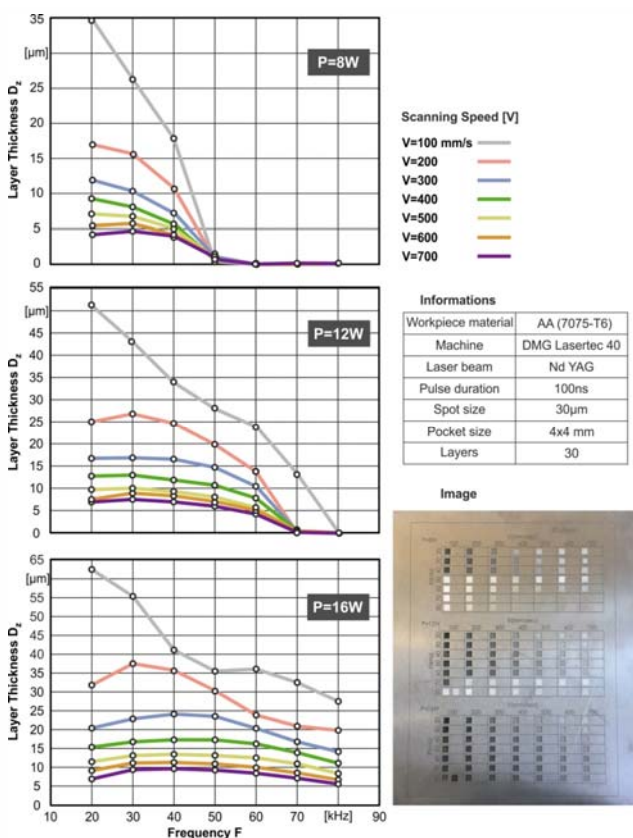
Διαγράμματα αποτελεσμάτων για Ορείχαλκο (EN CC755S)

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019



Αλουμίνιο (7075-T6):

- Αύξηση ταχύτητας = Μείωση του layer thickness
- Αύξηση μέσης ισχύος = Αύξηση του layer thickness
- Στις εντάσεις P=8 & 12W παρατηρείται ότι οι καμπύλες είναι φθίνουσες, δηλαδή όσο αυξάνεται η συχνότητα τόσο παρατηρούμε και μείωση του layer thickness
- Στην ένταση P=16W παρατηρείται κωδωνοειδή μορφή για τις καμπύλες με ταχύτητα [200 έως 700 mm/sec]. Τέλος στην καμπύλη με ταχύτητα σάρωσης V=100 mm/sec παρατηρήθηκε μια τελείως διαφορετική συμπεριφορά, δηλαδή εάν δεν παρουσίαζε στις συχνότητες 40 και 50 kHz μια απότομη μείωση του layer thickness τότε θα είχαμε μια σχεδόν γραμμική καμπύλη με αρνητική κλίση.



Διαγράμματα αποτελεσμάτων για το Αλουμίνιο AA (7075-T6)

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Δημιουργία επιφανειακού στρώματος μετάλλου.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε στο **αλουμίνιο** και συγκεκριμένα στις συνθήκες: **$P=8W$ (40%), $F=60\text{ kHz}$ και $V=100\text{ mm/sec}$** . Στις συνθήκες αυτές η κατεργασία βρίσκεται στα όρια του εάν η πλάκα αλουμινίου υφίσταται εξάχνωση ή απλά θερμαίνεται χωρίς να φτάνει σε σημείο τήξης.



2019

Πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης των συνθηκών κατεργασίας στο βάθος εγχάραξης της κατεργασίας Laser Engraving



Αξιοσημείωτες παρατηρήσεις no.1

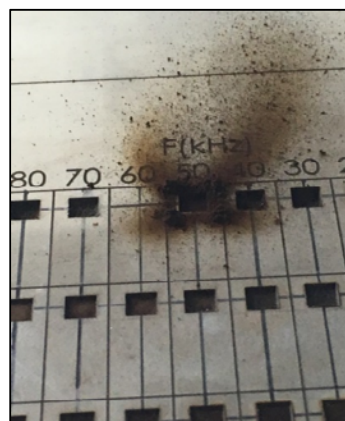
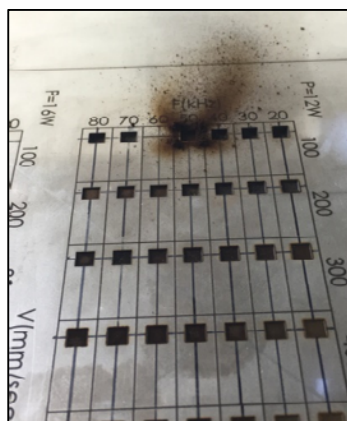
<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Συσσώρευση μικρορινισμάτων στη περιοχή του πειράματος.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε κυρίως στον **ανοξείδωτο χάλυβα** στις συνθήκες **$P=8, 12 \text{ & } 16\text{ W}$, συχνότητα $[40 \text{ έως } 70\text{ kHz}]$ και ταχύτητα $V=100\text{ mm/s}$** . Στον συνδυασμό αυτών των συνθηκών οι κατεργασίες αποφέρουν μεγάλα layer thickness. Έτσι μετά από 50 layer που είχε οριστεί η πειραματική διαδικασία, εμφανίζεται ένα σημαντικό τελικό βάθος εγχάραξης με αποτέλεσμα η σκούπα να μην καταφέρνει να απομακρύνει τα ρινίσματα στον επιθυμητό βαθμό και έτσι να παρατηρείται συσσώρευση μικρορινισμάτων στη περιοχή του πειράματος



2019

Πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης των συνθηκών κατεργασίας στο βάθος εγχάραξης της κατεργασίας Laser Engraving



Αξιοσημείωτες παρατηρήσεις no.2

<http://www.m3.tuc.gr>

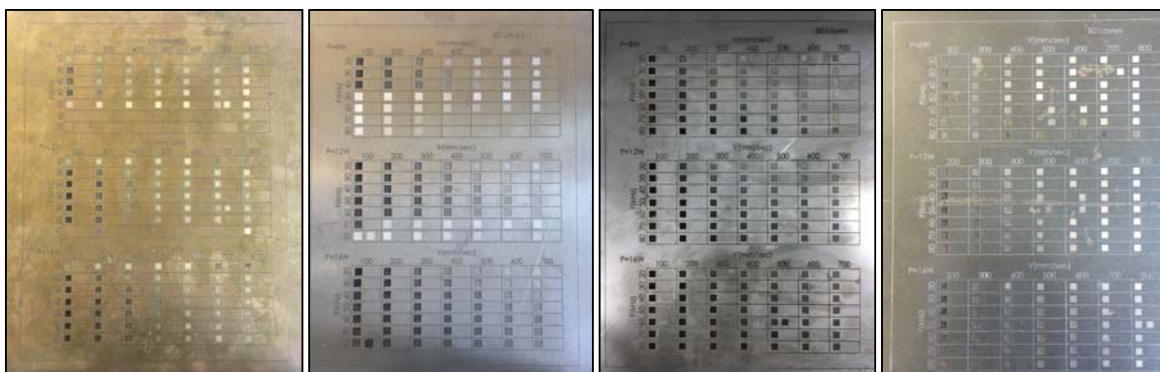

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019

Δημιουργία διαφόρων χρωμάτων με το πέρας της κατεργασίας.

Όπως φαίνεται από τις εικόνες σε όλα τα υλικά παρατηρήθηκε η δημιουργία διαφόρων χρωματικών αποχρώσεων. Αρχικά μπορεί να παρατηρηθεί ότι όταν υπάρχουν μεγάλα βάθη εγχάραξης παρατηρείται ένα έντονο σκούρο συνήθως μαύρο χρώμα. Ενώ όσο αυξάνονται οι ταχύτητες σάρωσης και μειώνονται τα βάθη εγχάραξης παρατηρείται η δημιουργία διαφορετικών χρωμάτων. Η βάση του χρώματος εξαρτάτε από το υλικό, δηλαδή στον ορείχαλκο είναι κίτρινο, στο αλουμίνιο είναι γκρι κ.λπ., ενώ η απόχρωσή του αλλάζει ανάλογα με το που κυμαίνεται η συχνότητα.



Αξιοσημείωτες παρατηρήσεις no.3

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

2019

- Θα είχε ενδιαφέρον να γίνει μια παρόμοια μελέτη και να εξεταστεί η κατεργασία της χάραξης για **μια ευρεία γκάμα υλικών**, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στις μηχανικές κατεργασίες.
- Επίσης προτείνεται μια σειρά πειραμάτων στο προφίλομετρο Contour GT-K 3D, ώστε να εξεταστεί η συσχέτιση των συνθηκών (ταχύτητα σάρωσης, συχνότητα παλμών, κατεργαζόμενο υλικό και μέση ισχύς) με την **τραχύτητα** των κατεργαζόμενων επιφανειών.
- **Ανάπτυξη λογισμικού** που να δίνει στον χειριστή της εργαλειομηχανής την δυνατότητα να καταχωρεί συνολικά τα δεδομένα για την κατεργασία (υλικό, επιθυμητό βάθος χάραξης, χρόνος κατεργασίας, επιθυμητή τραχύτητα, χρώμα τελικής επιφάνειας) και το πρόγραμμα να του δίνει απευθείας τις βέλτιστες συνθήκες στις οποίες πρέπει να προγραμματιστεί το κέντρο κατεργασίας Lasertec 40 έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα με μεγάλη διαστασιολογική ακρίβεια.



Προτάσεις περαιτέρω διερεύνησης

<http://www.m3.tuc.gr>

 School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας

Ερωτήσεις;



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χορευτάκης Ιωάννης