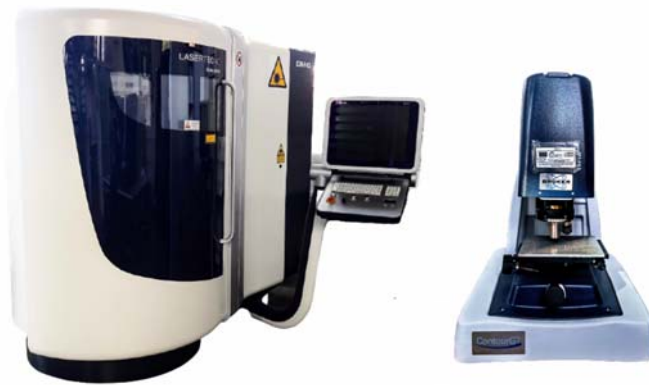


ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΧΑΡΑΞΗΣ ΜΕ LASER ΣΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ KERF



Δρ. Αριστομένης Αντωνιάδης
Δρ. Νικόλαος Μπιλάλης
Δρ. Παύλος Κουλουριδάκης

Μέγκαν Ασένοβα

Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2021

2021

Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών χάραξης με laser στη γεωμετρία της παραγόμενης διαμόρφωσης kerf



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



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

Μέγκαν Ασένοβα

2

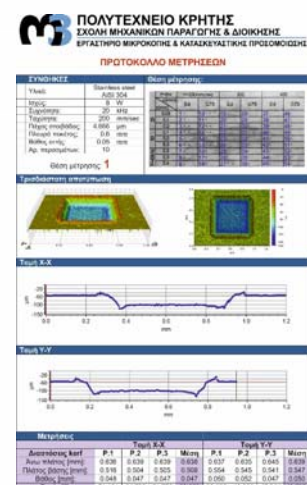


Στόχος της εργασίας

- Εκτέλεση πειραμάτων χάραξης με laser σε ανοξείδωτο χάλυβα 304
- Μελέτη των παραμέτρων κατεργασίας
- Εξαγωγή συμπερασμάτων της επίδρασής τους στη γωνία του kerf
- Δημιουργία πρωτοκόλλου μετρήσεων για το εκάστοτε πείραμα



Πρόβλεψη διαστατικών αποκλίσεων



2021

Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών χάραξης με laser στη γεωμετρία της παραγόμενης διαμόρφωσης kerf



Στόχος της εργασίας

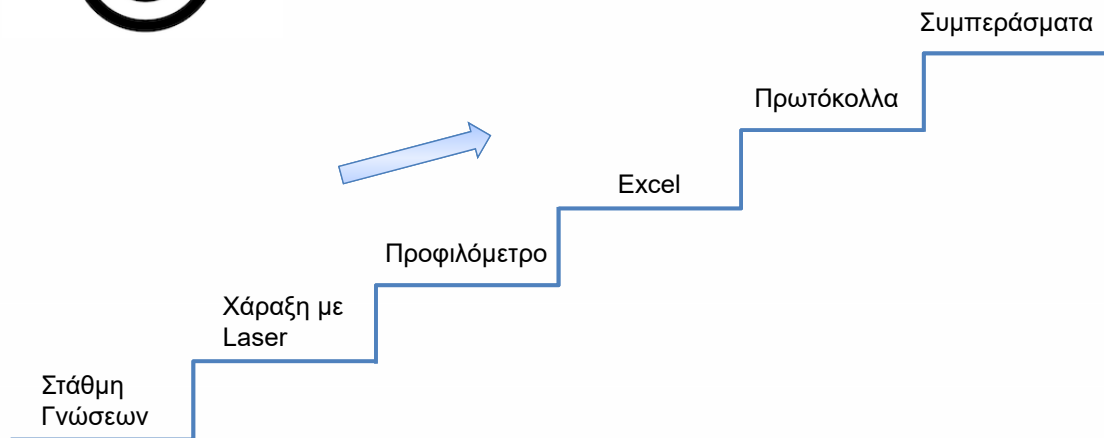
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

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

Μέγκαν Ασένοβα



Στόχος της εργασίας



Δομή παρουσίασης

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

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

Μέγκαν Ασένοβα

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

..ή αλλιώς

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το laser εκπέμπει από έναν οπτικό φακό έντονη, συνεκτική, πολύ συγκεντρωμένη δέσμη φωτός σε ένα μόνο μήκος κύματος.

Εστιάζει σε ένα μικρό έντονο σημείο



➤ Ο όρος αφαίρεση υλικού με δέσμη laser σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο της ατμοποίησης.

➤ Η ατμοποίηση στην πράξη είναι η μετατροπή μιας ουσίας από την υγρή ή στερεή φάση σε αέρια φάση (ατμός).

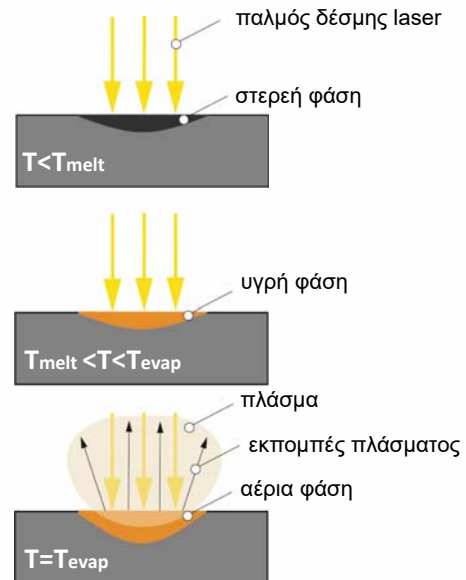
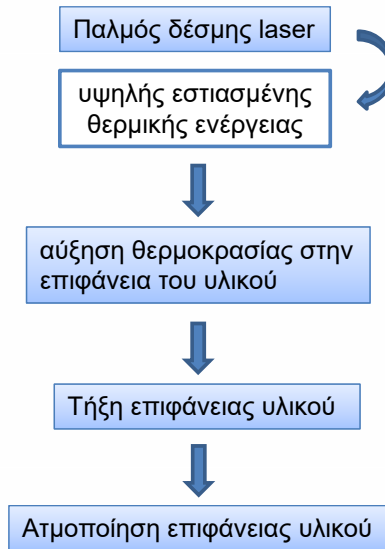


Το φαινόμενο της αφαίρεσης υλικού με δέσμη laser

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

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

Μέγκαν Ασένοβα



Χάραξη με laser: παράγει παλμούς σε ευθεία κατεύθυνση και είναι διαδικασία «layer by layer», κάθε φορά σαρώνεται μόνο ένα στρώμα με συγκεκριμένο πάχος.



Το φαινόμενο της αφαίρεσης υλικού με δέσμη laser

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

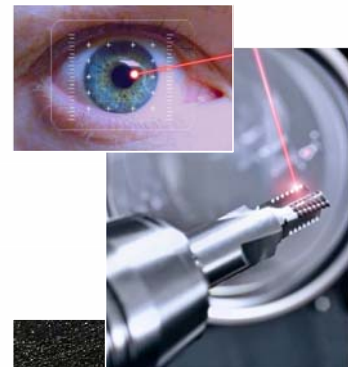


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Μέγκαν Ασένοβα

Εφαρμογές του φαινομένου

- **Εικαστικές**
κατασκευές κοσμημάτων, έργων τέχνης, τρόπαια, μετάλλια
- **Βιομηχανικές**
adding information σε εξαρτήματα, δημιουργία καλουπιών
- **Διάφορες**
αεροδιαστημική, αυτοκινητοβιομηχανία, ηλεκτρονική, ιατρική



Πλεονεκτήματα του φαινομένου

- ✓ Μέθοδος χωρίς επαφή → **μικρό κόστος παραγωγής**
- ✓ Εστίαση στην ποιότητα → **υψηλή διαστατική ακρίβεια**
- ✓ Χρησιμοποιείται σε μεγάλο **εύρος υλικών**
- ✓ **Ασφαλή κατεργασία** χωρίς επιβλαβείς χημικές ουσίες
- ✓ **Φιλική προς το περιβάλλον** → ελάχιστα απόβλητα



Το φαινόμενο της αφαίρεσης υλικού με δέσμη laser

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



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

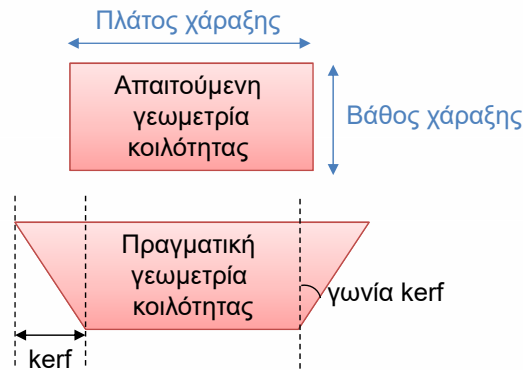
Μέγκαν Ασένοβα

...έναν λόγο που έχει μεγαλύτερη ακρίβεια, σε σχέση με άλλες κατεργασίες, είναι η αφαίρεση μικρότερης ποσότητας «kerf»

Τι εστί kerf και γιατί μας απασχολεί?

Ως «kerf» ορίζεται το πλάτος του υλικού που αφαιρείται από μια κατεργασία κοπής.

Εξαρτάται κυρίως από την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων διεργασίας.



Τα πλευρικά τοιχώματα της κατεργασμένης κοιλότητας δείχνουν μια κλίση που ονομάζεται **γωνιακή κλίση kerf**.

Άρα, οι πραγματικές διαστάσεις της τελικής χαραγμένης γεωμετρίας αποκλίνουν από τις απαιτούμενες ιδεατές που ορίζονται αρχικά.



Kerf στις κατεργασίες με δέσμη laser

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

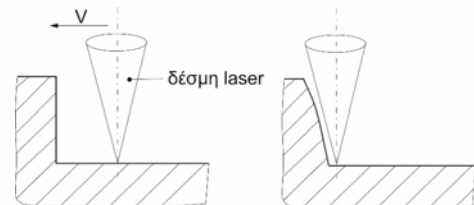


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Μέγκαν Ασένοβα

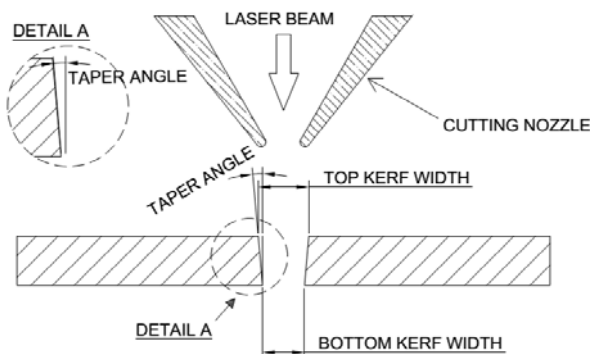
Η συγκλίνουσα μορφή του προφίλ ακτινών laser, προκαλεί πάντα την ύπαρξη του kerf κατά τη διάρκεια κατεργασίας με δέσμη laser.

Οφείλεται στην ημι-γωνία κώνου σύγκλισης δέσμης.



Χαρακτηριστικά μεγέθη του kerf:

- πλάτος **kerf width**
 1. άνω πλάτος **top kerf width**
 2. κάτω πλάτος **bottom kerf width**
- γωνία κλίσης **kerf taper angle**



Λόγω ύπαρξης **kerf** δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν κατακόρυφα τοιχώματα



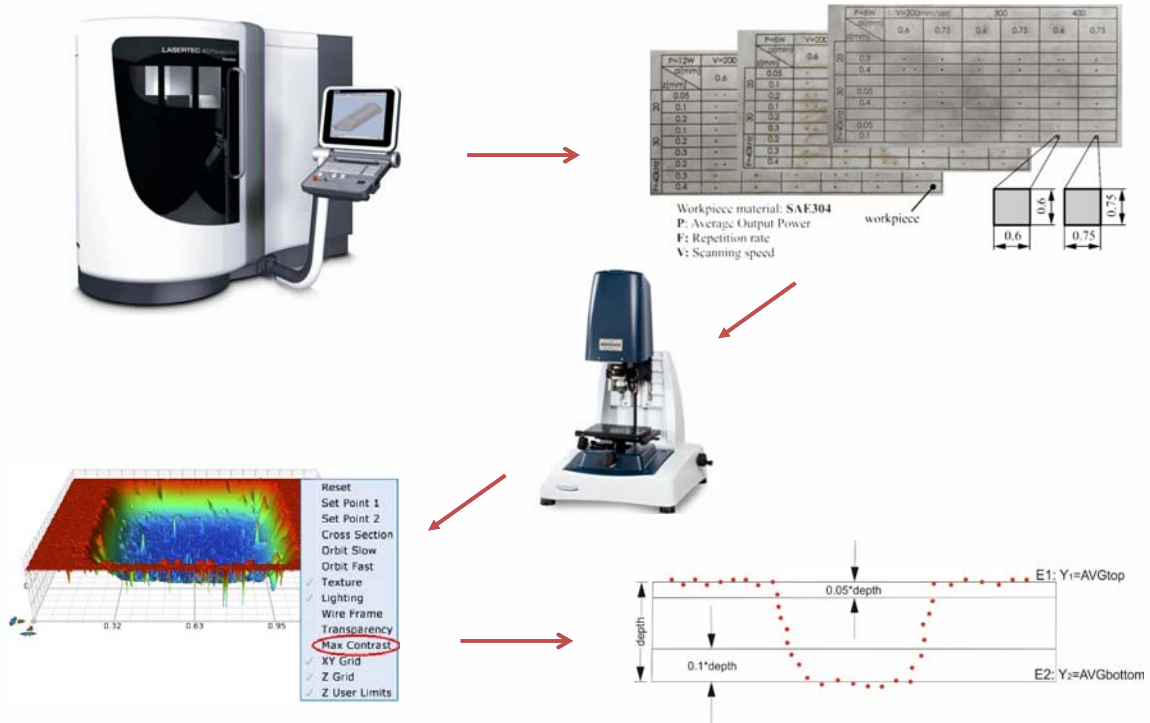
Kerf στις κατεργασίες με δέσμη laser

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



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

Μέγκαν Ασένοβα



2021

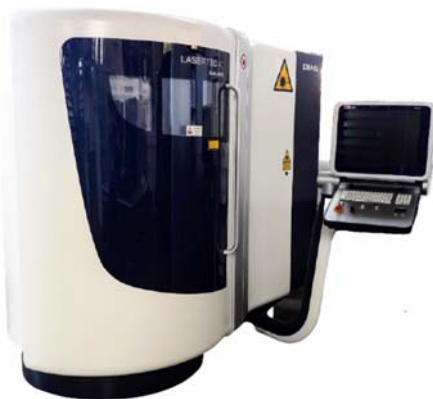


Πειραματική διαδικασία

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

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

Μέγκαν Ασένοβα



LASERTEC 40 DMG MORI

- CNC - 3 γραμμικών και 2 οπτικών αξόνων
- Τύπος laser: παλμικό Q-switched Nd:YAG
- Μήκος κύματος: 1064 nm
- Μέγιστη μέση ισχύς: 20W
- Διάρκεια παλμού: 100ns
- Διάμετρος δέσμης στο σημείο εστίασης: 30μm
- Ταχύτητα σάρωσης δέσμης: 50-1000 mm/s
- Πλήρης προστασία καμπίνας
- Παράθυρο ασφαλείας laser safety glass 1



2021



Εργαλειομηχανή χάραξης

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

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

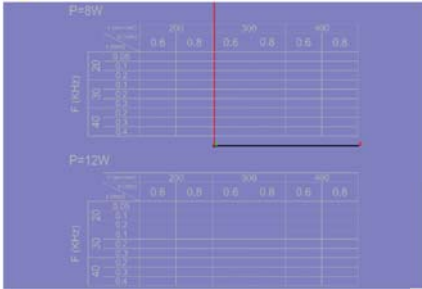
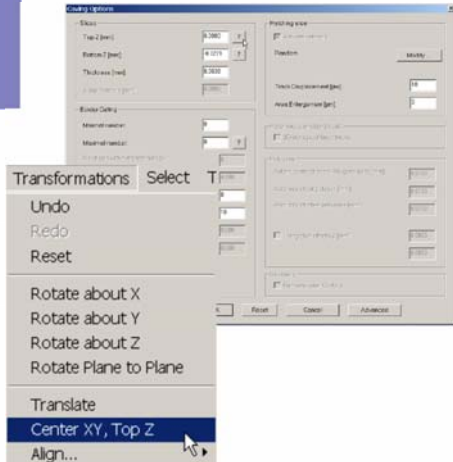
Μέγκαν Ασένοβα



CAD

.stl



- Δημιουργία στρωματοποίησης του αντικειμένου πριν την τελική κατεργασία
- Ορισμός όλων των απαραίτητων προϋποθέσεων και ρυθμίσεων του 3D αντικειμένου



Εκτέλεση χάραξης

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

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

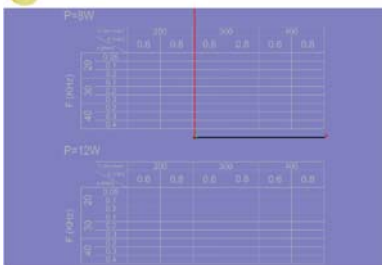
Μέγκαν Ασένοβα



CAD

.stl





.l4d



- Προσομοίωση χάραξης ανά στρώμα (βήμα- βήμα) ή προσομοίωση μονομιάς
- Τελικός έλεγχος του σχεδίου πριν την χάραξη



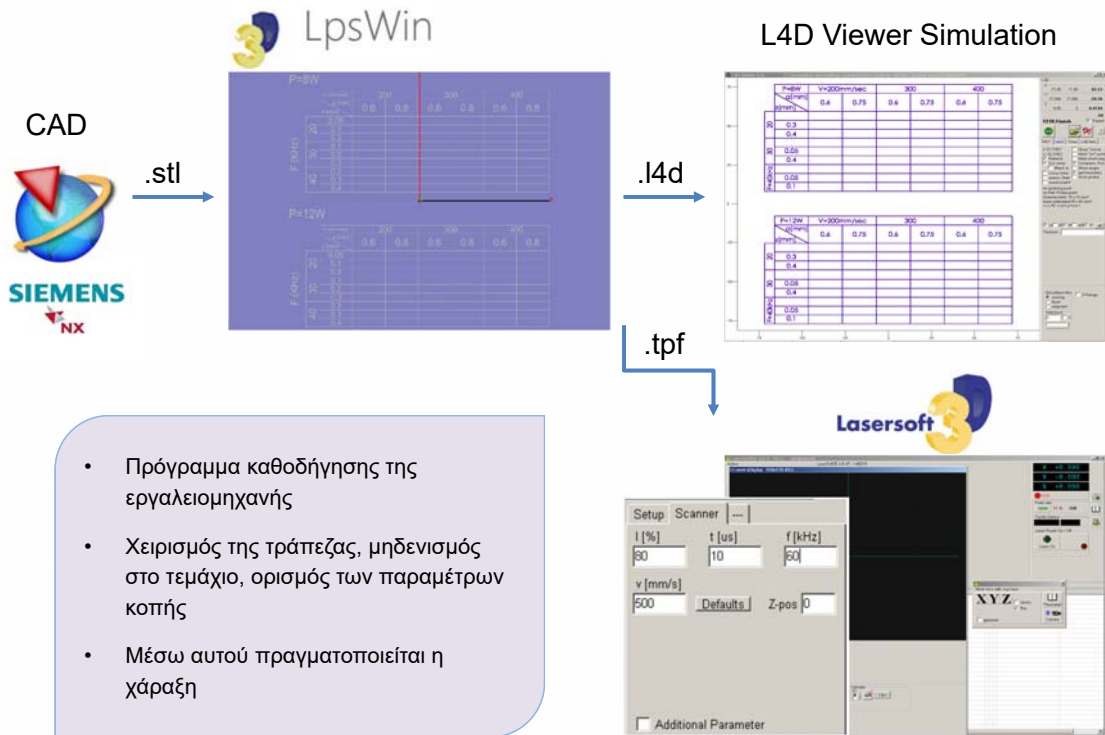
Εκτέλεση χάραξης

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

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

Μέγκαν Ασένοβα

2021



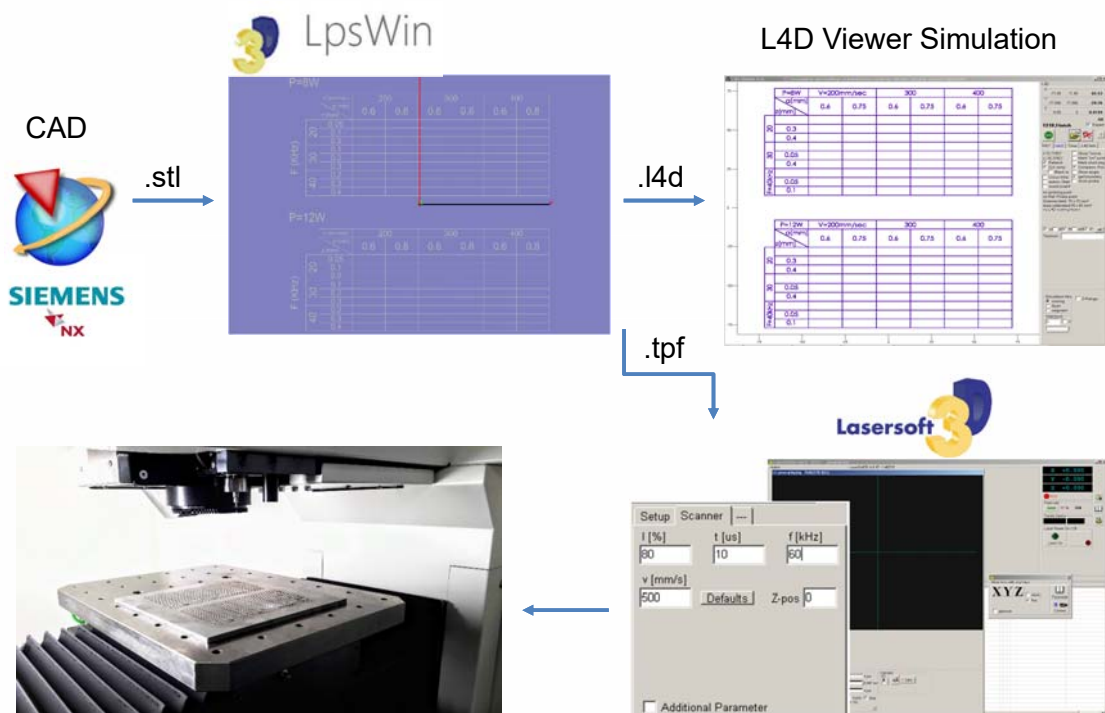
Εκτέλεση χάραξης

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

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

Μέγκαν Ασένοβα

2021

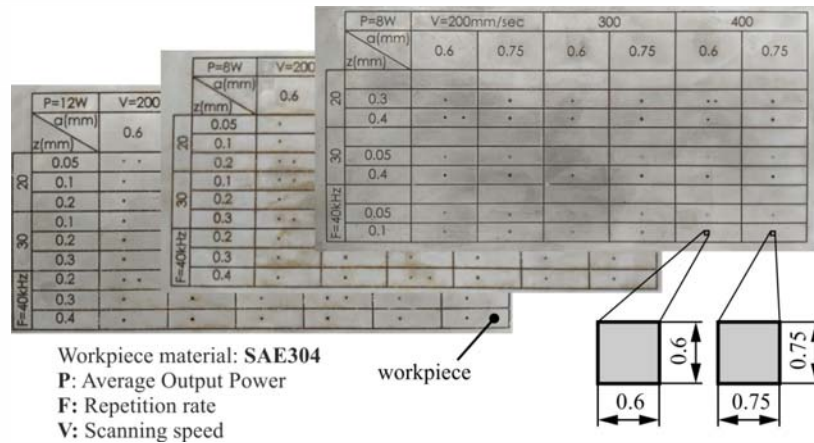


Εκτέλεση χάραξης

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

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

Μέγκαν Ασένοβα



Παράμετροι κατεργασίας	Μονάδες	Τιμές
Μέση Ισχύς P	W	8, 12
Ταχύτητα σάρωσης V	mm/sec	200, 300, 400
Συχνότητα F	kHz	20, 30, 40
Βάθος ποκέτας z	mm	0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4
Μήκος ποκέτας α	mm	0,6, 0,75

 εκτέλεση της
χάραξης

 γεωμετρία
της χάραξης

2021



Πειράματα χάραξης

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

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

Μέγκαν Ασένοβα

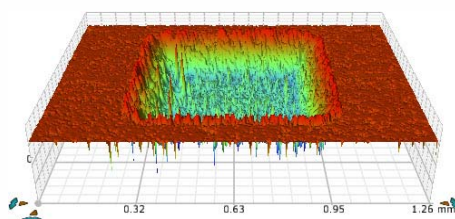
CONTOUR GT-K 3D OPTICAL MICROSCOPE

της εταιρείας Bruker

3D οπτικό μικροσκόπιο/προφیلόμετρο το οποίο προσφέρει ποικιλία μετρήσεων σε 2D/3D κλίμακα και απεικονίσεις υψηλής ανάλυσης

- Μεγέθυνση φακού (zoom) X5
- Εύρος σάρωσης επιφάνειας 1,26 x 0,9 mm

Μετρήσεις προφίλ μιας επιφάνειας



Κλίση τοιχωμάτων → kerf



2021



Προφιλόμετρο

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

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

Μέγκαν Ασένοβα

Απαραίτητες μετρήσεις στο προφιλόμετρο

Παράδειγμα: Θέση μέτρησης **11**

Vision 64

Ορισμός
παραμέτρων φακού

Παραλληλισμός
επιφάνειας δοκιμίου

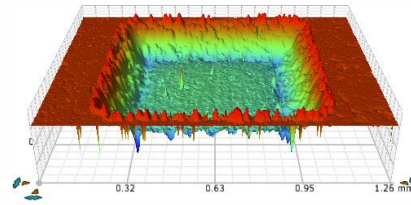
Ρύθμιση/μείωση
φωτεινότητας

Μέτρηση

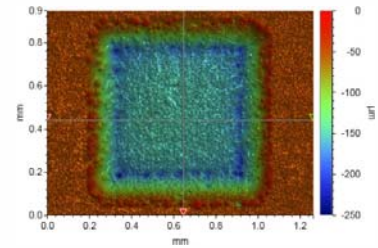
6 βάσεις δεδομένων



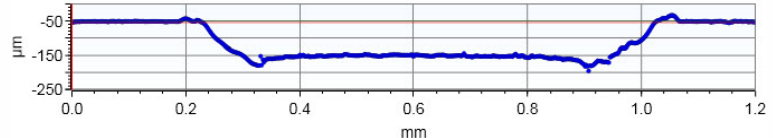
3D απεικόνιση ποκέτας



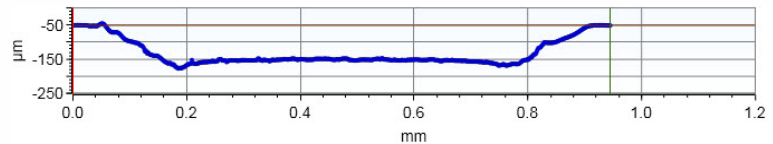
2D απεικόνιση ποκέτας



Τομή X-X



Τομή Y-Y



2021

Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών χάραξης με laser στη γεωμετρία της παραγόμενης διαμόρφωσης kerf



Μέτρηση ποκέτας και εξαγωγή δεδομένων

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



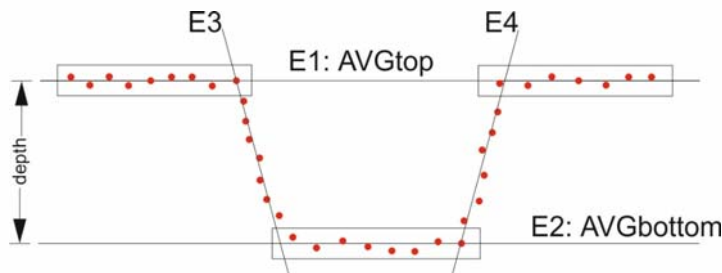
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Μέγκαν Ασένοβα

Πρόγραμμα στο excel

Για την μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων αναπτύχθηκε πρόγραμμα με σκοπό τον υπολογισμό και την εξαγωγή βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κάθε ποκέτας.

- **Input** → 6 βάσεις δεδομένων για την κάθε ποκέτα
- **Output** → άνω πλάτος kerf, κάτω πλάτος kerf, πραγματικό βάθος ποκέτας και τιμή της ζητούμενης γωνίας kerf



Excel

Υπολογισμός μέσου ύψους σημείων άνω και κάτω επιφάνειας με τις ευθείες παρεμβολής E1 και E2

Υπολογισμός της κλίσης των τοιχωμάτων με παρεμβολή ελαχίστων τετραγώνων E3 και E4.

2021

Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών χάραξης με laser στη γεωμετρία της παραγόμενης διαμόρφωσης kerf



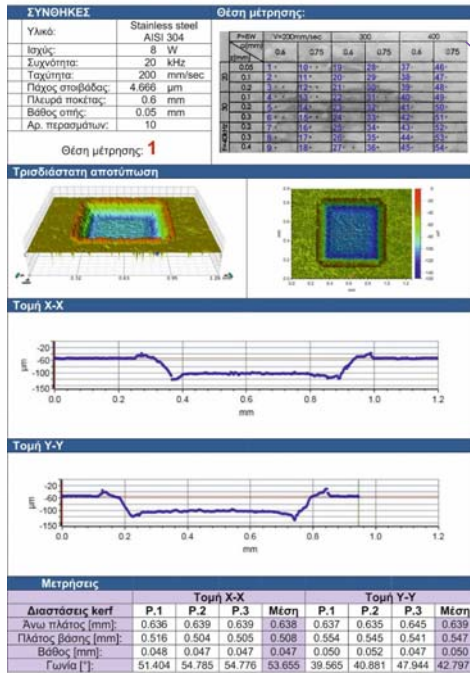
Πρόγραμμα στο excel

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



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

Μέγκαν Ασένοβα

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ


Δημιουργήθηκαν 144 πρωτόκολλα μετρήσεων, όσες είναι και οι ποκέτες που χαράχθηκαν στην ανοξείδωτη πλάκα.

Απεικόνιση του εκάστοτε χαραγμένου πίνακα, στην ανοξείδωτη πλάκα, με αριθμημένες τις χαραγμένες ποκέτες.

Μετρήσεις που προέκυψαν από το προφιλόμετρο

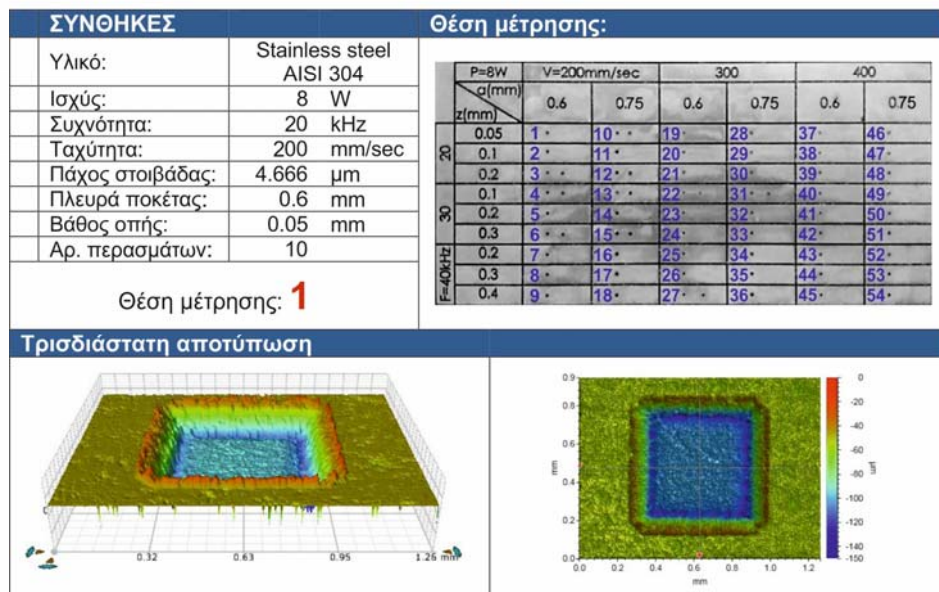
Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τα 6 excel της εκάστοτε ποκέτας.

Διαστάσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που απαρτίζουν το kerf στην παρούσα έρευνα.

2021


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


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

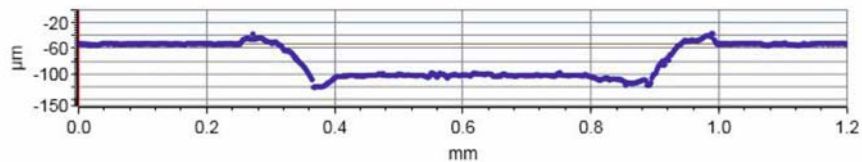
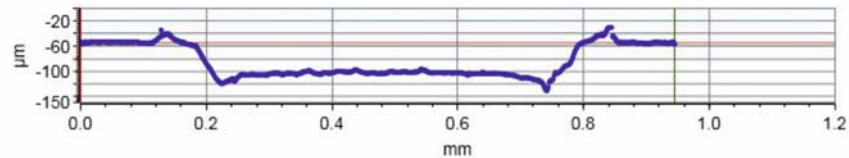
Μέγκαν Ασένοβα
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ


2021


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


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

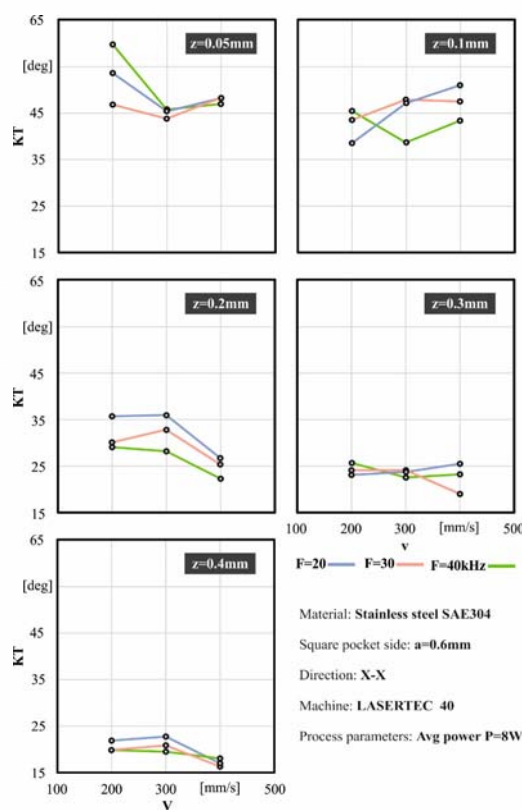
Μέγκαν Ασένοβα

Τομή X-X

Τομή Y-Y


Μετρήσεις	Τομή X-X				Τομή Y-Y			
Διαστάσεις kerf	P.1	P.2	P.3	Μέση	P.1	P.2	P.3	Μέση
Άνω πλάτος [mm]:	0.636	0.639	0.639	0.638	0.637	0.635	0.645	0.639
Πλάτος βάσης [mm]:	0.516	0.504	0.505	0.508	0.554	0.545	0.541	0.547
Βάθος [mm]:	0.048	0.047	0.047	0.047	0.050	0.052	0.047	0.050
Γωνία [°]:	51.404	54.785	54.776	53.655	39.565	40.881	47.944	42.797


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

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

Μέγκαν Ασένοβα


Διαγράμματα για P=8W
 επιφάνεια χάραξης 0,6 x 0,6 mm
 για τον άξονα X'X

Απεικονίζουν την μεταβολή της γωνίας του kerf, συναρτήσει της ταχύτητας πρόωσης V και της συχνότητας των παλμών F, για κάθε βάθος κοπής z στην εξεταζόμενη ισχύ P=8W και P=12W.


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

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

Μέγκαν Ασένοβα

- Η επίδραση του βάθους z στη διαμορφωμένη γωνία ΚΤ είναι έντονη καθώς η μείωση της γωνίας ΚΤ είναι ανάλογη με την αύξηση του βάθους z .

Μέγιστη γωνία kerf: 62,7 μοίρες

$$\left\{ \begin{array}{l} Z=0,05\text{mm}, \alpha=0,6\text{mm} \\ P=12\text{W}, V=200\text{mm/s} \\ F=20\text{kHz} \end{array} \right\}$$

Ελάχιστη γωνία kerf: 15,5 μοίρες

$$\left\{ \begin{array}{l} Z=0,4\text{mm}, \alpha=0,6\text{mm} \\ P=8\text{W}, V=300\text{mm/s} \\ F=20\text{kHz} \end{array} \right\}$$

z [mm]	axis	α [mm]	P [W]	F [kHz]	V [mm/s]	min KT [°]
0,05	Y'Y	0,75	12	20	400	24,6
0,1	Y'Y	0,75	12	20	300	27,0
0,2	X'X	0,6	8	40	400	22,0
0,3	X'X	0,75	8	40	400	17,9
0,4	Y'Y	0,6	8	20	300	15,5



Συμπεράσματα

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

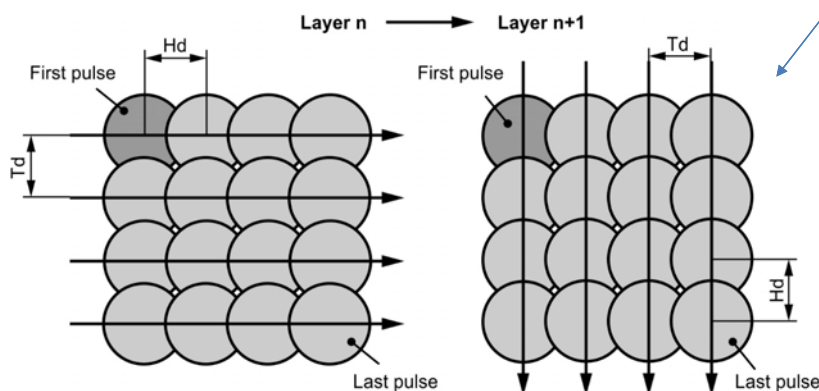


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Μέγκαν Ασένοβα

- Οι γωνίες ΚΤ προς την κατεύθυνση του $X'X$ είτε του $Y'Y$ άξονα δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, καθώς δεν υπερβαίνουν τις 3 μοίρες.

Λόγω της μονοκατευθυντικής διασταυρούμενης στρατηγικής σάρωσης (unidirectional cross hatching strategy)



Συμπεράσματα

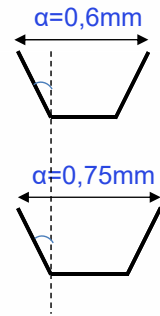
<http://www.m3.tuc.gr>



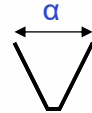
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Μέγκαν Ασένοβα

- Το μήκος των πλευρών ποκέτας είτε είναι $\alpha=0,6\text{mm}$ είτε $\alpha=0,75\text{mm}$, δεν επηρεάζει σημαντικά τη σχηματιζόμενη γωνία ΚΤ.
- Επιπλέον, εφαρμόζοντας τις ίδιες παραμέτρους, αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι **οι αριθμοί** των τελικών περασμάτων (elements) που εκτέλεσε το laser **ταυτίζονται για τα δύο μεγέθη της πλευράς α** .



- Το μέγεθος της επίπεδης περιοχής στο κάτω μέρος της ποκέτας όταν αυτή είναι αρκετά μεγάλη **δεν επηρεάζει** τι θα συμβεί στην **γωνία kerf**.
- Όταν όμως το πλευρικό μήκος είναι πολύ μικρό, λόγω της κλίσης στα πλευρικά τοιχώματα, υπάρχει πιθανότητα αυτά να συγκλίνουν μεταξύ τους και να δίνουν σχήμα «V» στην χαραγμένη ποκέτα.



- Για βάθος $z < 0,2\text{mm}$ παρατηρείται ότι η υψηλή μέση ισχύς $P=12\text{W}$ οδηγεί σε **μικρότερη** γωνιακή κλίση ΚΤ.
- Σε αντίθεση με αυτό, για $z > 0,2\text{mm}$ η χαμηλή μέση ισχύς $P=8\text{W}$ οδηγεί σε ελαφρώς **μικρότερη** γωνιακή κλίση ΚΤ.
- Στο βάθος $z=0,2\text{mm}$ και οι 2 τιμές της ισχύος P οδηγούν στο **ίδιο αποτέλεσμα**.

- Η **επίδραση** της συχνότητας F σε σχέση με της ταχύτητας σάρωσης V , ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα χάραξης $X'X$ ή $Y'Y$, είναι διαφορετική και **δεν εμφανίζει κάποια ομοιομορφία**.
- Οι **μικρές ταχύτητες σάρωσης V** προκαλούν την **αύξηση της γωνίας του kerf**.

Λόγω μακράς περιόδου παραμονής ακτινών laser στο τμήμα κοπής



ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ

- Βελτιστοποίηση πολλαπλών κριτηρίων σε διάφορα υλικά
 - ο Τραχύτητα εκάστοτε υλικού
 - ο Πάχος στρώματος που αφαιρείται ανά πέρασμα
 - ο Ρυθμός αποβολής υλικού

συνδυασμός

Αύξηση της παραγωγικότητας

Δημιουργία ωφέλιμης βάσης δεδομένων για μελλοντικούς ερευνητές



Πρόταση περαιτέρω έρευνας

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



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

Μέγκαν Ασένοβα



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Ερωτήσεις?



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



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

Μέγκαν Ασένοβα