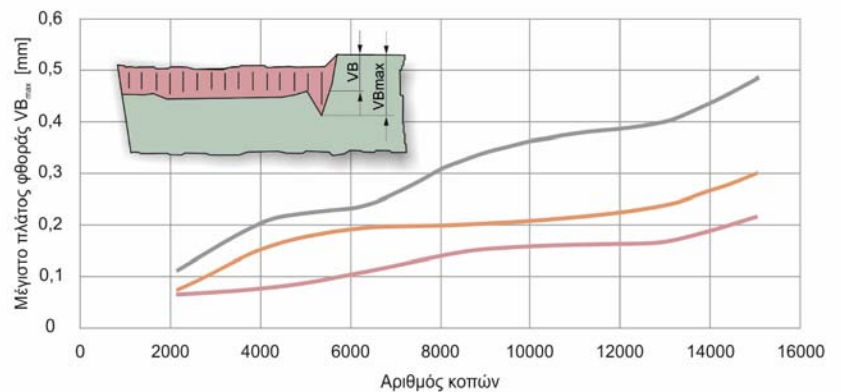


ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΦΘΟΡΑΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ Ck45



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

Χουλιάρá Γραμματούλα
Πολυτεχνείο Κρήτης - Χανιά 2017



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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

2

Εισαγωγή

Αντικείμενο και στόχος εργασίας
Φθορά κοπτικών εργαλείων
Διάρκεια ζωής κοπτικών εργαλείων
Μέθοδοι ελέγχου φθοράς κοπτικών εργαλείων

Προετοιμασία πειραματικής διαδικασίας

Μετρητικό όργανο
Εργαλειομηχανή
Υλικό κατεργασίας και κοπτικό εργαλείο
Ιδιοκατασκευή συγκράτησης
Περιγραφή πειραμάτων

Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Αποτελέσματα πειραμάτων
Συμπεράσματα
Μελλοντικές κατευθύνσεις



Δομή παρουσίασης

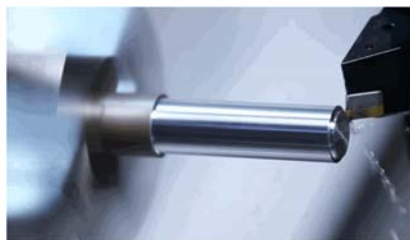
<http://www.m3.tuc.gr>



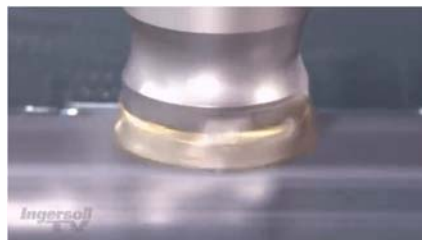
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χουλιάρá Γραμματούλα

Οι κατεργασίες κοπής αποτελούν την πιο συνήθη μέθοδο κατασκευής μεταλλικών προϊόντων



τόρνευση



φραιζάρισμα



διάτρηση



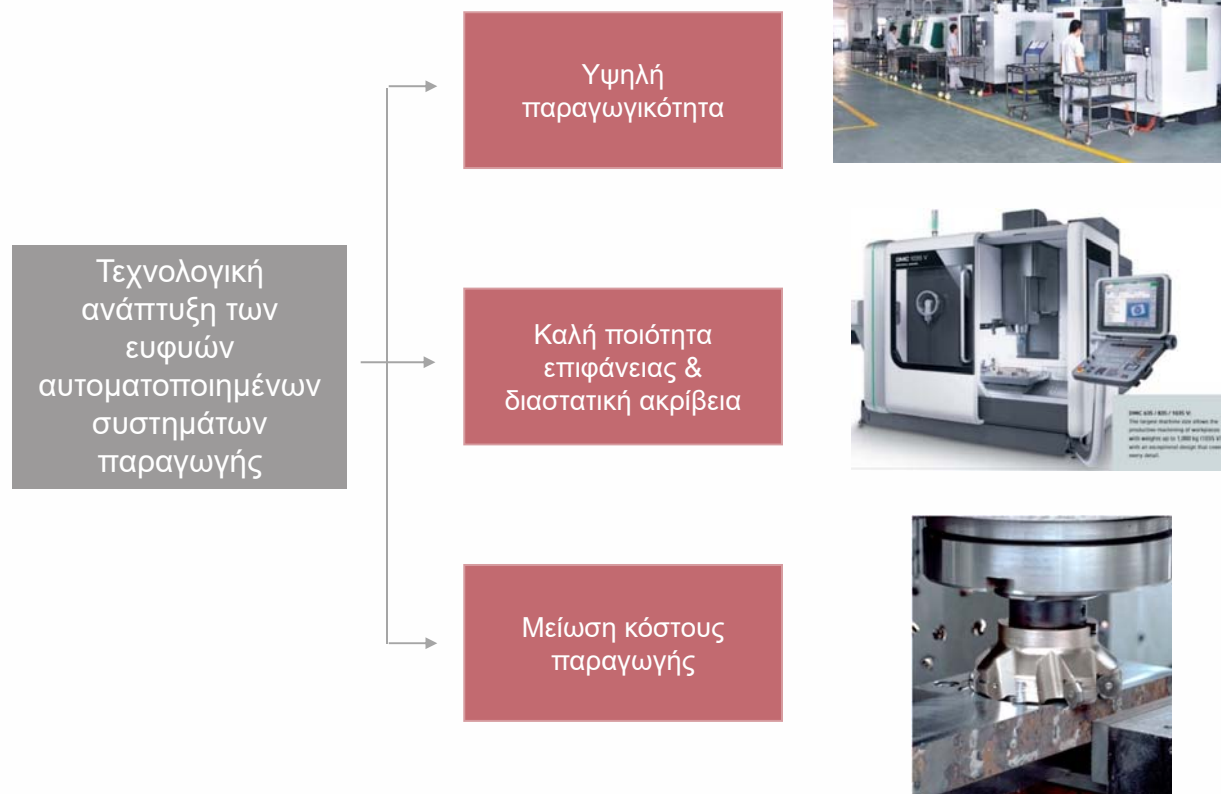
Αντικείμενο και στόχος εργασίας

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



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

Χουλιανρά Γραμματούλα



Αντικείμενο και στόχος εργασίας

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



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

Χουλιανρά Γραμματούλα

- Τα κοπτικά εργαλεία αποτελούν τα βασικότερα εξαρτήματα των κατεργασιών κοπής.
- Η πρόβλεψη του επιπέδου φθοράς καθορίζει πότε ένα κοπτικό εργαλείο πρέπει να αντικατασταθεί.
- Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με το επίπεδο φθοράς της ελεύθερης επιφάνειας κοπτικών εργαλείων, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κοπής.
- **Κάθε πειραματική μελέτη φθοράς έχει βασικό στόχο την αναζήτηση των βέλτιστων συνθηκών κοπής.**
- Η χρήση βέλτιστων συνθηκών κοπής επιβραδύνει τη φθορά των κοπτικών εργαλείων και αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους.



Αντικείμενο και στόχος εργασίας

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


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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Η φθορά

- αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες αστοχίας μηχανικών εξαρτημάτων και στοιχείων μηχανών με σοβαρές τεχνικές και οικονομικές συνέπειες
- ορίζεται ως η διεργασία προοδευτικής απομάκρυνσης υλικού μεταξύ δύο επιφανειών, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή ή σε σχετική κίνηση. Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να είναι μηχανικής, χημικής ή και μεικτής φύσεως.
- έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση των διαστατικών χαρακτηριστικών και εν τέλει την αστοχία του κοπτικού εργαλείου
- όταν υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή της σε κάποιο χαρακτηριστικό μέγεθος του εργαλείου, ακόμα κι αν αυτό μπορεί να συνεχίσει την κατεργασία της κοπής, ή αν υπάρχει θραύση αυτού, τότε το κοπτικό εργαλείο οδηγείται σε αστοχία
- συχνά χρησιμοποιείται και για να αξιολογηθεί η απόδοση και η τεχνική συμπεριφορά ενός εργαλείου κοπής



Φθορά κοπτικών εργαλείων

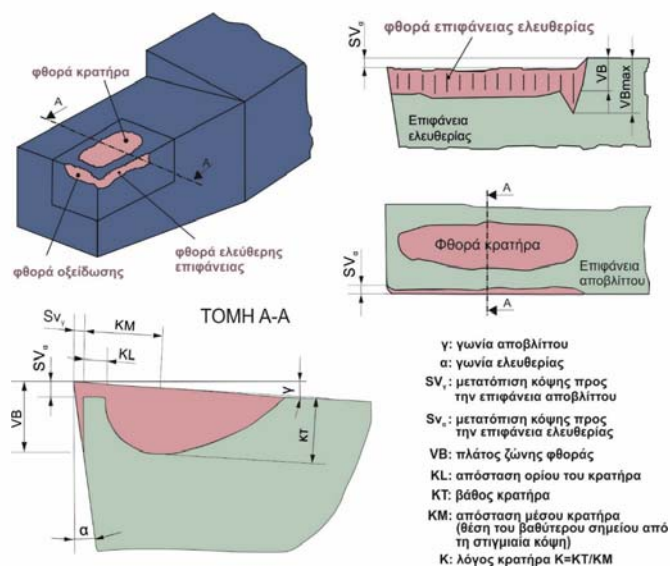
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Μορφές φθοράς

- Φθορά ελεύθερης επιφάνειας
- Φθορά κρατήρα στην επιφάνεια αποβλίπτου
- Απολέπιση/ Απόξεση της κόψης στην επιφάνεια αποβλίπτου
- Φθορά λόγω πλαστικής παραμόρφωσης
- Μικροθραύσεις, ρωγμές ή παραμορφώσεις
- Θραύση της ακμής του κοπτικού εργαλείου



2017



Φθορά κοπτικών εργαλείων

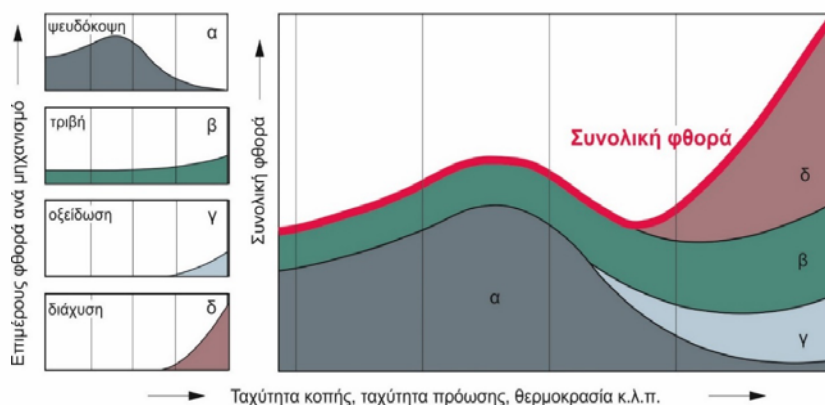
<http://www.m3.tuc.gr>

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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Μηχανισμοί ανάπτυξης φθοράς

- Σχηματισμός και λύση συγκολλητών δεσμών
- Απόξεση
- Διάχυση στερεάς κατάστασης
- Οξειδωση
- Πλαστική παραμόρφωση
- Διάβρωση
- Ηλεκτροχημική φθορά
- Κόπωση



2017



Φθορά κοπτικών εργαλείων

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

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

Χουλιάρá Γραμματούλα

- Η ανάπτυξη φθοράς αποτελεί βασικό παράγοντα μείωσης της διάρκειας ζωής του κοπτικού εργαλείου, αφού επηρεάζει τη διαστατική ακρίβεια, την ευστάθεια και την αξιοπιστία της κατεργασίας.
- Η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου T είναι η εκμεταλλεύσιμη ζωή του, εκφρασμένη σε μονάδες χρόνου ή όγκου αφαιρούμενου υλικού ή θεωρητικού μήκους αποβλήτου, από τη στιγμή που το νεοτροχισμένο εργαλείο αρχίζει να εργάζεται μέχρι ένα σημείο λειτουργίας το οποίο καθορίζεται από συγκεκριμένο κριτήριο αστοχίας.
- Το κριτήριο αστοχίας που συνήθως επιλέγεται είναι το μέγιστο πλάτος της ζώνης φθοράς (VB_{max}) στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και βάσει αυτού αποφασίζεται πότε το εργαλείο έχει συμπληρώσει το χρόνο ζωής του, ώστε να χρειάζεται αντικατάσταση.

$$V_c T n = C$$

(Taylor, 1906)

V_c : ταχύτητα κοπής
 T : διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου
 n : εκθέτης Taylor
 n, C : σταθερές που εξαρτώνται από το υλικό κατεργασίας, το βάθος κοπής και την ταχύτητα κοπής



Διάρκεια ζωής κοπτικών εργαλείων

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής

- Είδος της κατεργασίας κοπής
- Κοπτικό εργαλείο
 - _ Υλικό του κοπτικού εργαλείου και φυσικές ιδιότητές του
 - _ Επικάλυψη του κοπτικού και είδος αυτής
 - _ Γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου
- Κατεργαζόμενο υλικό
- Τρόπος πρόσδεσης του κοπτικού εργαλείου
- Τρόπος πρόσδεσης του κατεργαζόμενου τεμαχίου
- Συνθήκες κοπής
- Δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλειομηχανή-εργαλείο-τεμάχιο



Διάρκεια ζωής κοπτικών εργαλείων

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Έμμεσες μέθοδοι ελέγχου φθοράς

Μετρούν τη φθορά μέσω της μελέτης διάφορων μεγεθών που σχετίζονται με αυτή, ενώ στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, αυτό συμβαίνει χωρίς να χρειάζεται η αποσυναρμολόγηση του εργαλείου για τη μέτρηση.

Τέτοια μεγέθη είναι:

- Δυνάμεις κοπής
- Ακουστικές εκπομπές
- Ταλαντώσεις
- Ανακλαστικότητα αποβλίπτων
- Θερμοκρασία
- Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα



Μέθοδοι ελέγχου φθοράς

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



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

Χουλιανά Γραμματούλα

Άμεσες μέθοδοι ελέγχου φθοράς

Μετρούν τη φθορά άμεσα και απευθείας πάνω στο εργαλείο. Βασίζονται στην οπτική επιθεώρηση ή στην όραση με τη χρήση υπολογιστών (computer vision).

- Αισθητήρες, CCD κάμερες για λήψη εικόνας με ζώνη φθοράς
- Κατάλληλο σύστημα φωτισμού
- Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας για απομόνωση της ζώνης φθοράς
 - _ Προεπεξεργασία
 - _ Κατάτμηση
 - _ Ανίχνευση ακμών
 - _ Επεξεργασία
- Μέτρηση του πλάτους φθοράς



Μέθοδοι ελέγχου φθοράς

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

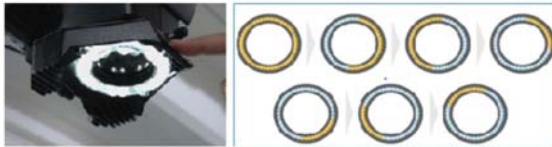


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χουλιανά Γραμματούλα

Στερεομικροσκόπιο Leica M125

- εύρος μεγέθυνσης (0.8x - 10x, 12.5:1)
- CCD κάμερα (592 × 1944 με μέγεθος εικονοστοιχείου 2.78 μm × 2.78 μm)
- δακτυλίσκος LED του στερεομικροσκοπίου (40 πολύ ισχυρά LED ψυχρού φωτισμού)



2017



Μετρητικό όργανο

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Περιβάλλον λογισμικού του στερεομικροσκοπίου Leica Application Software V4.1



2017



Μετρητικό όργανο

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Κέντρο κατεργασίας DMG – DMU 50eco

- Ψηφιακά καθοδηγούμενο κέντρο κατεργασίας 5 αξόνων (3+2)
- Περιστροφική ταχύτητα ατράκτου έως 8000 (rpm/min)
- Ισχύς 13 KW
- Ροπή 83 Nm
- Καθοδηγείται από τον ελεγκτή Sinumerik 810D



Συσκευή προρύθμισης εργαλείων Microset Uno 115eco

- Ανιχνευτής ακμών για γρήγορο εντοπισμό της κοπτικής ακμής
- Γραμμικούς άξονες
- Πνευματική σύσφιξη των αξόνων
- CMOS ψηφιακή κάμερα με τηλεσκοπικούς φακούς



Εργαλειομηχανή

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



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

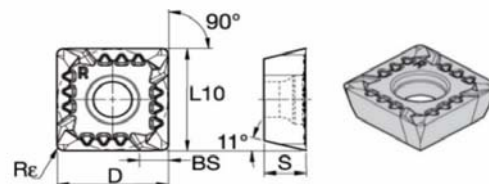
Χουλιάρá Γραμματούλα

Κατεργαζόμενο τεμάχιο

- 119x160x25 [mm]
- ανθρακούχος χάλυβας Ck45
- περιεκτικότητα 0,45% σε άνθρακα
- ευρεία χρήση στη βιομηχανία και σε κατασκευές μεγάλης αντοχής σε φθορά

Κοπτικό εργαλείο

- πλακίδιο καρβιδίου SPET10T304PPELGB2 R04 της Kennametal ποιότητας KC725M
- επικάλυψη χοντλής επίστρωσης PVD και στρώσεις TiN/TiCN/TiN
- συγκράτηση σε κεφαλή δύο δοντιών διαμέτρου 25 mm



catalog number	Grade	D	S	L10	BS	Rε	hm	cutting edges
SPET10T304PPELGB2	KC725M	10,00	3,97	10,00	2,70	0,4	0,08	4



Υλικό κατεργασίας και κοπτικό εργαλείο

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα

- Ιδιοκατασκευή για **εξάλειψη κλίσης 5° στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου.**
- Η κλίση οφείλεται στη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και **δημιουργεί σφάλμα κατά τη μέτρηση του μέγιστου πλάτους φθοράς.**
- Περιλαμβάνει ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαστάσεων $150 \times 100 \times 18$ [mm] και κυκλικές διατομές με κλίση 5° στην αντίθετη κατεύθυνση της κλίσης του πλακιδίου.
- Σχεδιάστηκε στο Autodesk Inventor Professional 2016 και έπειτα μετατράπηκε με πρόγραμμα CAM/CAD σε G-κώδικα και περάστηκε στην εργαλειομηχανή για την τελική κατεργασία.



2017



Ιδιοκατασκευή συγκράτησης

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


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

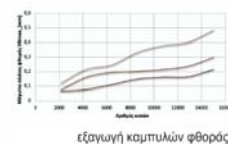
Χουλιανρά Γραμματούλα

- Προγραμματισμός της κατεργασίας σε G-κώδικα
- Εκχόνδριση κατεργαζόμενου τεμαχίου πριν την κατεργασία
- Διεξαγωγή πειραμάτων με ξηρά κοπή (χωρίς ψυκτικό υγρό)
- Διακοπή της εργαλειομηχανής κάθε δύο περάσματα (περίπου 2000 κοπές), ώστε να γίνει η μέτρηση του μέγιστου πλάτους φθοράς VB_{max}



κατεργασία στην εργαλειομηχανή

λήψη φωτογραφίας κοπτικού στο στερεομικροσκόπιο



εξαγωγή καμπυλών φθοράς

Ψ.Ε.Ε και τελική μέτρηση VB_{max} 

	ΠΕΙΡΑΜΑ 1	ΠΕΙΡΑΜΑ 2	ΠΕΙΡΑΜΑ 3
Ταχύτητα Κοπής V_c (m/min)	200	300	400
Πρόωση f_z (mm/rev, tooth)	0.15	0.15	0.15
Ακτινικό βάθος κοπής t_{xy} (mm)	18	18	18
Αξονικό βάθος κοπής t_z (mm)	0.5	0.5	0.5
Πρόωση ανά λεπτό F (mm/min)	382	573	764
Περιστροφική ταχύτητα S (rpm)	2547	3820	5093

2017



Περιγραφή πειραμάτων

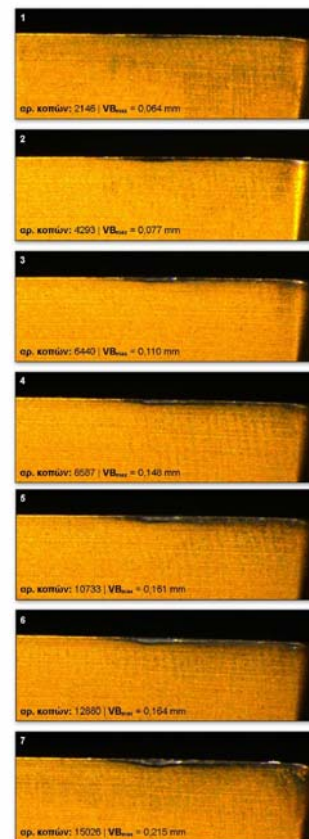
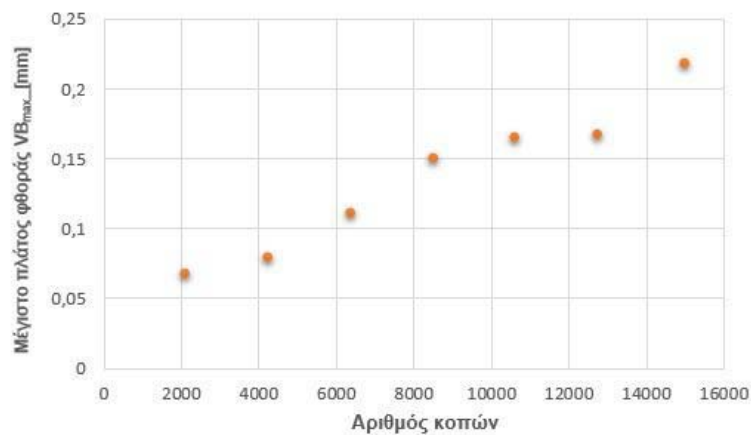
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Χουλιανρά Γραμματούλα

Πείραμα 1

$V_c = 200 \text{ [m/min]}$
 $f_z = 0,15 \text{ [mm/rev,tooth]}$
 $t_{xy} = 18 \text{ [mm]}$
 $t_z = 0,5 \text{ [mm]}$



Αποτελέσματα πειραμάτων

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

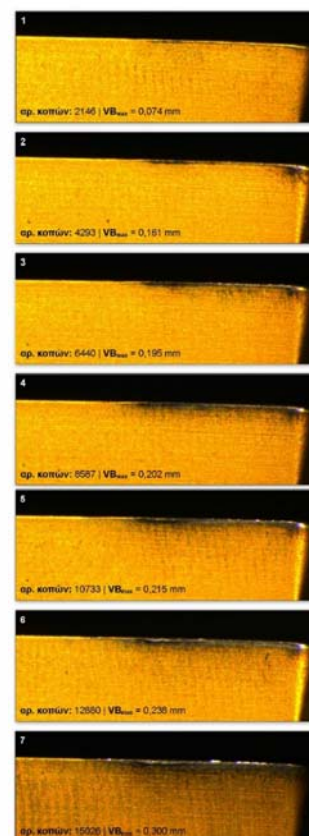
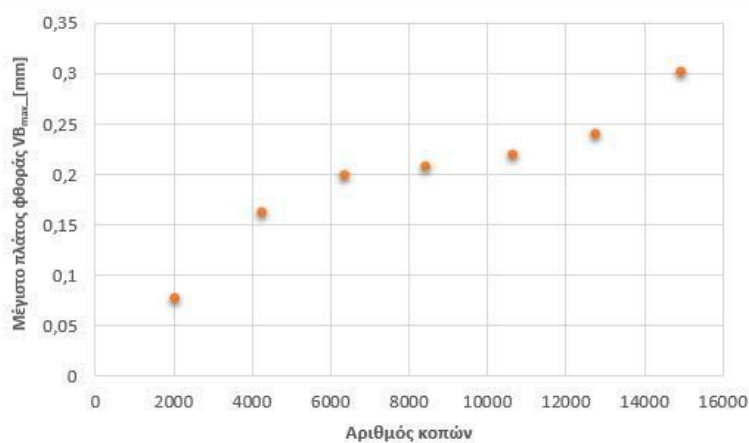


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χουλιάρá Γραμματούλα

Πείραμα 2

$V_c = 300 \text{ [m/min]}$
 $f_z = 0,15 \text{ [mm/rev,tooth]}$
 $t_{xy} = 18 \text{ [mm]}$
 $t_z = 0,5 \text{ [mm]}$



Αποτελέσματα πειραμάτων

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

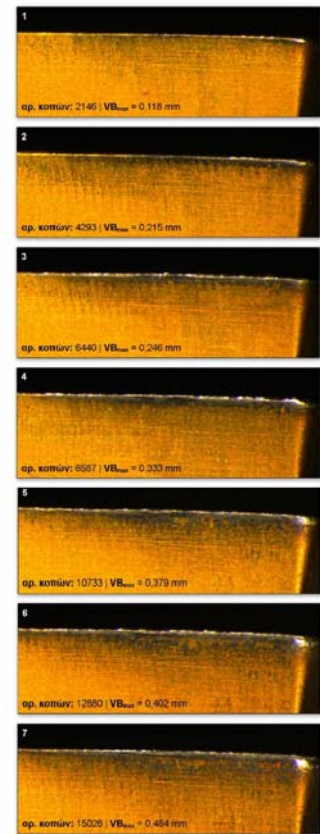
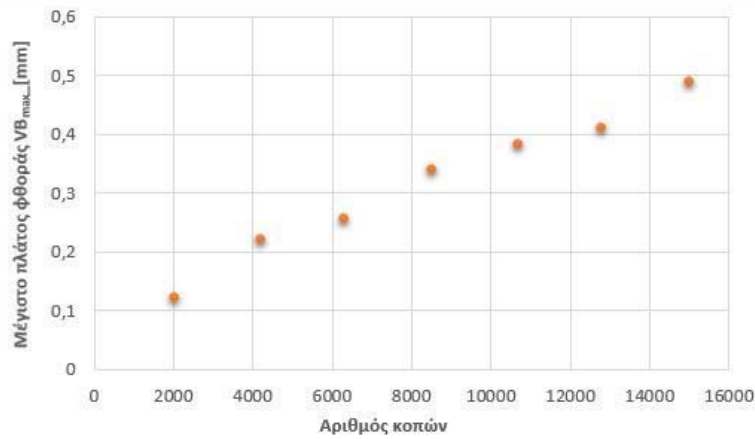


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Χουλιάρá Γραμματούλα

Πείραμα 3

$V_c = 400 \text{ [m/min]}$
 $f_z = 0,15 \text{ [mm/rev,tooth]}$
 $txy = 18 \text{ [mm]}$
 $tz = 0,5 \text{ [mm]}$



2017



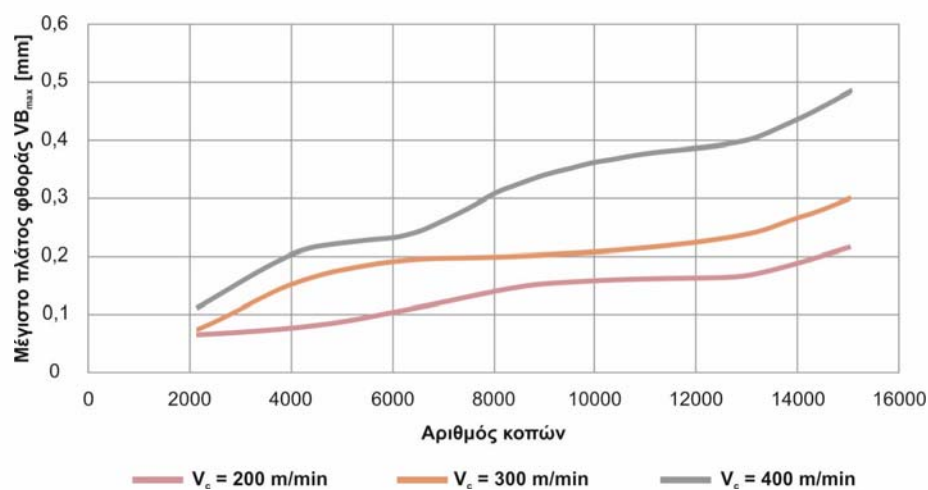
Αποτελέσματα πειραμάτων

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


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

Χουλιάρá Γραμματούλα

Συγκριτικές καμπύλες φθοράς τριών πειραμάτων



2017



Αποτελέσματα πειραμάτων

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


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

Χουλιάρá Γραμματούλα

- Αύξηση του πλάτους φθοράς VB_{max} , καθώς αυξάνεται ο αριθμός κοπών.
- Η φθορά αυξάνεται αρχικά στη μύτη του κοπτικού, ενώ στη συνέχεια εξαπλώνεται κατά μήκος της ελεύθερης επιφάνειας του κοπτικού, σχηματίζοντας τη χαρακτηριστική ζώνη φθοράς.
- Αλλαγή χρώματος της ζώνης φθοράς, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κοπών, λόγω της εισχώρησης φθοράς πιο βαθιά στα στρώματα της επικάλυψης.
- Επικρατέστεροι μηχανισμοί ανάπτυξης φθοράς είναι αυτοί του σχηματισμού και της λύσης συγκολλητών δεσμών και της απόξεσης, λόγω της έντονης τριβής.
- Η αύξηση της ταχύτητας κοπής έχει σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία αύξηση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου, μειώνοντας έτσι και τη διάρκεια ζωής του.



Συμπεράσματα

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



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

Χουλιανά Γραμματούλα

- Μελέτη της επίδρασης της πρόωσης και του βάθους κοπής στην εξέλιξη της φθοράς.
- Μελέτη της επίδρασης της υγρής κοπής στην εξέλιξη της φθοράς.
- Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών τύπων επικαλύψεων του κοπτικού εργαλείου.
- Επέκταση της πειραματικής μελέτης και σε άλλα υλικά κατεργασίας.



Μελλοντικές κατευθύνσεις

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



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

Χουλιανά Γραμματούλα

Ευχαριστώ πολύ!

Ερωτήσεις;

2017



ΤΕΛΟΣ!

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



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

Χουλιάρá Γραμματούλα



**“Ο άνθρωπος πρέπει να περπατάει
με το μέτωπο προς τον ήλιο
Για να μπορεί αυτός, καίγοντάς το,
να σημαδεύει με αξιοπρέπεια.
Αν ο άνθρωπος σκύψει το κεφάλι,
χάνει την αξιοπρέπειά του.”**

Che Guevara

Στην οικογένειά μου και στους συντρόφους μου
που μου έμαθαν να έχω το κεφάλι ψηλά.
Σας χαιρετώ προς το παρόν.
Θα ξαναβρεθούμε στους δρόμους...