

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΤΟΥΡΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΑΙ7075 – T6



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

Καλλιρρόη Πορφύρη  
Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2012

2012



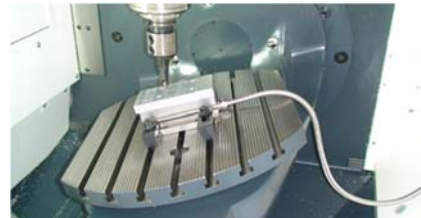
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Καλλιρρόη Πορφύρη

1. Δυνάμεις κοπής
2. Φραιζάρισμα
3. Σχεδιασμός πειραμάτων
4. Εξοπλισμός πειραμάτων
5. Στρατηγικές φραιζαρίσματος
6. Μοντέλο RSM (Response Surface Methodology)
7. Αποτελέσματα



2012



Δομή παρουσίασης

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



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

Καλλιρρόη Πορφύρη

Η πλήρης γνώση του μεγέθους των αναπτυσσόμενων κατά την κοπή δυνάμεων, ενδιαφέρει άμεσα τόσο τον **κατασκευαστή** της εργαλειομηχανής όσο και τον **χρήστη** της. Έτσι είναι σημαντικό να υπάρχουν δεδομένα για τις αναμενόμενες συνιστώσες της δύναμης κοπής κατά την κατεργασία, ιδιαίτερα για τους παρακάτω λόγους:

- Η ισχύς της εργαλειομηχανής που πρόκειται να υλοποιήσει μια κατεργασία, εξαρτάται από τις προκύπτουσες δυνάμεις κατά την κατεργασία αυτή (**σχεδιομελέτη εργαλειομηχανής**).
- Οι συνιστώσες της δύναμης κοπής κατά την κατεργασία δημιουργούν παραμόρφωση των εξαρτημάτων της εργαλειομηχανής, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η επιθυμητή υψηλή ακρίβεια της κατεργασίας της εργαλειομηχανής (**σχεδιομελέτη εξαρτημάτων**).
- Η γνώση των δυνάμεων κοπής που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της κατεργασίας ενός συγκεκριμένου υλικού με καθορισμένες συνθήκες κοπής, αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση για τον **καθορισμό της βέλτιστης περιοχής λειτουργίας της εργαλειομηχανής**.
- Οι δυνάμεις κοπής που αναπτύσσονται κατά την κοπή ενός υλικού αποτελούν επίσης σημαντικά **μεγέθη αξιολόγησης της κατεργαστικότητάς του**.



## Δυνάμεις κοπής

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

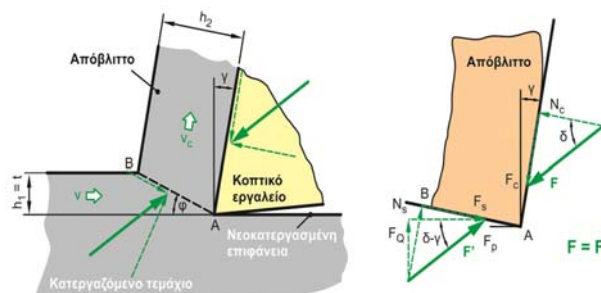


Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Καλλιρρόη Πορφύρη

Οι **παράγοντες** που επηρεάζουν τις συνιστώσες της δύναμης κοπής είναι:

- Η μέθοδος της κατεργασίας και το είδος του αποβλίπτου (σταθερό ή μεταβαλλόμενο πάχος),
- Οι συνθήκες κοπής όπως η πρόωση, το βάθος κοπής, η γεωμετρία του κοπτικού, η ταχύτητα κοπής, η παρουσία ψυκτικού υγρού, κ.λπ.,
- Το κατεργαζόμενο υλικό, η χημική σύνθεση, η πιθανή θερμική κατεργασία, κ.λπ.,
- Το κοπτικό εργαλείο, η γεωμετρία των κόψεων, η πιθανή φθορά, κ.λπ..



δ: μέση φαινόμενη γωνία τριβής



## Δυνάμεις κοπής

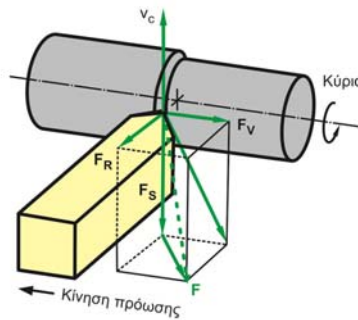
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Καλλιρρόη Πορφύρη

Για τον υπολογισμό της κύριας δύναμης κοπής, η αναλυτική σχέση που διατυπώθηκε από τον **Otto Kienzle**, παίρνει υπόψη της τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις δυνάμεις κοπής και την υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια.



$F$  : Συνισταμένη δύναμη κοπής  
 $F_s$  : Κύρια δύναμη κοπής  
 $F_v$  : Δύναμη στην κατεύθυνση της πρόωσης  
 $F_R$  : Δύναμη απώθησης  
 $v_c$  : Ταχύτητα κοπής

Ο τύπος του **Kienzle** είναι:

$$F_s = b \cdot K_{s1,1} \cdot h^{1-z}$$

όπου:

$F_s$  : κύρια δύναμη κοπής  
 $b$  : πλάτος αποβλίττου  
 $h$  : πάχος αποβλίττου  
 $K_{s1,1}$  : ειδική αντίσταση κοπής  
 $z$  : σταθερά κατεργαζόμενου υλικού



## Υπολογισμός Δυνάμεων κοπής

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



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

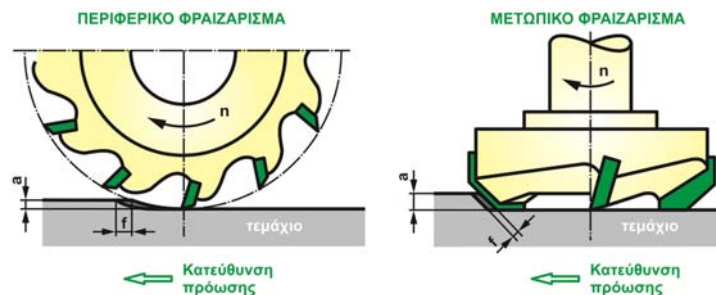
Καλλιρρόη Πορφύρη

Ως **φραιζάρισμα** καλείται η διεργασία κοπής με τη χρήση ενός περιστρεφόμενου κοπτικού εργαλείου. Το φραιζάρισμα στηρίζεται σε δύο βασικές κινήσεις. Η πρώτη είναι η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου, η οποία ονομάζεται και κύρια κίνηση κοπής, και η δεύτερη είναι η ταχύτητα της πρόωσης, δηλαδή η μετατόπιση του κατεργαζόμενου κομματιού.

### Είδη φραιζαρίσματος:

**Περιφερικό:** ο άξονας του εργαλείου είναι παράλληλος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει κυκλική μορφή, αφαιρώντας το απόβλιττο από το τεμάχιο με περιφερειακά διατεταγμένες κοπτικές ακμές.

**Μετωπικό:** ο άξονας του εργαλείου είναι κάθετος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει, εκτός των περιφερειακών κοπτικών ακμών του και κοπτικές ακμές στο εμπρόσθιο πρόσωπό του.



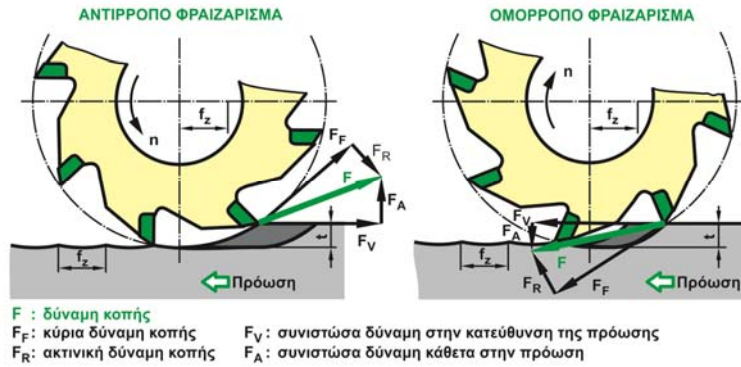
## Φραιζάρισμα

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



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

Καλλιρρόη Πορφύρη



#### Αντίρροπο:

- η πρόωση του τεμαχίου είναι αντίθετη στην περιστροφή του εργαλείου,
- η κοπή ξεκινάει από λεπτότερο απόβλιπτο και καταλήγει σε χοντρό απόβλιπτο,
- η συνισταμένη δύναμη κοπής  $F$  έχει φορά προς τα επάνω, προσπαθώντας ουσιαστικά να ανασηκώσει το τεμάχιο.

#### Ομόρροπο:

- η πρόωση του τεμαχίου έχει την ίδια διεύθυνση με την περιστροφή του εργαλείου,
- η κοπή ξεκινάει από λεπτότερο απόβλιπτο και καταλήγει σε χοντρό απόβλιπτο,
- η συνισταμένη δύναμη κοπής που δέχεται το τεμάχιο στο ομόρροπο φραιζάρισμα έχει φορά προς το τραπέζι της εργαλειομηχανής, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τη σταθερότητα της σύνδεσης τεμαχίου – τραπεζίου.

2012



Φραιζάρισμα

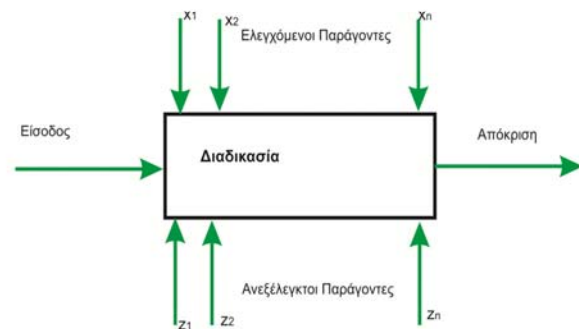
<http://www.m3.tuc.gr>


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

Καλλιρρόη Πορφύρη

#### Σχεδιασμός πειραμάτων:

- Σκοπός τους είναι ο προσδιορισμός των σχέσεων αίτιου-αποτελέσματος μεταξύ της εξόδου μιας διεργασίας (απόκριση) και των πειραματικών της παραγόντων. Έτσι καταγράφεται η επιρροή που έχουν οι παράγοντες αυτοί πάνω στην έξοδο του συστήματος στο οποίο δρουν.



2012



Σχεδιασμός πειραμάτων

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


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

Καλλιρρόη Πορφύρη

### Βήματα:

- Προσδιορισμός του έργου.
- Επιλογή της παραμέτρου εξόδου (απόκριση).
- Επιλογή των παραγόντων.
- Η επιλογή του κατάλληλου σχεδίου πειραμάτων.
- Εκτέλεση του πειράματος.
- Ανάλυση των δεδομένων.
- Συμπεράσματα και προτάσεις.

\* **Παραγοντικός σχεδιασμός:** όλα τα πειράματα τα οποία προκύπτουν από το συνδυασμό όλων των επιπέδων, από όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν.



### Εργαλειομηχανή DMU 50 eco:

• Τα πειράματα έγιναν στο Εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) του Πολυτεχνείου Κρήτης, στο κέντρο κατεργασίας της Deckel Maho DMU 50 eco, το οποίο φέρει χειριστήριο ψηφιακής καθοδήγησης Siemens 810D.

• Το κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco διαθέτει ισχυρή άτρακτο μέχρι 8.000 rpm, 83 Nm (40% ED), ισχύ ατράκτου 13 kW (40% ED) και 12 m/min γρήγορη μετατόπιση. Διαθέτει περιστρεφόμενο τραπέζι με περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°). Ο εργαλειοφορέας με 16 θέσεις και το αποσπώμενο χειριστήριο καθιστούν εφικτή την απλή και άνετη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών φραιζαρίσματος. Η κατασκευή είναι με χυτοσίδηρο σκελετό, για μέγιστη ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών.

• Το εργονομικό DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", SIEMENS 810D powerline και λογισμικό ShopMill καθιστούν εφικτό τον απλό προγραμματισμό και την τρισδιάστατη προσομοίωση.



Τα εργαλεία σφαιρικής απόληξης μπορεί να είναι συμπαγώς κατασκευασμένα ή διαιρετά χρησιμοποιώντας ένθετα πλακίδια σφαιρικής μορφής.

- Είναι κατάλληλα για την κατεργασία πολλών ειδών υλικών, από πλαστικό μέχρι και κράματα χάλυβα και τιτανίου.
- Η σκληρότητα και η αντοχή της αιχμής του εργαλείου είναι πολύ υψηλή λόγω της στρογγυλεμένης σχεδίασης του άκρου.
- Μπορεί να υποστεί πολύ ψηλές τιμές πρόωσης, που σημαίνει ότι μπορεί να κατεργαστεί το υλικό πολύ γρήγορα.
- Επίσης, η καλή γεωμετρία της κοπτικής ακμής μεταφράζεται σε χαμηλότερες δυνάμεις, γεγονός που δίνει στο κοπτικό εργαλείο πρόσθετη αντοχή κάτω από συνθήκες πίεσης.
- Καθώς είναι λιγότερο πιθανό να σπάσει υπό κανονικές δυνάμεις, το κοπτικό εργαλείο σφαιρικής απόληξης είναι πολύ αποδοτικό από πλευράς κόστους.



## Εργαλεία σφαιρικής απόληξης

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



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

Καλλιρρόη Πορφύρη

### Υλικό κατεργασίας:

Το υλικό που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων είναι το ΑΙ7075-T6. Το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή δομικών εξαρτημάτων κυρίως στην αεροναυπηγικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υλικά που έχουν υψηλή αντοχή και εύκολη όσο είναι δυνατόν κατεργασιμότητα. Το ντουραλουμίνιο ΑΙ7075 θερμικής κατεργασίας T6 συνδυάζει υψηλή αντοχή, μέση σκληρότητα και αντίσταση στη διάβρωση. Για αυτό το λόγο προτιμάται στη βιομηχανία κατασκευής δομικών εξαρτημάτων.

### Δυναμόμετρο Kistler:

Για την μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε ένα δυναμόμετρο Kistler τύπου 9257BA, με δυνατότητα μέτρησης τριών συνιστωσών δυνάμεων. Το σήμα επεξεργαζόταν από μία μονάδα ελέγχου τύπου 5233A (που επέτρεπε την επιλογή της εμβέλειας της μετρούμενης κάθε φορά δύναμης), ενώ τα αποτελέσματα των μετρήσεων φάνινονταν απ' ευθείας στην οθόνη ενός Η/Υ, ώστε να εντοπίζονται αμέσως τυχόν λάθη κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

### Dynoware:

Για την απόκτηση και τη απεικόνιση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα γενικής χρήσης πακέτο λογισμικού το Dynoware, κατάλληλο για τη μέτρηση δυνάμεων κοπής και γενικών εφαρμογών δυναμομέτρησης.



Δυναμόμετρο  
Kistler 9257BA

Μονάδα ελέγχου  
Kistler 5233A



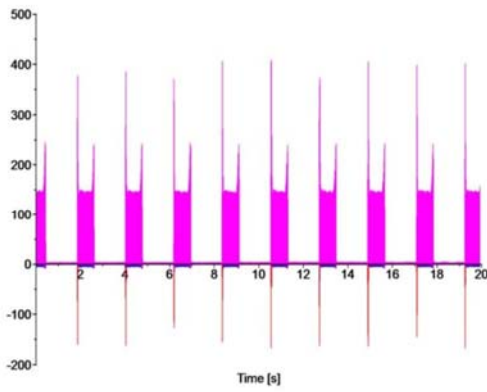
## Εξοπλισμός πειραμάτων

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



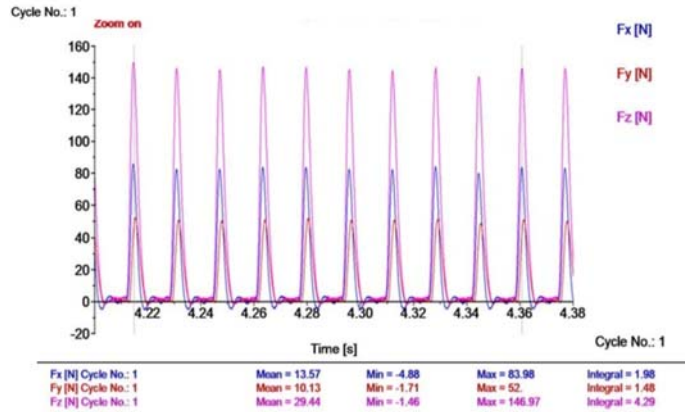
Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Καλλιρρόη Πορφύρη



Δυναμομέτρηση

Επεξεργασία δυναμομέτρησης και ανάλυση δυνάμεων



Αποτελέσματα δυναμομέτρησης

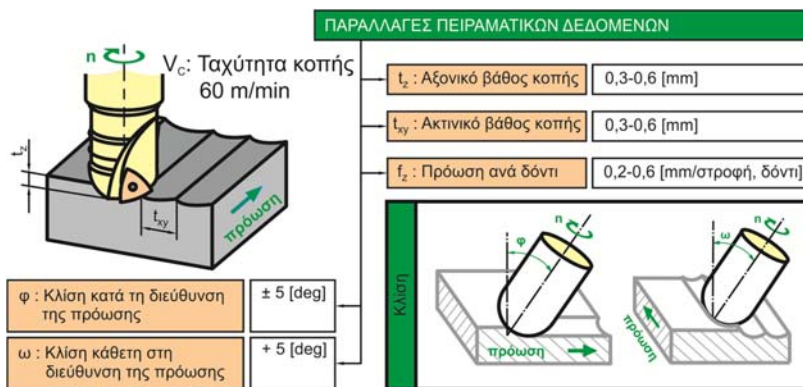
<http://www.m3.tuc.gr>



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

Καλλιρρόη Πορφύρη

Τα πειράματα εκπονήθηκαν με βάση τον παραγοντικό σχεδιασμό:



Αριθμός πειραμάτων =  $(t_z \cdot t_{xy} \cdot f_z \cdot \phi \cdot \omega) = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 = 48$



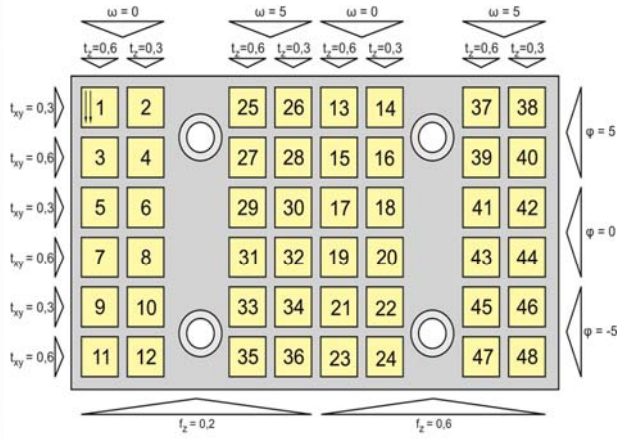
Πειραματικά δεδομένα

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



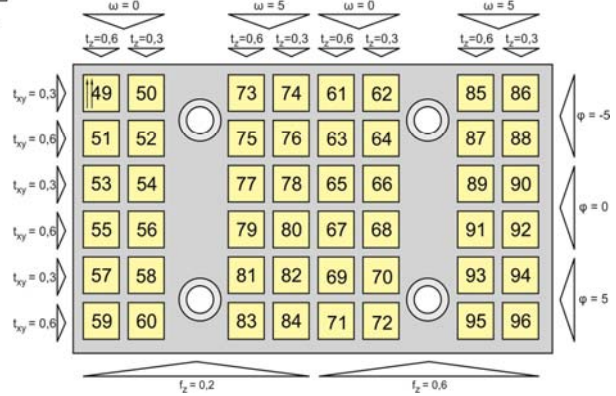
Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Καλλιρρόη Πορφύρη



Τεμάχιο ομόρροπων πειραμάτων

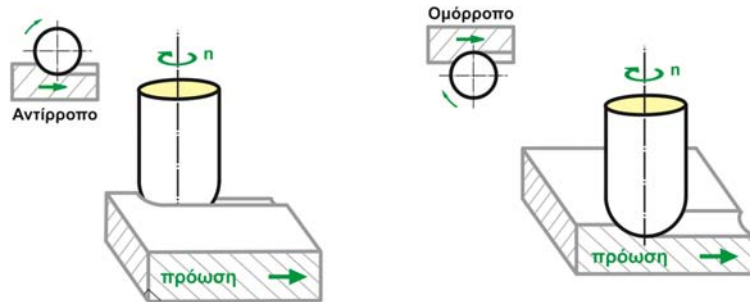
Τεμάχιο αντίρροπων πειραμάτων



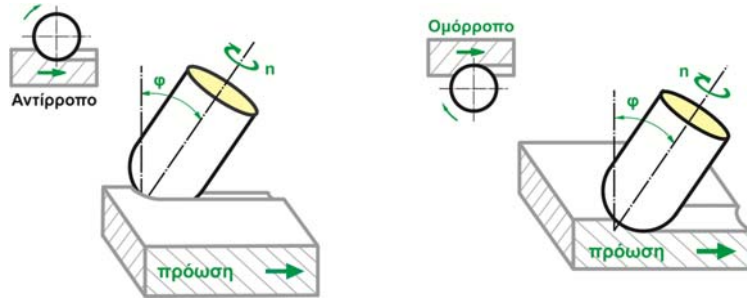
Οι διάφοροι συνδυασμοί των τριών παραγόντων  $f_z$ ,  $\phi$  και  $\omega$ , παράγουν τις **στρατηγικές φραιζαρίσματος** που εξαρτώνται από τη σχετική θέση του κοπτικού και του τεμαχίου κατεργασίας, αλλά και από την κινηματική του κοπτικού εργαλείου κατά τη διεργασία.

**Στρατηγικές:**

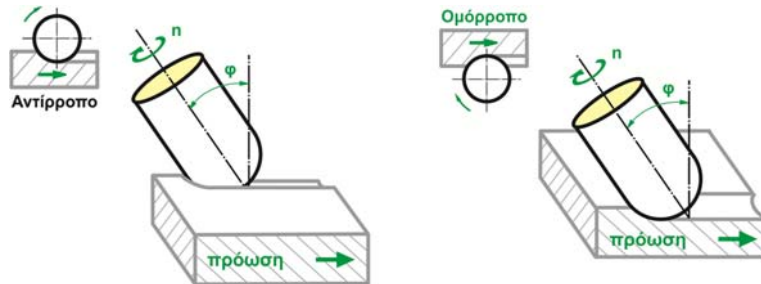
1. Κάθετο φραιζάρισμα: ο άξονας του κοπτικού εργαλείου είναι κάθετος πάνω στο τεμάχιο κατεργασίας, δηλαδή οι κλίσεις  $\phi$  και  $\omega$  ισούνται με το μηδέν



2. **Διατρητικό φραιζάρισμα:** ο άξονας του κοπτικού εργαλείου έχει κλίση  $\phi$  κατά τη φορά της πρόωσης ενώ η κλίση  $\omega$  ισούται με το μηδέν.



3. **Ελκτικό φραιζάρισμα:** άξονας του κοπτικού εργαλείου έχει κλίση  $\phi$  αντίθετη στη φορά της πρόωσης ενώ η κλίση  $\omega$  ισούται με το μηδέν.



## Στρατηγικές φραιζαρίσματος

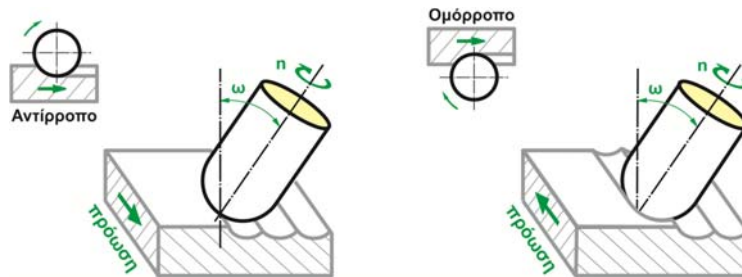
<http://www.m3.tuc.gr>



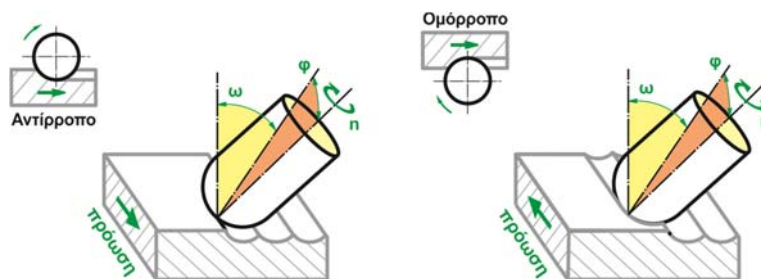
Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Καλλιρρόη Πορφύρη

4. **Πλάγιο φραιζάρισμα:** ο άξονας του κοπτικού εργαλείου έχει κλίση  $\omega$  κάθετη στη φορά της πρόωσης, ενώ η κλίση  $\phi$  ισούται με το μηδέν.



5. **Πλάγιο διατρητικό φραιζάρισμα:** ο άξονας του κοπτικού εργαλείου έχει κλίση  $\phi$  κατά τη φορά της πρόωσης καθώς και κλίση  $\omega$  κάθετη στη φορά της πρόωσης.



## Στρατηγικές φραιζαρίσματος

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

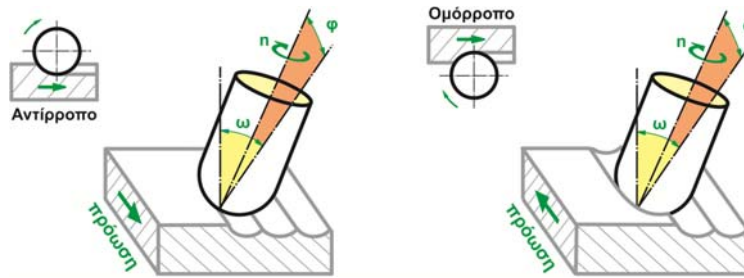


Dept. of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Assoc. Prof. Aristomenis Antoniadis

Καλλιρρόη Πορφύρη

2012

6. **Πλάγιο ελκτικό φραιζάρισμα:** ο άξονας του κοπτικού εργαλείου έχει κλίση  $\phi$  αντίθετη στη φορά της πρόωσης καθώς και κλίση  $\omega$  κάθετη στη φορά της πρόωσης.



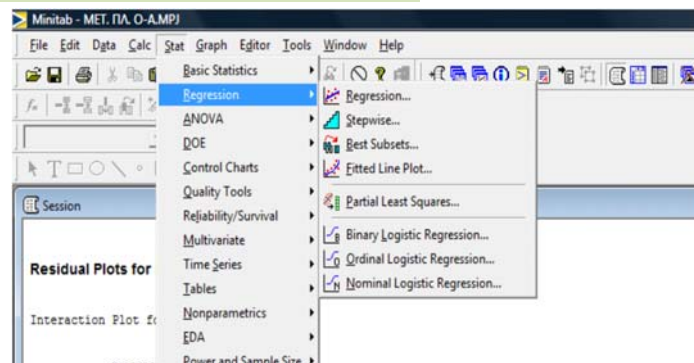
2012

**Response Surface Methodology (RSM):** μεθοδολογία απόκρισης επιφάνειας για την πρόβλεψη των δυνάμεων κοπής. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιεί, για τη δημιουργία μιας εξίσωσης βάσει των παραγόντων που χρησιμοποιούνται:

- την ανάλυση παλινδρόμησης (Regression Analysis)
- και την ανάλυση διασποράς (Analysis of Variance, ANOVA)

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιείται το λογισμικό **Minitab 15 Statistical Software** κάνοντας τις παραπάνω μεθόδους εύκολες στη χρήση τους και με άμεσα αποτελέσματα.

**Λογισμικό Minitab:**



### Παράγοντες πρόβλεψης:

- αξονικό βάθος κοπής (tz), το ακτινικό βάθος κοπής (txy) και η πρόωση ανά δόντι (fz).
- κατασκευασμένοι παράγοντες: ως συνδυασμός των αρχικών παραγόντων εφαρμόζοντας απλές μαθηματικές σχέσεις (οι νέοι παράγοντες δοκιμάζονται και επιλέγονται μόνο αυτοί που δίνουν μεγάλο διάστημα εμπιστοσύνης και ικανοποιητικό μοντέλο πρόβλεψης).

2012



## Δημιουργία δεδομένων

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


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

Καλλιρρόη Πορφύρη

### Πλόγιο φραιζάρισμα: (Δύναμη κοπής Fz)

Η εξίσωση που προκύπτει για τη δύναμη κοπής, κατά τη z διεύθυνση, από την ανάλυση παλινδρόμησης είναι η ακόλουθη:

$$F_z(N) = 21,7 + 84,5t_z - 13,4t_{xy} + 0,14f_z - 81,7f_z^2 + 184t_z t_{xy} + 47,2t_z f_z - 48,8t_{xy} f_z + 356f_z^2 t_z + 194f_z^2 t_{xy} - 2,3f_z^3$$

Αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης:

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	21,660	7,998	2,71	0,042
tz	84,47	15,92	5,31	0,003
txy	-13,41	15,92	-0,84	0,438
fz	0,135	8,698	0,02	0,988
fz*fz	-81,69	19,13	-4,27	0,008
tz*txy	184,17	31,22	5,90	0,002
tz*fz	47,17	10,47	4,50	0,006
txy*fz	-48,78	10,47	-4,66	0,006
fz*fz*tz	355,73	29,26	12,16	0,000
fz*fz*txy	193,59	29,26	6,62	0,001
fz*fz*fz	-2,32	16,36	-0,14	0,893
<b>S=2,80938</b>		<b>R-Sq=99,9%</b>	<b>R-Sq(adj)=99,7%</b>	

Το επίπεδο σημαντικότητας P (P-value) → το πόσο σημαντικός είναι ο κάθε ένας παράγοντας, δηλαδή τη συνεισφορά του για τη δημιουργία της καμπύλης των δεδομένων που προσεγγίζει. **Μικρές τιμές P σηματοδοτούν ότι οι παράγοντες είναι σημαντικοί και ισχύουν για υψηλό διάστημα εμπιστοσύνης.** Αν κάποιος παράγοντας έχει μεγάλη τιμή P, τότε αυτός είτε αφαιρείται από την ανάλυση παλινδρόμησης, είτε δοκιμάζεται υψημένος σε μεγαλύτερη δύναμη

2012

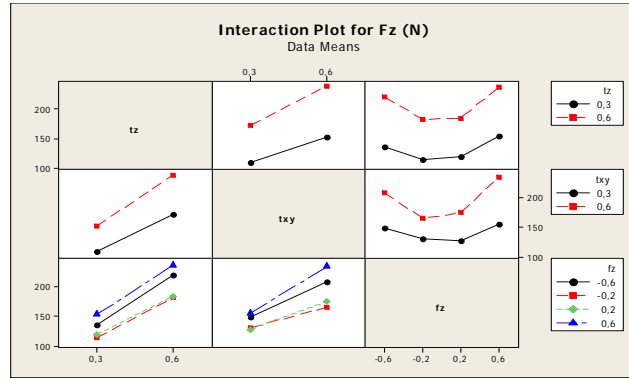
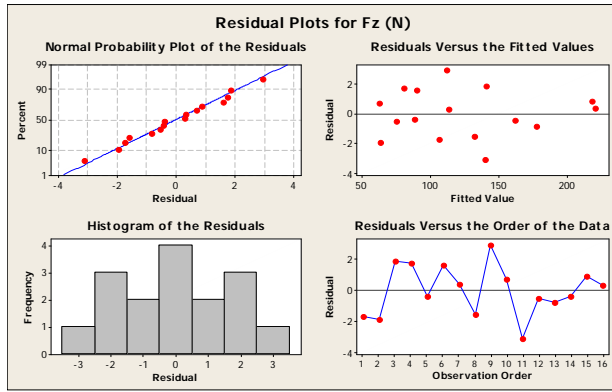


## Αποτελέσματα

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


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

Καλλιρρόη Πορφύρη



**ANOVA**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	10	38033,4	3803,3	481,89	0,000
Residual Error	5	39,5	7,9		
Total	15	38072,9			

Source	DF	Seq SS
tz	1	20476,2
txy	1	4213,3
fz	1	5,8
fz*fz	1	11220,1
tz*txy	1	274,7
tz*fz	1	160,2
txy*fz	1	171,3
fz*fz*tz	1	1166,2
fz*fz*txy	1	345,4
fz*fz*fz	1	0,2

- F: τιμή κατανομής
- P: επίπεδο σημαντικότητας (συσχέτιση παραγόντων)
- DF: βαθμοί ελευθερίας
- Seq SS: ακολουθιακά αθροίσματα τετραγώνων
- SS: άθροισμα τετραγώνων σφάλματος
- MS: διασπορά

- ✦ **R-sq.** (πολλαπλός συντελεστής προσδιορισμού), αποτελεί ένα μέτρο του πόσο καλά το μοντέλο εξηγεί τα δεδομένα. Όπως βλέπουμε από τον πίνακα, το 99.9% του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών του Y από το μέσο Y εξηγείται από τους παράγοντες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο.
- ✦ Καλύτερο μέτρο είναι ο προσαρμοσμένος πολλαπλός συντελεστής (**R-sq(adj)**), αφού λαμβάνει υπόψη του και τον αριθμό των μεταβλητών που έχουν χρησιμοποιηθεί και τις αλληλεπιδράσεις τους.



2012

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ  
ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΤΟΥΡΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Α17075 - T6

**Ευχαριστώ πολύ για  
την προσοχή σας  
!!!!**



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



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

Καλλιρρόη Πορφύρη