

20

19

18

17

16

15

14

13

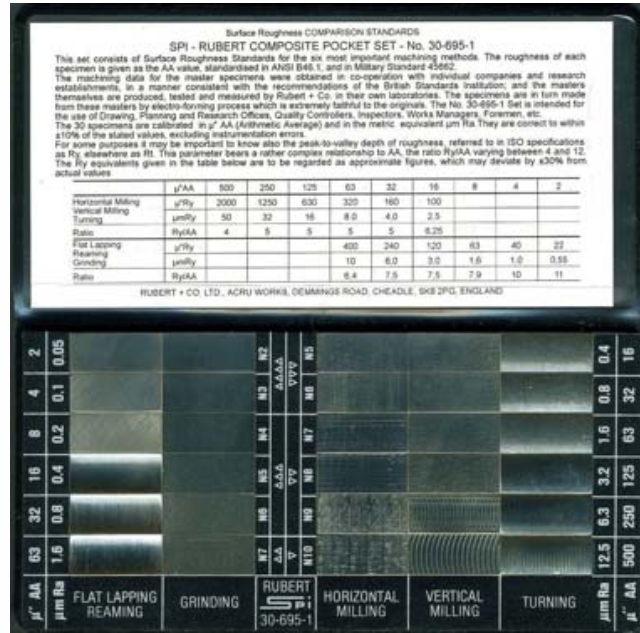
12

11

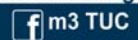
Αρχές της κοπής

# 13

- Ποιότητα κατεργασμένης επιφάνειας
- Δυναμική της κοπής


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


Αρχές της κοπής - 3



m3 TUC

2019-20



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

1

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

Αρχές της κοπής

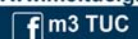
Ο όρος **ποιότητα επιφάνειας** κατεργασμένης με αφαίρεση υλικού (τόρνευση, φραιζάρισμα, λείανση κ.λπ.) ή κατεργασίας διαμόρφωσης (βαθεία κοίλανση, σφυρηλάτηση, έλαση κ.λπ.), αναφέρεται:

- στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας,
- στην ακρίβεια των διαστάσεων μορφής,
- στα φυσικά, χημικά και μεταλλογραφικά χαρακτηριστικά του υλικού της κατεργασμένης επιφάνειας.

Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η σκληρότητα, η αντίσταση σε διάβρωση ή οξειδωση, η δομή, καθώς και τα διάφορα ελατώματα, παραμένουσες τάσεις κ.λπ..


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


Ποιότητα επιφάνειας



m3 TUC

2019-20



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

2

20

19

18

17

16

15

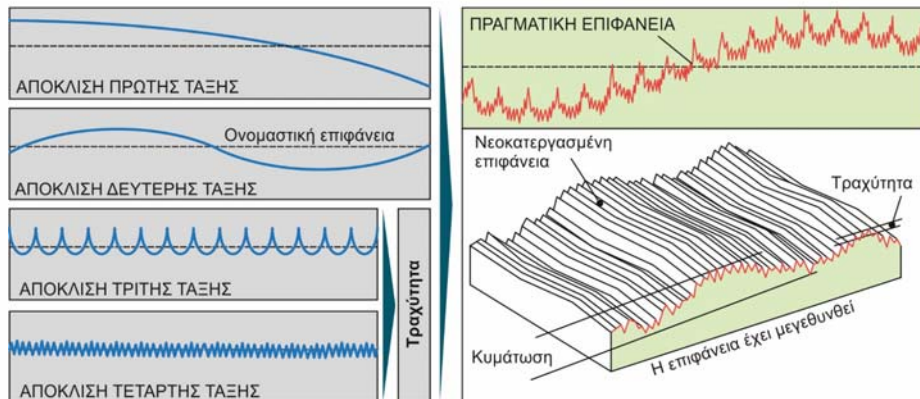
14

13

12

11

Αρχές της κοπής



Από τις αποκλίσεις αυτές, οι αποκλίσεις 3ης έως και 4ης τάξης αποτελούν αυτό που καλείται **τραχύτητα επιφάνειας**. Οι παράγοντες που επηρεάζουν, σε διαφορετικό όμως βαθμό ο καθένας, την τραχύτητα κατεργασμένων επιφανειών και άρα και την ποιότητά τους, είναι συνοπτικά οι εξής:

- 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 (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
- Το υγρό κοπής, αν χρησιμοποιείται.
- Η κατάσταση της εργαλειομηχανής όσον αφορά την επιτυγχανόμενη ακρίβεια και
- Οι ταλαντώσεις του συστήματος (κατεργασία – εργαλειομηχανή – τεμάχιο, εργαλείο).

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


## Αποκλίσεις μιας νεοκατεργασμένης επιφάνειας από τη θεωρητική επιφάνεια



2019-20



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

3

20

19

18

17

16

15

14

13

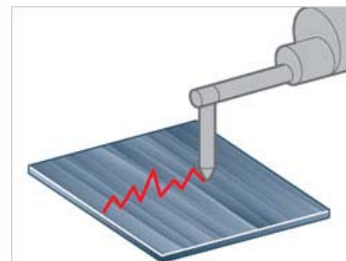
12

11

Αρχές της κοπής

Το πρόβλημα καθορισμού της επιθυμητής **τραχύτητας** σε κατεργαζόμενα τεμάχια έχει ιδιαίτερη σημασία στη σχεδίαση μηχανολογικών εξαρτημάτων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις συνεργαζόμενων επιφανειών. **Η τραχύτητα των κατεργαζόμενων επιφανειών επιδρά κυρίως:**

- στις συνθήκες επαφής ανάμεσα σε συνεργαζόμενες επιφάνειες (συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικά λίπανσης, φθορά κ.λπ.),
- στην κατάσταση ροής των ρευστών σε τοιχώματα,
- στους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας,
- στην αντίσταση σε διάβρωση,
- στην αντοχή σε κόπωση των υλικών.


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


## Επίδραση της τραχύτητας



2019-20



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

4

20

19

18

17

16

15

14

13

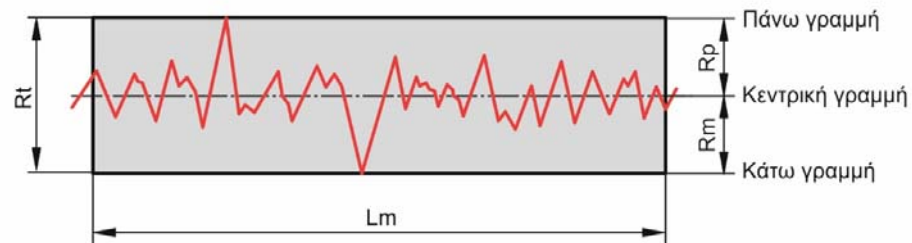
12

11

Αρχές της κοπής

Για τη μέτρηση της τραχύτητας έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα: το **σύστημα Κεντρικής γραμμής ή σύστημα (M)** και το **σύστημα Περιβάλλουσας (E)**. Το σύστημα περιβάλλουσας δε χρησιμοποιείται ευρέως και για το σκοπό αυτό δεν αναλύεται περισσότερο.

Στο σχήμα παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος (M). Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται, στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας, μια κεντρική γραμμή που ισομοιράζει, σε συγκεκριμένο μήκος, τα επάνω και κάτω από αυτήν εμβαδά.



Στο σχήμα, το **Lm** ονομάζεται **δειγματοληπτικό μήκος** και είναι το καθορισμένο μήκος στο οποίο μετριέται η τραχύτητα. Η πάνω γραμμή εφάπτεται στην υψηλότερη κορυφή, μέσα στο δειγματοληπτικό μήκος, ενώ η κάτω γραμμή εφάπτεται στη βαθύτερη εσοχή. Η απόσταση ανάμεσα στην πάνω και κάτω γραμμή ορίζει το **μέγιστο ύψος της τραχύτητας Rt**.

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


## Χαρακτηριστικά στοιχεία τραχύτητας στο σύστημα Κεντρικής γραμμής



2019-20



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

5

20

19

18

17

16

15

14

13

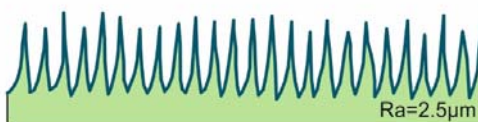
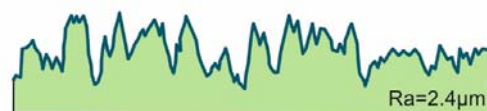
12

11

Αρχές της κοπής



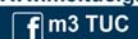
Το **μέσο ύψος της τραχύτητας Ra**, όπως φαίνεται στο σχήμα, ορίζεται ως η αριθμητική μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων του πραγματικού περιγράμματος από τη μέση (κεντρική) γραμμή, μέσα στο καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος. Αυτές οι αποκλίσεις για τον υπολογισμό του Ra λαμβάνονται πάντα θετικές.



Επειδή το Ra είναι από τον ορισμό του ένας μέσος όρος, οι διαφοροποιήσεις στις αποκλίσεις της επιφάνειας δεν επηρεάζουν πολύ την τιμή του, όπως φαίνεται στο σχήμα για τρεις περιπτώσεις επιφανειών με ίδια σχεδόν τιμή του Ra αλλά πολύ διαφορετική μορφή της επιφάνειας.

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


## Μέσο ύψος τραχύτητας Ra



2019-20



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

6



20

19

18

17

16

15

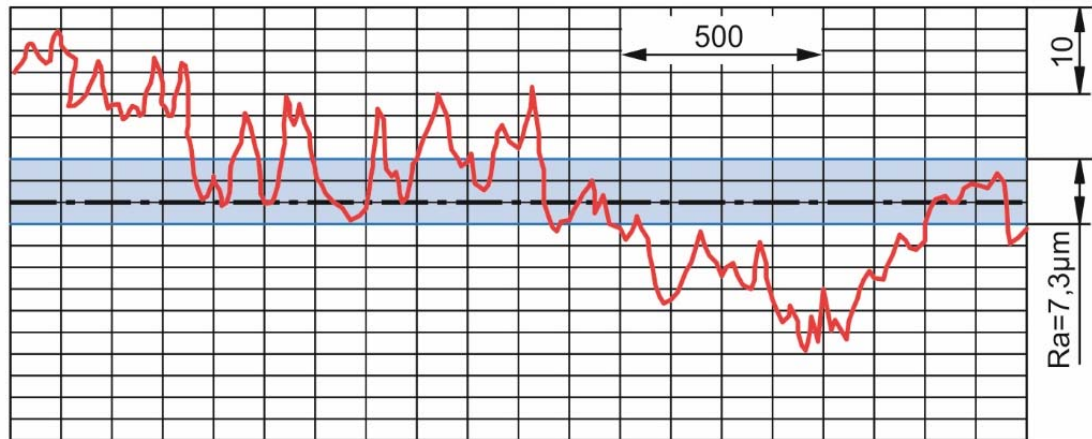
14

13

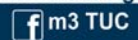
12

11

Αρχές της κοπής


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


## Παράδειγμα υπολογισμού μέσου ύψους τραχύτητας Ra



2019-20



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

7

20

19

18

17

16

15

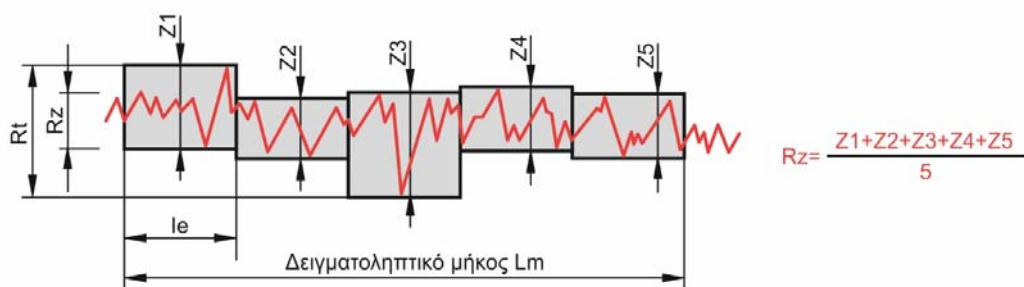
14

13

12

11

Αρχές της κοπής

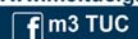


Ένα άλλο μέγεθος μέτρησης της τραχύτητας που έχει επικρατήσει (DIN4768-1) είναι το **ύψος της τραχύτητας Rz**, που προσδιορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του συνόλου των πέντε υψηλότερων κορυφών με το σύνολο των πέντε βαθύτερων εσοχών του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας, διαιρούμενο δια πέντε.

Οι υψηλότερες κορυφές και βαθύτερες εσοχές, όπως φαίνεται στο σχήμα, προσδιορίζονται μέσα σε 5 ίσα τμήματα  $le$ , στα οποία χωρίζεται το **δειγματοληπτικό μήκος  $L_m$** . Το μήκος  $le$  ονομάζεται **μήκος αποκοπής** και η επιλογή του είναι σημαντική για την τραχυμέτρηση.

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


## Ύψος τραχύτητας Rz

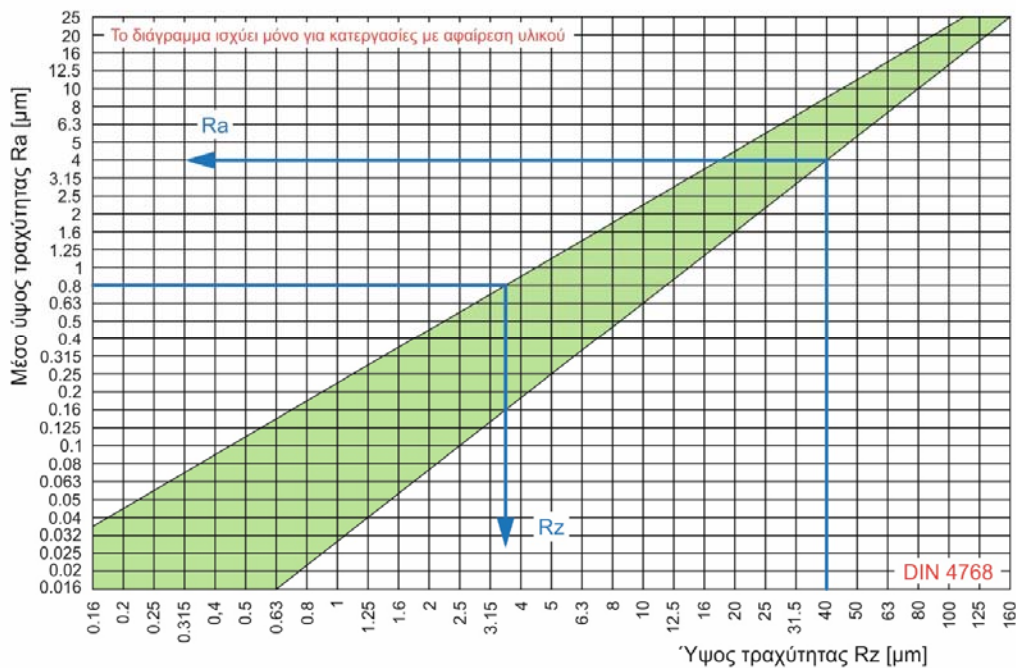
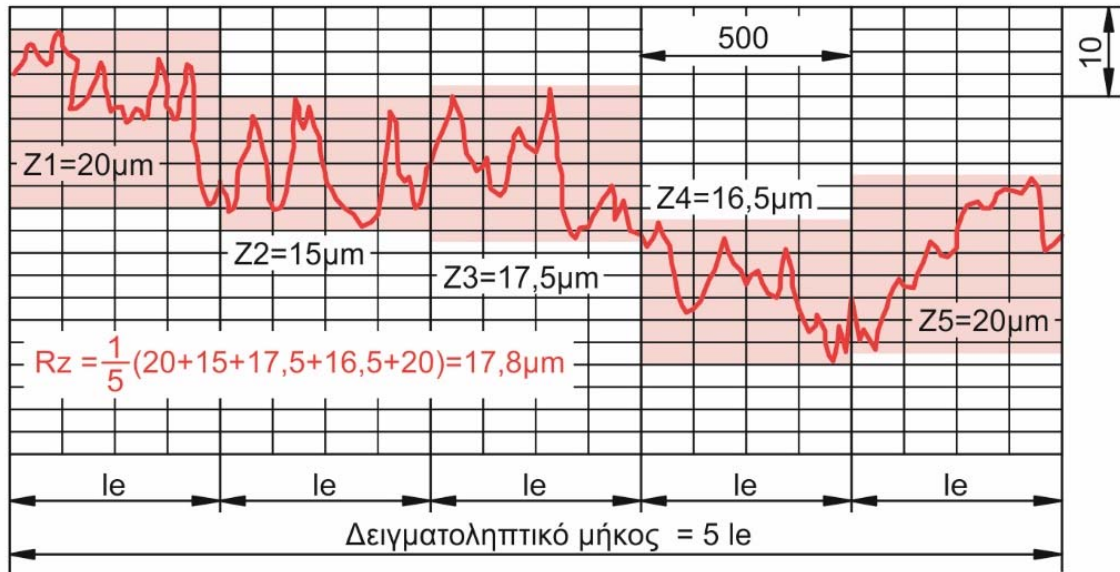


2019-20



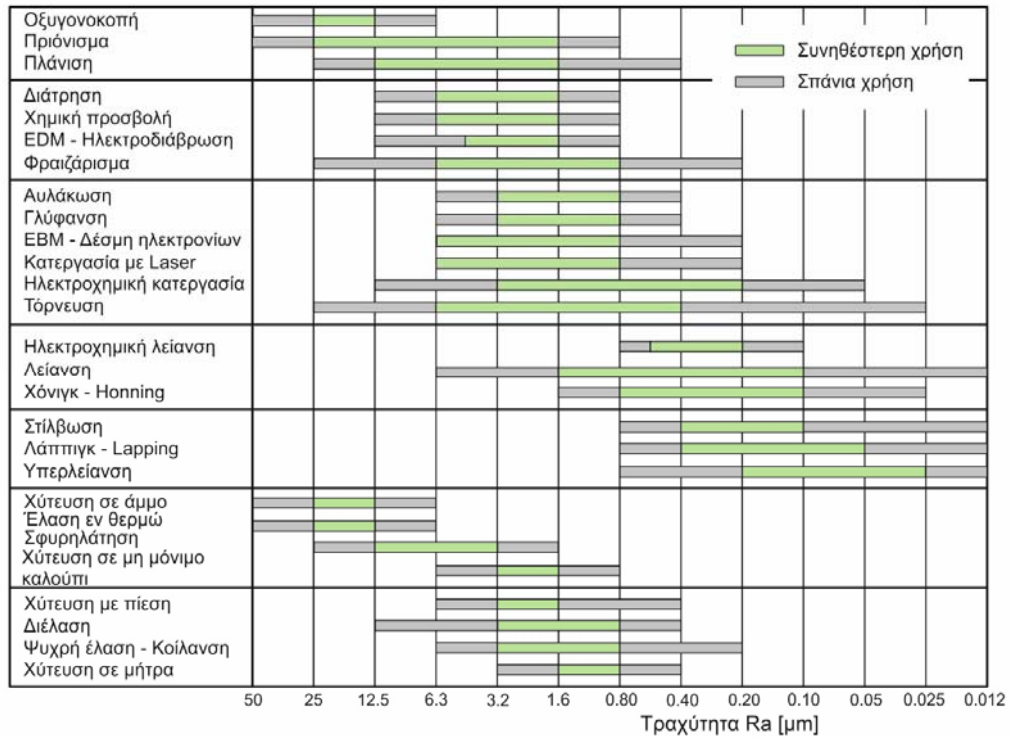
School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

8



20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

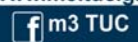
Αρχές της κοπής



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



Τραχύτητα επιφάνειας δημιουργούμενη από συνήθεις κατεργασίες



2019-20

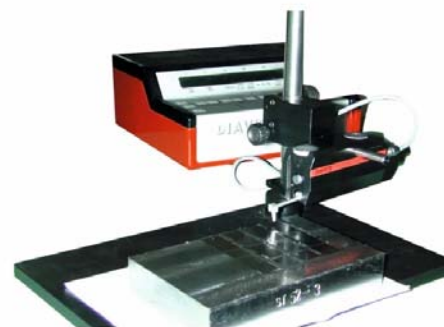
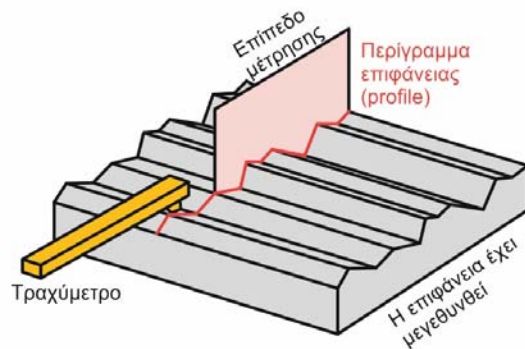


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

11

20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

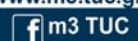
Αρχές της κοπής



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



Τραχύμετρο ακίδας



2019-20



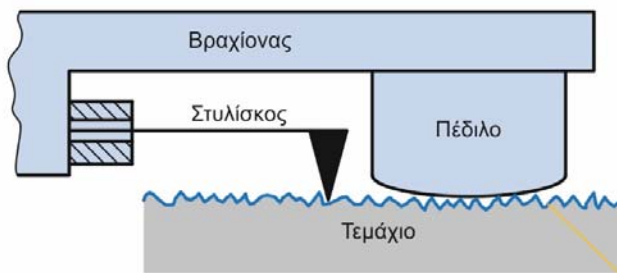
School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

12



20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

Αρχές της κοπής



Ο στυλίσκος ακολουθεί κάθε ανωμαλία της επιφάνειας με πολύ μικρή διακριτοποίηση της κίνησης

Το πέδilo ακολουθεί τη γενική μορφή της επιφάνειας



Δεδομένα κατεργασίας :

Εργαλείο φραιζαρίσματος με σφαιρική απόληξη, διαμέτρου Φ20 και μία κόψη ( $z=1$ ), Υλικό κοπτικού εργαλείου : Σκληρομέταλλο P40, Υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου : Ck60, Συνθήκες κοπής : Αντίρροπο φραιζάρισμα, Πρόωση 0.6mm/στροφή & δόντι, Αξονικό βάθος κοπής 0.3mm, Ακτινικό βάθος κοπής 0.3mm, Ταχύτητα κοπής 45m/min

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



Αρχή λειτουργίας τραχυμέτρου τύπου στυλίσκου



2019-20

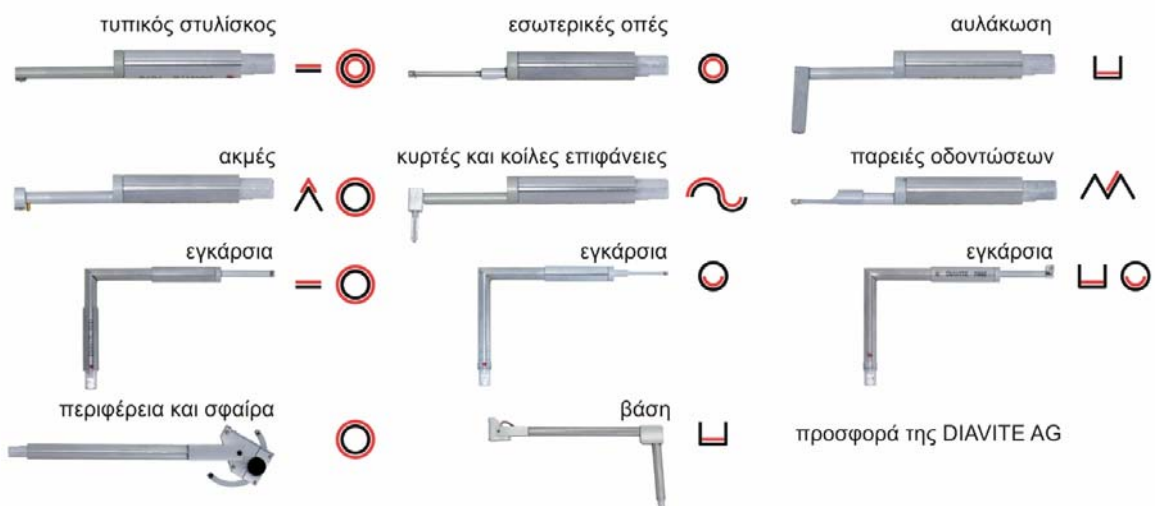


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

13

20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

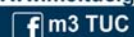
Αρχές της κοπής



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



Τύποι στυλίσκων



2019-20

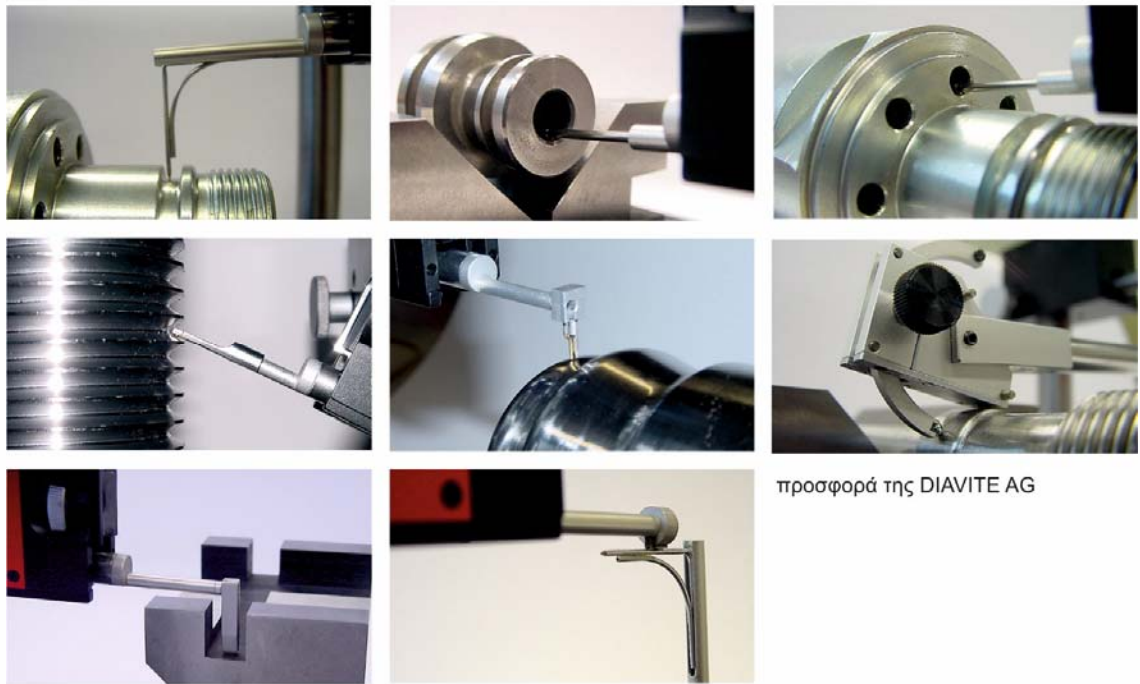


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

14

20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

Αρχές της κοπής

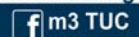


προσφορά της DIAVITE AG

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



Τραχυμετρήσεις με διαφορετικούς στυλίσκους



2019-20

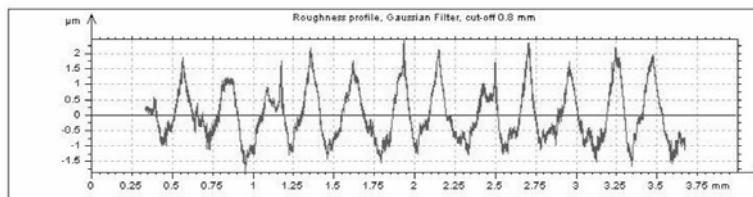


School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

15

20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11

Αρχές της κοπής

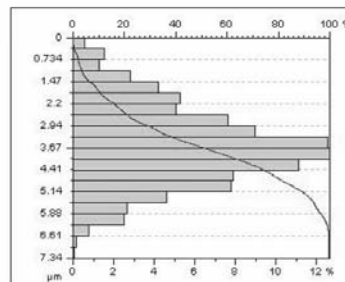


Parameters calculated on the profile  
Compact\_profile12 > Levelled with the Minimum  
Zone (7.35 μm)

\* Parameters calculated as average value of all  
sampling lengths.  
\* A microroughness filtering is used, with a ratio of  
2.5 μm.

Roughness Parameters, Gaussian filter, 0.8 mm

$R_a = 0.676 \mu\text{m}$   
 $R_z = 3.72 \mu\text{m}$   
 $R_c = 4.29 \mu\text{m}$   
 $R_{max} = 4 \mu\text{m}$   
 $R_{Sm} = 3.43 \mu\text{m}$   
 $R_q = 0.807 \mu\text{m}$



**Κοπτικό Εργαλείο:**  
Φ20, z=1, P02(TiN)

**Κατεργαζόμενο τεμάχιο:**  
CK60

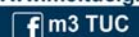
**Συνθήκες κοπής:**  
 $t_z=0.4\text{mm}$ ,  $t_{xy}=0.4\text{mm}$ ,  
 $f_z=0.2\text{mm/στρ.δόντι}$ ,  
 ομόρροπο φραιζάρισμα,  
 ταχύτητα κοπής  $v_c=45\text{m/min}$



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



Τραχυγράφημα από κατεργασία αποπεράτωσης με εργαλείο με  
σφαιρική απόληξη



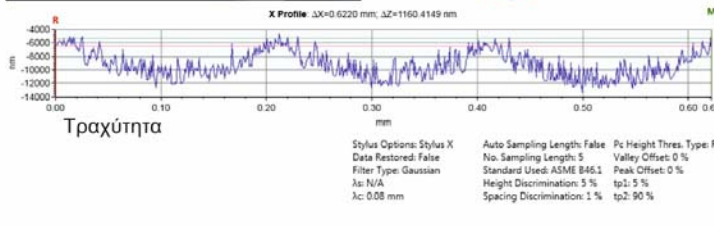
2019-20



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

16



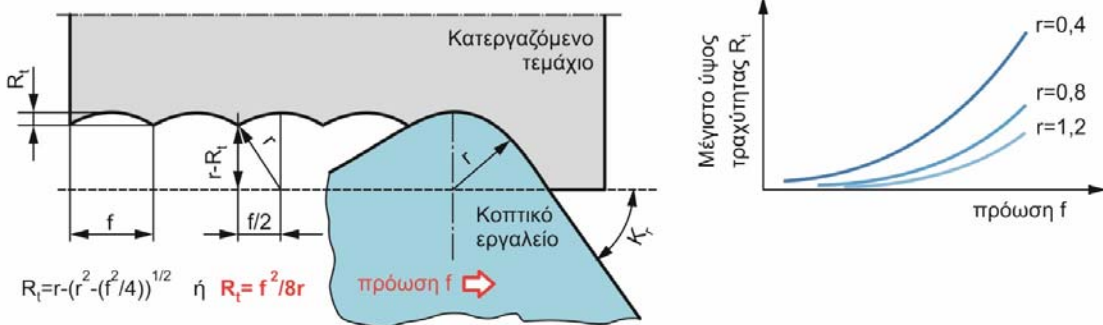


Profile Stats			Average			Standard Deviation		
Label	Value	Units	Label	Value	Units	Label	Value	Units
A1	44.897	nm	A1	56.156	nm	A1	111.154	nm
A2	3.57	nm	A2	8.329	nm	A2	3.648	nm
H	3528.02	nm	H	3505.925	nm	H	94.19	nm
Htp	1387.475	nm	Htp	1309.222	nm	Htp	63.568	nm
Lambda	7731.271	nm	Lambda	7505.254	nm	Lambda	173.209	nm
LambdaQ	7856.637	nm	LambdaQ	7608.367	nm	LambdaQ	129.1	nm
Mv1	12.172	%	Mv1	11.897	%	Mv1	1.691	%
Mv2	97.853	%	Mv2	96.388	%	Mv2	1.23	%
R3z	3789.297	nm	R3z	3765.956	nm	R3z	128.135	nm
Rp	62.639	1/mm	Rp	59.105	1/mm	Rp	4.972	1/mm
RS	3.156	μm	RS	3.21	μm	RS	91.873	nm
RSm	5.671	μm	RSm	5.8	μm	RSm	0.408	μm
Ra	1001.687	nm	Ra	963.289	nm	Ra	31.824	nm
Rc	2814.837	nm	Rc	2808.326	nm	Rc	94.106	nm
Rda	46.643	deg	Rda	46.197	deg	Rda	0.66	deg
Rdq	55.486	deg	Rdq	54.485	deg	Rdq	1.213	deg
Rk	3468.688	nm	Rk	3273.056	nm	Rk	158.919	nm
Rku	2.079	nm	Rku	2.244	nm	Rku	0.122	nm
Rmax	4791.639	nm	Rmax	4904.55	nm	Rmax	315.758	nm
Rp	2812.124	nm	Rp	2853.92	nm	Rp	148.625	nm
Rpk	737.672	nm	Rpk	939.557	nm	Rpk	94.643	nm
Rpk*	1214.575	nm	Rpk*	1317.392	nm	Rpk*	173.519	nm
Rq	1180.099	nm	Rq	1151.456	nm	Rq	30.276	nm
Rsk	0.223	nm	Rsk	0.284	nm	Rsk	0.005	nm
Rt	5217.985	nm	Rt	5255.67	nm	Rt	302.703	nm
Rv	2405.861	nm	Rv	2401.75	nm	Rv	268.815	nm
Rvk	322.588	nm	Rvk	443.567	nm	Rvk	117.302	nm
Rvk*	534.722	nm	Rvk*	665.223	nm	Rvk*	273.929	nm
Rz	4593.897	nm	Rz	4567.661	nm	Rz	154.6	nm

Ακριβέστερη μέτρηση της τραχύτητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με **οπτικό προφιλόμετρο**, όπως αυτό του σχήματος το οποίο έχει δυνατότητες μέτρησης πολλών παραμέτρων τραχύτητας, όπως φαίνεται στον πίνακα δεξιά στο σχήμα αλλά και να παρουσιάσει την τοπομορφία της επιφάνειας.

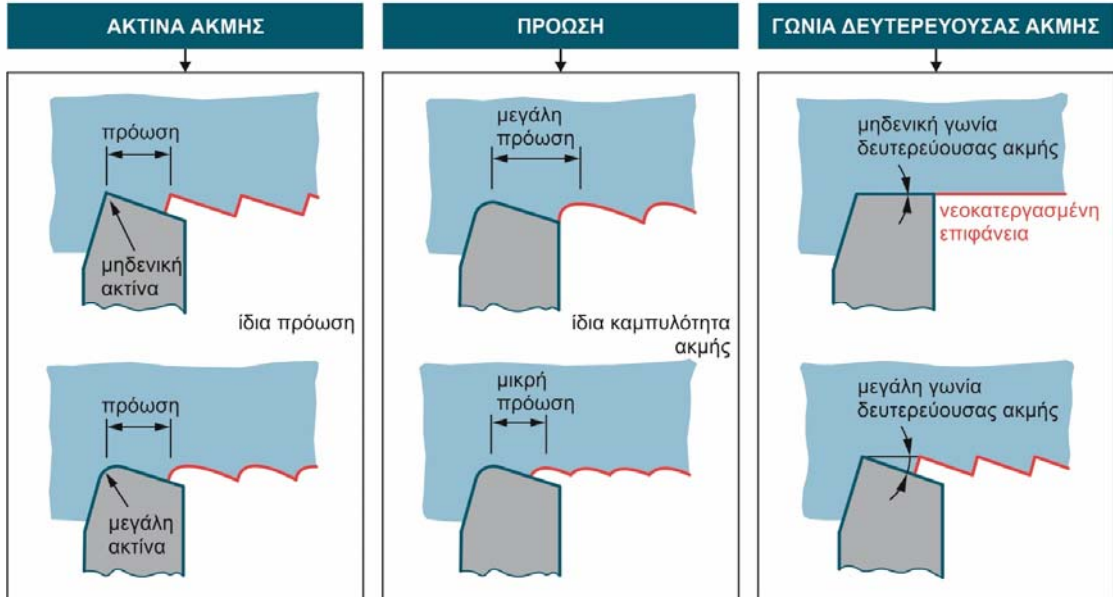


Σημαντικός παράγοντας για την αναπτυσσόμενη τραχύτητα είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, το είδος της κατεργασίας. Η κάθε κατεργασία αφαίρεσης υλικού έχει τη δική της κινηματική που σε συνδυασμό με τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και τις συνθήκες κοπής, διαμορφώνουν τη νεοκατεργασμένη επιφάνεια. Η γεωμετρία αυτής της επιφάνειας, λόγω της κινηματικής της κατεργασίας και της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου, είναι μονοσήμαντα ορισμένη σε κάθε περίπτωση κατεργασίας, αντιστοιχεί σε αποκλίσεις 3ης τάξης και ορίζει την **κινηματική ή θεωρητική τραχύτητα** της επιφάνειας. Η τραχύτητα αυτή είναι η καλύτερη δυνατή που μπορεί να επιτευχθεί.



Από το διάγραμμα γίνεται φανερό πως, όσο η ακτίνα καμπυλότητας της κόπης του χρησιμοποιούμενου εργαλείου είναι μεγαλύτερη, τόσο μεγαλύτερο είναι και το αναμενόμενο θεωρητικό μέγιστο ύψος τραχύτητας. Αντίστροφα, όσο πιο οξύ είναι το κοπτικό εργαλείο, τόσο πιο μικρό προκύπτει και το θεωρητικό μέγιστο ύψος τραχύτητας.



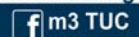


- Για σταθερή πρόωση, η αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας της ακμής του εργαλείου οδηγεί σε βελτίωση της τραχύτητας και μάλιστα όσο μεγαλώνει η πρόωση η βελτίωση αυτή παρουσιάζεται πιο έντονα.
- Για σταθερή ακτίνα καμπυλότητας της ακμής του εργαλείου, η μείωση της πρόωσης οδηγεί σε βελτίωση της τραχύτητας.
- Όσο η γωνία της δευτερεύουσας ακμής μεγαλώνει, τόσο χειροτερεύει η τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας.

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



Επίδραση παραγόντων στη θεωρητική τραχύτητα



2019-20



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

Στην πράξη η θεωρητική ή κινηματική τραχύτητα δεν είναι εφικτή μια και επιδρούν πολλοί παράγοντες όπως το ίδιο το κατεργαζόμενο υλικό, η δυναμική του συστήματος εργαλειομηχανή – κοπτικό εργαλείο – τεμάχιο, η αναπτυσσόμενη φθορά στο κοπτικό εργαλείο και πολλοί άλλοι. Έτσι, η πραγματική τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας, που ονομάζεται **φυσική τραχύτητα**, είναι πάντα χειρότερη από τη θεωρητικά αναμενόμενη και πολλές φορές μάλιστα πολλαπλασιάζεται της.



πηγή: F. Betz

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



Επίδραση παραγόντων κοπής στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας



2019-20



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

20

19

18

17

16

15

14

13

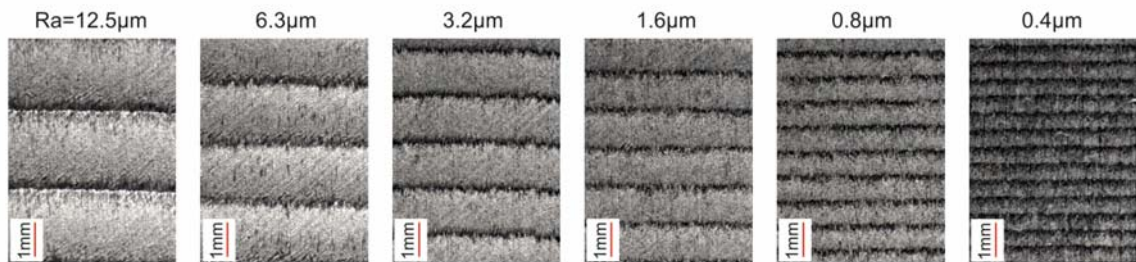
12

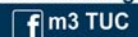
11

Αρχές της κοπής

Σημαντική παράμετρος που επιδρά στην αναπτυσσόμενη τραχύτητα είναι και η **ταχύτητα κοπής** η οποία επηρεάζοντας την ανάπτυξη ή όχι της ψευδοκοψης καθώς και το μηχανισμό δημιουργίας του αποβλίττου, επιδρά σημαντικά στην τραχύτητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Σε χαμηλές ταχύτητες κοπής η αύξηση της ταχύτητας κοπής οδηγεί σε βελτίωση της τραχύτητας. Όταν η ταχύτητα κοπής βρίσκεται στην περιοχή ανάπτυξης της ψευδοκοψης η τραχύτητα χειροτερεύει, ενώ αντίθετα βελτιώνεται στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων κοπής που απομακρύνουν την ψευδοκοψη.

Σε αντίθεση με την ταχύτητα κοπής, **το βάθος κοπής δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την αναπτυσσόμενη τραχύτητα**. Ιδιαίτερα στο φραιζάρισμα, όπου το βάθος κοπής διακρίνεται σε αξονικό και ακτινικό βάθος κοπής, ενώ το πρώτο δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την τραχύτητα, το ακτινικό βάθος που αποτελεί την απόσταση ανάμεσα στις παράλληλες τροχιές του κοπτικού εργαλείου επηρεάζει σημαντικά την αναπτυσσόμενη τραχύτητα. Στο σχήμα παρουσιάζονται κατεργασμένες επιφάνειες με οριζόντιο φραιζάρισμα και διαφορετικά ακτινικά βάθη κοπής και αντίστοιχα οι τιμές της τραχύτητας Ra.


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

**Τραχυμέτρηση δοκιμίων κατεργασμένων με οριζόντιο φραιζάρισμα**


2019-20


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

21

20

19

18

17

16

15

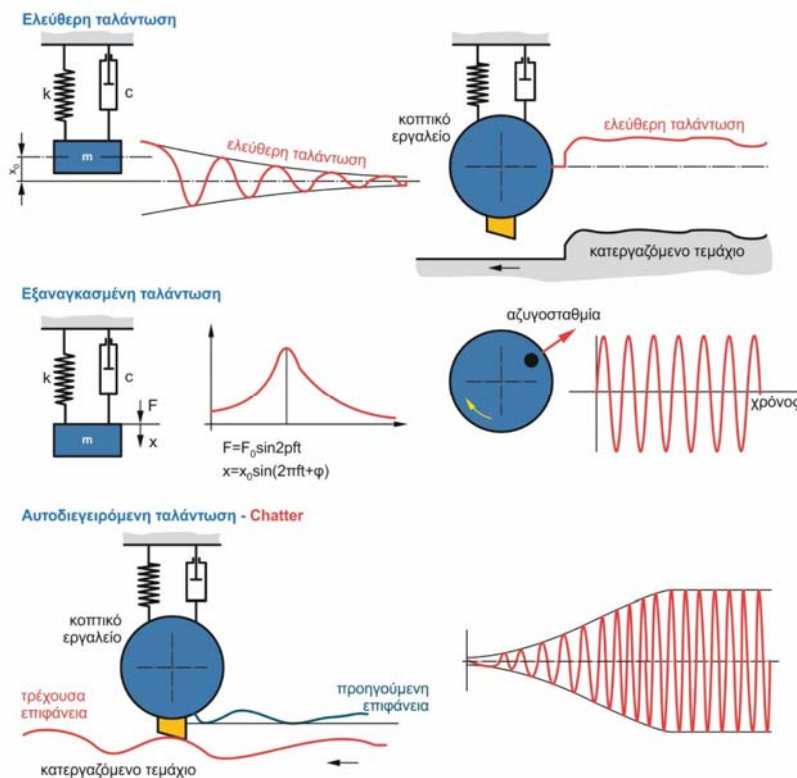
14

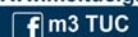
13

12

11

Αρχές της κοπής


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

**Μορφές ταλάντωσης μηχανικών διατάξεων**


2019-20


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

22



20

19

18

17

16

15

14

13

12

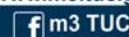
11

**Ελεύθερες ταλαντώσεις:** Οφείλονται σε απεριοδικές διεγέρσεις. Στις μηχανουργικές κατεργασίες παρουσιάζονται όταν υπάρχει κάποια ξαφνική αλλαγή σε κάποιον παράγοντα της κοπής και ελεύθερη ταλάντωσή του η οποία γίνεται με τη **φυσική του ιδιοσυχνότητα**. Μπορεί να συμβεί εξ αιτίας ανομοιογένειας στο κατεργαζόμενο υλικό ή σε περιπτώσεις λανθασμένης τροχιάς του κοπτικού εργαλείου που οδηγεί σε σύγκρουση μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Οι ταλαντώσεις αυτές εκτελούνται έως την απόσβεσή τους λόγω των αντίστοιχων δυνάμεων απόσβεσης.

**Εξαναγκασμένες ταλαντώσεις:** Οφείλονται σε αρμονική διεγερση, όπως για παράδειγμα στη διακοπτόμενη κοπή που πραγματοποιείται στο φραιζάρισμα όπου η κοπτική ακμή εισέρχεται και εξέρχεται από το τεμάχιο συνεχώς. Αντίστοιχες ταλαντώσεις προκύπτουν και στην περίπτωση αζυγοσταθμιών σε έδρανα της εργαλειομηχανής ή στο κοπτικό εργαλείο ή ακόμα και μέσω επίδρασης εξωτερικών δονήσεων μέσω του εδάφους στο οποίο εδράζεται η εργαλειομηχανή.

**Αυτοδιεγερόμενες ταλαντώσεις:** Προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας και δημιουργούν αστάθεια στο σύστημα εργαλειομηχανή, κοπτικό εργαλείο και κατεργαζόμενο τεμάχιο. Έχουν μελετηθεί από την αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα και συνεχίζει η ερευνητική κοινότητα τις προσπάθειες αντιμετώπισής τους, αφενός λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου και αφετέρου λόγω της ισχυρής επίδρασής του στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας και γενικά την κατεργασία με αφαίρεση υλικού.


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

**Μορφές ταλαντώσεων κοπτικών εργαλείων**

**m3 TUC**

2019-20


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

23

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

Η **επίδραση των αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων** στις μηχανουργικές κατεργασίες, όπως αναφέρθηκε, είναι σημαντική μια και έχουν ως αποτέλεσμα:

- κακή ποιότητα επιφάνειας,
- δυσμενής επίπτωση στη διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής,
- αύξηση της τραχύτητας,
- παραμένουσες τάσεις στην κατεργασμένη επιφάνεια,
- υπερβολικός θόρυβος,
- φθορά του κοπτικού εργαλείου,
- βλάβες της εργαλειομηχανής,
- μειωμένο ρυθμό αφαίρεσης υλικού,
- αύξηση του κόστους από την άποψη του χρόνου παραγωγής.
- σπατάλη υλικών
- σπατάλη ενέργειας
- περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη σπατάλη άποψη των υλικών και της ενέργειας
- κόστος για ανακύκλωσης και νέα κατεργασία των μη αποδεκτών τελικών κατεργασμένων τεμαχίων


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

**Επίδραση αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων**

**m3 TUC**

2019-20


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

24

20

19

18

17

16

15

14

13

12

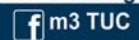
11

Αρχές της κοπής

ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ							
	ΑΥΤΟΔΙΕΓΕΙΡΟΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ CHATTERS			ΑΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ & ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ			ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ
	Αναγεννώμενη αυτοδιέγερση	Εξαπίας της τριβής	Σύζευξη ιδιομορφών	Σχετιζόμενες με το κοπτικό εργαλείο	Σχετιζόμενες με το τεμάχιο	Σχετιζόμενες με το περιβάλλον	Σχετιζόμενες με την εργαλειομηχανή
<b>Θέση</b>	ανάμεσα στην κοπτική ακμή και το κατεργαζόμενο τεμάχιο	παρειά εργαλείου - κατεργαζόμενο τεμάχιο και στην επιφάνεια αποβλίτ- του του εργαλείου	στην κατεύθυνση της κύριας δύναμης κοπής και της δύναμης απόσπησης	παρειά εργαλείου - κατεργαζόμενο τεμάχιο και στην επιφάνεια αποβλίτ- του του εργαλείου	ζώνη κοπής	σε όλην την κατεργασία	σε όλην την κατεργασία
<b>Αιτιολογία</b>	επικαλυπτόμενες τροχιές του κοπ- τικού εργαλείου	τριβή στην παρειά του εργαλείου και στην επιφάνεια αποβλίτου του	τριβή στην ελεύθε- ρη επιφάνεια και στην επιφάνεια αποβλίτου του κοπτικού εργαλείου, μη σταθερή γωνία διάτμησης	φθορά εργαλείου, θραύσεις ακμίων, ψευδοκοπή, κ.λπ.	αλλαγές στη σκλη- ρότητα του υλικού του τεμαχίου, ανο- μοιομορφία κόκκων, ρωγμές	διαταραχές από το εξωτερικό περιβάλλον	αζυγοσταθμίες κινούμενων στοιχείων εργαλειομηχανής
<b>Παρουσίαση</b>	αυτοδιεγείρομενες ταλαντώσεις έχουν ως απαιτέλεσμα κυματοειδή επιφάνεια του τεμαχίου	αυτοδιεγείρομενες ταλαντώσεις το εύρος των αιτιών εξαρτάται από την απόσβεση του συστήματος	ταλαντώσεις λόγω σύζευξης ιδιομορφών. Ταιχόχρονη ταλάντωση σε δύο κατευθύνσεις	τυχαία ταλάντωση εξαρτώμενη από τις συνθήκες της κατεργασίας	τυχαία ταλάντωση εξαρτώμενη από τις ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού και τη θερμική του επεξεργασία	τυχαία ταλάντωση εξαρτώμενη από το περιβάλλον εργασίας της εργαλειομηχανής	εξανασκαμμένη ταλάντωση
<b>Μέθοδος αντιμετώ- πισης</b>	επιλογή κατάλληλου βάθους κοπής και στροφών αράκτου σύμφωνα με το διάγραμμα ευστάθειας	επιλογή κατάλληλης γωνίας ελευθερίας και γωνίας αποβλίτου	αλλαγή της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου, κατάλληλη επιλογή παραμέτρων της κατεργασίας	επιλογή υψηλής ποιότητας υλικού του κοπτικού εργαλείου, κατάλληλη επιλογή παραμέτρων της κατεργασίας	επιλογή κατάλληλου κοπτικού εργαλείου και παραμέτρων της κατεργασίας	εάν απαιτείται μόνωση της εργαλειομηχανής από εξωτερικές διεγέρσεις	ζυγοστάθμιση των κινούμενων μερών της εργαλειομηχανής

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

## Κατάταξη των μορφών αστάθειας στις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού (κατά Cheng)



m3 TUC

2019-20



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

25

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

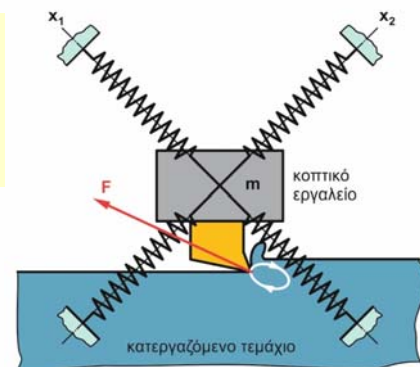
Αρχές της κοπής

Οι αυτοδιεγείρομενες ταλαντώσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

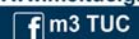
- **Πρωτογενείς αυτοδιεγείρομενες ταλαντώσεις** που οφείλονται στην ίδια τη διαδικασία κοπής, για παράδειγμα από το μηχανισμό τριβής του κοπτικού εργαλείου στο κατεργαζόμενο τεμάχιο, από θερμομηχανικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τη δημιουργία του αποβλίτου ή και από σύζευξη ιδιομορφών.
- **Δευτερογενείς αυτοδιεγείρομενες ταλαντώσεις** που οφείλονται στις μεταβολές της δύναμης κοπής δημιουργώντας την **αναγεννώμενη** αυτοδιέγερση.

Από τις παραπάνω κατηγορίες αυτοδιεγείρομενων ταλαντώσεων η **σύζευξη ιδιομορφών και η αναγεννώμενη αυτοδιέγερση** είναι οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί δημιουργίας αστάθειας με το δεύτερο μηχανισμό να έχει κύρια κατηγορηθεί για τις περισσότερες περιπτώσεις δημιουργίας αυτοδιεγείρομενων ταλαντώσεων.

Ο μηχανισμός δημιουργίας αυτοδιεγείρομενης ταλάντωσης μέσω της **σύζευξης ιδιομορφών** συμβαίνει όταν η σχετική ταλάντωση μεταξύ κοπτικού εργαλείου και κατεργαζόμενου τεμαχίου υφίσταται συγχρόνως σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις στο επίπεδο της κοπής

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

## Σύζευξη ιδιομορφών



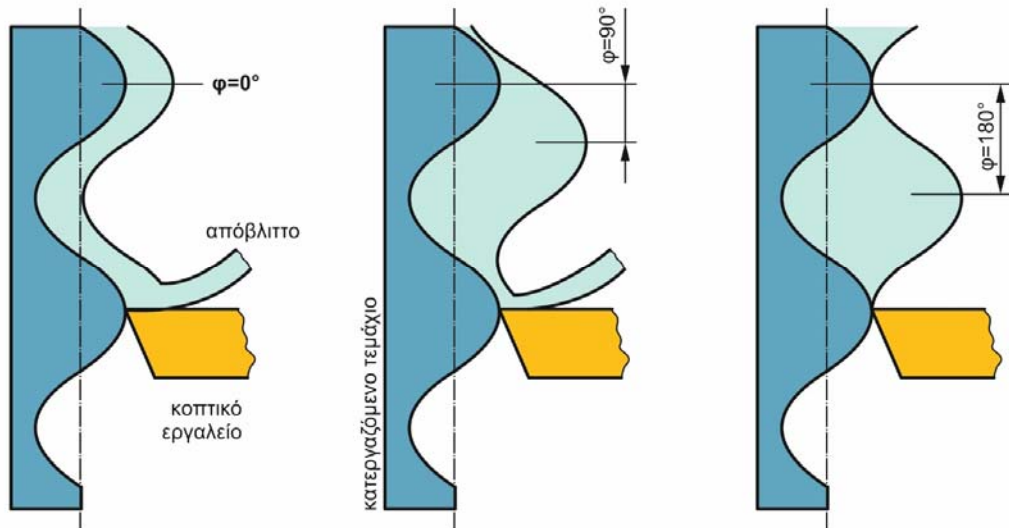
m3 TUC

2019-20



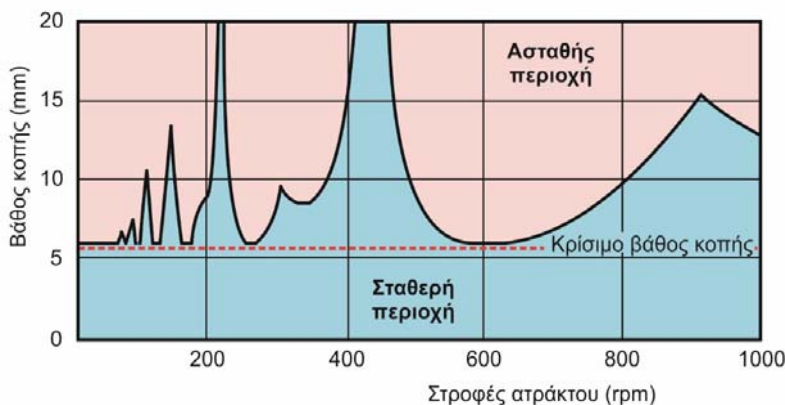
School of Production Eng. & Management  
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab  
Prof. Aristomenis Antoniadis

26



Η αναγεννώμενη αυτοδιέγερση οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεταβολή της δύναμης κοπής που συμβαίνει λόγω της μεταβολής του πάχους αποβλίπτο κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα το κοπτικό εργαλείο καλείται να αφαιρέσει κάθε φορά μια διαφορετική επιφάνεια όπως αυτή έχει προέλθει από το προηγούμενο πέρασμα του κοπτικού εργαλείου. Η μεταβολή αυτή του πάχους αποβλίπτο που αφαιρείται έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της δύναμης κοπής η οποία δημιουργεί ταλάντωση μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου κατά την κάθετη διεύθυνση στην κατεργαζόμενη επιφάνεια. Η ταλάντωση αυτή αποτυπώνεται στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας επιδρώντας ιδιαίτερα στην τραχύτητά της.

Γενικά η αποφυγή των αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων γίνεται με χρήση των **διαγραμμάτων ευστάθειας** ώστε οι συνθήκες που επιλέγονται να οδηγούν σε ευσταθείς για το σύστημα καταστάσεις. Τα διαγράμματα ευστάθειας παρουσιάζουν τα όρια ανάμεσα σε μια σταθερή ή ασταθή κατεργασία κοπής και είναι διαγράμματα του αξονικού βάθους κοπής ως συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου, όπως φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος.



Από το σχήμα παρατηρούνται τα εξής:

- Στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής της ατράκτου, η απόσβεση του συστήματος παρέχει σταθερότητα στην κατεργασία ενώ στις υψηλές στροφές οι κατεργασίες είναι πιο ευάλωτες στις αυτοδιεγερόμενες ταλαντώσεις.
- Στα μεγάλα βάθη κοπής οι ασταθείς περιοχές είναι περισσότερες των αντίστοιχων ευσταθών περιοχών.
- Υπάρχει μια κρίσιμη τιμή του βάθους κοπής κάτω από την οποία η κατεργασία είναι πάντοτε ευσταθής.
- Όσο μεγαλώνουν οι στροφές της ατράκτου και άρα η συχνότητα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου, τόσο οι λοβοί ευστάθειας παρουσιάζονται πιο ευρείς στο πλάτος και διαχωρίζονται από περιοχές μεγάλης ευστάθειας.