

	▽	▽▽			▽▽▽	
	N10	N9	N8	N7	N6	N5
HORIZONTAL MILLING						
VERTICAL MILLING						
TURNING						
μm Ra	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4
μ" AA	500	250	125	63	32	16

10

- Ποιότητα επιφάνειας
- Τραχύτητα
- Σύμβολα ποιότητας
- Θερμικές κατεργασίες
- Επιφανειακές κατεργασίες

<http://www.m3.tuc.gr>10<sup>η</sup> Διάλεξη – Κατεργασίες

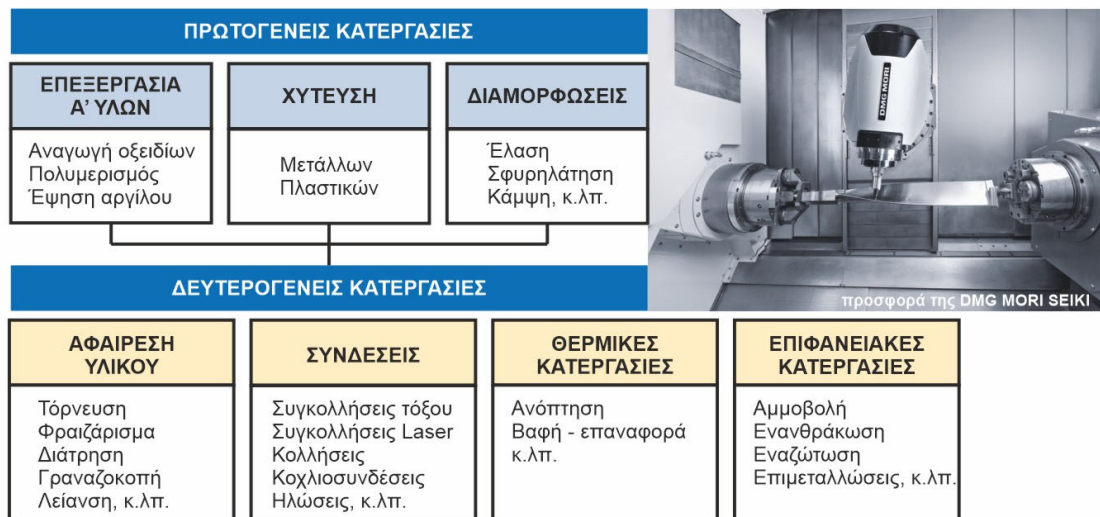
m3 TUC

2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr

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

## Μέθοδοι διαμόρφωσης προϊόντων



m3 TUC

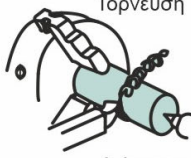
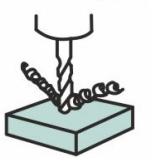

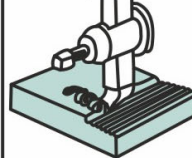
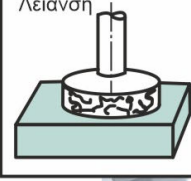
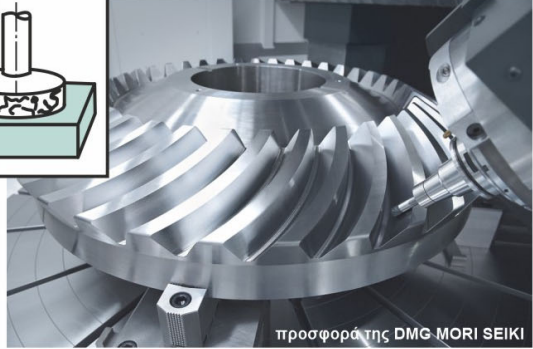
2022



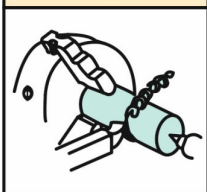
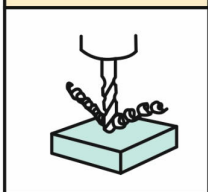
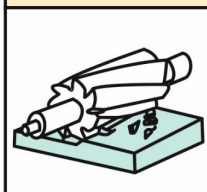
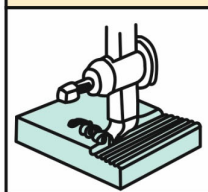
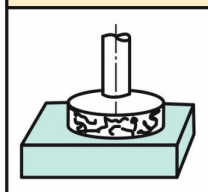
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr

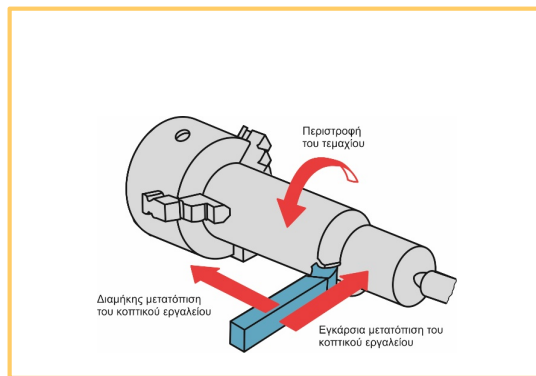
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ - ΚΟΠΗΣ

ΚΟΠΗ ΜΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		ΚΟΠΗ ΜΕ ΑΠΟΞΕΣΗ		ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ
ΕΚ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΡΦΩΝ	ΙΣΧΥΡΟΙ ΔΕΣΜΟΙ	ΧΑΛΑΡΟΙ ΔΕΣΜΟΙ	
<p>Τόρνευση Διάτρηση Εσωτ. τόρνευση (Boring)</p>	<p>Φραιζάρισμα Πλάνιση Αυλάκωση Πριόνισμα Γραναζοκοπή</p>	<p>Λείανση Υπερλείανση Επικαλυμμένοι κόκκοι</p>	<p>με υπερήχους AJM Lapping Στίλβωση</p>	<p>Ηλεκτροχημική κατεργασία Ηλεκτροχημική λείανση Ηλεκτροδιάβρωση Δέσμη Laser Δέσμη ηλεκτρονίων Δέσμη νερού</p>
<p>Τόρνευση</p>  <p>Διάτρηση</p> 	<p>Φραιζάρισμα</p>  <p>Πλάνιση</p> 	<p>Λείανση</p> 	 <p>προσφορά της DMG MORI SEIKI</p>	

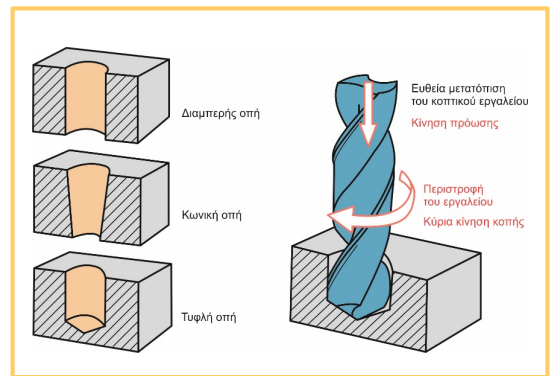
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

ΤΟΡΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΤΡΗΣΗ	ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ	ΠΛΑΝΙΣΗ	ΛΕΙΑΝΣΗ
				

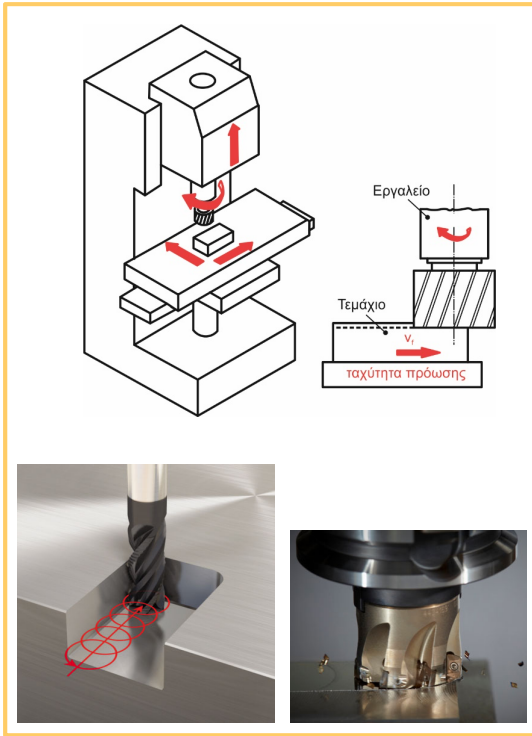
ΤΟΡΝΕΥΣΗ



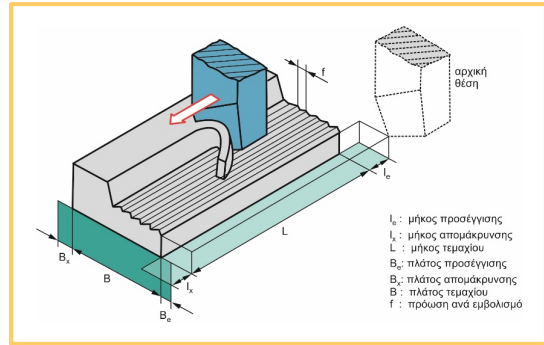
ΔΙΑΤΡΗΣΗ



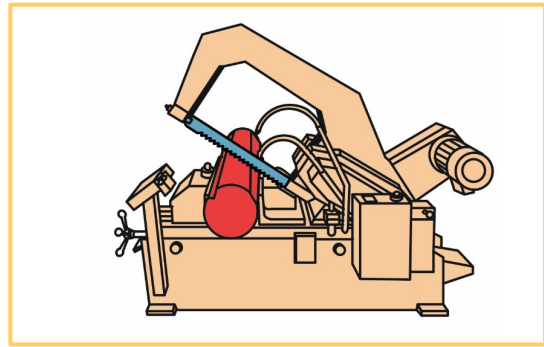
**ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ**



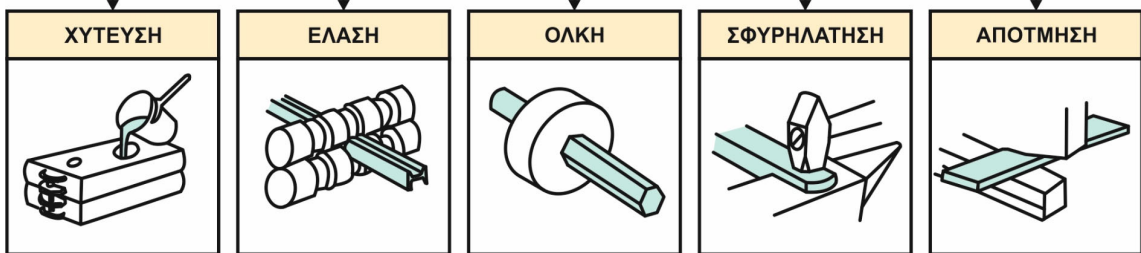
**ΠΛΑΝΙΣΗ**



**ΠΡΙΟΝΙΣΜΑ**



**ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**







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



Σύγχρονο κέντρο τρισδιάστατης εκτύπωσης και πολυαξονικής κατεργασίας

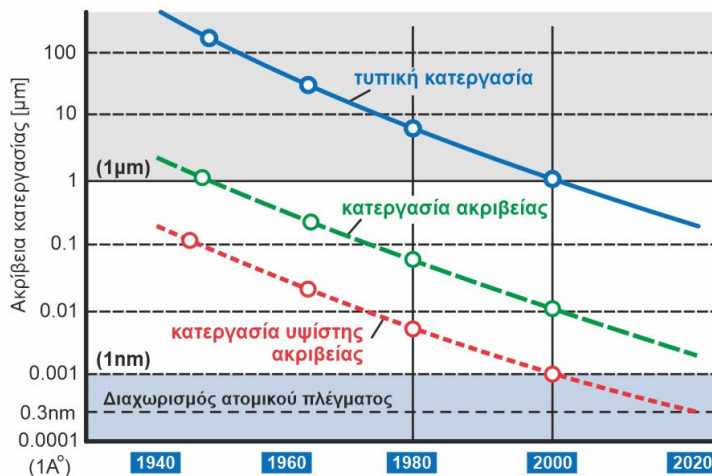


2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροτομής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)



Διάγραμμα McKeown - Taniguchi

#### Εργαλειομηχανές και Εξοπλισμός

- Τόρνοι & Φραιζες
- Λειαντικές μηχανές  
CNC Εργαλειομηχανές
- Lapping, Honning, Boring και εργαλειομηχανές λείανσης
- Εργαλειομηχανές ακριβείας για λείανση και τόννευση
- Υψηλής και υψίστης ακριβείας εργαλειομηχανές
- Κατεργασίες με λειαντικούς κόκκους
- Κατεργασίες με δέσμη ιόντων
- Διαχείριση σε μοριακό επίπεδο

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



Ακρίβεια κατεργασίας των μηχανουργικών τεχνολογιών κατά τη πορεία των χρόνων



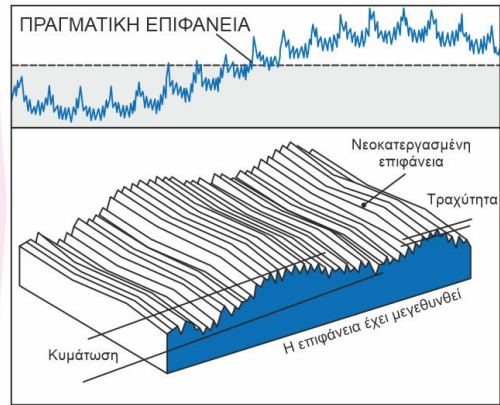
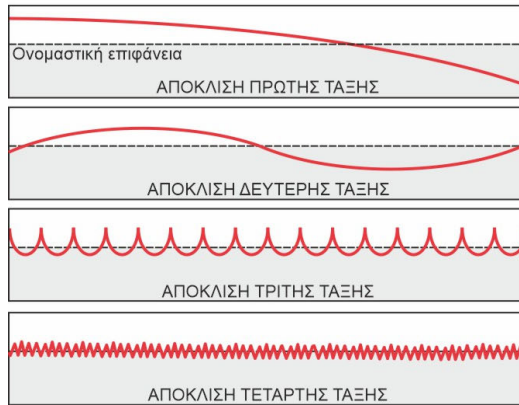
2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροτομής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)



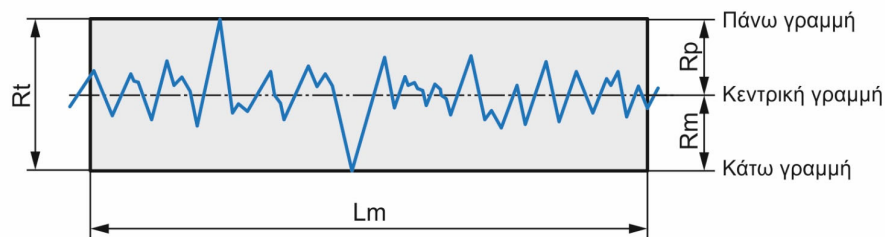


Οι αποκλίσεις 1ης τάξης οφείλονται κυρίως σε λανθασμένη συγκράτηση του τεμαχίου ή σφάλματα στην εργαλειομηχανή και ιδιαίτερα στις γλίστρες. Οι αποκλίσεις 2ης τάξης οφείλονται επίσης σε λανθασμένη συγκράτηση του τεμαχίου (πιθανή εκκεντρότητα), ταλαντώσεις του συστήματος εργαλείου-τεμαχίου ή ακόμα και σε ανομοιογένεια του υλικού. Οι αποκλίσεις 3ης τάξης οφείλονται στην κινηματική της κατεργασίας και προέρχονται από τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου. Τέλος οι αποκλίσεις 4ης τάξης οφείλονται κυρίως σε φθορά του εργαλείου, δημιουργία ψευδοκοψής, λανθασμένη τρόχιση του εργαλείου κ.λπ..

Από τις αποκλίσεις αυτές, οι αποκλίσεις 3ης έως και 4ης τάξης αποτελούν αυτό που καλείται **τραχύτητα επιφάνειας**.

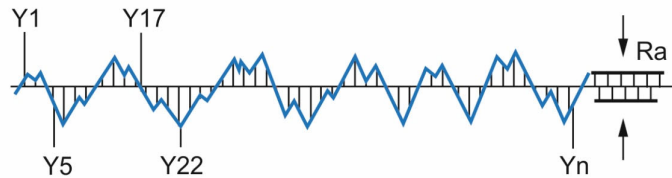
**Οι παράγοντες που επηρεάζουν, σε διαφορετικό όμως βαθμό ο καθένας, την τραχύτητα κατεργασμένων επιφανειών, είναι συνοπτικά οι εξής:**

- 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).

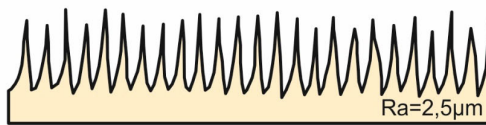
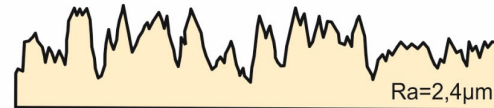
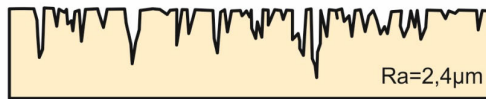


Για την μέτρηση της τραχύτητας έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα: το **σύστημα Κεντρικής γραμμής** ή **σύστημα (M)** και το **σύστημα Περιβάλλουσας (E)**. Το σύστημα περιβάλλουσας δεν χρησιμοποιείται ευρέως και για το σκοπό αυτό δεν αναλύεται περισσότερο. Στο σύστημα (M) αυτό χρησιμοποιείται στο πραγματικό περίγραμμα της επιφάνειας μία κεντρική γραμμή που ισομοιάζει, σε συγκεκριμένο μήκος, τα επάνω και κάτω από αυτήν εμβαδά.

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



Επιφάνειες με την ίδια σχεδόν  $R_a$

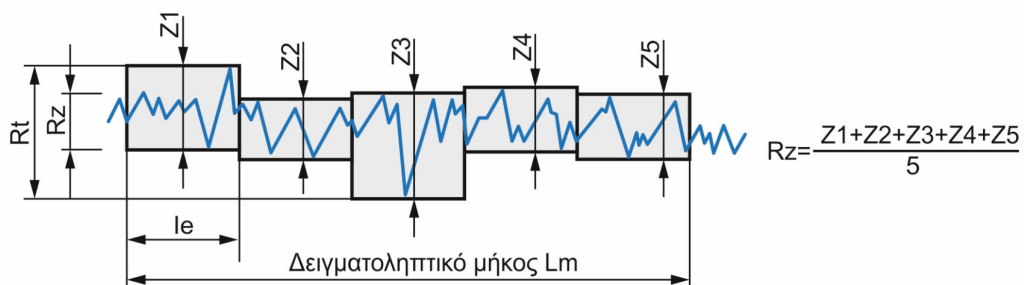


<http://www.m3.tuc.gr>



Ένα άλλο μέγεθος μέτρησης της τραχύτητας που έχει επικρατήσει είναι το **ύψος της τραχύτητας  $R_z$** , 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.

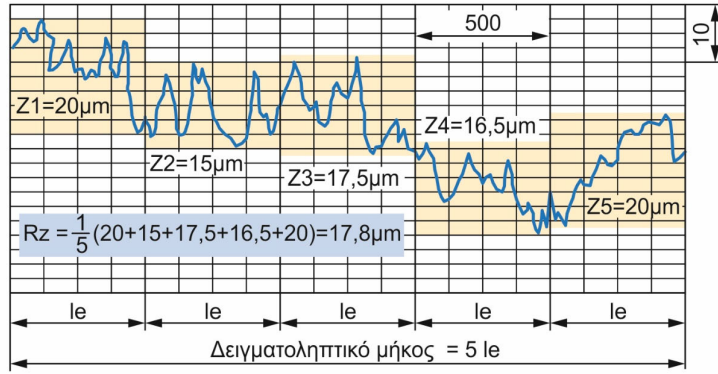
Οι υψηλότερες κορυφές και βαθύτερες εσοχές προσδιορίζονται μέσα σε 5 ίσα τμήματα  $l_e$ , στα οποία χωρίζεται το **δειγματοληπτικό μήκος  $L_m$** . Το μήκος  $l_e$  ονομάζεται **μήκος αποκοπής** και η επιλογή του είναι σημαντική για την τραχυμέτρηση.



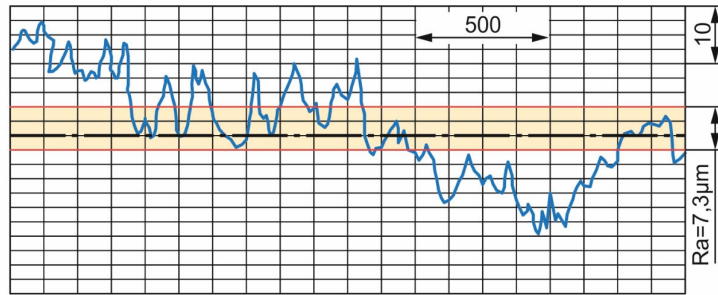
DIN4768-1

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

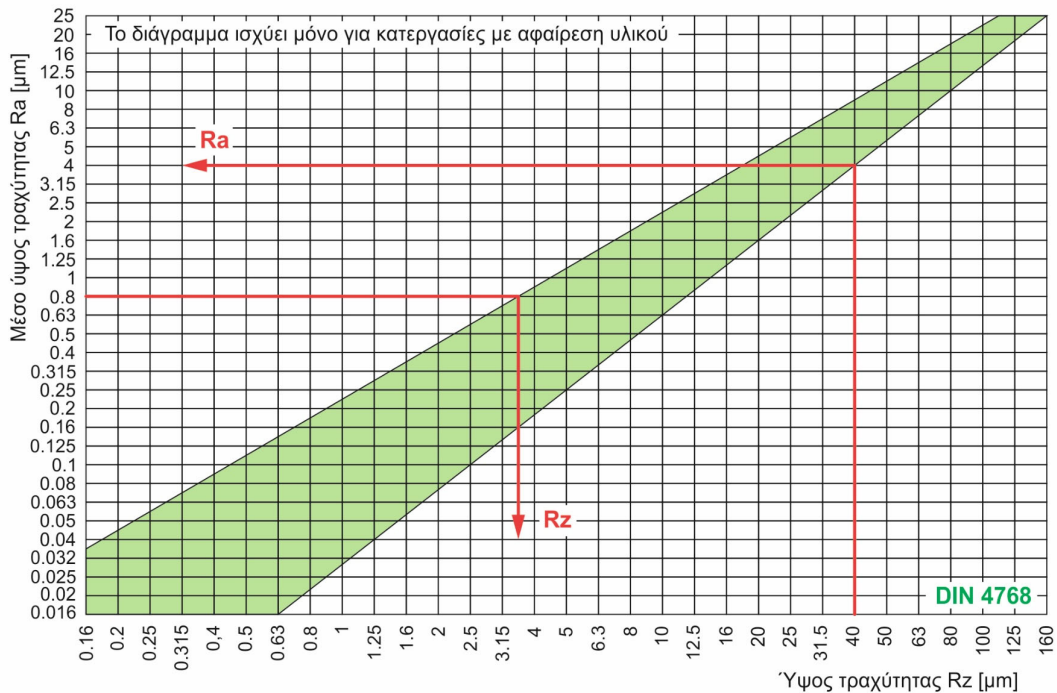




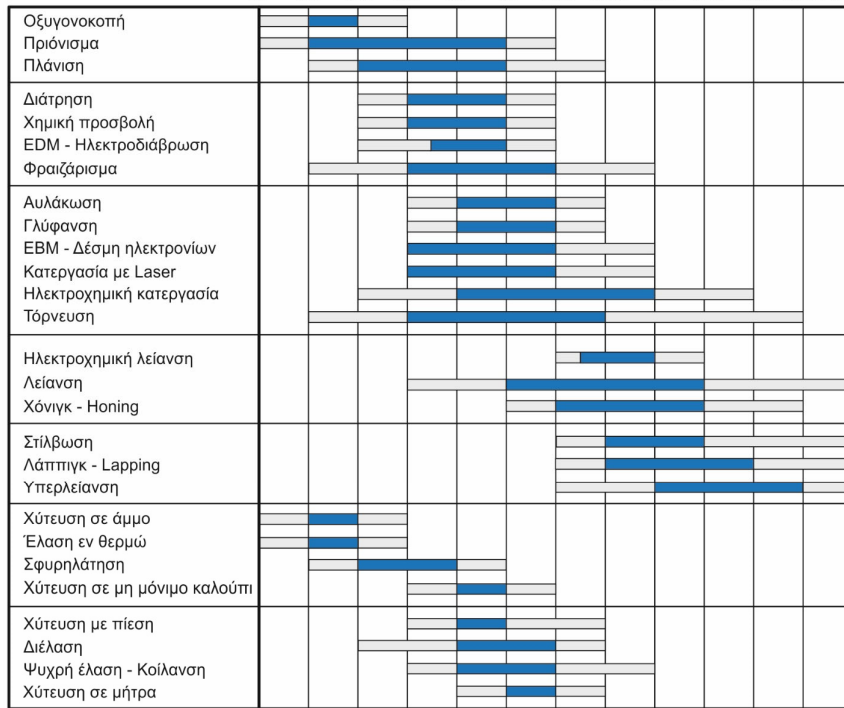
Rz



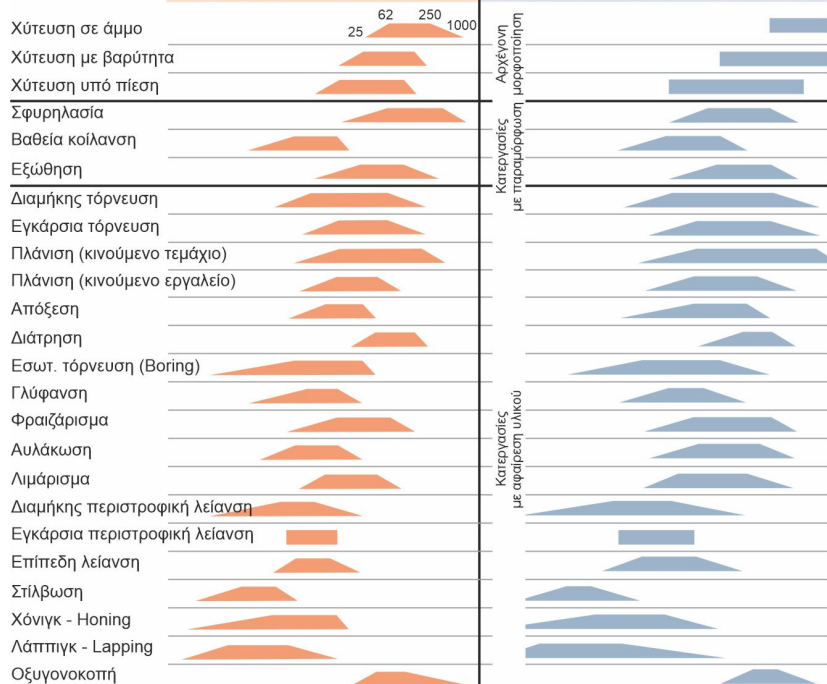
Ra

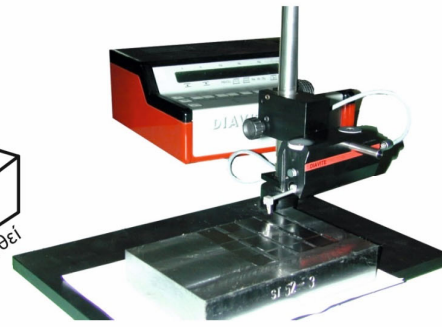
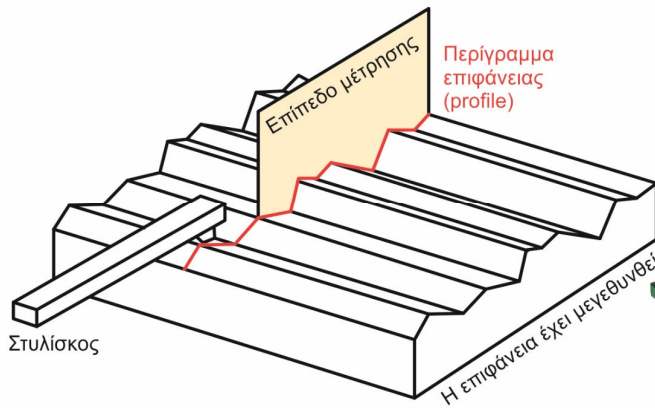






■ Συνηθέστερη χρήση    ■ Σπάνια χρήση




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


## Τραχύμετρο ακίδας

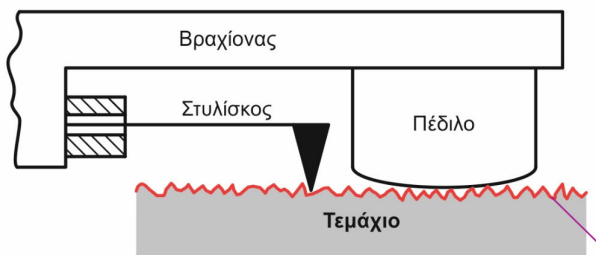


2022



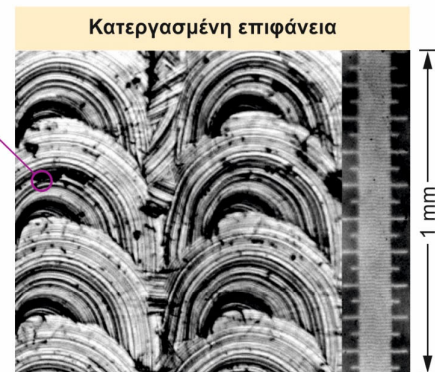
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr



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

Το πέδιλο 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



2022



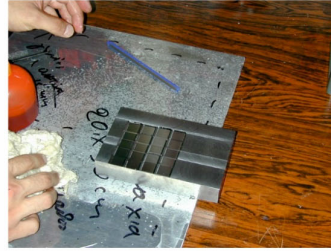
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr

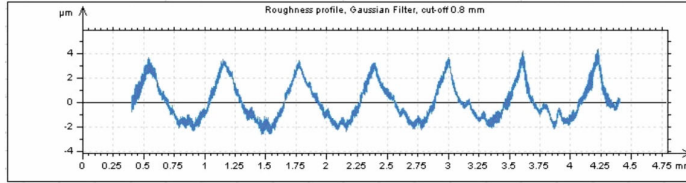
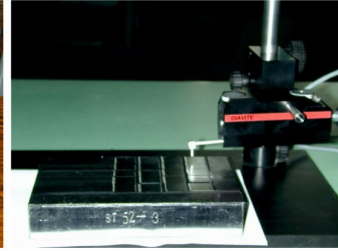
Κατεργασία τεμαχίου



Τελικό τεμάχιο



Τραχυμέτρηση

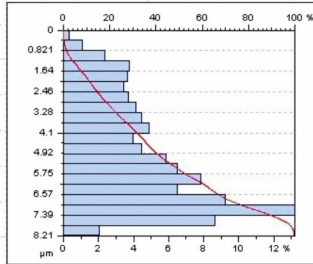


Parameters calculated on the profile Compact\_profile3 > Levelled with the Minimum Zone (8.21 μm)

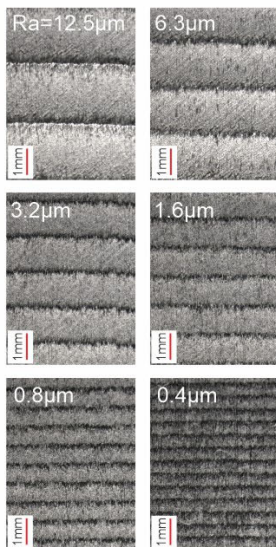
\* Parameters calculated as average value of all sampling lengths.  
\* A microroughness filtering is used, with a ratio of 2.5 μm.

Roughness Parameters, Gaussian filter, 0.8 mm

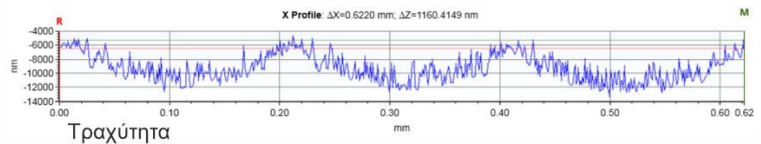
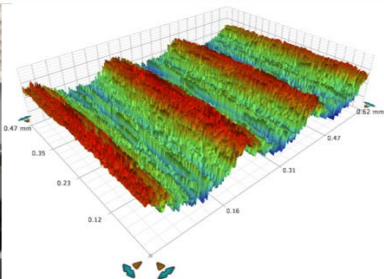
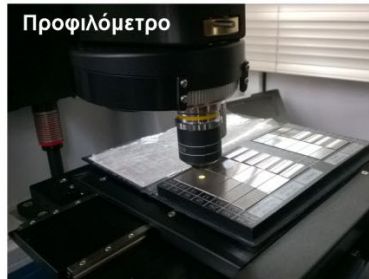
Ra	= 1.29 μm
Rz	= 5.99 μm
Rc	= 6.94 μm
Rmax	= 6.45 μm
R3z	= 5.76 μm
Rq	= 1.52 μm



Τραχύτητα Ra για διαφορετικά ακτινικά βάζη στο φραιζάρισμα



Προφίλομετρο

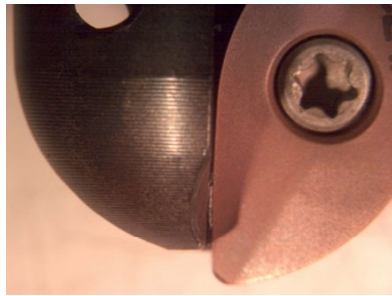


Τραχύτητα

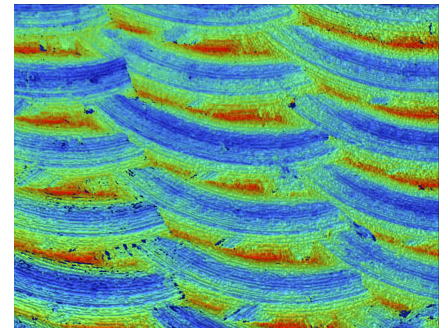
Stylus Options: Stylus X  
Data Restored: False  
Filter Type: Gaussian  
λs: N/A  
λc: 0.08 mm  
Auto Sampling Length: False  
No. Sampling Length: 5  
Standard Used: ASME B46.1  
Height Discrimination: 5 %  
Spacing Discrimination: 1 %  
Pc Height Thres. Type: Ra  
Valley Offset: 0 %  
Peak Offset: 0 %  
tp1: 5 %  
tp2: 90 %



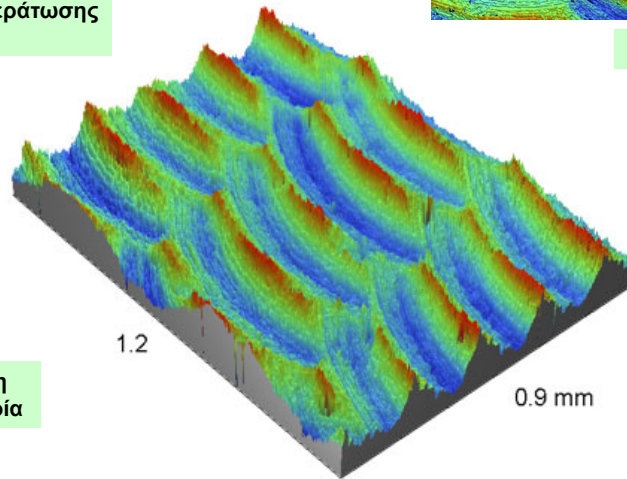




Κοπτικό εργαλείο αποπεράτωσης  
σφαιρικής απόληξης



Κάτοψη επιφάνειας



Τρισδιάστατη  
προφίλομετρία

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



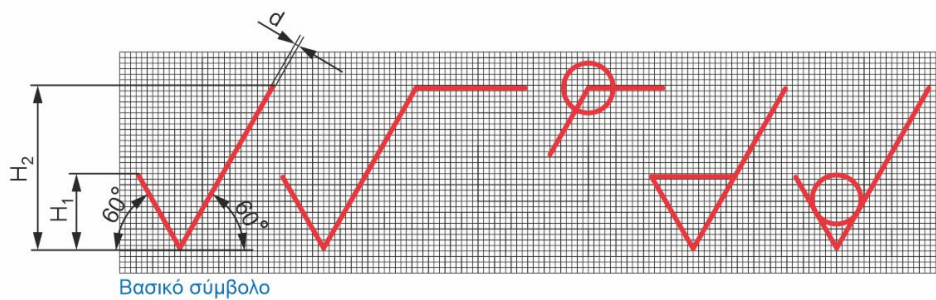
Κατεργασμένη επιφάνεια από εργαλείο σφαιρικής απόληξης – 3D Προφιλόμετρο m3 TUC

2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)



Βασικό σύμβολο

Διαστάσεις σε mm

ύψος γραμμών και αριθμών κατά ISO 3098-2	2.5	3.5	5	7	10	14	20
πάχος γραμμής για σύμβολα d'	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
πάχος γραμμής για γράμματα d							
ύψος H <sub>1</sub>	3.5	5	7	10	14	20	28
ελάχιστο ύψος H <sub>2</sub> *	7.5	10.5	15	21	30	42	60

\* εξαρτάται από το πλήθος των ενδεικτικών γραμμών

Το βασικό σύμβολο κατεργασίας αποτελείται από δύο άνισες ευθείες γραμμές οι οποίες σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 60°. Το σύμβολο αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνο του χωρίς να περιλαμβάνει επιπλέον πληροφορίες.

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



Βασικό σύμβολο ποιότητας κατεργασίας (ISO 1302 του 2002)

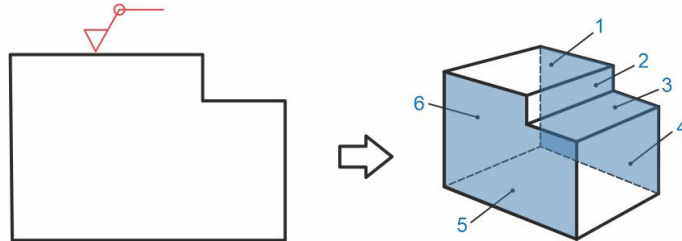
m3 TUC

2022



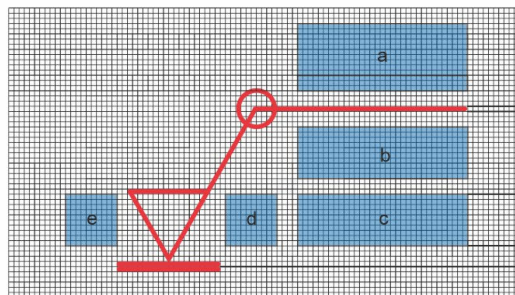
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)



το σύμβολο χαρακτηρίζει τις 6 επιφάνειες στις οποίες περιέχονται οι γραμμές του περιγράμματος χωρίς τις εμπρός και πίσω επιφάνειες.

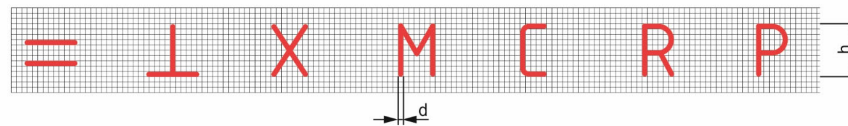
Ένα σύμβολο ποιότητας σε ένα περίγραμμα σε μια όψη σημαίνει ότι η ποιότητα χαρακτηρίζει **όλες τις επιφάνειες** στις οποίες περιέχονται οι γραμμές του περιγράμματος, **εκτός από την εμπρός και πίσω επιφάνεια**, σύμφωνα με τη θέση της όψης αυτής.


**ISO 1302:2002**

- Η μέση τραχύτητα
- Πιθανό δεύτερο όριο τραχύτητας
- Η μέθοδος κατεργασίας ή επικάλυψης κ.λπ.
- Η μορφή ιχνών κατεργασίας
- Παραμένον υλικό μετά την κατεργασία

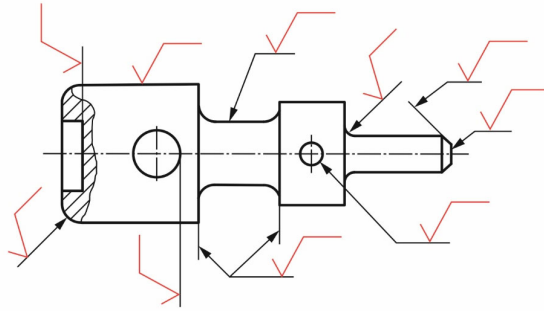
α	$\sqrt{Ra\ 3.2}$	Επιφάνεια με μέγιστη τιμή μέσης τραχύτητας $Ra = 3.2\mu m$ . Δεν καθορίζεται ο τρόπος κατεργασίας.
β	$\sqrt{U\ Ra\ 3.2}$ $\sqrt{L\ Ra\ 2.0}$	Επιφάνεια με ελάχιστη τιμή μέσης τραχύτητας $Ra = 2.0\mu m$ και μέγιστη επιτρεπόμενη $Ra = 3.2\mu m$ . Δεν καθορίζεται ο τρόπος κατεργασίας.
γ	Φραιζάρισμα	Επιφάνεια που θα επεξεργαστεί σε εργαλειομηχανές αφαίρεσης υλικού και ιδιαίτερα με φραιζάρισμα.
δ	$\sqrt{Ra\ 2.8}$ M	Επιφάνεια με μέγιστη τιμή μέσης τραχύτητας $Ra = 2.8\mu m$ . Δεν καθορίζεται ο τρόπος κατεργασίας αλλά θα είναι με αφαίρεση υλικού και τυχαία ίχνη χωρίς συγκεκριμένη μορφή.
ε	Τόρνευση 1	Επιφάνεια που θα επεξεργαστεί σε εργαλειομηχανές αφαίρεσης υλικού και ιδιαίτερα με τόρνευση. Μετά το πέρας της κατεργασίας θα παραμείνει υλικό 1mm
στ	$\sqrt{Rz_{max}\ 0.4}$	Επιφάνεια που θα επεξεργαστεί σε εργαλειομηχανές αφαίρεσης υλικού και μέγιστη τιμή μέσης τραχύτητας $Rz = 0.4\mu m$

Σύμβολο	Σχέδιο	Περιγραφή
=		Ίχνη κατεργασίας παράλληλα προς το επίπεδο προβολής της όψης στην οποία τοποθετήθηκε το σύμβολο
⊥		Ίχνη κατεργασίας κάθετα προς το επίπεδο προβολής της όψης στην οποία τοποθετήθηκε το σύμβολο
X		Ίχνη κατεργασίας που διασταυρώνονται σε δύο κατευθύνσεις με κλίση ως προς το επίπεδο προβολής της όψης στην οποία τοποθετήθηκε το σύμβολο
M		Τυχαία ίχνη κατεργασίας χωρίς συγκεκριμένη μορφή
C		Ίχνη κατεργασίας σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο το κέντρο της κυκλικής επιφάνειας που τοποθετήθηκε το σύμβολο
R		Ακτινικά ίχνη κατεργασίας ως προς το κέντρο της κυκλικής επιφάνειας που τοποθετήθηκε το σύμβολο
P		Σωματιδιακή υφή της κυκλικής επιφάνειας που τοποθετήθηκε το σύμβολο. Μη κατευθυνόμενα ή προεξέχοντα ίχνη

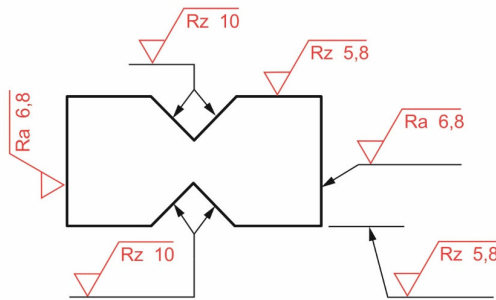


	Ένδειξη της ποιότητας της επιφάνειας μέσω της Rz				DIN 3141	Ένδειξη της ποιότητας της επιφάνειας μέσω της Ra			
	1	2	3	4		1	2	3	4
				√Rz63					6.3√
√Rz160	√Rz100	√Rz63	√Rz25		Ra25√	Ra12.5√	Ra6.3√	Ra3.2√	
√Rz40	√Rz25	√Rz16	√Rz10		Ra6.3√	Ra3.2√	Ra1.6√	Ra1.6√	
√Rz16	√Rz6.3	√Rz4	√Rz2.5		Ra1.6√	Ra0.8√	Ra0.4√	Ra0.2√	
—	√Rz1	√Rz1	√Rz0.4		—	Ra0.1√	Ra0.1√	Ra0.025√	

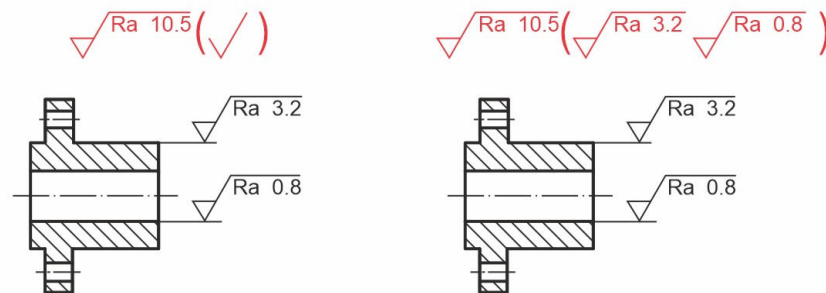




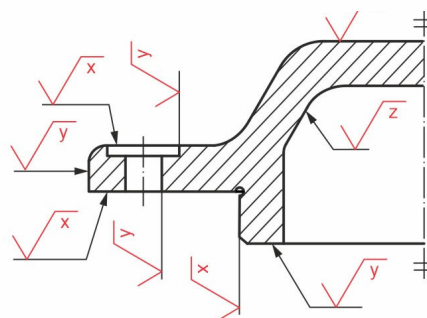
Βασικός κανόνας για την τοποθέτηση των συμβόλων ποιότητας επιφάνειας σε μηχανολογικά σχέδια είναι ότι τα σύμβολα αυτά τοποθετούνται αντίστοιχα με την τοποθέτηση των διαστάσεων, δηλαδή θα πρέπει να διαβάζονται από κάτω προς τα πάνω και από αριστερά προς τα δεξιά.



Σε περιπτώσεις που οι περισσότερες από τις επιφάνειες ενός αντικειμένου πρέπει να χαρακτηριστούν με την ίδια ποιότητας επιφάνειας τοποθετείται κοντά στο υπόμνημα του σχεδίου ένα μόνο σύμβολο ποιότητας επιφάνειας που θεωρείται ότι χαρακτηρίζει όλες τις επιφάνειες.



Στις επιφάνειες που έχουν κοινή ποιότητα μπορείς να χρησιμοποιείται ενιαίο σύμβολο ποιότητας με χρήση ενός γράμματος. Δίπλα στο υπόμνημα του σχεδίου τοποθετείται η αντιστοιχηση του κάθε συμβόλου που περιλαμβάνει γράμμα με το πραγματικό σύμβολο με τα δεδομένα της ποιότητας



$$\sqrt{x} = \sqrt{Ra 1.8}$$

$$\sqrt{y} = \sqrt{Ra 3.5}$$

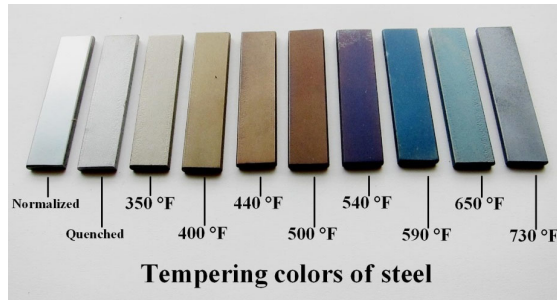
$$\sqrt{z} = \sqrt{\text{Ra}}$$

Οι σημαντικότερες οικογένειες θερμικών κατεργασιών χάλυβων είναι οι ακόλουθες:

**Ανόπτηση:** Είναι θερμική κατεργασία με μικρή ταχύτητα απόψυξης. Συνίσταται στη θέρμανση του χάλυβα για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα, που πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και στόχος της είναι η εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, που έχουν προέλθει από την ψυχρή μορφοποίηση του υλικού (έλαση, διέλαση, κ.λπ.). Ακολουθεί βραδεία απόψυξη του υλικού έως τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

**Βαφή:** Είναι θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με μεγάλη ταχύτητα απόψυξης και περιλαμβάνει ένα στάδιο θέρμανσης και παραμονής του χάλυβα σε κατάλληλη υψηλή θερμοκρασία και ένα ακόλουθο στάδιο απότομης ψύξης, με εμβάπτιση του χάλυβα σε κάποιο μέσο ψύξης (αλατόνερο, νερό, λάδι, αέρας). Στόχος της βαφής είναι η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα (σκληρότητα, αντοχή), που απαιτούνται για τη λειτουργία του (π.χ. εργαλεία κοπής, καλούπια διαμόρφωσης, κ.λπ.). Έτσι, ένας χάλυβας με αρχική σκληρότητα 150-250 HV μπορεί να αποκτήσει σκληρότητα πάνω από 750-800 HV, έπειτα από βαφή.

**Επαναφορά:** Είναι θερμική κατεργασία αναθέρμανσης, σε κατάλληλες θερμοκρασίες, του χάλυβα με στόχο την αύξηση της δυσθραυστότητας που δημιουργείται με τη βαφή.



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



Θερμικές κατεργασίες χάλυβων



2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)

Οι πιο καθιερωμένες βιομηχανικές επιφανειακές κατεργασίες είναι οι ακόλουθες:

**Ενανθράκωση:** Είναι ο εμπλουτισμός σε άνθρακα της επιφάνειας μαλακού χάλυβα (0.10-0.25% C) με θέρμανσή του σε κατάλληλη θερμοκρασία μέσα σε περιβάλλον κάποιου ενανθρακωτικού μέσου. Το ενανθρακωτικό μέσο μπορεί να είναι αέριο (π.χ. CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) είτε υγρό (π.χ. τηγμένα άλατα NaCN, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) είτε στερεού (π.χ. ξυλάνθρακας, BaCO<sub>3</sub>, κ.λπ.).

**Εναζώπωση:** Είναι ο εμπλουτισμός της επιφάνειας του χάλυβα με άζωτο, που επιτυγχάνεται με θέρμανση περί τους 500°C, είτε σε αέριο περιβάλλον αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) είτε σε υγρό περιβάλλον (τηγμένα άλατα KCl, KCN), και έχει ως στόχο την επιφανειακή σκλήρυνση του υλικού. Ο μηχανισμός σκλήρυνσης οφείλεται στη δημιουργία επιφανειακού στρώματος νιτριδίων του σιδήρου (ενώσεων αζώτου με σίδηρο). Οι εναζωτωμένοι χάλυβες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αντίσταση σε φθορά-τριβή.

**Φλογοβαφή:** Είναι η επιφανειακή θέρμανση με τη βοήθεια φλόγας, που δημιουργείται από καύση μείγματος καυσίμου - οξυγόνου (π.χ. ασετυλίνη-οξυγόνο). Η θέρμανση ακολουθείται από ψύξη, κατά την οποία συντελείται επιφανειακή βαφή.

**Επαγωγική σκλήρυνση:** Στη διαδικασία αυτή το υλικό τοποθετείται κατάλληλα μέσα σε ένα πηνίο εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής προκαλεί υψίσυχνα επαγωγικά ρεύματα, τα οποία διεισδύουν σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του υλικού, θερμαίνοντάς το ταυτόχρονα τοπικά. Η θέρμανση αυτή σε κατάλληλη θερμοκρασία ακολουθείται από απότομη ψύξη (βαφή) για τη σκλήρυνση της επιφάνειας.

**Επιφανειακή βαφή με δέσμη LASER:** Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, το κατεργαζόμενο υλικό ακτινοβολείται με δέσμη laser υψηλής πυκνότητας ισχύος (περίπου 106 W/cm<sup>2</sup>) και στη συνέχεια ψύχεται στον αέρα (αυτοβαφή).



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



Επιφανειακές θερμικές κατεργασίες



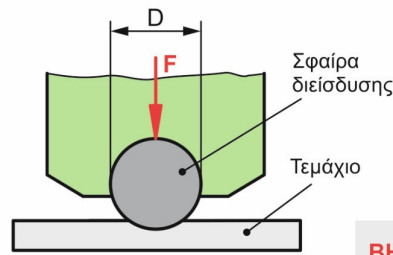
2022



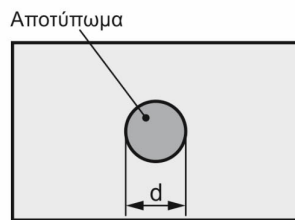
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)

**Σκληρότητα** ενός υλικού είναι η αντίσταση που εμφανίζει το υλικό αυτό στη διείσδυση ενός ξένου σώματος. Η σκληρότητα ως μηχανική ιδιότητα συνδέεται και με άλλες μηχανικές ιδιότητες του υλικού: την αντοχή σε εφελκυσμό, την πλαστικότητα (επιμήκυνση κατά τη θραύση) και τη δυσθραυστότητα. Όταν αυξάνεται η σκληρότητα ενός υλικού, αυξάνεται η αντοχή του και μειώνονται η πλαστικότητα και η δυσθραυστότητά του. Άρα, ένα πολύ σκληρό υλικό είναι πολλές φορές και ψαθυρό (εύθραστο).



$$BHN = \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



320 HB 2.5 / 187.5 / 30

- Διάρκεια επίδρασης [sec]
  - Δύναμη δοκιμής [N]
  - Διάμετρος σφαίρας [mm]
  - Σκληρότητα κατά Brinell
  - Τιμή σκληρότητας
- ISO 6506-1

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



## Σκληρότητα κατά Brinell

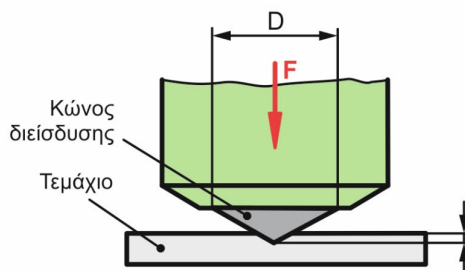


2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr



62 HRC

- Σκληρότητα κατά Rockwell C
  - Τιμή σκληρότητας
- ISO 6508-1

Η δοκιμή σκληρότητας κατά **Rockwell** βασίζεται στη μέτρηση του βάθους του αποτυπώματος (και όχι της διαμέτρου) που προκαλεί ο διεισδυτής κατά τη διάρκεια δύο φάσεων:

- της προφόρτισης, που χρησιμοποιείται μικρή δύναμη (10 Kp) και
- της φόρτισης, που χρησιμοποιείται μεγαλύτερη δύναμη, η οποία είναι καθορισμένη (100 ή 150 Kp).

**Rockwell C:** Χρησιμοποιείται ως διεισδυτής κώνος από διαμάντι, γωνίας 120° και ακμής με ακτίνα καμπυλότητας 0.02 mm. Κατά τη διάρκεια της προφόρτισης, η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι ίση με 10 kp και κατά τη διάρκεια της φόρτισης είναι ίση με 150 kp. Η κλίμακα της σκληρότητας εκτείνεται από 20 έως 70 HRC (HRC: μονάδα σκληρότητας κατά Rockwell C). Πρέπει να σημειωθεί ότι η δοκιμή σκληρότητας κατά Rockwell C εφαρμόζεται ευρύτατα στην περίπτωση θερμικά κατεργασμένων χαλύβων και γενικότερα μετάλλων και κραμάτων μετά από κατεργασίες σκλήρυνσης όπως είναι βαμμένοι χάλυβες, επιφανειακά κατεργασμένοι χάλυβες, κράματα αλουμινίου μετά από γήρανση (ντουραλουμίνιο), κ.λπ..

**Rockwell B:** Χρησιμοποιείται ως διεισδυτής σφαίρα από σκληρυμένο χάλυβα, διαμέτρου 1/16 in. (περίπου 1,59 mm). Η δύναμη προφόρτισης είναι ίση με 10 kp και της φόρτισης είναι ίση με 100 kp. Η κλίμακά της ξεκινά από 35 HRB (HRB: μονάδα σκληρότητας κατά Rockwell B) και φθάνει στα 100 HRB. Τα υλικά που μπορούν να σκληρομετρηθούν είναι κοινοί χάλυβες, ακατέργαστοι κραματωμένοι χάλυβες, κράματα χαλκού, κράματα αλουμινίου και γενικά υλικά που δεν έχουν υποστεί κατεργασίες σκλήρυνσης.

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



## Σκληρότητα κατά Rockwell



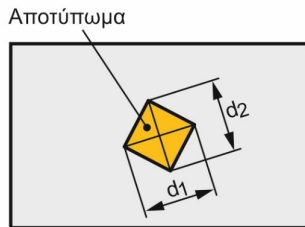
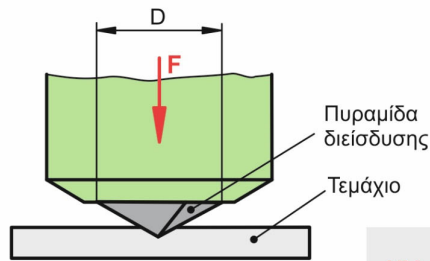
2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr





$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \text{ όπου: } d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

860 HV 50 / 30

- Διάρκεια επίδρασης [sec]
- Δύναμη δοκιμής [N]
- Σκληρότητα κατά Vickers
- Τιμή σκληρότητας

ISO 6507-1

Η δοκιμή σκληρότητας κατά **Vickers** χρησιμοποιεί ως διείσδυτή πυραμίδα διαμαντιού, γωνίας 136°. Τα φορτία που εφαρμόζονται ξεκινούν από μερικά p και φθάνουν μέχρι κάποιες εκατοντάδες Kp. Με τη διείσδυση της πυραμίδας μέσα στο υλικό, δημιουργείται στην ιδανικότερη περίπτωση ένα τετραγωνικό αποτύπωμα. Στην πραγματικότητα, το αποτύπωμα που δημιουργείται είναι σχήματος ρόμβου και οφείλεται στη μικροσκοπική ανισοτροπία του υλικού.

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

## Σκληρότητα κατά Vickers



2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr

Όριο εφελ- κυσμού	Vickers	Brinell	Σκληρότητα κατά Rockwell					Ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά	
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD		
MPa	HV10	HB	HRB	HRF	HRC	HRA	HRD		
350	110	105	62.3	90.5	-	-	-		
370	115	109	-	-	-	-	-	Κοινός χάλυβας κατασκευών	<b>St37-2</b> (1.0037)
385	120	114	66.7	93.6	-	-	-	Χάλυβας επιβελτίωσης	<b>Ck60</b> (1.1221)
400	125	119	-	-	-	-	-	Χάλυβας επιβελτίωσης	<b>34Cr4</b> (1.7033)
430	135	128	-	-	-	-	-		
480	150	143	78.7	(101.4)	-	-	-		
510	160	152	-	(103.6)	-	-	-		
530	165	156	85	-	-	-	-		
545	170	162	-	(105.5)	-	-	-	Κοινός χάλυβας κατασκευών	<b>St52-3</b> (1.0570)
560	175	166	-	-	-	-	-		
575	180	171	87.1	(107.2)	-	-	-	Χάλυβας ελευθέρως κοπής	<b>9SMn36</b> (1.0736)
595	185	176	-	-	-	-	-	Ανοξείδωτος χάλυβας	<b>X8Cr17</b> (1.4016)
610	190	181	89.5	(108.7)	-	-	-		
625	195	185	-	-	-	-	-		
640	200	190	91.5	(110.1)	-	-	-	Χάλυβας εξανθράκωσης	<b>16MnCr5</b> (1.7131)
660	205	195	92.5	(111.3)	-	-	-		
690	215	204	94	(112.4)	-	-	-		
705	220	209	95	-	-	-	-	Χάλυβας εξανθράκωσης	<b>15CrNi6</b> (1.59.19)
720	225	214	96	-	-	-	-		
740	230	219	96.7	(113.4)	-	-	40.3		
755	235	223	-	-	-	-	41.1	Ανοξείδωτος χάλυβας	<b>X40Cr13</b> (1.4034)
770	240	228	98.1	(114.3)	20.3	60.7	41.7		
800	250	238	99.5	(115.1)	22.2	61.6	-		
820	255	242	-	-	23.1	62	42.2		
850	265	252	(101)	-	24.8	62.7	43.7		
865	270	257	-	-	25.6	63.1	44.3	Χάλυβας επιβελτίωσης	<b>42CrMo4V</b> (1.7225)
880	275	261	(102)	-	26.4	63.5	44.9		
900	280	266	-	-	27.1	63.8	45.3		

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

## Συσχέτιση τιμών σκληρότητας HB, HV, HRB και HRC

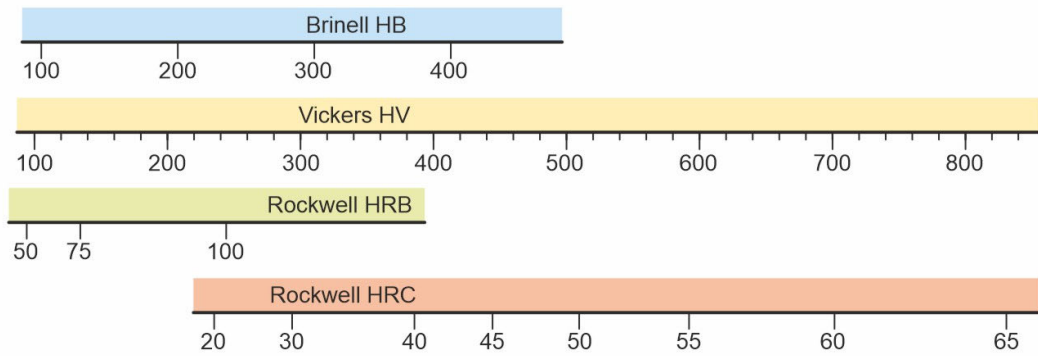


2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr


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


## Συσχέτιση τιμών σκληρότητας HB, HV, HRB και HRC



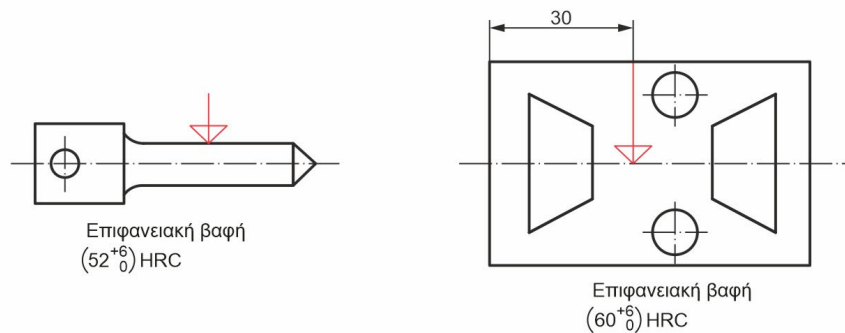
m3 TUC

2022

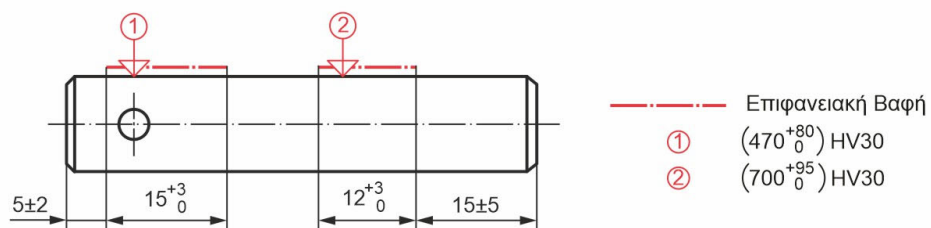


Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr



Η σκληρότητα επιφάνειας τοποθετείται στα μηχανολογικά σχέδια ως σκληρότητα **Vickers** σύμφωνα με τον κανονισμό ISO 6507-1 ή ως σκληρότητα **Brinell** σύμφωνα με τον κανονισμό ISO 6506-1 ή ως σκληρότητα **Rockwell** σύμφωνα με τον κανονισμό ISO 6508-1. Επιπρόσθετες τιμές για τη σκληρότητα μπορούν να δίνονται όταν αντικείμενα που υφίστανται θερμική κατεργασία πρέπει να έχουν επιφάνειες με διαφορετική σκληρότητα. Η τιμή της σκληρότητας που απαιτείται κάθε φορά, τοποθετείται μαζί με την θερμική κατεργασία κάτω από την όψη και αναφέρεται σε όλο το αντικείμενο.


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


## Τοποθέτηση τιμής σκληρότητας επιφάνειας



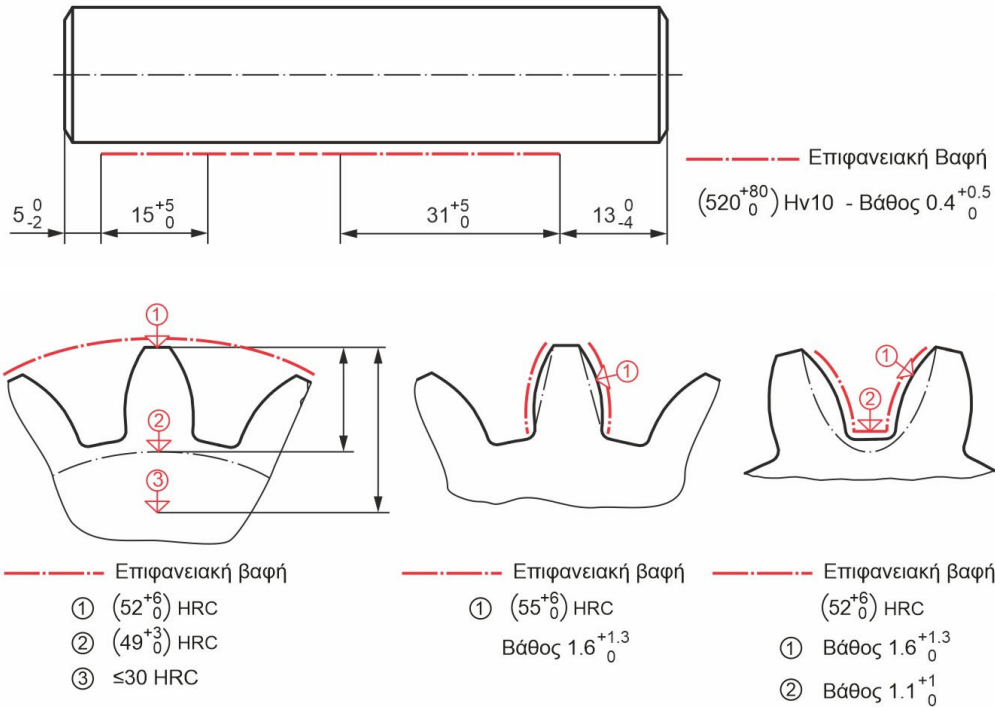
m3 TUC

2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr


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


### Τοποθέτηση συμβόλων θερμικών κατεργασιών

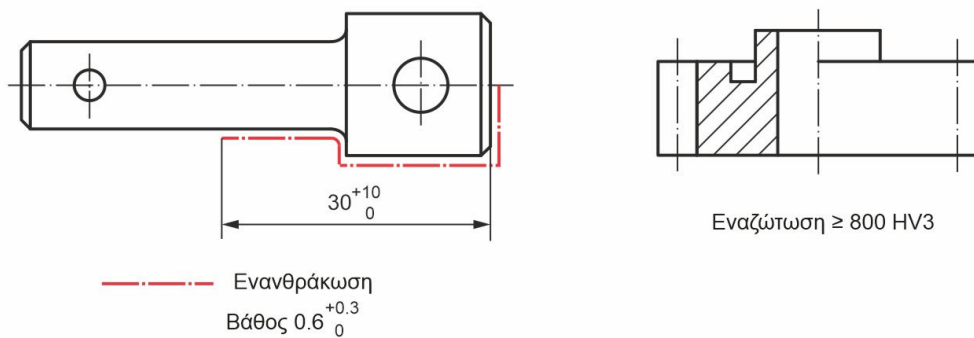


2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr



Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα από εξαρτήματα που υπέστησαν επιφανειακή κατεργασία. Στο αριστερό εξάρτημα η περιοχή που έχει υποστεί **ενανθράκωση** χαρακτηρίζεται με παχειά αξονική γραμμή ενώ αντίστοιχα ο οδοντωτός τροχός στο δεξιό μέρος του σχήματος έχει υποστεί **εναζώτωση**.

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


### Παραδείγματα συμβολισμών επιφανειακών κατεργασιών



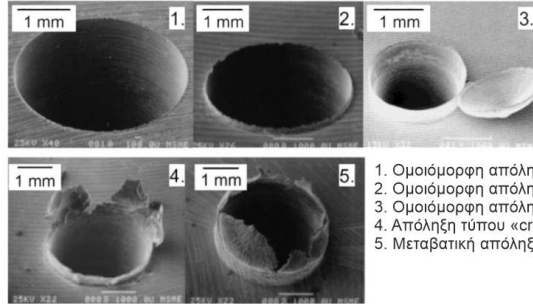
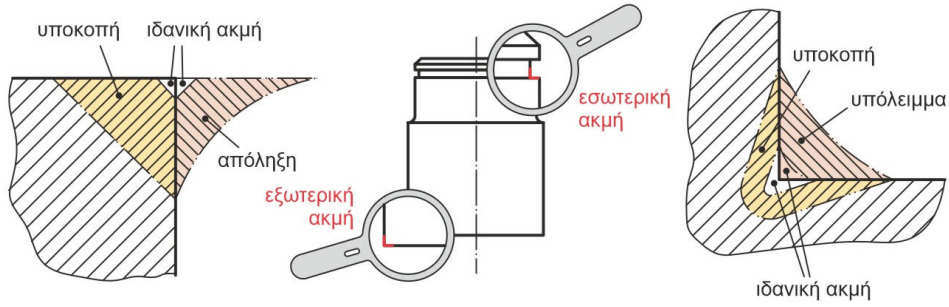
2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

www.antoniadis.gr  
aantoniadis@tuc.gr





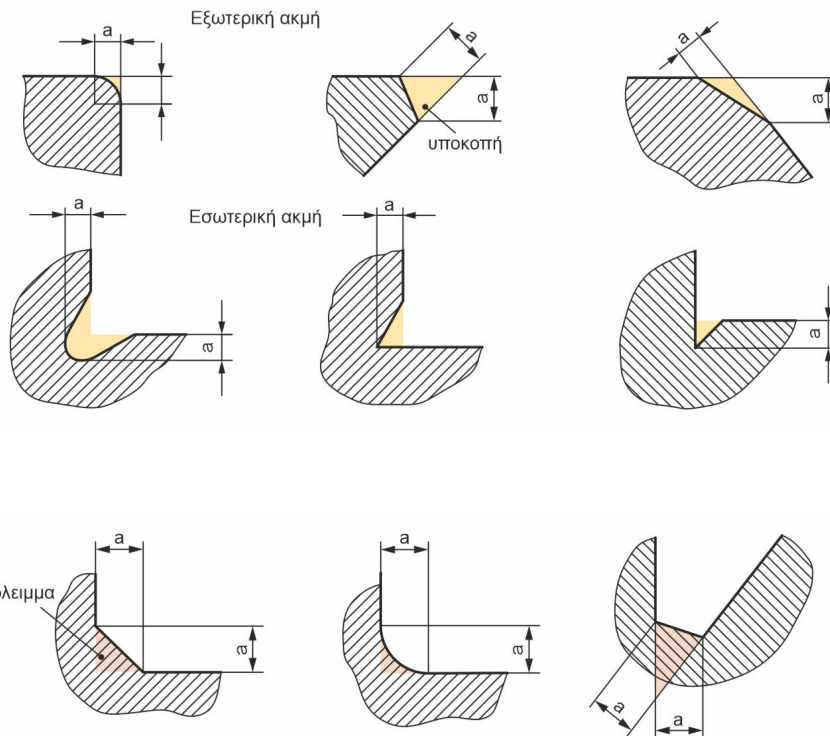
1. Ομοιόμορφη απόληξη τύπου I
2. Ομοιόμορφη απόληξη τύπου II
3. Ομοιόμορφη απόληξη με καπάκι
4. Απόληξη τύπου «crown»
5. Μεταβατική απόληξη

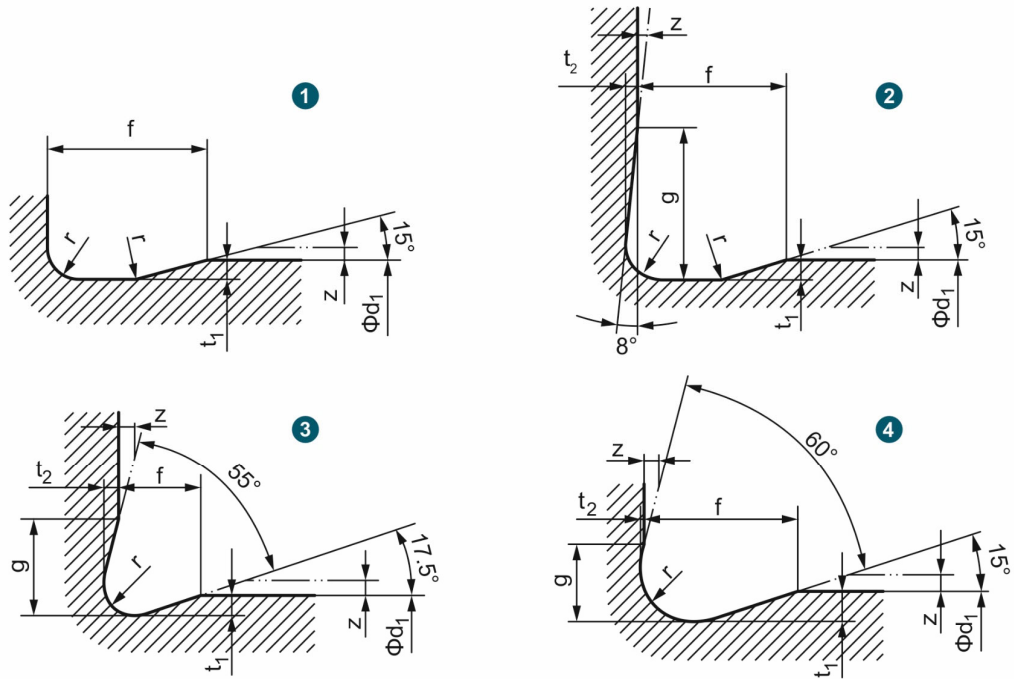
J.C. Aurich, D. Dornfeld, P.J. Arrazola, V. Franke, L. Leitz, S. Min  
 CIRP Annals - Manufacturing Technology 58 (2009) 519–542



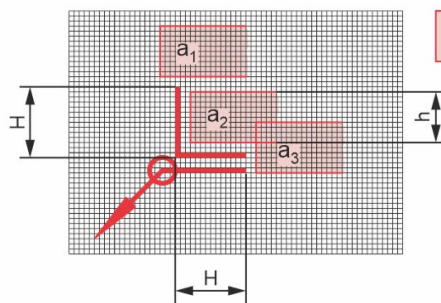
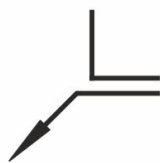
ΥΠΟΚΟΠΕΣ

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ





Βασικό σύμβολο  
χαρακτηρισμού ακμών



$a$  περιοχές γραφής  
συμπληρωματικών  
χαρακτηριστικών

πάχος γραφής	0.25	0.35	0.5	0.7	1.0
H	3.5	5.0	7.0	1.0	1.4
h	2.5	3.5	5.0	7.0	1.0

mm

ISO 13715: 2000

Οι χαρακτηριστικές περιοχές  $a_1$ ,  $a_2$  ή  $a_3$  στις οποίες τοποθετούνται συμπληρωματικές ενδείξεις στο βασικό σύμβολο χαρακτηρισμού των ακμών αφορούν:

**περιοχή  $a_1$ :** χαρακτηρίζει τη μορφή της ακμής σύμφωνα με τον Πίνακα στο σχήμα 10.X. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στη θέση αυτή είναι:

- + όταν πρόκειται για επιτρεπόμενο επιπλέον υλικό σε σχέση με την ιδανική γεωμετρία ως απόληξη σε εξωτερική ακμή ή ως υπόλειμμα σε εσωτερική ακμή.
- όταν πρόκειται για απαιτούμενη αφαίρεση υλικού σε σχέση με την ιδανική γεωμετρία ως υποκοπή σε εξωτερική ή εσωτερική ακμή.
- $\pm$  όταν επιτρέπεται η απόληξη ή η υποκοπή σε εξωτερικές ακμές και η υποκοπή ή το υπόλειμμα σε εσωτερικές ακμές.

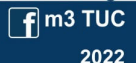
συμβολισμός	ΕΞωτερική ακμή	ΕΣωτερική ακμή
+	επιτρέπεται η απόληξη η υποκοπή δεν επιτρέπεται	επιτρέπεται το υπόλειμμα η υποκοπή δεν επιτρέπεται
-	απαιτείται η υποκοπή η απόληξη δεν επιτρέπεται	απαιτείται η υποκοπή το υπόλειμμα δεν επιτρέπεται
$\pm$	επιτρέπεται η απόληξη ή η υποκοπή	επιτρέπεται το υπόλειμμα ή η υποκοπή

**περιοχές  $a_2$  και  $a_3$ :** όπου απαιτείται ένδειξη της επιτρεπόμενης κατεύθυνσης της απόληξης σε εξωτερικές ακμές ή της υποκοπής σε εσωτερικές ακμές, η αντίστοιχη ένδειξη του μεγέθους πρέπει να δίνεται στην περιοχή  $a_2$  ή  $a_3$ . Δεν επιτρέπεται η ένδειξη της κατεύθυνσης της υποκοπής σε εξωτερικές ακμές ή του υπολείμματος σε εσωτερικές.

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



Συμπληρωματικές πληροφορίες στο σύμβολο χαρακτηρισμού ακμών



2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)

**σήμανση**

**επεξήγηση**

ο συμβολισμός +1 στη θέση  $a_1$  σημαίνει ότι η εξωτερική ακμή που χαρακτηρίζεται έχει αποδεκτή απόληξη (λόγω του +) με μέγεθος έως 1mm. Η θέση του +1 δείχνει και την κατεύθυνση της απόληξης

ο συμβολισμός -1 στη θέση  $a_3$  σημαίνει ότι η εσωτερική ακμή που χαρακτηρίζεται έχει υποκοπή που απαιτείται (λόγω του -) με μέγεθος κάτω από 1mm. Η θέση του -1 δείχνει και την κατεύθυνση της υποκοπής

ο συμβολισμός +0.3 στη θέση  $a_1$  σημαίνει ότι η εσωτερική ακμή που χαρακτηρίζεται έχει αποδεκτό υπόλειμμα (λόγω του +) με μέγεθος έως 0.3mm.

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



Συμπληρωματικές πληροφορίες κατεύθυνσης και μεγέθους στο σύμβολο χαρακτηρισμού ακμών



2022

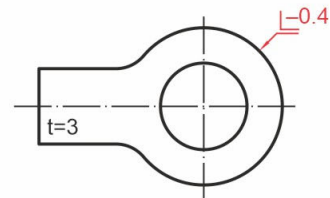
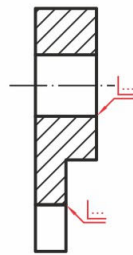
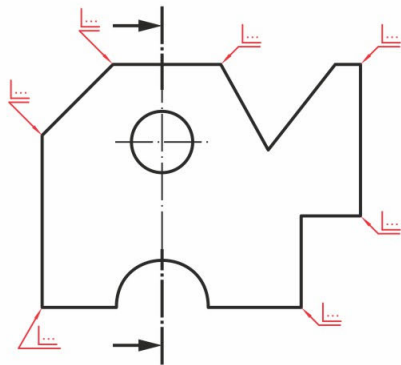


Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)

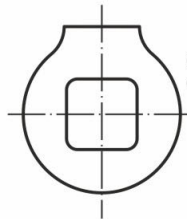


**μεμονωμένες ακμές**



σήμανση για όλες τις ακμές στην επιφάνεια που χαρακτηρίζεται

**ομαδικός χαρακτηρισμός**

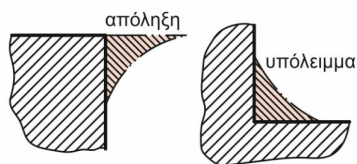
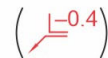
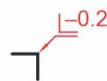


σήμανση για όλες τις ακμές του τεμαχίου

σήμανση για όλες τις εξωτερικές ακμές του τεμαχίου

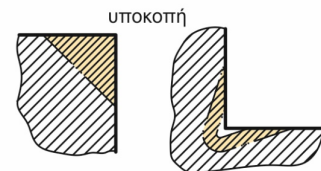
σήμανση για όλες τις εσωτερικές ακμές του τεμαχίου

ειδική επισήμανση για συγκεκριμένη ακμή του τεμαχίου εκτός της συνολικής σήμανσης



**Εφαρμογή**

+ 2.5	επιτρέπεται
+ 1.0	η απόληξη ή το υπόλειμμα
+ 0.5	
+ 0.3	η υποκοπή δεν επιτρέπεται
+ 0.1	
+ 0.05	
+ 0.02	αιχμηρή ακμή
- 0.02	
- 0.05	
- 0.1	επιτρέπεται η υποκοπή
- 0.3	
- 0.5	η απόληξη ή το υπόλειμμα
- 1.0	δεν επιτρέπονται
- 2.5	



47

10

9

8

7

6

5

4

3

2

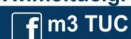
1

Κατεργασίες

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



Σήμανση ακμών στα μηχανολογικά σχέδια



m3 TUC

2022



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης  
Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

[www.antoniadis.gr](http://www.antoniadis.gr)  
[aantoniadis@tuc.gr](mailto:aantoniadis@tuc.gr)