

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ

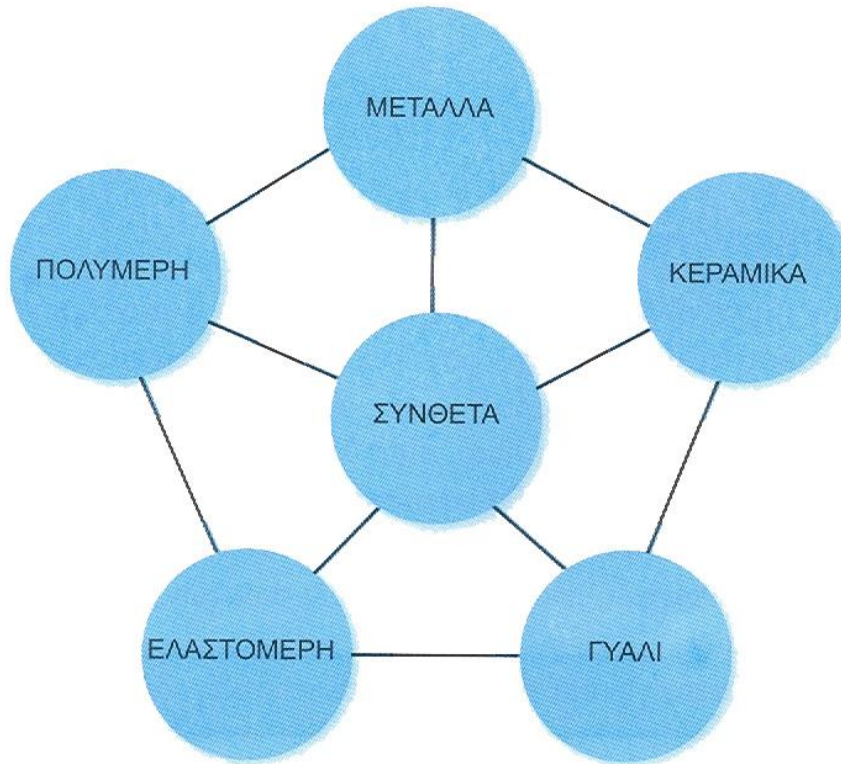
ΥΛΙΚΩΝ

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Οι ιδιότητες των υλικών γενικά χωρίζονται σε φυσικές ιδιότητες, σε μηχανικές και σε θερμικές.

- **Φυσικές** ιδιότητες είναι η πυκνότητα  $\rho$  ( $kg/m^3$ ), η θερμοκρασία τήξης ( $^{\circ}C$ ) και η θερμοκρασία βρασμού ( $^{\circ}C$ ).
- **Μηχανικές** ιδιότητες είναι το όριο θραύσης σε εφελκυσμό  $S_u$  ( $MPa$ ), το όριο διαρροής  $S_y$  ( $MPa$ ), η επιμήκυνση θραύσης  $\delta$  % , το όριο της διαρκούς αντοχής ή της αντοχής σε κόπωση  $S_n'$  ( $MPa$ ), το Μέτρο Ελαστικότητας του Young  $E$  ( $GPa$ ), το Μέτρο Διάτμησης ή Στρέψης  $G$  ( $GPa$ ) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ). Η σχέση που συνδέει τα τρία τελευταία μεγέθη είναι:  $E=2G(1+\nu)$
- Τέλος **θερμικές** ιδιότητες είναι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής  $\alpha$  ( $mm/(mm^{\circ}C)$ ), και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $W/m^{\circ}C$ ).
- Επίσης το **κόστος** των υλικών ( $\text{€}/kg$ ) είναι σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού και όπως θα δούμε αργότερα και η αντίσταση στη **φθορά** και στη **οξειδωση**.

# ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 2.1: Επιλέξιμες κατηγορίες υλικών στο μηχανολογικό σχεδιασμό

Μια πλειάδα υλικών είναι διαθέσιμα στο σχεδιαστή μηχανικό κατά την διαδικασία του σχεδιασμού κατασκευών ή μηχανών.

Τα υλικά αυτά μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες:

Μέταλλα, πολυμερή, ελαστομερή, γυαλί, κεραμικά και συνδυασμένα μεταξύ τους σε σύνθετα υλικά.

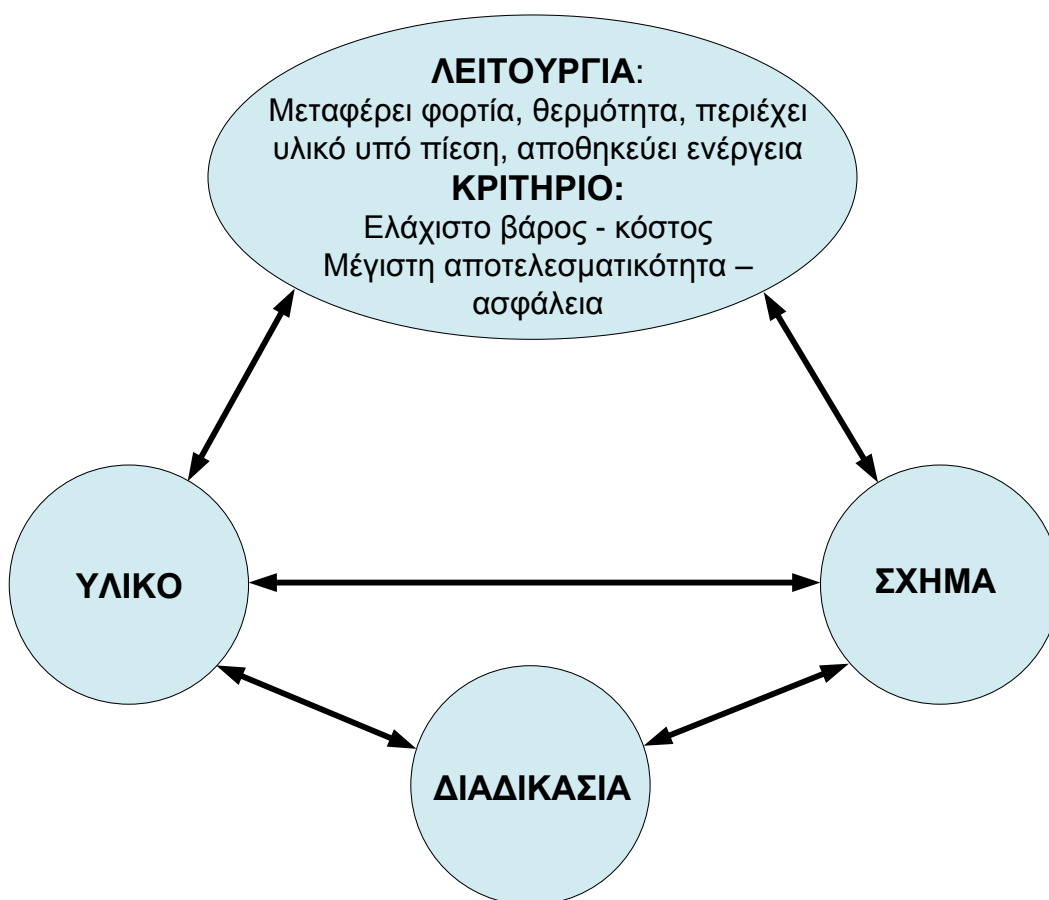
## ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχει πλειάδα υλικών από τα οποία μπορούμε να επιλέξουμε (περίπου 80000 υλικά)

Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής, το τρόπο σύνδεσης των στοιχείων μεταξύ τους, την επιθυμητή εμφάνιση και τις κατεργασίες.

Η επιλογή του υλικού εξαρτάται και από το κόστος (υλικού και κατεργασιών)

Δεν υπάρχει μοναδικό υλικό κατάλληλο για κάθε εφαρμογή.



## Ράβδος ελάχιστου βάρους-δοσμένης αντοχής

Να επιλεγεί **υλικό** για ράβδο μήκους  $L$  (**γεωμετρική προδιαγραφή**), με εφελκυστικό φορτίο  $F$  (**λειτουργική προδιαγραφή**) και συντελεστή ασφάλειας  $N$ , ώστε το βάρος της ράβδου να είναι ελάχιστο (**αντικειμενική**)

Λύση:

**Μάζα ράβδου:**  $m = \rho V = \rho AL$  (1)

Επιφάνεια ικανή να φέρει το φορτίο:  $\frac{F}{A} = \frac{S_y}{N}$  (2)

Από (1) και (2) έχουμε:  $A = \frac{FN}{S_y} = \frac{m}{\rho L}$

$$m = \underbrace{(FN)}_{\text{λειτουργικές προδιαγραφές}} \underbrace{(L)}_{\text{γεωμετρία}} \underbrace{\left(\frac{\rho}{S_y}\right)}_{\text{υλικό}} \quad (3)$$

Η μάζα ελαχιστοποιείται μεγιστοποιώντας τον συντελεστή συμπεριφοράς υλικού  $M$ :

$$M = \frac{S_y}{\rho}$$

## Κολώνα ελάχιστου βάρους σε λυγισμό

Να επιλεγεί **υλικό** για κολώνα ύψους  $L$  (**γεωμετρική προδιαγραφή**), με θλιπτικό φορτίο  $F$  στο ελεύθερο άκρο της (**λειτουργική προδιαγραφή**), ώστε να αντέχει σε λυγισμό (**περιορισμός**), ενώ η μάζα της δοκού να είναι η ελάχιστη δυνατή (**αντικειμενική συνάρτηση**).

**ΛΥΣΗ:** 
$$F \leq \frac{F_{cr}}{N} = \frac{\pi^2 EI}{NL^2} = \frac{\pi^2 E \pi d^4}{NL^2 64} \quad (1)$$

Η μάζα είναι: 
$$m = AL\rho = \frac{\pi d^2}{4} L\rho \quad (2)$$

Λύνοντας την (1) ως προς τη διάμετρο και αντικαθιστώντας στην (2) έχουμε:

$$m = \underbrace{\sqrt{\frac{NF}{\pi}}}_{\text{λειτουργικές προδιαγραφές}} \underbrace{(2L^2)}_{\text{γεωμετρία}} \underbrace{\left(\frac{\rho}{\sqrt{E}}\right)}_{\text{υλικο}}$$

Η μάζα ελαχιστοποιείται όταν μεγιστοποιηθεί ο συντελεστής συμπεριφοράς του υλικού  $M$ :

$$M = \frac{\sqrt{E}}{\rho}$$

## Δοκός ελάχιστου βάρους-δοσμένης δυσκαμψίας

Να επιλεγεί **υλικό** για πρόβολη δοκό διατομής  $b \times b$  (**γεωμετρική προδιαγραφή**), μήκους  $L$  (**γεωμετρική προδιαγραφή**), με φορτίο  $F$  στο ελεύθερο άκρο της (**λειτουργική προδιαγραφή**), ώστε η μετατόπισή της να μην είναι μεγαλύτερη από  $\delta$  (**περιορισμός**), ενώ η μάζα της δοκού να είναι η ελάχιστη δυνατή (**αντικειμενική συνάρτηση**).

**Λύση:** Η μετατόπιση της δοκού είναι: 
$$\delta = \frac{F}{k} \quad (1)$$

Η σταθερά ελατηρίου της δοκού είναι: 
$$k = \frac{3EI}{L^3} \quad (2)$$

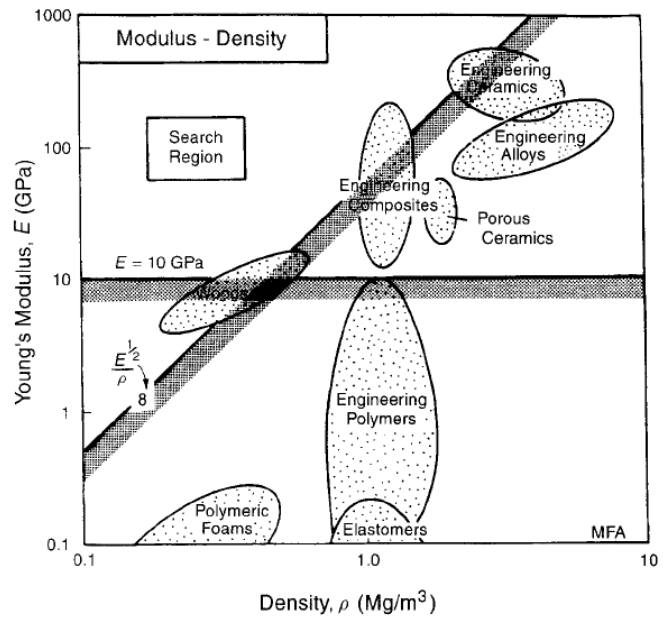
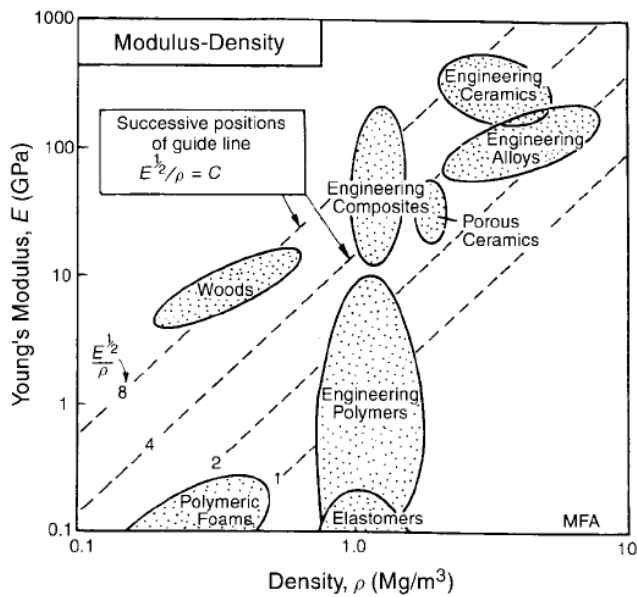
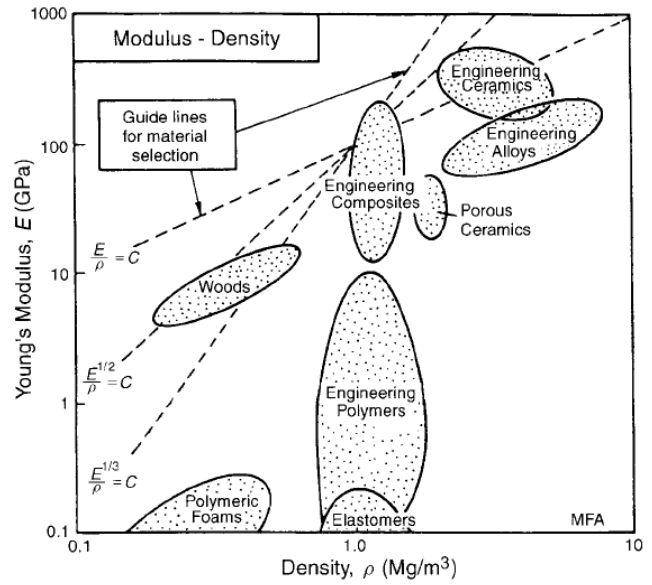
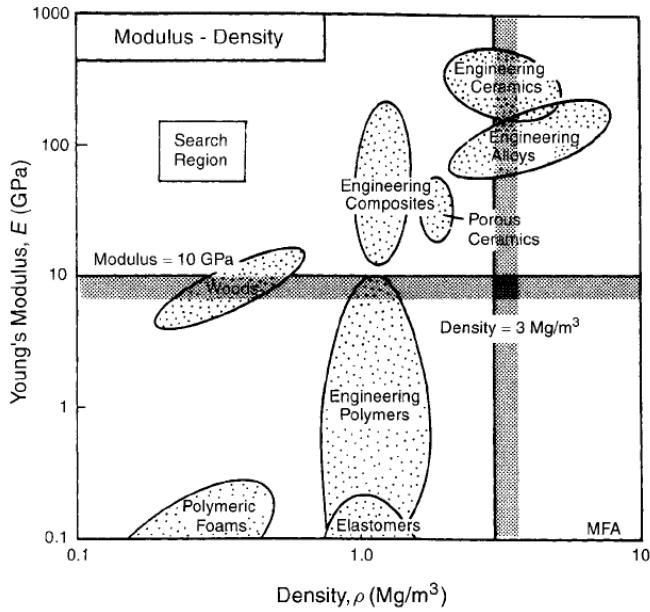
Από τις εξισώσεις (1) και (2) έχουμε: 
$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (3)$$

Επειδή  $I = b^4/12 = A^2/12$ : 
$$\delta = \frac{FL^3}{3E(A^2/12)} = \frac{4FL^3}{EA^2} \quad (4)$$

Η μάζα της δοκού είναι: 
$$m = \rho V = \rho AL \Rightarrow A = \frac{m}{\rho L} \quad (5)$$

$$\delta = \frac{4FL^3}{E(m/\rho L)^2} \Rightarrow \delta = \frac{4FL^3 \rho^2 L^2}{Em^2} \Rightarrow$$

$$m = \frac{\sqrt{4FL^3} \rho}{\sqrt{E} \sqrt{\delta}} = \underbrace{\left( \sqrt{\frac{4k}{L}} \right)}_{\text{λειτουργικές προδιαγραφές}} \underbrace{(L^3)}_{\text{γεωμετρία}} \underbrace{\left( \frac{\rho}{\sqrt{E}} \right)}_{\text{υλικο}} \Rightarrow M = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \rightarrow \max$$



Διαγράμματα Ashby  
 $\text{Log}(E)$  συναρτήσει του  $\text{Log}(\rho)$



**Table 5.7** Examples of material indices

<i>Function, Objective and Constraint</i>	<i>Index</i>
<b>Tie</b> , minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E}{\rho}$
<b>Beam</b> , minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
<b>Beam</b> , minimum weight, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{\rho}$
<b>Beam</b> , minimum cost, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
<b>Beam</b> , minimum cost, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{C_m \rho}$
<b>Column</b> , minimum cost, buckling load prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
<b>Spring</b> , minimum weight for given energy storage	$\frac{\sigma_y^2}{E \rho}$
<b>Thermal insulation</b> , minimum cost, heat flux prescribed	$\frac{1}{\lambda C_m \rho}$
<b>Electromagnet</b> , maximum field, temperature rise prescribed	$\kappa C_p \rho$

( $\rho$  = density;  $E$  = Young's modulus;  $\sigma_y$  = elastic limit;  $C_m$  = cost/kg;  $\lambda$  = thermal conductivity;  $\kappa$  = electrical conductivity;  $C_p$  = specific heat)

## ΥΛΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ

$S_p$  : Όριο Ανάδοξης  
 $S_{el}$  : Όριο Ελαστικότητας  
 $S_y$  : Όριο Ροής  
 $S_u$  : Όριο Θραύσεως

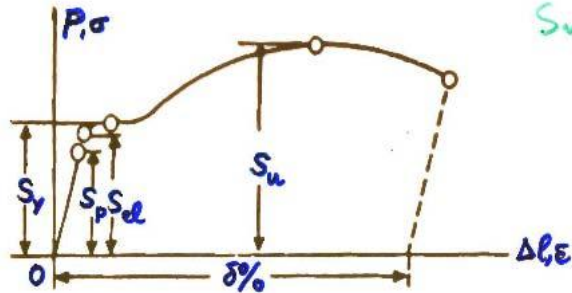
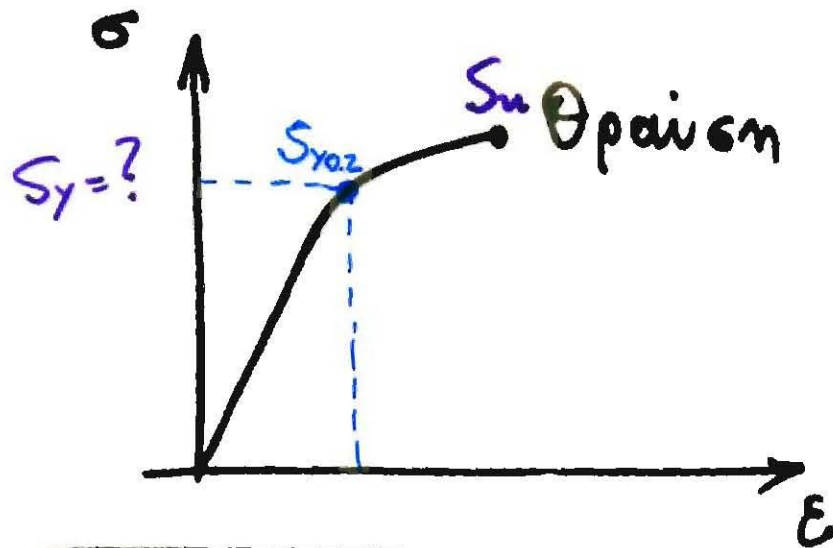


Figure 6.1 Stress-strain diagram for mild steel

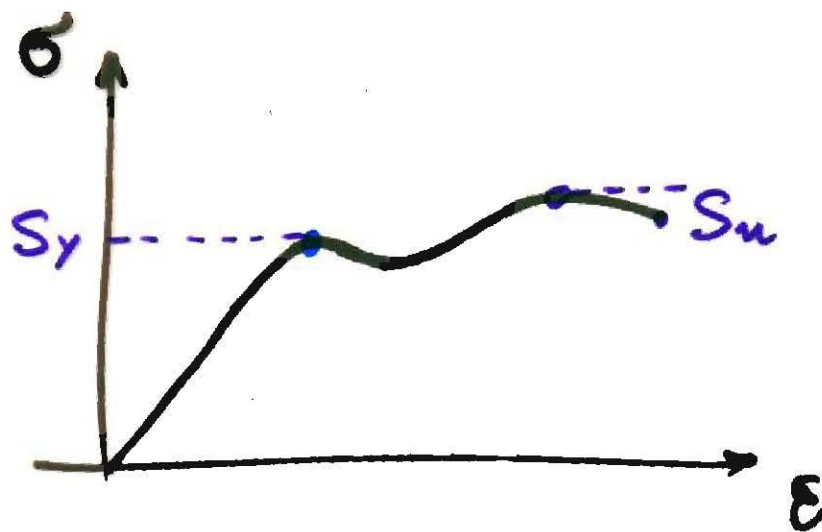
AISC  
Επιτρεπόμενες  
τάσεις.

{	Εφελκυσμός :	$0,45 S_y \leq \sigma \leq 0,60 S_y$
	Διάτμηση :	$\tau \leq 0,40 S_y$
	Κόμηση :	$0,60 S_y \leq \sigma \leq 0,75 S_y$
	Επιφανειακή :	$\sigma \leq 0,90 S_y$



Ψαθυρότητα

π.χ. Τζάμι  
χυτοσίδηρος

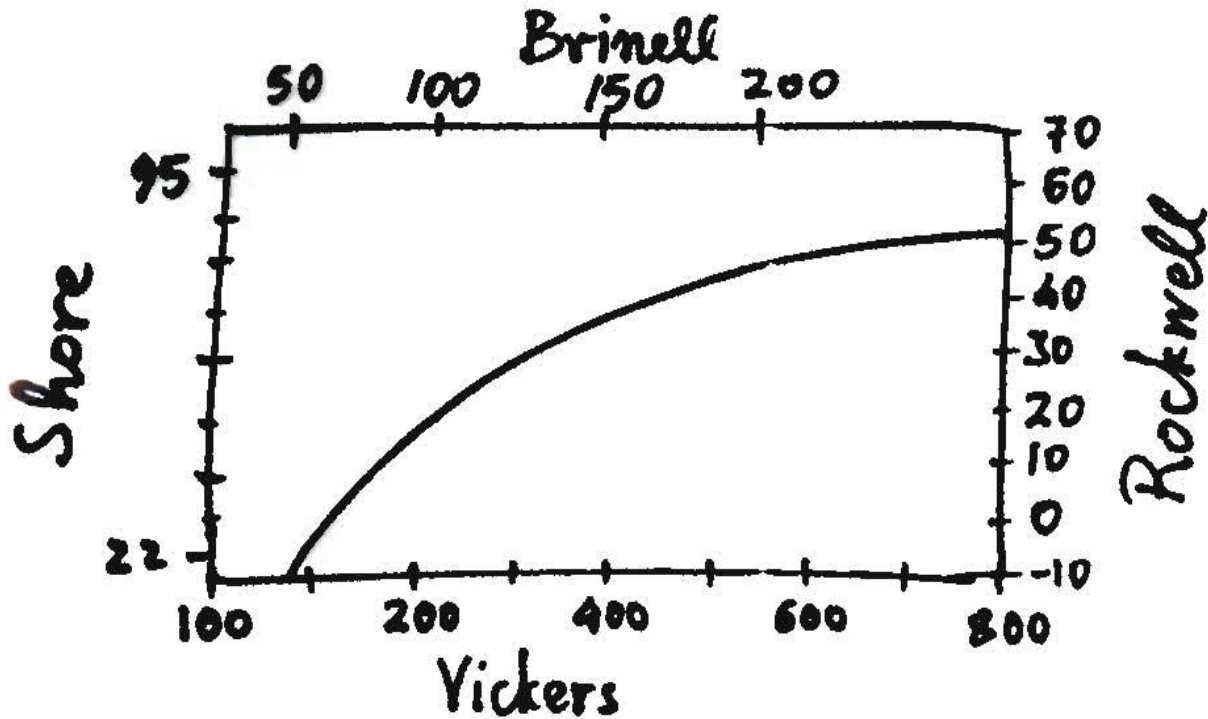


Συνεκτικότητα

π.χ. Χαλύβας

# ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Brinell  
Rockwell  
Vickers  
Shore



Συγκριτικός πίναξ σκληροτήτων: Brinell (HB)-Vickers (HV)-Rockwell (HRB, HRC)

HB $\frac{daN}{mm^2}$	HV $\frac{daN}{mm^2}$	HRB [-]	HRC [-]
90	-	-	-
95	95	52,5	-
101	101	58	-
105	105	61	-
109	109	64	-
116	116	68	-
123	123	72	-
128	128	74	-
133	133	76	-
140	140	78	-
146	146	80	-
152	152	82	-
159	159	84	-
167	167	86	-
174	174	88	-
183	183	90	-
192	192	92	-
201	201	94	15
212	212	96	18
223	223	98	20
235	235	100	22
248	248	102	24
262	263	104	26
277	279	106	29
302	305	108	32
321	327	110	34
352	363	112	37
401	420	114	42
429	454	-	45
477	520	-	49
534	608	-	53
578	692	-	57
653	845	-	62
712	1000	-	66
780	1175	-	70

Σημειώσεις

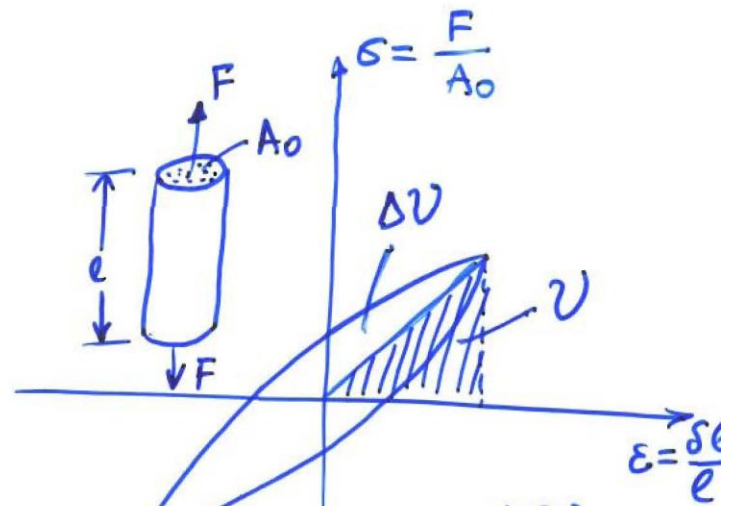
HB: Δοκιμή με δύναμιν  $P=3000$  daN και σφαιρίδιον διαμέτρου  $D=10$  mm

# Απόσβεση

- Ο συντελεστής απόσβεσης μετρά το βαθμό έμφυσης ενέργειας κατά την ταλάντωση, τα υλίκου.

$$\eta = \frac{\Delta U}{2\pi U}$$

$$U = \int_0^{\sigma_{\max}} \sigma d\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E}$$

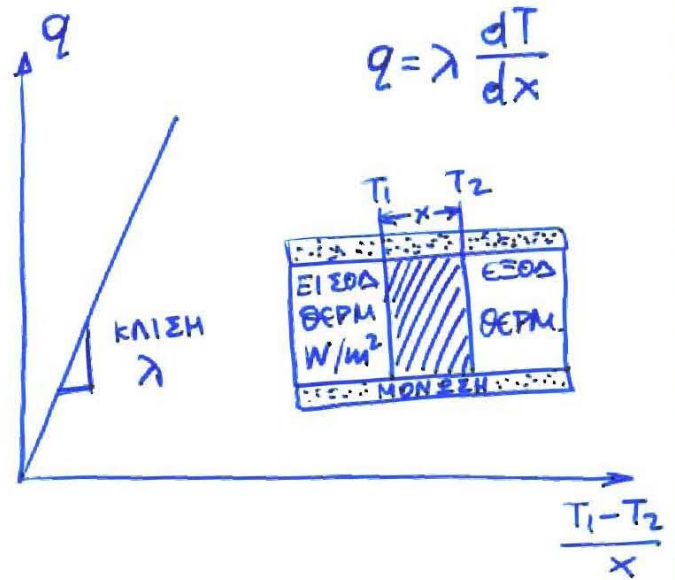


$$\eta = \frac{\Delta U}{2\pi U}$$

$$\Delta U = \oint \sigma d\varepsilon$$

# Θερμική αγωγιμότητα

- Η θερμική αγωγιμότητα προσδιορίζει τον ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα άγεται - διαδίδεται δια μέσου ενός στερεού στην σταθερή κατάσταση.



$$q = \lambda \frac{dT}{dx}$$

π.χ.	ΥΛΙΚΟ	W/(mk)	ΥΛΙΚΟ	W/(mk)
	Αλουμίνιο	204	Μόλυβδος	35
	Χαλκός	384	Μολυβδαίνιο	145
	Μπράντζο	64	Νικέλιο	59
	Χυτοσίδηρος	58	Πλατίνα	70
	Ορείχαλκος	113	Ασημί	407
	Κεραμικά	~ 1	Χάλυβας	47-58
	Χρυσός	310	Ψευδάργυρος	113



# ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

= Σειρά θερμάνσεων και αποψύσεων με σκοπό μεταβολή φάσεων ή της μικρογραφικής δομής, για επίτευξη καλών μηχανικών και χημικών ιδιοτ.

## Επιβελτίωση

: Βαφή και επαναφορά εις τους 600 C, με σκοπόν τήν αύξησιν τής άντοχής ενός τεμαχίου πρό τής κατεργασίας αύτου διά κοπτικῶν εργαλείων.

## Επαναφορά

: Θέρμανσις, εις θερμοκρασίαν 500°-600°C, ενός χάλυβος μετά τήν βαφήν. Έπακολουθεῖ απόψυξις εις τόν αέρα. Ἡ δυσθραυστότης αύξάνει ενώ  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$  καί ἡ ἀποκτηθεῖσα σκληρότης ἐλαττοῦνται.

## Βαφή

: Θέρμανσις ενός χάλυβος εις θερμοκρασίαν 750°C περίπου. Έπακολουθεῖ ταχεῖα απόψυξις. Ὁ χάλυψ παρουσιάζει μεγάλην σκληρότητα, άντοχήν εις τήν φθοράν ἀλλά εἶναι εὐθραστός.

## Γρανση

: Απόψυξις κράματος τό ὁποῖον ἀπό μονοφασικόν, φάσεως α, μετασχηματίζεται καί λαμβάνομεν δύο φάσεις τήν α καί νέαν φάσιν β. Έπιτυγχάνεται σκλήρυνσις τοῦ κράματος.

## Πηχυρῆ Ανόπτεισις

Θέρμανσις τοῦ χάλυβος ἐπί 1-4 ὥρες.

Έπακολουθεῖ βραδυτάτη απόψυξις.

Έπιτυγχάνεται ἡ ἐξάλειψις ἐσωτερικῶν τάσεων μετά μηχανικήν κατεργασίαν ἐν θερμῷ ἢ κατόπιν συγκολλησεων, ἡ αύξησις τής δυσθραυστότητος καθώς καί ἡ βελτίωσις τής άντοχής τοῦ χάλυβος.

## Ανόπτεισις γιά ἐξομιάζουσι

: Έχομεν ταχυτέραν απόψυξιν ἐν σχέσει πρός τήν πλήρην ανόπτουσι. Έπιτυγχάνεται καλύτερευσις τής μικρογραφικῆς μορφῆς τοῦ χάλυβος καί βελτίωσις τῶν μηχανικῶν ιδιοτήτων.



# ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ενανθράκωση: Συνίσταται εις τόν έμποτισμόν διά διαχύσεως άτόμων άνθρακος εις έπιφανειακήν στιβάδα χαλυβδίνου άντικειμένου. 'Ο χρησιμοποιούμενος χάλυψ είναι μαλακός ( $C < 0,25\%$ ) και η σκληρότης επιτυγχάνεται μετά την ένανθράκωσιν διά κατακλήλου βαφής.

Εναζώτωση: Πρόκειται περί έμποτισμού του χάλυβος δι' άζώτου εις  $500^{\circ}-540^{\circ}\text{C}$ . 'Η κατεργασία αύτη είναι και η δίδουσα την σκληρωσιν εις την στιβάδα της έμποτίσεως. Παρουσιάζει τό μέγα πλεονέκτημα να μή παραμορφώνη τά άντικείμενα λόγω της μικράς θερμοκρασίας κατά την κατεργασίαν και διότι δέν έπακολουθεϊ βαφή. Τό βάθος της έμποτίσεως είναι μικρόν παρουσιάζει όμως μεγαλυτέρα σκληρότητα έν σχέσει προς την ένανθράκωσιν.

Ενανθρακαζώτωση: Γίνεται δι' αέριου μίγματος  $\text{NH}_3 + \text{CO}$  και πρόκειται περί ένδιαμέσου κατεργασίας μεταξύ της ένανθρακώσεως διά  $\text{CO}$  και της έναζωτώσεως διά  $\text{NH}_3$ . 'Η θερμοκρασία έμποτίσεως είναι  $730^{\circ}-900^{\circ}\text{C}$ .

Ενδοκυάνωση: Γίνεται μέ την βοήθεια έμποτιστικού άλατος, τό όποϊον εις την θερμοκρασίαν της κατεργασίας είναι τετηγμένον. Χρησιμοποιεϊται συνήθως  $\text{NaCN}$  τό κύριον άλας 30%, μέ 40%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και 30%  $\text{NaCl}$ . 'Η θερμοκρασία είναι  $760^{\circ}-870^{\circ}\text{C}$  και η σκληρότης είναι σημαντική περιοριζομένη όμως εις μικρόν βάθος.

Εναργιλίωση: Έμποτισμός του χάλυβος δι' άλουμινίου εις θερμοκρασίαν  $840^{\circ}-930^{\circ}\text{C}$ , έντός καμίνου ούδετέρας άτμοσφαιρας. Δέν έπακολουθεϊ άλλη θερμική κατεργασία. Πάχος έμποτίσεως 0,05-0,2 mm και διάρκεια έμποτίσεως 4-6 ώραι.

Ενχρωμίωση: Έμποτισμός του χάλυβος διά χρωμίου, εις θερμοκρασίαν  $1300^{\circ}-1400^{\circ}\text{C}$ , έντός καμίνου ή γαλβανιστήρας ύδρογόνου. Διάρκεια έμποτίσεως 3-5 ώραι.

# ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ (Συνέχ.)

**Ενδεικτική** : Έμποτισμός του χάλυβος διά πυριτίου, εις θερμοκρασίαν  $930^{\circ}-1010^{\circ}\text{C}$ , εντός καμίνου ατμοσφαιρας χλωρίου. Διάρκεια έμποτίσεως 2 ώραι περίπου.

**Σεραρδίαση** : Έμποτισμός του χάλυβος διά ψευδαργύρου, εις θερμοκρασίαν  $350^{\circ}-380^{\circ}\text{C}$ , εντός περιστρεφομένου θερμαινόμενου τυμπάνου κλεισμένου αεροστεγώς. Διάρκεια έμποτίσεως 3 ώραι περίπου.

**Επιμετάλλωσις με εμβάπτιση** : Ο σίδηρος ή ο μαλακός χάλυψ μετά πλήρη καθαρισμόν και άπωσκωρίωσιν έμβαπτίζονται εις λουτρόν: τετηγμένου ψευδαργύρου (γαλβάνισμα) τετηγμένου κασσιτέρου (έπικασσιτέρωσις).

**Φωσφορίωσις** : Ο χάλυψ καθαρός επιφανείας έμβαπτίζεται εις θερμόν διάλυμα φωσφορικού άλατος  $(\text{PO}_4 \text{H}_2)_2 \text{M}_n$  περιέχον και έλεύθερον φωσφορικόν όξύ.

**Επισμάτωσις** : Σμαλτώδης έπίστρωσις με κατάλληλον έκλογήν του ύαλώματος, μεγάλης άντοχής εις την διάβρωσιν και εις ύψηλάς θερμοκρασίας.

## ΔΥΝΑΤΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Χάλυβες** : Όλοι αι προαναφερθεύσαι κατεργασίαι.

**Χυτοσίδηρος** : Πλήρης άνόπτησις, βαφή, έπινικέλωσις, έπισμάλτωσις.

**Ύκιος χυτοχάλυψ** : Ανόπτησις, βαφή.

**Μαλακός χυτοσίδηρος** : Βαφή, έναζώτωσις, φωσφορίωσις, ένανθράκωσις και βαφή ήλεκτρολυτική έπικασσιτέρωσις, ήλεκτρολυτική έπιψευδαργύρωσις καθώς και αι άλλαι ήλεκτρολυτικαί έπιμεταλλώσεσις.

**Χυτοσίδηρος με ξένα στοιχεία** : Βαφή και έπαναφορά (βελτίωσις του  $\sigma_{\text{B}}$  και της σκληρότητας), άνόπτησις (βελτίωσις της κατεργαστικότητας), άνόπτησις δι' έξομάλυνσιν.

**Τιτάνιο** : Ανόπτησις, βαφή και έπαναφορά, γήρανσις, έναζώτωσις, ήλεκτρολυτική έπιμετάλλωσις καδμίου και νικελίου.

**Μαγνήσιο** : Ηλεκτρολυτική έπιχρωμίωσις.

**Κράματα αργιλίου** : Ανόπτησις, βαφή, ήλεκτρολυτική έπιχρωμίωσις.

**Κράματα καλκού** : Δι' όρισμένα έξ αυτών, βαφή.



# ΥΛΙΚΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

## Χάλυβες κατασκευών

Περιεκτικότητα σε άνθρακα (C)

0.10 ÷ 0.60%
St 33 ÷ St 70

$\sigma_u = 33$        $\sigma_u = 70 \text{ kP/mm}^2$

Αύξηση άνθρακα =   
Αύξηση σκληρότητας  
Αύξηση ψαθυρότητας  
Αύξηση ορίου θραύσης  
Λείωση βυρκοφυικότητας

Προσθίκες :

Χρómιο (Cr)	} Αύξηση ανθεκτικότητας σε διάβρωση.
Νικέλιο (Ni)	
Μαγγάνιο (Mn)	
Μορβδαίνιο (Mo)	
Βανάδιο (V)	

ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

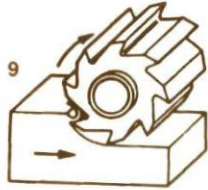
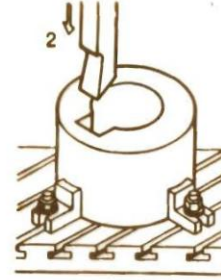
Τορπίρισμα



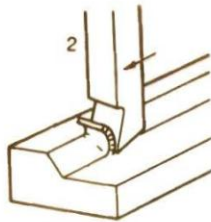
Εσωτ. Τορν. Τρύπημα



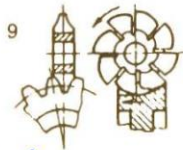
Κοπή εφηνόδρομου



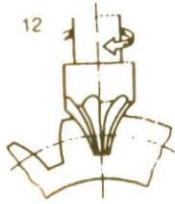
Φρεζάρισμα δίσκου



Πλάνισμα



Κοπή χρανων για  
στη φρέζα



Χραννοκόπηση



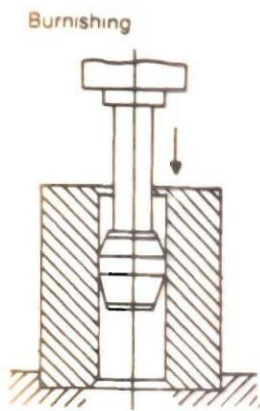
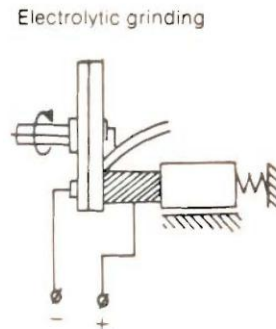
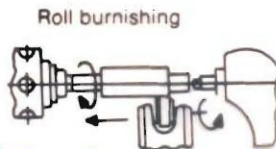
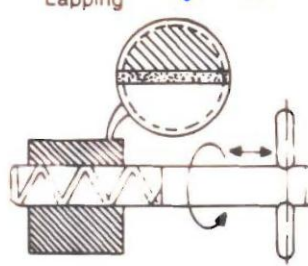
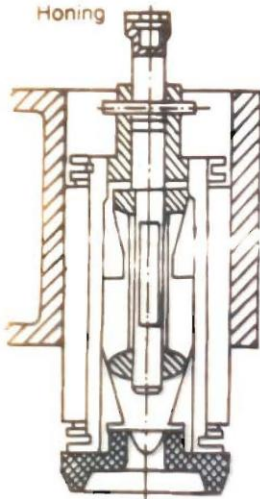
(Hobbing)

# ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Είδη πετυγι

Λείανση με αβύθι

Τρόχισξη  
Λείανση



Γυάλισξη τριβή

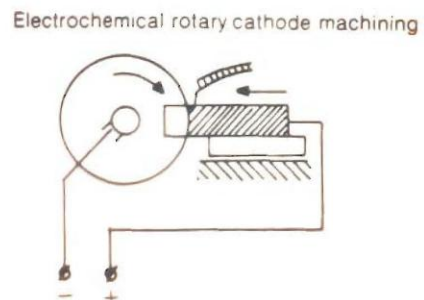
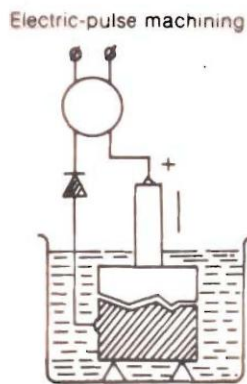
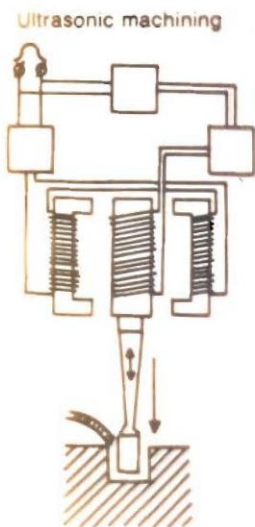
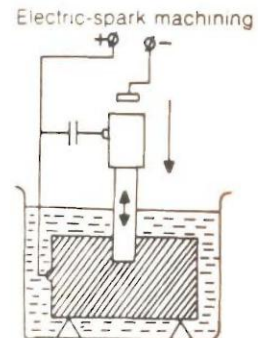
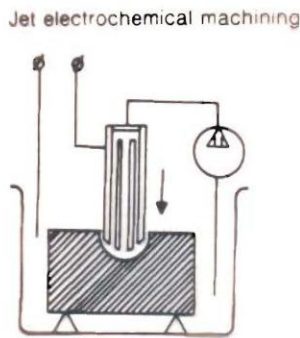


Figure 6.14 (a) Traditional chip-removal processes; (b) nontraditional machining processes: line machining and pe