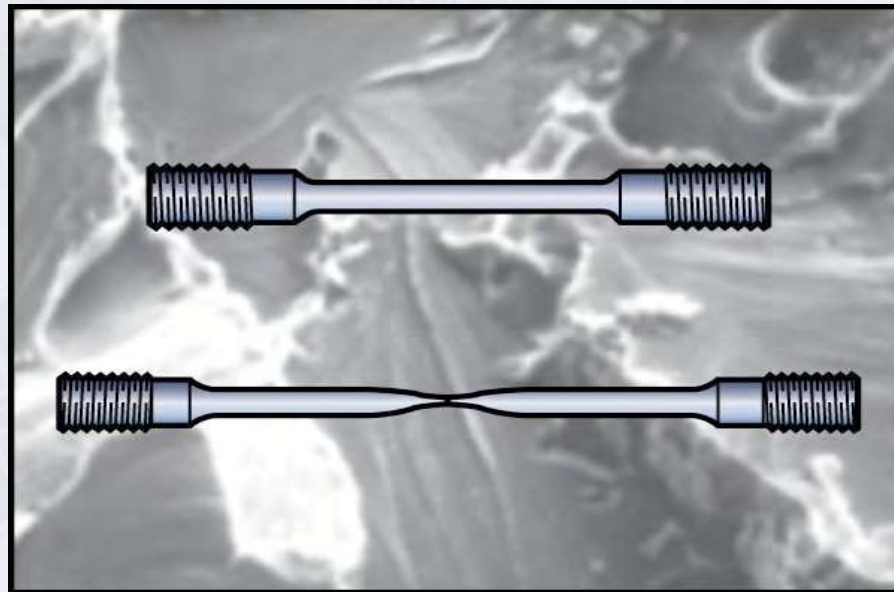


Κεφάλαιο 2

Μηχανική συμπεριφορά, δοκιμές και κατασκευαστικές ιδιότητες υλικών

(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)



Δρ. Ι. Παπαντωνίου

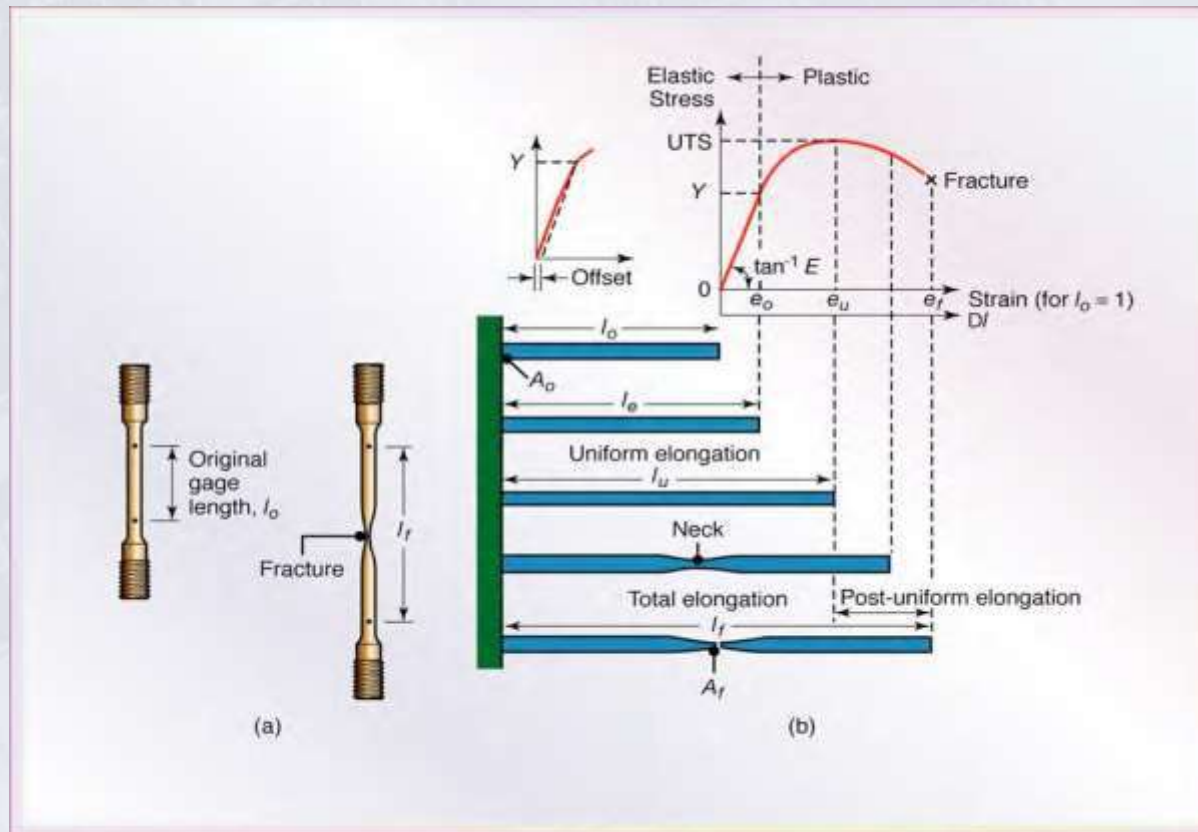
Σχετικές μηχανικές ιδιότητες επιλεγμένων μετάλλων σε θερμοκρασία δωματίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Σχετικές μηχανικές ιδιότητες επιλεγμένων μετάλλων σε θερμοκρασία δωματίου (φθίνουσα σειρά, μέταλλα στην κραματωμένη μορφή τους)

Αντοχή	Σκληρότητα	Δυσθραυστότητα	Δυσκαμψία	Αντοχή/Πυκνότητα
Ινες γυαλιού	Διαμάντι	Όλκιμα μέταλλα	Διαμάντι	Ενισχυμένα πλαστικά
Ινες άνθρακα	CBN	Ενισχυμένα πλαστικά	Καρβίδια	Τιτάνιο
Ινες Kevlar	Καρβίδια	Θερμοπλαστικά	Βολφράμιο	Χάλυβας
Καρβίδια	Χάλυβες σκλήρυνσης	Ξύλο	Χάλυβας	Αλουμίνιο
Μολυβδένιο	Τιτάνιο	Θερμοσκληραινόμενα	Χαλκός	Μαγνήσιο
Χάλυβες	Χυτοσίδηροι	Κεραμικά	Τιτάνιο	Βηρύλλιο
Ταντάλιο	Χαλκός	Γυαλί	Αλουμίνιο	Χαλκός
Τιτάνιο	Θερμοσκληραινόμενα		Κεραμικά	Ταντάλιο
Χαλκός	Μαγνήσιο		Ενισχυμένα πλαστικά	
Ενισχυμένα θερμοσκληραινόμενα	Θερμοπλαστικά		Ξύλο	
Ενισχυμένα θερμοπλαστικά	Κασσίτερος		Θερμοσκληραινόμενα	
Θερμοπλαστικά	Μόλυβδος		Θερμοπλαστικά	
Μόλυβδος			Ελαστομερή	

Δοκιμή εφελκυσμού (tension test)



$$\text{Engineering Stress, } \sigma = \frac{P}{A_o}$$

$$\text{Engineering Strain, } e = \frac{l - l_o}{l_o}$$

$$\text{Modulus of Elasticity, } E = \frac{\sigma}{e}$$

$$\text{True stress, } \sigma = \frac{P}{A}$$

$$\text{True strain, } \varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_o}\right)$$

Figure: (α) Τυποποιημένο δοκίμιο εφελκυσμού πριν και μετά τη δοκιμή, χαρακτηρισμένο με το αρχικό και τελικό μήκος μέτρησης. (β) Η κατά στάδια συμπεριφορά του δοκιμίου σε μία δοκιμή εφελκυσμού.

Καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης

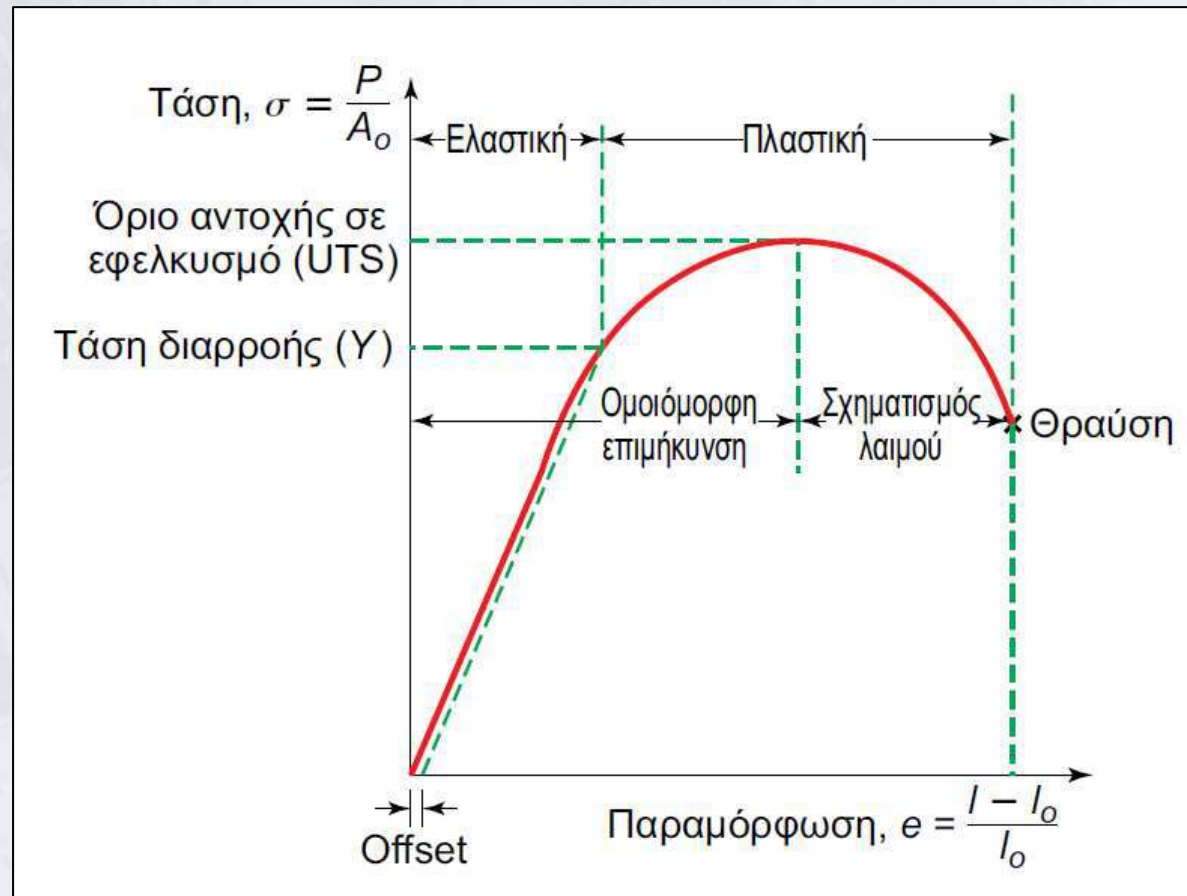


Figure: Τυπική καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης που λαμβάνεται από δοκιμή εφελκυσμού, με σχολιασμένα τα διάφορα χαρακτηριστικά.

Καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης

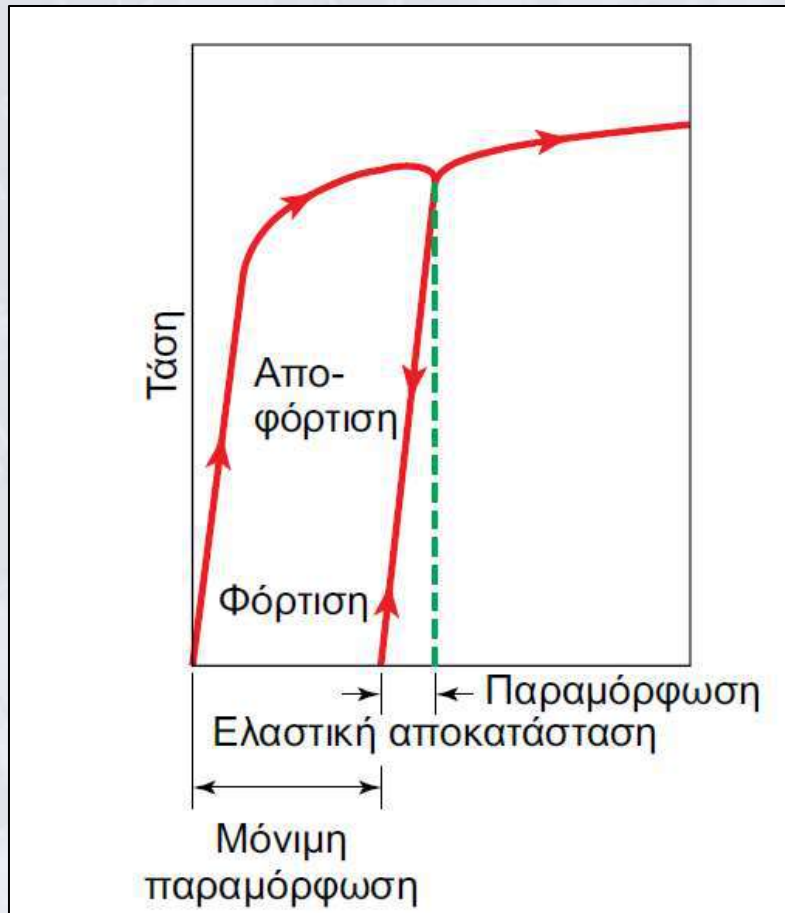


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της φόρτισης και αποφόρτισης δοκιμίου κατά τη δοκιμή εφελκυσμού. Παρατηρήστε ότι, κατά την αποφόρτιση, η καμπύλη ακολουθεί διαδρομή παράλληλη προς την κλίση της αρχικής ελαστικής περιοχής.

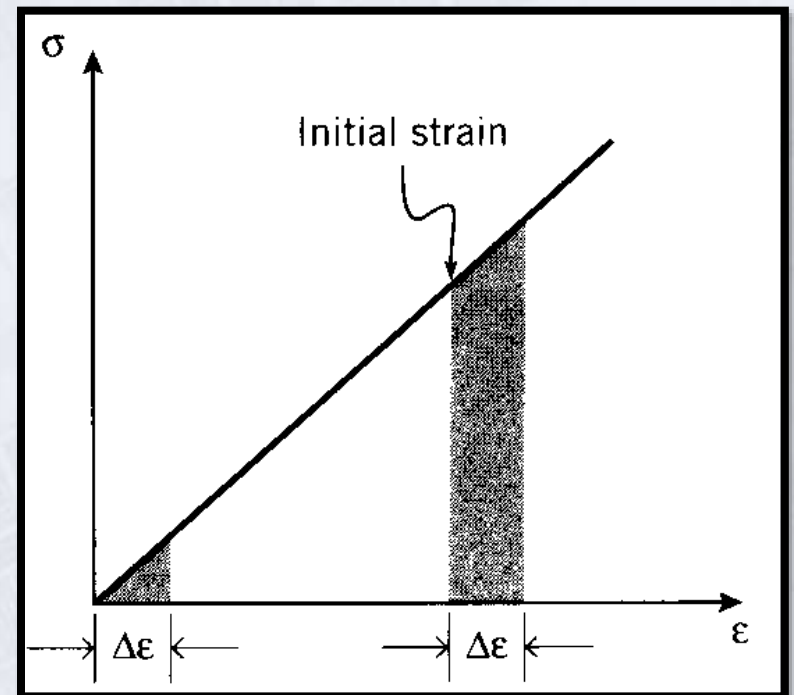
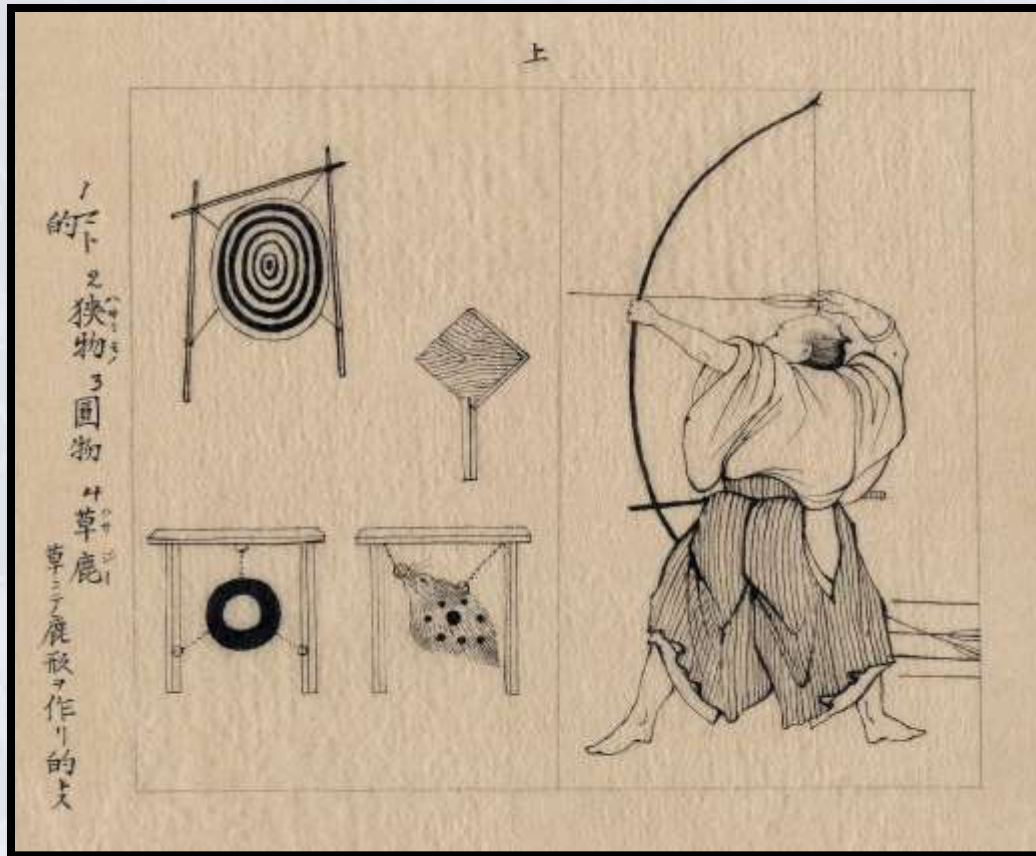
Καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης

Ο λόγος τάσης προς παραμόρφωση στην ελαστική περιοχή είναι το **μέτρο ελαστικότητας, E**, ή **μέτρο του Young** (προς τιμήν του Βρεττανού επιστήμονα T. Young, 1773–1829):

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Αυτή η γραμμική σχέση είναι γνωστή ως **νόμος του Hooke** (προς τιμήν του Βρεττανού φυσικού R. Hooke, 1635–1703).

Καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης

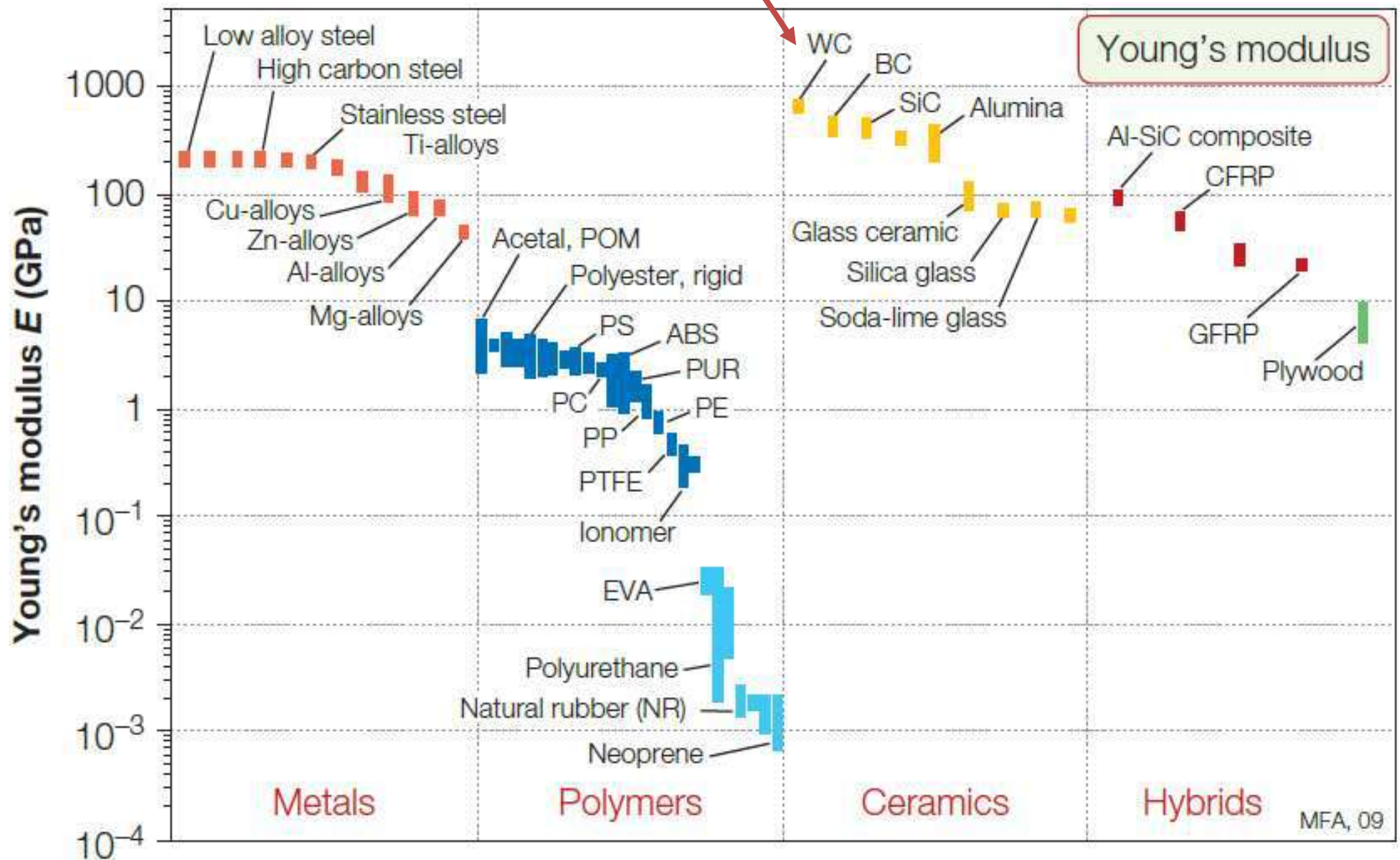


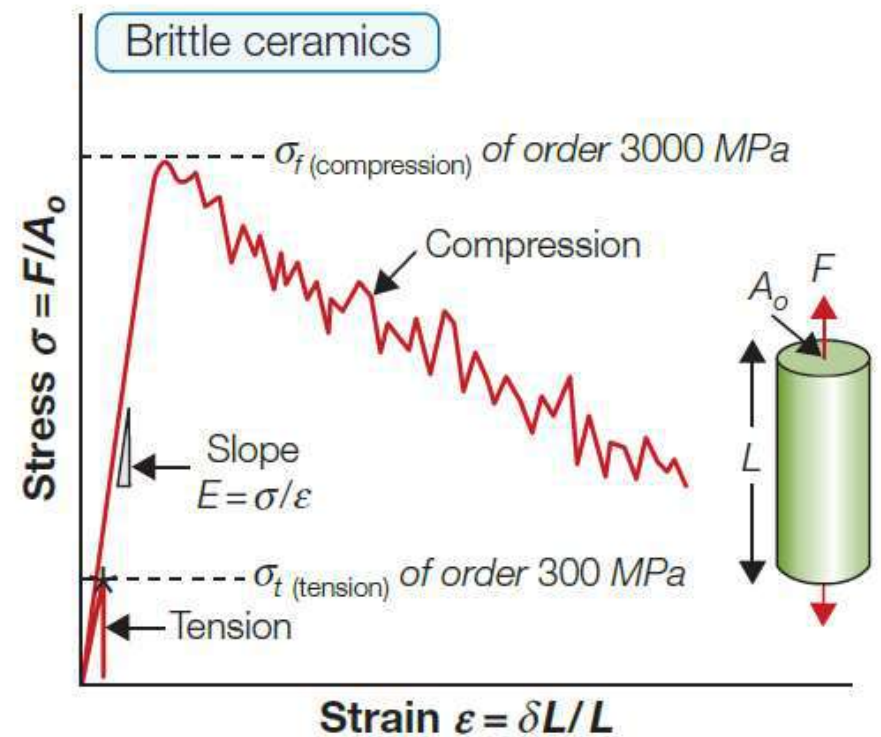
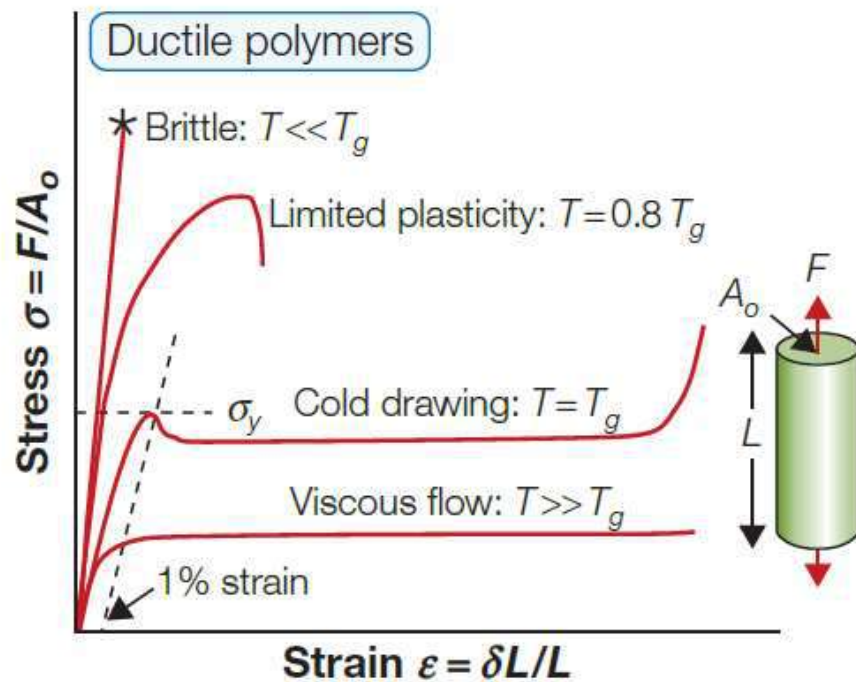
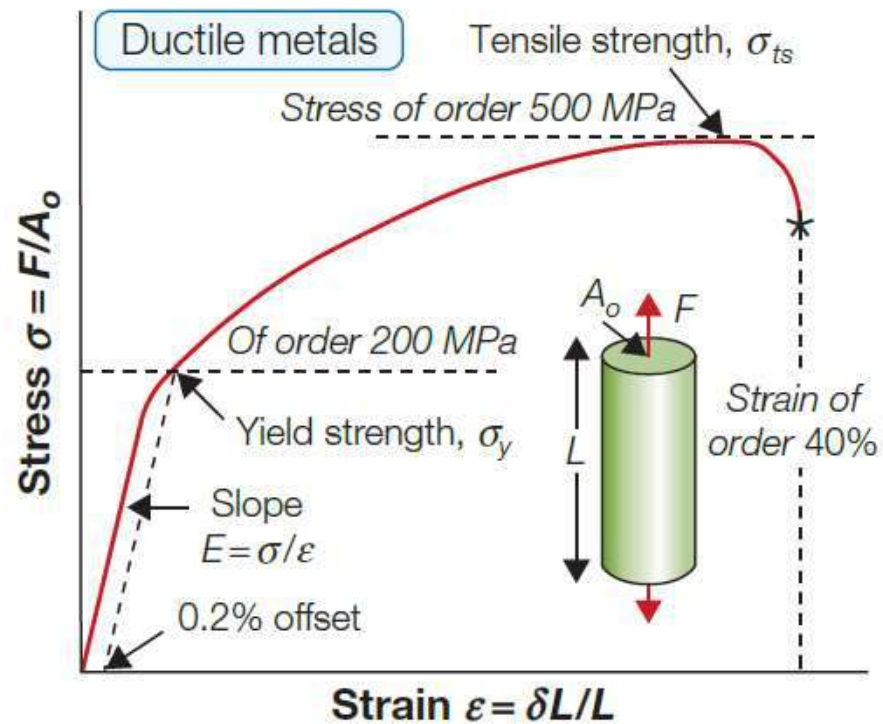
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2
Μηχανικές ιδιότητες επιλεγμένων υλικών σε θερμοκρασία δωματίου

Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Όριο διαρροής (MPa)	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό (MPa)	Επιμήκυνση σε δείγμα 50 mm (%)	Λόγος Poisson, ν
Μέταλλα (κατεργάσιμη μορφή)					
Αλουμίνιο & κράματά του	69–79	35–550	90–600	45–4	0.31–0.34
Χαλκός & κράματά του	105–150	76–110	140–1310	65–3	0.33–0.35
Μόλυβδος & κράματά του	14	14	20–55	50–9	0.43
Μαγνήσιο & κράματά του	41–45	130–305	240–380	21–5	0.29–0.35
Μολυβδένιο & κράματά του	330–360	80–2070	90–2340	40–30	0.32
Νικέλιο & κράματά του	180–214	105–1200	345–1450	60–5	0.31
Χάλυβες	190–210	205–1725	415–1750	65–2	0.28–0.33
Τιτάνιο & κράματά του	80–130	344–1380	415–1450	25–7	0.31–0.34
Βολφράμιο & κράματά του	350–400	550–690	620–760	0	0.27
Ψευδάργυρος & κράματά του	50	25–180	240–550	65–5	0.27
Μη-μεταλλικά υλικά					
Κεραμικά	70–1000	—	140–2600	0	0.2
Διαμάντι	820–1050	—	60,000	—	0.2
Γυαλί & πορσελάνη	70–80	—	140	0	0.24
Καρβίδιο πυριτίου (SiC)	200–500	—	310–400	—	0.19
Νιτρίδιο πυριτίου (Si ₃ N ₄)	280–310	—	160–580	—	0.26
Ελαστομερή	0.01–0.1	—	—	—	0.5
Θερμοπλαστικά	1.4–3.4	—	7–80	1000–5	0.32–0.40
Θερμοπλαστικά, ενισχυμένα	2–50	—	20–120	10–1	0–0.5
Θερμοσκληραινόμενα	3.5–17	—	35–170	0	0.34–0.5
Ίνες βορίου	380	—	3500	0	0.27
Ίνες άνθρακα	275–415	—	2000–3000	0	0.21–0.28
Ίνες γυαλιού	73–85	—	3500–4600	0	0.22–0.26
Ίνες Kevlar	62–117	—	2800	0	0.36
Ίνες SPECTRA	73–100	—	2400–2800	3	0.46

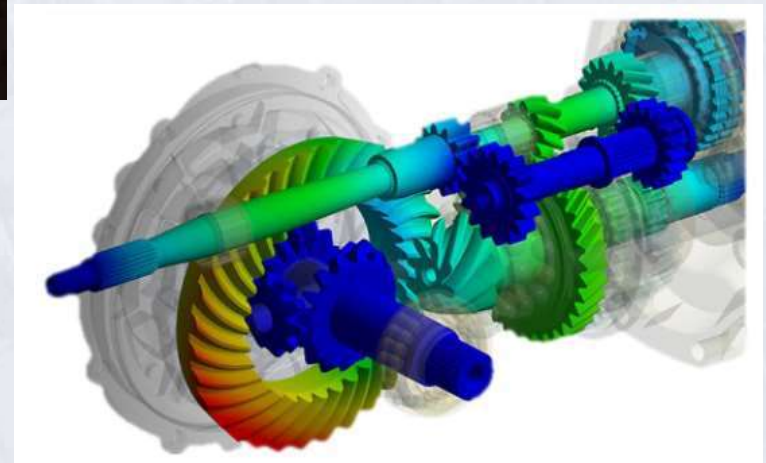
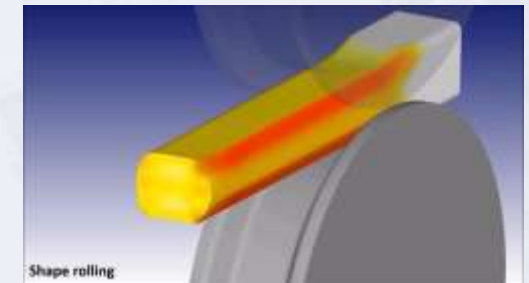
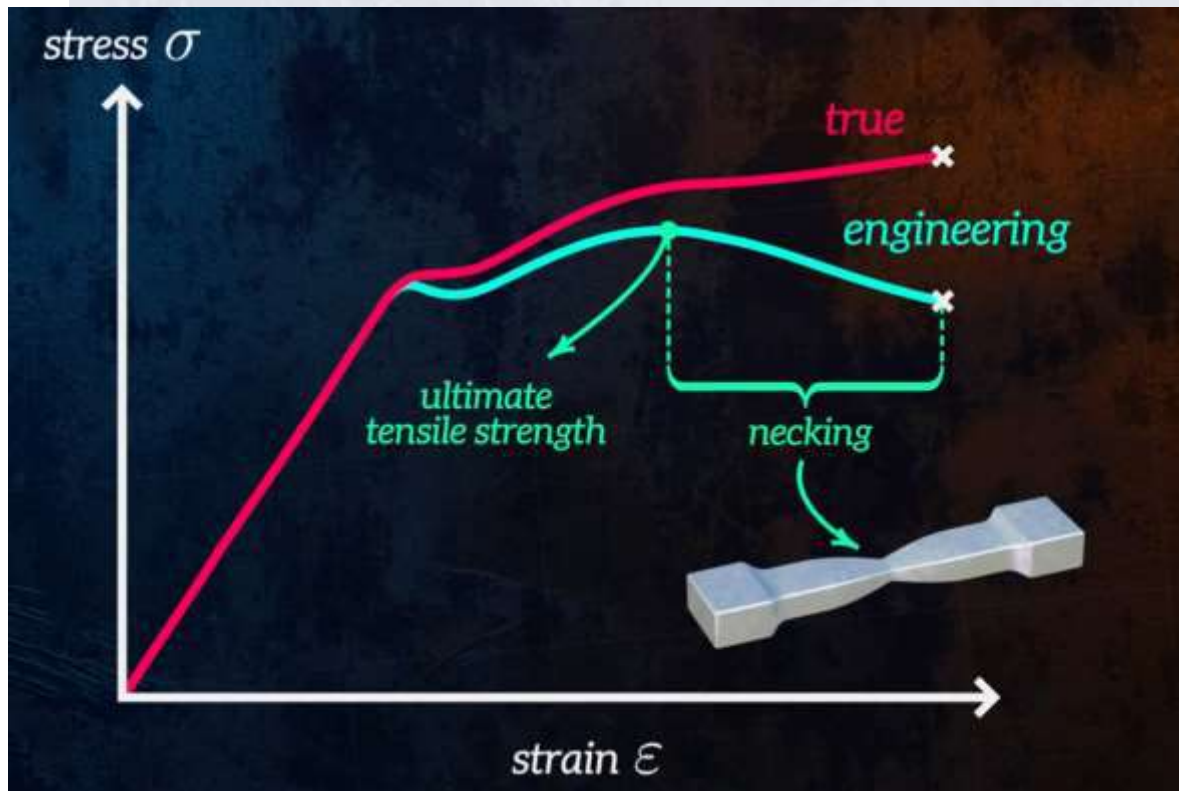
Σημείωση: Στο πρώτο τμήμα του πίνακα, οι ελάχιστες τιμές των E , Y , UTS και οι μέγιστες τιμές επιμήκυνσης αφορούν καθαρά μέταλλα. Μετατροπή τιμών σε psi (λίμπρες ανά τετραγωνική ίντσα) με πολλαπλασιασμό (α) gigapascal (GPa) επί 145,000 και (β) megapascal (MPa) επί 145.

Graphene: 2.4 TPa



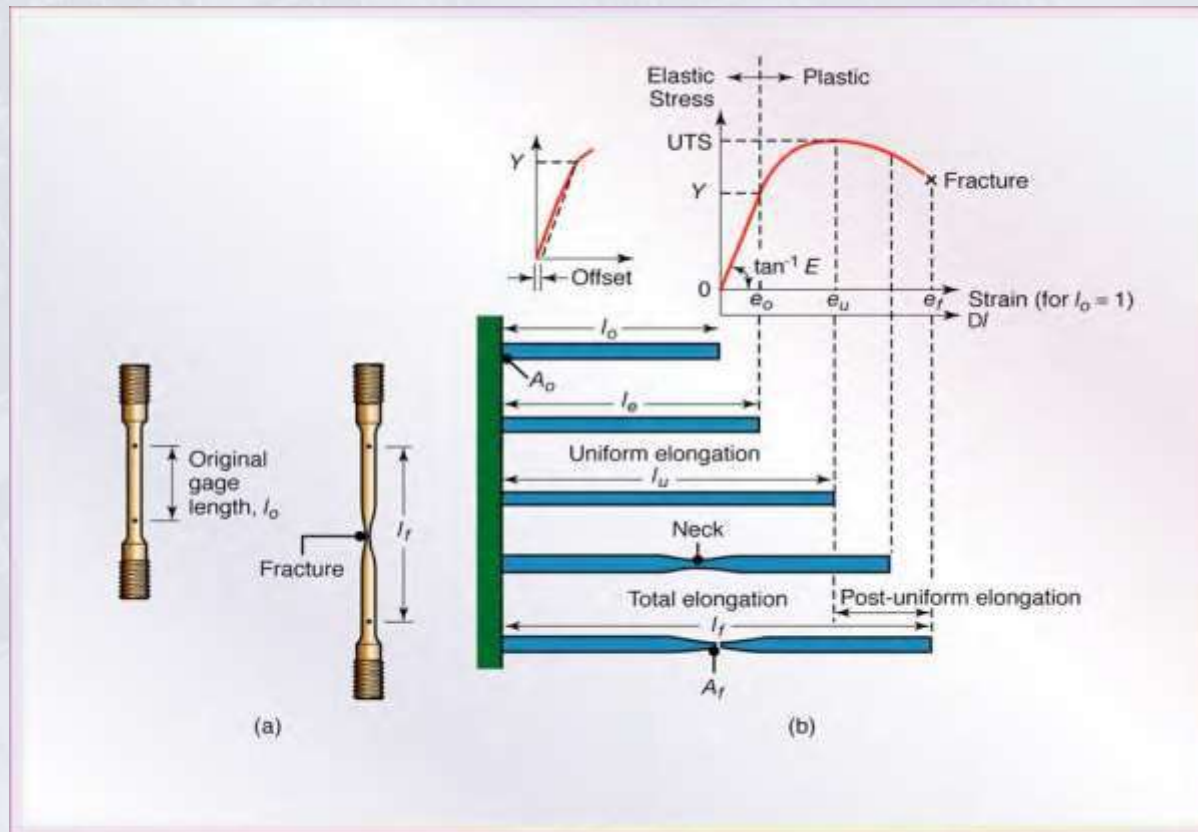


Πραγματική τάση και πραγματική παραμόρφωση



(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Δοκιμή εφελκυσμού (tension test)



$$\text{Engineering Stress, } \sigma = \frac{P}{A_o}$$

$$\text{Engineering Strain, } e = \frac{l - l_o}{l_o}$$

$$\text{Modulus of Elasticity, } E = \frac{\sigma}{e}$$

$$\text{True stress, } \sigma = \frac{P}{A}$$

$$\text{True strain, } \varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_o}\right)$$

Figure: (α) Τυποποιημένο δοκίμιο εφελκυσμού πριν και μετά τη δοκιμή, χαρακτηρισμένο με το αρχικό και τελικό μήκος μέτρησης. (β) Η κατά στάδια συμπεριφορά του δοκιμίου σε μία δοκιμή εφελκυσμού.

Πραγματική τάση και πραγματική παραμόρφωση

$$A_0 L_0 = A_i L_i$$

$$A_i = \frac{A_0 L_0}{L_i}$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A_i} = \frac{F L_i}{A_0 L_0}$$

$$\varepsilon_{eng} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \left[\frac{L_i}{L_0} - 1 \right]$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0} (\varepsilon_{eng} + 1)$$

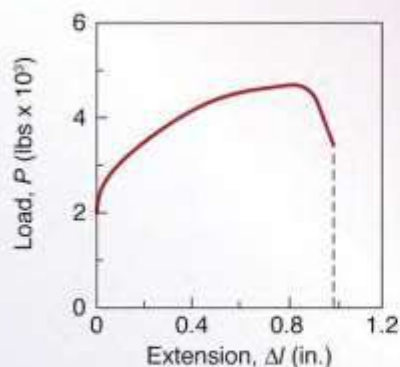
$$\sigma_t = \sigma_{eng} (\varepsilon_{eng} + 1)$$

$$\varepsilon_t = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

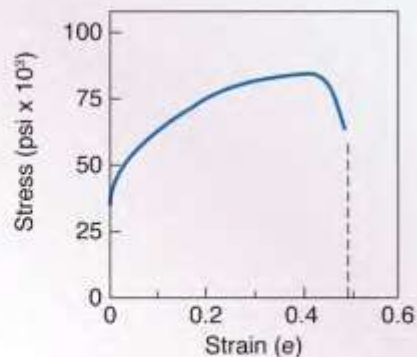
$$\frac{L_i}{L_0} - 1$$

$$\varepsilon_t = \ln(\varepsilon_{eng} + 1)$$

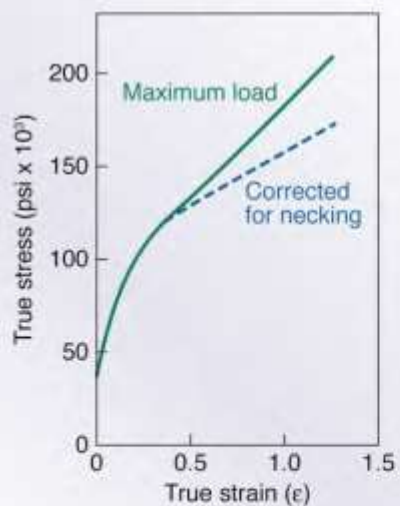
Πραγματική τάση και πραγματική παραμόρφωση



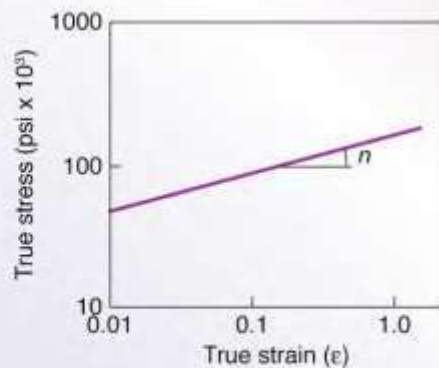
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure: (α) Καμπύλη φορτίου-επιμήκυνσης για δοκιμή εφελκυσμού με δοκίμιο από ανοξείδωτο χάλυβα.

(β) Καμπύλη μηχανικής τάσης–μηχανικής παραμόρφωσης, από τα δεδομένα του Σχ. α.

(γ) Καμπύλη πραγματικής τάσης – πραγματικής παραμόρφωσης, από τα δεδομένα του Σχ. β. Σημειώστε ότι αυτή η καμπύλη έχει θετική κλίση, υποδεικνύοντας ότι το υλικό γίνεται ισχυρότερο καθώς καταπονείται.

(δ) Καμπύλη πραγματικής τάσης–πραγματικής παραμόρφωσης σε πλήρως λογαριθμικό γράφημα, από τα δεδομένα του Σχ. γ.

Πραγματική τάση και πραγματική παραμόρφωση

TABLE 2.3

Typical Values for K and n at Room Temperature

	K (MPa)	n
Aluminum		
1100 -O	180	0.20
2024 -T4	690	0.16
6061 -O	205	0.20
6061 -T6	410	0.05
7075 -O	400	0.17
Brass		
70-30, annealed	900	0.49
85-15, cold-rolled	580	0.34
Cobalt-based alloy, heat-treated	2070	0.50
Copper, annealed	315	0.54
Steel		
Low-C annealed	530	0.26
4135 annealed	1015	0.17
4135 cold-rolled	1100	0.14
4340 annealed	640	0.15
304 stainless, annealed	1275	0.45
410 stainless, annealed	960	0.10

$$\sigma = K \varepsilon^n$$

Όπου:

K = συντελεστής αντοχής
(strength coefficient)

n = εκθέτης κράτυνσης
(work/strain hardening)

Πραγματική τάση και πραγματική παραμόρφωση

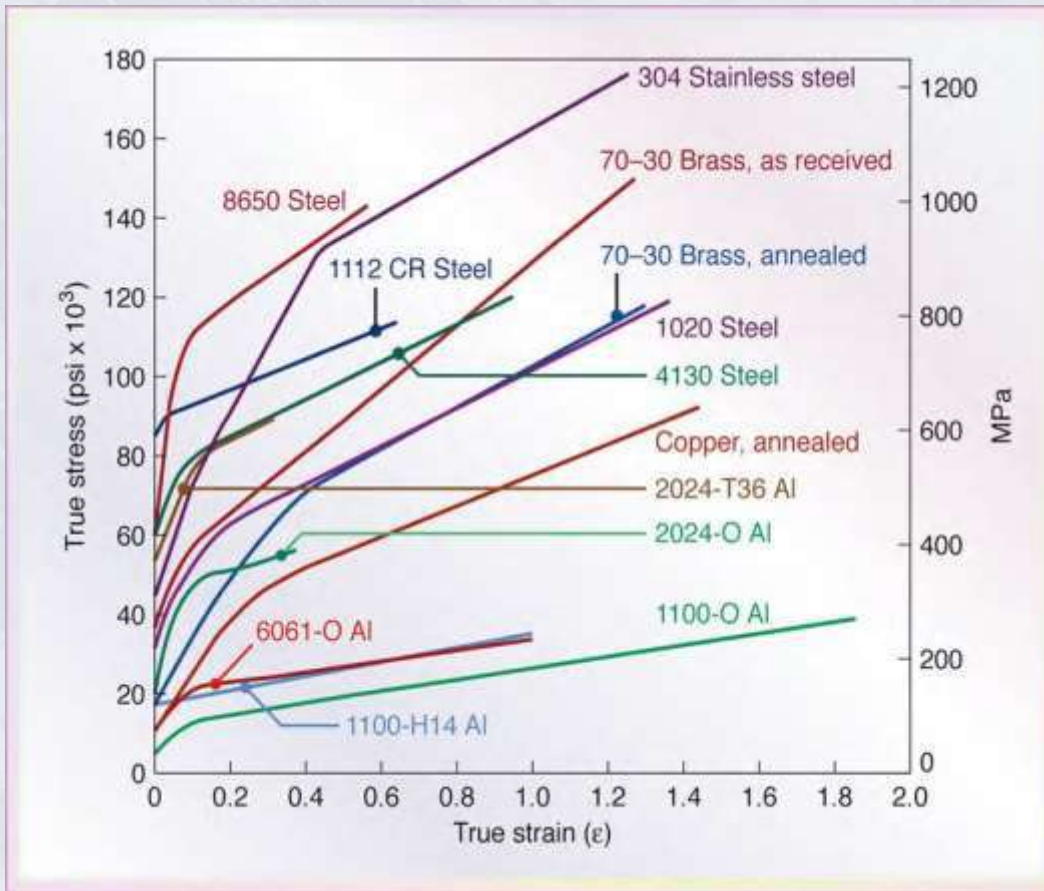
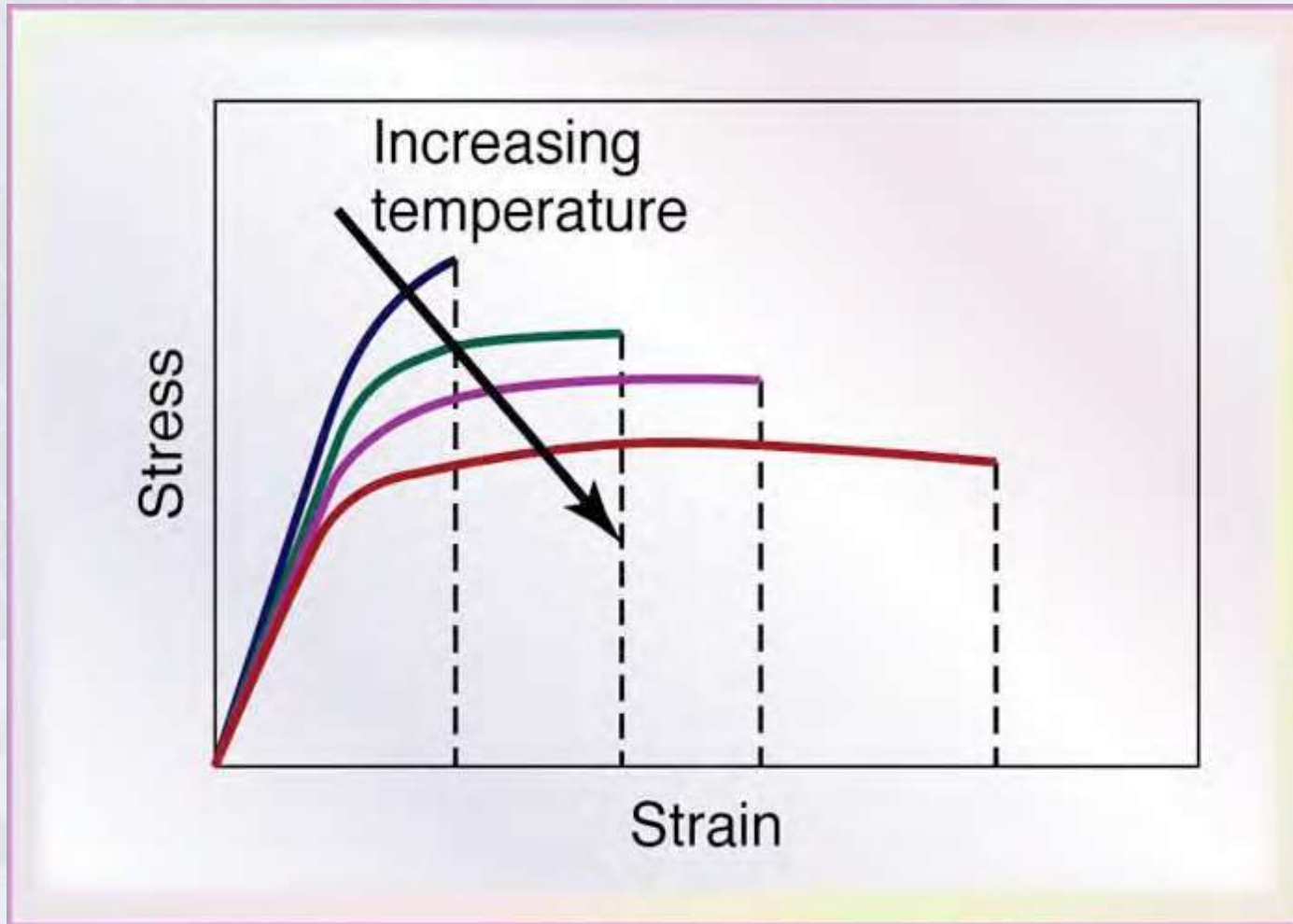


Figure: Καμπύλες πραγματικής τάσης–πραγματικής παραμόρφωσης σε εφελκυσμό, για διάφορα μέταλλα σε θερμοκρασία δωματίου· οι καμπύλες ξεκινούν από πεπερασμένη στάθμη τάσης. Οι περιοχές ελαστικής συμπεριφοράς έχουν υπερβολικά απότομη κλίση ώστε να είναι δυνατή η απόδοσή τους σε αυτό το σχήμα· για τον λόγο αυτό, κάθε καμπύλη ξεκινά από το όριο διαρροής, Y , του υλικού.

Επίδραση θερμοκρασίας στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης



Επίδραση θερμοκρασίας στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης

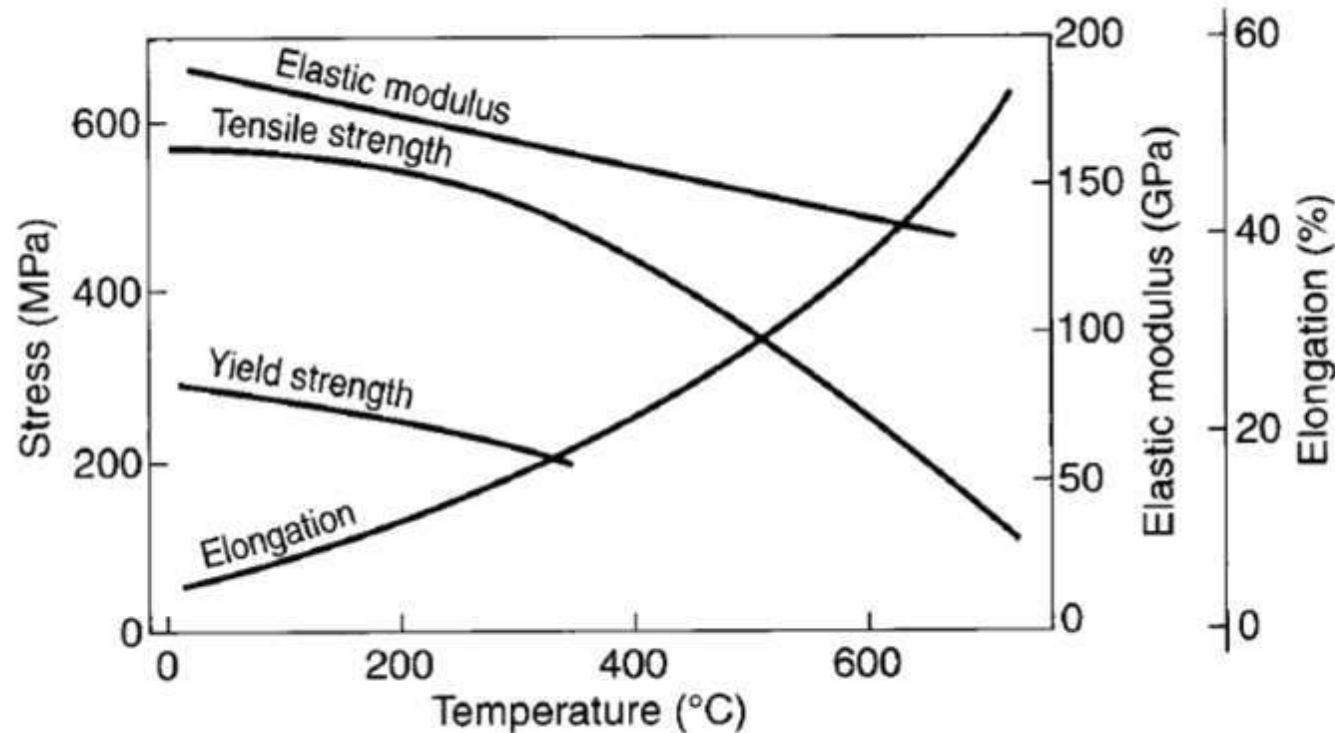
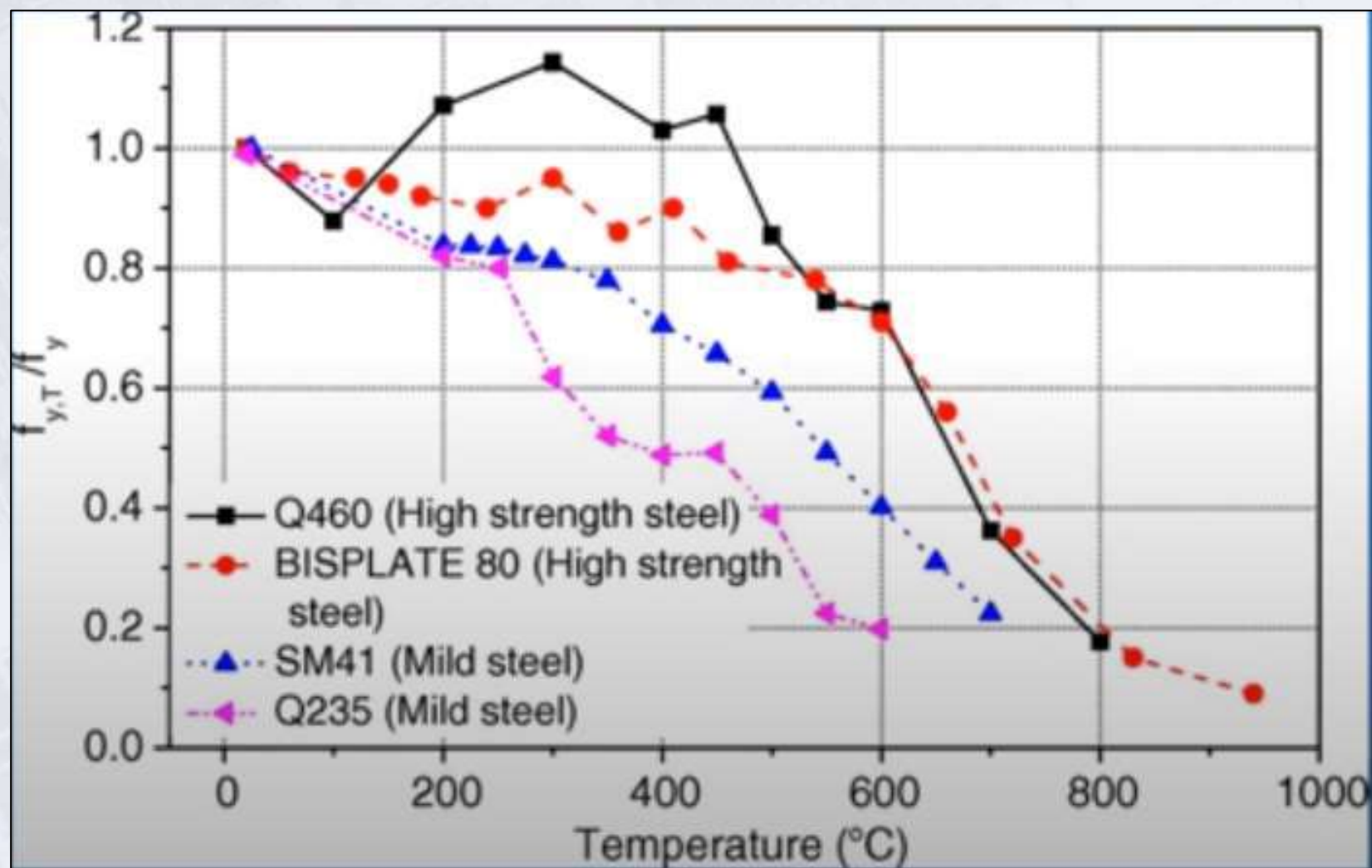


Figure: Επίδραση της θερμοκρασίας στις μηχανικές ιδιότητες ενός ανθρακούχου χάλυβα· τα περισσότερα υλικά επιδεικνύουν παρόμοια ευαισθησία των ιδιοτήτων τους (μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε διαρροή, όριο αντοχής και ολκιμότητα) έναντι της θερμοκρασίας.

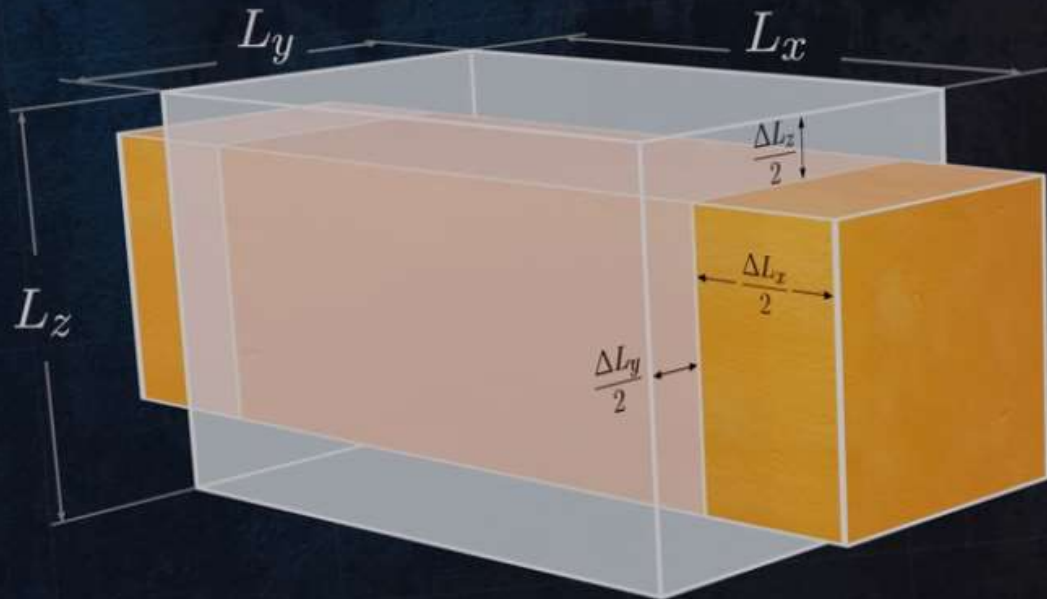
Επίδραση θερμοκρασίας στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης



Υπερπλαστικότητα - Superplasticity

- Ο όρος υπερπλαστικότητα (superplasticity) αναφέρεται στην ευχέρεια ορισμένων υλικών να υφίστανται μεγάλη ομοιόμορφη επιμήκυνση πριν επέλθει δημιουργία λαιμού και θραύση υπό εφελκυσμό.
- Η επιμήκυνση κυμαίνεται από λίγες ποσοστιαίες μονάδες έως και 2000%.
- Κοινά μη-μεταλλικά υλικά που επιδεικνύουν υπερπλαστική συμπεριφορά είναι το γυαλί (σε υψηλές θερμοκρασίες) και τα θερμοπλαστικά· για τον λόγο αυτό, το γυαλί και τα θερμοπλαστικά μπορούν να διαμορφώνονται αποτελεσματικά σε ποικιλία πολύπλοκων σχημάτων.
- Στα μέταλλα που επιδεικνύουν υπερπλαστική συμπεριφορά συγκαταλέγονται τα πολύ λεπτόκοκκα (10 έως 15 μm) κράματα τιτανίου και τα κράματα ψευδαργύρου-αλουμινίου· όταν θερμαίνονται, μπορούν να επιμηκύνονται κατά πολλαπλάσια του αρχικού τους μήκους.

Λόγος Poisson - ν



POISSON'S RATIO

$$\nu = \frac{-\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{longitudinal}}$$

isotropic

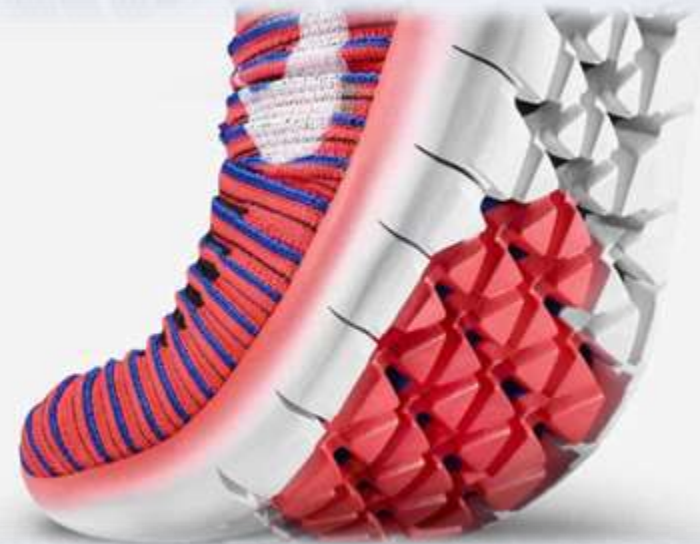
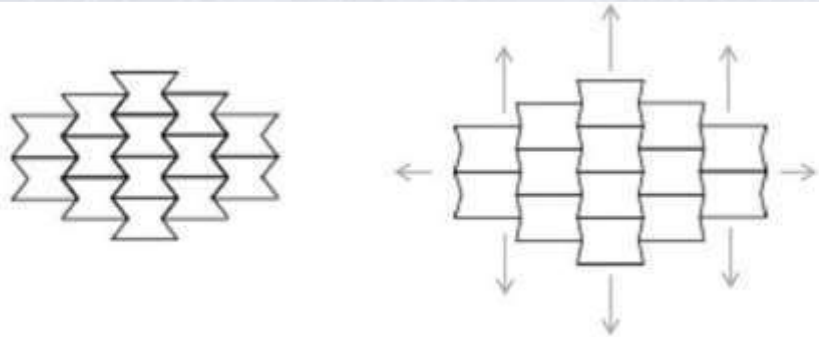
elastic



$$\nu = 0.3 \left\{ \begin{array}{l} \epsilon_{longitudinal} = +10.00\% \\ \epsilon_{lateral} = -3.00\% \end{array} \right.$$



Λόγος Poisson - ν



(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Θλίψη - Compression

- Σε πολλές κατεργασίες, όπως η σφυρηλάτηση, η έλαση και η διέλαση, το τεμάχιο υποβάλλεται σε θλιπτικές δυνάμεις.
- Η δοκιμή θλίψης (compression test), κατά την οποία το δοκίμιο υποβάλλεται σε θλιπτικό φορτίο, δίνει πληροφορία η οποία βοηθά στην εκτίμηση των δυνάμεων και των απαιτήσεων ισχύος γι' αυτές τις κατεργασίες. Αυτή η δοκιμή διεξάγεται συνήθως συμπιέζοντας ένα συμπαγές κυλινδρικό δοκίμιο ανάμεσα σε δύο επίπεδες πλάκες.
- Φαινόμενο Bauschinger (strain softening ή work softening).

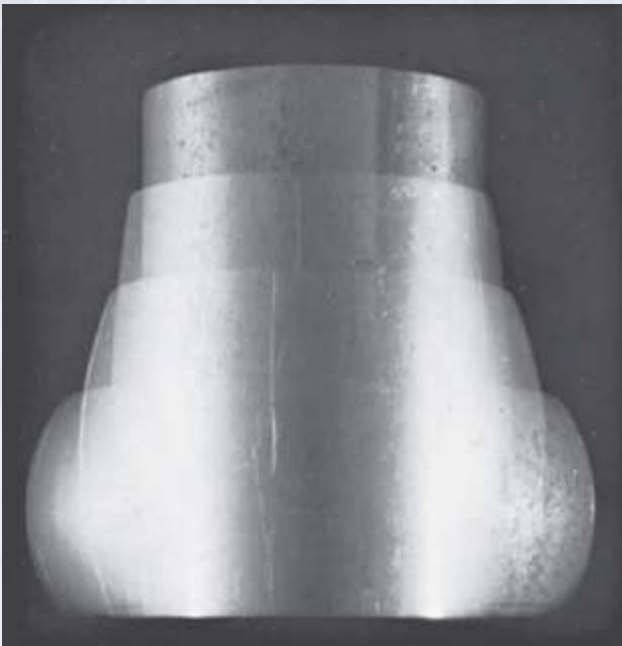
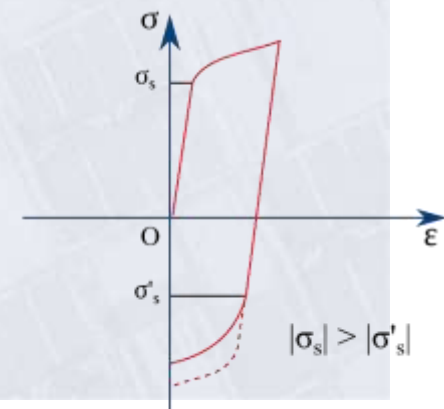
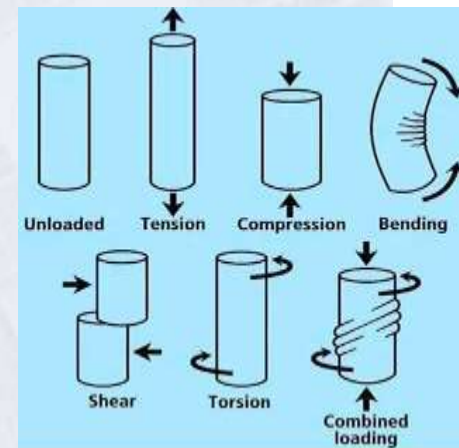


Figure: Βαρελοποίηση κατά τη θλίψη στρογγυλού, συμπαγούς κυλινδρικού δοκιμίου (από αλουμίνιο 7075- O) ανάμεσα σε επίπεδες μήτρες. Η βαρελοποίηση προκαλείται από την τριβή στις διεπιφάνειες μήτρας-δοκιμίου, η οποία εμποδίζει την ελεύθερη ροή υλικού.



Δοκιμή δίσκου - Disk Test

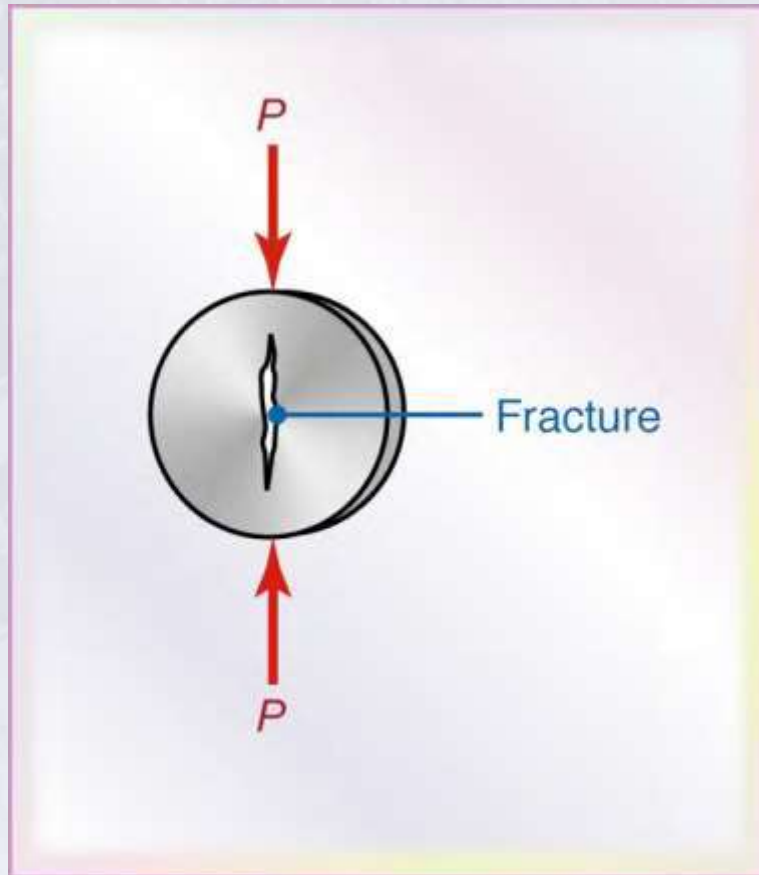


Figure: Δοκιμή δίσκου σε ψαθυρό υλικό.
Υποδεικνύονται η διεύθυνση φόρτισης και η
διαδρομή θραύσης.

$$\text{Tensile stress, } \sigma = \frac{2P}{\pi dt}$$

Όπου:

P = φορτίο

d = διάμετρος του δίσκου

t = πάχος του δίσκου

Για ψαθυρά υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η δοκιμή δίσκου, κατά την οποία ένας δίσκος υποβάλλεται σε διαμετρικές θλιπτικές δυνάμεις ανάμεσα σε δύο σκληρές επίπεδες πλάκες.

Στρέψη – Torsion Test

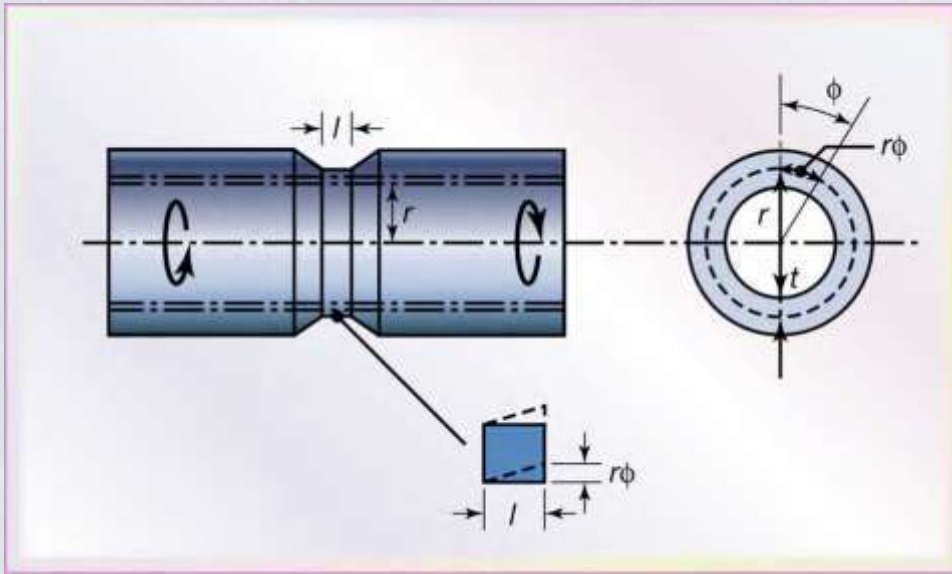


Figure: Τυπικό δοκίμιο για δοκιμή στρέψης· στερεώνεται ανάμεσα στις δύο κεφαλές μιας μηχανής δοκιμών και υφίσταται συστροφή. Παρατηρήστε τη διατμητική παραμόρφωση ενός στοιχείου στο στενευμένο τμήμα του δοκιμίου.

$$\text{Shear stress, } \tau = \frac{T}{2\pi r^2 t}$$

$$\text{Shear strain, } \gamma = \frac{r\phi}{l}$$

Όπου:

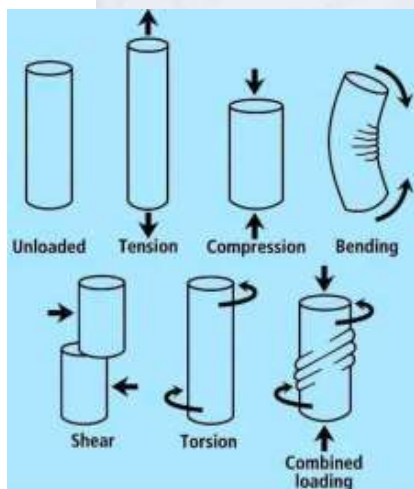
T = Ροπή στρέψης

r = μέση ακτίνα του σωλήνα

t = πάχος του σωλήνα στο στενό τμήμα του

l = μήκος του σωληνοειδούς τμήματος

ϕ = γωνία συστροφής



(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Δοκιμές Κάμψης

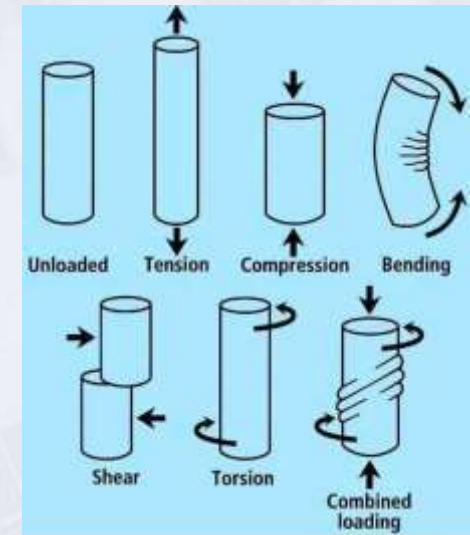
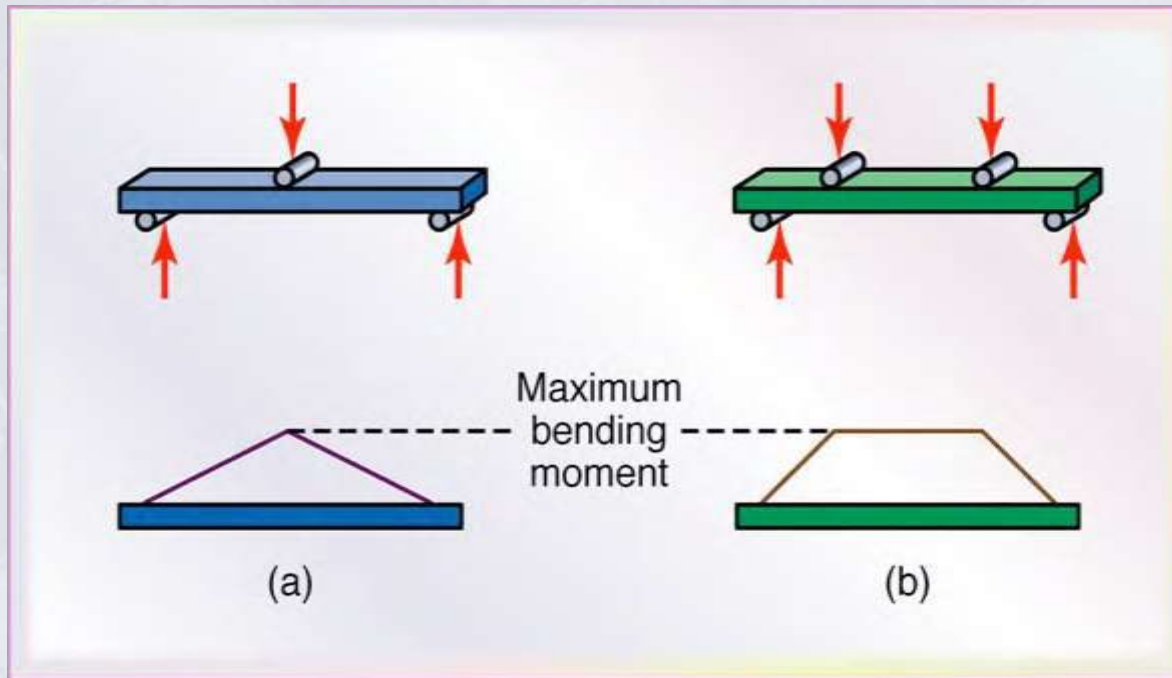


Figure: Δύο μέθοδοι δοκιμών κάμψης για ψαθυρά υλικά: (α) τριών σημείων και (β) τεσσάρων σημείων. Οι περιοχές πάνω από τις δοκούς αναπαριστούν διαγράμματα ροπής-κάμψης, τα οποία περιγράφονται σε συγγράμματα μηχανικής στερεών. Παρατηρήστε την περιοχή σταθερής μέγιστης ροπής κάμψης στο (β)· αντίθετως, η μέγιστη ροπή κάμψης εμφανίζεται μόνο στο κέντρο του δοκιμίου του (α).

Δοκιμές Σκληρότητας

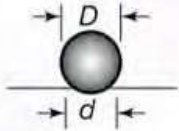
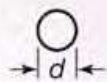
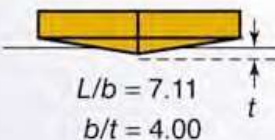
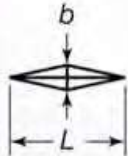
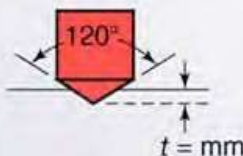
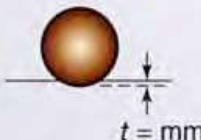
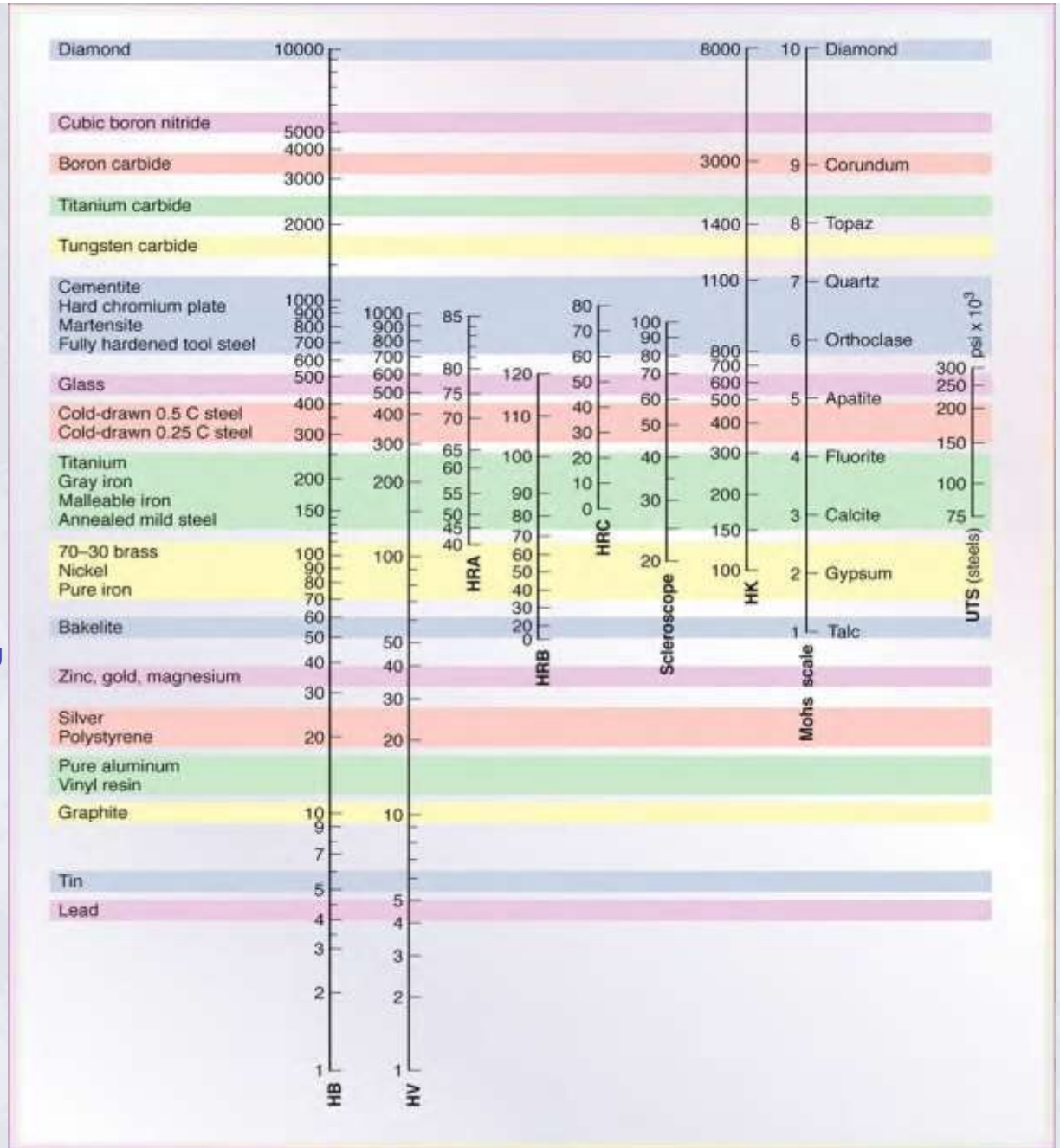
Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25 g-5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Diamond cone			60 kg 150 kg 100 kg	$\left. \begin{matrix} HRA \\ HRC \\ HRD \end{matrix} \right\} = 100 - 500t$
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ - in. diameter steel ball			100 kg 60 kg 150 kg	$\left. \begin{matrix} HRB \\ HRF \\ HRG \end{matrix} \right\} = 130 - 500t$
E	$\frac{1}{8}$ - in. diameter steel ball			100 kg	HRE

Figure: Γενικά χαρακτηριστικά μεθόδων ελέγχου σκληρότητας και εκφράσεις υπολογισμού της.

Δοκιμές Σκληρότητας

Figure 2.14 Διάγραμμα αντιστοιχίσεων για μετατροπή μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων σκληρότητας. Αξίζει να σημειωθεί το περιορισμένο εύρος των περισσότερων κλιμάκων. Λόγω των πολλών εμπλεκόμενων παραγόντων, αυτές οι μετατροπές είναι προσεγγιστικές.



Δοκιμές Σκληρότητας – Δοκιμή Leeb



Δοκιμές Σκληρότητας

Επειδή η σκληρότητα είναι αντίσταση σε μόνιμη διείσδυση, μπορεί να παρομοιαστεί με την εκτέλεση μιας δοκιμής θλίψης σε έναν μικρό όγκο επί της επιφάνειας ενός υλικού. Μελέτες έχουν δείξει ότι η σκληρότητα ενός μετάλλου ψυχρής κατεργασίας είναι περίπου τριπλάσια από το όριο διαρροής του. Για μέταλλα ανόπτησης, η σκληρότητα είναι περίπου πενταπλάσια του ορίου διαρροής.

Για χάλυβες, έχει καθοριστεί μία σχέση ανάμεσα στο όριο αντοχής σε εφελκυσμό (UTS) και τη σκληρότητα Brinell (HB), βάσει μετρήσεων με φορτίο 3000 kg. Για το μετρικό σύστημα (SI), η σχέση αυτή είναι:

$$\text{UTS} \approx 3.5(\text{HB})$$

όπου το UTS δίνεται σε MPa.

Κόπωση / καμπύλες S-N

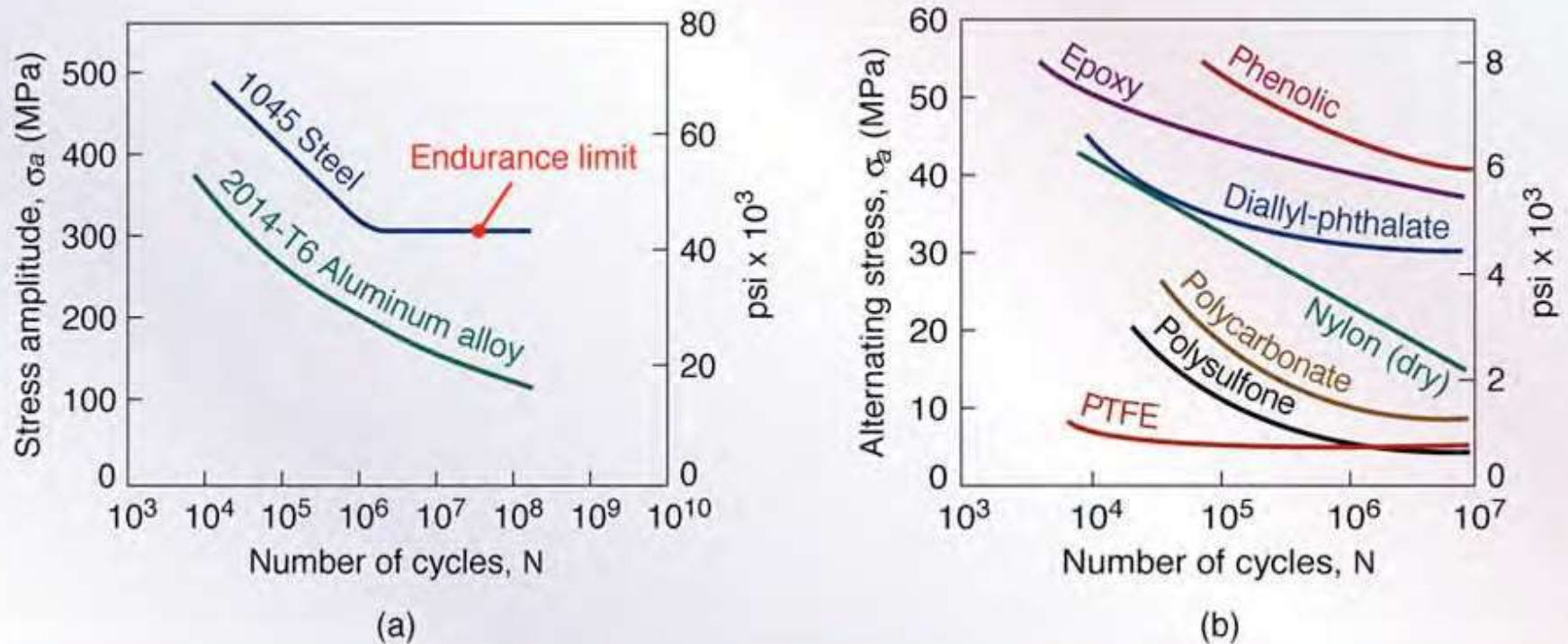


Figure: (α) Τυπικές καμπύλες S–N για δύο μέταλλα· παρατηρήστε ότι, ανάμοια με τον χάλυβα, το αλουμίνιο δεν έχει συγκεκριμένο όριο κόπωσης (endurance limit). (β) Καμπύλες S–N για ορισμένα πολυμερή.

Κόπωση / καμπύλες S-N

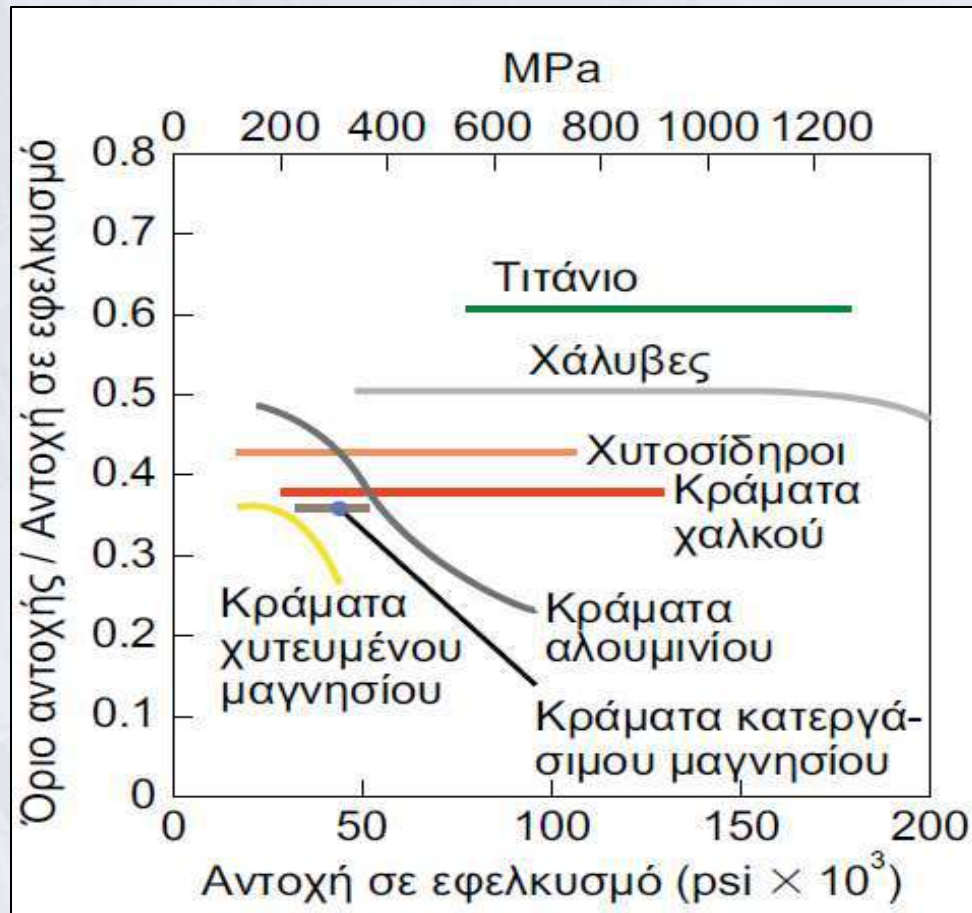


Figure: Λόγος ορίου αντοχής προς αντοχή σε εφελκυσμό για διάφορα μέταλλα, ως συνάρτηση της αντοχής σε εφελκυσμό.

Ερπυσμός

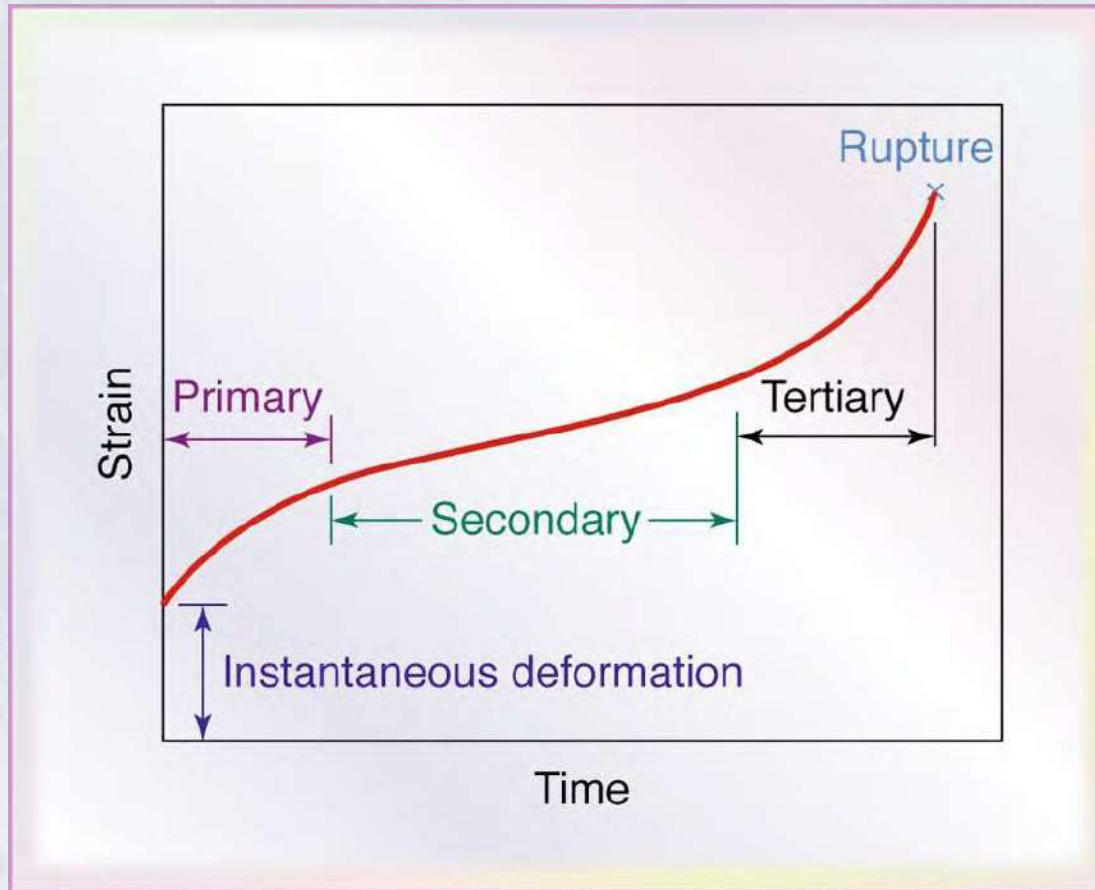


Figure: Σχηματική αναπαράσταση τυπικής καμπύλης ερπυσμού· το γραμμικό τμήμα της καμπύλης (στάδιο δευτερογενούς ερπυσμού) χρησιμοποιείται κατά τον σχεδιασμό εξαρτημάτων για συγκεκριμένη διάρκεια ζωής υπό ερπυσμό.

Δοκιμές κρούσης

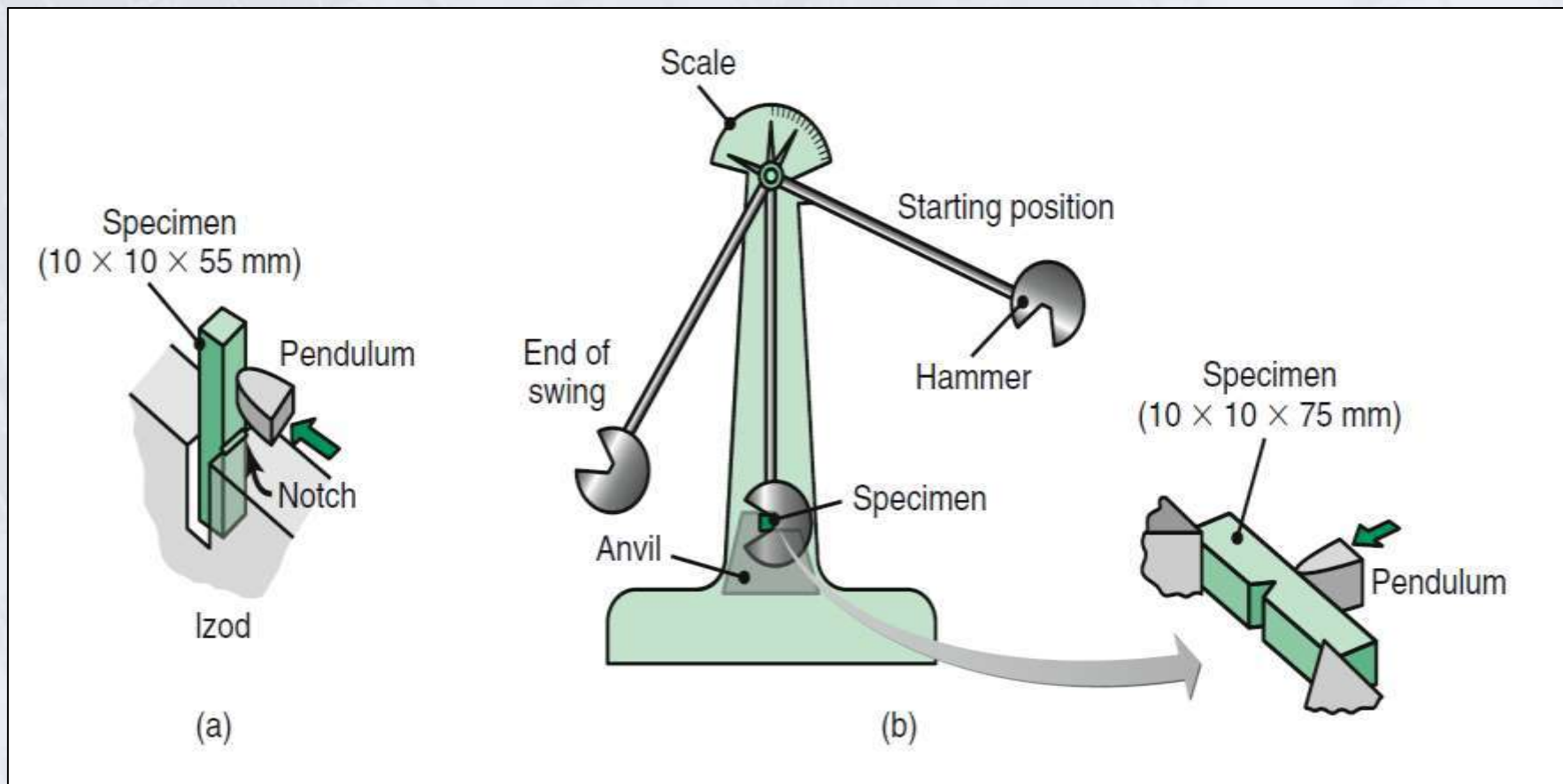


Figure: Δοκιμές κρούσης: (a) Charpy; (b) Izod.

Αστοχία και θραύση υλικών

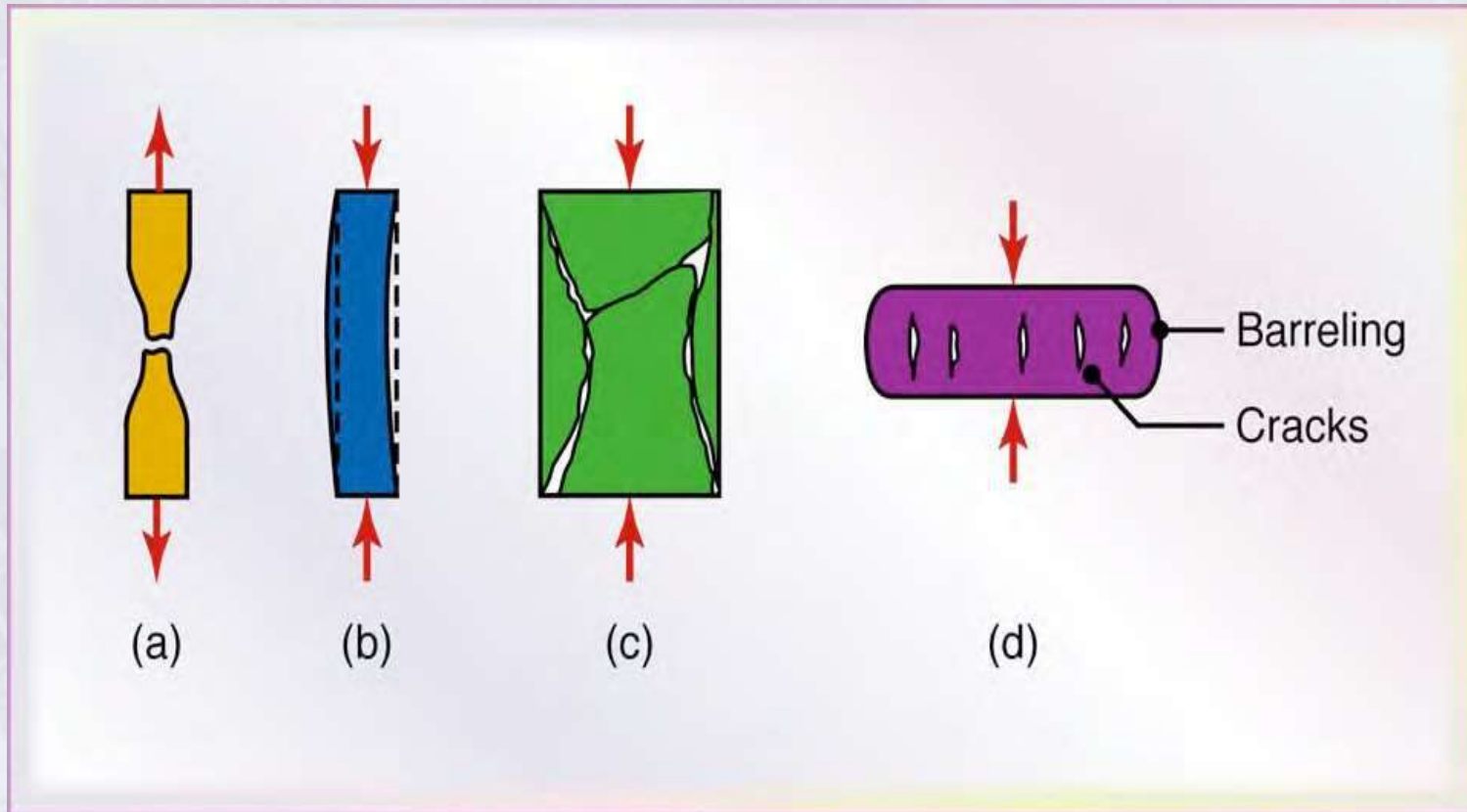


Figure: Μορφές αστοχίας υλικών: (α) δημιουργία λαιμού και θραύση όλκιμων υλικών, (β) λυγισμός όλκιμων υλικών υπό θλιπτικό φορτίο, (γ) θραύση ψαθυρών υλικών σε θλίψη και (δ) ρωγμές στη βαρελοποιημένη επιφάνεια όλκιμων υλικών σε θλίψη.

Αστοχία και θραύση υλικών

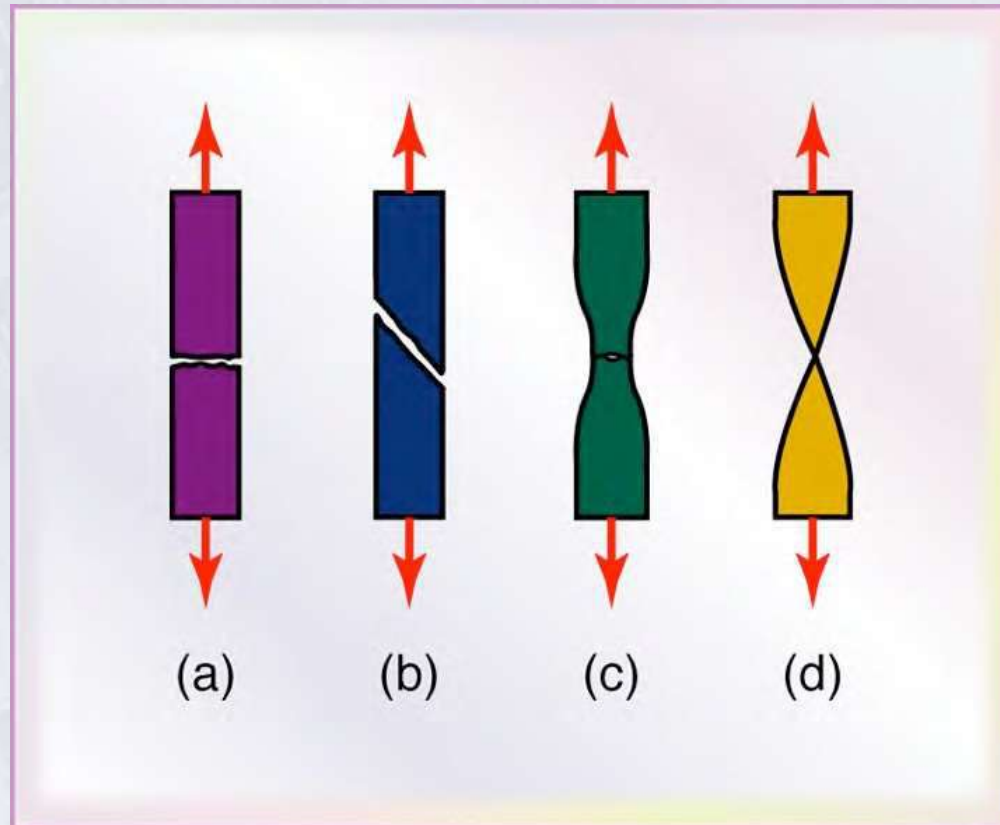
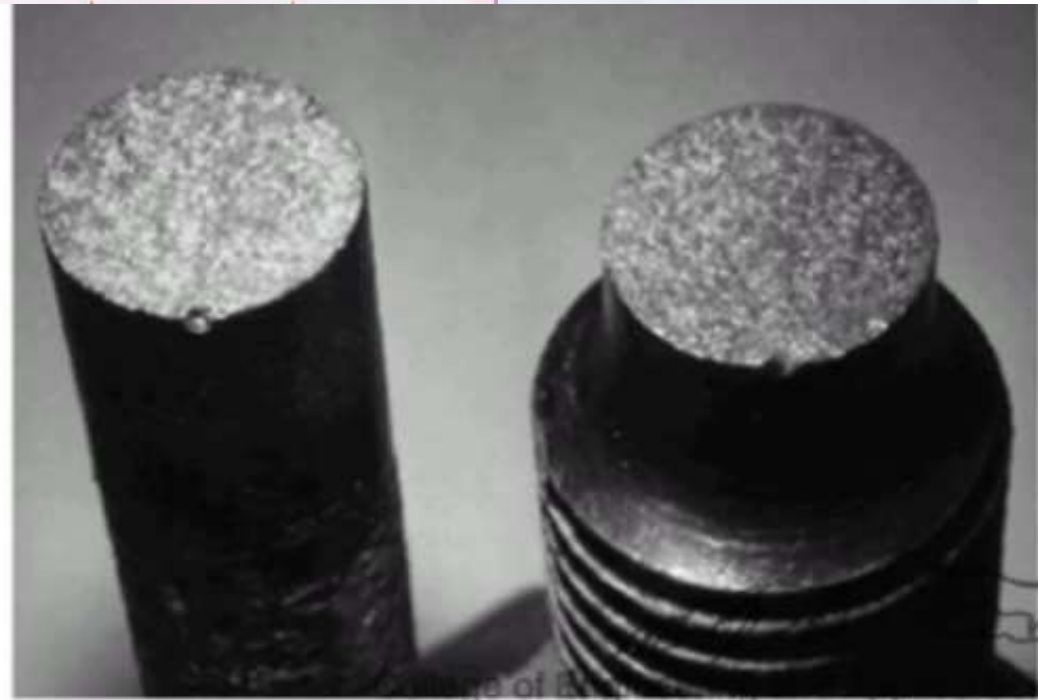
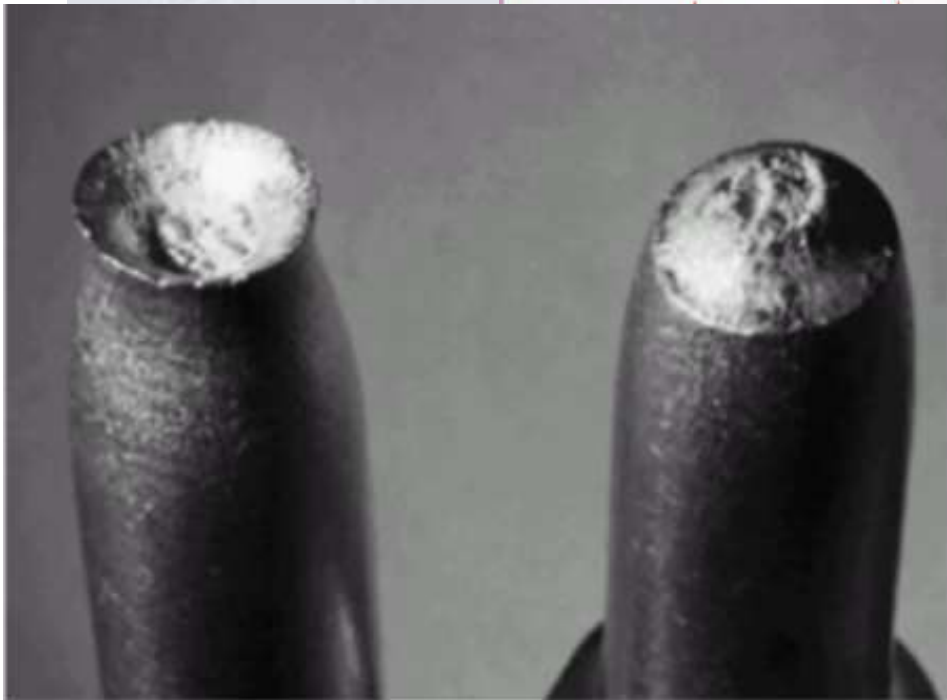


Figure: Σχηματική αναπαράσταση των τύπων θραύσης σε εφελκυσμό: (α) ψαθυρή θραύση σε πολυκρυσταλλικά μέταλλα, (β) όλκιμη θραύση λόγω διάτμησης, (γ) όλκιμη θραύση τύπου cup-and-cone σε πολυκρυσταλλικά μέταλλα, και (δ) πλήρως όλκιμη θραύση σε πολυκρυσταλλικά μέταλλα, με 100% μείωση επιφάνειας.

Αστοχία και θραύση υλικών



(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Αστοχία και θραύση υλικών

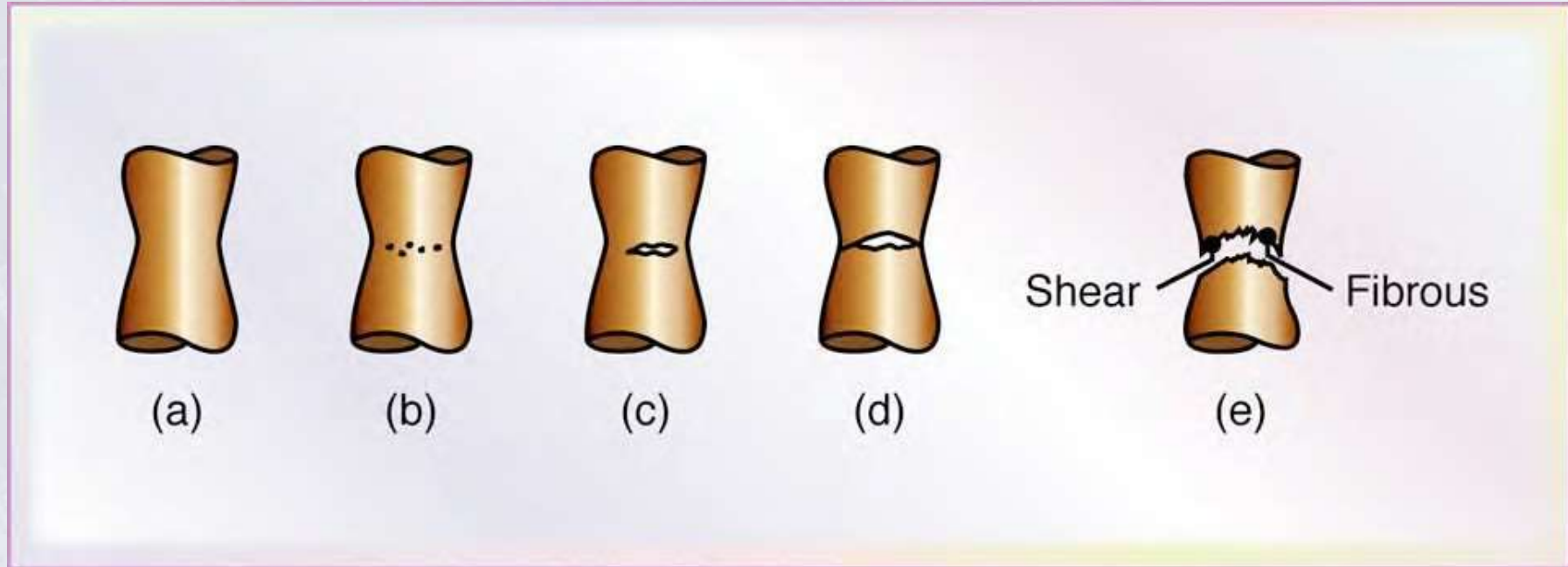
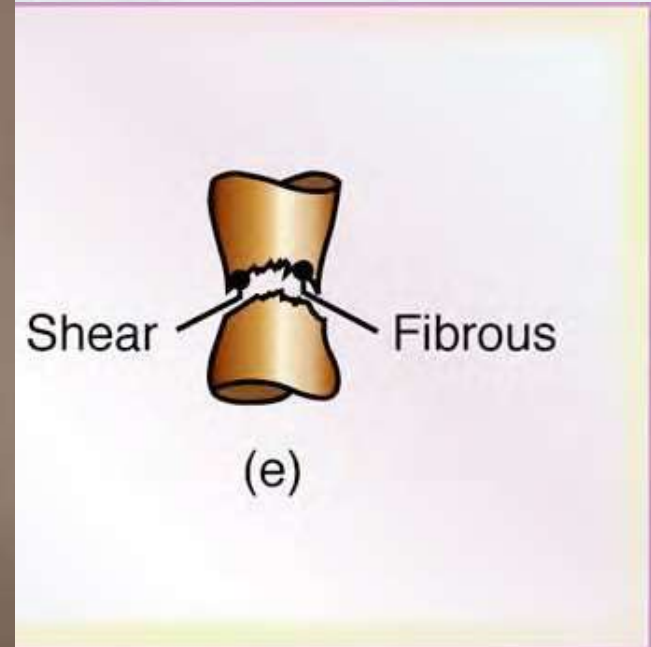


Figure: Στάδια δοκιμής εφελκυσμού, με δημιουργία λαιμού και θραύση δοκιμίου: (α) πρώιμο στάδιο δημιουργίας λαιμού· (β) αρχίζουν να σχηματίζονται μικρά κενά μέσα στην περιοχή λαιμού· (γ) τα κενά συνενώνονται, παράγοντας μία εσωτερική ρωγμή· (δ) η υπόλοιπη διατομή αρχίζει να αστοχεί από την περιφέρεια, λόγω διάτμησης· (ε) η τελική θραύση, τύπου cup and cone (όπου τα cup και cone αντιστοιχούν στην επάνω και κάτω επιφάνεια θραύσης).

Αστοχία και θραύση υλικών



θραύση δοκιμίου: (α) πρώιμο στάδιο μέσα στην περιοχή λαιμού· (γ) τα πόλοιπη διατομή αρχίζει να αστοχεί του cup and cone (όπου τα cup και

Θερμοκρασία μετάβασης (transition temperature)

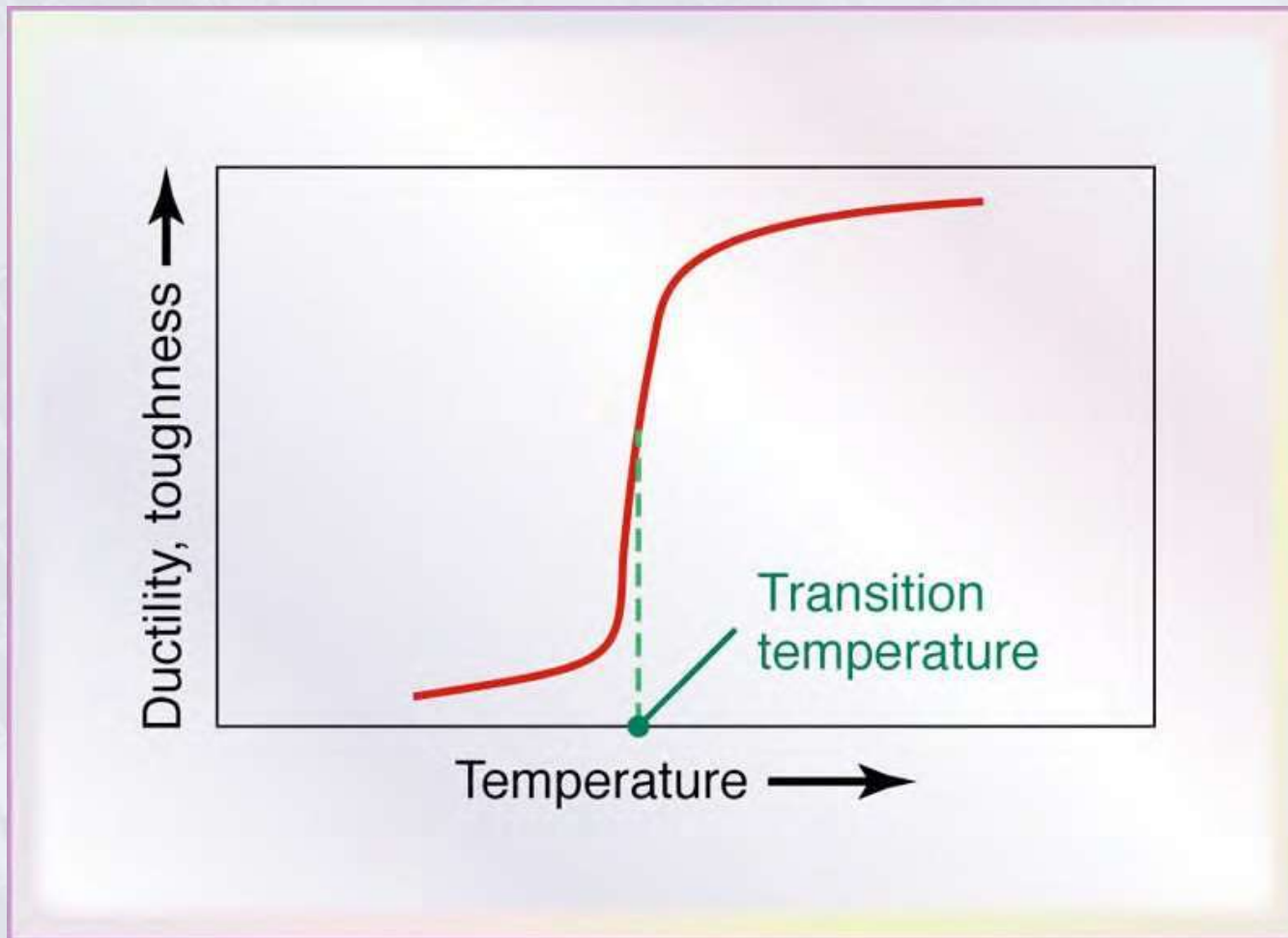


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της θερμοκρασίας μετάβασης σε μέταλλα.

Θερμοκρασία μετάβασης (transition temperature)



(με βάση Κεφ. 2, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Επιφάνεια θραύσης σε χάλυβα

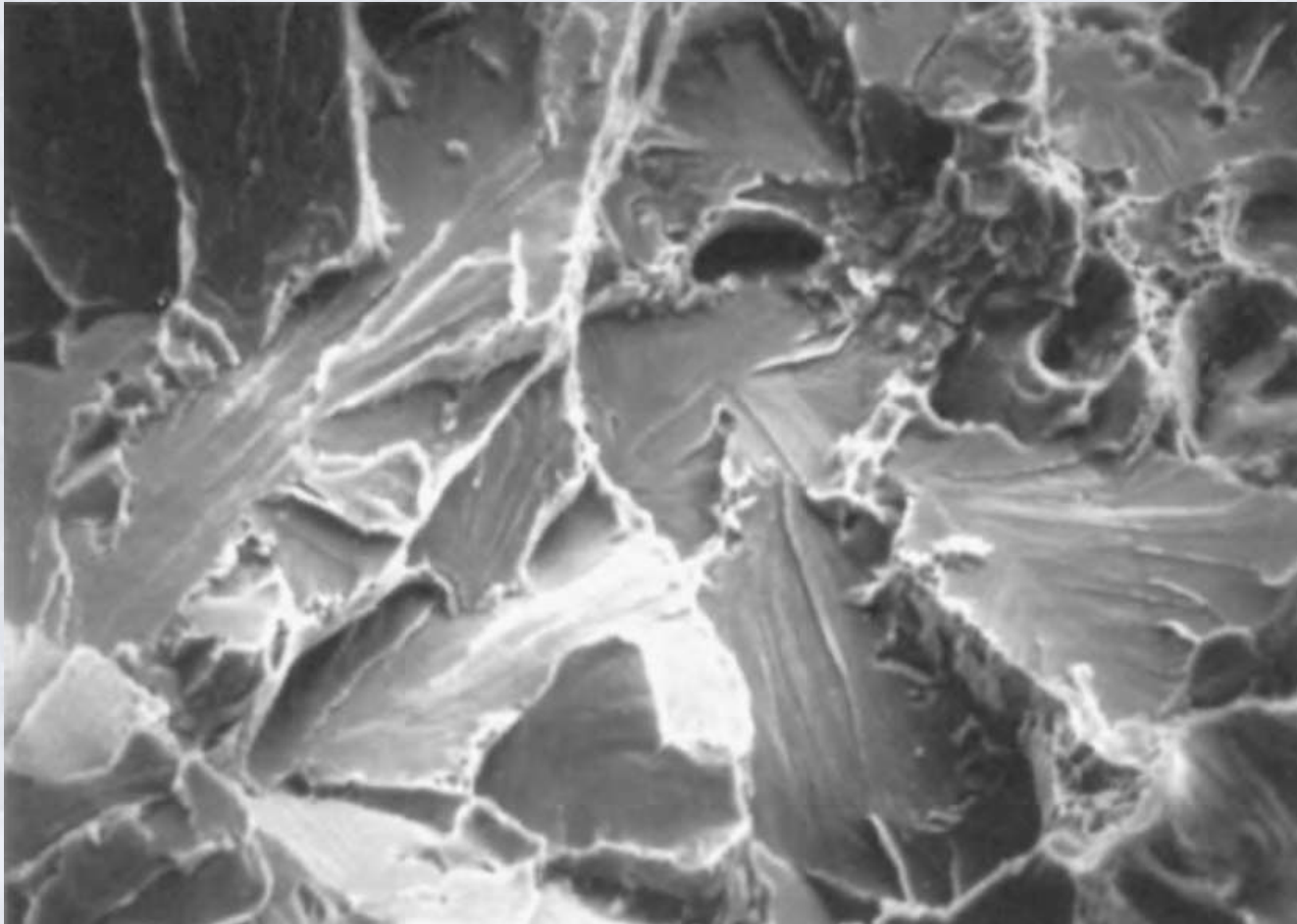


Figure: Επιφάνεια θραύσης σε χάλυβα που έχει αστοχήσει με ψαθυρό τρόπο· η διαδρομή θραύσης είναι ενδοκρυσταλλική (διαμέσου των κόκκων). Μεγέθυνση: 200 .
Πηγή: B.J. Schulze, S.L. Meiley & Packer Engineering Associates, Inc.

Περικρυσταλλική θραύση

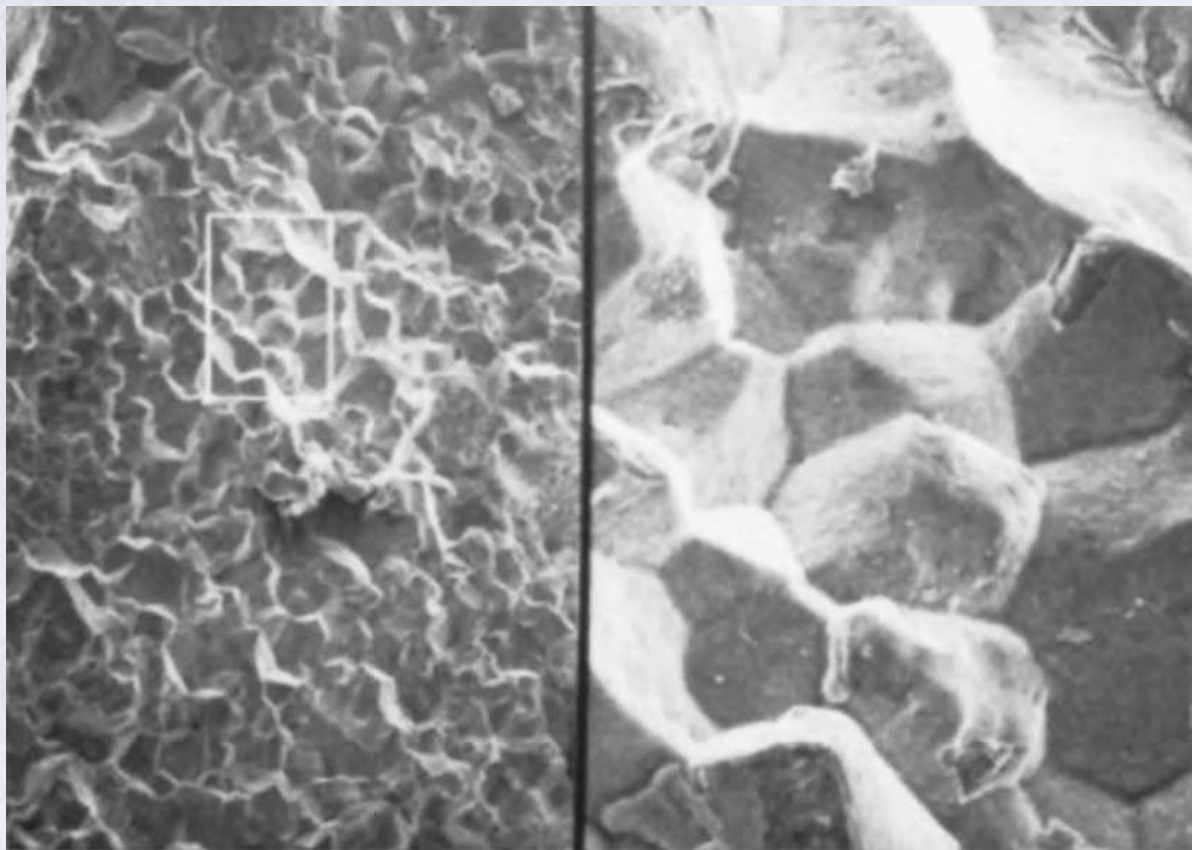


Figure: Περικρυσταλλική θραύση, σε δύο διαφορετικές μεγεθύνσεις, με ευδιάκριτους κόκκους και όρια κόκκων. Η διαδρομή θραύσης ακολουθεί τα όρια κόκκων.
Μεγέθυνση: αριστερά, 100· δεξιά, 500 . Πηγή: B.J. Schulze, S.L. Meiley & Packer Engineering Associates, Inc.

Θραύση λόγω κόπωσης

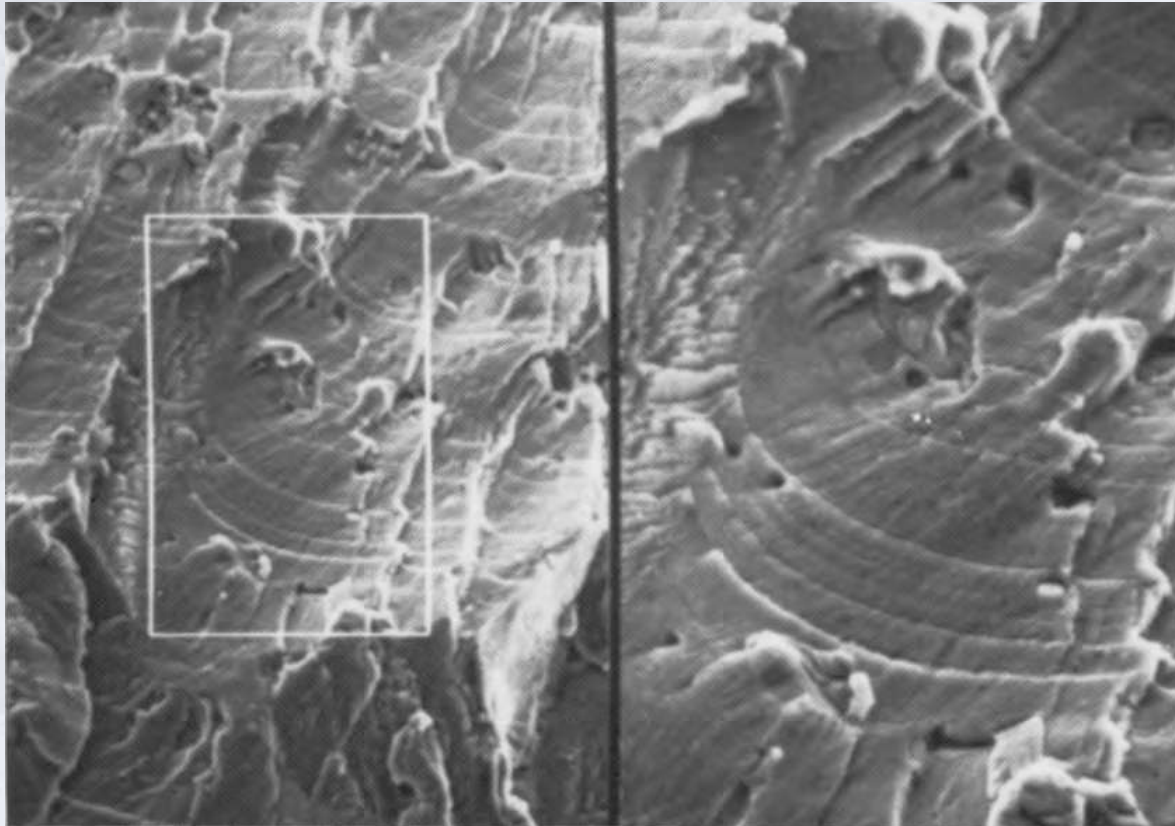


Figure: Τυπική επιφάνεια θραύσης λόγω κόπωσης σε μέταλλα, με εμφανείς πτυχώσεις. Μεγέθυνση: αριστερά, 500 · δεξιά, 1000 . Πηγή: B.J. Schulze, S.L. Meiley & Packer Engineering Associates, Inc.

Παραμένουσες Τάσεις

- ❑ Παραμένουσες τάσεις (residual stresses) σε ένα τεμάχιο μπορεί να αναπτυχθούν όταν αυτό υποβάλλεται σε πλαστική παραμόρφωση η οποία δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκτασή του.
- ❑ Αυτές οι τάσεις παραμένουν εντός του τεμαχίου αφού αυτό διαμορφωθεί και έχουν απομακρυνθεί όλες οι εξωτερικές δυνάμεις (εφαρμοζόμενες μέσω εργαλείων και μητρώων).

Παραμένουσες Τάσεις

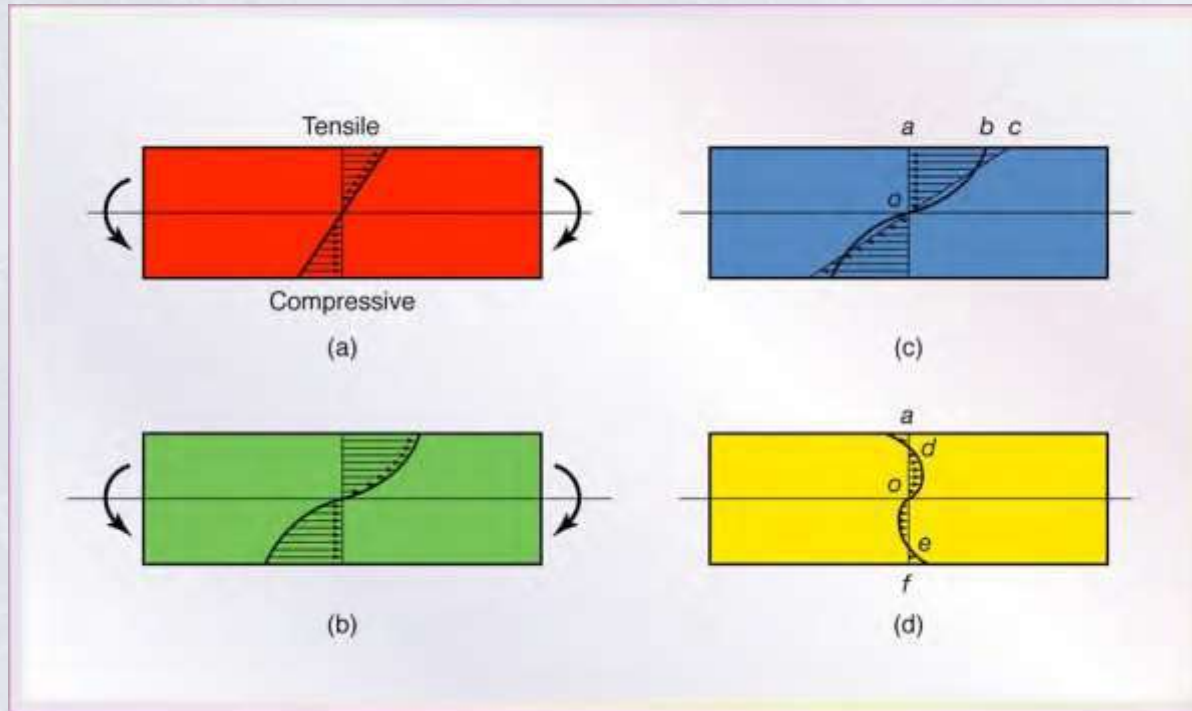


Figure: Παραμένουσες τάσεις που αναπτύσσονται κατά την κάμψη μιας δοκού με ορθογωνική διατομή· σημειώστε ότι οι οριζόντιες δυνάμεις και ροπές που προκαλούνται από παραμένουσες τάσεις στη δοκό πρέπει να ισορροπούνται εσωτερικά. Λόγω της μη-ομοιόμορφης παραμόρφωσης, ειδικά κατά τη διάρκεια μεταλλουργικών κατεργασιών εν ψυχρώ, τα περισσότερα εξαρτήματα αναπτύσσουν παραμένουσες τάσεις.

Παραμένουσες Τάσεις

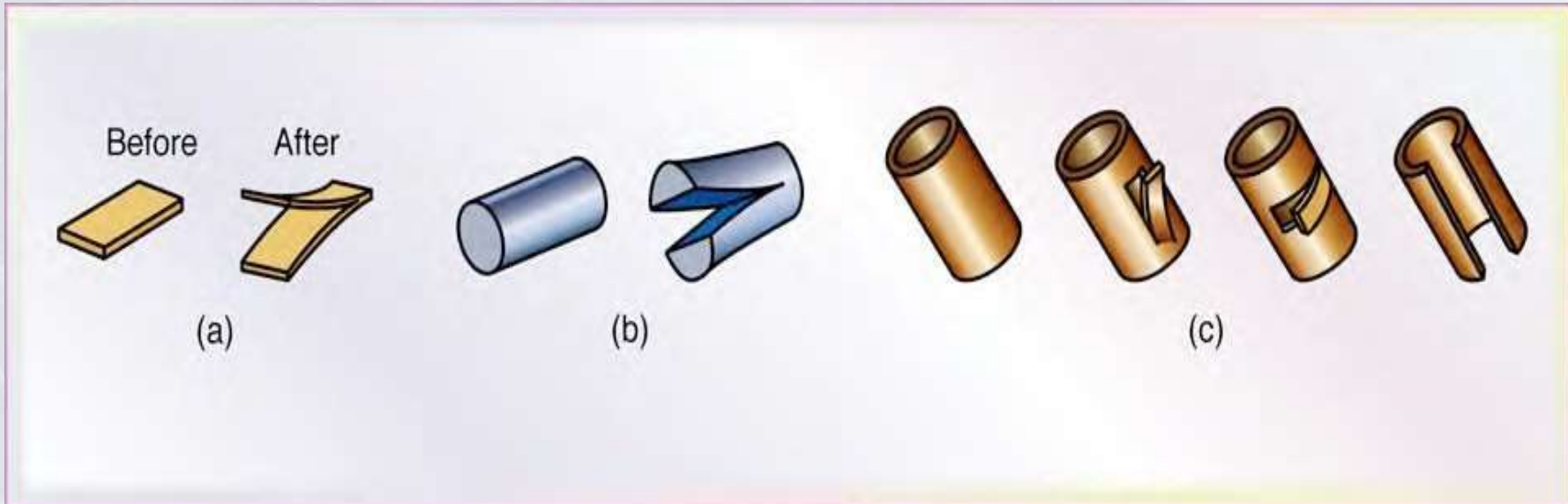


Figure: Παραμόρφωση εξαρτημάτων με παραμένουσες τάσεις μετά από κοπή ή διάσχιση: (α) επίπεδο έλασμα, (β) συμπαγής στρογγυλή ράβδος και (γ) σωλήνας με λεπτό τοίχωμα.

Παραμένουσες Τάσεις

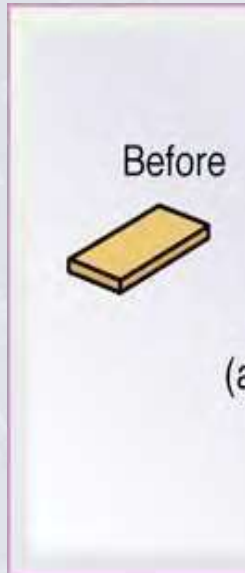


Figure: Παρα
επίπεδο έλα

