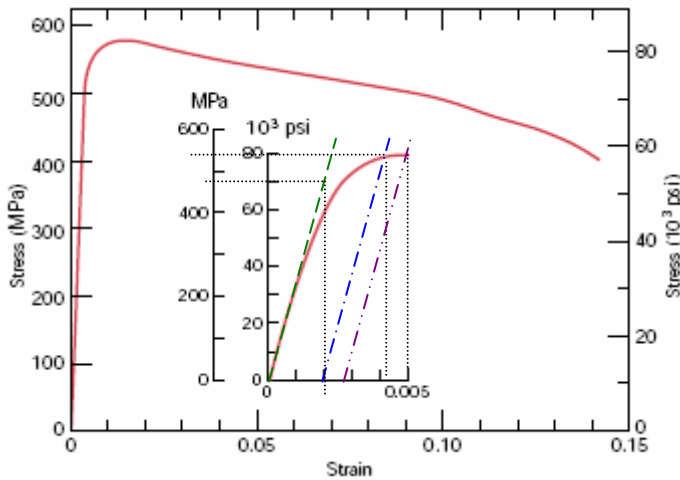


## Πλαστική παραμόρφωση



(1) Στο σχήμα αριστερά δίνεται το διάγραμμα ονομαστικής τάσης – παραμόρφωσης για έναν χάλυβα. Προσδιορίστε: (α) το μέτρο ελαστικότητας, (β) το συμβατικό όριο διαρροής για μόνιμη παραμόρφωση 0.002, (γ) την ελαστική παραμόρφωση για συνολική 0.005. Μια ράβδος τετραγωνικής διατομής ακμής 4.5 mm και μήκους 300 mm από τον συγκεκριμένο χάλυβα υποβάλλεται σε εφελκυστικό φορτίο. (δ) Ποιο φορτίο απαιτείται για επιμήκυνση 0.46 mm;

- α) Το μέτρο ελαστικότητας είναι η κλίση της ευθείας που περιγράφει την περιοχή γραμμικής ελαστικότητας, δηλ., την εφαπτομένη της καμπύλης στο 0 (διακεκομμένη). Για  $\varepsilon = 0.002$  διαβάζουμε στην τεταγμένη  $\sigma \approx 470$  MPa. Από τον νόμο του Hooke,  $E = \sigma/\varepsilon = 470/0.002$  MPa = 235 GPa.
- β) Το όριο διαρροής είναι η τεταγμένη του σημείου τομής της καμπύλης με ευθεία παράλληλη στην εφαπτομένη στο 0 που ξεκινάει από παραμόρφωση 0.002 (διακεκομμένη – εστιγμένη). Από το σχήμα διαβάζουμε  $\sigma_y \approx 540$  MPa.
- γ) Η ελαστική παραμόρφωση είναι η συνολική μείον την μόνιμη (πλαστική) που είναι το σημείο τομής της παράλληλης προς την εφαπτομένη στο 0 (διακεκομμένη – διπλά εστιγμένη). Η μόνιμη είναι  $\varepsilon_{pl} \approx 0.003$ , άρα η ελαστική,  $\varepsilon_{el} = \varepsilon - \varepsilon_{pl} \approx 0.005 - 0.003 = 0.002$ .
- δ)  $\varepsilon = \Delta l/l_0 = 0.46 / 300 = 0.0015$ . Από το σχήμα βλέπουμε ότι η παραμόρφωση αυτή είναι μέσα στην ελαστική περιοχή, επομένως από τον νόμο του Hooke,  $\sigma = E \varepsilon = 235 \times 0.0015 \approx 353$  MPa.

(2) Για κράμα ορειχάλκου δίνονται οι δύο σημεία πάνω στην καμπύλη ονομαστικής τάσης – παραμόρφωσης, (235 MPa, 0.194) και (250 MPa, 0.296). Υπολογίστε την ονομαστικής τάση που απαιτείται για ονομαστική παραμόρφωση 0.25.

Οι παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στα σημεία πάνω στην καμπύλη είναι σημαντικά μεγαλύτερες από το όριο της ελαστικής περιοχής. Άρα η καμπύλη περιγράφεται από την σχέση:

$\sigma = K\varepsilon^n$ . Επομένως, για τα δύο σημεία  $(\sigma_1, \varepsilon_1)$  και  $(\sigma_2, \varepsilon_2)$ :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)^n \Rightarrow \ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right) = n \ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right) \Rightarrow n = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}{\ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)} \approx 0.15. \text{ Έτσι, για το σημείο } (\sigma_1, \varepsilon_1):$$

$$\sigma_1 = K\varepsilon_1^{0.15} \Rightarrow K = \sigma_1 / \varepsilon_1^{0.15} \approx 300 \text{ MPa}. \text{ Δηλ., για παραμόρφωση } \varepsilon_3 = 0.25, \sigma_3 = 300(0.25)^{0.15} \approx 244 \text{ MPa}.$$

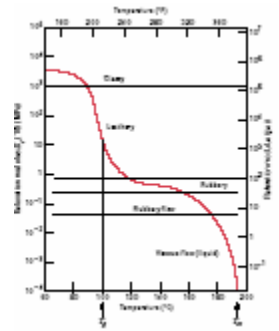
(3) Ο λαιμός στην δοκιμή εφελκυσμού εμφανίζεται όταν για τις πραγματικές τάσεις – παραμορφώσεις ισχύει  $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$ . Ποια είναι η τιμή της παραμόρφωσης όταν ξεκινάει ο λαιμός;

Για ένα εργοσκληραϊνόμενο υλικό,  $\sigma = K\varepsilon^n$ . Αντικαθιστώντας στην παραπάνω συνθήκη για την δημιουργία λαιμού:

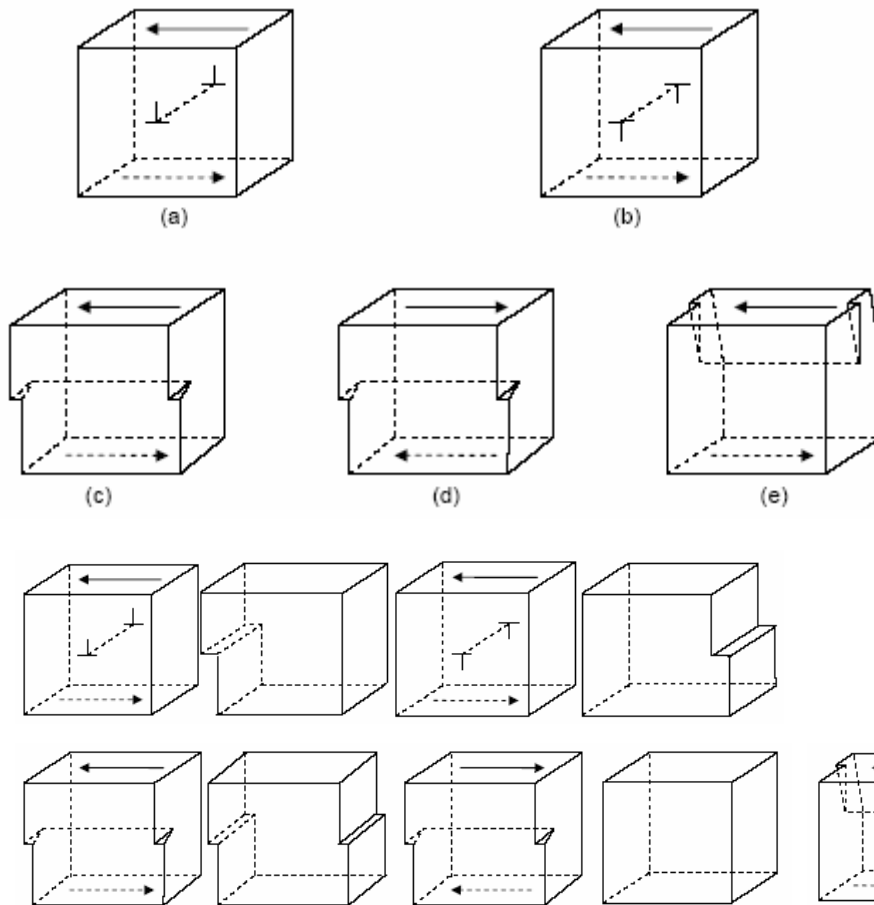
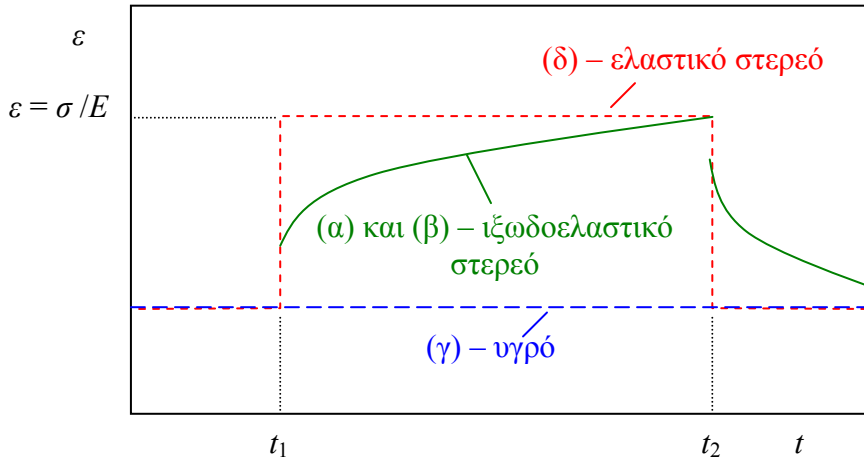
$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma \Rightarrow nK\varepsilon^{n-1} = K\varepsilon^n = \varepsilon(K\varepsilon^{n-1}) \Rightarrow n = \varepsilon$$

(4) Στο σχήμα δεξιά φαίνεται η συμπεριφορά του μέτρου ελαστικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας για το πολυστυρένιο. Σχεδιάστε σχηματικά την καμπύλη παραμόρφωσης – χρόνου (όπως για την ιζωδοελαστικότητα) για τις ακόλουθες μορφές και θερμοκρασίες:

- (α) άμορφο στους 120 °C
- (β) διασταυρωμένο στους 150 °C
- (γ) κρυσταλλικό στους 230 °C
- (δ) διασταυρωμένο στους 50 °C.



Έστω ότι εφαρμόζουμε σταθερή τάση  $\sigma$  σε χρόνο  $t_1$  και την απομακρύνουμε σε χρόνο  $t_2$ :



(5) Για τις διαταραχές που φαίνονται στους κρυστάλλους αριστερά, προσδιορίστε την κατεύθυνση κίνησης κάθε διαταραχής για την δεδομένη διατμητική τάση. Σχεδιάστε το σχήμα του κρυστάλλου όταν η διαταραχή έχει μετακινηθεί στην επιφάνεια. (Οι διαταραχές στα c, d, e είναι τύπου κοχλία.)

Στην περίπτωση (e) η σχισμή του κρυστάλλου είναι κάθετη στο επίπεδο ολίσθησης (το επίπεδο όπου ενεργεί η διάτμηση). Η γραμμή της διαταραχής θα κινηθεί πάνω στο επίπεδο ολίσθησης.

(6) Η κρίσιμη ανηγμένη διατμητική τάση για τον σίδηρο είναι 27 MPa. Προσδιορίστε το μέγιστο όριο διαρροής για μονοκρυστάλλο Fe σε εφελκυσμό.

Η διατμητική τάση γίνεται μέγιστη όταν στην σχέση του *Schmid*,  $\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$ ,  $\varphi = \lambda = 45^\circ$ . Οπότε το ελάχιστο όριο διαρροής είναι  $\sigma_y = 2\tau = 54$  MPa. Το μέγιστο όριο διαρροής διαπιστώνεται όταν η διεύθυνση ολίσθησης ή το επίπεδο ολίσθησης είναι προσανατολισμένα κατά την διεύθυνση εφελκυσμού, οπότε η το όριο διαρροής γίνεται πολύ μεγάλο και το δοκίμιο οδηγείται σε θραύση χωρίς να προηγηθεί διαρροή – πλαστική παραμόρφωση.

(7) Γιατί κάποια μέταλλα (π.χ., μόλυβδος και κασσίτερος) δεν υφίστανται εργοσκήρυνση όταν παραμορφωθούν σε θερμοκρασία δωματίου;

Επειδή σε θερμοκρασία δωματίου έχουν ήδη φτάσει σε θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ( $T_{\text{δωματίου}} > 0.3 T_m$  για Pb, Sn).

(8) Μπορεί η υδροστατική πίεση να προκαλέσει πλαστική παραμόρφωση; Γιατί;

Η υδροστατική πίεση δεν προκαλεί μόνιμη παραμόρφωση επειδή κατά την πλαστική παραμόρφωση ο όγκος του υλικού διατηρείται σταθερός, ενώ υπό υδροστατική πίεση η παραμόρφωση σε όλους τους άξονες είναι ομοιόμορφη (δεν μπορεί να μεταφερθεί μάζα ώστε η μια διάσταση να συρρικνωθεί προς διαστολή των δύο άλλων διαστάσεων).