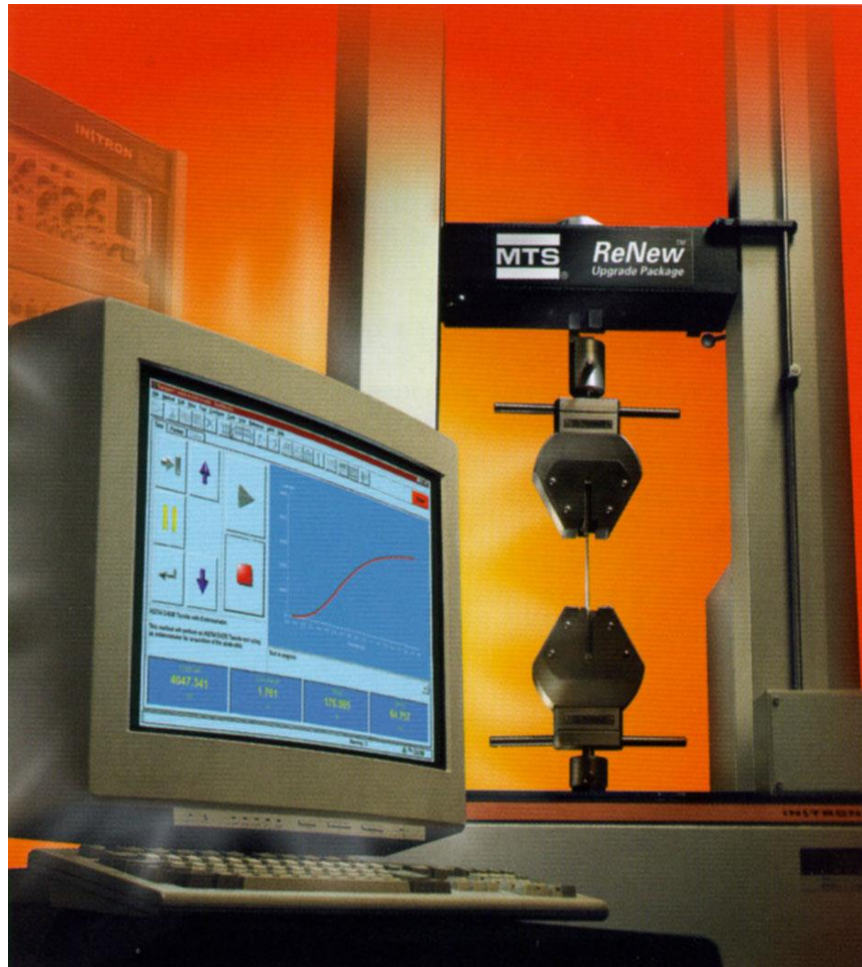
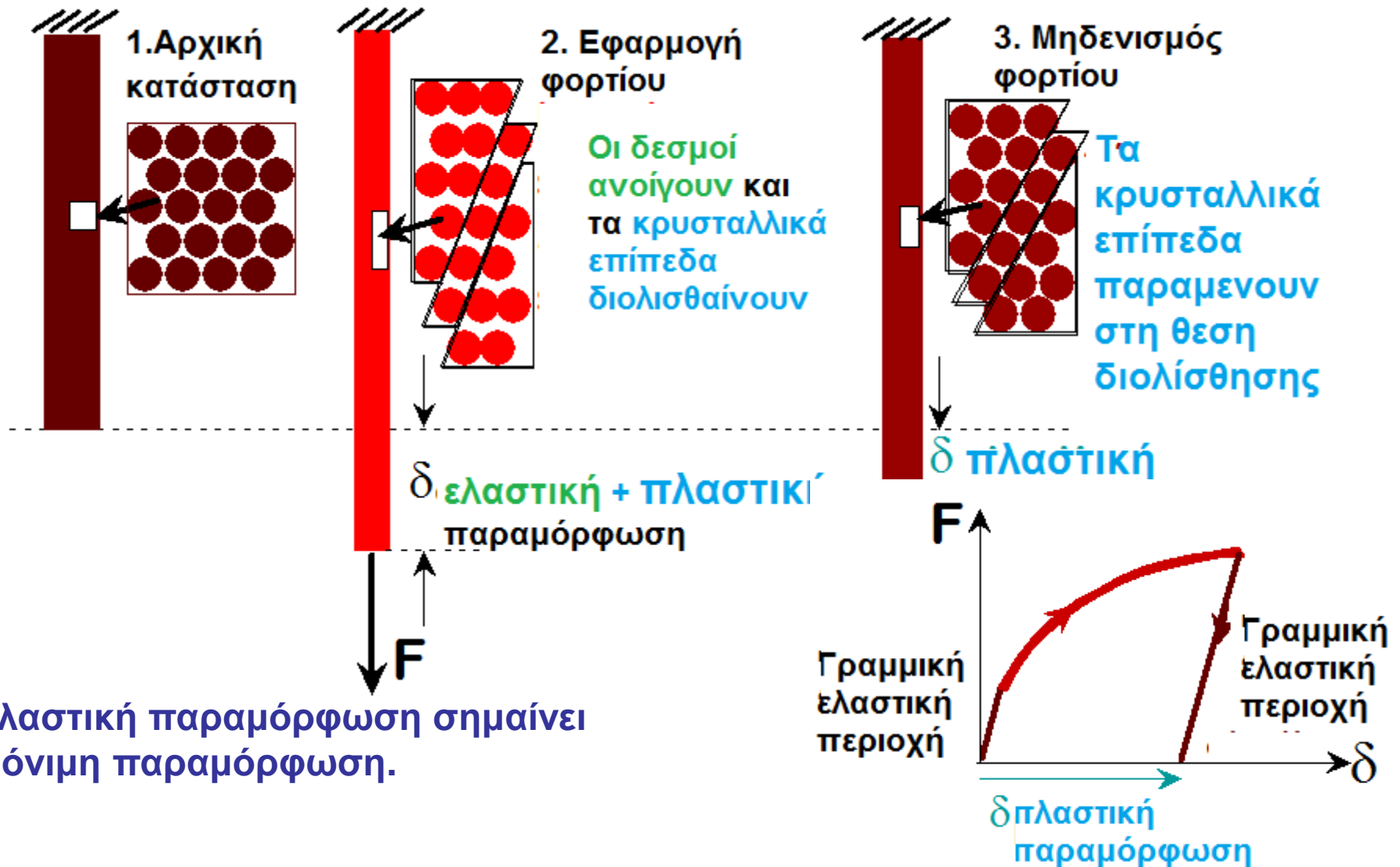


Μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών υλικών

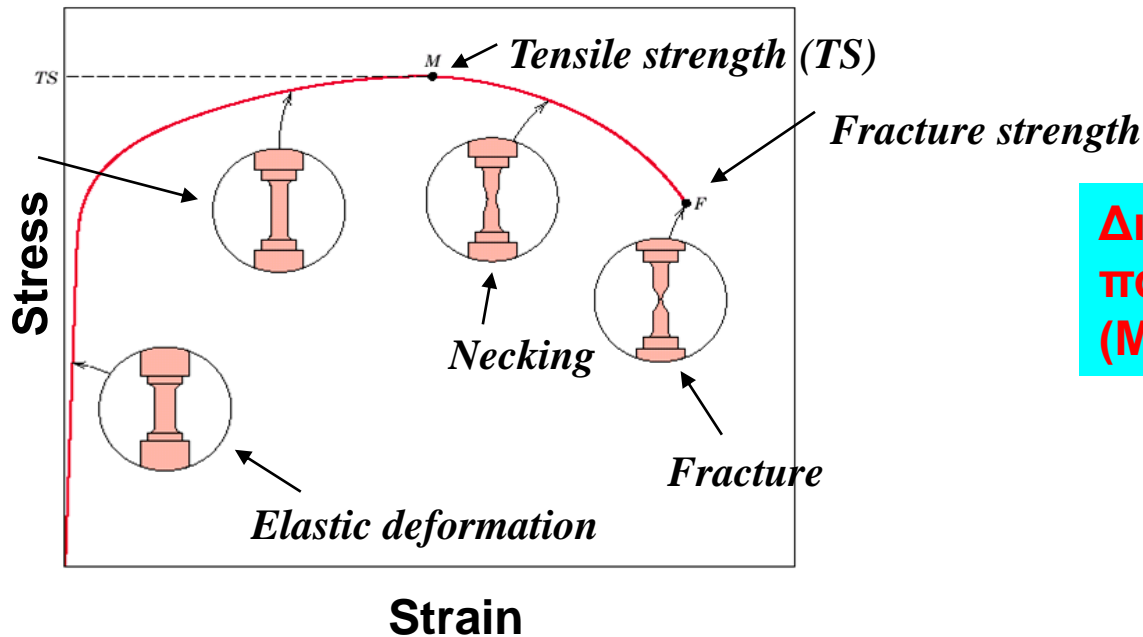
Πλαστική συμπεριφορά



Πλαστική παραμόρφωση των μετάλλων



Πλαστική παραμόρφωση σημαίνει Μόνιμη παραμόρφωση.



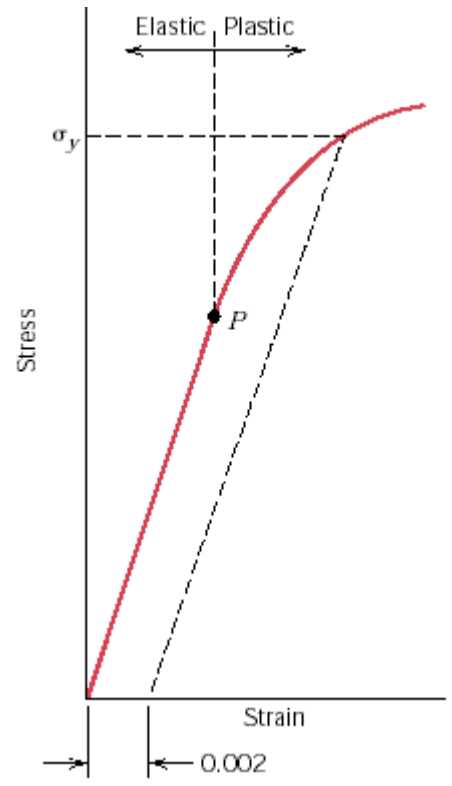
Διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης (Μέταλλα)

Παράμετροι που ορίζονται από ένα διάγραμμα σ - ϵ

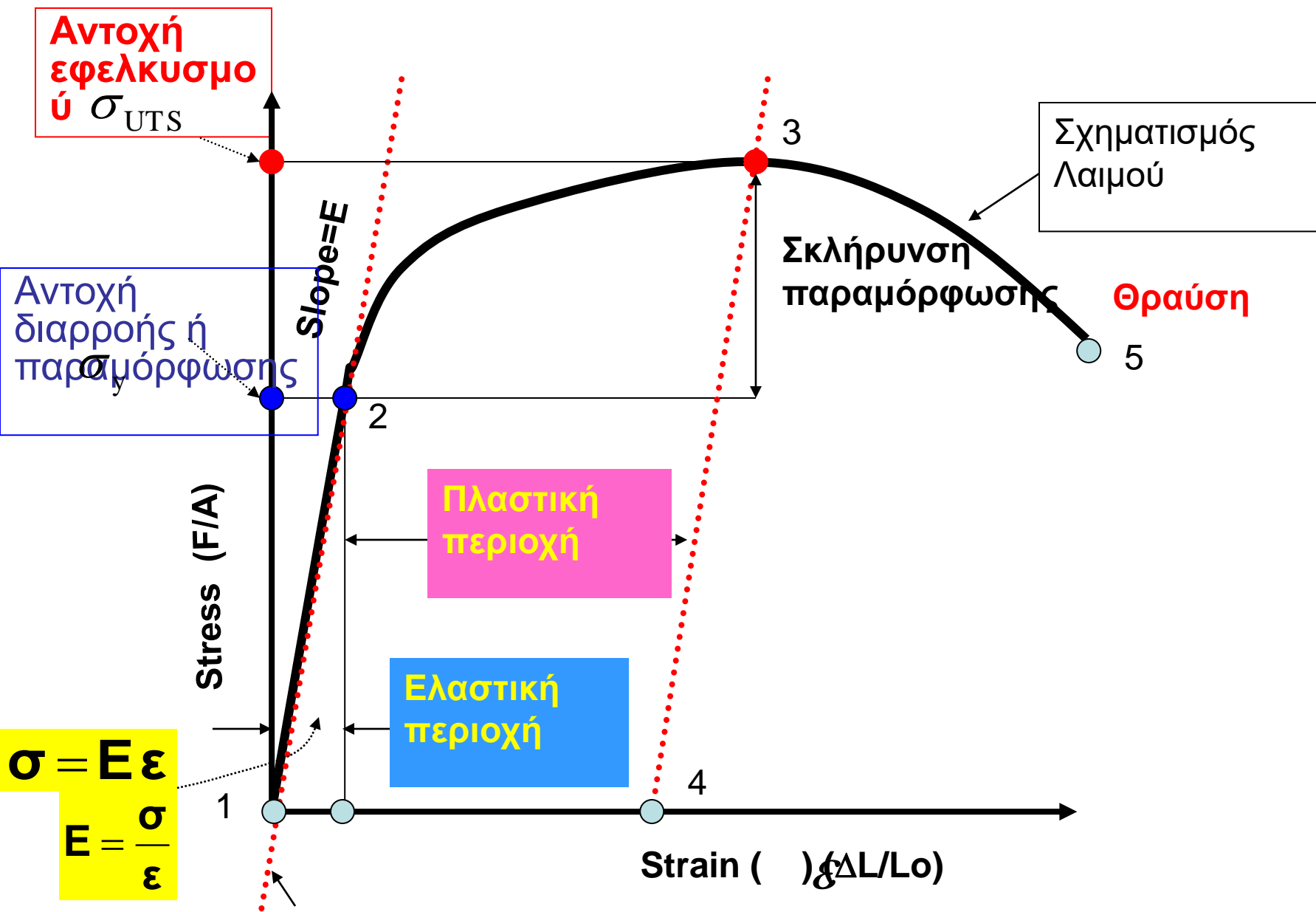
- (1) Όριο αναλογίας (P)**
- (2) Όριο θραύσης (M)**
- (3) Σημείο θραύσης (F)**
- (4) Όριο διαρροής**

σ_{ψ} : Αντοχή παραμόρφωσης ή διαρροής

σ_{TS} : Αντοχή εφελκυσμού

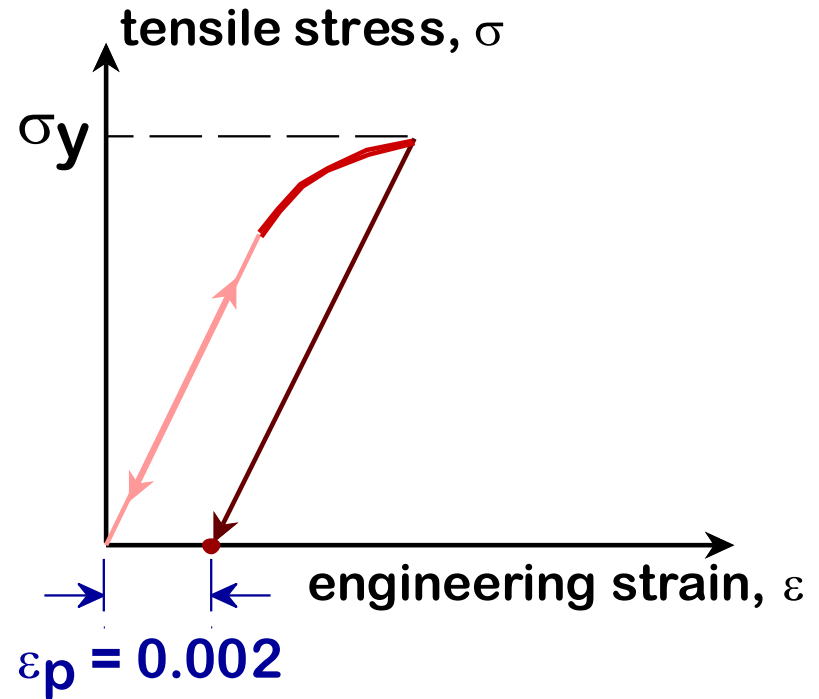
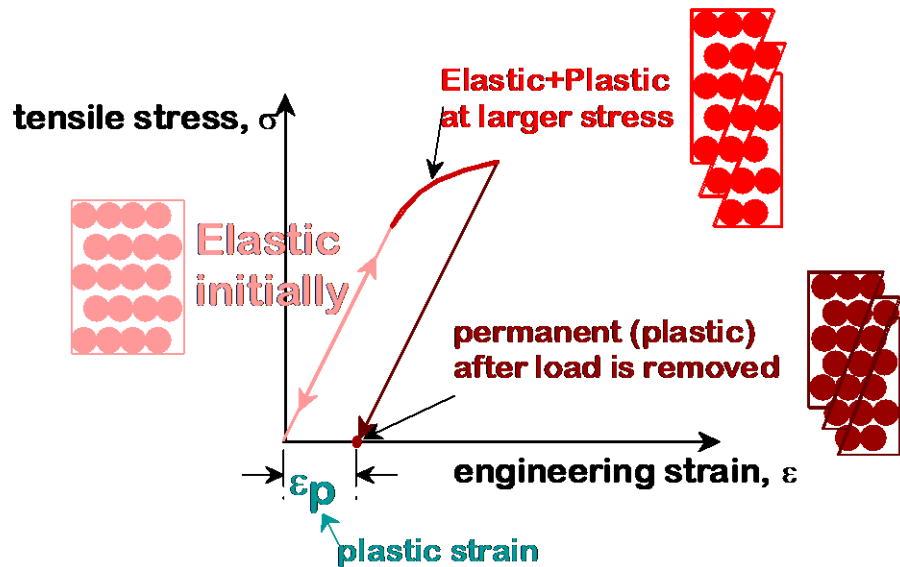


Διάγραμμα (Συμβατικής) τάσης παραμόρφωσης (Stress-Strain Diagram)

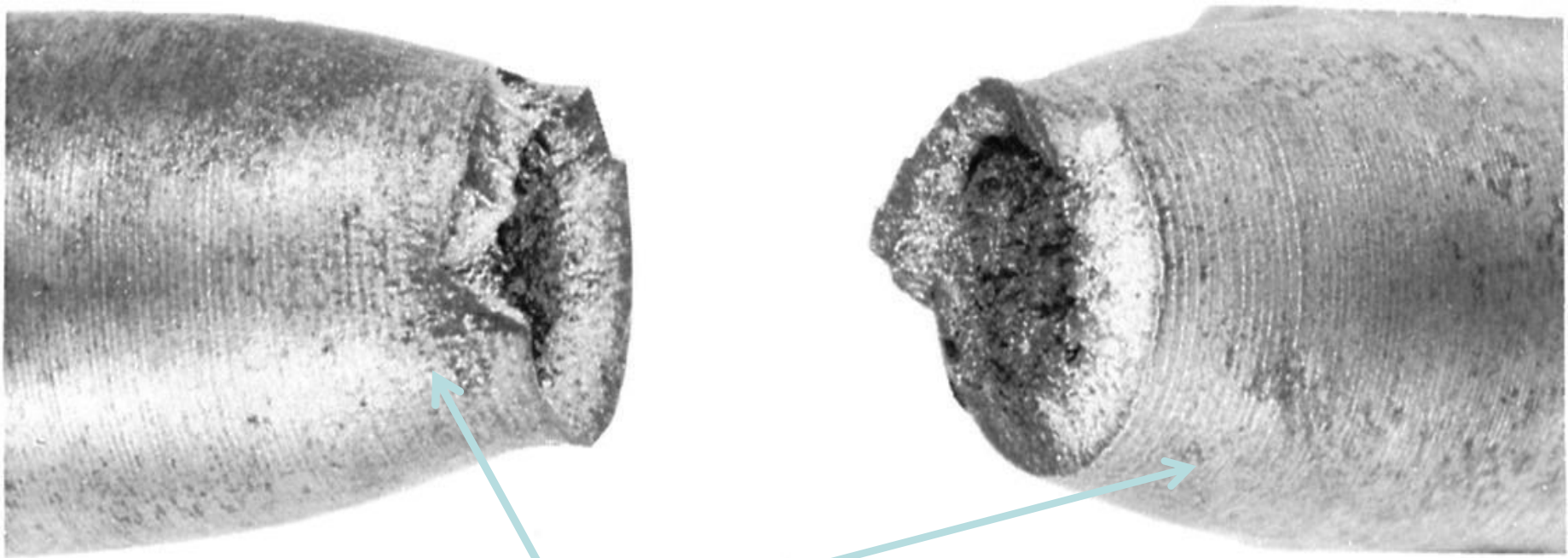


Αντοχή διαρροής ή παραμόρφωσης

Yield Strength, σ_y

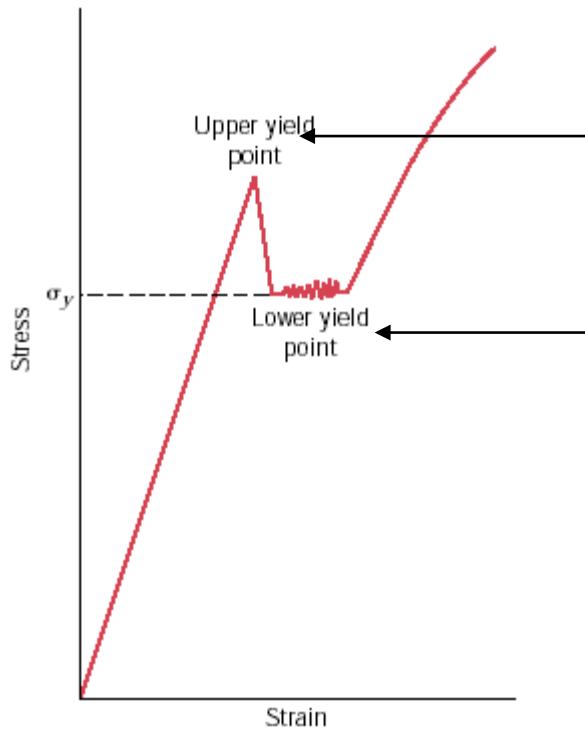


- Μορφή θραύσης όγκιμου μεταλλικού υλικού



Δημιουργία λαιμού

Τυπική καμπύλη σ - ϵ για ανθρακούχους χάλυβες



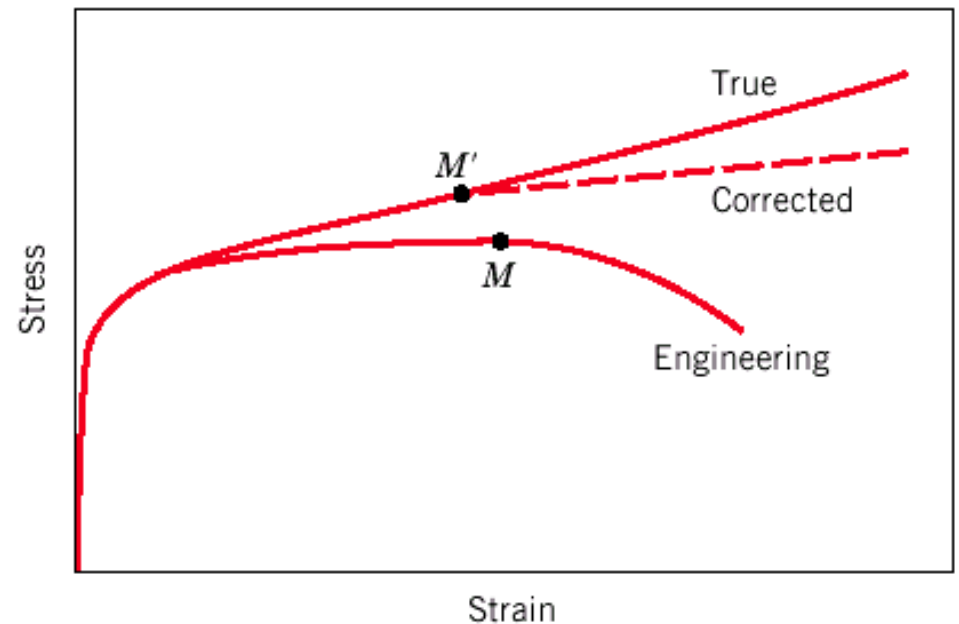
Ανώτερο σημείο διαρροής

Κατώτερο σημείο διαρροής

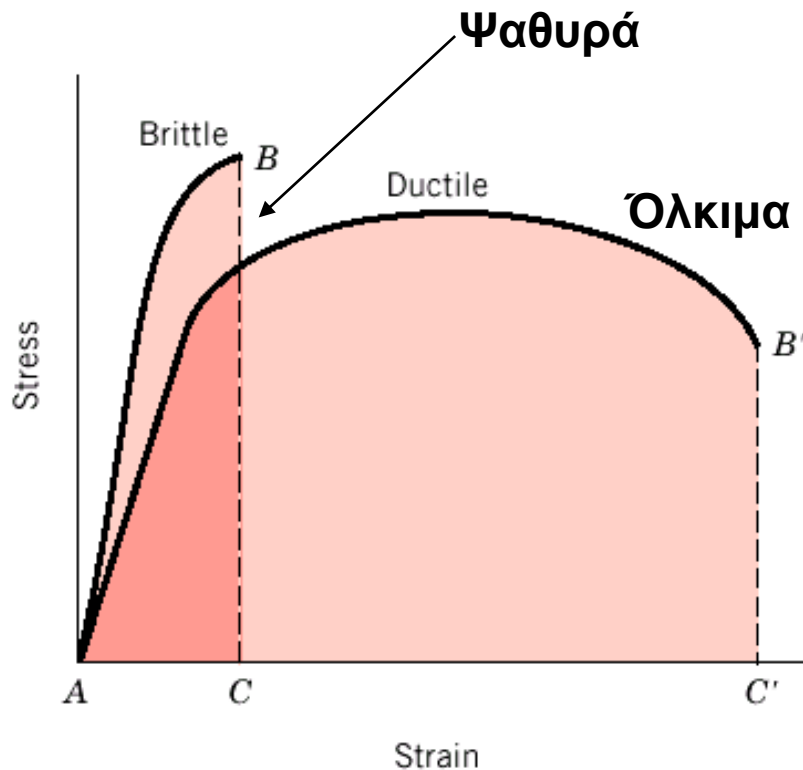
Πραγματική και Συμβατική καμπύλη τάσης παραμόρφωσης

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$$

$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon)$$



Ολκιμότητα (Ductility) είναι μέτρο του βαθμού πλαστικής παραμόρφωσης τον οποίο αποκτά το υλικό στο σημείο θραύσης του.



Εκφράζεται με δύο τρόπους:

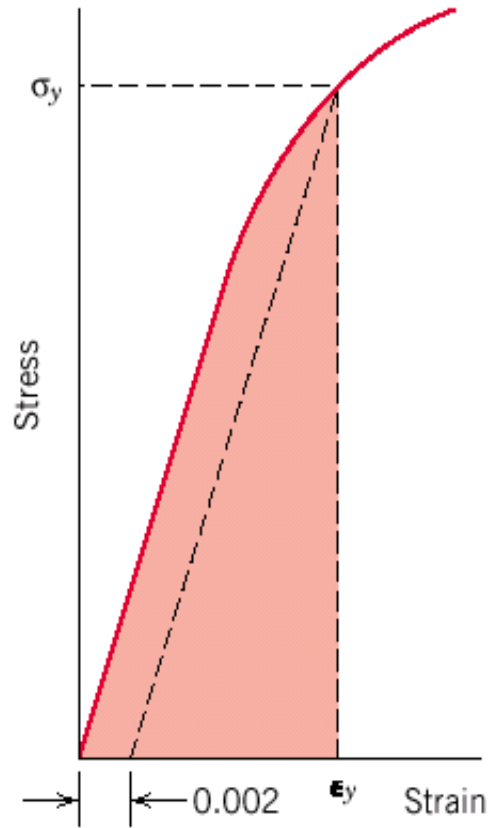
A) % Επιμήκυνση

$$\%EL = \frac{(l_f - l_0)}{l_0} \times 100$$

B) % Σκλήρυνση

$$\%RA = \frac{(A_0 - A_f)}{A_0} \times 100$$

Επανάκτηση ενέργειας (Resilience) είναι η ικανότητα ενός υλικού να απορροφάει ενέργεια όταν παραμορφώνεται ελαστικά και να αποδίδει την ενέργεια αυτή όταν αποφορτίζεται.



Modulus of resilience:-

Είναι η ενέργεια ανά μονάδα όγκου που απαιτείται για την ελαστική παραμόρφωση ενός υλικού

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

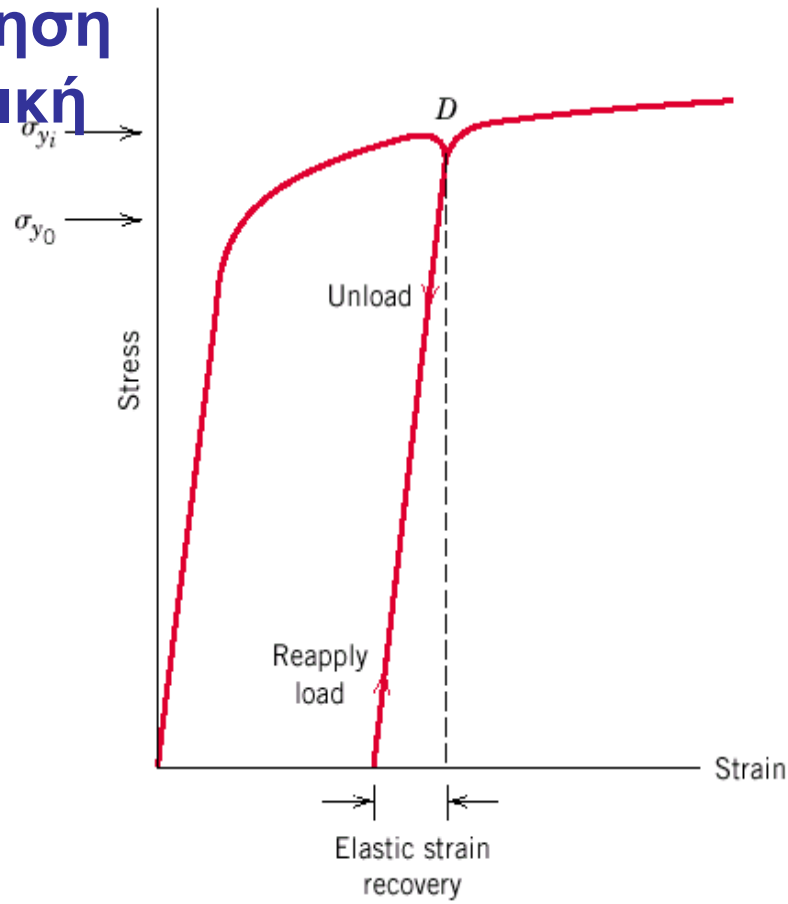
Για γραμμική ελαστική παραμόρφωση:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y$$

or

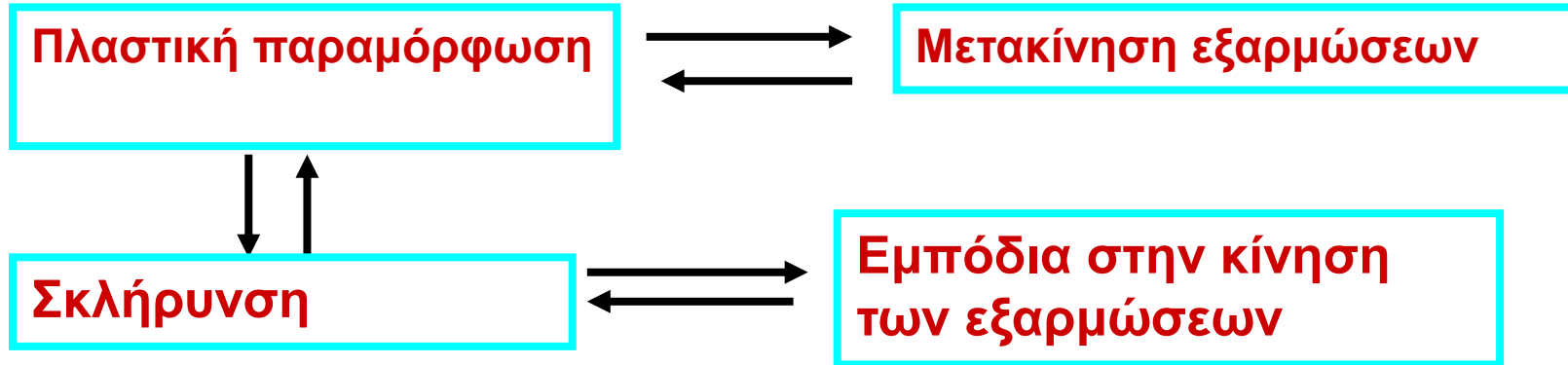
$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

Ελαστική ανάκτηση Κατά την πλαστική παραμόρφωση



Διάγραμμα τάσης –παραμόρφωσης που δείχνει την ελαστική ανάκτηση μετά από πλαστική παραμόρφωση .Η αρχική αντοχή παραμόρφωσης είναι σ_{y_0} και σ_{y_i} είναι η αντοχή παραμόρφωσης μετά την ανάκτηση και την επαναφόρτιση στο σημείο Δ

Ερμηνεία της πλαστικότητας των μετάλλων



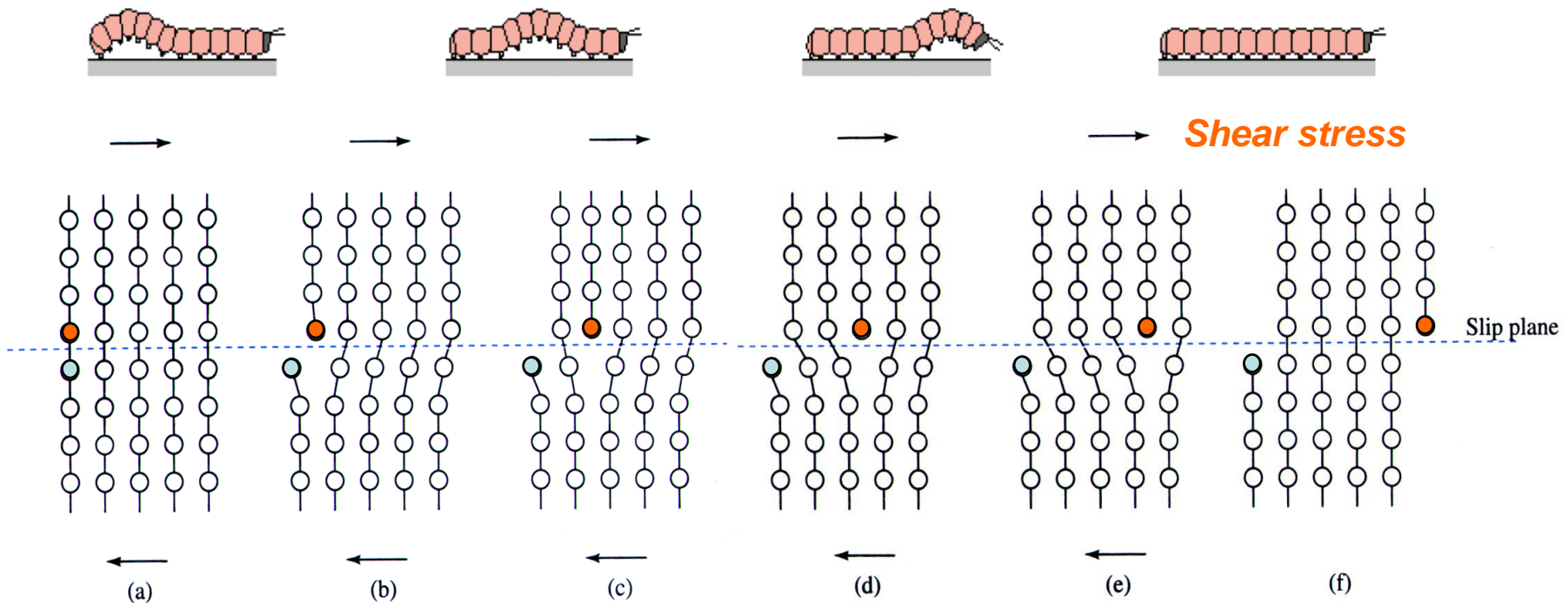
Πώς γίνεται η κίνηση των εξαρμώσεων στο κρυσταλλικό πλέγμα;

Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Μετακίνηση εξαρμώσεων

Η διεργασία κατά την οποία μια εξάρμωση κινείται και προκαλεί παραμόρφωση ονομάζεται ολίσθηση (*slip*)

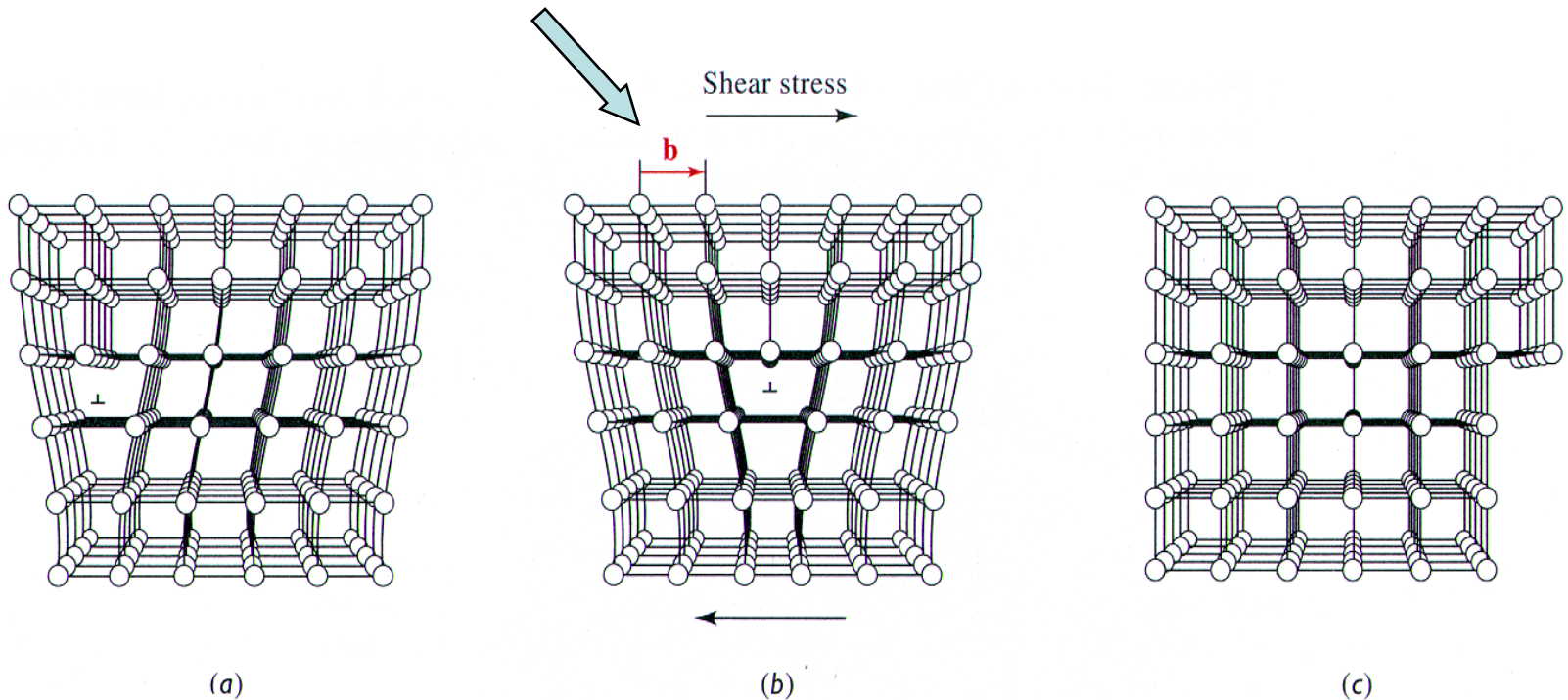
Το κρυσταλλογραφικό επίπεδο κατά μήκος του οποίου κινείται η εξάρμωση ονομάζεται επίπεδο ολίσθησης (*slip plane*).



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Διεύθυνση ολίσθησης (*Slip Direction*)

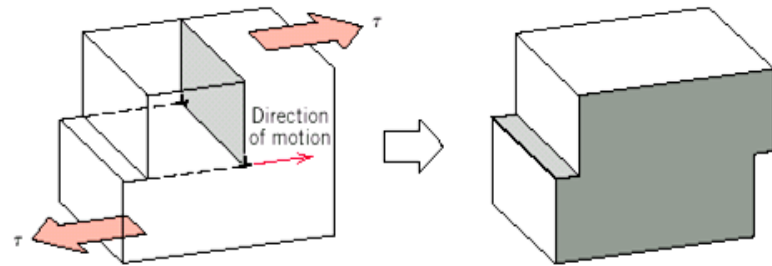
- Η διεύθυνση κατά την οποία η εξάρμωση κινείται ονομάζεται διεύθυνση ολίσθησης. (*slip direction*).
- Διεύθυνση κίνησης εξάρμωσης ακμής



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

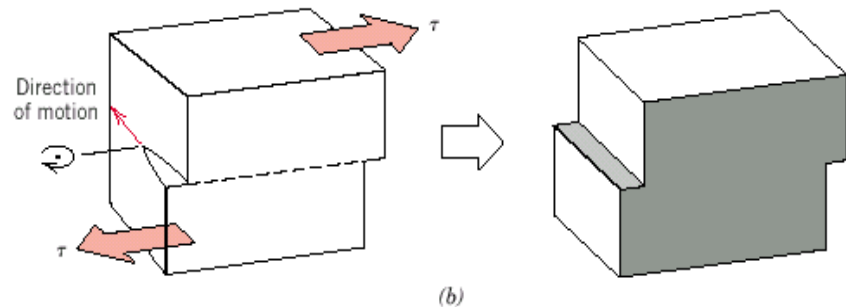
Κίνηση εξάρμωσης ακμής:

Η εξάρμωση κινείται παράλληλα προς τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης διατμητικής τάσης.



Κίνηση ελικοειδούς εξάρμωσης:

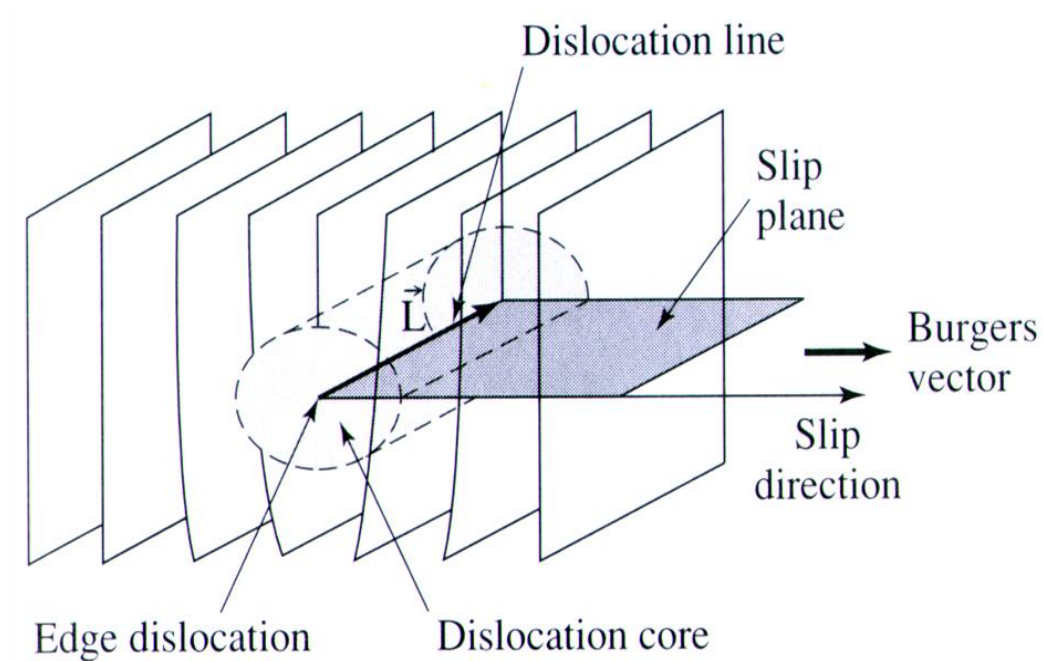
Η εξάρμωση κινείται κάθετα προς τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης τάσης .



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

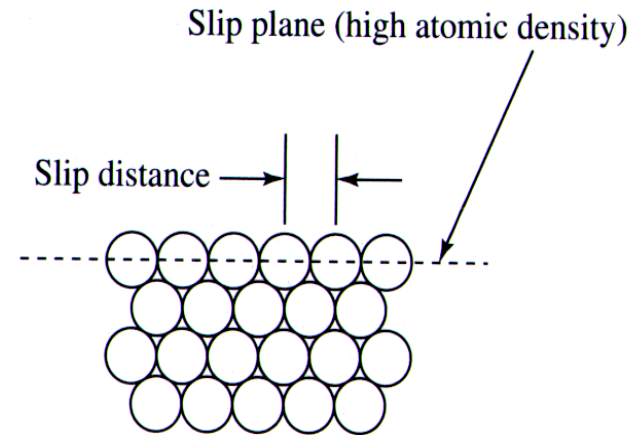
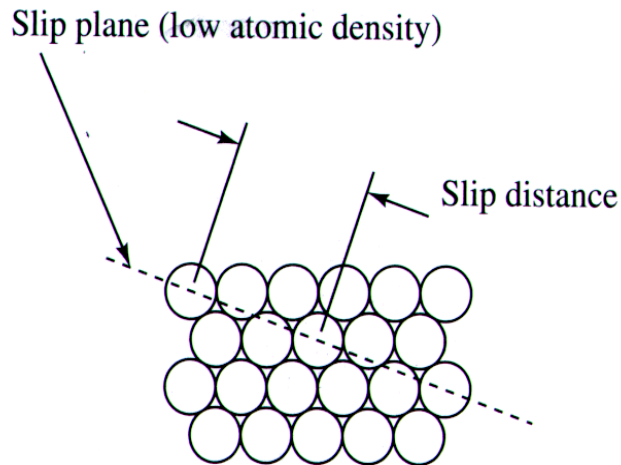
Σύστημα ολίσθησης (Slip System)

Ο συνδυασμός επιπέδων ολίσθησης και διευθύνσεων ολίσθησης ονομάζεται σύστημα ολίσθησης.



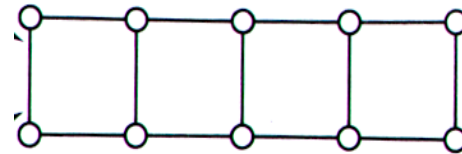
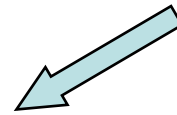
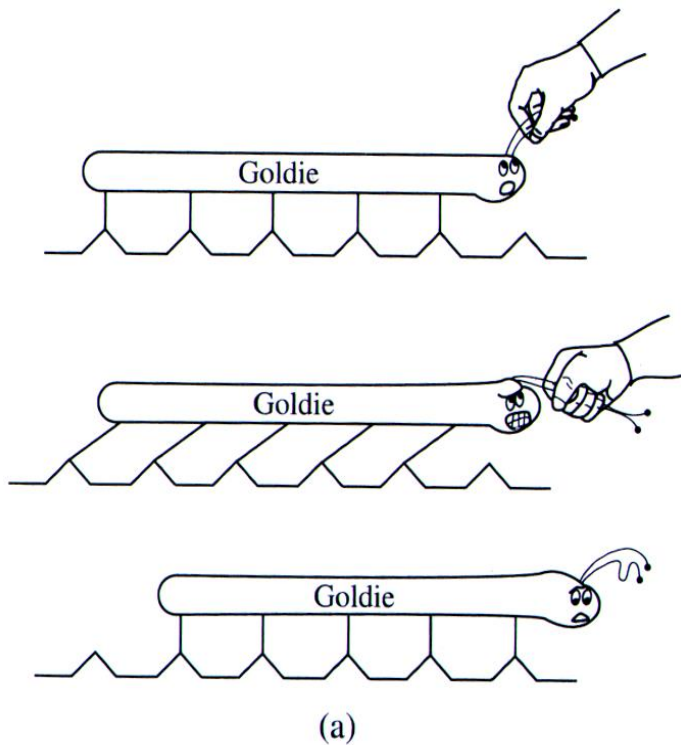
Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Η ολίσθηση των εξαρμώσεων είναι ποιο δύσκολη κατά μήκος των επιπέδων με μικρή πυκνότητα παρά κατά μήκος των επιπέδων υψηλής πυκνότητας.

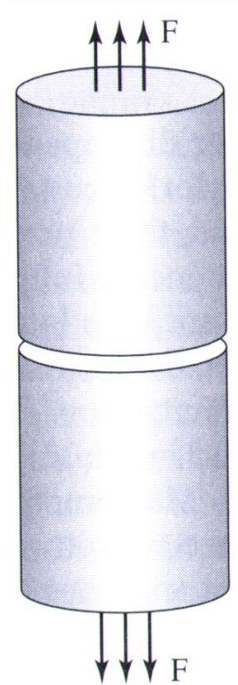
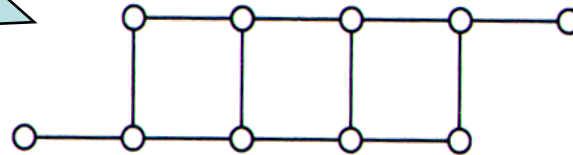


Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Ποια είναι η σημασία των εξαρμώσεων και του μηχανισμού Κίνησης τους;

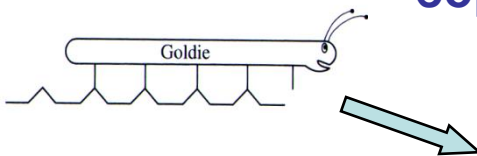
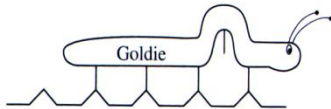
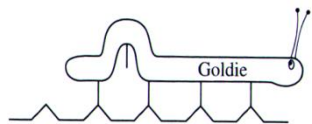
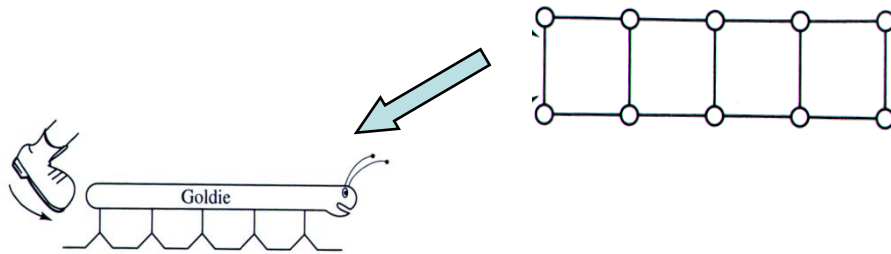


Γιατί η αντοχή των μετάλλων είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν προβλέπεται από το είδος των δεσμών και τη δομή.

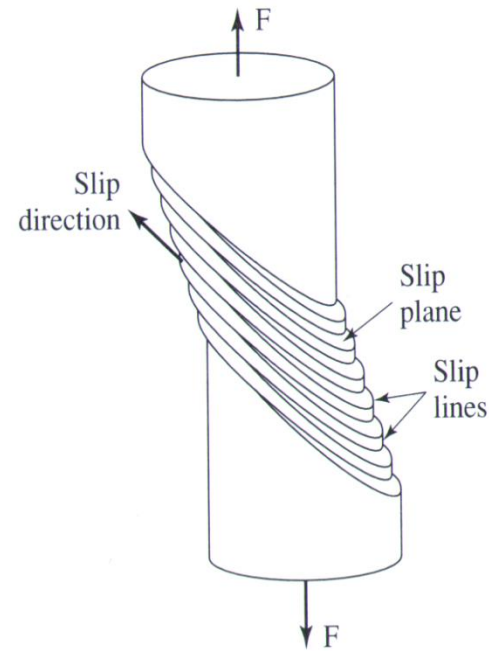


Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Ποια είναι η σημασία των εξαρμώσεων και του μηχανισμού Κίνησης τους;



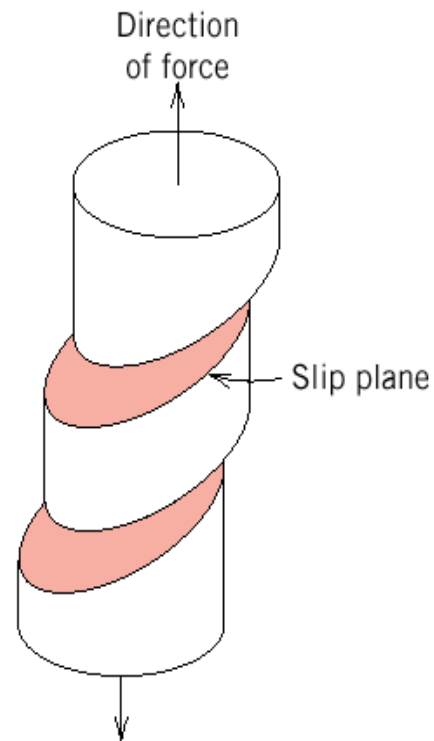
Γιατί η αντοχή των μετάλλων είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν προβλέπεται από το είδος των δεσμών και τη δομή.



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

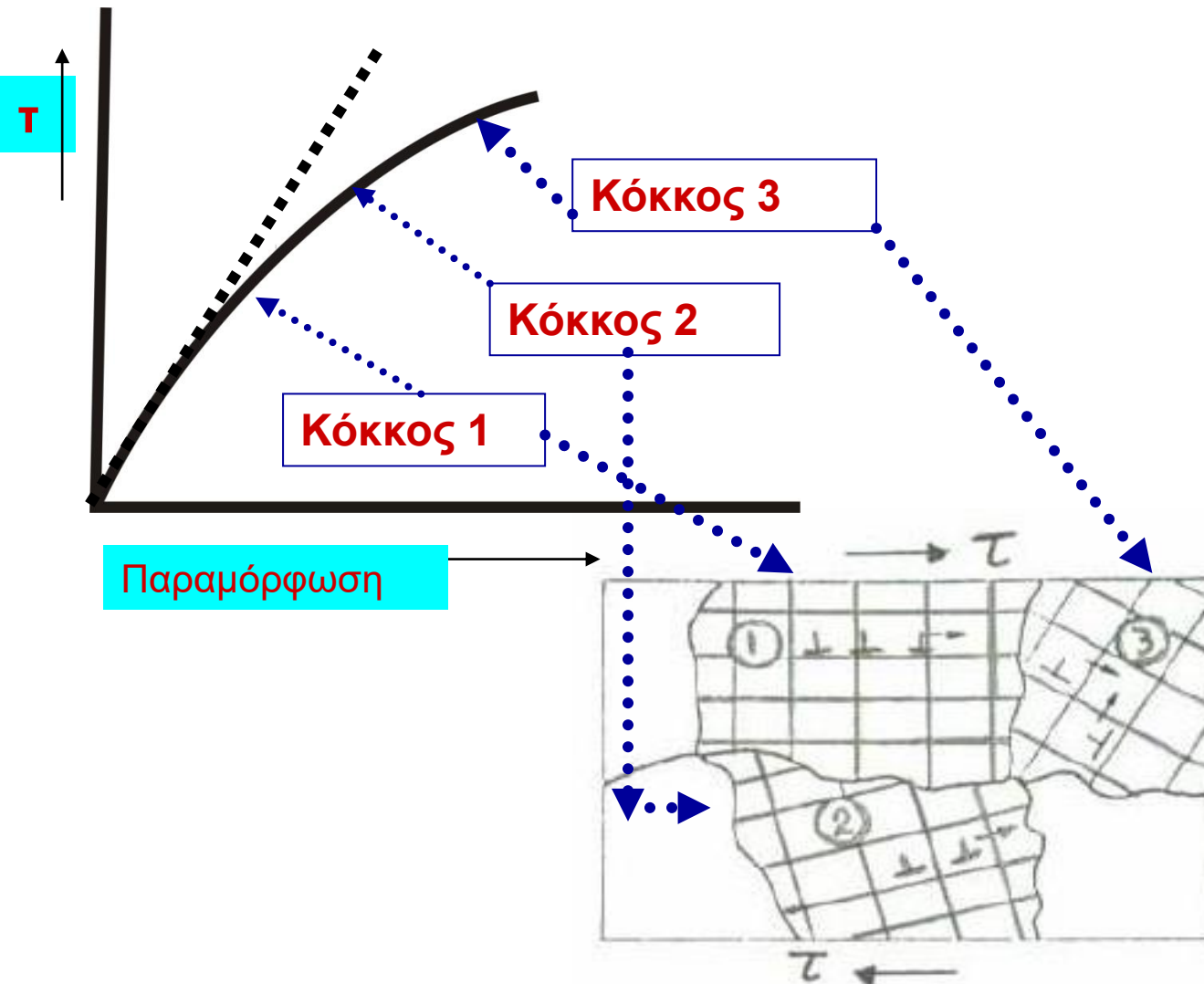
Παραμόρφωση μονοκρυστάλλων

Η ολίσθηση των εξαρμώσεων γίνεται κατά μήκος των ευνοϊκά προς τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης τάσης προσανατολισμένων επιπέδων.



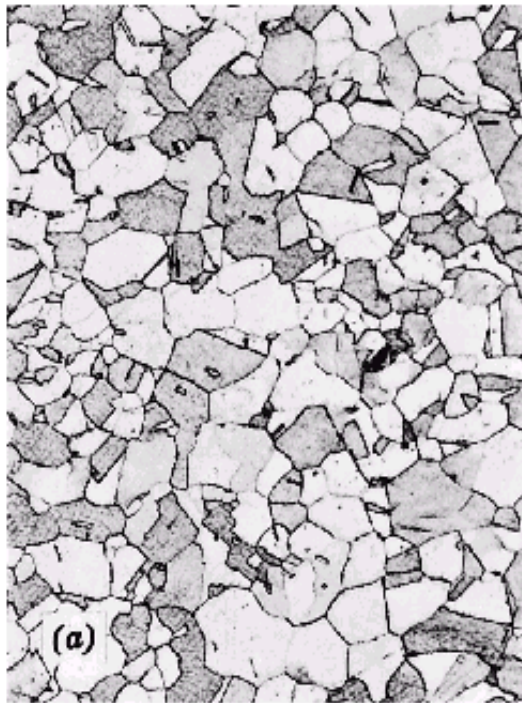
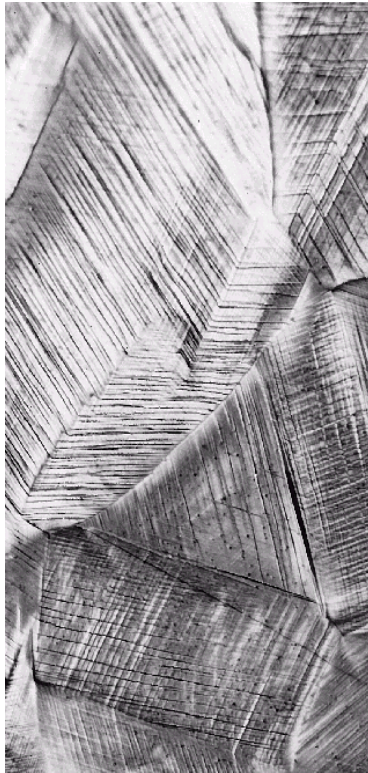
Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Πλαστική παραμόρφωση πολυκρυσταλλικών υλικών
Plastic deformation of polycrystalline materials



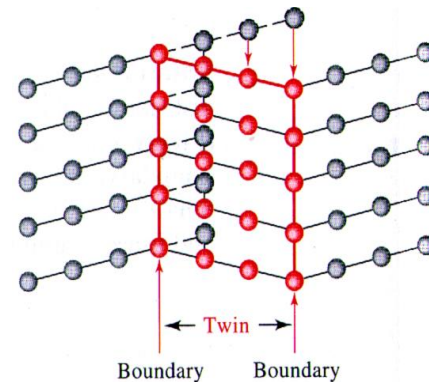
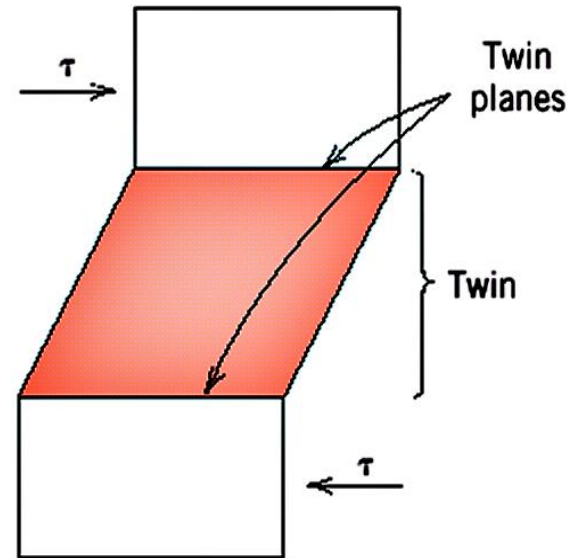
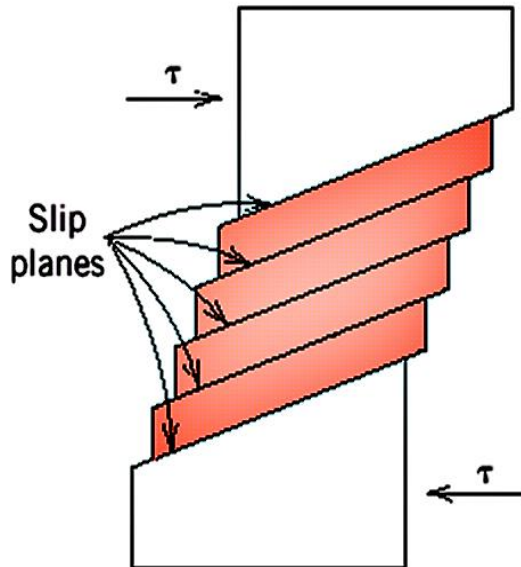
Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Πλαστική παραμόρφωση πολυκρυσταλλικών υλικών
Plastic deformation of polycrystalline materials



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

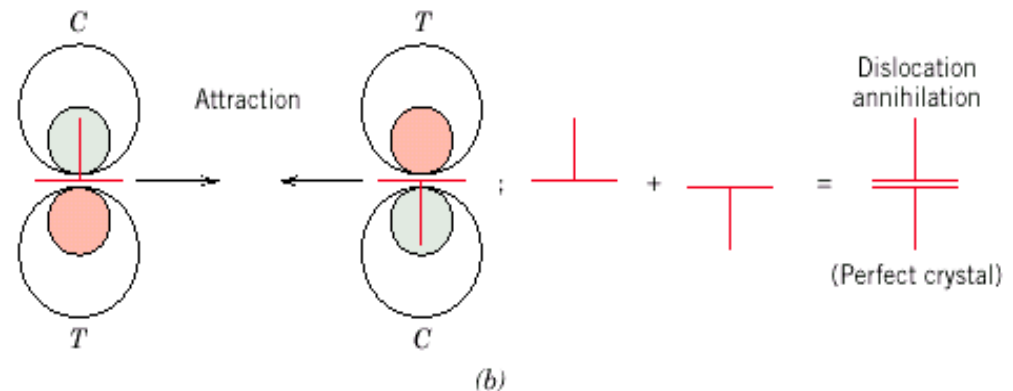
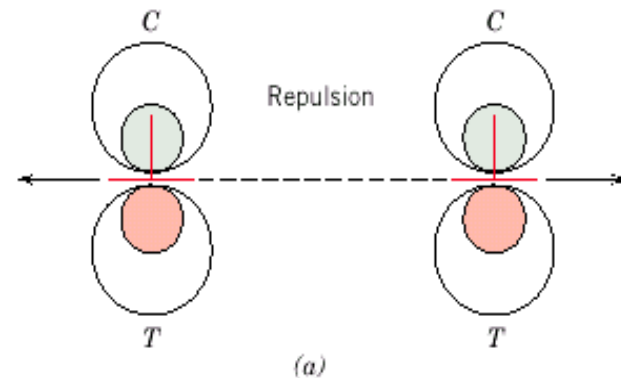
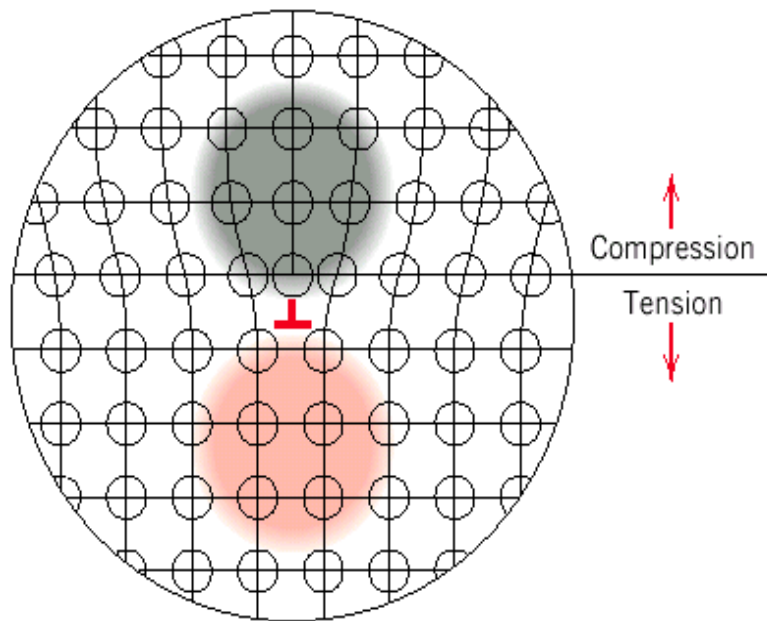
Παραμόρφωση με δίδυμα κρυσταλλικά επίπεδα
Deformation by twinning



Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Εξαρμώσεις, Παραμόρφωση κρυσταλλικού πλέγματος, και μηχανισμός σκλήρυνσης

Εξάρμωση ακμής
Edge Dislocation



Μέθοδοι σκλήρυνσης (ή ισχυροποίησης) των μετάλλων

Βασική αρχή:

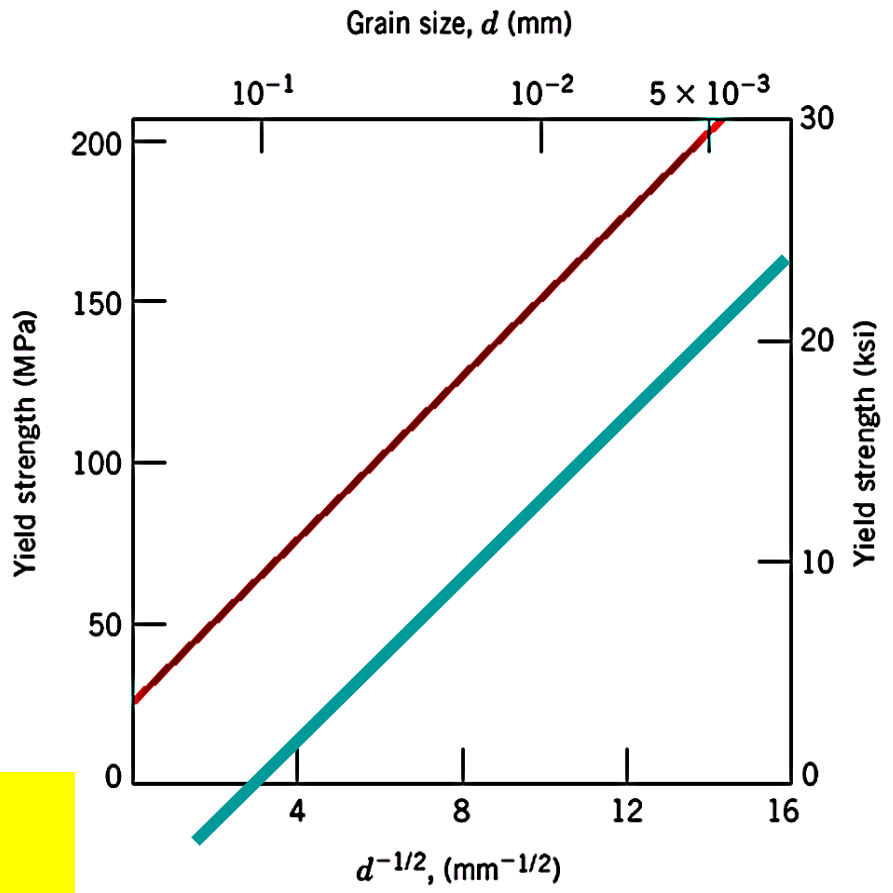
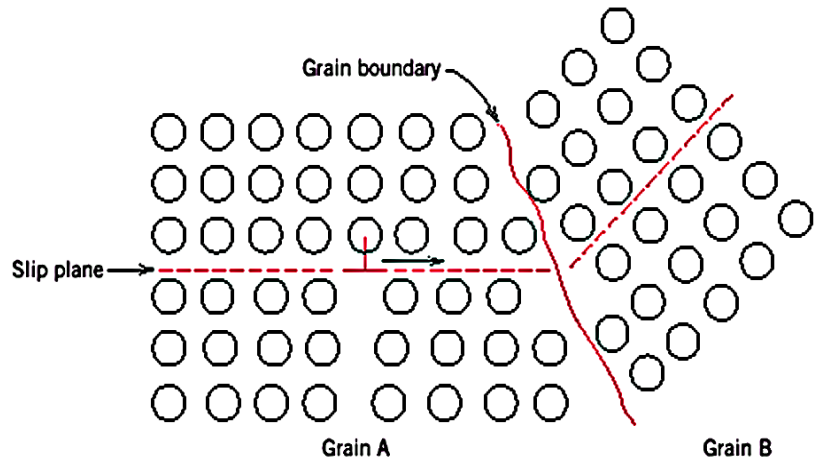
«Παρεμβολή εμποδίων στην κίνηση των εξαρμώσεων»

Πως παρεμποδίζεται η κίνηση των εξαρμώσεων με αποτέλεσμα το μεταλλικό υλικό να γίνεται πιο σκληρό;

- Όρια κόκκων
- Άτομα πρόσμειξης
- Σωματίδια δεύτερης φάσης
- Άλλες εξαρμώσεις

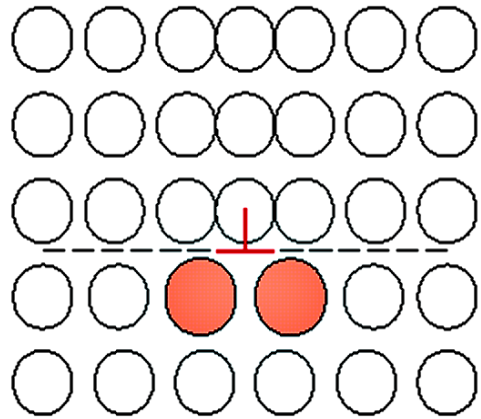
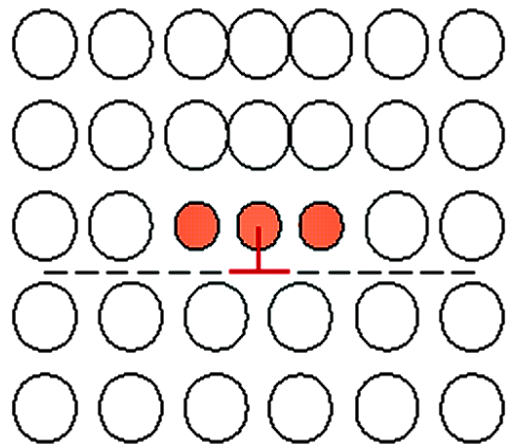
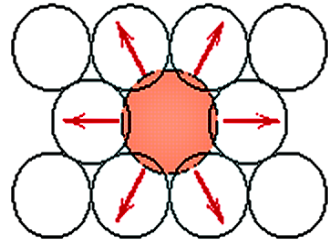
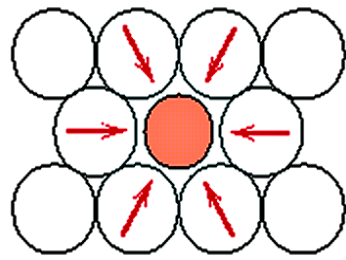
Σκλήρυνση με μείωση του μεγέθους των κρυσταλλικών κόκκων

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$



Η μείωση του μεγέθους των κόκκων συνεπάγεται αύξηση της σκληρότητας. (Ερμηνεία;)

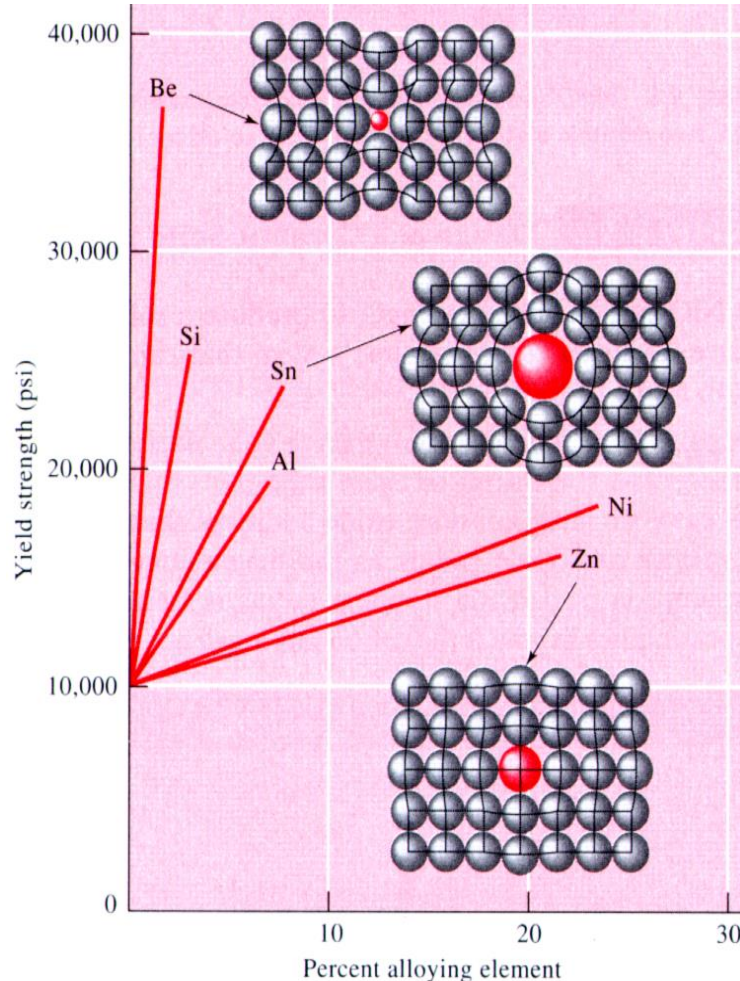
Σκλήρυνση με σχηματισμό (Κράματος) στερεού διαλύματος *Strengthening by solid-solution*



- Εξαρτάται από:
- Μέγεθος των ατόμων παρεμβολής
 - Ομοιογένεια

- Συγκέντρωση (περιεκτικότητα)
- $\Delta T = kC^{0,5}$

Σκλήρυνση με σχηματισμό στερεού διαλύματος (άτομα πρόσμειξης-σχηματισμός κράματος)



**Επίδραση μερικών
κραματικών στοιχείων
στην αντοχή
παραμόρφωσης του Cu**

**Τα άτομα Ni και Zn έχουν
ίδιο μέγεθος με αυτό του
Cu.**

**Τα άτομα Be και Sn
έχουν διαφορετικό
μέγεθος από τον Cu.**

**Η αύξηση της ατομικής
ακτίνας και της
περιεκτικότητας αυξάνει
την σκλήρυνση . (Αύξηση
σκληρότητας και
αντοχής)**

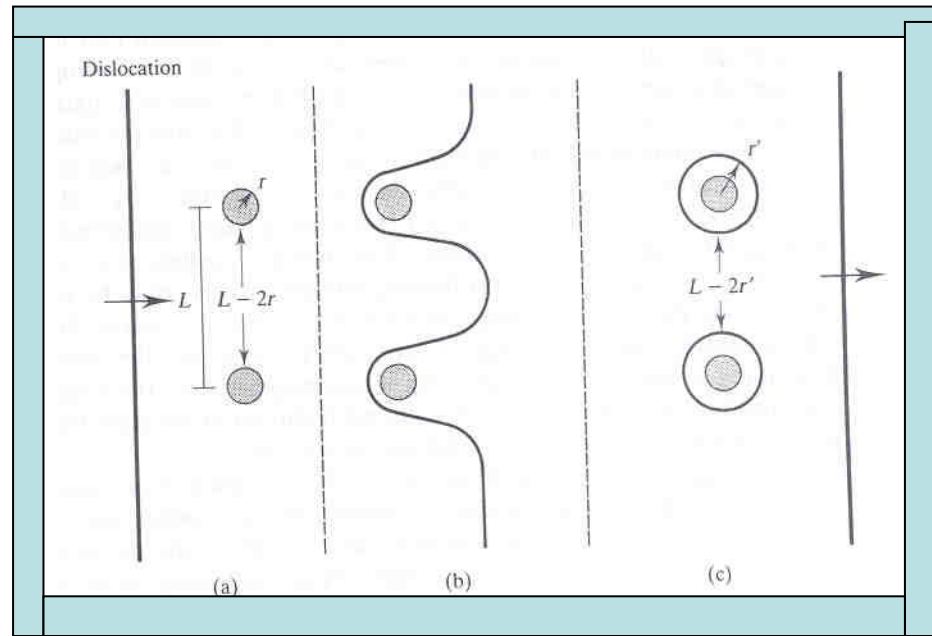
Σκλήρυνση με καθίζηση και διασπορά (Precipitation and dispersion strengthening)

Ο όρος καθίζηση χρησιμοποιείται όταν τα σωματίδια της δεύτερης φάσης δημιουργούνται από ένα στερεό διάλυμα και καθιζάνουν με κατάλληλη θερμική κατεργασία. Π.χ Κράμα Al-Cu (4%) \longrightarrow Cu Al_2

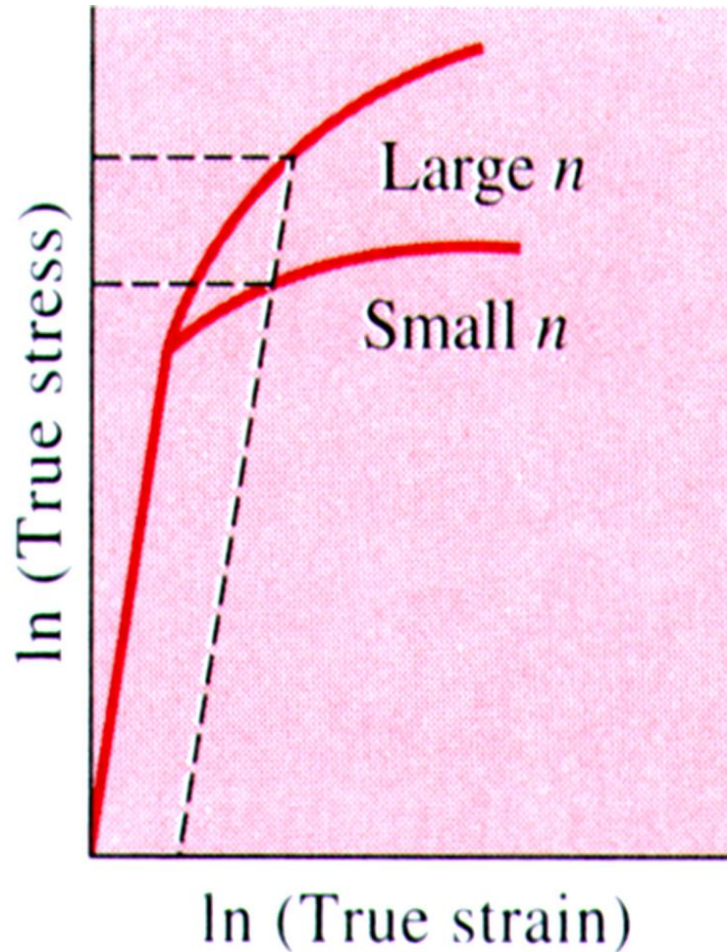
Ο όρος διασπορά χρησιμοποιείται όταν τα σωματίδια της δεύτερης φάσης δημιουργούνται με άλλες τεχνικές όπως εσωτερική οξείδωση, κonioμεταλλουργεία κλπ

Π.χ $\text{Cu-Si} \longrightarrow \text{Cu-SiO}_2$, $\text{Ag-Al} \longrightarrow \text{Ag-Al}_2\text{O}_3$

Μηχανισμός

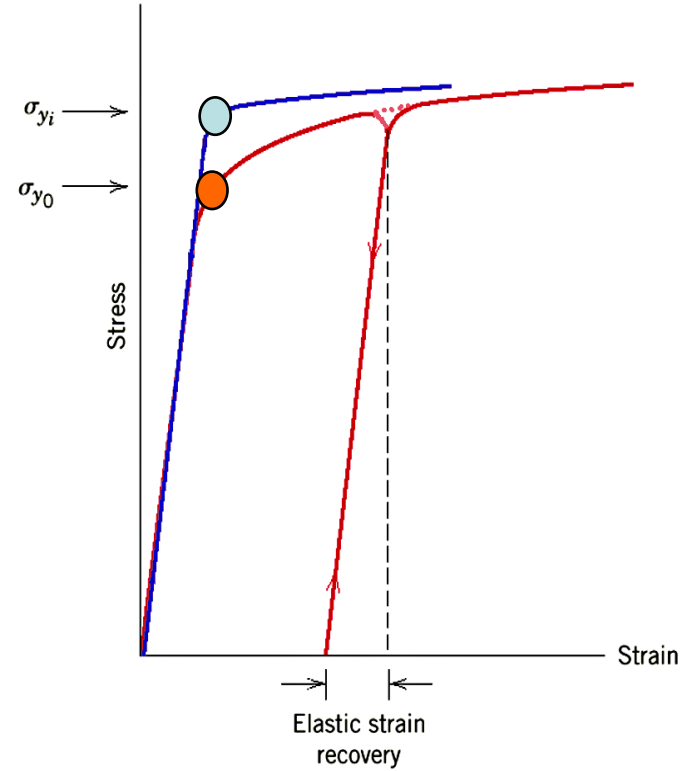
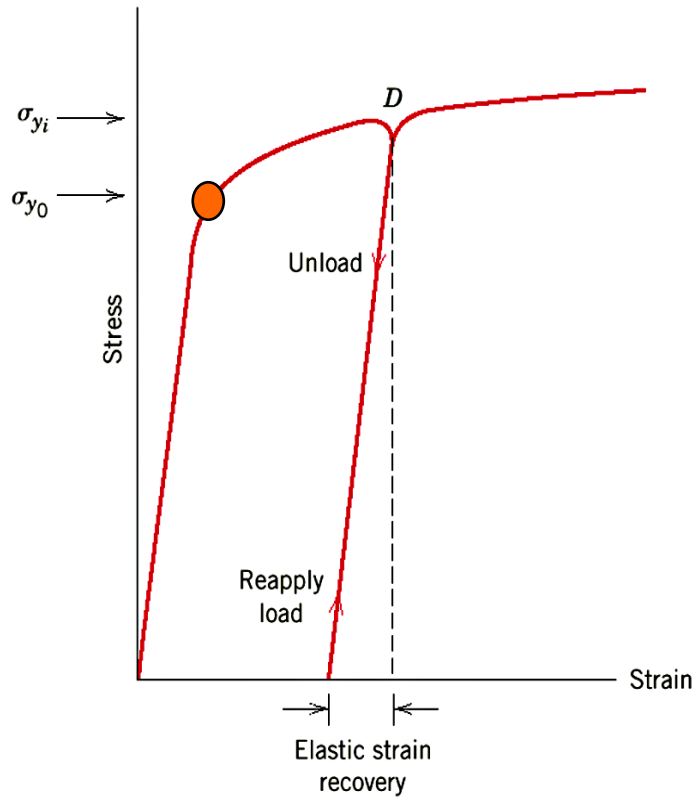


Σκλήρυνση πλαστικής παραμόρφωσης

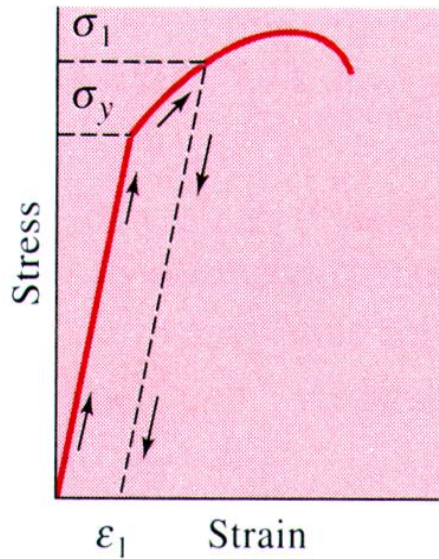


$$\sigma_T = K \varepsilon_T^n$$

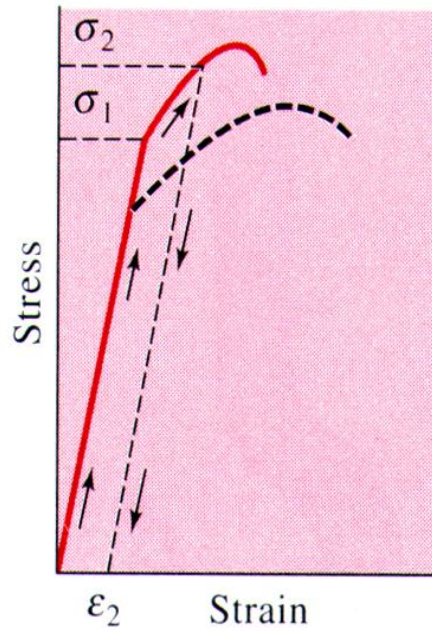
Σκλήρυνση πλαστικής παραμόρφωσης



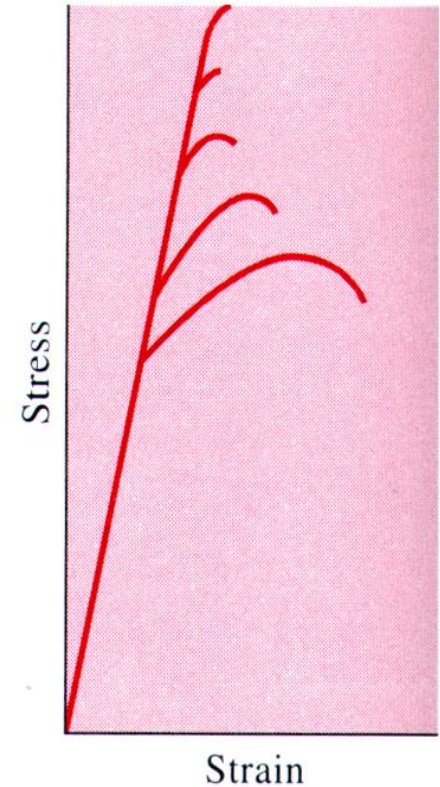
Σκλήρυνση πλαστικής παραμόρφωσης



(a)



(b)



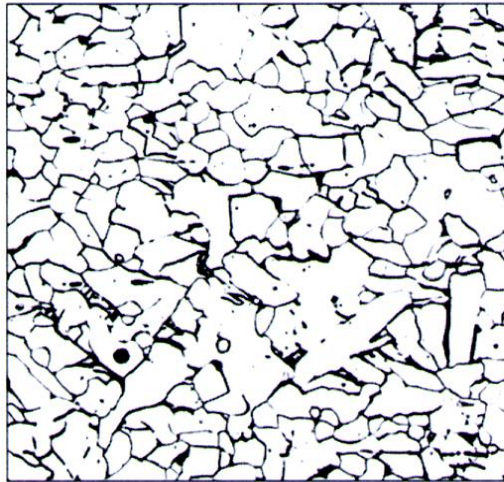
(c)

Εξέλιξη της σκλήρυνσης με παραμόρφωση όπως αποτυπώνεται σε ένα διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης. α) Αρχική παραμόρφωση

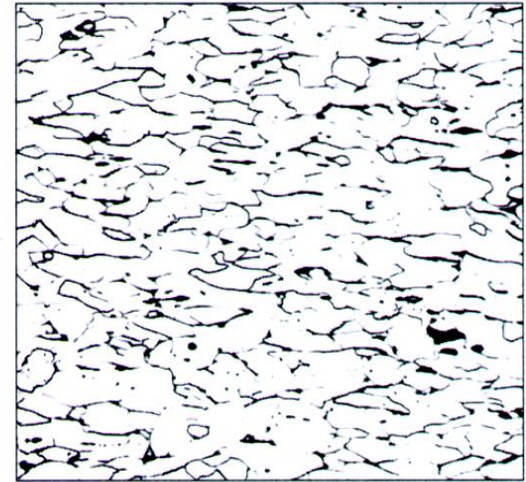
β) Παραμόρφωσης μετά την απομάκρυνση της αρχικής τάσης

γ) Διαδοχικές παραμορφώσεις

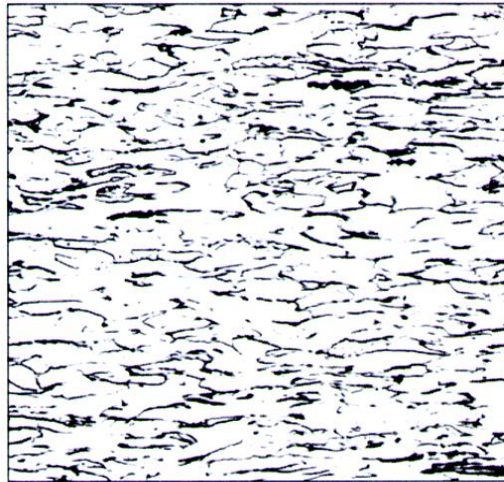
**Σκλήρυνση πλαστικής
παραμόρφωσης**



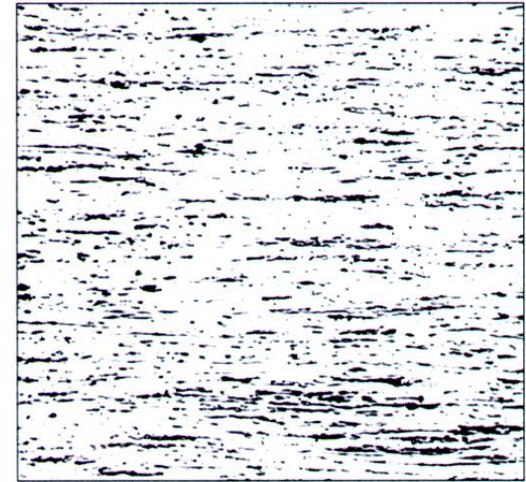
(a)



(b)



(c)

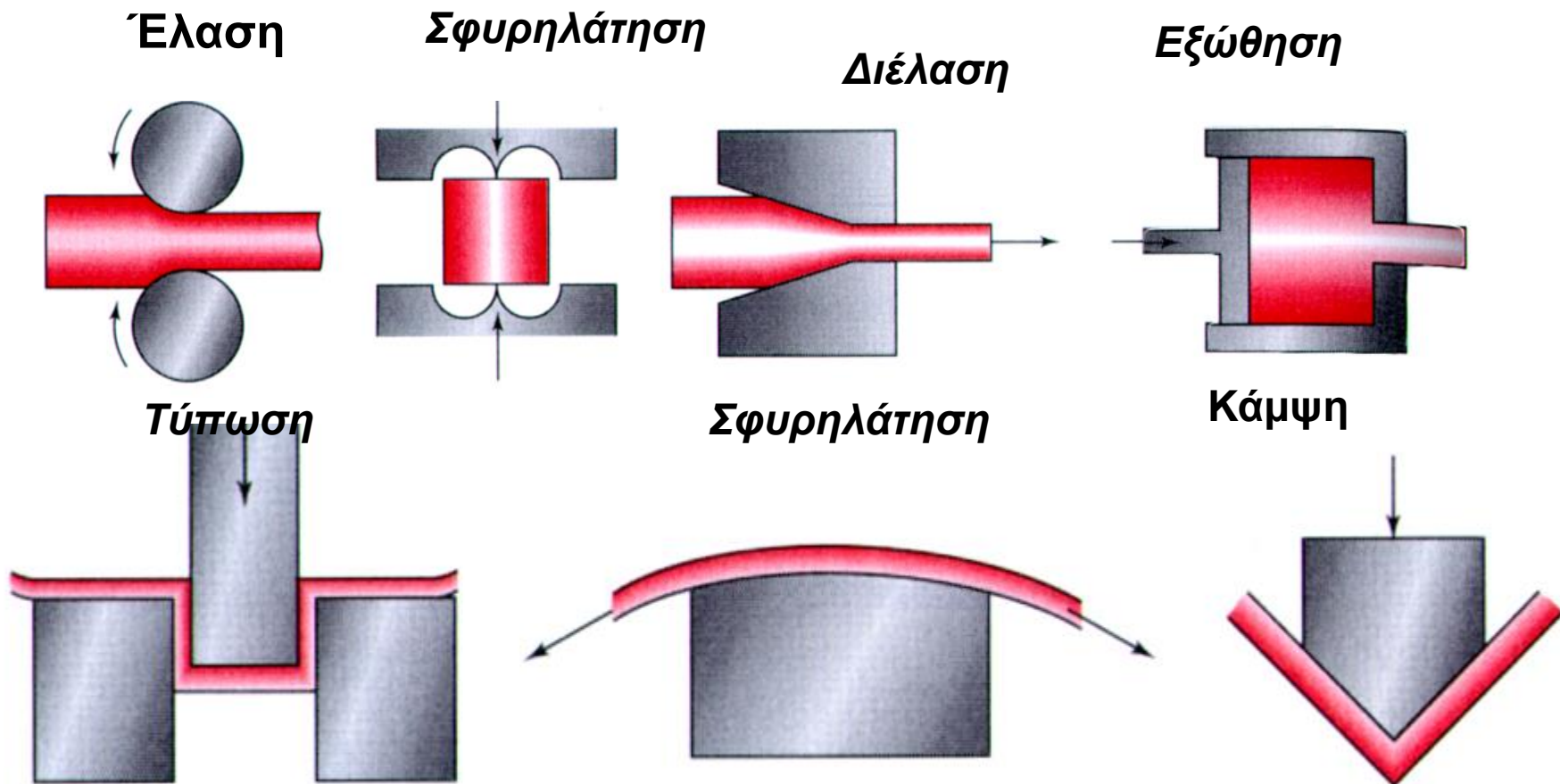


(d)

Σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση

Παραμόρφωση εν ψυχρώ

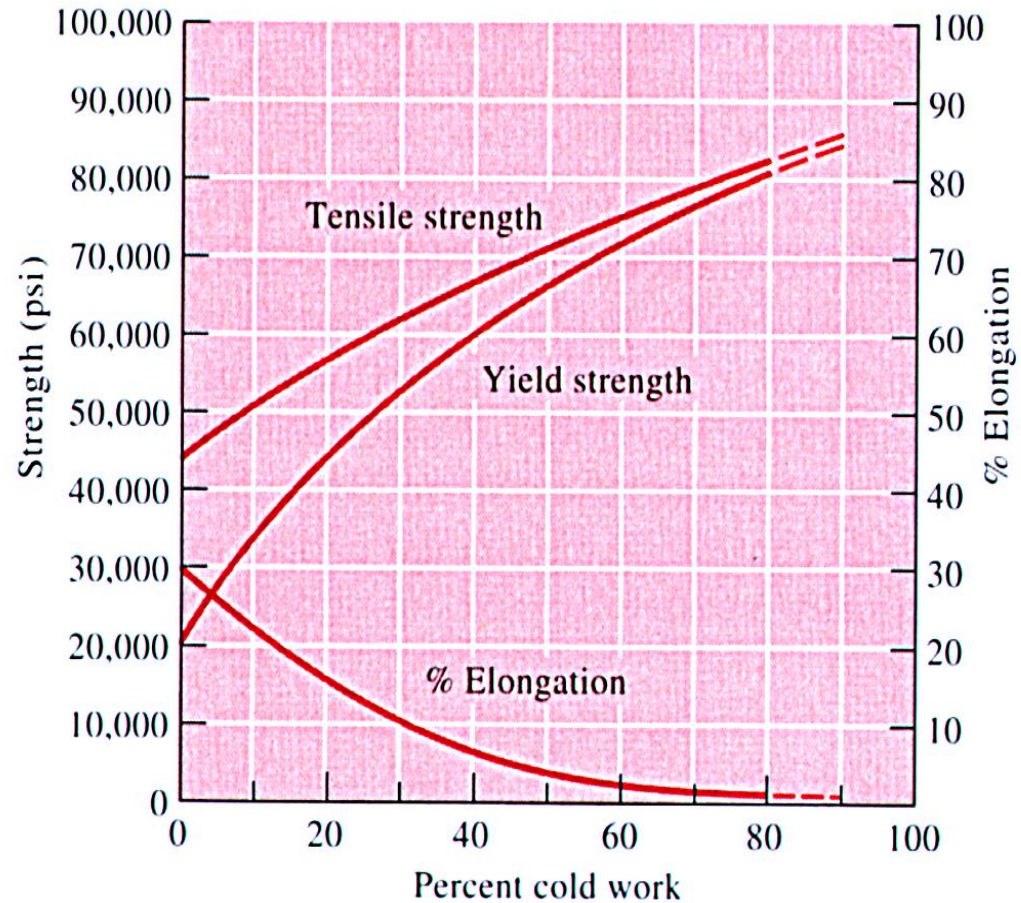
$$\%CW = (A_0 - A_d) / A_0 \times 100$$



Σχηματική παράσταση των διεργασιών μορφοποίησης των μεταλλικών υλικών

Σκλήρυνση πλαστικής παραμόρφωσης

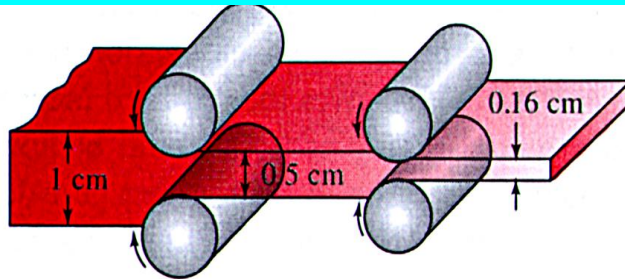
Παραμόρφωση εν ψυχρώ



The effect of cold work on the mechanical properties of copper.

Παράδειγμα ερώτησης

Μια πλάκα χαλκού πάχους 1 cm υποβάλλεται σε πλαστική παραμόρφωση και το πάχος μειώνεται καταρχήν σε 0,50 cm και στη συνέχεια σε 0,16 cm. Υπολογίσετε τη συνολική σκλήρυνση του αρχικού υλικού και την αντοχή παραμόρφωσης του τελικού υλικού



Το διάγραμμα δείχνει τη διεργασία έλασης και τη μεταβολή των διαστάσεων

Λύση

Υπολογίζουμε την % σκλήρυνση για κάθε στάδιο

$$\% \text{ CW} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 = \frac{1 - 0.50}{1} \times 100 = 50\%$$

$$\% \text{ CW} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 = \frac{0.50 - 0.16}{0.50} \times 100 = 68\%$$

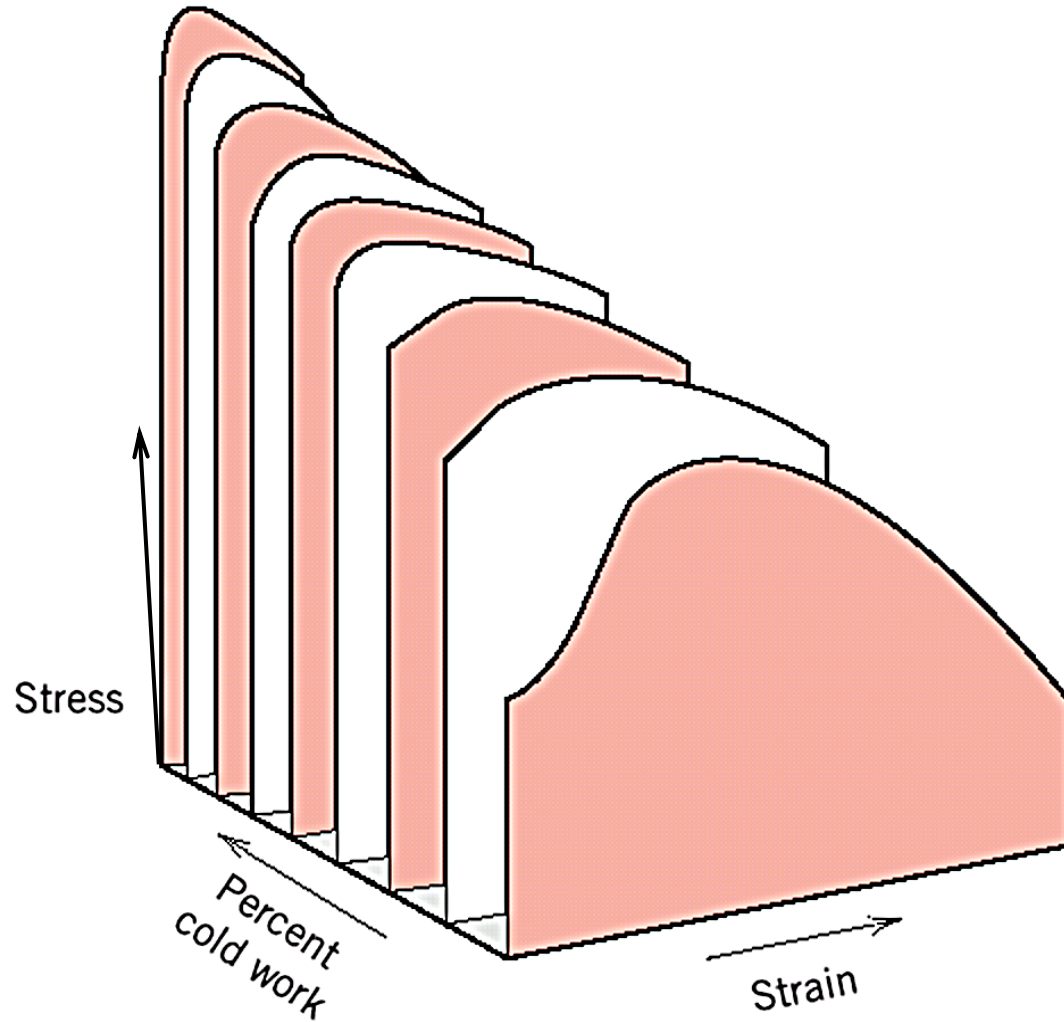
Εάν αθροίσουμε τα δύο επιμέρους ποσοστά σκλήρυνσης
 $50\% + 68\% = 118\%$ καταλήγουμε σε λάθος αποτέλεσμα.

Το σωστό είναι να υπολογίσουμε την ολική σκλήρυνση η οποία είναι:

$$\% \text{ CW} = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 = \frac{1 - 0.16}{1} \times 100 = 84\%$$

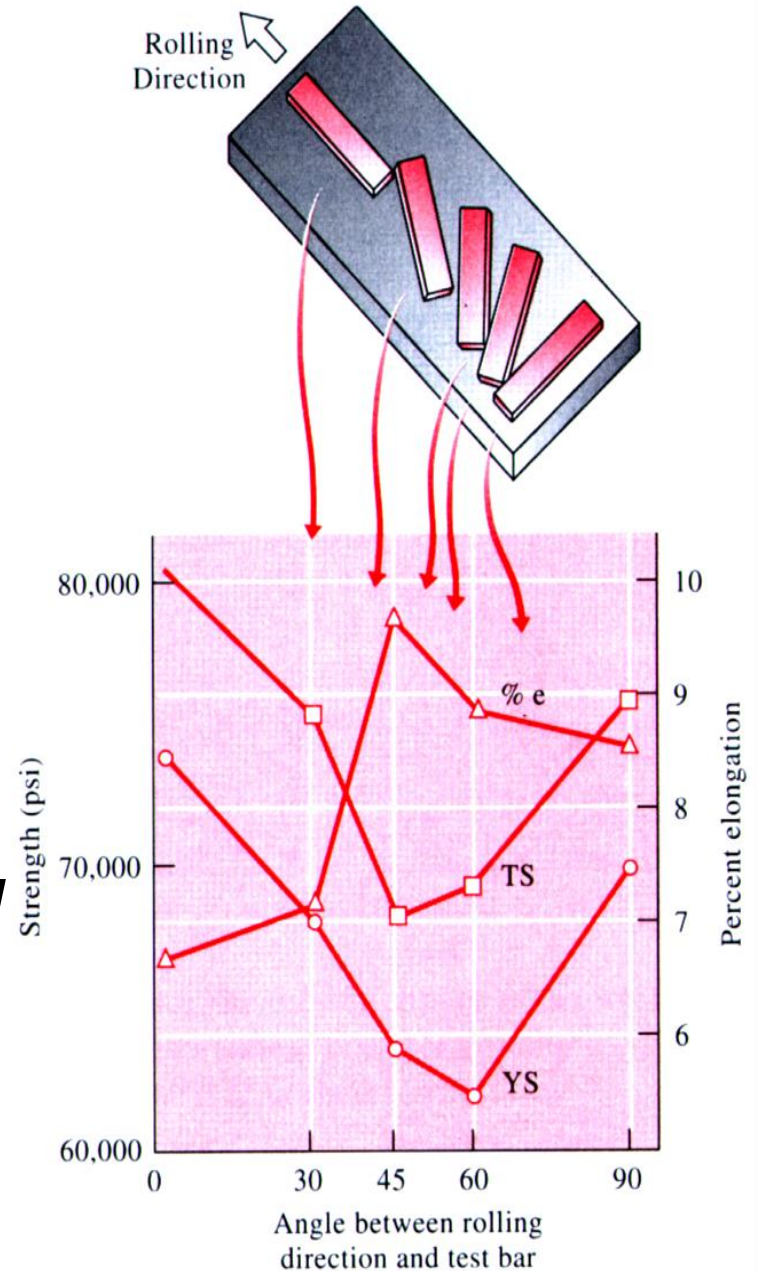
Από το σχήμα προσδιορίζουμε τη αντοχή
εφελκυσμού 82,000psi

Συσχέτιση σκλήρυνση με πλαστική παραμόρφωση και ολκιμότητας

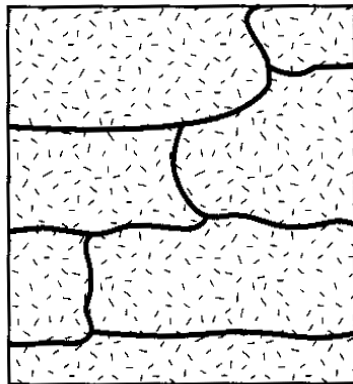


Ανισότροπη συμπεριφορά που προκαλείται με την εν ψυχρώ παραμόρφωση

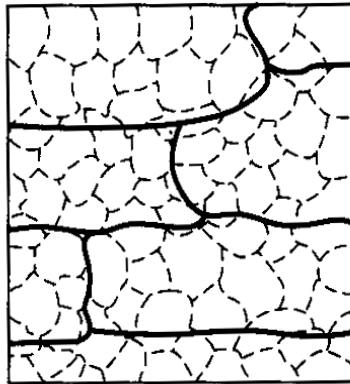
Ανισότροπη συμπεριφορά σε κράμα Al – Li το οποίο χρησιμοποιείται στην αεροναυπηγική.



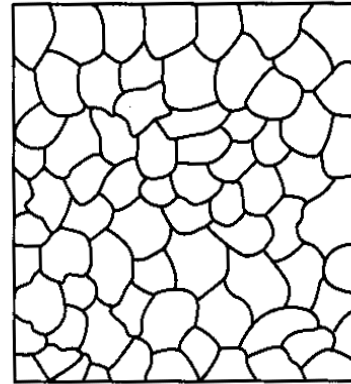
Ανόπτηση είναι η θερμική κατεργασία η οποία εφαρμόζεται μετά την πλαστική εν ψυχρώ παραμόρφωση και ως στόχο το υλικό να ανακτήσει την αρχική δομή και μηχανική συμπεριφορά. Διακρίνεται σε αποτατική ανόπτηση, ανακρυστάλλωση και ανάπτυξη των κρυσταλλικών κόκκων.



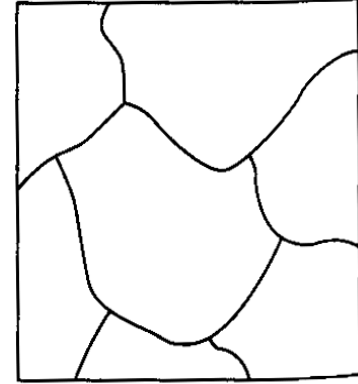
(a)



(b)



(c)



(d)

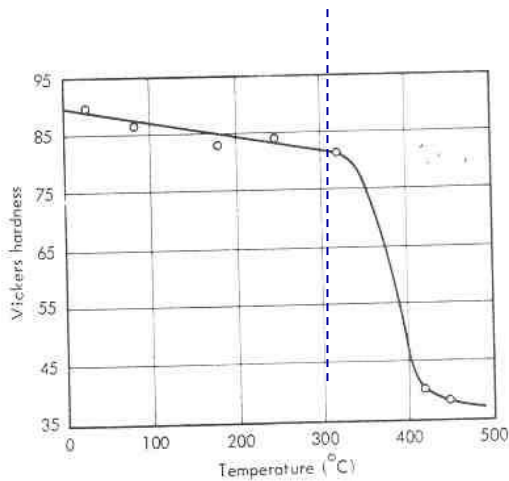
Επίδραση της θερμοκρασίας ανόπτησης στην μικροκρυσταλλική δομή μετά την εν ψυχρώ πλαστική παραμόρφωση του (α)
Δομή μετά την παραμόρφωση (β) Μετά την αποτατική ανόπτηση (γ) Μετά την ανακρυστάλλωση (δ) Μετά την ανάπτυξη των κόκκων

Αποτατική ανόπτηση

“Stress release annealing”

- **Θερμοκρασία ανόπτησης** $T < 0,3T_M$
- **Επιπτώσεις στο υλικό:**
 - Απομάκρυνση των εσωτερικών τάσεων
 - Ουδεμία αλλαγή της δομής
 - Μικρή επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού
- **Μηχανισμός:** Συγχώνευση , ανακατανομή εξαρμώσεων
- **Εφαρμόζεται μετά από χύτευση , συγκόλληση, ψυχρή έλαση , κάμψη**

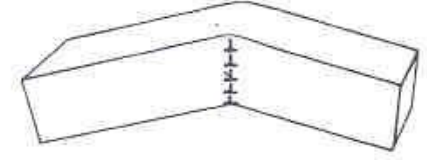
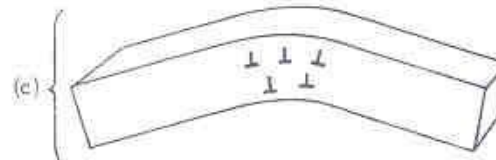
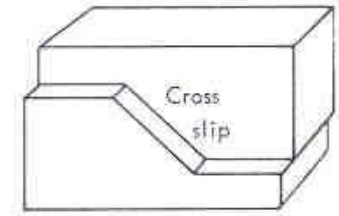
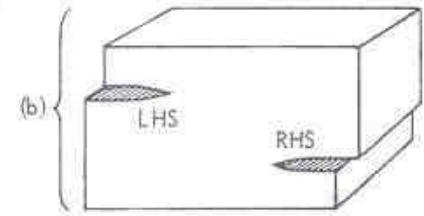
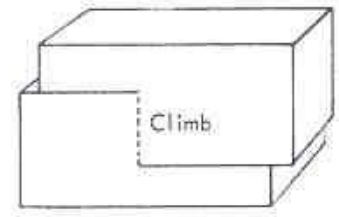
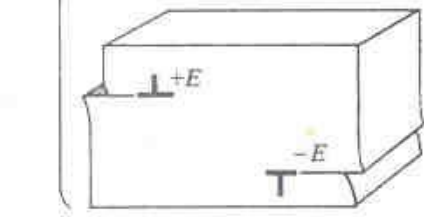
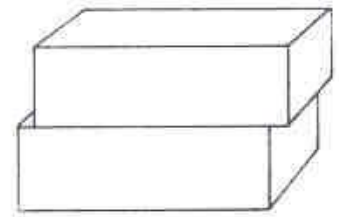
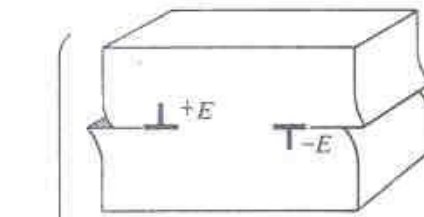
**Μηχανισμοί αποτατικής
ανόπτωσης ή
αποκατάστασης (Recovery)
του υλικού**



**Μεταβολή της σκληρότητας
κράματος χαλκού κατά την
ανόπτωση**

**Συγχώνευση
εξαρμώσεων**

**Ανακατανομή
εξαρμώσεων**



Πριν την αποκατάσταση

Μετά την αποκατάσταση

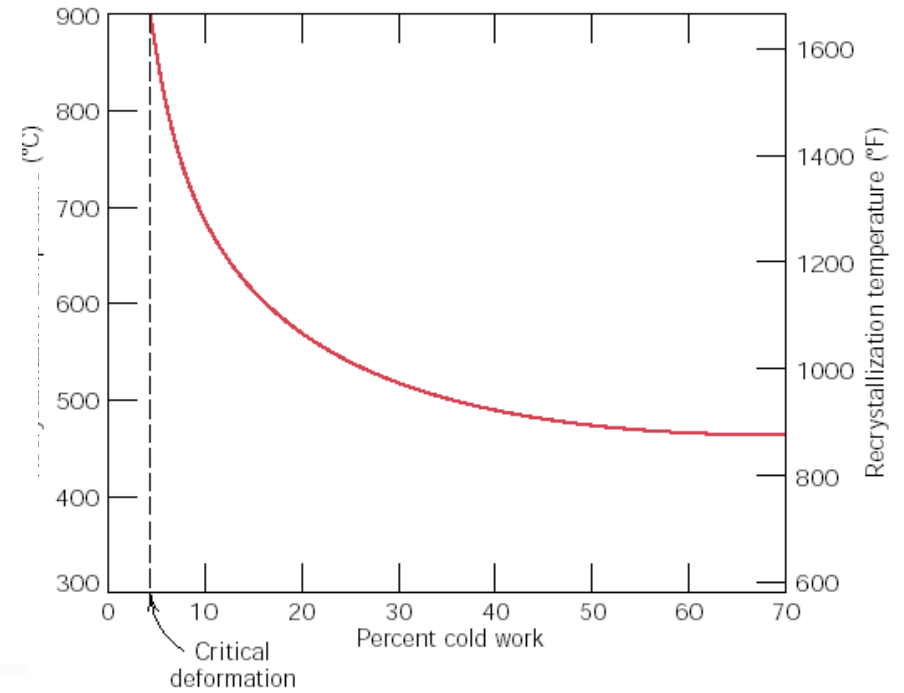
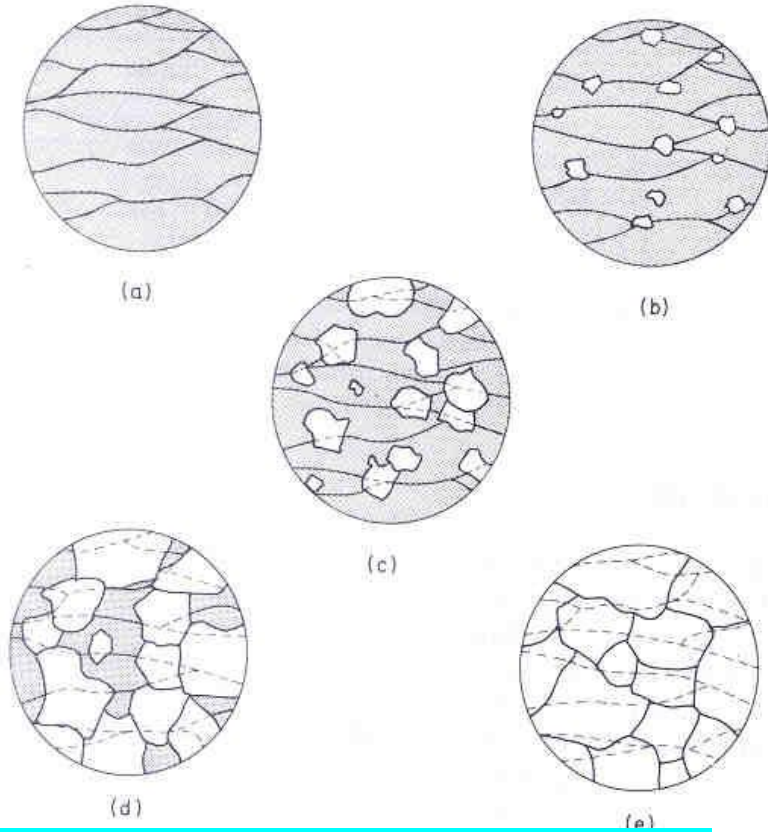
Ανακρυστάλλωση

- Θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης
- Μηχανισμός
- Ταχύτητα

Η ανακρυστάλλωση γίνεται σε $T > 0,3T_M$

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης των μεταλλικών υλικών δεν είναι καθορισμένη . Κυμαίνεται σε μια περιοχή θερμοκρασιών εξαρτάται από το χρόνο θέρμανσης ,το βαθμό σκλήρυνσης (ή την πυκνότητα εξαρμώσεων) ,το μέγεθος των κόκκων ,τη χημική σύσταση.

Ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία σε μια ώρα έχουμε αναμόρφωση της δομής σε ποσοστό 95%



Μηχανισμός ανακρυστάλλωσης

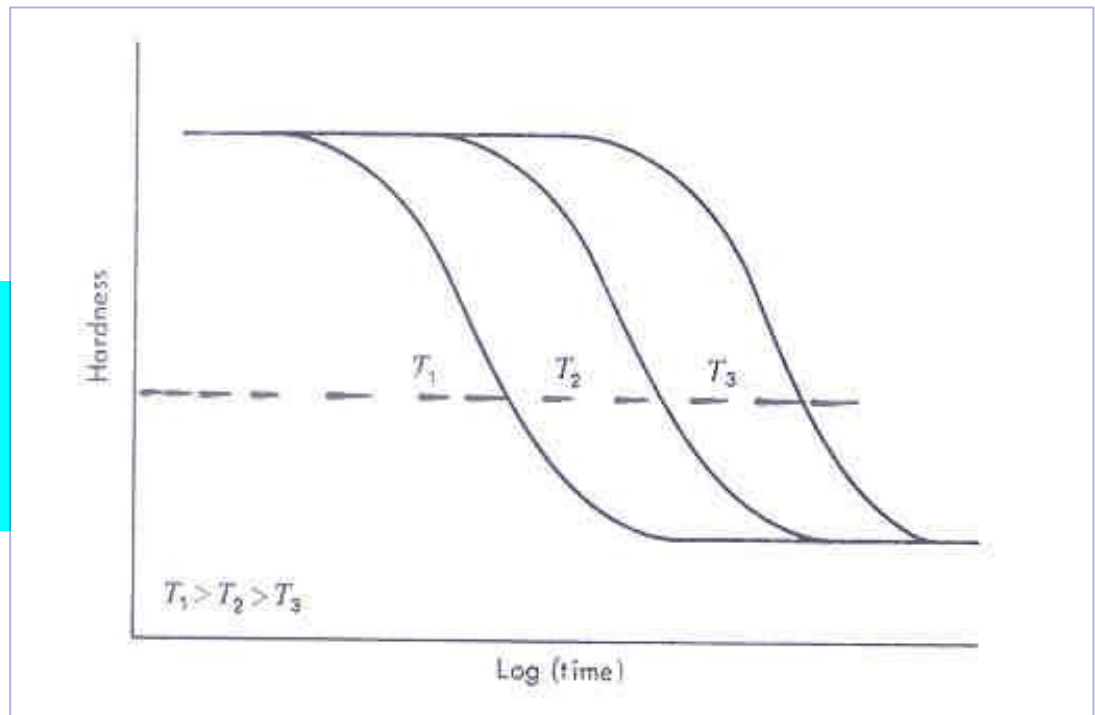
Επίδραση του βαθμού σκλήρυνσης στην θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης

Ταχύτητα ανακρυστάλλωσης

Η ταχύτητα μετασχηματισμού της δομής δηλαδή η ανάπτυξη νέων κρυσταλλικών κόκκων εξαρτάται από:

- Τη Θερμοκρασία θέρμανσης
- Το χρόνο θέρμανσης,
- Το βαθμό σκλήρυνσης (ή την πυκνότητα εξαρμώσεων)
- Το μέγεθος των κόκκων
- Τη χημική σύσταση

Μεταβολή μηχανικής ιδιότητας από τη θερμοκρασία και το χρόνο θέρμανσης



Συσχέτιση των παραμέτρων χρόνου θέρμανσης και θερμοκρασίας θέρμανσης

Ταχύτητα ανακρυστάλλωσης=

1/χρόνος για ορισμένο ποσοστό ανακρυστάλλωσης δομής=

$$=t^{-1}=A\exp(-\Delta E/RT)$$

A:σταθερά ,T: απόλυτη θερμοκρασία θέρμανσης

ΔE : Ενέργεια ενεργοποίησης της διάχυσης των ατόμων

Εφαρμογή : Ο ορείχαλκος για υποστεί πλήρη ανακρυστάλλωση και να αποκτήσει τη δομή του σχήματος θερμάνθηκε για 8s στους 500 °C . Πόσο χρόνο θέρμανσης θα απαιτούσε στους 400 °C για να αποκτήσει ίδια δομή.

$\Delta E=40\text{Kcal/mol}$

Ανακρυστάλλωση Ορίχαλκου στους 500 °C για 8s

Με εφαρμογή της

$$t^{-1} = A \exp(-\Delta E/RT)$$

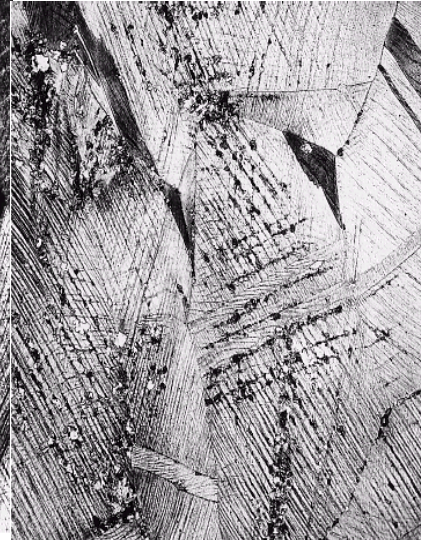
Παίρνουμε:

$$\ln(t_2/t_1) = (\Delta E/R)(T_2 - T_1)/T_1 T_2$$
$$= (4000/1,98)(100/723 \cdot 623)$$

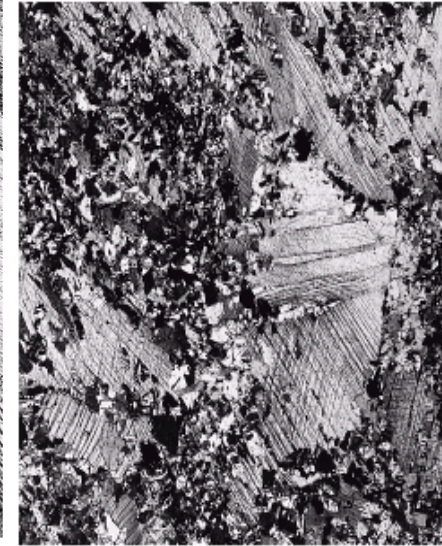
$$t_2 = 12,5s$$



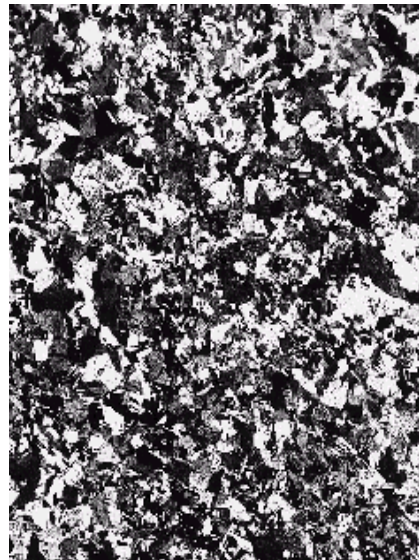
(a)



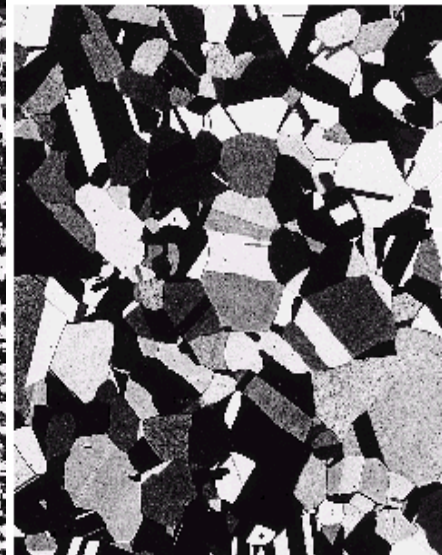
(b)



(c)



(d)



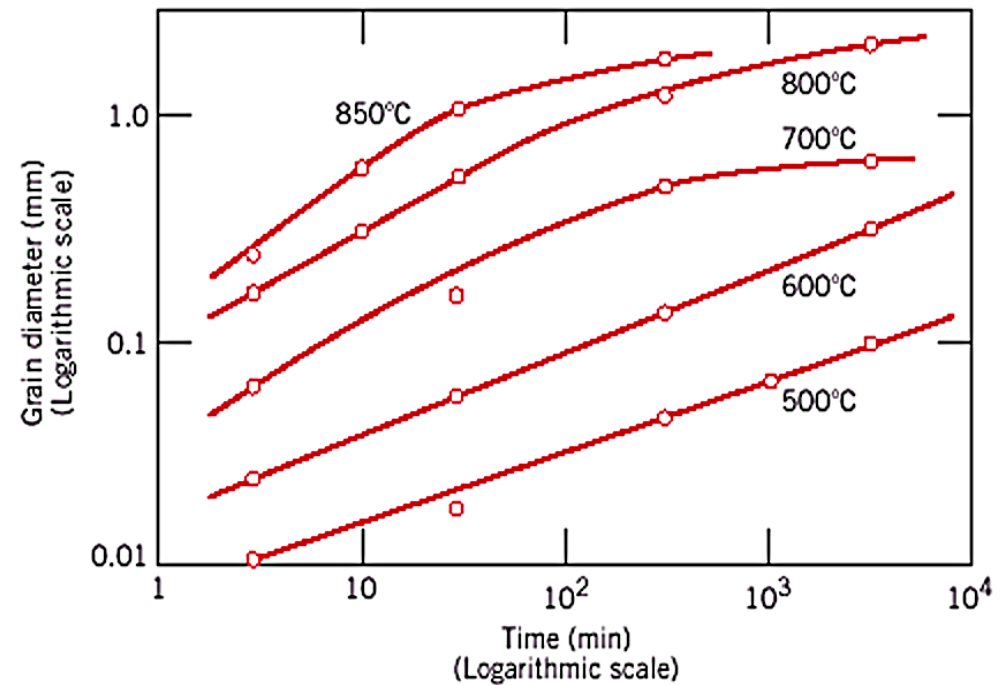
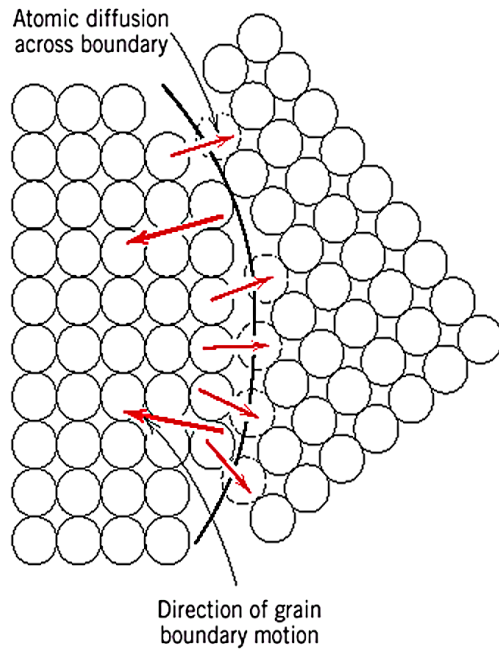
(e)



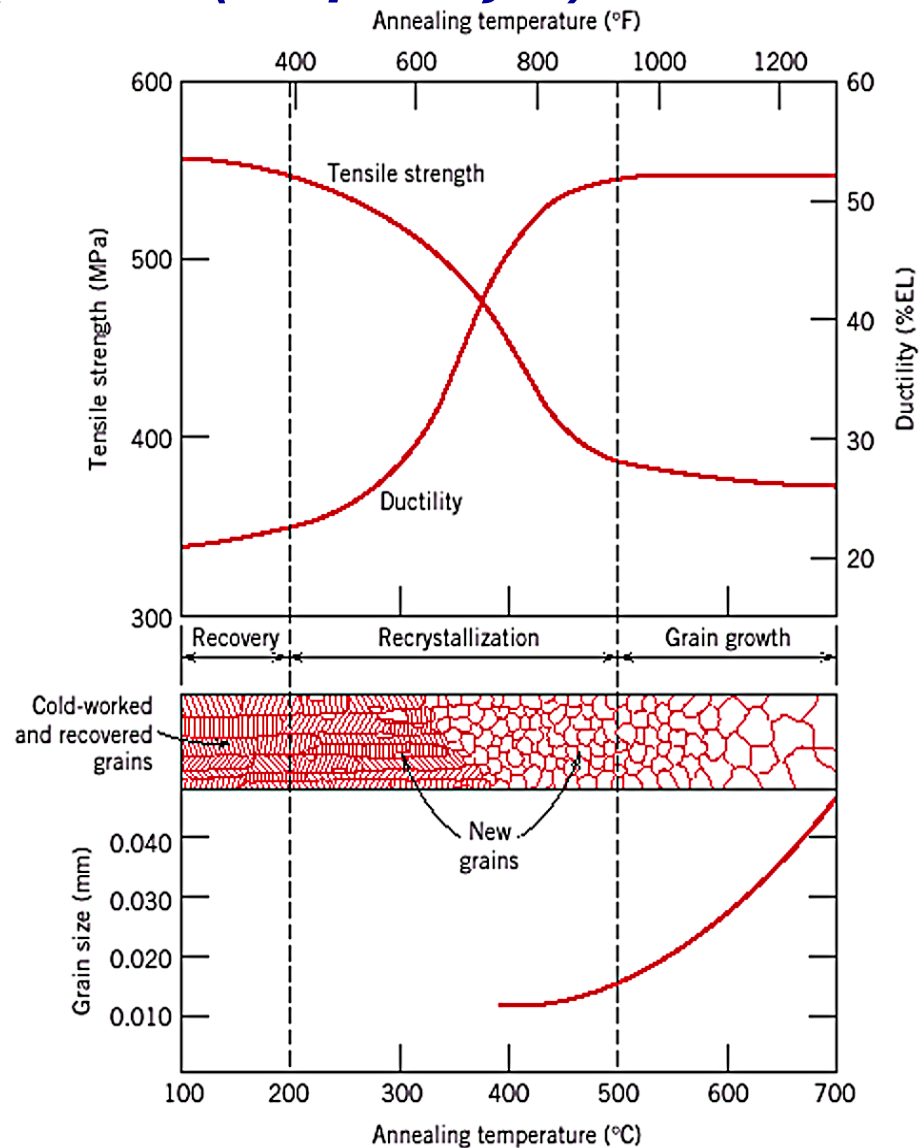
(f)

Ανάπτυξη των κρυσταλλικών κόκκων

$$d_n - d_0^n = Kt$$



Θερμοκρασία ανόπτησης και μηχανικές ιδιότητες Κράματος χαλκού (Μπρούτζου)



Θερμοκρασίες ανακρυστάλλωσης και σημεία τήξεως μερικών μετάλλων και κραμάτων

<i>Metal</i>		Θερμοκρασία Ανακρυστάλλωσης		Θερμοκρασία Τήξεως	
		°C	°F	°C	°F
Lead	Pb	-4	25	327	620
Tin	Sn	-4	25	232	450
Zinc	Zn	10	50	420	788
Aluminum (99.999 wt%)	Al	80	176	660	1220
Copper (99.999 wt%)	Cu	120	250	1085	1985
Brass (60 Cu-40 Zn)		475	887	900	1652
Nickel (99.99 wt%)	Ni	370	700	1455	2651
Iron	Fe	450	840	1538	2800
Tungsten	W	1200	2200	3410	6170

Πλαστική παραμόρφωση κεραμικών

Οι κεραμικοί μονοκρύσταλλοι περιέχουν εξαρμώσεις και εμφανίζουν πλαστικότητα



Οι πολυκρυσταλλικές δομές εμφανίζουν μικροσκοπικές ρωγμές (small cracks) or micro cracks) στα όρια των κόκκων



Οι μικροσκοπικές ρωγμές λειτουργούν ως σημεία συγκέντρωσης τάσεων και επειδή:

« Ενέργεια ανάπτυξης μικροσκοπικής ρωγμής \ll μετακίνησης εξάρμωσης »



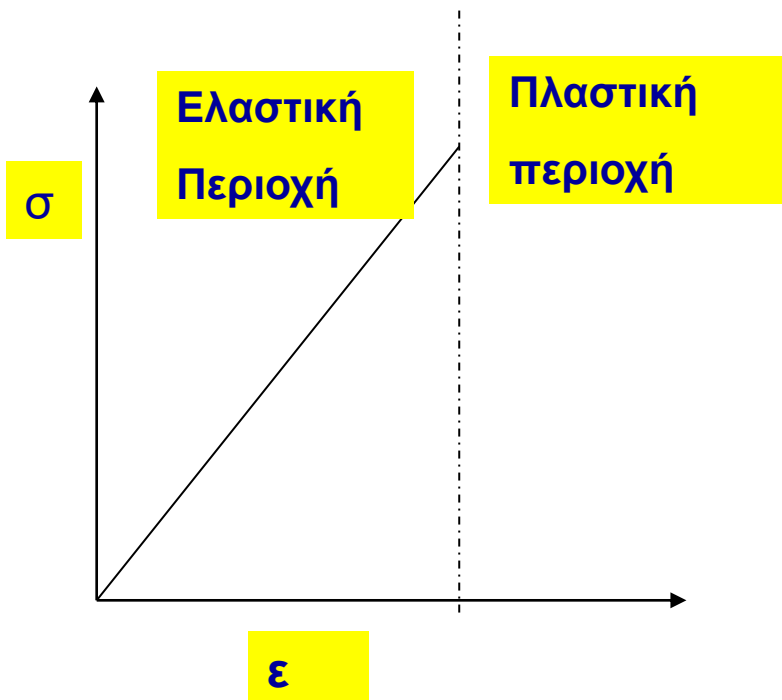
Θραύση χωρίς πλαστική παραμόρφωση

Πλαστική παραμόρφωση κεραμικών

Η μεταβολή της τάσης θραύσης ενός κεραμικού λόγω μεταβολής του μεγέθους των μικρορωγμών (πορώδες) υπολογίζεται από τη σχέση

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-0,5}$$

d: μέση διάμετρος των κόκκων η οποία συνήθως ταυτίζεται με το μέγεθος των μικρορωγμών



Ανάλογη συμπεριφορά εμφανίζουν και τα γαυλιά.

Μια μικρορωγμή έχει μήκος 1μm και ακτίνα $5 \cdot 10^4$ μm

Ερωτήματα που αφορούν την πλαστική παραμόρφωση των κεραμικών

➤ Σχεδιάστε την τυπική καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης των κεραμικών και εξηγήστε την μορφή της.

➤ Ποια επίδραση έχουν οι μικρορωγμές (small cracks) στην μηχανική συμπεριφορά των κεραμικών

➤ Η αύξηση του πορώδους των κεραμικών: (1) δεν επιδρά στην αντοχή παραμόρφωσης (2) αυξάνει την αντοχή (3) μειώνει την αντοχή

➤ Να συγκρίνεται την πλαστικότητα των αργίλων ύστερα από θέρμανση τους

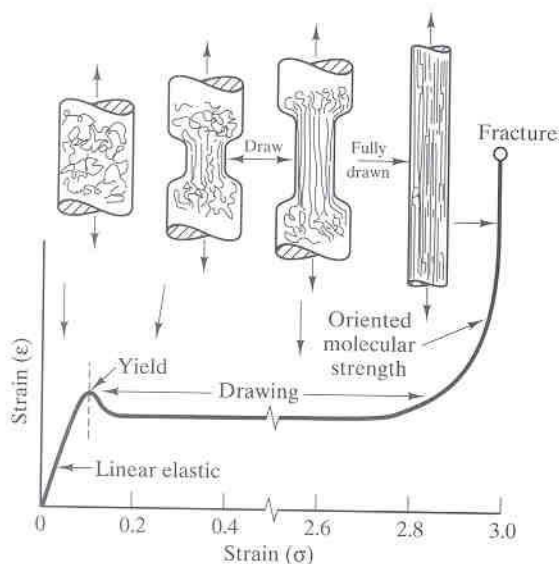
(α) στους 50 °C και στους 1200 °C

➤ Σχεδιάστε την τυπική καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης των γυαλιών και εξηγήστε την μορφή της.

➤ Εξηγήσετε τον μηχανισμό παραμόρφωσης κεραμικών και γυαλιών

Πλαστική παραμόρφωση πολυμερών

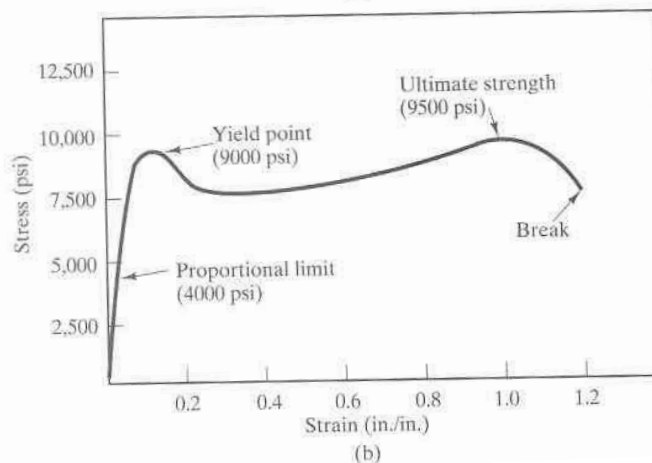
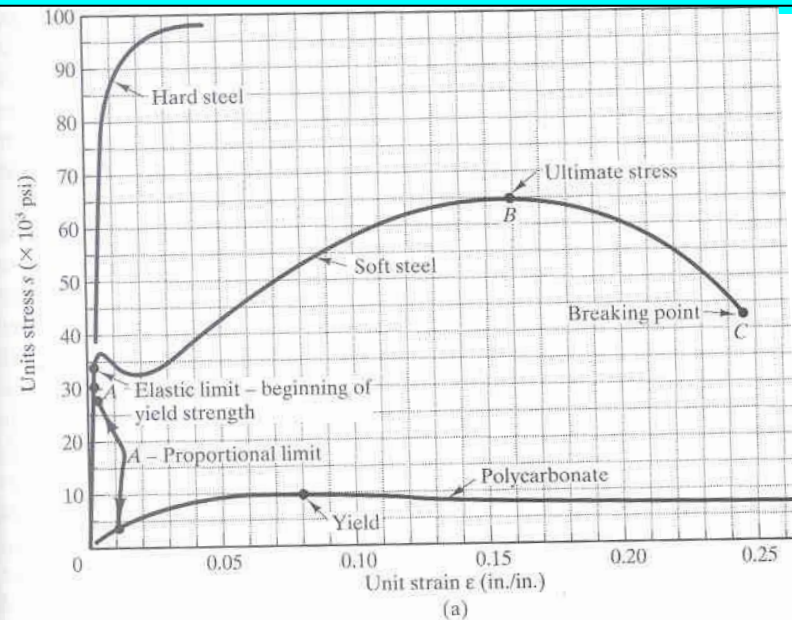
A: Θερμοπλαστικά



Τυπικό Διάγραμμα

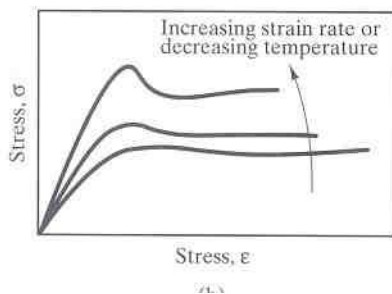
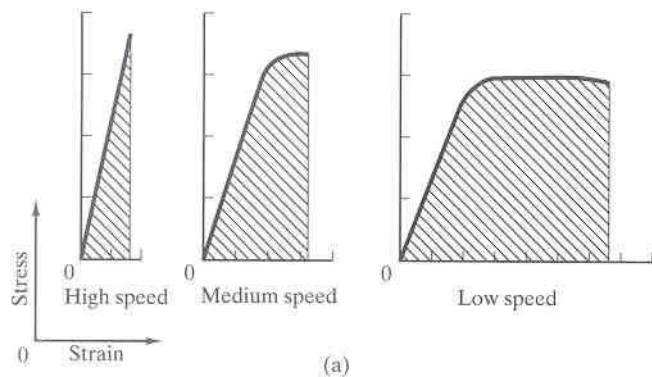
τάσης- παραμόρφωσης

θερμοπλαστικού σε $T > T_g$.

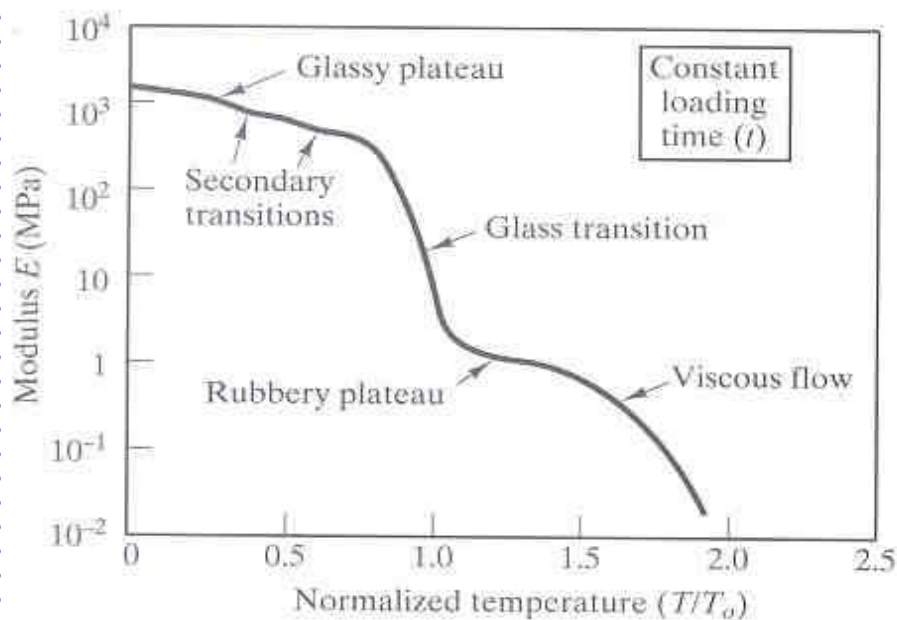


Σύγκριση Διαγράμματος Τάσης - παραμόρφωσης Χάλυβα, πολυεστέρα

Επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης(ταχύτητας εφαρμογής της τάσης) και της θερμοκρασίας στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης.

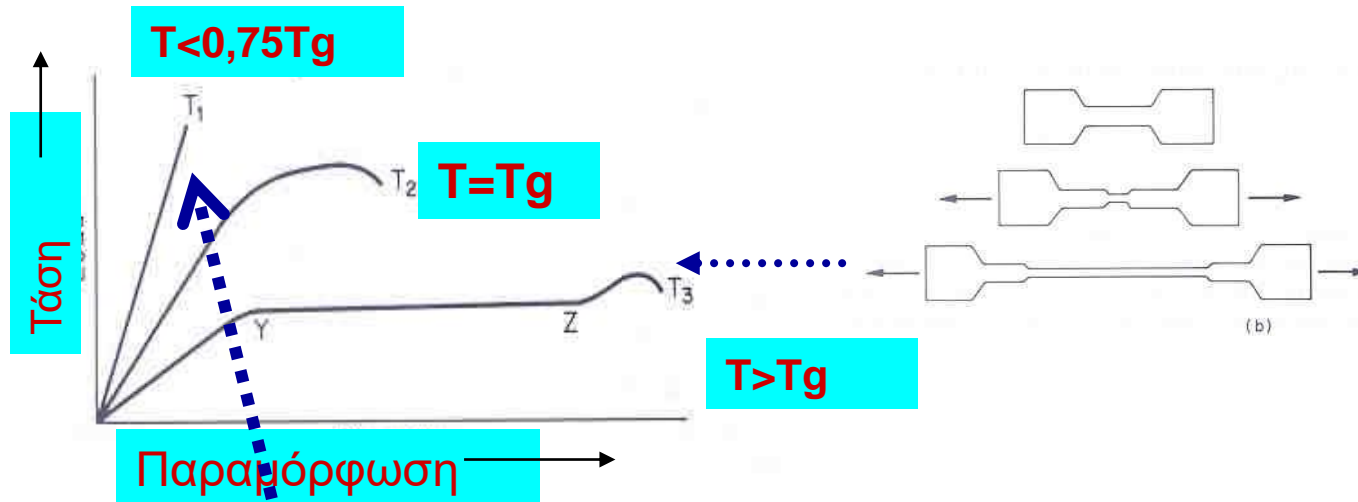


Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας θερμοπλαστικού ως προς την ανηγμένη θερμοκρασία T/T_g ,

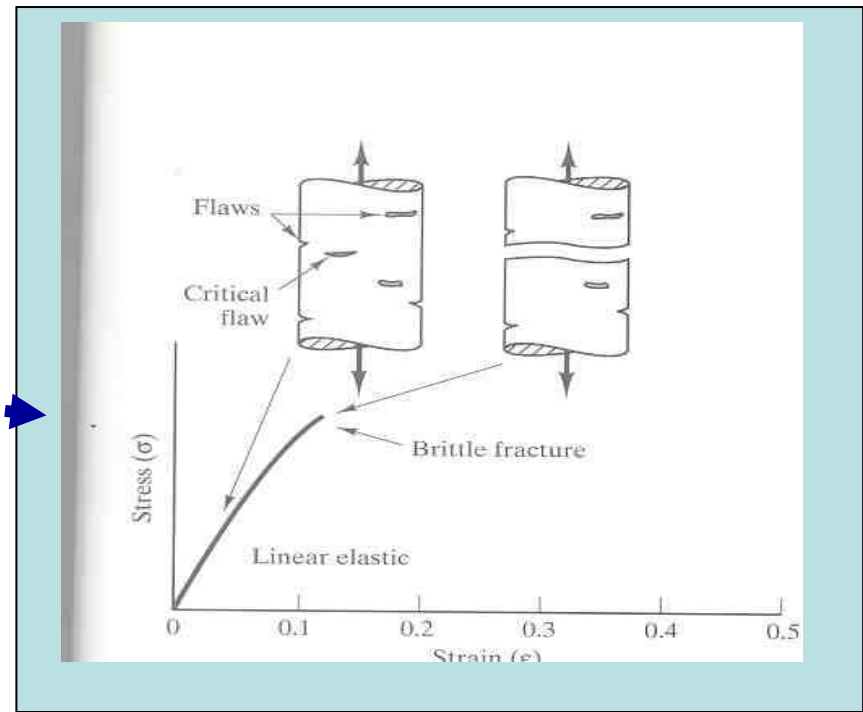


Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης θερμοπλαστικού

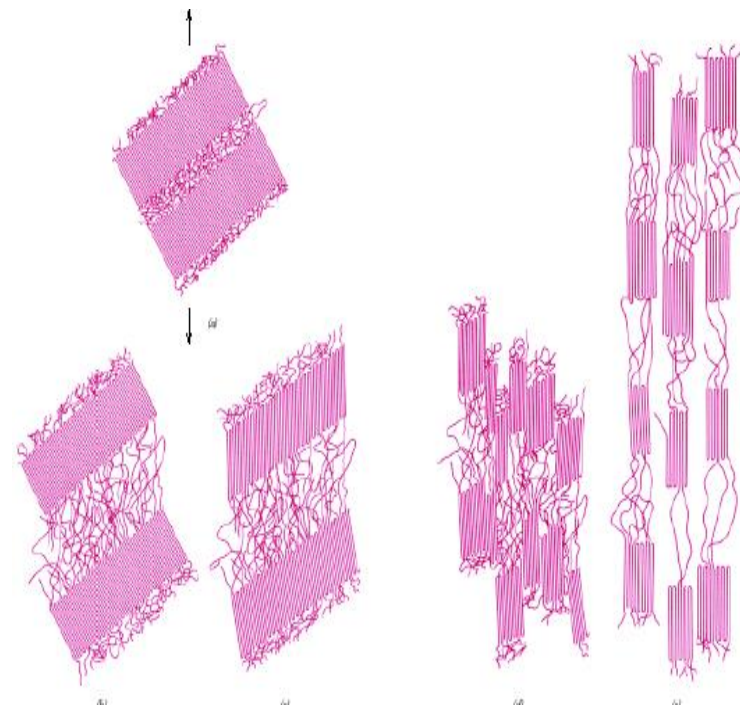
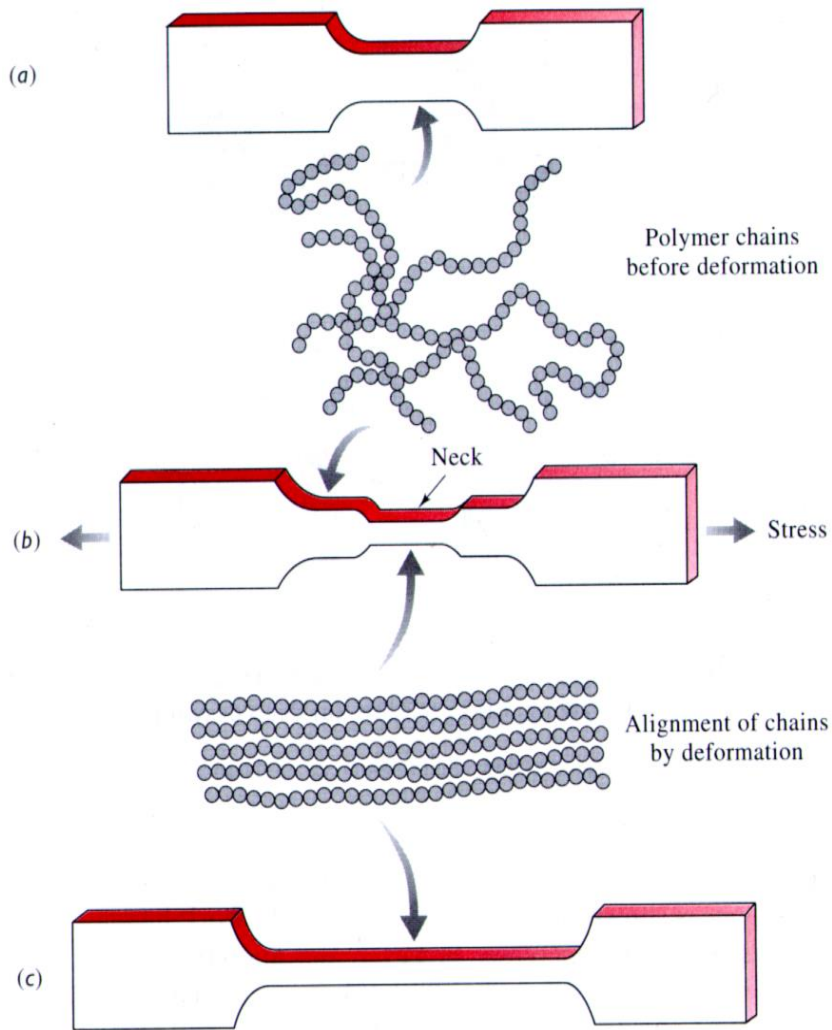
Επίδραση της θερμοκρασίας



Υαλώδης
κατάσταση
Ψαθυρή
συμπεριφορά

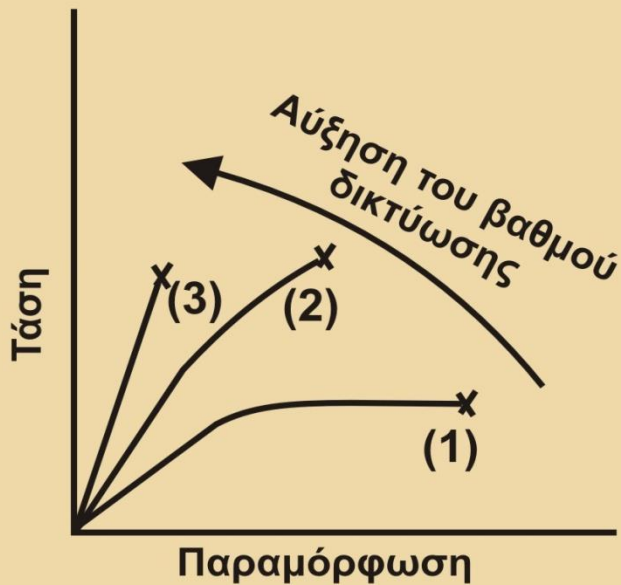


Μηχανισμός σκλήρυνσης θερμοπλαστικών με πλαστική παραμόρφωση



Πλαστική παραμόρφωση πολυμερών

Θερμοσκληρυνόμενα



Η μορφή του διαγράμματος

Τάσης –παραμόρφωσης

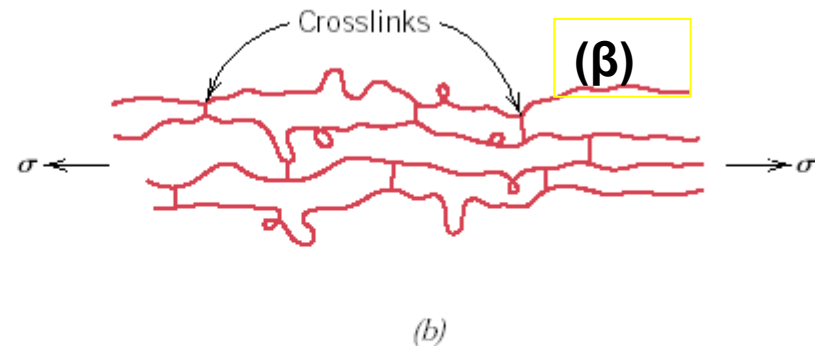
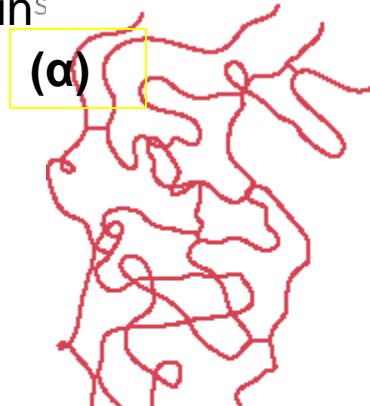
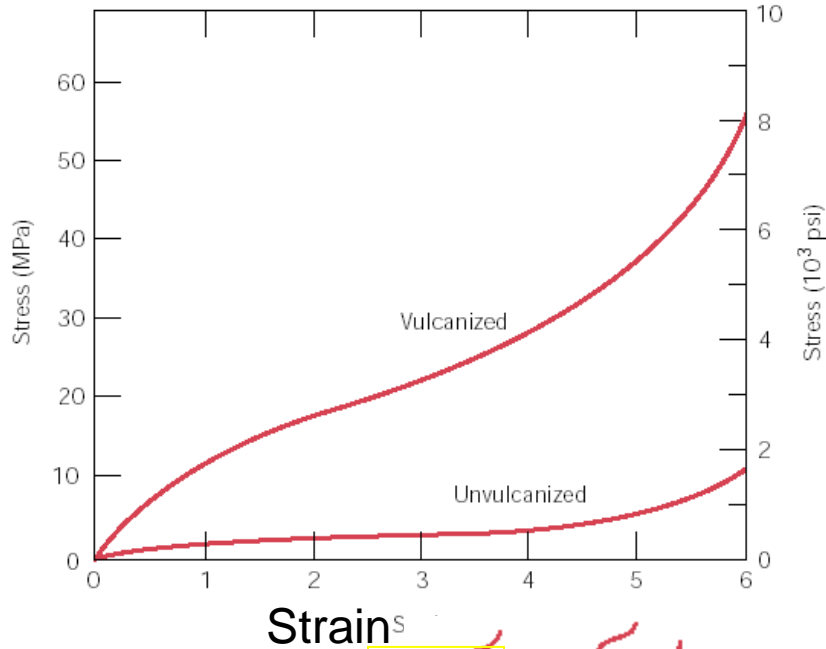
εξαρτάται από τον βαθμό δικτύωσης:

(1) Μικρός βαθμός δικτύωσης

(2) Μέσος βαθμός δικτύωσης

(3) Πλήρης δικτύωση (Ψαθυρή συμπεριφορά)

Διάγραμμα Τάσης- παραμόρφωσης για βουλκανισμένο και μη βουλκανισμένο πολυ-ισοπρένιο



Διαγραμματική απεικόνιση μορίων δομής βουλκανισμένου πολυ-ισοπρένιου

(α) Πρίν την εφαρμογή τάσης

(β) Μετά την εφαρμογή τάσης

(a)

Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας πολυ-ισοπρένιου συναρτήσει του βαθμού βουλκανισμού και της θερμοκρασίας

