



# ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ενότητα 4: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΛΙΤΣΑΡΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΤΗΜΜΥ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας (1)

1. Μηχανικές ιδιότητες
  - i. Τύποι φορτίσεων.
  - ii. Καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης.
  - iii. Μέτρα ελαστικότητας .
  - iv. Λόγος Poisson.
  - v. Πλαστική παραμόρφωση.
  - vi. Σημείο ροής.
  - vii. Αντοχή σε εφελκυσμό.



# Περιεχόμενα ενότητας (2)

---

viii. Ευπλαστικότητα.

ix. Ανθεκτικότητα.

x. Σκληρότητα.

xi. Σκλήρυνση.



# Σκοποί ενότητας

- Να μπορούν οι φοιτητές να κατονομάσουν τα διαφορετικά είδη φόρτισης ενός υλικού.
- Να εξοικειωθούν οι φοιτητές με τη καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης
- Να είναι σε θέση οι φοιτητές να εξάγουν από αυτή πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού.
- Να μπορούν οι φοιτητές να ορίσουν το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού.
- Να κατανοούν οι φοιτητές την έννοια της πλαστικής παραμόρφωσης και τα σχετιζόμενα με αυτή μεγέθη.



# Γενικά

- Απόκριση υλικών σε μηχανικές τάσεις:
  - Παραμόρφωση - Θραύση
- 
- Αντοχή υλικών - Αστοχία
  - γήρανση , διάβρωση, αντοχή σε μηχανικές τάσεις (θραύση, ερπυσμός, λύγισμα, κόπωση, φθορά)



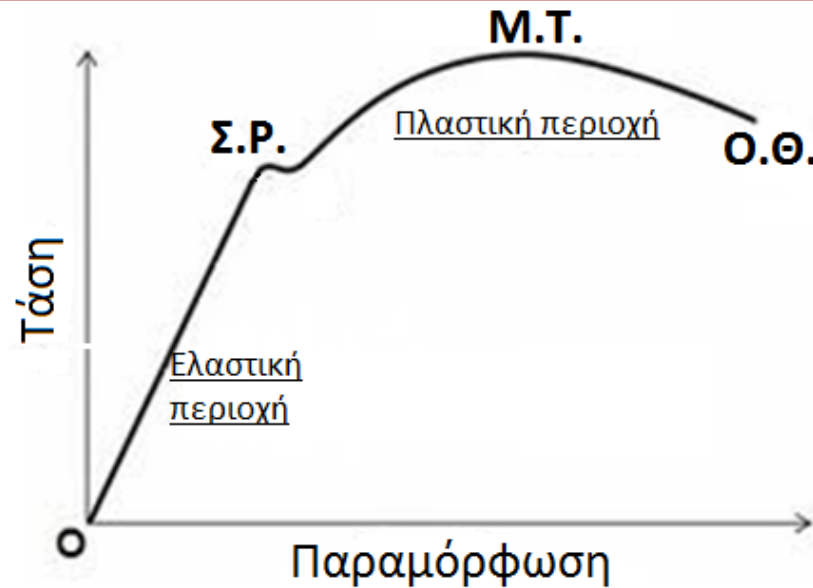


# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

- Φόρτιση:
  - Αξονική
  - Εγκάρσια
  - Στρεπτική
- Η αξονική τάση διακρίνεται σε:
  - Συμπιεστική
  - Εφελκυστική
  - Διατμητική



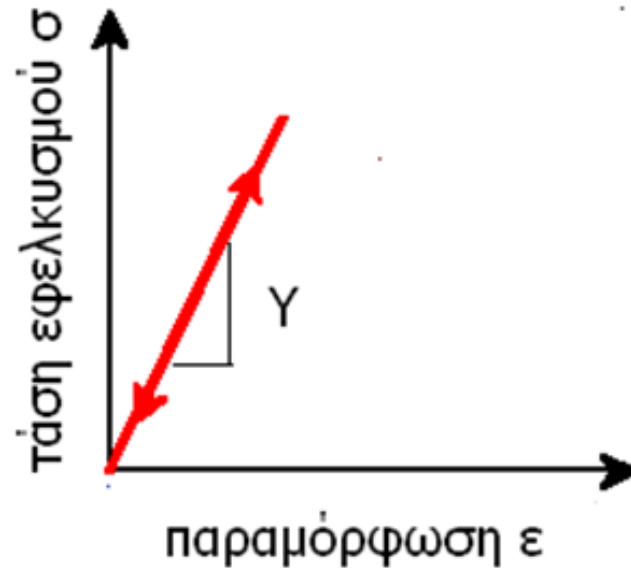
# ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΣΗΣ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



- Παραμόρφωση  $\epsilon$ :  $\epsilon = \Delta L/L$   
(αδιάστατο μέγεθος)
- Τάση  $\sigma$ : δύναμη ανα μονάδα επιφάνειας.  
(διαστάσεις πίεσης:  $N/m^2 = Pa$  ( $psi=6,895$  kPa))



# ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\gamma$ (1)



- Ελαστική παραμόρφωση (αντιστρεπτή).
- Στην περιοχή αυτή ισχύει:  $\sigma = \gamma \cdot \epsilon$   
(όπου το  $\gamma$  ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας Young)



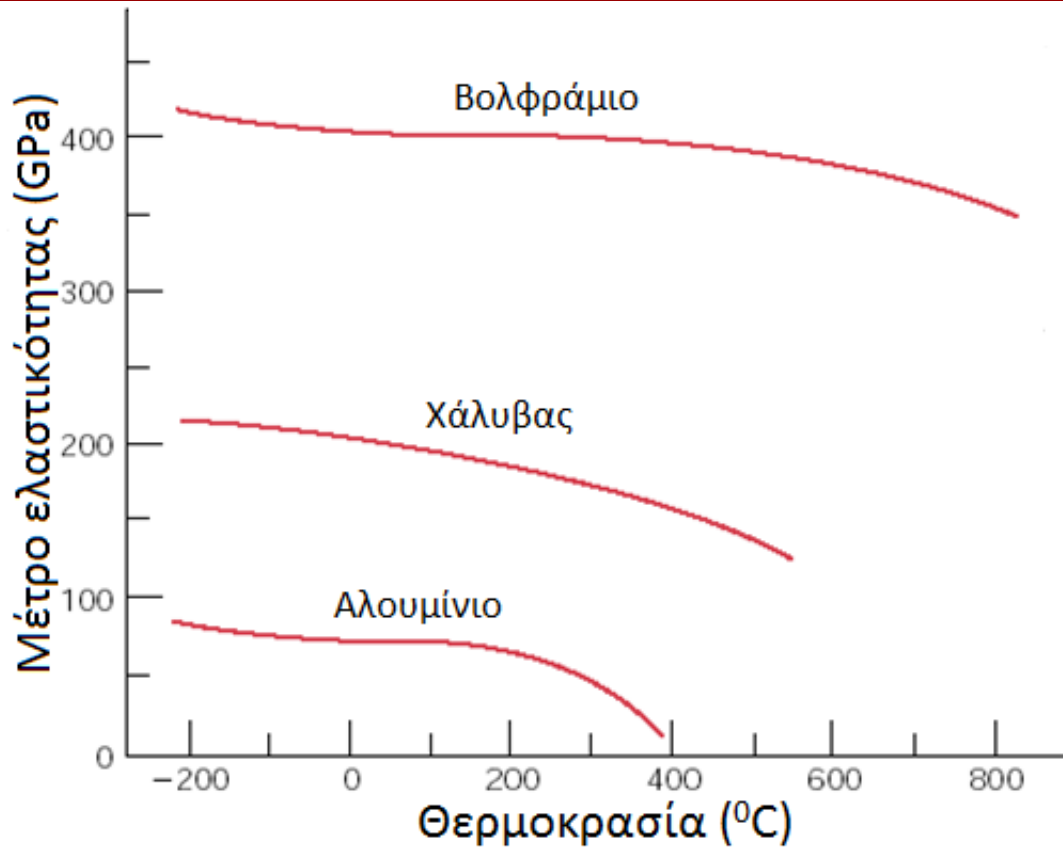
# ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\Upsilon$ (2)

**$\Upsilon$ : Young modulus** (διαστάσεις πίεσης)

- Εκφράζει την γραμμική παραμόρφωση.
- Μεγάλο  $\Upsilon$ , μικρή παραμόρφωση.
- Ανάλογο με τη θερμοκρασία τήξης.
- Μειώνεται με τη θερμοκρασία.
- Εξαρτάται από την κρυσταλλική δομή.



# ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\gamma$ (3)



Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας με τη θερμοκρασία για τρία χαρακτηριστικά υλικά.



# ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (4)

ΥΛΙΚΟ	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (GPa)
ΒΟΛΦΡΑΜΙΟ	407
ΝΙΚΕΛΙΟ	207
ΧΑΛΚΟΣ	110
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	70
ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	393
ΚΑΡΒΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	345
ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΖΙΡΚΟΝΙΟΥ	205
ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ (PET)	2,76 – 4.14
ΝΑΪΛΟΝ 6,6	1,58 – 3.80
ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ (LDPE)	0.17 – 0.28



# ΜΕΤΡΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για τον χαρακτηρισμό της παραμόρφωσης σχήματος και της παραμόρφωσης όγκου ενός υλικού ορίζουμε τα παρακάτω μεγέθη:

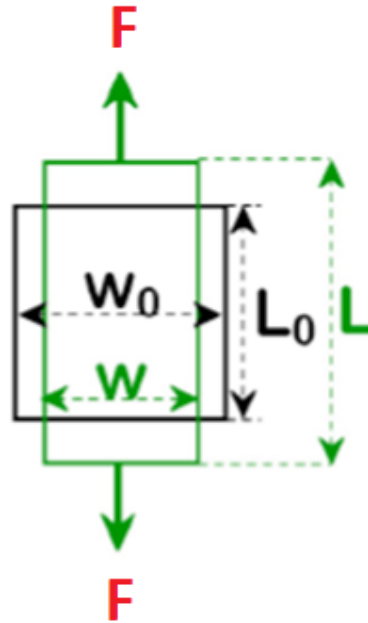
- Μέτρο διάτμησης (shear modulus)  $G$ ,  $\tau = G \cdot \gamma$
- Μετρο ελαστικότητας όγκου (bulk modulus)  $K$ ,  $P = -K \cdot (\Delta V / V)$



# ΛΟΓΟΣ POISSON

Αξονική παραμόρφωση:

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0}$$



Εγκάρσια παραμόρφωση:

$$\varepsilon_L = \frac{w-w_0}{w_0}$$

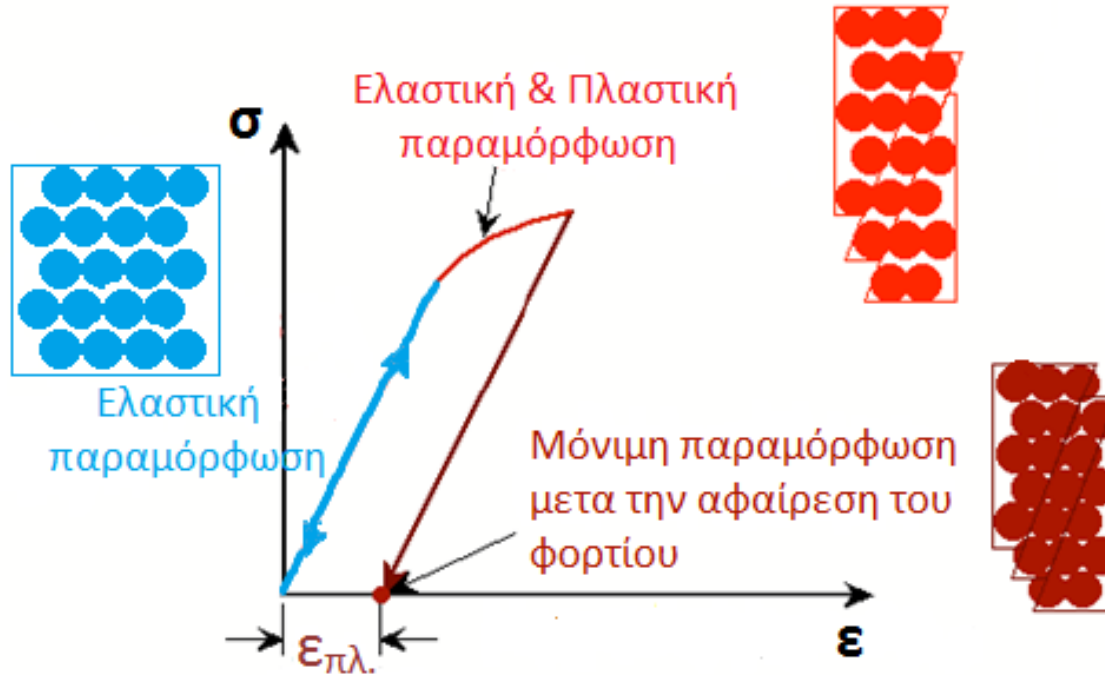
- Στην εγκάρσια διεύθυνση η παραμόρφωση είναι αντίθετη
- Λόγος Poisson:  $\nu = \varepsilon_L / \varepsilon$





# ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

για θερμοκρασίες  $< 30\% T_{\text{melt}}$

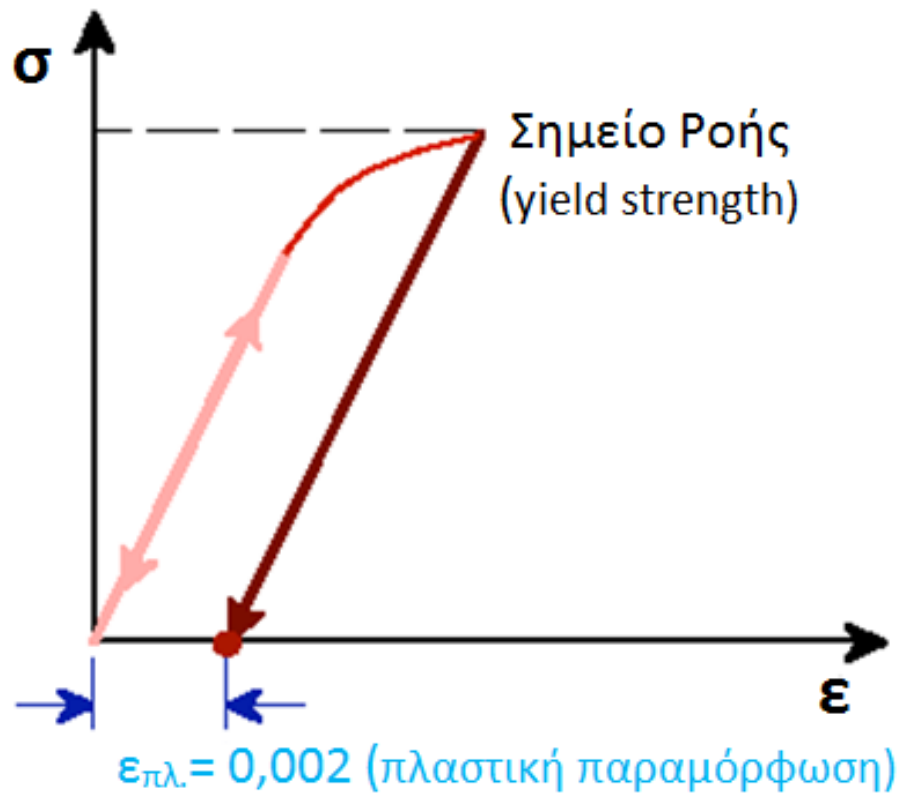


ΟΡΙΣΜΟΣ: Μόνιμη παραμόρφωση

(Θραύση δεσμών, δημιουργία γραμμικών αταξιών).



# ΣΗΜΕΙΟ ΡΟΗΣ (1)



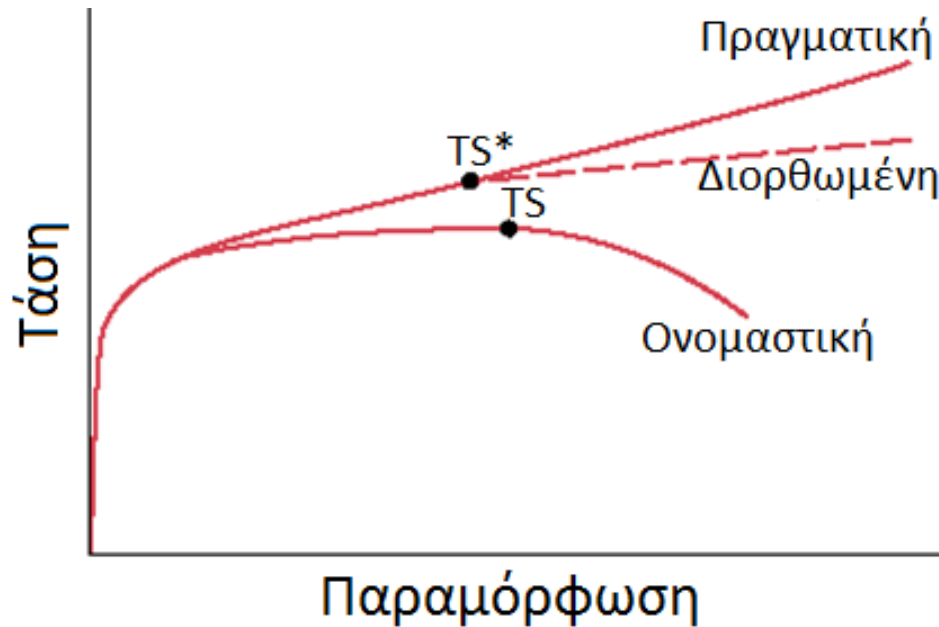
ΣΡ: Τάση  $\sigma$  για πλαστική παραμόρφωση  $\epsilon = 2 \text{ ‰}$ .

# ΣΗΜΕΙΟ ΡΟΗΣ (2)

ΥΛΙΚΟ	ΣΗΜΕΙΟ ΡΟΗΣ (MPa)
ΒΟΛΦΡΑΜΙΟ	800
ΝΙΚΕΛΙΟ	14 – 35
ΧΑΛΚΟΣ	117
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (6061)	55
ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	<i><u>Στα κεραμικά υλικά είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί το σημείο ροής.</u></i>
ΚΑΡΒΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	
ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΖΙΡΚΟΝΙΟΥ	
ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ (PET)	60
ΝΑΪΛΟΝ 6,6	45 – 90
ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ (LDPE)	10 – 15



# ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ (1)

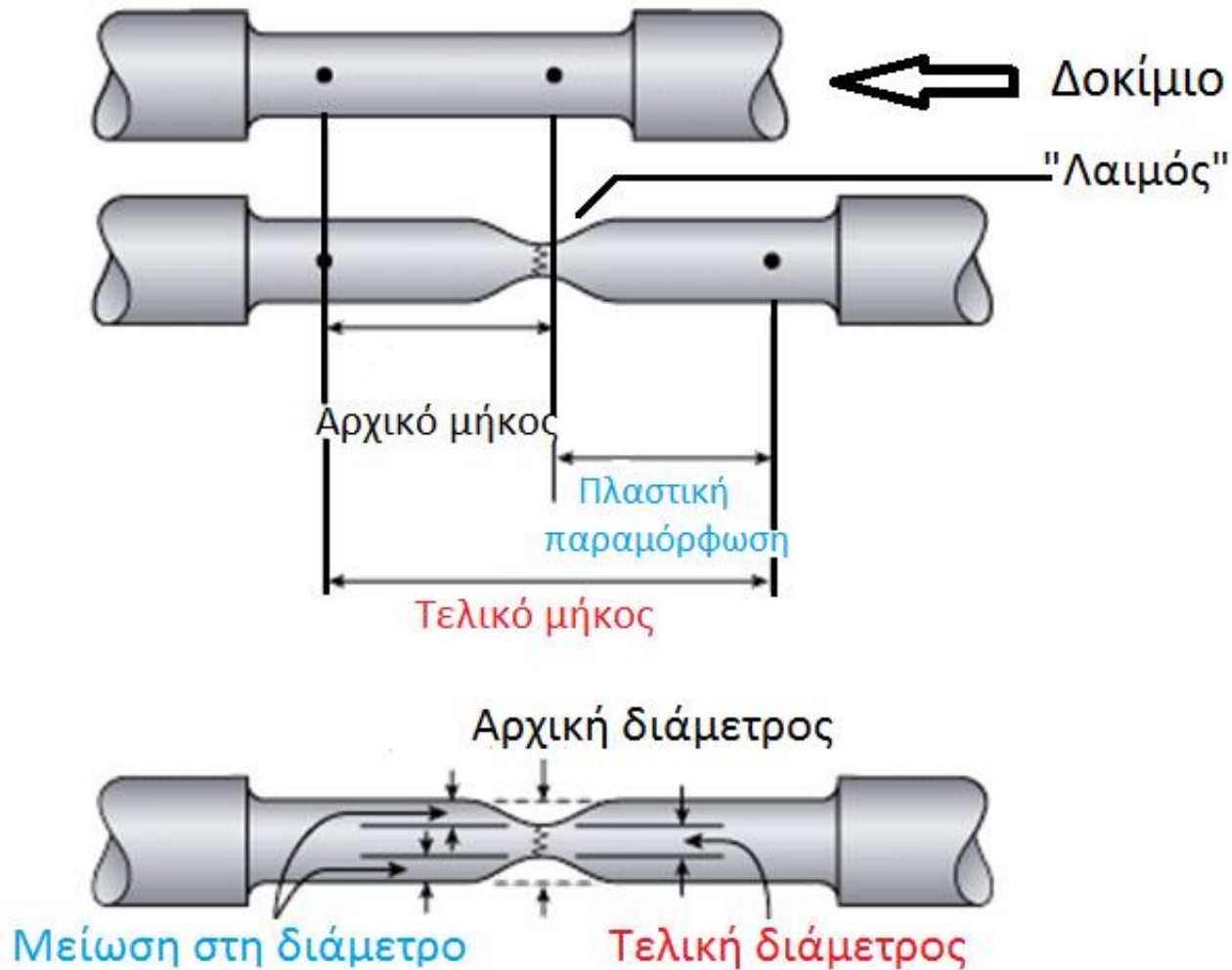


ΟΡΙΣΜΟΣ: Μέγιστη τάση πριν την αστοχία

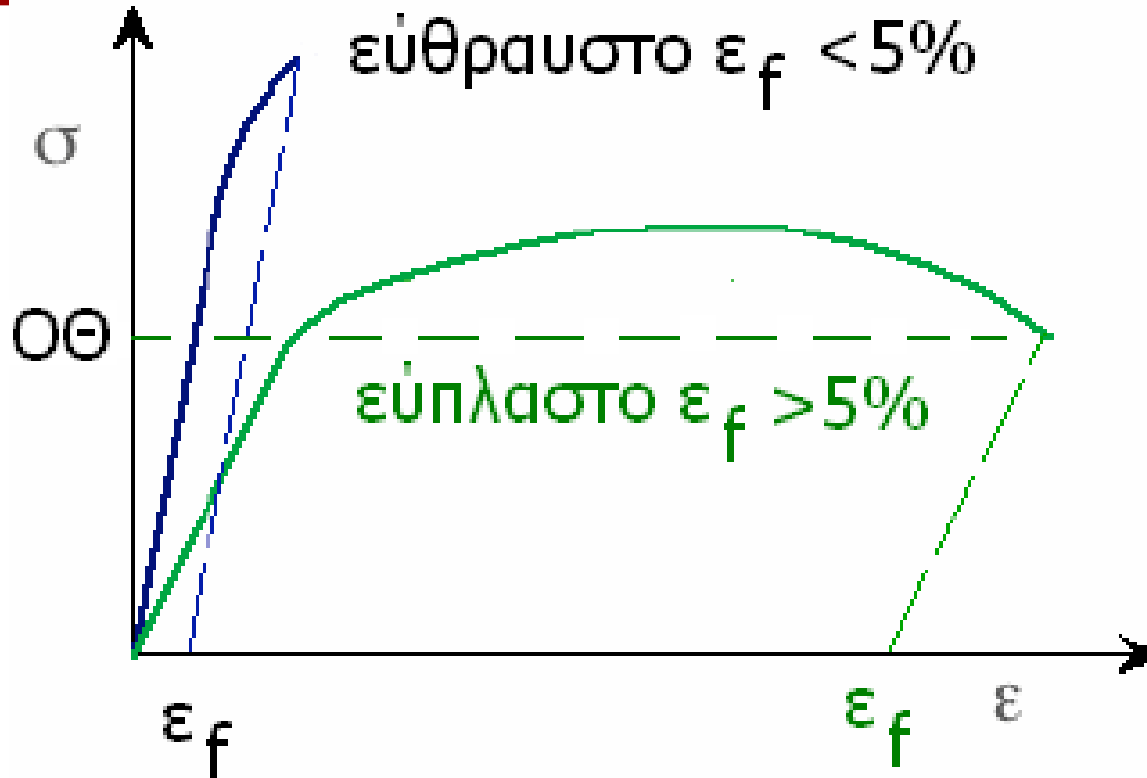
- ✓ Σχηματίζεται λαιμός.
- ✓ Πραγματική τάση αυξάνεται.
- ✓ Ονομαστική τάση μειώνεται.



# ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ (2)



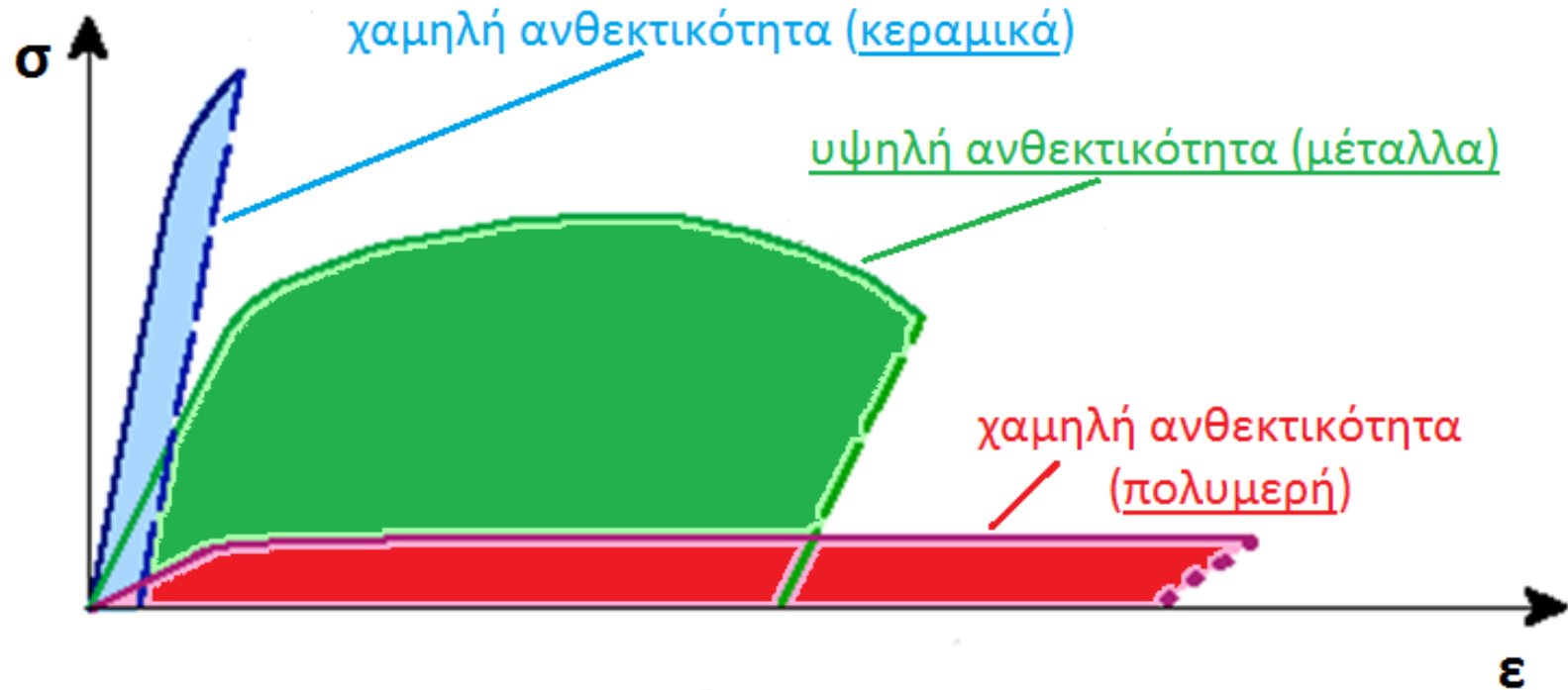
# ΕΥΠΛΑΣΤΟΤΗΤΑ



Πλαστική παραμόρφωση στο σημείο αστοχίας  $f$   
(fracture point: σημείο θραύσης).



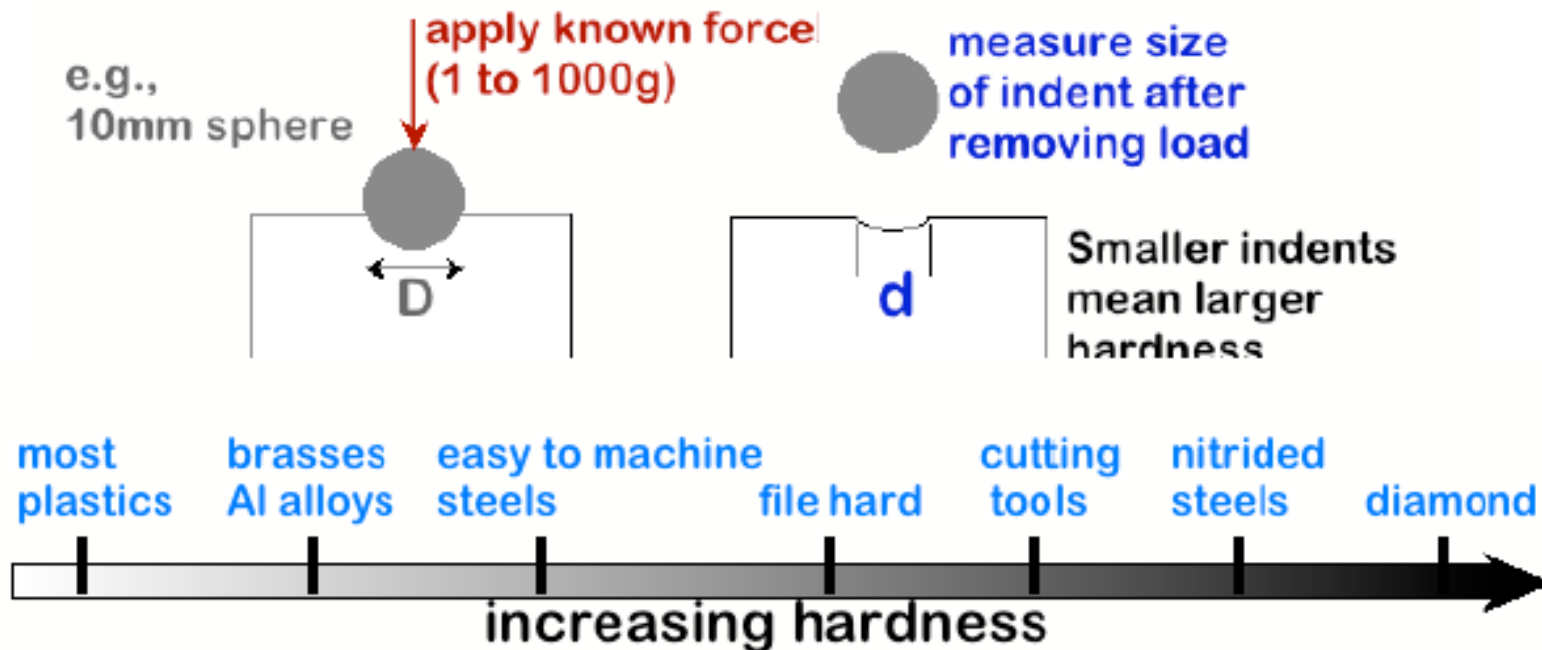
# ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ



- Ενέργεια απαιτούμενη για θραύση
- Αντιστοιχεί στο εμβαδό της καμπύλης  $\sigma$ - $\epsilon$
- $\approx$  Αντοχή εφελκυσμού  $\times$  ευπλαστικότητα



# ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

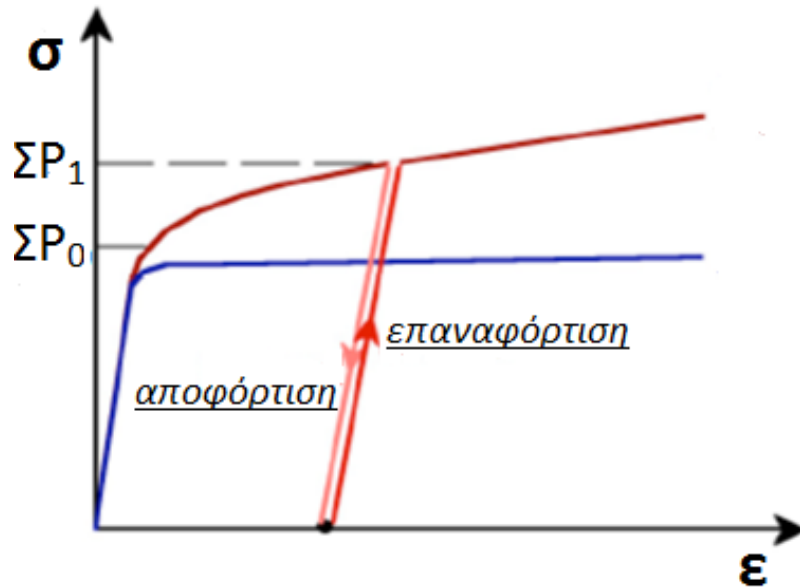


- Δυσκολία μόνιμης παραμόρφωσης της επιφάνειας
- Κλίμακες (τεστ): Μος – Rockwell – Brinell - Knoop





# ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ



- Παραμόρφωση (πλαστική) : δυσκολία διάδοσης γραμμικών ατελειών
  - Ψυξηλασία
  - Απότομη ψύξη (“βαφή”) δημιουργεί μικρότερους κόκκους
  - Κραμάτωση (προσμίξεις)



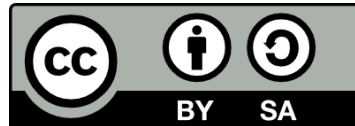
# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.  
«Ηλεκτρολογικά Υλικά. Μηχανικές ιδιότητες». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη  
2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS492/>.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Τονοζλής Γεώργιος  
Θεσσαλονίκη, 03/06/2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

