

# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων (τροπών)

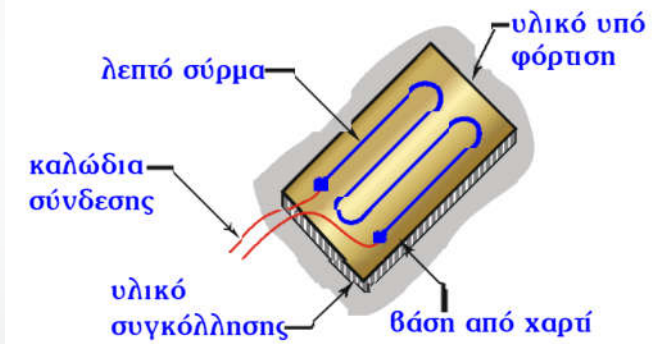
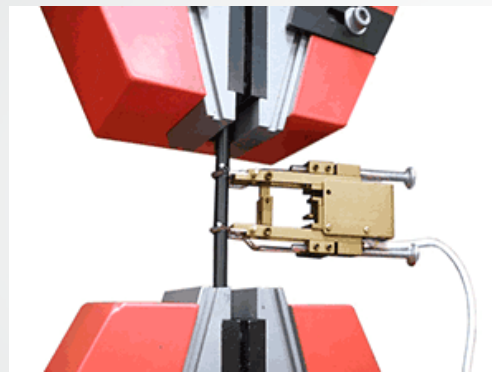
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

## ■ Ορισμοί:

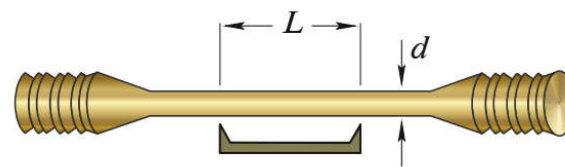
- Η ιδιότητα των σωμάτων να τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους μορφή μετά την παραμόρφωση ονομάζεται **ελαστικότητα**.
- **Τελείως ελαστικό** ονομάζεται το σώμα το οποίο μετά την αποφόρτιση επανέρχεται ακριβώς στο αρχικό του σχήμα και τις προηγούμενες του διαστάσεις. Οι παραμορφώσεις ονομάζονται **ελαστικές**.
- **Τελείως πλαστικό** ονομάζεται το σώμα το οποίο παραμένει απολύτως στην παραμορφωμένη κατάσταση και δεν επανέρχεται. Οι παραμορφώσεις ονομάζονται **μόνιμες ή πλαστικές**.
- Πολλά σώματα είναι **μερικώς ελαστικά**: ένα μέρος της παραμόρφωσης (η ελαστική παραμόρφωση) αναιρείται με την αποφόρτιση, και ένα άλλο μέρος της (η πλαστική παραμόρφωση) παραμένει.
- Αν ένα σώμα έχει έντονη πλαστική συμπεριφορά, θα ονομαστεί **όλκιμο**, π.χ. μαλακός χάλυβας, μόλυβδος, κ.α. Αν ένα σώμα έχει μόνο ελαστική συμπεριφορά και αμέσως μετά θραύεται, θα ονομαστεί **ψαθυρό**, π.χ. κιμωλία, μάρμαρο, χυτοσίδηρος κ.α.

# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

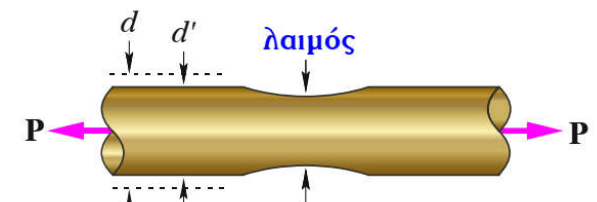
- Πείραμα θλίψης – εφελκυσμού:



Ηλεκτρικό μηχανοστάσιο και λεπτομέρειες



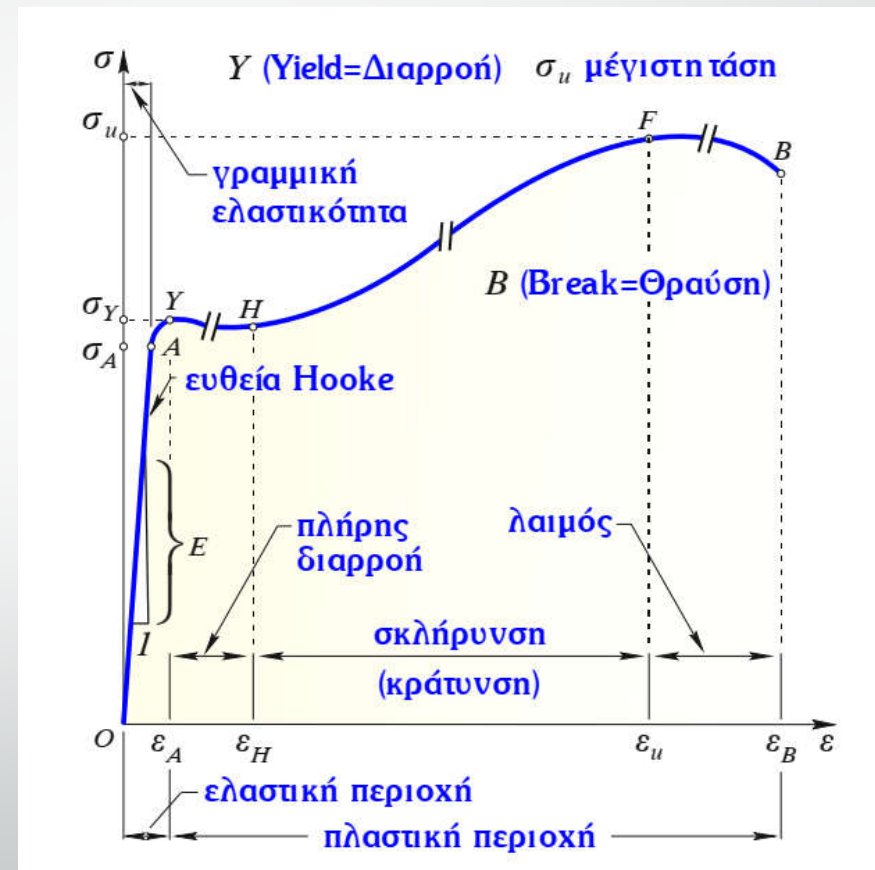
Δοκίμιο εφελκυσμού



Μεγεθυμένη περιοχή του λαιμού προ θραύσης

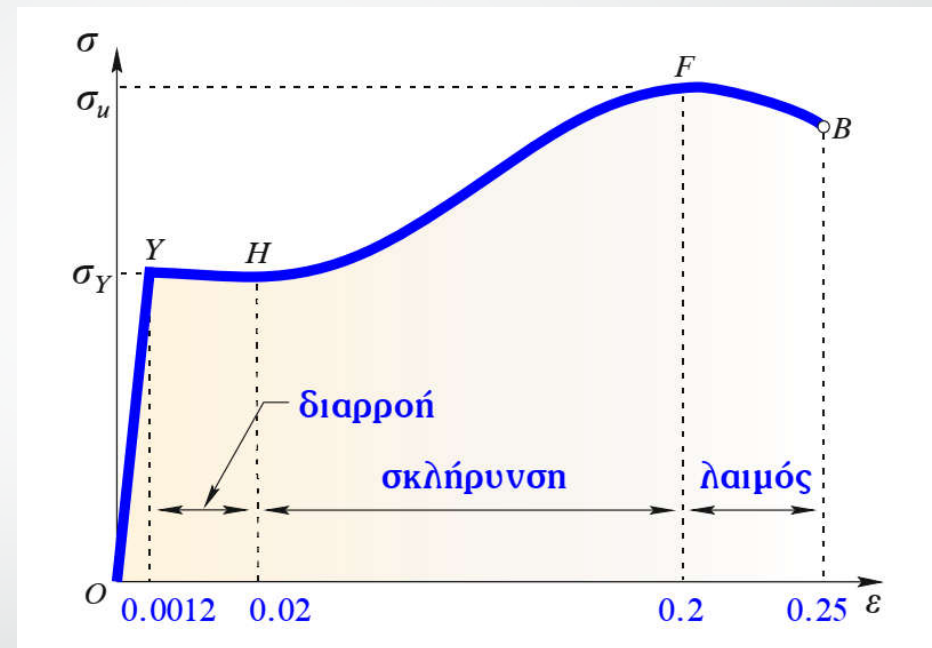
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Συμβατικό διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  όλκιμου υλικού σε εφελκυσμό.
- Στην ελαστική περιοχή ισχύει ο αναλογικός καταστατικός νόμος ή ο νόμος του Hooke:  $\sigma = E\epsilon$ , με  $E = \tan(\varphi)$  μια βασική σταθερά που χαρακτηρίζει το υλικό, που ονομάζεται **μέτρο ελαστικότητας** ή **μέτρο του Young**.
- Στην περιοχή  $A \rightarrow Y$  έχουμε **μη γραμμική ελαστικότητα**.
- Το σημείο  $Y$  είναι το **σημείο διαρροής**.
- Το εμβαδόν της διατομής θεωρήθηκε σταθερό για όλο το πείραμα, για αυτό έχουμε **συμβατικό** διάγραμμα.



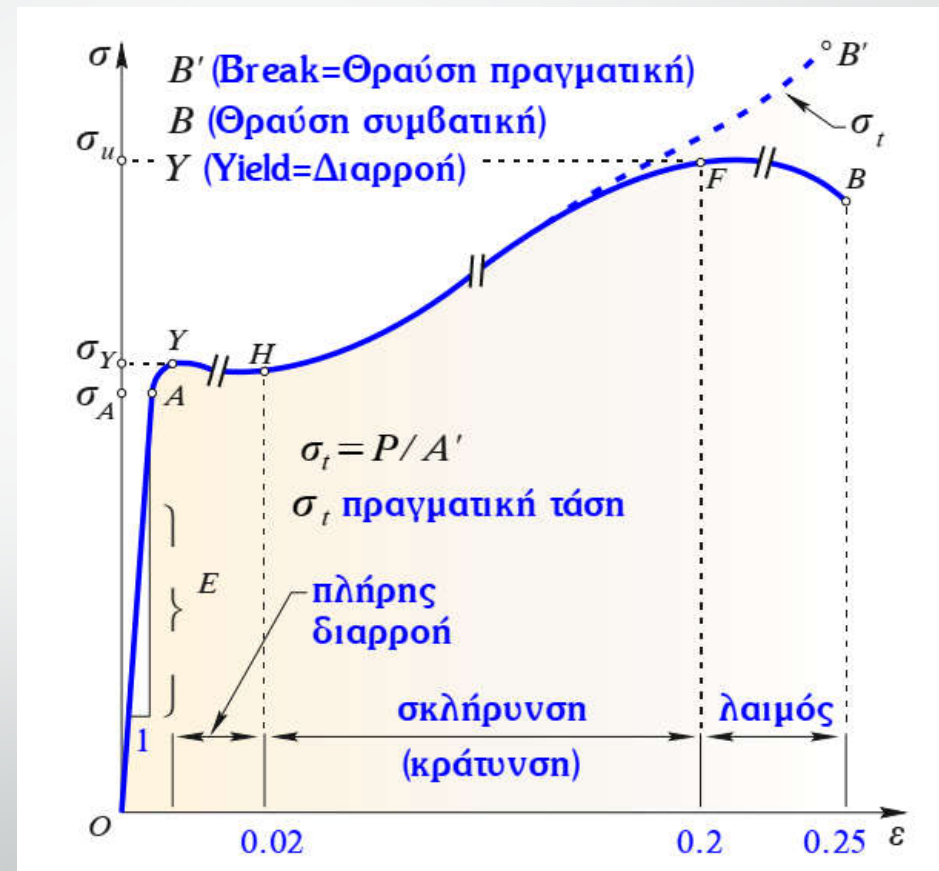
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Προσεγγιστικό συμβατικό διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  όλκιμου χάλυβα σε εφελκυσμό.
- Στην περιοχή  $F \rightarrow B$  παρατηρείται η δημιουργία **λαιμού**, δηλαδή σημαντική μείωση της διατομής.
- Στην κρίσιμη περιοχή εμφανίζονται επίσης **γραμμές ολίσθησης Lüders**, υπό γωνία  $\sim 45$  μοιρών ως προς τον άξονα. Η διατμητική τάση είναι η αιτία αστοχίας (έχουμε διατμητική ολίσθηση του όλκιμου υλικού).



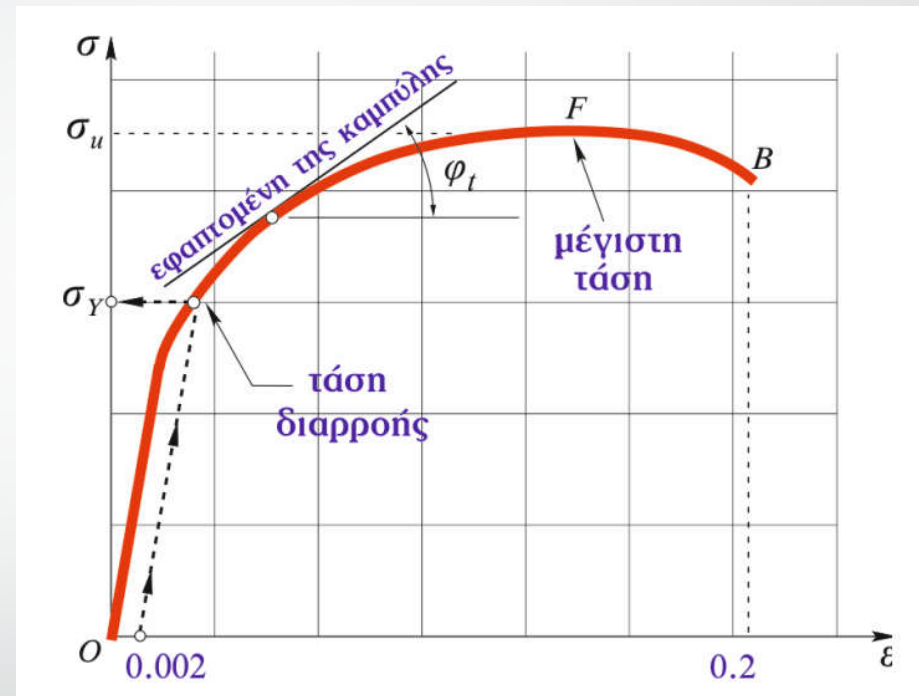
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Πραγματικό διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  όλκιμου υλικού σε εφελκυσμό.
- Αν λάβουμε υπόψη την αλλαγή (μείωση) στο εμβαδόν της διατομής στην περιοχή του λαιμού, υπολογίζουμε την **πραγματική μέση τάση**  $\sigma_t$ .
- Με βάση αυτή βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα **το υλικό συνεχίζει να σκληραίνει** («παραμορφωσιακή κράτυνση»).



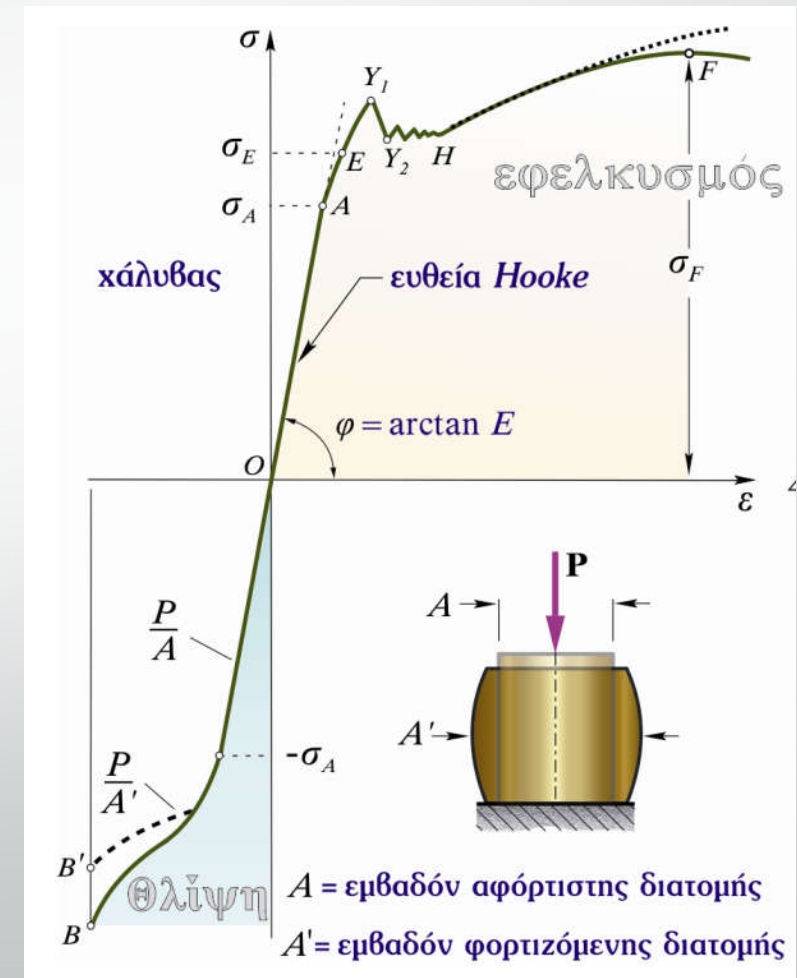
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Σε πολλά υλικά το σημείο διαρροής  $\gamma$  δεν είναι εμφανές, όπως στην περίπτωση ενός κράματος αλουμινίου (σχήμα).
- Τότε ορίζουμε την τάση διαρροής  $\sigma_{\gamma}$  συμβατικά ως την τάση που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 2 τοις χιλίοις (‰).
- Επειδή η αποφόρτιση γίνεται με την κλίση του αρχικού ελαστικού κλάδου, μπορώ να ξεκινήσω από το  $\varepsilon = 0.002$  και να βρω εύκολα το **συμβατικό σημείο διαρροής**.



# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

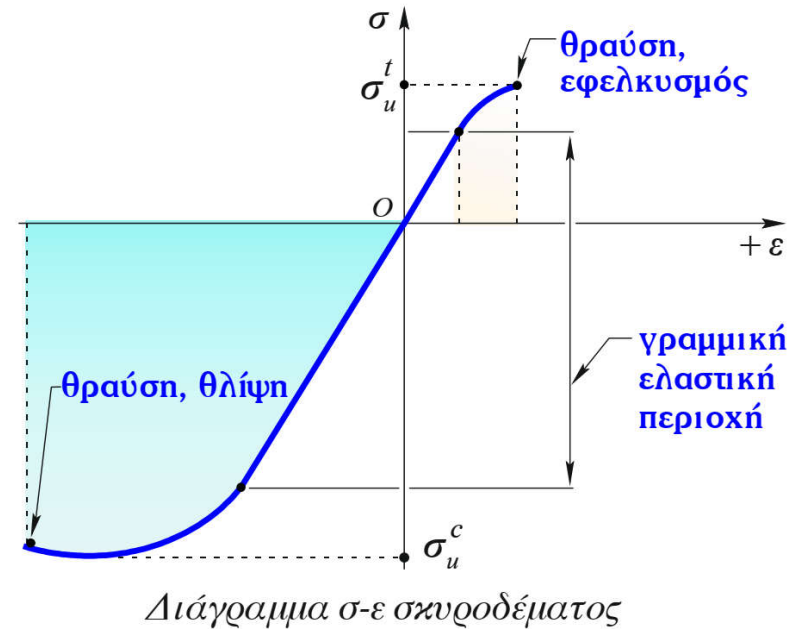
- Διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  όλκιμου υλικού σε θλίψη.
- Η συμπεριφορά των όλκιμων υλικών σε θλίψη **δεν διαφέρει σημαντικά** από την αντίστοιχη συμπεριφορά σε εφελκυσμό.
- Μετά την μέγιστη απόκριση (σημείο  $F$ ) αντί να έχουμε αστάθεια (δημιουργία λαιμού), στην περίπτωση της θλίψης έχουμε αύξηση της διατομής λόγω «**βαρελοποίησης**» του δοκιμίου.
- Ορίζουμε την **συμβατική τάση θραύσης σε θλίψη**: είναι η τάση που προκαλεί μείωση του αρχικού ύψους κατά  $1/3$  (δηλαδή  $\epsilon_B = -0.33$ ).





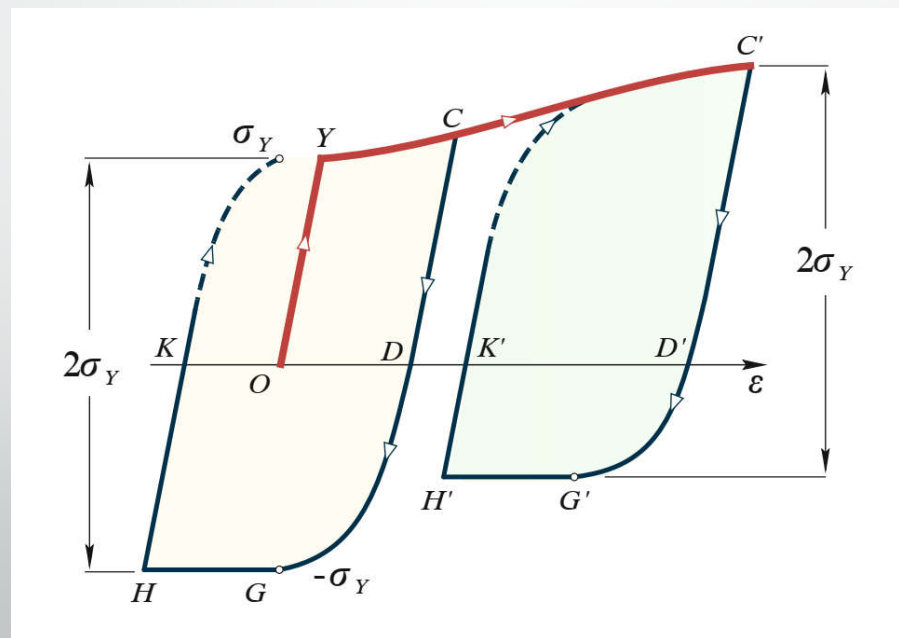
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  ψαθυρού υλικού σε θλίψη.
- Η συμπεριφορά των ψαθυρών υλικών σε θλίψη **διαφέρει σημαντικά** από την αντίστοιχη συμπεριφορά σε εφελκυσμό.
- Χαρακτηριστικό ψαθυρό υλικό: σκυρόδεμα. Ίδιο μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη. Γραμμικώς ελαστική περιοχή σε θλίψη ~10 φορές την αντίστοιχη περιοχή σε εφελκυσμό.



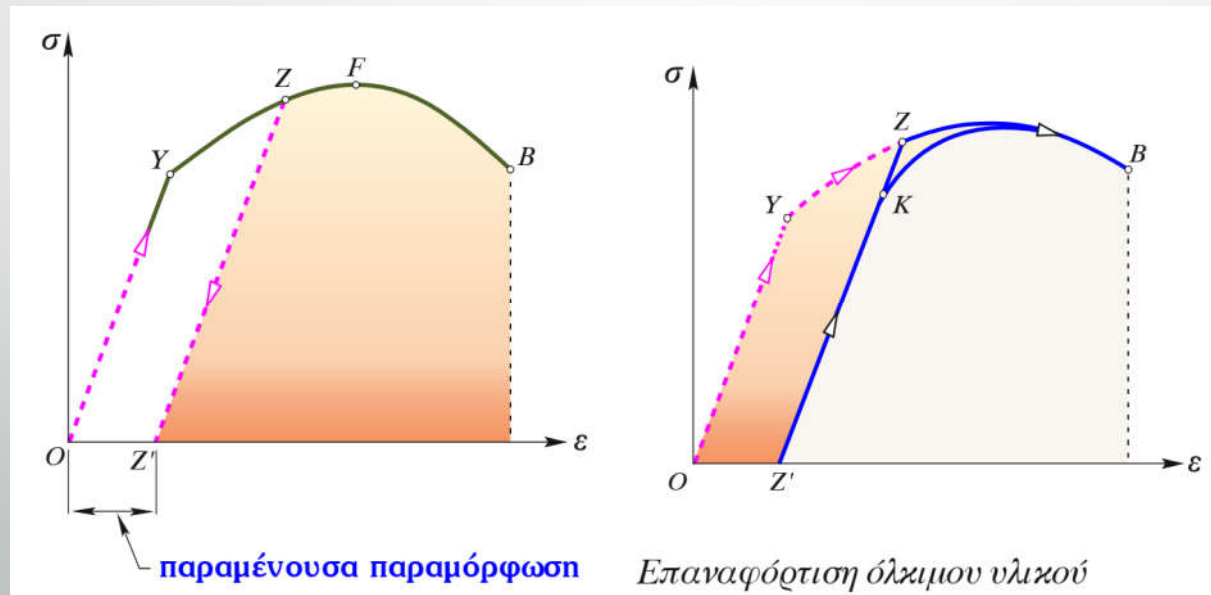
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Φαινόμενο *Bauschinger* σε όλκιμο υλικό
- Αν το υλικό καταπονηθεί πέρα από το όριο διαρροής του, σε επόμενο κύκλο φόρτισης μεταβάλλεται το όριο διαρροής σε εφελκυσμό και θλίψη έτσι ώστε το εύρος της ελαστικής περιοχής να παραμείνει σταθερό.



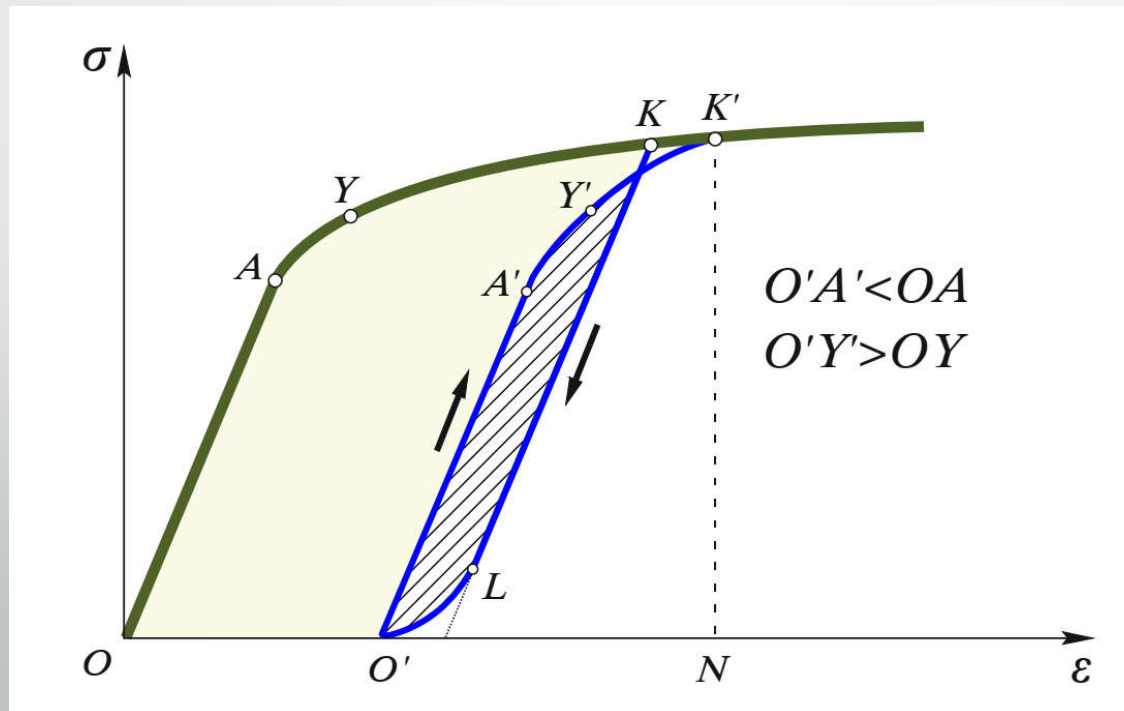
# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Φόρτιση – Αποφόρτιση – Επαναφόρτιση
- Η μερική αποφόρτιση γίνεται με την κλίση του αρχικού ελαστικού κλάδου. Σε πολλά υλικά (π.χ. χάλυβας, διατομές οπλισμένου σκυροδέματος), η επαναφόρτιση ακολουθεί την ίδια πρακτικά γραμμή, μέχρι να συναντηθεί με την αντίστοιχη καμπύλη σε μονοτονική φόρτιση.



# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- Βρόγχος υστέρησης
- Σε πολλά υλικά (π.χ. εδάφη), η **μερική** αποφόρτιση – επαναφόρτιση δεν γίνεται ακριβώς πάνω στην ίδια γραμμή. Δημιουργείται έτσι ελάσσων βρόγχος υστέρησης, ο οποίος συνδέεται με απορρόφηση ενέργειας.



# Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

- **Βρόγχος υστέρησης**
- Στα περισσότερα όμως υλικά, **πλήρεις** κύκλοι φόρτισης – αποφόρτισης – επαναφόρτισης (με την αντίθετη φορά) προκαλούν μείζονες βρόγχους υστέρησης, το μέγεθος των οποίων συνδέεται με το μέτρο της απορρόφησης ενέργειας.

