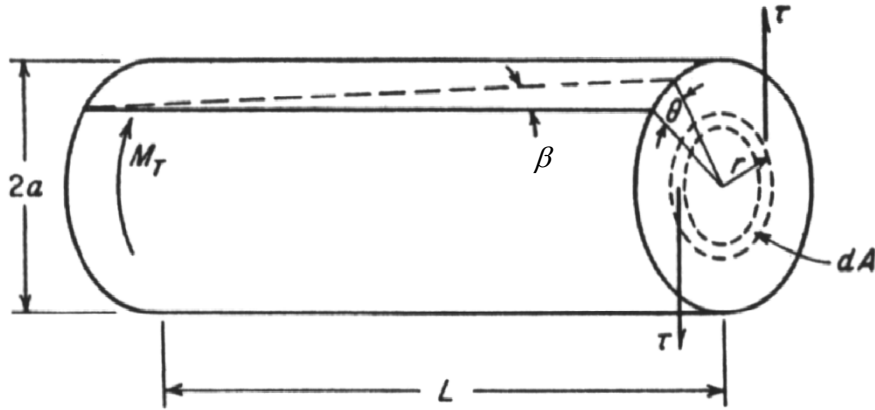


# ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΤΡΕΨΗΣ

## 1. Ιδιότητες



Διατμητική τροπή (Shear strain):  $\gamma = \tan\beta = \frac{r\theta}{L} = r\varphi$

$\varphi$  = γωνία στρέψης ανά μονάδα μήκους

Ροπή στρέψης:  $M_T = \int_A \tau r dA = 2\pi \int_0^a \tau r^2 dr$

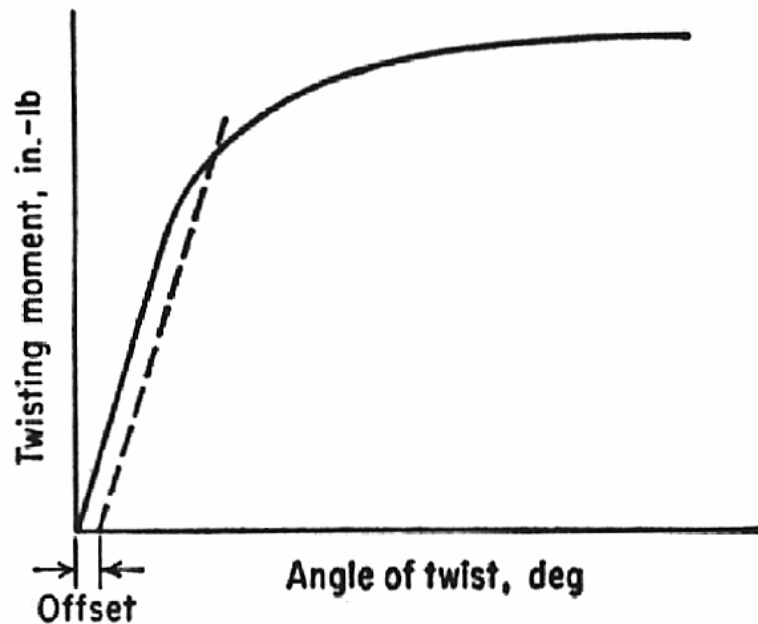
Ελαστικότητα  $\rightarrow \tau = G\gamma = G\varphi r$

$$\therefore M_T = G\varphi J \Rightarrow G = \frac{M_T}{\varphi J} = \frac{M_T L}{\theta J}$$

$G$  = Ελαστικό μέτρο διάτμησης

$J = \int_A r^2 dA$  ... πολική ροπή αδράνειας

Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος στρέψης μετρώνται η εφαρμοζόμενη ροπή  $M_T$  και η λαμβανόμενη γωνία στρέψης  $\theta$



### Παρατηρήσεις

- Το  $G$  υπολογίζεται από το αρχικό γραμμικό τμήμα της καμπύλης, του οποίου η κλίση είναι ίση με  $GJ/L$ .
- Όριο ελαστικότητας ή αντοχή διαρροής (yield strength)  $\rightarrow$  offset = 0.001 rad/in
- Κλίση τάσης (stress gradient) κατά μήκος της διαμέτρου μίας συμπαγούς ράβδου  $\Rightarrow$  εμποδίζεται η διαρροή των επιφανειακών ινών από τις εσωτερικές ελαστικές ίνες  $\Rightarrow$  έναρξη της πλαστικής διαρροής  $\rightarrow$  μη εμφανής στην  $M_T - \theta$  καμπύλη
- Χρήση σωληνοειδών δοκιμίων  $\Rightarrow$  μείωση της επίδρασης της κλίσης τάσης
- Αποφυγή αστοχίας λόγω λυγισμού (buckling) για σωληνοειδή δοκίμια  $\rightarrow L/D_o \sim 10, 2D_o/(D_o - D_i) \sim 8-10$   
 $D_o$  = εξωτερική διάμετρος του σωληνοειδούς  
 $D_i$  = εσωτερική διάμετρος του σωληνοειδούς

## 2. Στρέψη σε Μεγάλες Πλαστικές Παραμορφώσεις

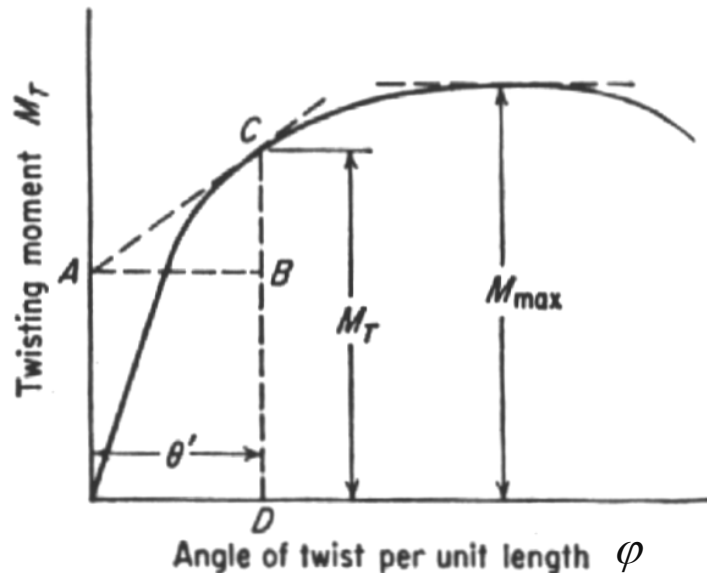
- Ανάλυση του Nadai:  $\tau = f(\gamma)$

$$M_T = 2\pi \int_0^\alpha \tau r^2 dr = 2\pi \int_0^{\gamma_\alpha} f(\gamma) \frac{\gamma^2}{\varphi^2} \frac{d\gamma}{\varphi} \Rightarrow M_T \varphi^3 = 2\pi \int_0^{\gamma_\alpha} f(\gamma) \gamma^2 d\gamma \quad (*)$$

$\gamma_\alpha = \varphi \alpha$  ... επιφανειακή διατμητική παραμόρφωση

Παραγωγίζοντας ως προς  $\varphi \Rightarrow 3M_T \varphi^2 + \varphi^3 \frac{dM_T}{d\varphi} = 2\pi \alpha^3 \varphi^2 \tau_\alpha$

$$\Rightarrow \tau_\alpha = \frac{1}{2\pi \alpha^3} \left( \varphi \frac{dM_T}{d\varphi} + 3M_T \right), \quad \text{όπου} \quad \tau_\alpha = f(\gamma_\alpha)$$



$$\therefore \tau_\alpha = \frac{1}{2\pi \alpha^3} (BC + 3CD)$$

$\frac{dM_T}{d\varphi} = 0 \Rightarrow M_{\max} \Rightarrow \tau_u = \frac{3M_{\max}}{2\pi \alpha^3}$  .... Μέγιστη στρεπτική διατμητική αντοχή (ultimate torsional shear strength)

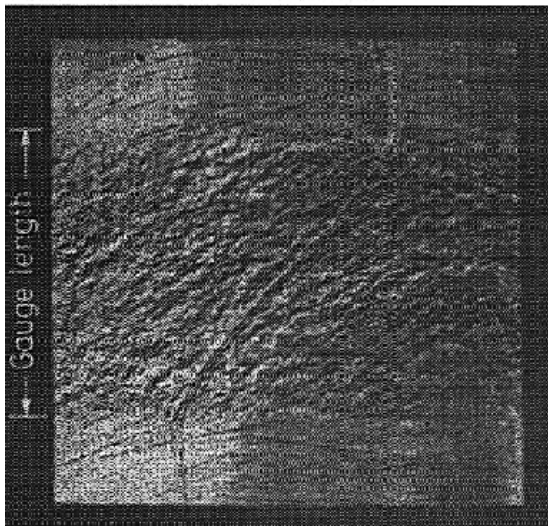
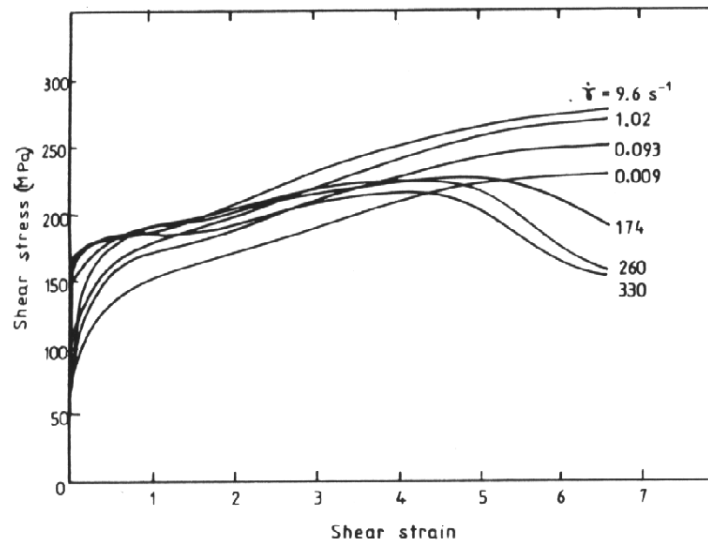
- Ανάλυση των Fields & Backofen:  $\tau = f(\gamma, \dot{\gamma}) \Rightarrow \tau_\alpha = \frac{M_T}{2\pi \alpha^3} (3+n+m)$

όπου  $n = \frac{d \ln M_T}{d \ln \varphi} \Big|_{\dot{\varphi}}$ ,  $m = \frac{d \ln M_T}{d \ln \dot{\varphi}} \Big|_{\varphi}$

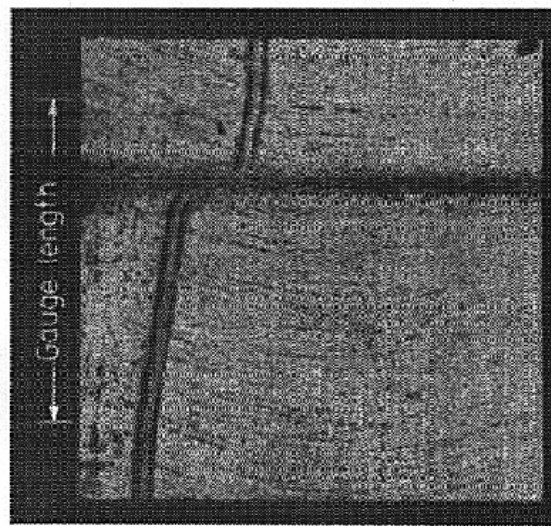
### 3. Εντοπισμός της Παραμόρφωσης (Shear Localization) σε Στρέψη

Όχι γεωμετρικό, αλλά θερμικό (thermal) softening  $\Rightarrow$  Εμφάνιση  $M_{\max}$   
 $\Rightarrow$  εντοπισμός της διατμητικής παραμόρφωσης (σχηματισμός ζωνών διάτμησης)

$\uparrow \dot{\gamma} \Rightarrow \downarrow \gamma$  στο οποίο  $M = M_{\max}$  (για δεδομένες διαστάσεις δοκιμίου)



Ομογενής παραμόρφωση

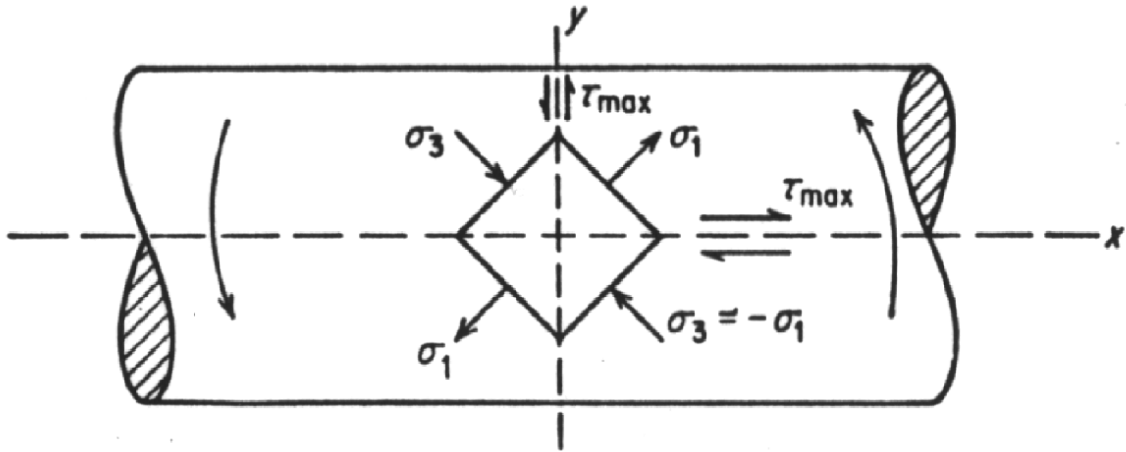


Ζώνη διάτμησης

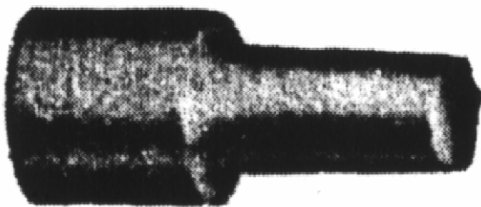
Τέτοιες μορφογεννέσεις (patterning) είναι δυνατόν να προβλεφτούν από μια μη τοπική (non local) θεωρία [π.χ.  $\tau = f(\gamma, \dot{\gamma}) - c\nabla^2\gamma$ ], αλλά όχι από μια τοπική (local) θεωρία [π.χ.  $\tau = f(\gamma, \dot{\gamma})$ ]

#### 4. Μορφές Αστοχίας σε Στρέψη

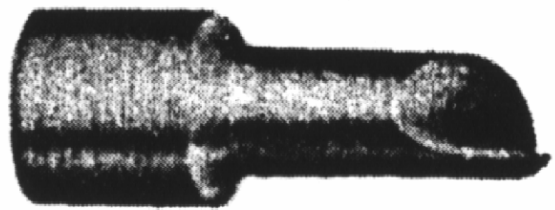
- *Πεδίο Τάσεων*



- *Τυπικές Μορφές Αστοχίας σε Στρέψη*



Διατμητική (όλκιμη) αστοχία



Εφελκυστική (ψαθυρή) αστοχία

## 5. Σύγκριση Πειράματος Στρέψης και Πειράματος Εφελκυσμού

### Πλεονεκτήματα Στρέψης

- Βασικότερη ως μέτρο πλαστικότητας ενός μετάλλου, επειδή λαμβάνονται καμπύλες διατμητ. τάσης – διατμ. παραμόρφωσης
- Υψηλές τιμές παραμόρφωσης χωρίς ανομοιογένειες (π.χ. λαίμωση)
- Εύκολη η χρήση σταθερών ή υψηλών ρυθμών παραμόρφωσης

### Μειονεκτήματα Στρέψης

- Ανάγκη για μετατροπή της  $M_T-\theta$  καμπύλης σε  $\tau-\gamma$
- Δυσκολίες στον ακριβή προσδιορισμό της τάσης διαρροής, λόγω της κλίσης τάσης (stress gradient) κατά μήκος της ακτίνας του δοκιμίου

### Πεδία Τάσης και Παραμορφώσης

#### Πείραμα εφελκυσμού

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{\max}, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \\ \tau_{\max} &= \sigma_1 / 2 = \sigma_{\max} / 2 \\ \varepsilon_{\max} &= \varepsilon_1, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\varepsilon_1 / 2 \\ \gamma_{\max} &= \sinh(3\varepsilon_1 / 2) \\ \bar{\sigma} &= \sigma_1 \\ \bar{\varepsilon} &= \varepsilon_1 \end{aligned}$$

#### Πείραμα στρέψης

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -\sigma_3, \quad \sigma_2 = 0 \\ \tau_{\max} &= \sigma_1 = \sigma_{\max} \\ \varepsilon_{\max} &= \varepsilon_1 = -\varepsilon_3, \quad \varepsilon_2 = 0 \\ \gamma_{\max} &= \varepsilon_1 - \varepsilon_3 = 2\varepsilon_1 \\ \bar{\sigma} &= \sqrt{3}\sigma_1 \\ \bar{\varepsilon} &= 2\varepsilon_1 / \sqrt{3} = \gamma / \sqrt{3} \end{aligned}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad \bar{\varepsilon} = \left[ \frac{2}{3} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2) \right]^{1/2}$$

Στρέψη → μεγαλύτερη δυνατότητα για όλκιμη συμπεριφορά

