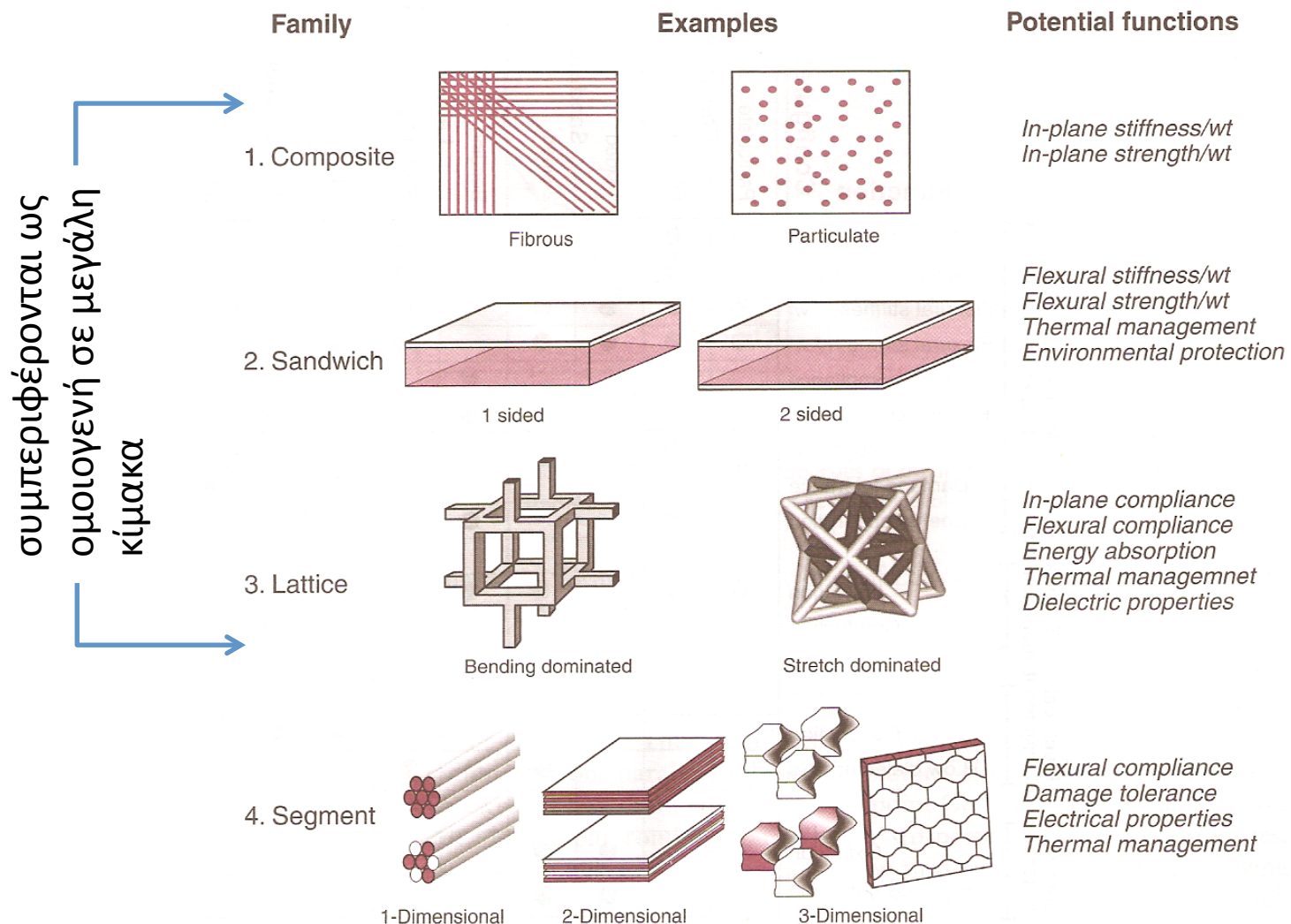
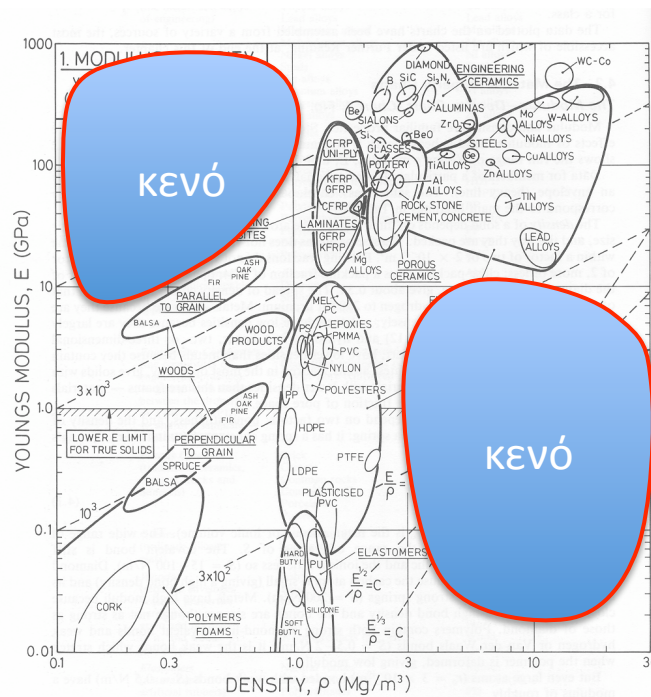


Σχεδίαση υβριδικών υλικών

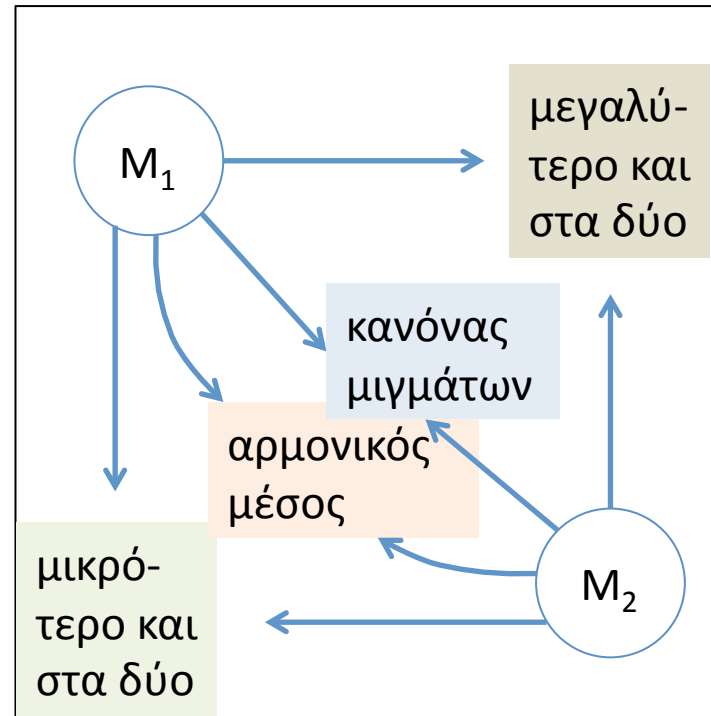
κλίμακα μήκους και διάταξη των επί μέρους συστατικών



Υβριδικά υλικά γεμίζοντας τα κενά στους χάρτες ιδιοτήτων



ιδιότητα P_1



ιδιότητα P_2

μεγαλύτερο και στα δύο

κύριου όγκου και επιφάνειας

κανόνας μιγμάτων

max κυρίου όγκου

αρμονικός μέσος

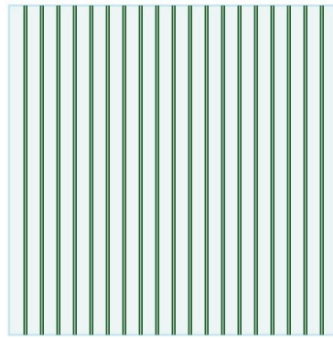
min κυρίου όγκου

μικρότερο και στα δύο

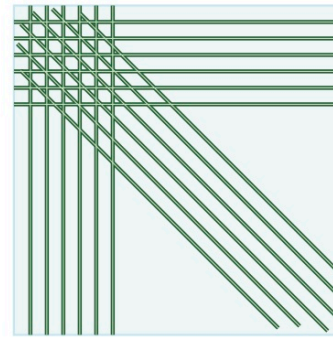
ο πιο αδύναμος κρίκος

Σύνθετα

άκαμπτα, ανθεκτικά και ελαφριά



μονοδιευθυντικά

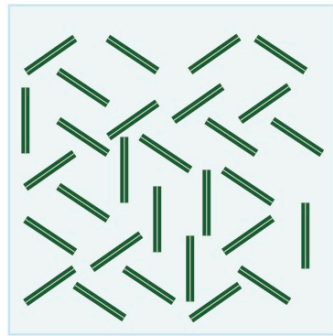


διαστρωματωμένα

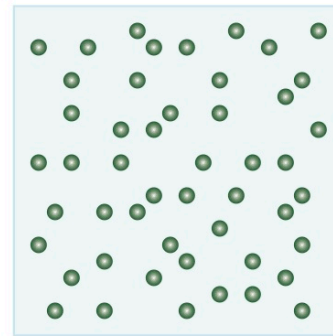
μήτρα



ενίσχυση



κομμένες ίνες



διασπορά
σωματιδίων

Σύνθετα

κριτήρια αριστείας: ακαμψία για ελάχιστη μάζα

πυκνότητα (κανόνας των μιγμάτων)

$$\tilde{\rho} = f\rho_r + (1-f)\rho_m$$

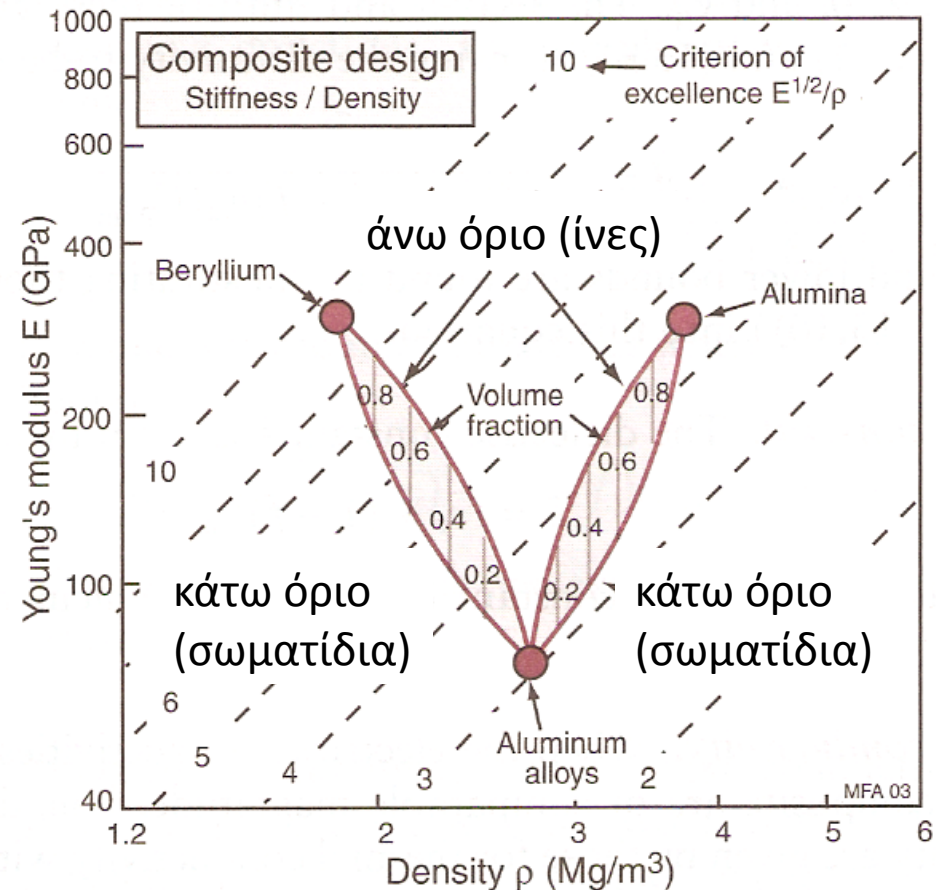
άνω όριο ακαμψίας (κανόνας των μιγμάτων)

$$\tilde{E}_U = fE_r + (1-f)E_m$$

κάτω όριο ακαμψίας (αρμονικός μέσος όρος)

$$\tilde{E}_L = \frac{E_m E_r}{fE_m + (1-f)E_r}$$

κριτήριο αριστείας $E^{1/2}/\rho$



AlBeMet (62% Be, 38% Al) διφασικό κράμα (σύνθετο) με $E^{1/2}/\rho = 6.5$ αντί 3.1 του Al

Σύνθετα

αντοχή: δύσκολα προβλέψιμη

η μη γραμμικότητα, η πολλαπλότητα και η εξάρτηση των μηχανισμών από ατέλειες της κατεργασίας

αξονικά:

ταυτόχρονη αστοχία

$$(\tilde{\sigma}_f)_{U,a} = f(\tilde{\sigma}_f)_r + (1-f)(\tilde{\sigma}_f)_m$$

το πιο αδύναμο αστοχεί πρώτο

$$(\tilde{\sigma}_f)_{L,a} = \max \left\{ f(\tilde{\sigma}_f)_r, (1-f)(\tilde{\sigma}_f)_m \right\}$$

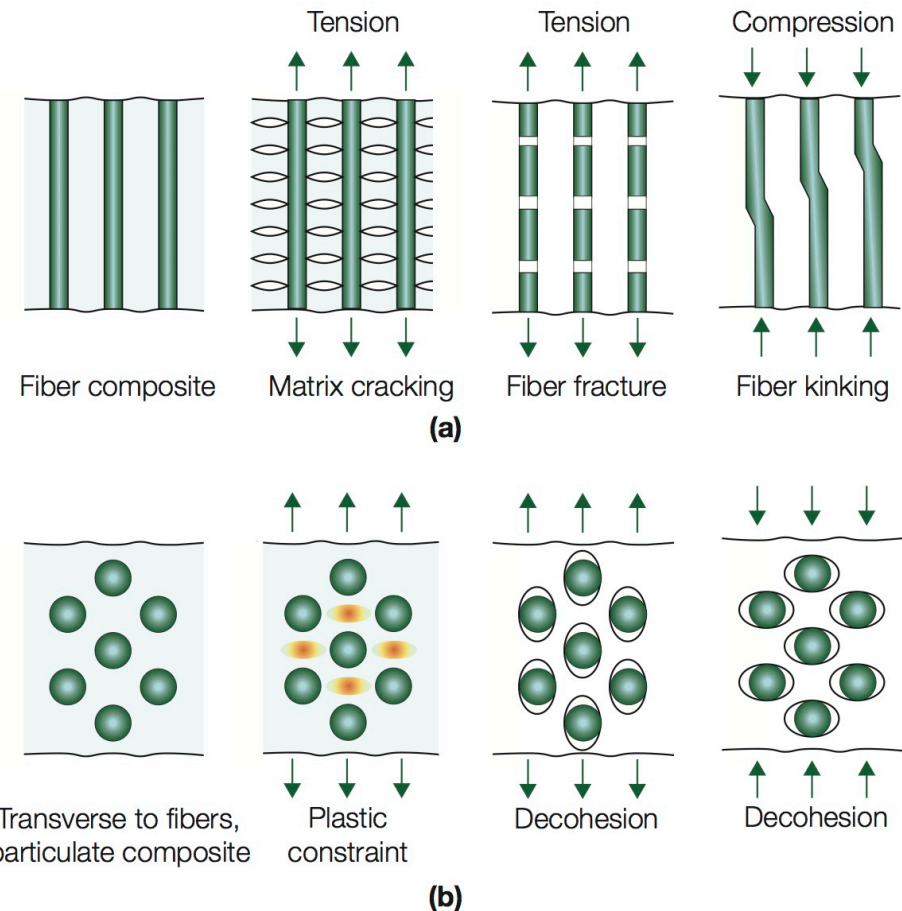
εγκάρσια:

συνεκτική διεπιφάνεια

$$(\tilde{\sigma}_f)_{U,t} \approx \min \left\{ (\tilde{\sigma}_f)_r, (\tilde{\sigma}_f)_m (1-f^{1/2})^{-1} \right\}$$

συγκέντρωση τάσεων και αποκόλληση

$$(\tilde{\sigma}_f)_{L,t} \approx (\tilde{\sigma}_f)_m (1-f^{1/2})$$



θλίψη για απόκλιση ϑ
από τον άξονα θλίψης
(συνήθως $\vartheta = 0.035$)

$$(\tilde{\sigma}_c)_{U,a} = \frac{1}{\theta} \frac{(\tilde{\sigma}_f)_m}{2} \approx 14(\tilde{\sigma}_f)_m$$

Σύνθετα θερμικές ιδιότητες

ειδική θερμότητα ανά μονάδα όγκου
(κανόνας των μιγμάτων)

$$\tilde{\rho}\tilde{C}_p \approx f\rho_r(C_p)_r + (1-f)\rho_m(C_p)_m$$

συντελεστής θερμικής διαστολής

$$\tilde{a}_L \approx \frac{E_r a_r f + E_m a_m (1-f)}{E_r f + E_m (1-f)}$$

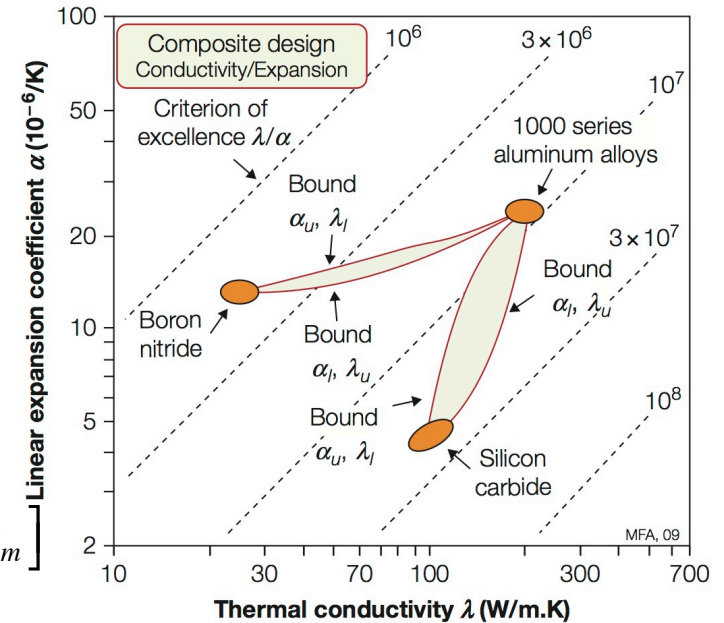
$$\tilde{a}_U = f a_r (1 + \nu_r) + (1-f) a_m (1 + \nu_m) - a_L [f \nu_r + (1-f) \nu_m]$$

θερμική αγωγιμότητα

$$\tilde{\lambda}_U = f\lambda_r + (1-f)\lambda_m$$

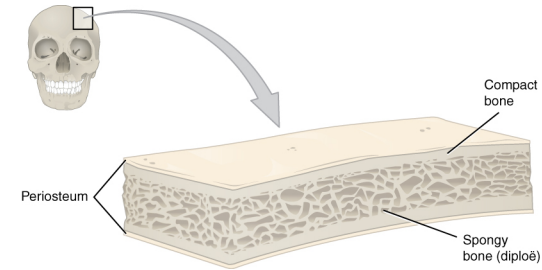
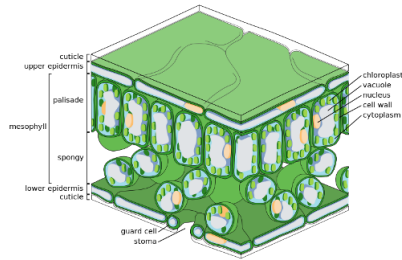
$$\tilde{\lambda}_L = \lambda_m \left(\frac{\lambda_r + 2\lambda_m - 2f(\lambda_m - \lambda_r)}{\lambda_r + 2\lambda_m + f(\lambda_m - \lambda_r)} \right)$$

(χαμηλότερη αν υπάρχει αποκόλληση)



κριτήριο θερμικής στρέβλωσης
 α/λ

Δομές σάντουιτς η επιτομή της έννοιας του υβριδικού

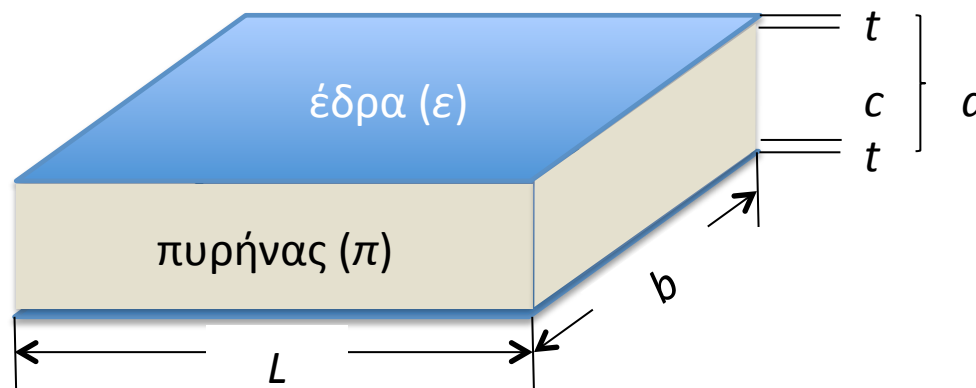


(σχετικά) άκαμπτες πλάκες διαχωρίζονται από ελαφρύ πυρήνα αυξάνοντας την ροπή αδράνειας της διατομής και προσδίδοντας στην δομή ακαμψία και αντοχή σε κάμψη και λυγισμό για χαμηλό βάρος

οι πλάκες φέρουν το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων και προστατεύουν από το περιβάλλον – ο πυρήνας αντιστέκεται σε διατμητικές τάσεις ώστε το σάντουιτς να λειτουργεί ως δομικό στοιχείο

η δομή σάντουιτς μπορεί να θεωρηθεί ως ένα καινούργιο υλικό με ισοδύναμες ιδιότητες, π.χ., \tilde{E} , $\tilde{\rho}$

Ισοδύναμες ιδιότητες ακαμψία (1)



$$f = \frac{2t}{d}$$

$$m_a = \frac{m}{bL}$$

$$\tilde{\rho} = \frac{m_a}{d}$$

$$\tilde{\rho} = f\rho_\varepsilon + (1-f)\rho_\pi$$

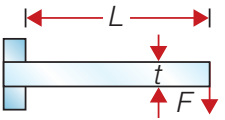
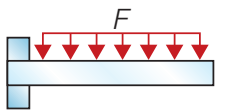
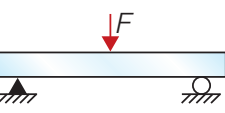
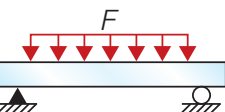
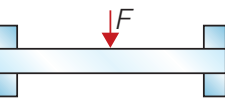
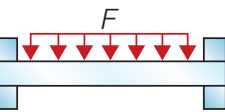
$$\tilde{E}_{\text{καμψη}} = \frac{12EI}{bd^3}$$

$$\frac{1}{\tilde{E}_{\text{καμψη}}} = \frac{1}{E_\varepsilon \left\{ \left[1 - (1-f)^3 \right] + \frac{E_\pi}{E_\varepsilon} (1-f)^3 \right\}} + \frac{B_1}{B_2} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{(1-f)}{G_\pi}$$

E : μέτρο του Young
 ρ : πυκνότητα
 G : μέτρο διάτμησης

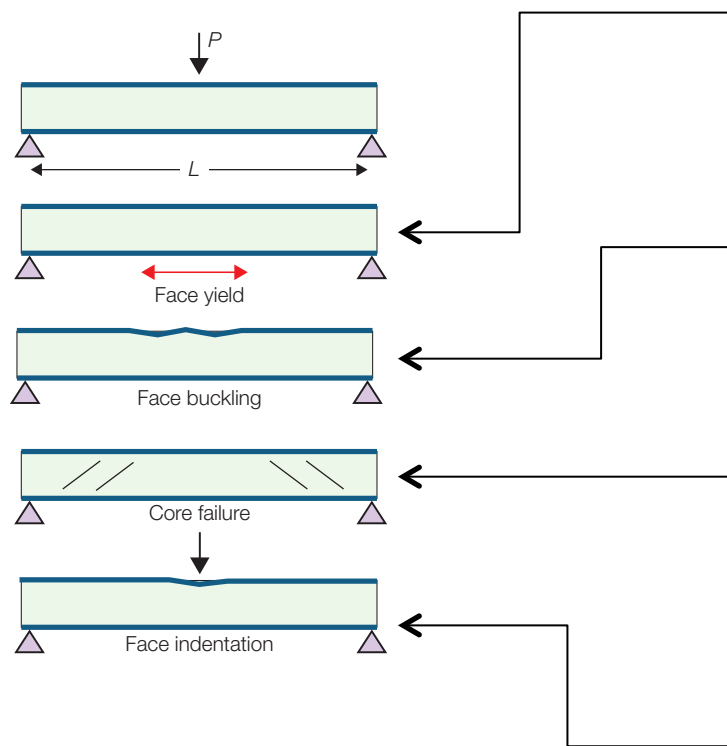
Ισοδύναμες ιδιότητες ακαμψία (2)

Table 11.3 Constants to Describe Modes of Loading

Mode of Loading	Description	B_1	B_2	B_3	B_4
	Cantilever, end load	3	1	1	1
	Cantilever, uniformly distributed load	8	2	2	1
	Three-point bend, central load	48	4	4	2
	Three-point bend, uniformly distributed load	384/5	8	8	2
	Ends built in, central load	192	4	8	2
	Ends built in, uniformly distributed load	384	8	12	2

Ισοδύναμες ιδιότητες αντοχή

τρόποι αστοχίας



διαρροή έδρας

$$\tilde{\sigma}_{\text{καμψη1}} = \left[1 - (1 - f)^2 \right] \sigma_{\varepsilon} + (1 - f)^2 \sigma_{\pi}$$

λυγισμός έδρας: λεπτή δομή σε θλίψη

$$\tilde{\sigma}_{\text{καμψη2}} = 1.14 f \left(E_{\varepsilon} E_{\pi}^2 \right)^{1/3}$$

διάτμηση πυρήνα

$$\tilde{\sigma}_{\text{καμψη3}} = \frac{B_4}{B_3} \left[4 \frac{L}{d} (1 - f) \tau_{\pi} + f^2 \sigma_{\varepsilon} \right]$$

εντύπωση έδρας

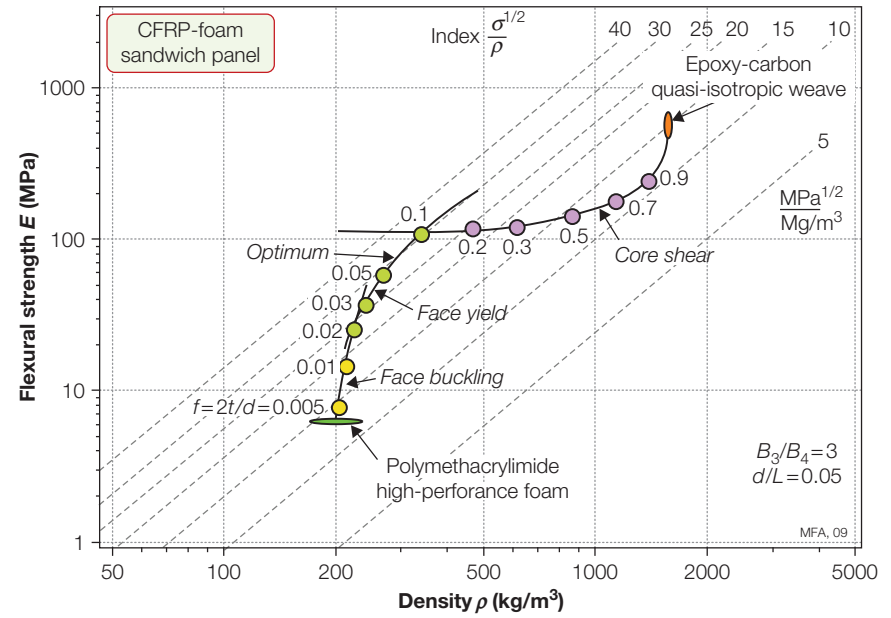
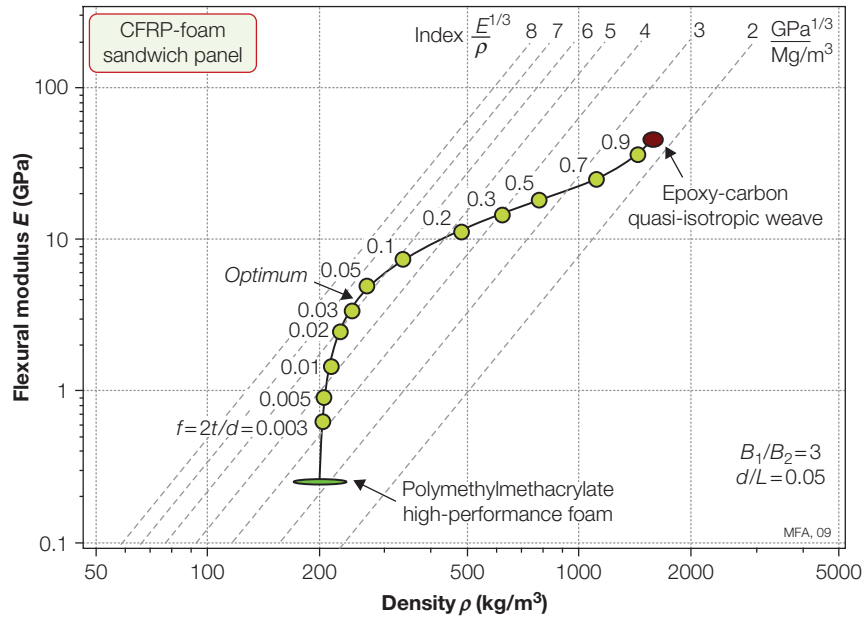
$$p_{\text{εντ}} = \frac{2t}{a} \left(\sigma_{\varepsilon} \sigma_{\pi} \right)^{1/2} + \sigma_{\pi}$$

σ : όριο διαρροής

τ : διατμητική τάση διαρροής

ρ : πίεση σε εμβαδόν ab

Απόδοση δομών σάντουιτς σε κάμψη



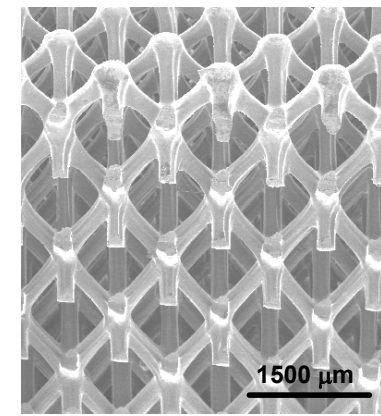
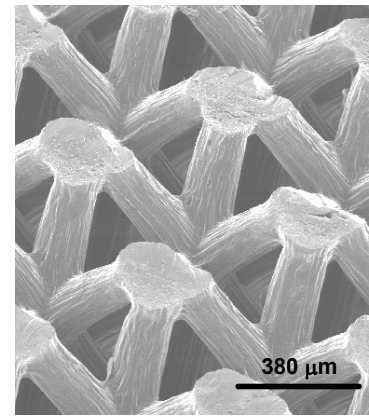
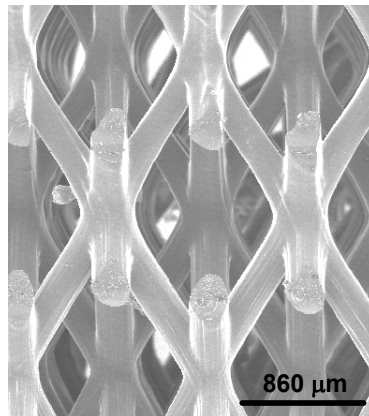
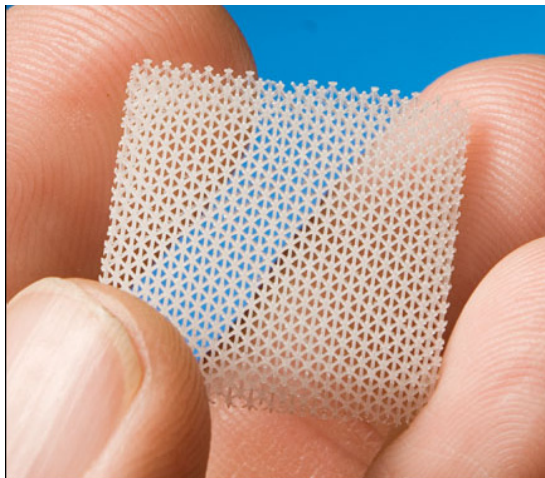
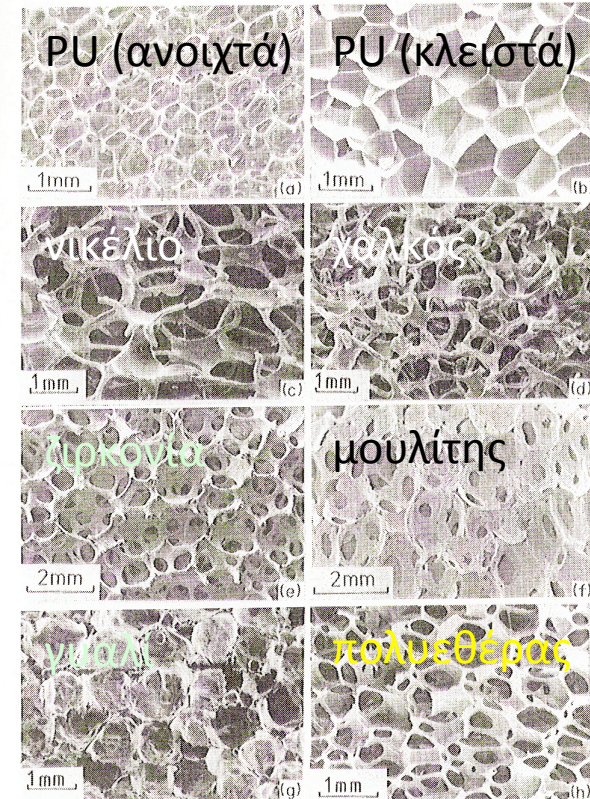
Κυτταρικές δομές αφροί και πλέγματα

δομές που «λυγίζουν»:

η συμπεριφορά τους ερμηνεύεται από την κάμψη των δοκών που απαρτίζουν την συμπαγή δομή των αφρών

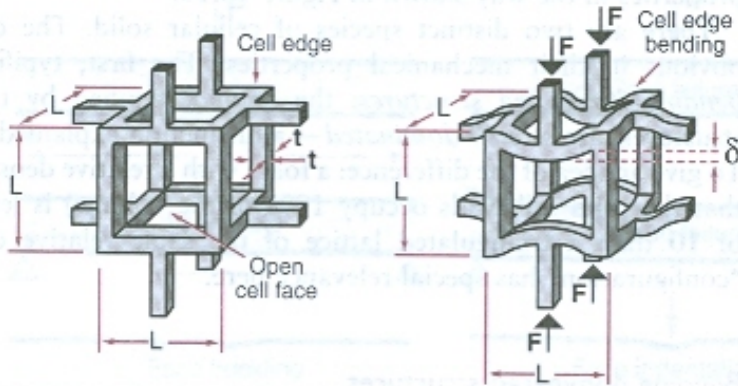
δομές που «τεντώνουν»:

η συμπεριφορά τους ερμηνεύεται από την αξονική φόρτιση των στοιχείων που απαρτίζουν το πλέγμα

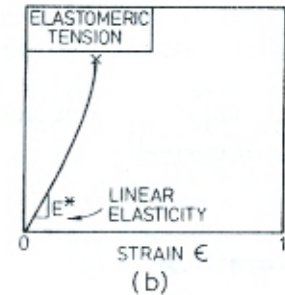
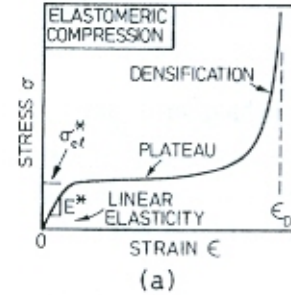


[Jacobsen et al., *Adv. Mat.*, In press.]

Κυτταρικές δομές μηχανική αφρών



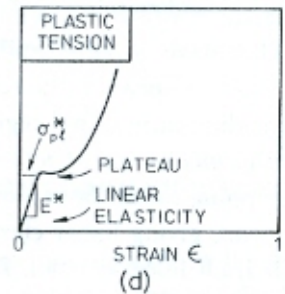
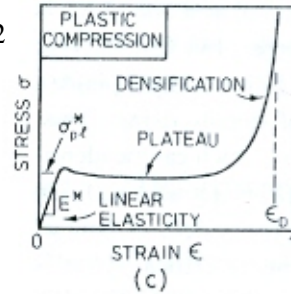
$$\frac{\tilde{\sigma}_{el}}{E_s} \approx 0.05 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^2$$



ελαστική συμπεριφορά

$$\frac{\tilde{E}}{E_s} \propto \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^2$$

$$\frac{\tilde{\sigma}_{pl}}{(\sigma_f)_s} \approx 0.3 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^{3/2}$$



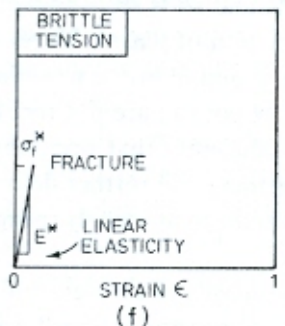
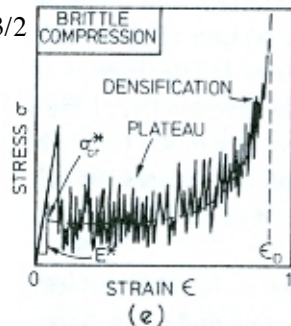
παραμόρφωση συμπύκνωσης

$$\tilde{\epsilon}_d \approx 1 - 1.4 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)$$

$$\frac{\tilde{\sigma}_{cr}}{(\sigma_{cr})_s} \approx 0.3 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^{3/2}$$

ενέργεια που απορροφά ανά μονάδα όγκου

$$\tilde{U} \approx \tilde{\sigma}_{pl} \tilde{\epsilon}_d$$



Κυτταρικές δομές μικροδικτυώματα

$$\frac{\tilde{E}}{E_s} \approx \frac{1}{3} \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)$$

ισότροπη συμπεριφορά που κυριαρχείται από έκταση

$$\frac{\tilde{\sigma}}{(\sigma_f)_s} \approx \frac{1}{3} \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)$$

ισότροπη συμπεριφορά που κυριαρχείται από έκταση (άνω όριο)

$$\frac{\tilde{\sigma}_{el}}{E_s} \approx 0.2 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^2$$

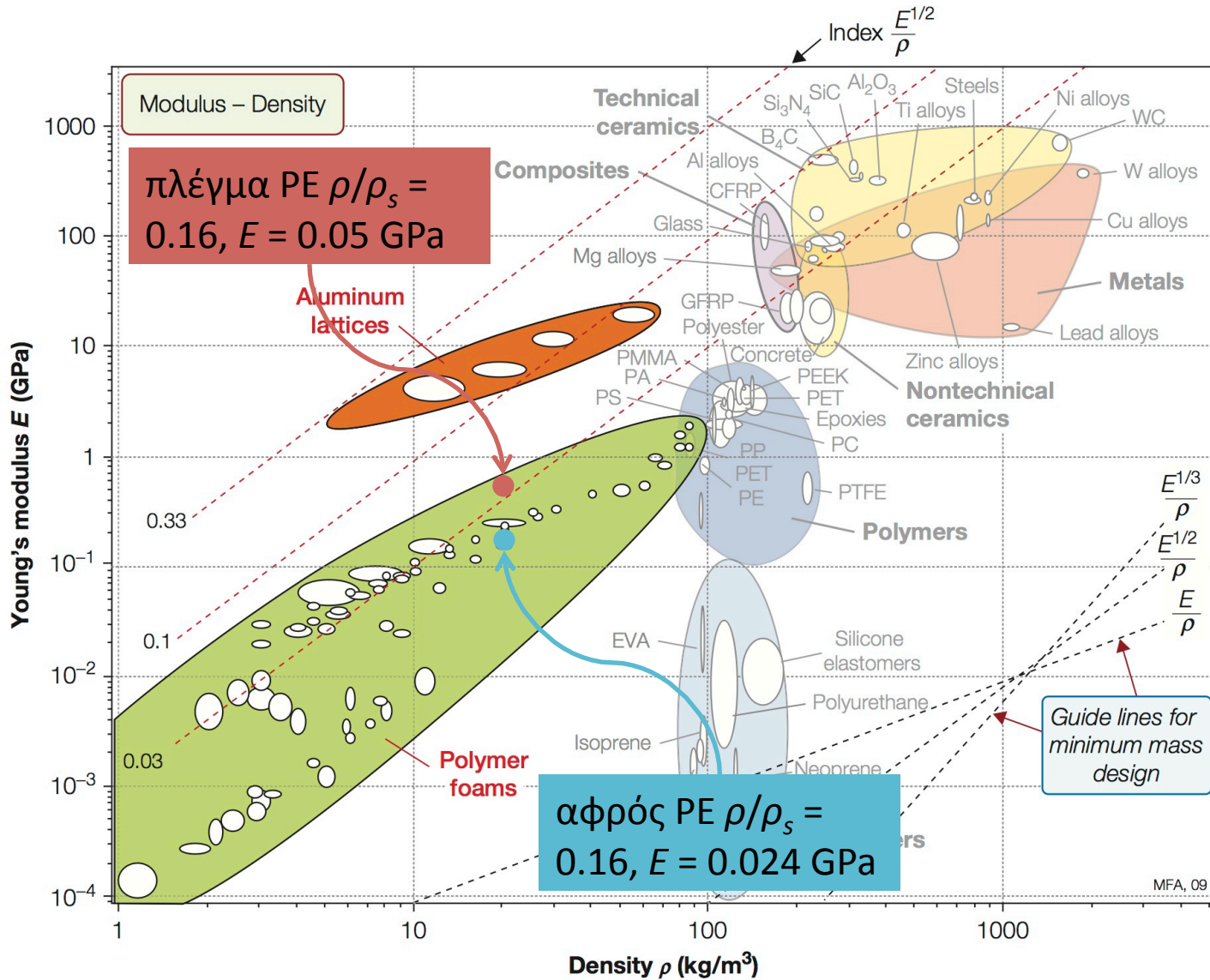
λυγισμός (λεπτές διατομές)

$$\tilde{\lambda} \approx \frac{1}{3} \left(\left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right) + 2 \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right)^{3/2} \right) \lambda_s + \left(1 - \left(\frac{\tilde{\rho}}{\rho_s} \right) \right) \lambda_g$$

θερμική αγωγιμότητα
όπως και στους αφρούς

2 μm

Κυτταρικές δομές κενά στα διαγράμματα ιδιοτήτων



Τμηματικές δομές

η επί μέρους διαίρεση ως σχεδιαστική παράμετρος

