



Τμήμα Μηχανολόγων  
Μηχανικών

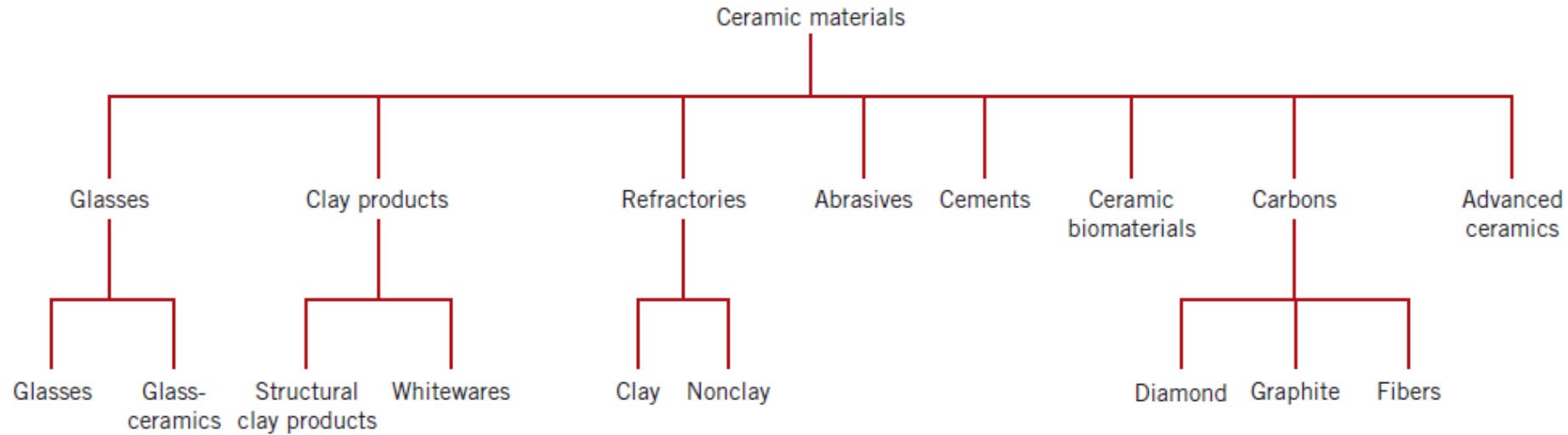
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Τεχνολογία Υλικών II

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δρ. Σκλήρη Ευαγγελία

# Εφαρμογές και Κατεργασία Κεραμικών



**Figure 13.1** Classification of ceramic materials on the basis of application.

Glasses: Ύαλοι

Glass-ceramics: υαλοκεραμικά

Clay products: προϊόντα πηλού

Refractories: πυρίμαχα

Abrasives: υλικά εκτριβής

Cements: κονιάματα

Ceramic biomaterials: κεραμικά βιολικά

Carbons: Άνθρακες

Advanced ceramics: προηγμένα κεραμικά

# Ύαλοι (Glasses)

## ❑ Χαρακτηριστικά:

- Μη κρυσταλλικά (άμορφα)
- Βασίζονται στο  $\text{SiO}_2$
- Περιέχουν οξειδία όπως  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## ❑ Πλεονεκτήματα:

- Οπτική διαφάνεια
- Εύκολη διαμόρφωση σε υψηλή θερμοκρασία

## ❑ Εφαρμογές:

- Δοχεία
- Παράθυρα
- Οπτικοί φακοί
- Υαλονήματα

<i>Glass Type</i>	<i>Composition (wt%)</i>						<i>Characteristics and Applications</i>
	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>CaO</i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Other</i>	
Fused silica	>99.5						High melting temperature, very low coefficient of expansion (thermally shock-resistant)
96% Silica (Vycor)	96				4		Thermally shock- and chemically resistant—laboratory ware
Borosilicate (Pyrex)	81	3.5		2.5	13		Thermally shock- and chemically resistant—ovenware
Container (soda-lime)	74	16	5	1		4 MgO	Low melting temperature, easily worked, also durable
Fiberglass	55		16	15	10	4 MgO	Easily drawn into fibers—glass-resin composites
Optical flint	54	1				37 PbO, 8 K <sub>2</sub> O	High density and high index of refraction—optical lenses
Glass-ceramic (Pyroceram)	43.5	14		30	5.5	6.5 TiO <sub>2</sub> , 0.5 As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Easily fabricated; strong; resists thermal shock—ovenware

# Υαλοκεραμικά

□ Υλικά που αρχικά είναι γυαλί και με ελεγχόμενη θερμική κατεργασία κρυσταλλώνονται.

## Διαδικασία:

1. Τήξη → υαλώδης κατάσταση
2. Ελεγχόμενη θερμική επεξεργασία
3. Πυρηνοποίηση και ανάπτυξη κρυστάλλων

## Ιδιότητες:

Υψηλή μηχανική αντοχή  
Μικρός συντελεστής θερμικής διαστολής  
Αντοχή σε θερμικό σοκ

## Εφαρμογές:

Σκεύη φούρνου  
Εστίες κουζίνας

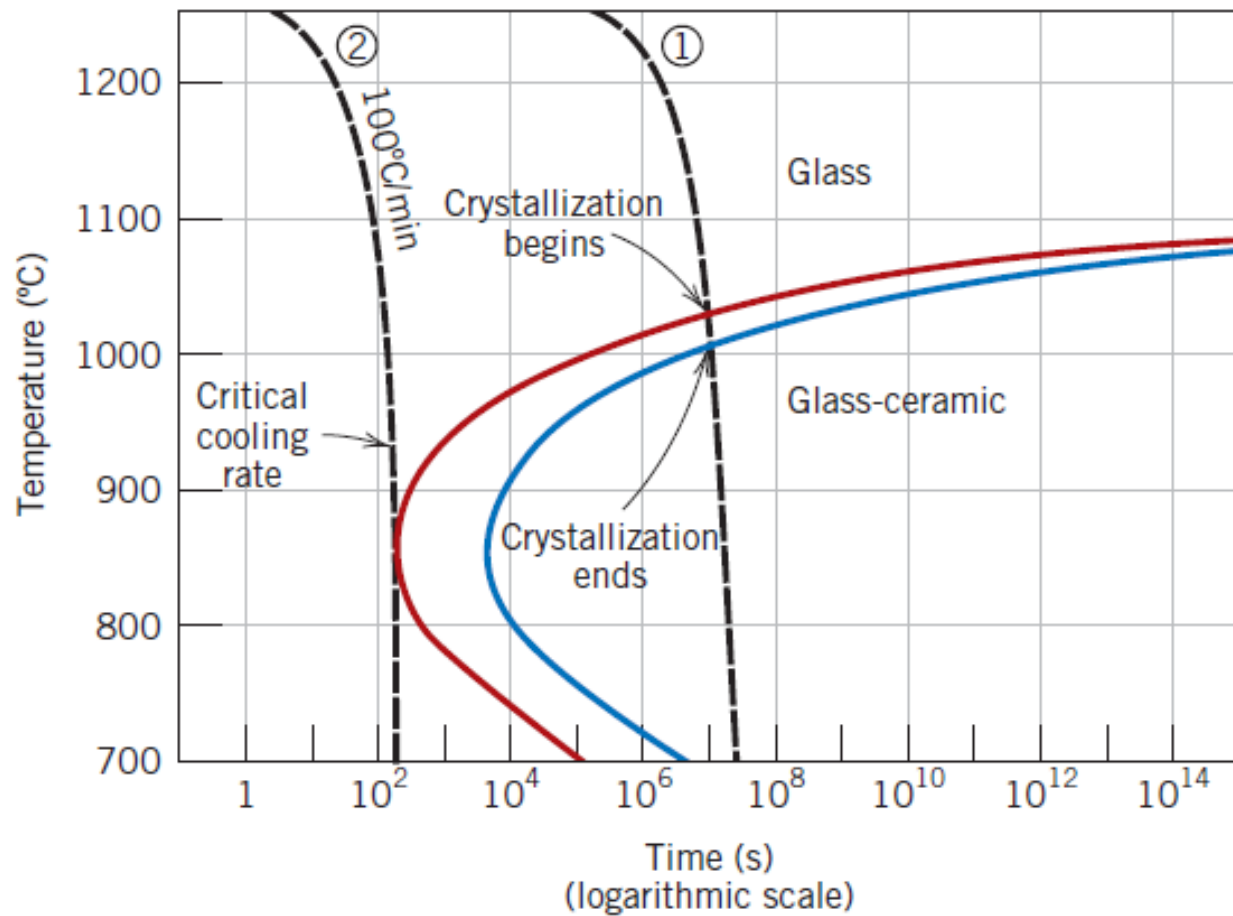
**Figure 13.3** Scanning electron micrograph showing the microstructure of a glass-ceramic material. The long, acicular, blade-shape particles yield a material with unusual strength and toughness. 40,000 $\times$ .



Courtesy of L. R. Pinckney and G. J. Fine, Corning Incorporated

0.4  $\mu\text{m}$

# Διάγραμμα Συνεχούς Ψύξης



Άνω καμπύλη (κόκκινη γραμμή) – Έναρξη κρυσταλλισμού  
Κάτω καμπύλη (μπλέ γραμμή) – Τέλος κρυσταλλισμού

## ❑ Αργή ψύξη (Καμπύλη 1)

- Τέμνει την περιοχή κρυσταλλισμού.
- Ξεκινά και ολοκληρώνεται η μετατροπή.
- **Υαλοκεραμικό (πολυκρυσταλλικό)**

## ❑ Ταχεία ψύξη (Καμπύλη 2)

- ο ρυθμός ψύξης είναι μεγαλύτερος από τον κρίσιμο ρυθμό, οπότε δεν δίνεται αρκετός χρόνος για να αρχίσει η κρυστάλλωση.
- Δεν ξεκινά κρυστάλλωση.
- **Άμορφο γυαλί**

# Προϊόντα Αργίλου

## Δομικά προϊόντα

Τούβλα

Κεραμίδια

## **Λευκά κεραμικά (Whitewares)**

Πορσελάνη

Είδη υγιεινής

Επιτραπέζια σκεύη

## Διαδικασία:

1. Ανάμιξη αργίλου (πηλός) + νερού

2. Μορφοποίηση

3. Ξήρανση

4. Έψηση σε υψηλή θερμοκρασία → αύξηση μηχανικής αντοχής

# Πυρίμαχα Κεραμικά

## Χαρακτηριστικά:

Αντέχουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες  
Μην τήκονται  
Αντέχουν θερμικό σοκ  
Χημικά αδρανή

## Κατηγορίες:

Πυρίμαχα αργίλου  
Υψηλής αλουμίνας  
Πυρίμαχα MgO  
ZrO<sub>2</sub>  
SiC

## Εφαρμογές:

Επενδύσεις καμίνων  
Χαλυβουργία  
Υαλουργία

**Table 13.2** Compositions of Seven Ceramic Refractory Materials

Refractory Type	Composition (wt%)					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Other
Fireclay	25–45	70–50	<1	<1	<1	1–2 TiO <sub>2</sub>
High-alumina fireclay	50–87.5	45–10	<1	1–2	<1	2–3 TiO <sub>2</sub>
Silica	<1	94–96.5	<1	<1.5	<2.5	
Periclase	<1	<3	>94	<1.5	<2.5	
Extra-high alumina	87.5–99+	<10	–	<1	–	<3 TiO <sub>2</sub>
Zircon	–	34–31	–	<0.3	–	63–66 ZrO <sub>2</sub>
Silicon carbide	12–2	10–2	–	<1	–	80–90 SiC

# Κατηγορίες Πυρίμαχων

## Κατηγορίες Πυρίμαχων

- Πυρίμαχα αργίλου (Clay refractories)
- Μη αργιλικά πυρίμαχα (Nonclay refractories)

## Πυρίμαχα αργίλου (Clay refractories)

### Πυρίμαχα Αργίλου (Clay refractories)

- **50–87.5 wt%  $Al_2O_3$**

Κύρια πρώτη ύλη: **βωξίτης**

Καλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες

Κατάλληλα για βιομηχανικές εφαρμογές

- **87.5–99 wt%  $Al_2O_3$  (Πολύ υψηλής αλουμίνας)**

Αντοχή > 1800°C

Δεν σχηματίζουν υγρή φάση

Πολύ καλή αντοχή σε θερμικό σοκ

### Εφαρμογές:

- Καμίνια υαλουργίας
- Χυτήρια
- Επενδύσεις κλιβάνων

## Μη Αργιλικά Πυρίμαχα

Πρώτες ύλες εκτός αργίλου.

Περιλαμβάνουν:

- Πυριτικά ( $SiO_2$ )
- Μαγνησία ( $MgO$ )
- Ζιρκόνιο ( $ZrO_2 \cdot SiO_2$ )
- Καρβίδιο πυριτίου ( $SiC$ )

# Κεραμικά Εκτριβής

**Λειαντικά κεραμικά (σε μορφή κόκκων) χρησιμοποιούνται για:**

Φθορά

Λείανση

Κοπή

Στίλβωση

Η δράση τους βασίζεται στην τριβή υπό πίεση και στην απομάκρυνση υλικού από πιο μαλακή επιφάνεια

**Βασικές Απαιτήσεις Λειαντικών**

Για να είναι αποτελεσματικό ένα κεραμικό εκτριβής πρέπει να έχει:

- Πολύ μεγάλη σκληρότητα ( $\geq 7$  Mohs)
- Αντοχή στη φθορά
- Επαρκή δυσθραυστότητα (να μην θρυμματίζεται εύκολα)
- Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (λόγω τριβής)

**Χρησιμοποιούνται σε:**

- Βιομηχανία μετάλλων
- Ηλεκτρονικά
- Οπτικά
- Υλικά υψηλής τεχνολογίας

# Κατηγορίες Κεραμικών Εκτριβής

- ❑ Τα κεραμικά εκτριβής χρησιμοποιούνται για κοπή και λείανση και η απόδοσή τους εξαρτάται από τη σκληρότητα και το μέγεθος των κόκκων.

## Φυσικά (Naturally occurring)

Διαμάντι

Κορούνδιο ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Σμύριδα

Ασβεστίτης

Άμμος

## Συνθετικά (Manufactured)

Διαμάντι

CBN (κυβικό νιτρίδιο βορίου)

SiC (καρβίδιο πυριτίου)

Ζirkονία–Αλουμίνα

$\text{B}_4\text{C}$  (καρβίδιο βορίου)

- Όσο μεγαλύτερη η διαφορά σκληρότητας → τόσο ταχύτερη και βαθύτερη κοπή
- Χονδρόκοκκο → ταχύτερη αφαίρεση, τραχιά επιφάνεια
- Λεπτόκοκκο → αργή αφαίρεση, λεία επιφάνεια
- Μεγαλύτερη πίεση → Αυξημένος ρυθμός λείανσης

# Κατηγορίες Κεραμικών Εκτριβής

## ❑ Μορφές Χρήσης Λειαντικών

### ▪ Δεσμευμένα (Bonded abrasives)

Κόκκοι ενσωματωμένοι σε μήτρα

Συνήθως σε τροχούς λείανσης

Η δράση γίνεται με περιστροφή

Υλικά σύνδεσης:

Γυαλώδη κεραμικά

Ρητίνες

Καουτσούκ

Περιέχουν πόρους για κυκλοφορία αέρα/ψυκτικού  
και αποφυγή υπερθέρμανσης

### ▪ Επικαλυμμένα (Coated abrasives)

Κόκκοι κολλημένοι σε υπόστρωμα

Παράδειγμα: γυαλόχαρτο

Υποστρώματα:

- Χαρτί
- Ύφασμα

**Figure 13.5** Photomicrograph of an aluminum oxide–bonded ceramic abrasive. The light regions are the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  abrasive grains; the gray and dark areas are the bonding phase and porosity, respectively. 100 $\times$ . (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition, p. 568. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



100  $\mu\text{m}$

# Κονιάματα

## ❑ Κεραμικά υλικά όπως:

Τσιμέντο

Γύψος

Ασβέστης

Όταν αναμιχθούν με νερό δημιουργούν πάστα και σκληραίνουν μέσω χημικών αντιδράσεων (ενυδάτωση)

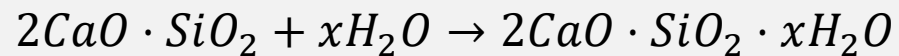
➤ Η σκλήρυνση δεν είναι ξήρανση — είναι χημική αντίδραση.

## Χρήση:

- Σκυρόδεμα
- Κονιάματα

## ❑ Μηχανισμός Σκλήρυνσης

Η σκλήρυνση γίνεται μέσω **ενυδάτωσης**.



Τα προϊόντα είναι:

- Υδροποιημένα gels
- Κρυσταλλικές φάσεις

Αυτά δημιουργούν τον τσιμεντοειδή δεσμό.

# Κεραμικά Βιολικά

## ❑ Κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε:

- Ορθοπαιδικές εφαρμογές
- Οδοντιατρικά εμφυτεύματα
- Επανορθώσεις οστών
- Βιοϊατρικά εμφυτεύματα

## ❑ Ιδιότητες

Χημική αδράνεια

Σκληρότητα

Αντοχή στη φθορά

Χαμηλός συντελεστής τριβής

Βιοσυμβατότητα

## ❑ Μειονεκτήματα

Εύθραυστα

Χαμηλή ανθεκτικότητα σε θραύση

## Πορώδης Αλουμίνα ( $Al_2O_3$ )

- Χρησιμοποιείται σε αποκατάσταση οστών
- Δρα ως δομικό ικρίωμα (scaffold)
- Το νέο οστό αναπτύσσεται μέσα στους πόρους
- Δεν αντικαθιστά την αλουμίνα

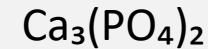
## Ζιρκονία ( $ZrO_2$ )

Μηριαίες κεφαλές προσθετικών ισχίου

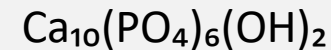
Οδοντιατρικές στεφάνες

Οδοντιατρικές αποκαταστάσεις

## Τρικαλσιούχο φωσφορικό:



## Υδροξυαπατίτης:



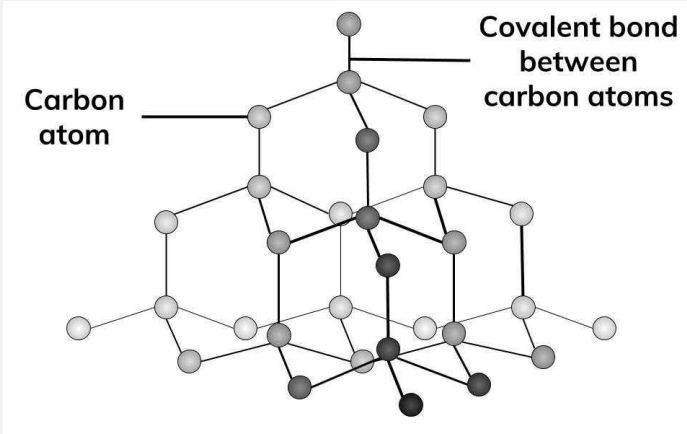
Πορώδη οστικά μοσχεύματα

Επιδιόρθωση καταγμάτων

Αντικατάσταση οστικής απώλειας

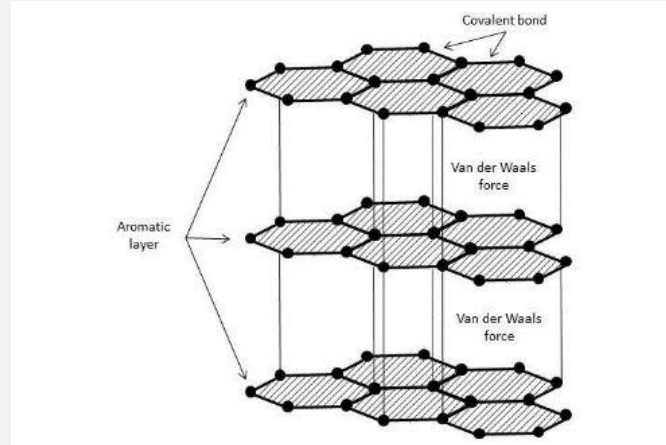
Συστήματα ελεγχόμενης απελευθέρωσης φαρμάκων

# Υλικά από Άνθρακα



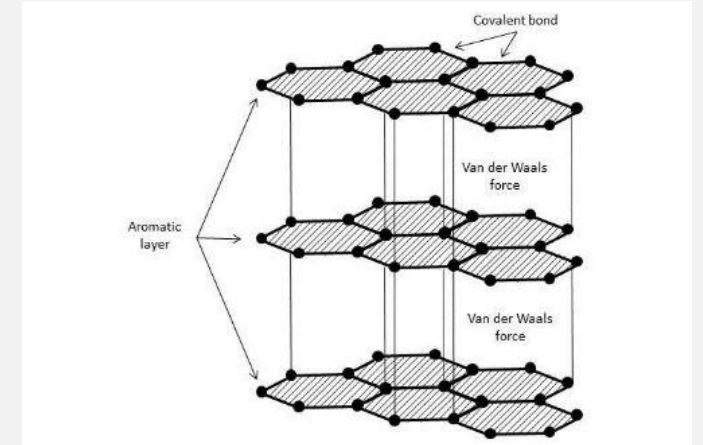
## Διαμάντι ( $sp^3$ )

- Σκληρότερο γνωστό υλικό
  - Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
  - Διαφανές
- Χρήσεις: κοπτικά εργαλεία, γεωτρήσεις



## Γραφίτης ( $sp^2$ )

- Στρωματική δομή
  - Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Χρήσεις:
- Ηλεκτρόδια
  - Λιπαντικά
  - Πυρίμαχα

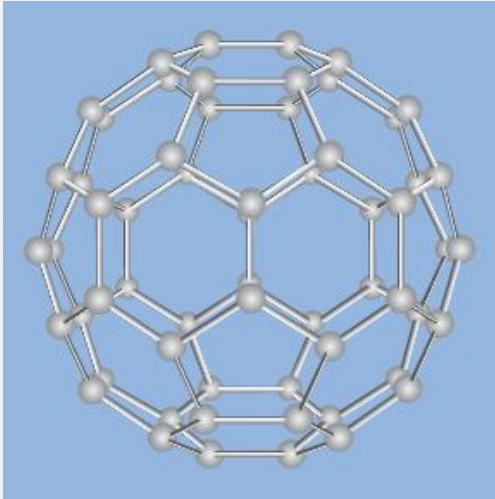


## Ίνες άνθρακα

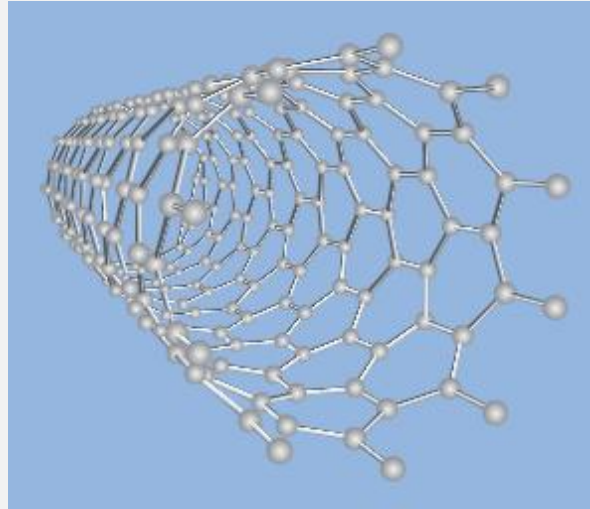
- Πολύ υψηλή αντοχή
  - Υψηλό μέτρο ελαστικότητας
  - Χαμηλό βάρος
- Χρήση:
- Σύνθετα υλικά (CFRP)

# Προηγμένα Κεραμικά

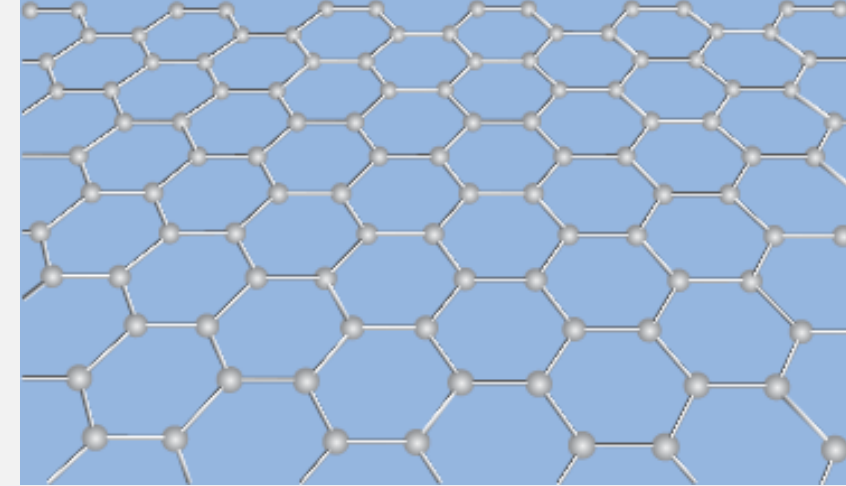
Fullerene – C<sub>60</sub>



Carbon nanotubes

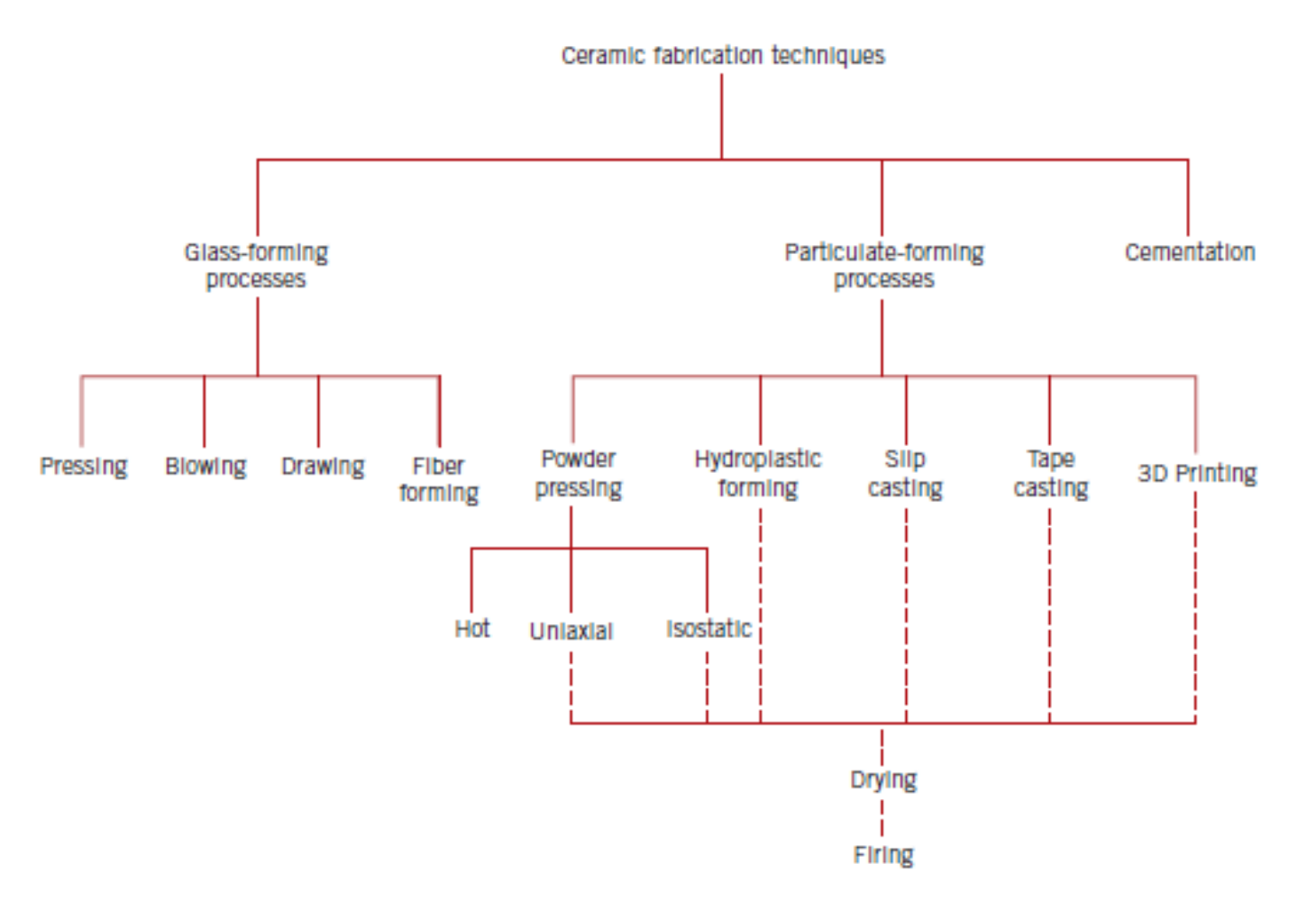


Graphene



<i>Property</i>	<i>Material</i>		
	<i>C<sub>60</sub></i> <i>(Fullerite)</i>	<i>Carbon Nanotubes</i> <i>(Single-Walled)</i>	<i>Graphene</i> <i>(In-Plane)</i>
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.33–1.40	—
Modulus of elasticity (GPa)	—	1000	1000
Strength (MPa)	—	13,000–53,000	130,000
Thermal Conductivity (W/m·K)	0.4	~2000	3000–5000
Coefficient, Thermal Expansion (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	—	—	~-6
Electrical Resistivity (Ω·m)	10 <sup>14</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>

# Τεχνικές Μορφοποίησης Κεραμικών Υλικών

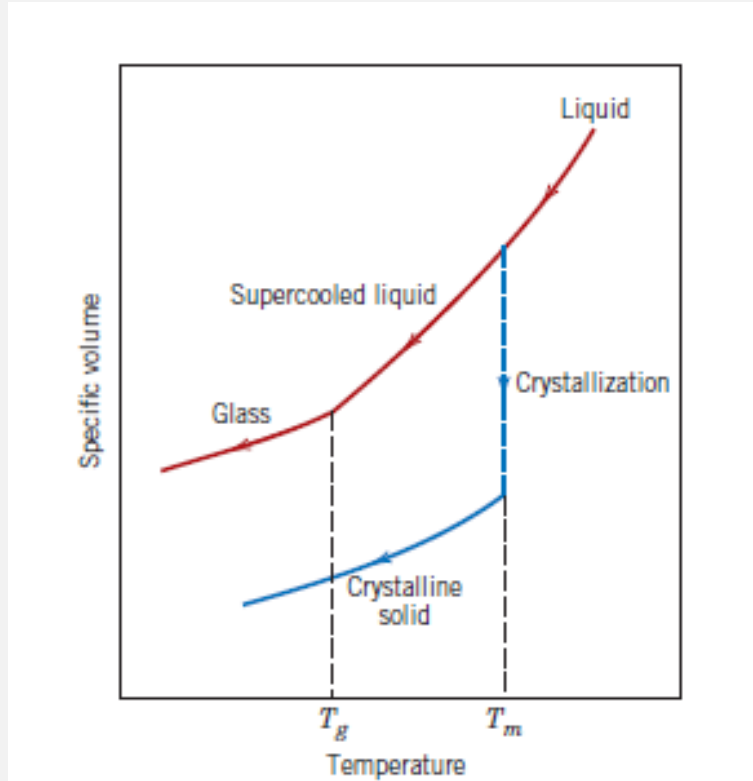


- Pressing: Συμπίεση
- Blowing: Εμφύσηση
- Drawing: Διέλκυση
- Fiber forming: Σχηματισμός ινών
- Powder pressing: συμπίεση κόνεως
- Hot: θερμή
- Uniaxial: μονοαξονική
- Isostatic: ισοστατική
- Hydroplastic forming: υδροπλαστική μορφοποίηση
- Slip casting: χύτευση εναιώρησης
- Tape casting: χύτευση ταινίας
- 3D printing: 3D εκτύπωση
- Drying: ξήρανση
- Firing: πύρωση

# Τεχνικές Μορφοποίησης Κεραμικών Υλικών

## Διάγραμμα Ειδικού όγκου – Θερμοκρασίας

Συγκρίνει υαλώδη (άμορφα) υλικά και κρυσταλλικά υλικά



Τα κρυσταλλικά υλικά έχουν απότομη μετάβαση στο  $T_m$  (σημείο τήξης).

Τα άμορφα υλικά δεν λιώνουν απότομα, αλλά περνούν από υαλώδη μετάπτωση ( $T_g$ ).

### ❑ Σε υψηλές θερμοκρασίες:

Το υλικό είναι υγρό

Ο ειδικός όγκος είναι μεγάλος

Μειώνεται σταδιακά καθώς μειώνεται η θερμοκρασία

### ❑ Υπερψυχθέν Υγρό (Supercooled liquid)

Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο τήξης ( $T_m$ ), αλλά δεν έχει γίνει κρυστάλλωση:

Το υλικό παραμένει άμορφο

Συνεχίζει να συμπεριφέρεται σαν υγρό

Ο όγκος μειώνεται ομαλά

### ❑ Θερμοκρασία Υαλώδους Μετάπτωσης ( $T_g$ )

Δεν υπάρχει απότομη μεταβολή όγκου

Αλλά αλλάζει η κλίση της καμπύλης

Εδώ το υπερψυχθέν υγρό γίνεται **γυαλί (glass)**.

### ❑ Στο $T_m$ (σημείο τήξης)

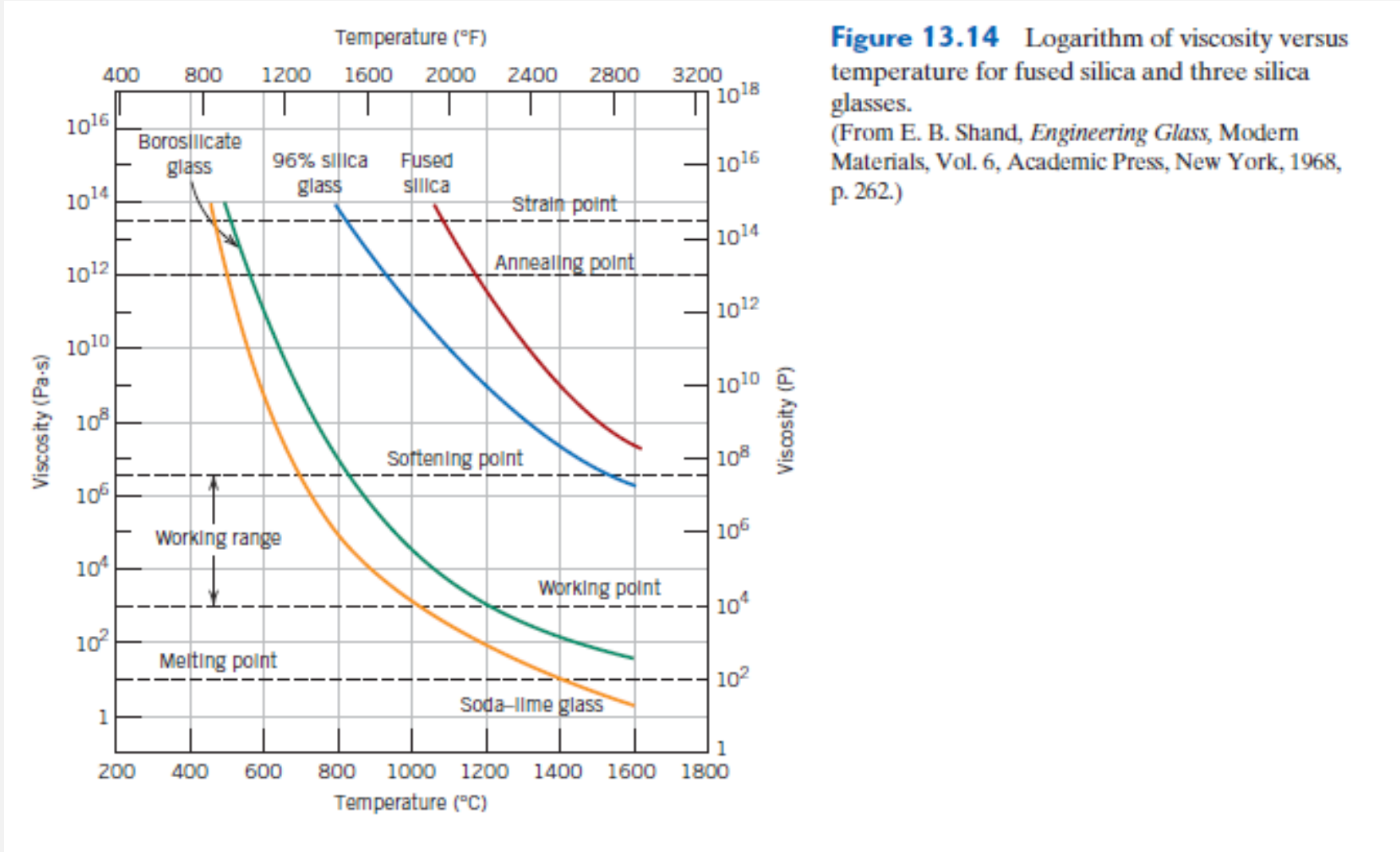
Παρατηρούμε:

Απότομη μεταβολή στον ειδικό όγκο

Διακριτή μετάβαση φάσης

Αυτό είναι χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών υλικών.

# Ιξώδες – Θερμοκρασία στο Γυαλί



# Ιξώδες – Θερμοκρασία στο Γυαλί

Στο διάγραμμα  $\log(\text{ιξώδες}) - \text{θερμοκρασία}$ , ορίζονται χαρακτηριστικά σημεία που είναι κρίσιμα για την κατεργασία του γυαλιού.

## Σημείο Τήξης (Melting Point)

Ιξώδες =  $10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Το γυαλί συμπεριφέρεται σαν κανονικό υγρό.

Είναι αρκετά ρευστό.

Κατάλληλο για πλήρη τήξη και ομογενοποίηση.

## Σημείο Εργασίας (Working Point)

Ιξώδες =  $10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Το γυαλί παραμορφώνεται εύκολα.

Εδώ γίνονται οι περισσότερες μορφοποιήσεις.

Περιοχή βιομηχανικής κατεργασίας.

## Σημείο Αποσκλήρυνσης (Softening Point)

Ιξώδες =  $4 \times 10^6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Μέγιστη θερμοκρασία όπου μπορεί να χειριστεί το γυαλί χωρίς να αλλάξει σημαντικά σχήμα.

Πάνω από αυτό, αρχίζει να παραμορφώνεται αισθητά.

## Σημείο Ανόπτησης (Annealing Point)

Ιξώδες =  $10^{12} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Η ατομική διάχυση είναι ταχεία

ώστε να απομακρυνθούν εσωτερικές τάσεις.

Οι θερμικές τάσεις εξαλείφονται σε  $\sim 15$  λεπτά.

## Σημείο Παραμόρφωσης (Strain Point)

Ιξώδες =  $3 \times 10^{13} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Κάτω από αυτό:

Το γυαλί δεν παραμορφώνεται πλαστικά.

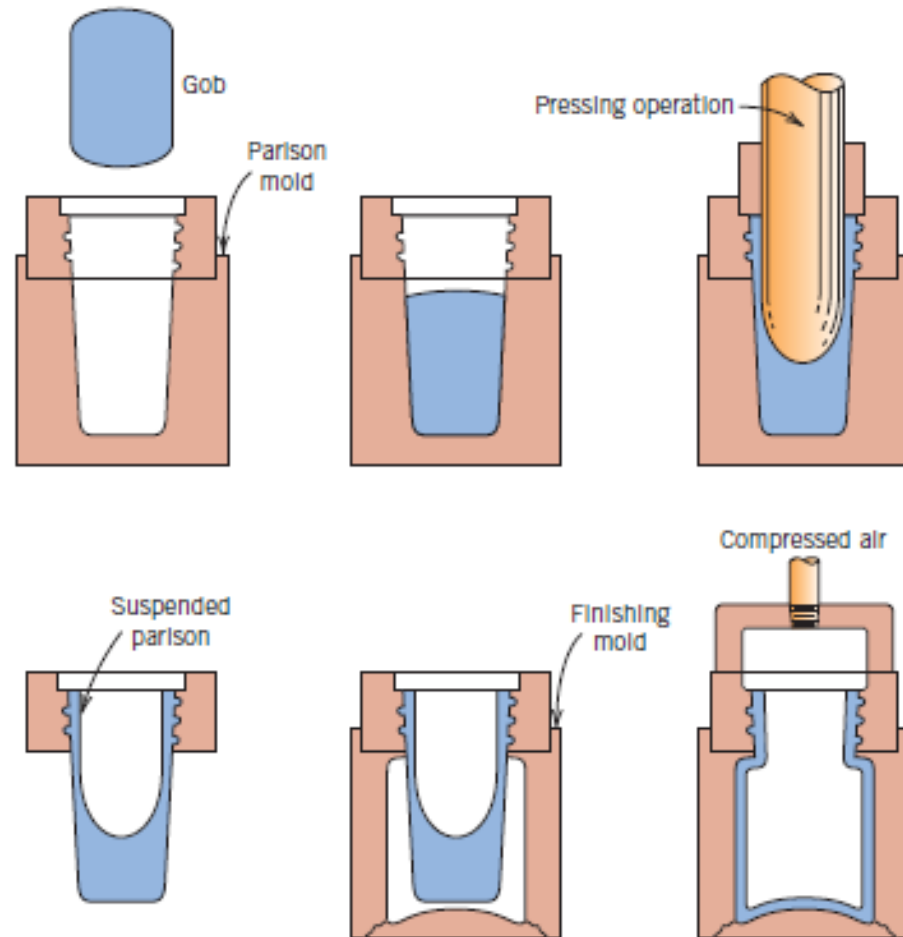
Θα θραυστεί πριν παραμορφωθεί.

**Το  $T_g$  βρίσκεται πάνω από το σημείο παραμόρφωσης.**

# Μορφοποίηση Υάλου

- Η τεχνική συμπίεσης και εμφύσησης για την παραγωγή ενός γυάλινου μπουκαλιού.

**Figure 13.15** The press-and-blow technique for producing a glass bottle. (Adapted from C. J. Phillips, *Glass: The Miracle Maker*. Reproduced by permission of Pitman Publishing Ltd., London.)



Gob: ακατέργαστη ύαλος

Parison mold: καλούπι Parison

Pressing operation: διαδικασία συμπίεσης

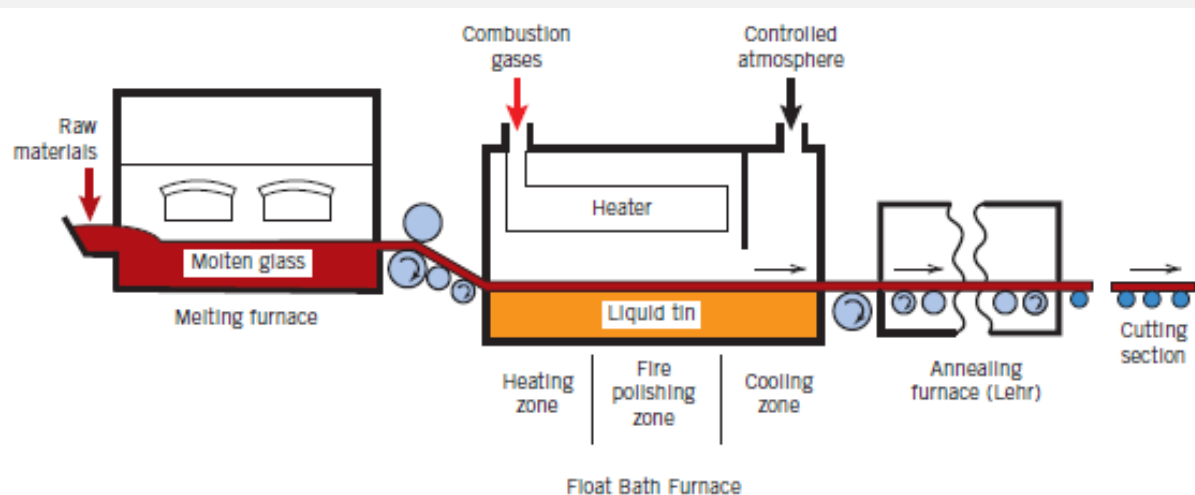
Suspended parison: αιωρούμενο parison

Finishing mold: καλούπι εμφύσησης

Compressed air: συμπιεσμένος αέρας

# Μορφοποίηση Υάλου

## ➤ Κατεργασία επίπλευσης για παραγωγή φύλλων υάλου



**Figure 13.16** Schematic diagram showing the float process for making sheet glass. (Courtesy of Pilkington Group Limited.)

### Τήξη (Melting Furnace)

- Πρώτες ύλες ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ )
- Θέρμανση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία
- Παράγεται λιωμένο γυαλί

### Ροή στο Λουτρό Κασσίτερου (Liquid Tin)

Το λιωμένο γυαλί ρέει πάνω σε λουτρό λιωμένου κασσίτερου. Επειδή το γυαλί είναι λιγότερο πυκνό, επιπλέει

### Heating Zone

Το γυαλί παραμένει αρκετά ρευστό για να απλωθεί.

### Ζώνη πυροσίλβωσης

Το γυαλί είναι ακόμη σε υψηλή θερμοκρασία. Η επιφάνεια παραμένει ελαφρώς ρευστή. Η επιφανειακή τάση λειαίνει μικροανωμαλίες. Δημιουργείται πολύ λεία, γυαλισμένη επιφάνεια.

### Φούρνος ανόπτησης - Annealing Furnace (Lehr)

Το γυαλί έχει ήδη στερεοποιηθεί. Ψύχεται αργά και ελεγχόμενα. Απομακρύνονται οι εσωτερικές θερμικές τάσεις.

# Θερμική Κατεργασία Γυαλιού

## ❑ Ανόπτηση

Όταν ένα κεραμικό ψύχεται → **εσωτερικές τάσεις ή θερμικές τάσεις** → αποδυναμώνουν το υλικό → θραύση → θερμικό σοκ  
**Ανόπτηση (Annealing)** → Αφαίρεση εσωτερικών θερμικών τάσεων με αργή ψύξη

## ❑ Θερμική Σκλήρυνση (thermal tempering)

Ζεσταίνουμε το γυαλί (πάνω από  $T_g$ , αλλά όχι να λιώσει).

Το κρυώνουμε πολύ γρήγορα στην επιφάνεια με αέρα.

Η επιφάνεια κρυώνει πρώτη και παγώνει.

Το εσωτερικό είναι ακόμα ζεστό και θέλει να συρρικνωθεί.

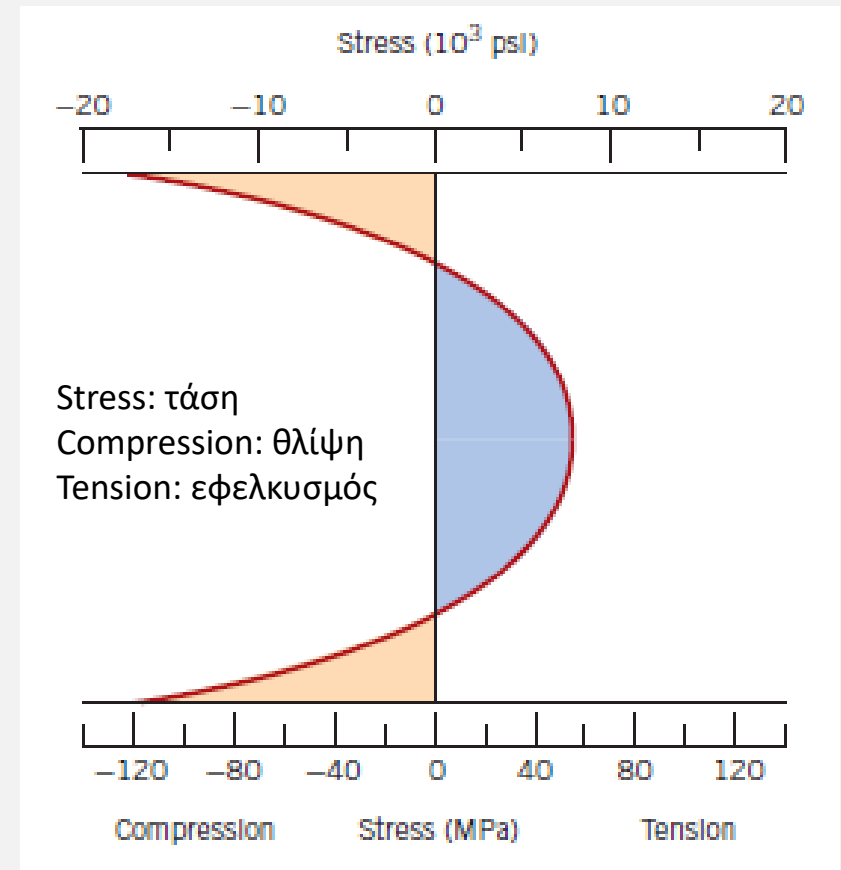
Όμως η επιφάνεια το εμποδίζει.

**Η επιφάνεια μπαίνει σε θλίψη**

**Το εσωτερικό σε εφελκυσμό**

Οι ρωγμές στο γυαλί ξεκινούν στην επιφάνεια.

Όμως για να ανοίξει ρωγμή, πρέπει πρώτα να ξεπεραστεί η θλιπτική τάση.



# Κατεργασία Υαλοκεραμικών

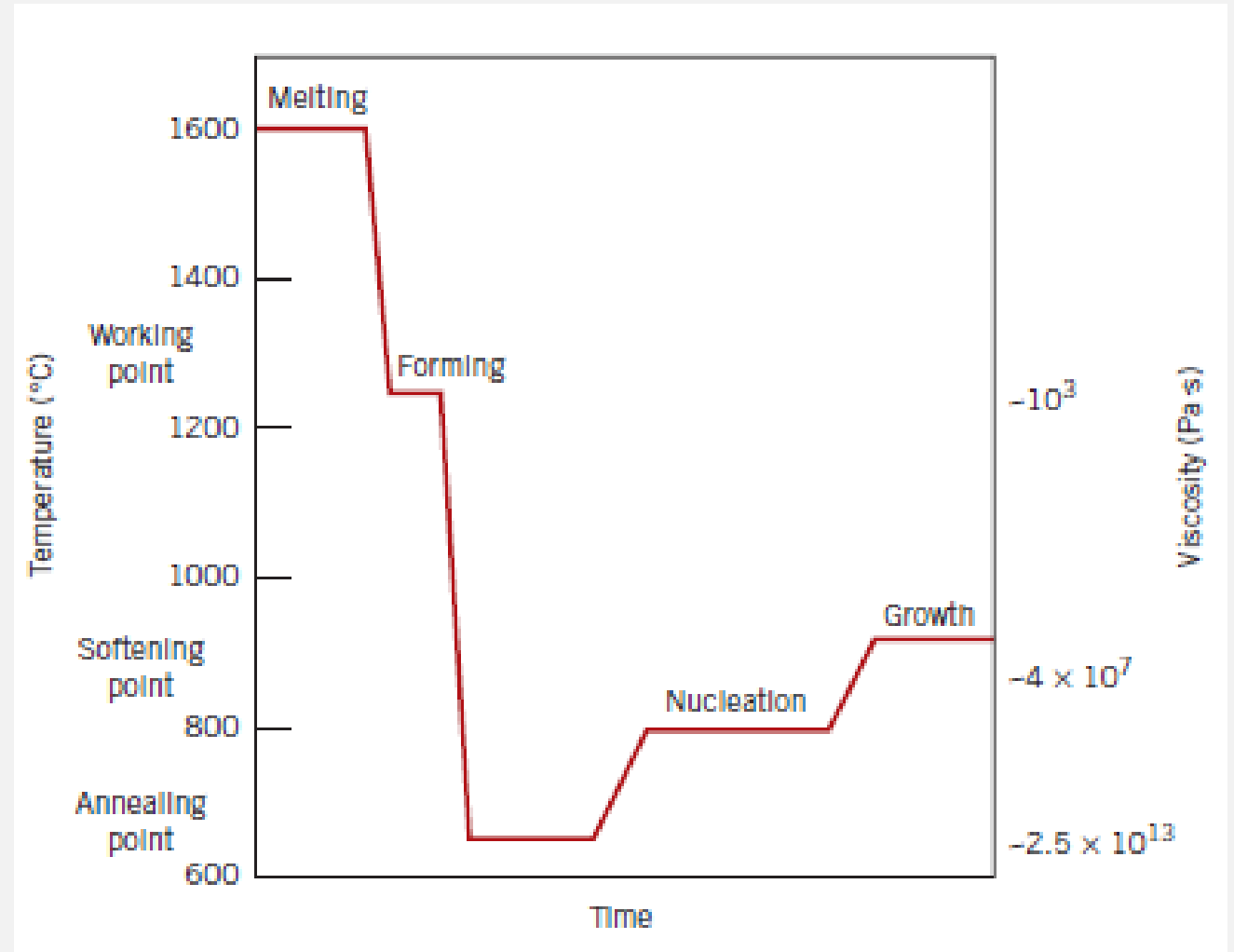
Melting: τήξη

Forming: μορφοποίηση

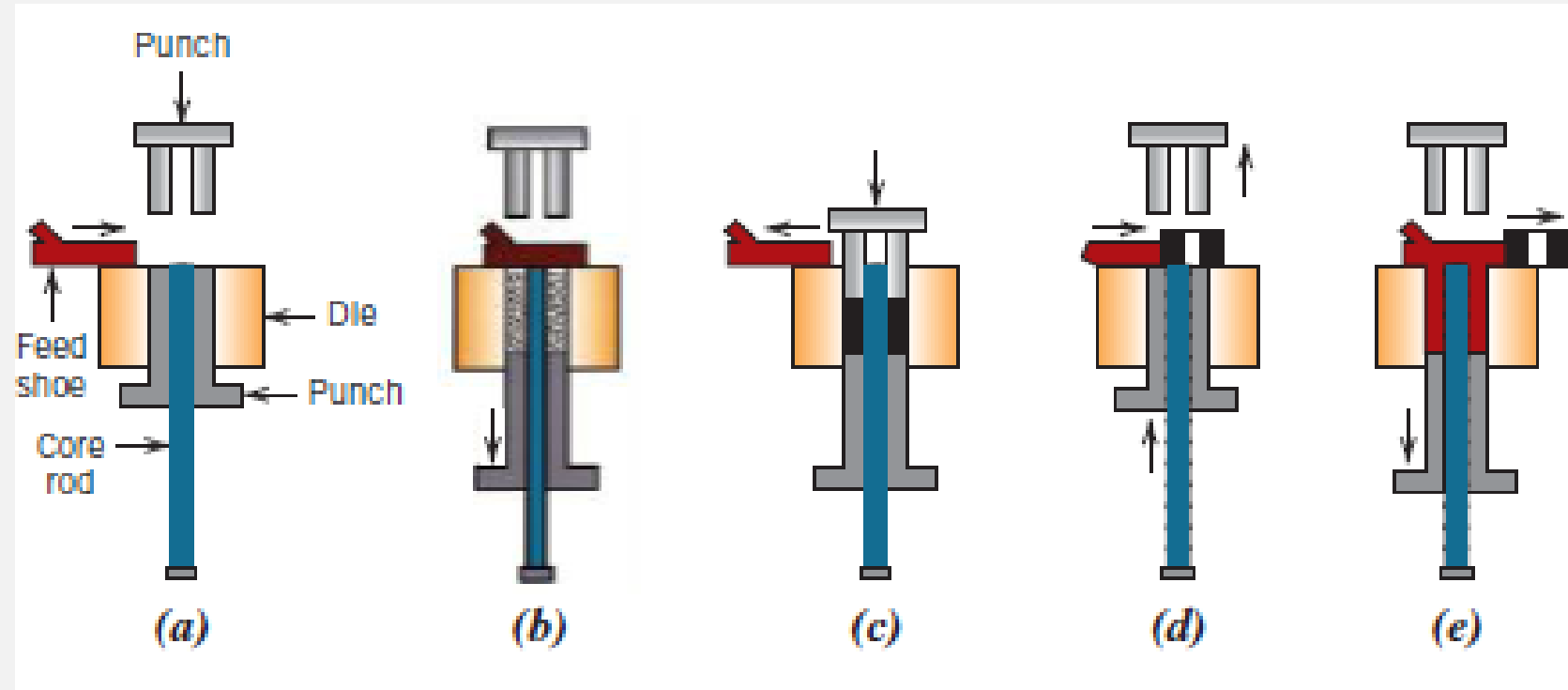
Nucleation: πυρήνωση

Growth: κρυσταλλική ανάπτυξη

- Μορφοποίηση σαν γυαλί
- Θερμική κατεργασία για:
  - Πυρηνοποίηση
  - Ανάπτυξη κρυστάλλων
  - Ισοθερμική κατεργασία σε δύο θερμοκρασίες
    - Χαμηλότερη → στάδιο πυρήνωσης
    - Υψηλότερη → στάδιο κρυσταλλικής ανάπτυξης

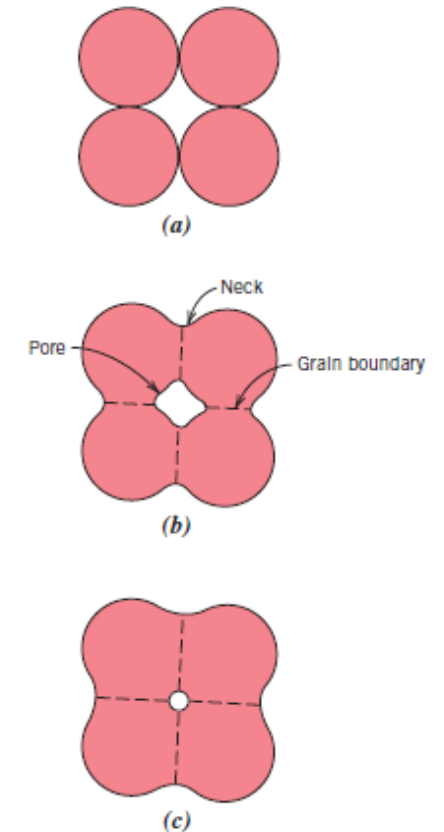


# Μονοαξονική Συμπίεση Κόνεως



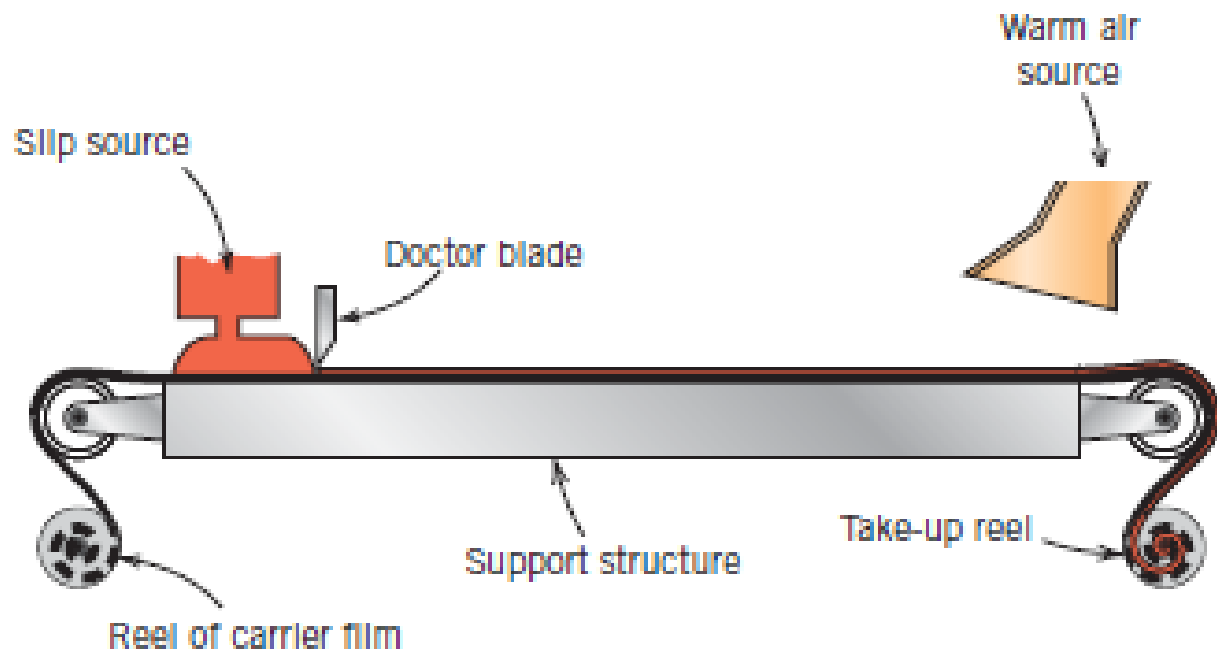
Η σκόνη μπαίνει στη μήτρα (feed shoe).  
Το έμβολο (punch) κατεβαίνει και τη συμπιέζει.  
Δημιουργείται συμπαγές τεμάχιο .  
Το τεμάχιο εξάγεται από τη μήτρα.

- Πρώτα συμπιέζουμε τη σκόνη για να δώσουμε σχήμα και μετά με πυροσυσσώματωση (sintering) αυξάνουμε την πυκνότητα και την αντοχή.



**Figure 13.23** For a powder compact, microstructural changes that occur during firing. (a) Powder particles after pressing. (b) Particle coalescence and pore formation as sintering begins. (c) As sintering proceeds, the pores change size and shape.

# Χύτευση Ταινίας

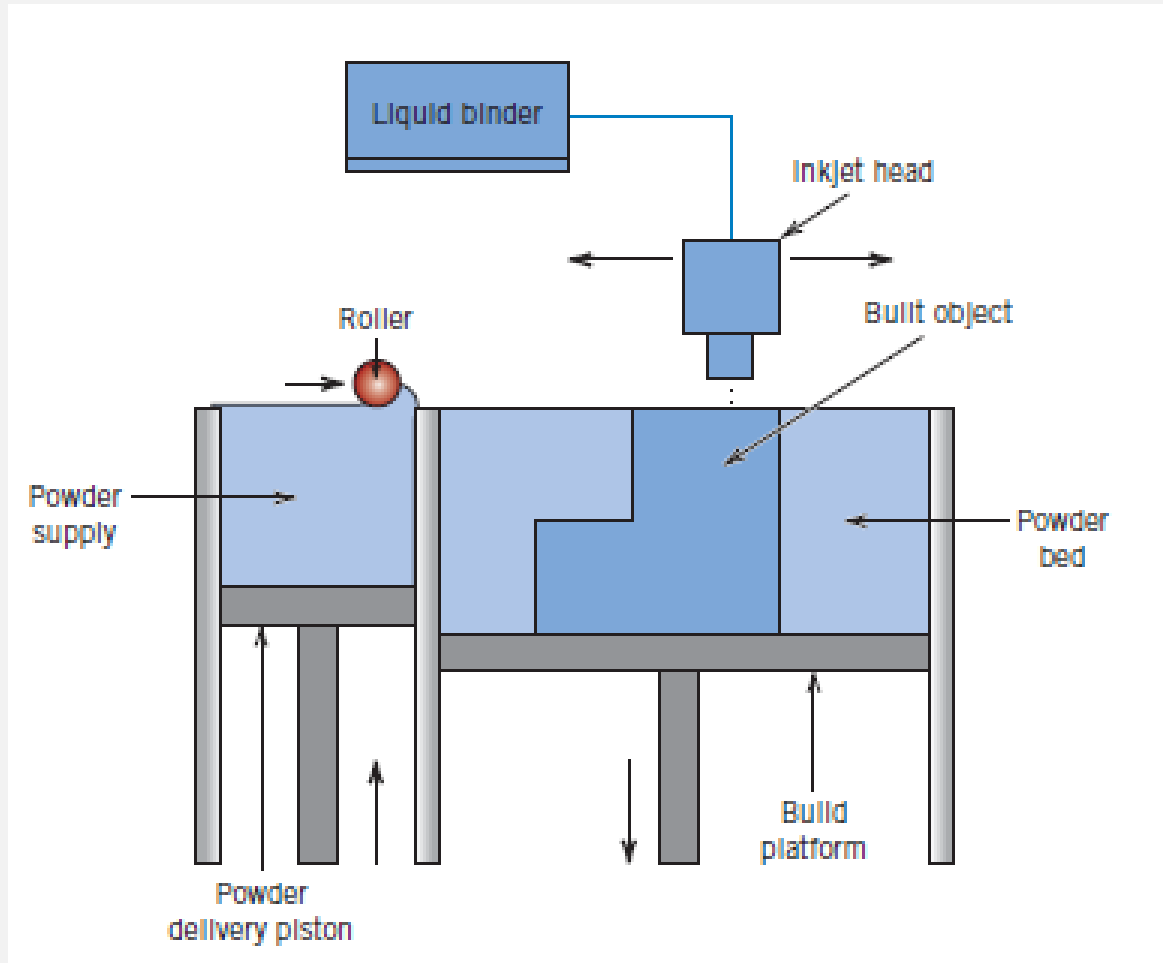


- Παρασκευή slip (αιώρημα σκόνης σε υγρό + binders)
- Χύτευση σε κινούμενη επιφάνεια
- Διαμόρφωση πάχους με doctor blade (0.1-2 mm)
- Ξήρανση

## Εφαρμογές

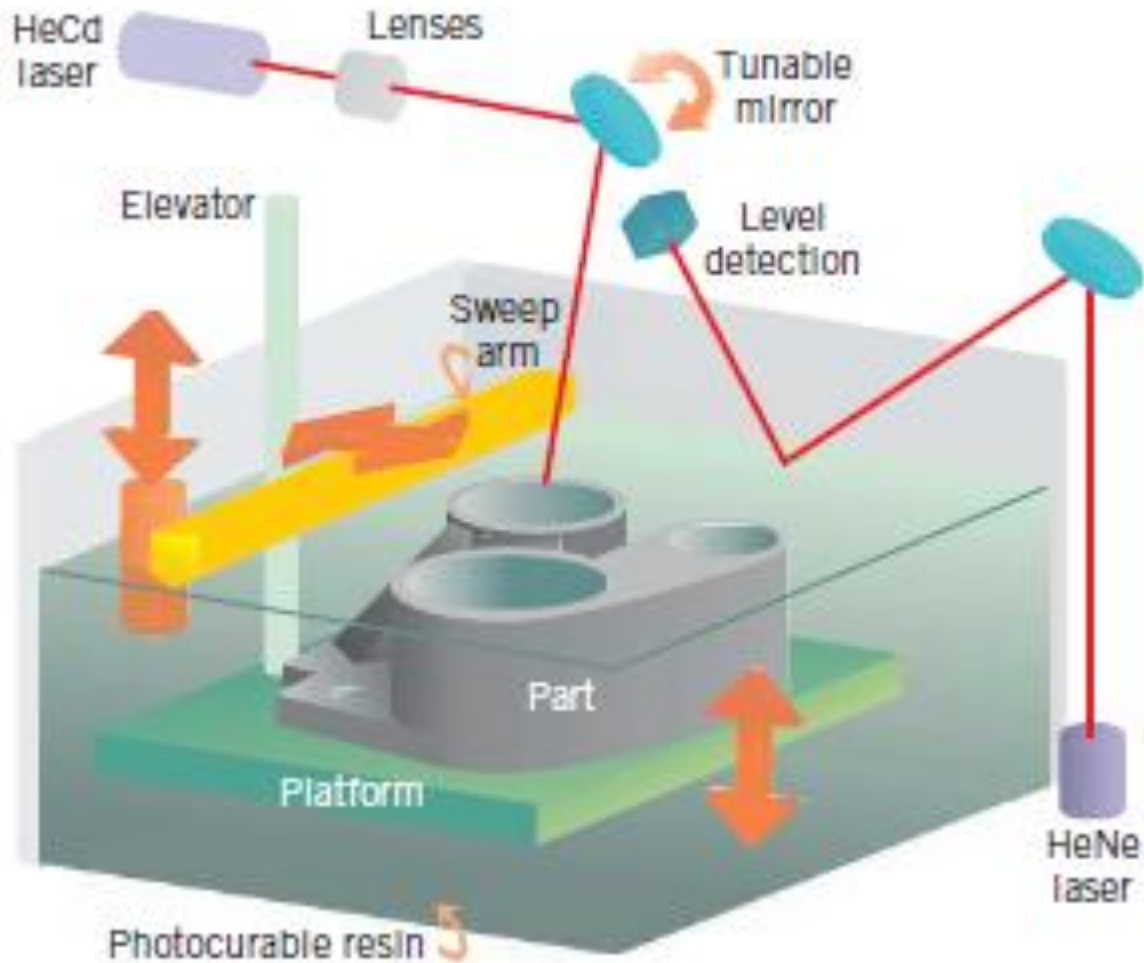
Υποστρώματα ηλεκτρονικών  
Πολυστρωματικοί πυκνωτές  
Λεπτά τεχνικά κεραμικά

# Εκτύπωση Κεραμικών με Ψεκασμό (Ceramic Jet Printing)



- Από τη δεξαμενή σκόνης (powder supply) ανεβαίνει σκόνη.
- Ένας κύλινδρος (roller) απλώνει λεπτό στρώμα σκόνης.
- Η κεφαλή inkjet ψεκάζει υγρό συνδετικό (liquid binder) μόνο όπου θέλουμε να στερεοποιηθεί το αντικείμενο.
- Η πλατφόρμα κατασκευής κατεβαίνει.
- Επαναλαμβάνεται η διαδικασία στρώση-στρώση.
- Έτσι δημιουργείται το αντικείμενο μέσα στη πλατφόρμα κατασκευής (powder bed).

# Στερεολιθογραφία



## Stereolithography (SLA)

- Ρητίνη + κεραμική σκόνη
- UV laser πολυμερίζει επιλεκτικά
- Στρώση-στρώση κατασκευή
- Θερμική απομάκρυνση πολυμερούς (~ 400 °C)
- Τελική πυροσυσσωμάτωση

Υλικά:

Αλουμίνα

Ζιρκονία

Υδροξυαπατίτης

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!